پژوهشگاه نیرو

امکان‌سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی
با تاکید بر بهره‌وری انرژی













مدیر پروژه: مائده ذاکرصالحی

مجری پروژه: علیرضا رهنورد

NRI-ER-909-PCVPN20-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.341


بسم الله الرحمن الرحيم

امکان‌سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی

مدیر پروژه:
مائده ذاکرصالحی

همکاران پروژه:
رضا رمضانی ازغندی
علی برزگر طرقبه

مجری:
علیرضا رهنورد

انتشارات پژوهشگاه نیرو
۱۴۰۱

کد گزارش NRI-ER-909-PCVPN20-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی سازه های صنعت برق

امکان‌سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی/ مدیر پروژه: مائده ذاکرصالحی. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۳۴۹ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. ذاکرصالحی، مائده، مدیر و همکار پروژه. ۲. رمضانی ازغندی، رضا، همکار پروژه. ۳. برزگر طرقبه، علی، همکار پروژه. ۴. پژوهشگاه نیرو، کارفرما. ۴. تکنیک‌های نوین ارزیابی و بهبود عملکرد سازه‌ها ۵. امکان‌سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مائده ذاکرصالحی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران:
۱. رضا رمضانی ازغندی
۲. علی برزگر طرقبه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پیشگفتار

انتشار دی اکسید کربن، متان و دیگر گازهای گلخانه‌ای سرتاسرجهان به اتمسفر زمین، در حال تغییر اقلیم زمین بوده که می‌تواند پیامدهای مهلکی را به بار آورد. بیش‌ترین میزان مصرف انرژی در کشور مربوط به بخش ساختمان می شود (بین ۳۶ تا ۴۰ درصد). به علاوه سهم ساختمان‌ها از مصرف برق نیز بیش‌تر از بخش‌های دیگر می‌باشد (حدود ۴۵٪). از طرفی، امکان بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بخش ساختمان بیش از بخش‌های حمل و نقل و صنعت است. در این زمینه می‌توان به آلمان و سوئد به عنوان کشورهای پیشرو در زمینه کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد که برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، بر اصلاح بخش ساختمان تاکید کرده‌اند. به علت این مشکل فرهنگی که ارزش انرژی کم‌تر دانسته شده است، بیش‌تر ساختمان‌های کشور، خصوصا مسکن‌های اجتماعی که استانداردهای ساخت پایین‌تری دارند، فاقد ضوابط فنی شناخته شده برای جلوگیری از به هدر رفتن انرژی سرمایی یا گرمایی می باشد. ساختمان‌ها یکی از بزرگترین منـابع اتلاف انرژی محسوب می‌شوند که در صورت تداوم مصرف بیش از حد انرژی، علاوه بر دامن زدن به مسئله بحران انرژی در جهان، سبب تشدید آلودگی محیط زیست نیز می‌گردند. به این منظور هدف از این پژوهش، بررسی توسعه مسکن‌های اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی می‌باشد. در این پژوهش، ابتدا جایگاه و اهمیت تحقیق با مطالعه اسناد بالادستی و نیز مطالعات مشابه در دیگر کشورها بررسی می‌گردد. سپس تحقیق جامعی در مورد تحقیقات و فعالیت های اجرایی انجام شده در زمینه مسکن اجتماعی در سطح دنیا و کشور انجام می شود. در این زمینه، به نمونه‌های اجرا شده از مسکن‌های اجتماعی در سطح دنیا و کشور، الزامات و استانداردهای موجود در این حوزه و نیز مطالعات تحقیقاتی به روز پرداخته می شود. در گام بعدی پروژه، مصالح، رویکردها، تکنولوژی‌ها و معماری‌های اجرا شده و در دست مطالعه که به منظور بهبود مصرف انرژی در پروسه تولید، ساخت و بهره برداری از ساختمان‌ها توسعه یافته اند، مورد بررسی قرار می گیرد. به علاوه مطالعاتی در مورد استانداردها و الزامات قانونی در زمینه بهره وری انرژی در ساختمان‌ها انجام می شود. در ادامه پروژه نیز جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست محیطی برای توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی مورد بررسی قرار گرفته و سپس پیشنهادهایی نیز برای طرح‌ها و پروژه‌های آتی جهت روشن نمودن مسیر تحقیق در این زمینه ارائه می شود.

در انتها از جناب آقای پروفسور عباسعلی تسنیمی، ناظر محترم پروژه که با نظرات و پیشنهادات ارزنده خود کمک شایانی در جهت انجام بهتر این پروژه داشتند و هم‌چنین از جناب آقای مهندس رهنورد، مجری محترم پروژه و مدیر محترم گروه سازه و نیز جناب آقای مهندس ذکاوتی معاون محترم گروه سازه که با همکاری و حمایت‌های خود زمینه مناسبی را برای پیشبرد موثر پروژه فراهم نمودند و پیشنهادات سازنده‌ای جهت ارتقای کیفیت پروژه ارائه نمودند و نیز از معاونت محترم پژوهشی پژوهشگاه نیرو به جهت حمایت‌های مالی از این تحقیق، و هم چنین همکاران محترم پروژه جناب آقای مهندس رضا رمضانی ازغندی و جناب آقای مهندس علی برزگر طرقبه به سبب تلاش‌ها و همکاری موثرشان در تهیه این گزارش کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

مائده ذاکرصالحی

مدیر پروژه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فهرست مطالب

فصل اول - معرفی موضوع و بررسی ادبیات فنی و سوابق موضوعی در زمینه مسکن اجتماعی.... ۱

۱-۱ معرفی موضوع، ابعاد مطالعات و تبیین ضرورت و اهمیت..... ۲

۱-۱-۱ معرفی..... ۲

۱-۱-۲ تعریف مسکن..... ۷

۱-۱-۳ اقشار کم در آمد..... ۷

۱-۱-۴ مسکن اقشار کم درآمد..... ۷

۱-۱-۵ سیاست های موجود مسکن گروه های کم درآمد در جهان..... ۸

۱-۱-۵-۱ سیاست زمین و خدمات..... ۸

۱-۱-۵-۲ توانمند سازی..... ۸

۱-۱-۵-۳ اعطای کمک های مالی..... ۹

۱-۱-۵-۴ سیاست های معطوف به تامین مالی مسکن..... ۹

۱-۱-۵-۵ ارتقاء کیفیت سکونت..... ۹

۱-۱-۶ مکان مورد نیاز برای مسکن..... ۹

۱-۱-۷ مزایای مسکن اجتماعی و مقرون به صرفه..... ۱۰

۱-۱-۸ معرفی مفاهیم پایداری در خانه های اجتماعی..... ۱۱

۱-۱-۸-۱ معیارهای پایداری اجتماعی..... ۱۱

۱-۱-۸-۲ معیارهای پایداری اقتصادی..... ۱۲

۱-۱-۸-۳ معیارهای پایداری محیط زیست:..... ۱۳

۱-۲ جایگاه توسعه مسکن اجتماعی از دیدگاه کلان در اسناد بالادستی..... ۱۳

۱-۲-۱ سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴..... ۱۴

۱-۲-۲ سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴..... ۱۴

۱-۲-۳ سیاست‌های ابلاغی اقتصاد مقاومتی..... ۱۵

۱-۲-۴ مصوبه اهداف و سیاست‌های اقتصاد مقاومتی در وزارت نیرو..... ۱۵

۱-۲-۵ نقشه راه سیاست‌های کلی علم و فناوری کشور..... ۱۵

۱-۲-۶ قانون اساسی کشور..... ۱۶

۱-۲-۷ برنامه اول توسعه..... ۱۶

۱-۲-۸ برنامه دوم توسعه..... ۱۷

۱-۲-۹ برنامه سوم توسعه..... ۱۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۲-۱۰ برنامه چهارم توسعه ۱۸
۱-۲-۱۱ برنامه پنجم توسعه ۱۹
۱-۲-۱۲ برنامه ششم توسعه ۲۰
۱-۲-۱۳ بندهای قانونی مرتبط با تامین مسکن مهر ۲۰
۱-۳ مطالعات تحقیقاتی و فعالیت های اجرایی انجام گرفته در زمینه مسکن اجتماعی در سطح دنیا ۲۲
۱-۳-۱ مقدمه ۲۲
۱-۳-۲ مسکن اجتماعی در منطقه UNECE ۲۲
۱-۳-۲-۱ تعاریف مسکن اجتماعی در منطقه UNECE ۲۲
۱-۳-۲-۲ حق تصدی مسکن اجتماعی ۲۴
۱-۳-۲-۳ بودجه و امور مالی ۲۵
۱-۳-۲-۴ مدلهای تخصیص مسکن اجتماعی در منطقه UNECE ۲۵
۱-۳-۲-۴-۱ مدل تخصیص همگانی ۲۶
۱-۳-۲-۴-۲ مدل تخصیص کلی ۲۶
۱-۳-۲-۴-۳ مدل تخصیص باقیمانده ۲۶
۱-۳-۳ توسعه مسکن اجتماعی در کشور چین ۲۷
۱-۳-۳-۱ مفهوم خانه Skeleton Infill ۲۹
۱-۳-۳-۲ مفاهیم صنعتی سازی ساختمان: ۳۰
۱-۳-۳-۳ روش های صنعتی سازی ساخت و ساز: ۳۰
۱-۳-۴ توسعه مسکن اجتماعی در کشور برزیل ۳۳
۱-۳-۴-۱ بررسی آسایش حرارتی یک مسکن اجتماعی نمونه با مصالح معمول برزیل در مقایسه با گزینه جایگزین ساختمان های چوبی ۳۴
۱-۳-۵ توسعه مسکن اجتماعی در کشور ایتالیا ۳۸
۱-۳-۵-۱ بهسازی با استفاده از سیستم خورشیدی در ساونا ۳۹
۱-۳-۵-۲ دیوار ترومب-میشل ۴۲
۱-۳-۶ توسعه مسکن اجتماعی در انگلستان ۴۴
۱-۳-۷ توسعه مسکن اجتماعی در ایالات متحده آمریکا ۴۵
۱-۳-۷-۱ سیاست اول: ارتقاء کیفیت و افزایش کمیت مسکن قابل استطاعت ۴۵
۱-۳-۷-۱-۱ برنامه اول: ناحیه بندی فراگیر ۴۵
۱-۳-۷-۱-۲ برنامه دوم: ساده سازی کد ۴۶
۱-۳-۷-۱-۳ برنامه سوم- ناحیه بندی مجدد ۴۶

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۷-۲ سیاست دوم: اختلاط درآمدی-سکونتی در محلات ۴۶
۱-۳-۷-۲-۱ برنامه اول- جوامع ساخته شده هدف ۴۶
۱-۳-۷-۲-۲ برنامه دوم: محله های منتخب (برنامه احیای جامعه) ۴۶
۱-۳-۷-۲-۳ برنامه سوم: توسعه حمل ونقل ۴۷
۱-۳-۷-۲-۴ برنامه چهارم: موقعیت مسکن پراکنده ۴۷
۱-۳-۷-۲-۵ برنامه پنجم: کوپن انتخاب مسکن ۴۷
۱-۳-۷-۲-۶ برنامه ششم: مسکن با سهام محدود ۴۷
۱-۳-۷-۲-۷ برنامه هفتم: خانه های کوچک ۴۷
۱-۳-۷-۲-۸ برنامه هشتم: صندوق پس انداز (اعتماد مسکن) ۴۷
۱-۳-۷-۲-۹ برنامه نهم: اعتبار مالیاتی مسکن کم درآمد ۴۸
۱-۳-۷-۲-۱۰ برنامه دهم: بانک های زمین ۴۸
۱-۳-۸ دو نمونه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی در آمریکا و کانادا ۵۰
۱-۳-۸-۱ آپارتمان های خیابان بیستم، سانتمونیکا، کالیفرنیا ۵۰
۱-۳-۸-۲ تامین کننده خصوصی مسکن اجتماعی و قابل استطاعت در ناحیه تورنتو ۵۲
۱-۳-۹ توسعه مسکن اجتماعی در کشور سوئد ۵۳
۱-۳-۱۰ توسعه مسکن اجتماعی در کشور ژاپن ۵۳
۱-۳-۱۱ توسعه مسکن اجتماعی در کشور آلمان ۵۴
۱-۳-۱۲ مسکنهای موقت پس از زلزله ۵۶
۱-۳-۱۲-۱ تعریف مسکن موقت بعد از زلزله ۵۶
۱-۳-۱۲-۲ اصول برنامه ریزی، طراحی و ساخت مسکنهای موقت بعد از زلزله ۵۹
۱-۳-۱۲-۳ مشکلات پیش رو با استفاده از مسکنهای موقت بعد از حوادث ۶۰
۱-۳-۱۲-۳-۱ مشکلات تاب آوری ۶۱
۱-۳-۱۲-۳-۲ مشکلات فرهنگی ۶۱
۱-۳-۱۲-۴ توصیههایی برای توسعه مسکنهای موقت پایدار ۶۲
۱-۳-۱۲-۵ رهنمودهای اساسی برای برنامه ریزی مسکنهای موقت آتی ۶۴
۱-۴ مطالعات تحقیقاتی و فعالیتهای اجرایی انجام گرفته در زمینه مسکن اجتماعی در داخل کشور ۶۵
۱-۴-۱ مقدمه ۶۵
۱-۴-۲ مساکن اجتماعی شاخص در ایران قبل از انقلاب اسلامی ۶۸
۱-۴-۳ مسکن مهر (رویکرد جدید مسکن اجتماعی) ۶۹
۱-۴-۳-۱ مبنای شکل گیری طرح مسکن مهر ۷۰

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۴-۱ بررسی ایمنی و کیفیت ساخت سازه مسکن مهر ۷۰
۱-۲-۳-۴-۱ زمین لرزه کرمانشاه ۷/۳ ریشتر (آبان ۱۳۹۶)..... ۷۰
۲-۲-۳-۴-۱ زمین لرزه بجنورد ۵/۷ ریشتر(اردیبهشت ۱۳۹۶)..... ۷۵
۳-۳-۴-۱ بررسی معماری مسکن مهر..... ۷۵
۱-۳-۳-۴-۱ مقدمه ۷۵
۲-۳-۳-۴-۱ مطالعه موردی ۱: پروژه مسکن مهر ویژه تهرانسر..... ۷۵
۳-۳-۳-۴-۱ مطالعه موردی ۲: طراحی معماری مسکن برای اقشار کم در آمد در شهر جدید بهارستان ۷۸
۴-۳-۴-۱ بررسی اقتصادی مسکن مهر ۸۰
۵-۳-۴-۱ مزایای مسکن مهر..... ۸۱
۱-۵ شناسایی دستورالعملهای موجود در زمینه الزامات مسکن اجتماعی ۸۲
۱-۵-۱ الزامات و دستورالعمل های کلی برای توسعه مسکن های اجتماعی ۸۲
۱-۵-۲ الزامات بهره وری انرژی برای طراحی مسکن های اجتماعی..... ۸۳
۱-۵-۳ بررسی ابعاد آیین نامه های طراحی از منظر طرح سازهای، معماری و تاسیسات برای ساخت و ساز مدولار...۸۹
۱-۶ مراجع..... ۹۰

فصل دوم- بررسی اهمیت و جایگاه توسعه ساختمانها با رویکرد بهره وری انرژی و مطالعه روشها و تکنیکهای مورد استفاده و نوین در این زمینه ۹۶

۲-۱ جایگاه بهینه سازی مصرف انرژی در اسناد بالادستی..... ۹۷
۲-۱-۱ مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان..... ۹۷
۲-۱-۲ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی..... ۹۷
۲-۱-۳ سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف ۹۸
۲-۱-۴ قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴-۱۳۹۰) ۹۹
۲-۲ بررسی مصالح مرتبط با کاهش مصرف انرژی ۱۰۰
۲-۲-۱ تعریف مصالح ساختمانی تاب آور..... ۱۰۰
۲-۲-۱-۱ مرحله پیش از ساختمان: تولید..... ۱۰۱
۲-۲-۱-۱-۱ کاهش ضایعات ۱۰۱
۲-۲-۱-۱-۲ جلوگیری از آلودگی..... ۱۰۱
۲-۲-۱-۱-۳ محتوای بازیافتی ۱۰۱
۲-۲-۱-۱-۴ انرژی درونی مصالح..... ۱۰۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۱-۱-۵ استفاده از مصالح طبیعی ۱۰۱
۲-۲-۱-۱-۶ مصالح منطقه ای ۱۰۲
۲-۲-۱-۲ مرحله ساختمان: استفاده ۱۰۲
۲-۲-۱-۲-۱ کاهش ضایعات ساخت ۱۰۲
۲-۲-۱-۲-۲ بهره وری انرژی ۱۰۲
۲-۲-۱-۲-۳ تصفیه/حفاظت از آب ۱۰۳
۲-۲-۱-۲-۴ استفاده از مصالح غیر سمی یا با سموم کمتر ۱۰۳
۲-۲-۱-۲-۵ عمر طولانی ۱۰۳
۲-۲-۱-۳ مرحله پس از ساخت: انهدام مصالح ۱۰۴
۲-۲-۱-۳-۱ قابلیت استفاده مجدد ۱۰۴
۲-۲-۱-۳-۲ قابلیت بازیافت ۱۰۴
۲-۲-۱-۳-۳ زیست تجزیه پذیری ۱۰۴
۲-۲-۲ ساخت و ساز چوبی و حصیری ۱۰۴
۲-۲-۲-۱ ساخت و ساز با الوار ۱۰۴
۲-۲-۲-۲ مزایا و مضرات الوار ۱۰۵
۲-۲-۳ بامبو ۱۰۶
۲-۲-۳-۱ مزایا و چالش های بامبو ۱۰۷
۲-۲-۳-۲ عوامل تاثیرگذار بر قابلیت دوام بامبو ۱۰۷
۲-۲-۳-۳ عمل آوری بامبو ۱۰۷
۲-۲-۳-۴ اتصال بامبو ۱۰۸
۲-۲-۳-۵ بامبو مهندسی ۱۰۸
۲-۲-۴ مصالح خاک پایه ۱۰۸
۲-۲-۴-۱ دسته بندی خاک ها ۱۰۹
۲-۲-۴-۲ دسترسی خاک ها و ارزیابی مناسب بودن آن ها ۱۱۰
۲-۲-۴-۳ روش های آزمایش خاک ۱۱۴
۲-۲-۴-۳-۱ تست ته نشینی ساده ۱۱۴
۲-۲-۴-۳-۲ تست جمع شدگی میله ۱۱۵
۲-۲-۴-۴ تثبیت خاک ۱۱۵
۲-۲-۴-۵ محافظت سطحی از ساختمان ها ۱۱۷
۲-۲-۵ مصالح چوبی و اندود (گل و چوب) ۱۱۸

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۶ رس/کاه ۱۱۸
۲-۲-۷ روش های استفاده از بتن در الگویی با تاب آوری بیشتر ۱۱۹
۲-۲-۷-۱ بتن ۱۱۹
۲-۲-۷-۲ مزایا و چالش های بتن ۱۱۹
۲-۲-۷-۳ ساخت و ساز فرو سیمانی ۱۱۹
۲-۲-۷-۴ سیمان پوزولانی آهکی، CP 40 ۱۲۰
۲-۲-۷-۵ جایگزینی محتویات داخل بتن ۱۲۰
۲-۲-۸ مواد تغییر فازدهنده ۱۲۱
۲-۲-۸-۱ معرفی مصالح تغییر فازدهنده ۱۲۱
۲-۲-۸-۲ دسته بندی مصالح تغییرفاز دهنده ۱۲۲
۲-۲-۸-۲-۱ PCM های آلی پارافینی ۱۲۳
۲-۲-۸-۲-۲ PCM های آلی غیرپارافینی ۱۲۳
۲-۲-۸-۲-۳ PCM های غیرآلی از نوع هیدرات های نمک ۱۲۴
۲-۲-۸-۳ انتخاب مصالح تغییر فازدهنده (PCM) برای ساختمان ها ۱۲۴
۲-۲-۸-۴ معیار انتخاب PCM ۱۲۵
۲-۲-۸-۵ روش های استفاده از مواد PCM در صنعت ساختمان ۱۲۶
۲-۲-۸-۵-۱ کلیات ۱۲۶
۲-۲-۸-۶ معایب و چالش های استفاده از PCM در صنعت ساختمان ۱۲۷
۲-۲-۹ نمونه های استفاده مصالح دارای بهره وری انرژی در مراحل مختلف ساختمان سازی با دیدگاه چرخه عمر آن ها ۱۳۲
۲-۲-۹-۱ جانمایی سایت و محوطه سازی ۱۳۳
۲-۲-۹-۲ فونداسیون ها ۱۳۵
۲-۲-۹-۳ قاب سازه ای ۱۳۶
۲-۲-۹-۴ پوشش های ساختمان ۱۳۷
۲-۲-۹-۵ پوشش های سازه ای ۱۳۸
۲-۲-۹-۶ عایق بندی ۱۴۰
۲-۲-۹-۷ پنجره ها ۱۴۱
۲-۳ بررسی تکنیک ها و روش های مورد استفاده و مطالعات تحقیقاتی در زمینه سازه و معماریهای مرتبط با بهره وری انرژی ۱۴۳
۲-۳-۱ طراحی ساختمانهای بهره ور انرژی با نگاه بر چرخه عمر ساختمان ۱۴۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۱-۱ مقدمه ۱۴۳
۲-۳-۱-۲ روش های طراحی بهره ور انرژی در مرحله پیش از ساختمان ۱۴۳
۲-۳-۱-۲-۱ انتخاب مناسب سایت ۱۴۳
۲-۳-۱-۲-۲ تهیه سایت پلان ۱۴۵
۲-۳-۱-۲-۳ شکل ساختمان ۱۴۶
۲-۳-۱-۲-۴ پلان ساختمان و سازماندهی مناسب فضاها ۱۴۷
۲-۳-۱-۲-۵ نمای ساختمان ۱۴۸
۲-۳-۱-۲-۶ انتخاب مصالح ساختمانی بهره ور انرژی ۱۴۹
۲-۳-۱-۲-۷ طراحی چشم انداز برپایه بهره وری انرژی ۱۵۰
۲-۳-۱-۲-۸ استفاده از منابع تجدید پذیر ۱۵۲
۲-۳-۱-۳ روش های طراحی بهره وری انرژی در مرحله ساختمان ۱۶۱
۲-۳-۱-۴ روش های بهره وری انرژی در مرحله پس از ساختمان ۱۶۳
۲-۳-۲ نمونه هایی از ساختمان ها با مفاهیم بهره وری انرژی ۱۶۳
۲-۳-۲-۱ مجتمع مسکونی مدیران غیردولتی دادگاه Wilmar، Scarborough، اونتاریو ۱۶۳
۲-۳-۲-۲ پروژه تاب آوری Greenbrook، Surrey، British Columbia ۱۶۵
۲-۳-۲-۳ شرکت کانون صلح احمدیه، تورنتوی شمالی، اونتاریو ۱۶۶
۲-۳-۳ پیاده سازی هدف دولت ژاپن برای مسکن انرژی صفر بعنوان استاندارد برای مسکنهای تازه ساخته شده تا سال ۲۰۲۰ ۱۶۷
۲-۳-۳-۱ سیاست های اجرایی و وضعیت توسعه آن ها در شرکت Sekisui ۱۶۸
۲-۳-۳-۱-۱ توسعه مسکن انرژی صفر خالص ۱۶۸
۲-۳-۳-۱-۲ تقویت پیشنهادات ذخیره انرژی و ایجاد انرژی به منظور مدلسازی مجدد و ایجاد نوآوری ها ۱۶۹
۲-۳-۳-۲ ریسک های پیش رو و راه حل های ارائه شده ۱۷۰
۲-۳-۳-۳ حفظ تنوع زیستی ۱۷۰
۲-۳-۳-۴ سیاست های شرکت Sekisui به منظور حفظ تنوع زیستی ازطریق زنجیره تامین ۱۷۱
۲-۳-۴ سیستم های فوتولتایک در کانادا ۱۷۳
۲-۳-۴-۱ مصرف انرژی در ساختمان های کشور کانادا ۱۷۳
۲-۳-۴-۲ فناوری فوتوولتایک برای ساختمان ها ۱۷۴
۲-۳-۴-۳ وضعیت بازار و آینده سیستم های فوتولتایک ۱۷۴
۲-۳-۵ ارزیابی چرخه عمر (LCA) ۱۷۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۵-۱ مقدمه ۱۷۷
۲-۳-۵-۲ پیشینه تحقیقات ۱۷۷
۲-۳-۵-۳ ویژگی های کلیدی LCA ۱۷۸
۲-۳-۵-۴ مفاهیم کلی سیستم های محصول ۱۸۰
۲-۳-۵-۵ روش انجام ارزیابی چرخه عمر (LCA) ۱۸۲
۲-۳-۵-۵-۱ معرفی هدف و محدوده مطالعه ۱۸۲
۲-۳-۵-۵-۲ ارزیابی فهرست داده (LCI) ۱۸۵
۲-۳-۵-۵-۳ ارزیابی تاثیر (LCIA) ۱۸۸
۲-۳-۵-۵-۴ تفسیر نتایج ۱۹۱
۲-۳-۵-۶ ابزارهای کامپیوتری انجام LCA ۱۹۲
۲-۳-۵-۷ مطالعات موردی ۱۹۳
۲-۳-۵-۷-۱ گزارش انجام LCA توسط دانشگاه MIT برروی سیستم های سازه ای و کاربری های مختلف ساختمان [۸۱] ۱۹۳
۲-۴ بررسی تکنولوژی ها و روشهای اجرایی ساختمانها مرتبط با موضوع پروژه ۱۹۸
۲-۴-۱ مقدمه ۱۹۸
۲-۴-۲ ساخت و ساز مدولار ۱۹۹
۲-۴-۲-۱ تعریف ۱۹۹
۲-۴-۲-۲ تفاوت های روش ساخت و ساز مدولار و روش سنتی ۲۰۳
۲-۴-۲-۳ تاریخچه ای از کاربرد ساخت و ساز مدولار در سطح جهان ۲۰۴
۲-۴-۲-۳-۱ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در انگلستان: ۲۰۴
۲-۴-۲-۳-۲ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در ژاپن و کره: ۲۰۵
۲-۴-۲-۳-۳ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در ایالات متحده: ۲۰۷
۲-۴-۲-۳-۴ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در اروپا: ۲۰۸
۲-۴-۲-۴ ویژگی های تکنولوژی؛ از مصالح بکار رفته تا تفسیر رفتار سازه ای در برابر باد، زلزله، آتش و ویژگی های آکوستیک شامل محدودیت های مساحتی و ارتفاعی ۲۰۹
۲-۴-۲-۴-۱ مصالح ۲۰۹
۲-۴-۲-۴-۲ بررسی ابعاد آیین نامه های طراحی (نسبت به سازه های ساخته شده در محل) از منظر طرح سازهای، معماری و تاسیسات ۲۱۱
۲-۴-۲-۵ تاب آوری (شامل مصرف انرژی و بازیافت پذیری) ۲۱۱
۲-۴-۲-۵-۱ مزایای ساخت و ساز کارخانهای ساختمانها از نظر تابآوری: ۲۱۲

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۲-۵-۲ آئین نامه خانههای تابآور (CfSH): ۲۱۲
۲-۴-۲-۵-۳ مطالعات پس زمینهای برروی تابآوری: ۲۱۵
۲-۴-۲-۵-۴ ارزیابی تابآوری ساختانهای بلند مرتبه ۲۱۵
۲-۴-۲-۵-۵ ارزیابی تابآوری سیستمهای مدولار باز در سوئد ۲۱۶
۲-۴-۲-۵-۶ محاسبه انرژی و کربن نهفته: ۲۱۷
۲-۴-۲-۵-۷ کربن نهفته در حمل و نقل ۲۱۸
۲-۴-۲-۵-۸ مطالعات برروی کربن نهفته: ۲۱۹
۲-۴-۲-۶ نمونه های موردی از استفاده از این تکنولوژی در کشورها و قاره های مختلف با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ویژگی های خاص هر منطقه ۲۲۰
۲-۴-۲-۶-۱ پروژه ساختمان کارامل (Caramel Place): ۲۲۰
۲-۴-۲-۶-۲ پروژه آژانس مسکن اقتصادی ونکوور در خیابان ترمینال ۲۲۰: ۲۲۱
۲-۴-۲-۶-۳ پروژه برج ۴۶۱ خیابان دین (DEAN STREET): ۲۲۲
۲-۴-۳ ساخت و ساز به روش چاپ سه بعدی ۲۲۳
۲-۴-۳-۱ مقدمه ۲۲۳
۲-۴-۳-۲ معرفی تکنولوژی چاپ سه بعدی در صنعت ساخت و ساز ۲۲۴
۲-۴-۳-۲-۱ روش چاپ سه بعدی بتن مبتنی بر اکستروژن ۲۲۴
۲-۴-۳-۲-۲ روش چاپ سه بعدی بتن مبتنی بر بستر پودری ۲۲۸
۲-۴-۳-۲-۳ مزایا روش چاپ سه بعدی ۲۲۸
۲-۴-۳-۲-۴ معایب روش چاپ سه بعدی ۲۲۹
۲-۴-۳-۲-۵ آینده پیشرو و چالشهای چاپ سه بعدی ۲۳۰
۲-۴-۳-۳ تاریخچه ظهور ۲۳۱
۲-۴-۳-۳-۱ تحقیقات پایهای (۱۹۵۰ تا ۱۹۹۵): ۲۳۱
۲-۴-۳-۳-۲ توسعههای اولیه (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰): ۲۳۱
۲-۴-۳-۳-۳ نسل اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰): ۲۳۲
۲-۴-۳-۳-۴ نسل دوم (از سال ۲۰۱۰ تا اکنون) ۲۳۲
۲-۴-۳-۴ تاب آوری ۲۳۹
۲-۴-۴ ساخت و ساز به روش سازه های سبک قابی (LSF) ۲۴۰
۲-۴-۴-۱ تعریف ۲۴۰
۲-۴-۴-۲ تفاوتهای روش ساخت و ساز LSF با روشهای سنتی ۲۴۱
۲-۴-۴-۳ تاریخچه استفاده از روش ساخت و ساز LSF ۲۴۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۴-۳-۱ سیستم LSF در انگلستان ۲۴۳
۲-۴-۴-۳-۲ سیستم LSF در آمریکا ۲۴۳
۲-۴-۴-۳-۳ سیستم LSF در استرالیا: ۲۴۴
۲-۴-۴-۳-۴ سیستم LSF در ژاپن: ۲۴۴
۲-۴-۴-۳-۵ سیستم LSF در سایر کشورها: ۲۴۴
۲-۴-۴-۴ مصالح ۲۴۵
۲-۴-۵ ۲۴۵
۲-۴-۵-۱-۱ مقاطع فولاد سرد نورد شده ۲۴۵
۲-۴-۵-۱-۲ پانلهای پوششی ۲۴۵
۲-۴-۵-۱-۳ اتصال و بستن اتصالات ۲۴۶
۲-۴-۵-۲ مصالح عایق حرارتی ۲۴۶
۲-۴-۵-۳ بررسی ابعاد آئین نامه های طراحی از منظر طرح سازهای، معماری و تابآوری ۲۴۶
۲-۴-۵-۴ بررسی تابآوری ۲۴۷
۲-۴-۵-۴-۱ رفتار حرارتی المانهای LSF ۲۴۸
۲-۴-۵-۴-۲ بهرهوری انرژی در ساختمانهای LSF ۲۵۲
۲-۴-۵-۵ نمونه های موردی از استفاده از این تکنولوژی در کشورها و قاره های مختلف با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ویژگی های خاص هر منطقه ۲۵۲
۲-۴-۶ ساخت و ساز به روش Tilt-up ۲۵۴
۲-۴-۶-۱ مقدمه و تعریف ۲۵۴
۲-۴-۶-۲ تاریخچه کاربرد روش Tilt-up ۲۵۵
۲-۴-۶-۳ بررسی روش Tilt-up از دیدگاه تابآوری: ۲۵۵
۲-۴-۷ ساخت و ساز با مصالح سنتی ۲۵۶
۲-۴-۷-۱ مقدمه ۲۵۶
۲-۴-۷-۲ اثرات خاص آب و هوایی بر استفاده بر انتخاب مصالح ۲۵۷
۲-۴-۷-۳ مصالح سنتی مرسوم در مناطق غرب آسیا ۲۵۸
۲-۴-۷-۳-۱ مصالح ساختمانی ساخته شده از مواد ارگانیک یا آلی ۲۵۸
۲-۴-۷-۳-۲ مصالح معدنی ساختمانی ۲۶۱
۲-۴-۷-۳-۳ مخلوط مصالح ساختمانی - رس و پوشال (کاه گل) ۲۶۲
۲-۴-۷-۳-۴ مقایسه مصالح ساختمانی ۲۶۲
۲-۴-۷-۴ روش های ساخت با مصالح خاک پایه ۲۶۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۷-۴-۱ ساخت و ساز خشتی ۲۶۳
۲-۴-۷-۴-۲ ساخت با مصالح خاک کوبیده شده ۲۶۴
۲-۴-۷-۴-۳ چینه ۲۶۵
۲-۵ شناسایی الزامات و دستورالعمل های مرتبط با بهره وری انرژی در ساختمان ها ۲۶۶
۲-۵-۱ مقدمه ۲۶۶
۲-۵-۲ آئین نامه خانههای تاب آور (CfSH) ۲۶۸
۲-۵-۲-۱ معرفی ۲۶۸
۲-۵-۲-۲ توصیفات فنی ۲۶۹
۲-۵-۲-۳ نگاهی به مزایای آئین نامه خانه های تاب آور: ۲۶۹
۲-۵-۳ دستورالعمل موسسه تحقیقاتی BRE ۲۷۰
۲-۵-۳-۱ معرفی ۲۷۰
۲-۵-۳-۲ کلیاتی در رابطه با رتبه بندی A+ تا E دستورالعمل سبز: ۲۷۰
۲-۵-۴ دستور العمل LEED ۲۷۱
۲-۵-۴-۱ معرفی ۲۷۱
۲-۵-۴-۲ مدلسازی انرژی به کمک LEED: ۲۷۲
۲-۵-۴-۳ نگاهی به معایب و مزایای آیئن نامه LEED: ۲۷۲
۲-۵-۵ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران ۲۷۳
۲-۵-۶ مقایسه برخی از این دستورالعملها ۲۷۵
۲-۵-۶-۱ شباهتها و تفاوتهای CfSH و LEED ۲۷۵
۲-۵-۶-۲ شباهتها و تفاوتهای CfSH و CASBEE ۲۷۵
۲-۶ مراجع ۲۷۶

فصل سوم – بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست محیطی توسعه مسکن اجتماعی با دیدگاه بهره وری انرژی در کشور ۲۸۸
۳-۱ مقدمه ۲۸۹
۳-۲ بررسی ابعاد فنی و اقتصادی ۲۸۹
۳-۲-۱ بررسی ابعاد فنی ۲۸۹
۳-۲-۱-۱ مقدمه ۲۸۹
۳-۲-۱-۲ بررسی مزایای فنی توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی ۲۹۱
۳-۲-۱-۲-۱ بهبود عملکرد فنی ۲۹۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۲-۱-۲-۲ آسایش حرارتی ۲۹۱
۳-۲-۱-۲-۳ سلامتی، تندرستی و نتایج اجتماعی ۲۹۲
۳-۲-۱-۲-۴ تحلیل هزینه-فایده ۲۹۲
۳-۲-۲ بررسی ابعاد اقتصادی ۲۹۳
۳-۲-۲-۱ اهمیت بعد اقتصادی توسعه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی ۲۹۳
۳-۲-۲-۲ روش بررسی ۲۹۴
۳-۲-۲-۳ ارزش اقتصادی بهره وری انرژی بر بازار مسکن ۲۹۴
۳-۲-۳ بررسی اثرات مسکن اجتماعی بر اقتصاد با نگاهی بر دیگر کشورها ۲۹۵
۳-۳ بررسی ابعاد اجتماعی و فرهنگی ۲۹۷
۳-۳-۱ مفهوم بعد اجتماعی مسکن و ضرورت توجه به آن ۲۹۷
۳-۳-۲ ملاحظات اجتماعی و فرهنگی در طراحی مسکن اجتماعی در ایران و جهان ۲۹۸
۳-۳-۲-۱ پیامدهای آموزشی ۲۹۸
۳-۳-۲-۲ هزینه های پیشگیرانه ۲۹۸
۳-۳-۲-۳ عدالت کیفری ۲۹۹
۳-۳-۳ اثرات مسکن اجتماعی بر سلامت افراد ۲۹۹
۳-۳-۴ بررسی اثرات کوتاه مدت بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی بر سلامت افراد و شاخصهای اجتماعی آنها ۳۰۰
۳-۳-۵ اثرات و ملاحظات اجتماعی توسعه مسکن برای اقشار کم درآمد ۳۰۱
۳-۳-۵-۱ افزایش سطح سلامت در مسکن های اجتماعی با کیفیت ۳۰۱
۳-۳-۵-۲ کاهش استرس و فشارهای روانی ۳۰۲
۳-۳-۵-۳ افزایش رفاه اجتماعی ۳۰۲
۳-۳-۵-۴ اثرات اجتماعی محله های توسعه مسکن اجتماعی ۳۰۳
۳-۳-۵-۵ اثرات مالک بودن ساکنین مسکن اجتماعی در مقایسه با اجاره نشینی ۳۰۴
۳-۳-۵-۶ اثرات کاهش تراکم خانوار در مسکن های اجتماعی ۳۰۵
۳-۳-۵-۷ اثرات توسعه مسکن اجتماعی بر کاهش خشونت خانگی ۳۰۵
۳-۳-۵-۸ ملاحظات مرتبط با سالمندان در توسعه مسکن های اجتماعی ۳۰۶
۳-۴ بررسی ملاحظات زیست محیطی ۳۰۷
۳-۴-۱ ابعاد زیست محیطی توسعه پایدار ۳۰۷
۳-۴-۲ تاثیرات معماری سبز برای توسعه مسکن اجتماعی بر بهبود اثرات زیست محیطی ۳۰۹
۳-۴-۲-۱ معماری سبز ۳۰۹

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۲-۴-۲ راهکارهای استفاده از معماری سبز در توسعه مسکنهای اجتماعی ۳۰۹
۳-۲-۴-۳ بام سبز، راهکاری موثر برای بهبود اثرات زیست محیطی ساختمانها ۳۰۹
۳-۴-۳ چاپگرهای سه بعدی، روش ساخت سازگار با محیط زیست برای مسکن های اجتماعی ۳۱۱
۳-۴-۴ پیشنهادها و راهکارهای اجرایی برای سازگاری بیشتر مسکنهای اجتماعی با محیط زیست ۳۱۲
۳-۵ بررسی مزایا، معایب و چالش های پیشرو برای توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی در کشور با ارائه یک تابع اولویت بندی و انتخاب ۳۱۴
۳-۵-۱ مزایای توسعه مسکنهای اجتماعی با بهره وری انرژی ۳۱۴
۳-۵-۱-۱ کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و دیگر آثار مخرب زیست محیطی ۳۱۴
۳-۵-۱-۲ کاهش هزینه های انرژی ۳۱۵
۳-۵-۱-۳ افزایش مزایای اقتصادی با تولید شغلهای مرتبط با بهره وری انرژی و توسعه بازار ۳۱۵
۳-۵-۱-۴ نشان دادن لیدرشیپ ۳۱۶
۳-۵-۱-۵ بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان ۳۱۶
۳-۵-۱-۶ افزایش آسایش ساکنین ۳۱۶
۳-۵-۱-۷ افزایش قیمت مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی ۳۱۷
۳-۵-۱-۸ کاهش تکیه بر برنامه های حمایتی دولت در زمینه انرژی ۳۱۷
۳-۵-۱-۹ کاهش ریسک تخلیه اجباری ۳۱۷
۳-۵-۱-۱۰ حفظ قابل استطاعت بودن مسکن اجتماعی برای ساکنین آن ها ۳۱۷
۳-۵-۲ چالش های توسعه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی ۳۱۷
۳-۵-۲-۱ چالش ها و موانع قانونی ۳۱۸
۳-۵-۲-۲ چالش ها و موانع اداری ۳۱۸
۳-۵-۲-۳ چالش ها و موانع مالی ۳۱۹
۳-۵-۲-۴ چالش ها و موانع مربوط به بازار ۳۱۹
۳-۵-۲-۵ چالش ها و موانع اجتماعی ۳۲۰
۳-۵-۳ انتخاب سیستم ساختمانی مناسب برای توسعه مسکن های اجتماعی با در نظر گرفتن بهره وری انرژی براساس توابع اولویت بندی ۳۲۰
۳-۵-۳-۱ مقدمه و بیان مساله ۳۲۰
۳-۵-۳-۲ سیستم های سازه ای مورد بررسی ۳۲۲
۳-۵-۳-۳ معیارها ۳۲۲
۳-۵-۳-۴ روش تحقیق ۳۲۳
۳-۵-۳-۵ فرآیند جمع آوری نظرات گروهی ۳۲۴

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۳-۶ وزن دهی به معیارها جهت حل مساله به روشSAW ۳۲۴
۳-۵-۳-۷ نتایج و یافته های تحقیق در خصوص سیستم ساختمانی مناسب برای مسکن های اجتماعی شهرهای جدید اطراف تهران ۳۲۶
۳-۵-۳-۷-۱ رضایتمندی سازندگان ۳۲۷
۳-۵-۳-۷-۲ رضایتمندی ساکنین ۳۲۷
۳-۵-۴ بررسی مزایا و معایب ساخت مسکن های اجتماعی با مصالح محلی- نمونه موردی کشور غنا ۳۲۹
۳-۵-۴-۱ ویژگی های جمعیتی جامعه آماری پاسخ دهندگان ۳۳۱
۳-۵-۴-۲ روش جمع آوری داده ها ۳۳۱
۳-۵-۴-۳ مزایای مسکن های اجتماعی با مصالح محلی ۳۳۲
۳-۵-۴-۴ مشکلات مسکن های اجتماعی با مصالح محلی ۳۳۳
۳-۶ خلاصه و نتیجه گیری ۳۳۴
۳-۷ فهرست پیشنهادی طرحها و پروژه های مرتبط با درنظر گرفتن شرایط کشور ۳۴۰
۳-۷-۱ عنوان طرح: بررسی چرخه عمر انرژی و میزان انتشار دی اکسید کربن مصالح مختلف سازه ای با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی مناسب ۳۴۰
۳-۷-۲ عنوان طرح: بررسی فنی-اقتصادی-اجرایی روش های بهسازی مسکن های اجتماعی موجود با هدف تامین بهره وری انرژی.. ..... ۳۴۱
۳-۷-۳ عنوان طرح: اولویت بندی مسکن های اجتماعی موجود به منظور بهسازی برای تامین بهینه سازی مصرف انرژی و بررسی مزایا و چالش ها ۳۴۱
۳-۷-۴ عنوان طرح: تدوین دستورالعمل فنی و اجرایی برای ملاحظات معماری مرتبط با مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی.. ..... ۳۴۲
۳-۷-۵ عنوان طرح: بررسی و پیشنهاد روش های ساخت مسکنهای اجتماعی برای مناطق مختلف کشور و انتخاب بهترین گزینه با روشهای فنی و آماری با تاکید بر بهرهور بودن انرژی روش ساخت ۳۴۳
۳-۷-۶ عنوان طرح: طراحی و ساخت چند نمونه مسکن های اجتماعی با درنظر گرفتن بهره وری انرژی و بررسی مزایا و معایب فرهنگی و اجتماعی آن در مقایسه با مسکنهای اجتماعی معمولی مشابه ۳۴۳
۳-۸ مراجع ۳۴۴

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فهرست اشکال

شکل (۱- ۱) نمودار توزیع سهم مصارف انرژی و برق در بخشهای مختلف کشور [7] ۳
شکل (۱- ۲) چشم انداز تولید و مصرف انرژی ایران درآینده [7] ۴
شکل (۱- ۳) سهم لوازم برقی و روشنایی از مصرف برق خانگی [7] ۵
شکل (۱- ۴) سیاست های توسعه مسکن اجتماعی در چین ۲۷
شکل (۱- ۵) مسکن اجتماعی در Longnan Garden چین [21] ۲۸
شکل (۱- ۶) طرح نمودار سیستم مسکن SI [23] ۲۹
شکل (۱- ۷) فرآیند تکنیک PALSP [24] ۳۱
شکل (۱- ۸) فرآیند تکنیکی سیستم قالب پیش ساخته آلومینیوم [24] ۳۲
شکل (۱- ۹) پارتیشن های بتنی پیش ساخته [24] ۳۳
شکل (۱- ۱۰) نمونه مسکن اجتماعی در کشور برزیل ۳۴
شکل (۱- ۱۱) طرح توزیع مجتمع مسکونی SMR و طبقه واحدهای ساختمانی [26] ۳۵
شکل (۱- ۱۲) سیستمهای جایگزینی ساخت و ساز مبتنی بر چوب [26] ۳۵
شکل (۱- ۱۳) مدل ساده پروژه SMR برای شبیهسازی [26] ۳۶
شکل (۱- ۱۴) میزان DH ناشی از ناراحتی حرارتی در سرما و گرما برای هر آپارتمان در طبقات اول، سوم و پنجم در دو بلوک براساس روش ساخت و ساز عادی [26] ۳۷
شکل (۱- ۱۵) میزان DH ناشی از ناراحتی حرارتی در سرما و گرما برای کل ساختمان براساس روش ساخت و ساز مبتنی بر چوب [26] ۳۷
شکل (۱- ۱۶) ساختمان ۱. نمای جنوبی با سیستم گلخانه ای [30] ۴۱
شکل (۱- ۱۷) ساختمان۲. نمای جنوبی با سیستم گلخانه ای و دیوارهای ترومب میشل [30] ۴۱
شکل (۱- ۱۸) ساختمان۳. نمای جنوبی با سیستم گلخانه ای و دیوارهای ترومب میشل[30] ۴۲
شکل (۱- ۱۹) دیوار ترومب کلاسیک [31] ۴۲
شکل (۱- ۲۰) سیستم سرمای دیوار ترومب میشل [31] ۴۳
شکل (۱- ۲۱) نمونه مسکن اجتماعی در کشور انگلستان [4] ۴۴
شکل (۱- ۲۲) نمایی از آپارتمان های خیابان بیشتم، سانتمونیکا، کالیفرنیا[48] ۵۰
شکل (۱- ۲۳) نمونه هایی از سیستم های نصب شده [49] ۵۲
شکل (۱- ۲۴) نمونه مسکن اجتماعی در کشور ژاپن ۵۴
شکل (۱- ۲۵) نمونه مسکن اجتماعی در کشور آلمان ۵۵
شکل (۱- ۲۶) چپ: خانههای موقت در لویزیانا در ایالات متحده در حال انتقال برای افراد آسیب دیده در طوفان کاترینا، راست: خانه های موقت گنبدی به عنوان پناهگاههای موقت در نیکاراگوئه در سال ۱۹۷۶ [53] ۵۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۱- ۲۷) خانههای موقت: (چپ) ژاپن، سال ۱۹۹۵ بعد از زلزله کوبه، (راست) بعد از زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی [54] ۵۷
شکل (۱- ۲۸) مسکنهای نیمه موقت در حال ساخت در خارج شهر بم ۵۸
شکل (۱- ۲۹) نمونهای از خانههای نیمه موقت در زمینهای شخصی افراد ۵۹
شکل (۱- ۳۰) بازسازی واحدهای مسکنهای موقت: قبل و بعد از بازسازی واحدها ۶۲
شکل (۱- ۳۱) عکس هوایی شهرک غرب- برگرفته از گوگل ارث [76] ۶۸
شکل (۱- ۳۲) عکس هوایی شهرک اکباتان- برگرفته از گوگل ارث [76] ۶۹
شکل (۱- ۳۳) نمونه مسکن مهر در کشور ایران ۶۹
شکل (۱- ۳۴) تخریب دیوارهای میان قاب براثر عدم مهار به اجزای سازه ای [77] ۷۱
شکل (۱- ۳۵) نمونه ای از شکست اجزای غیر سازه ای در شهرک شیرودی [79] ۷۲
شکل (۱- ۳۶) کمانش مهاربند دوبل به دلیل عدم استفاده از لقمه [79] ۷۲
شکل (۱- ۳۷) نمونه ای از آسیب به اجزای غیرسازه ای (ایجاد ترک و خوردشدگی میانقاب ها) [79] ۷۳
شکل (۱- ۳۸) آسیب جزئی در نمای ساختمان های مسکن مهر شهرک فرهنگیان سرپل ذهاب [79] ۷۳
شکل (۱- ۳۹) آسیب جدی ناشی از پانچ طبقه اول در اسلام آباد غرب [79] ۷۴
شکل (۱- ۴۰) آسیب جدی ناشی از پانچ دیوار برشی (راست) و ضعیف بودن ستون ها (چپ) در اسلام آباد غرب [79]. ۷۴
شکل (۱- ۴۱) بلوک های ساختمانی یک شکل در مسکن مهر تهران سر [82] ۷۶
شکل (۱- ۴۲) تراکم نامناسب ساختمان ها که باعث کاهش امنیت منطقه می شود [82] ۷۷
شکل (۱- ۴۳) قرارگیری مسکن مهر تهرانسر در محل شهرک های صنعتی [82] ۷۸
شکل (۱- ۴۴) عکس هوایی و سایت پروژه شهر جدید بهارستان [83] ۷۸
شکل (۱- ۴۵) نحوه چیدمان بلوک ها در سایت مورد نظر [83] ۷۹
شکل (۱- ۴۶) فضای باز در نظر گرفته شده بین بلوک ها [83] ۸۰
شکل (۱- ۴۷) دسترسی به پیلوت، پارکینگ و فضای سبز [83] ۸۰
شکل (۱- ۴۸) فضای داخلی یکی از واحد ها [83] ۸۰
شکل (۱- ۴۹) نمایی از ساختمان های مورد مطالعه از منظر زاویه قرارگیری نسبت به خورشید [90] ۸۴
شکل (۱- ۵۰) پلان جانمایی (N: شب، D: روز) [90] ۸۴
شکل (۱- ۵۱) جانمایی راه پله و سرویس های بهداشتی در سه طبقه [90] ۸۴
شکل (۱- ۵۲) فضاهای با قابلیت چیدمان معماری انعطاف پذیر [90] ۸۵
شکل (۱- ۵۳) نمایی از ایزولاسیون های مورد استفاده در مسکن اجتماعی مورد مطالعه [90] ۸۵
شکل (۱- ۵۴) محاسبات PHPP برای مسکن اجتماعی مورد مطالعه [90] ۸۶
شکل (۱- ۵۵) نمایش دما و ساعات آسایش یا عدم آسایش حرارتی در یکی از هفته های گرم تابستان [90] ۸۷
شکل (۱- ۵۶) نمایش دما و ساعات آسایش یا عدم آسایش حرارتی در یکی از هفته های سرد زمستان [90] ۸۸
شکل (۲- ۱) یک نوع رایج سازه چوبی پایه و تیر [۴] ۱۰۵

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۲- ۲) اتصالات گوشه بامبو جدید که برای ساخت خانه مناسب است [۵]..... ۱۰۶
شکل (۲- ۳) مثال هایی از صفحات گسترده بافته شده از بامبو [۵]..... ۱۰۷
شکل (۲- ۴) انواع مختلف اتصالات بامبو: A- اتصالات گاست پلیت- B- اتصال ITCR- C- پایه بتنی پیش قالب شده- D,F: اتصالات سنتی که با بستن ایجاد شده. E: اتصال سرتاسری..... ۱۰۸
شکل (۲- ۵) پارامترهای تست جمع شدگی میله..... ۱۱۵
شکل (۲- ۶) مقایسه انرژی ذخیره شده توسط آب مایع (ذخیره گرمای محسوس) با انرژی ذخیره شده (محسوس + نهان) توسط اکتادسان (PCM با نقطه ذوب ۲۸ درجه سانتیگراد) در محدوده دمایی ۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد [۹]..... ۱۲۲
شکل (۲- ۷) انواع حالات PCM های ترکیبی با مصالح ساختمان [۱۵]..... ۱۲۶
شکل (۲- ۸) تصاویر PCM های میکرو و ماکرو انتخاب شده در مطالعات مختلف. بالا: PCM های میکروکپسوله که با عایق های فیبری ترکیب شده اند، وسط: PCM با اندازه میلیمتر که دارای بسته های HDPE است که با عایق فیبری ترکیب شده است، پایین: PCM با بسته بندی ماکرو دارای اساس بیوشیمیایی در کارکرد پشت بام [۱۲]..... ۱۲۷
شکل (۲- ۹) افزایش گرمای نهان برای ساختمان دارای سیستم PCM..... ۱۲۹
شکل (۲- ۱۰) مقطع عرضی و طولی مبدل حرارتی..... ۱۳۰
شکل (۲- ۱۱) سیستم کفسازی متخلخل که از پلاستیک بازیافتی ساخته شده است (برای تامین دسترسی ویلچر به پارک ها و زمین های بازی عالی است)..... ۱۳۳
شکل (۲- ۱۲) سیستم زهکشی پیش ساخته بااستفاده از تراشه های EPS بجای شن..... ۱۳۵
شکل (۲- ۱۳) قالب دائمی برای دیوارهای بتنی درجا که از فوم پلاستیک سخت ساخته شده است..... ۱۳۵
شکل (۲- ۱۴) بلوک های بتنی دارای فوم های الحاقی..... ۱۳۶
شکل (۲- ۱۵) تیرچه با جان باز چوبی و فولادی..... ۱۳۷
شکل (۲- ۱۶) الوار مرکب که از چوب ضایعاتی ساخته می شود..... ۱۳۸
شکل (۲- ۱۷) پانل های سازه ای ساختمان..... ۱۳۹
شکل (۲- ۱۸) عایق بندی بااستفاده از روزنامه های بازیافتی..... ۱۴۰
شکل (۲- ۱۹) پنجره دوجداره به همراه لایه هایی که فضای خالی اضافی را ایجاد کرده و محافظت از UV را برقرار می سازند..... ۱۴۲
شکل (۲- ۲۰) تغییر شرایط اقلیمی اطراف ساختمان بسته به موقعیت آن [۱۹]..... ۱۴۴
شکل (۲- ۲۱) زمین مناسب برای ساختمان براساس نواحی اقلیمی مختلف. (a) شرایط آب و هوایی در اطراف یک قله و (b) سایت های ترجیحی ساختمان دراطراف یک قله در پاسخ به شرایط آب و هوایی برای ساختمان هایی که پوشش آن ها تعیین کننده است [۲۱]..... ۱۴۵
شکل (۲- ۲۲) سایت پلان مجموعه مسکونی بوم شناختی London-BedZED [۲۵]..... ۱۴۶
شکل (۲- ۲۳) رابطه شکل ساختمان و سطح آن [۲۷]..... ۱۴۷
شکل (۲- ۲۴) زون بندی فضاها [۳۲]..... ۱۴۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۲- ۲۵) روش های چشم انداز که برای چهار اقلیم مختلف مناسب هستند. (a) کاشت عمومی درخت در بیشتر مناطق کشور، (b) روش های چشم انداز برای اقلیم معتدل. بادشکن در سمت شمالی ساختمان نباید دورتر از چهار برابر ارتفاع آن ساختمان باشد، (c) روش های چشم انداز برای اقلیم های بسیار سرد، (d) روش های چشم انداز برای اقلیم های گرم و خشک و (e) روش های چشم انداز برای اقلیم های خشک و مرطوب [۲۱] ۱۵۱
شکل (۲- ۲۶) شکل شماتیک سیستم افزایش حرارت مستقیم [۴۴] ۱۵۳
شکل (۲- ۲۷) شکل شماتیک افزایش و ذخیره حرارت بصورت مستقیم [۴۲] ۱۵۳
شکل (۲- ۲۸) شکل شماتیک افزایش حرارت غیرمستقیم [۴۲] ۱۵۳
شکل (۲- ۲۹) شکل شماتیک فضای خورشیدی [۴۲] ۱۵۳
شکل (۲- ۳۰) استفاده از پنجره ها و درب ها برای تهویه مقطعی ساختمان [۴۶] ۱۵۴
شکل (۲- ۳۱) یک فن در در تمام ساختمان عمل می کند [۴۶] ۱۵۴
شکل (۲- ۳۲) انتقال هوا در تهویه مکشی[۴۷] ۱۵۴
شکل (۲- ۳۳) خنک سازی تشعشعی از سقف ساختمان [۴۸] ۱۵۵
شکل (۲- ۳۴) خنک سازی تبخیری [۴۶] ۱۵۵
شکل (۲- ۳۵) حرکت هوا در ورودی شرقی ساختمان اداری [۴۹] ۱۵۶
شکل (۲- ۳۶) پانل های فوتوولتایک که در ساختمان ها استفاده شده اند [۵۴] ۱۵۷
شکل (۲- ۳۷) توربین های بادی که در ساختمان مورداستفاده قرار گرفته اند [۵۷] ۱۵۸
شکل (۲- ۳۸) شکل های استفاده از لوله های حرارتی درون زمین [۵۹] ۱۵۹
شکل (۲- ۳۹) سیستم های روشنایی روز بااستفاده از نورمستقیم خورشید [۶۴] ۱۶۱
شکل (۲- ۴۰) تصویری از مجتمع مسکونی مدیران دادگاه Wilmar و کلیسای Wilmar Heights [۷۰] ۱۶۴
شکل (۲- ۴۱) فناوری انرژی خورشیدی لوله تخلیه شده (۲۴ واحد) که در بالای پشت بام دادگاه Wilmart نصب شده است [۷۰] ۱۶۴
شکل (۲- ۴۲) نمونه ساختمان Greenbrook [۷۰] ۱۶۵
شکل (۲- ۴۳) خانه قبل از بازسازی (چپ) و پس از بازسازی (راست) [۷۰] ۱۶۶
شکل (۲- ۴۴) ساختمان صلح احمدیه واقع در تورنتو شمالی، اونتاریو، کانادا- همانطور که در تصویر مشخص است سیستم PV در دیوارهای ضلع جنوبی آن نصب شده است [۷۱] ۱۶۷
شکل (۲- ۴۵) کاهش سالیانه CO2 در هر خانه که ازطریق روش Green First بدست آمده است [۷۳] ۱۶۹
شکل (۲- ۴۶) رشد تعداد خانه های سبز انرژی صفر [۷۳] ۱۶۹
شکل (۲- ۴۷) تعداد درختانی که سالانه کاشته شده اند [۷۳] ۱۷۲
شکل (۲- ۴۸) سیستم فوتولتایک در پشت بامی در Maryland [۷۴] ۱۷۴
شکل (۲- ۴۹) قیمت جهانی مدول فوتولتایک به ازای هر وات توان و مقدار تجمعی انرژی حاصل شده بر حسب مگا وات توان ۱۹۸۰-۱۹۹۹ [۷۴] ۱۷۵
شکل (۲- ۵۰) رشد بازار جهانی فوتولتایک شبکه ای [۷۴] ۱۷۵

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۲- ۵۱) برقراری تعادل سیستم فوتولتایک [۷۴] ۱۷۶
شکل (۲- ۵۲) مسیرشکست همراه با سرمایه گذاری آموزش برای فوتولتایک [۷۴] ۱۷۶
شکل (۲- ۵۳) مثالی از سیستم محصول برای LCA [۸۲] ۱۸۰
شکل (۲- ۵۴) مثالی از مجموعه ای از فرآیندهای واحد داخل یک سیستم محصول [۸۲] ۱۸۰
شکل (۲- ۵۵) مثالی از اجزای سیستم محصول مقایسه اثرات محیط زیستی دو نوع تولید بطری آب آشامیدنی ۱۸۱
شکل (۲- ۵۶) مراحل انجام LCA [۸۲] ۱۸۲
شکل (۲- ۵۷) مراحل چرخه عمر [۸۳] ۱۸۴
شکل (۲- ۵۸) انواع مرزهای سیستم [۸۳] ۱۸۵
شکل (۲- ۵۹) فرآیندهای ساده شده برای ارزیابی فهرست داده ها [۷۹] ۱۸۶
شکل (۲- ۶۰) المان های مرحله LCIA [۷۹] ۱۸۹
شکل (۲- ۶۱) مرز سیستم LCA که در این مطالعه استفاده شده است [۸۱] ۱۹۴
شکل (۲- ۶۲) تفاوت دو روش ساخت ساختمانهای دولار؛ روش حجمی و روش غیرحجمی ۲۰۰
شکل (۲- ۶۳) یکی از خوابگاههای دانشجویی دانشگاه کاردیف انگلستان ساخته شده در سال ۱۹۹۰ ۲۰۴
شکل (۲- ۶۴) پروژه خیابان للی در منطقه فولام شهر لندن، ساخته شده در سال ۲۰۰۳ ۲۰۵
شکل (۲- ۶۵) پروژه مسکونی-تجاری شرکت OPAL در شهر منچستر ۲۰۵
شکل (۲- ۶۶) نمونهای از ساختمانهای مدولار جدید در کشور ژاپن ۲۰۶
شکل (۲- ۶۷) مدرسه ساخته شده در شهر سئول کشور کره، در این پروژه از مدولهایی با دیوارههای باز استفاده شده است ۲۰۷
شکل (۲- ۶۸) ساختمان ۱۶ طبقه ساخته شده در شمال لندن ۲۰۸
شکل (۲- ۶۹) ساختمان دو طبقه ساخته شده به روش Fixcel در کشور فنلاند ۲۰۹
شکل (۲- ۷۰) کاربرد مقاطع سبک C شکل ۲۱۰
شکل (۲- ۷۱) ساختمان ۸ طبقه در حال ساخت ولورهمپتون انگلستان که از آن برای مطالعات موردی استفاده گردید۲۱۶
شکل (۲- ۷۲) پروژه خانههای باز (OPEN HOUSE) در کشور سوئد پس از تکمیل شدن ۲۱۷
شکل (۲- ۷۳) ساختمان کارامل در نیویورک ۲۲۱
شکل (۲- ۷۴) مسکنهای اقتصادی شهر ونکوور ۲۲۲
شکل (۲- ۷۵) برج ۴۶۱ خیابان دین، نیویورک ۲۲۳
شکل (۲- ۷۶) از جرثقیل دروازهای در چاپ سه بعدی ۲۲۵
شکل (۲- ۷۷) چاپ سه بعدی بتن به روش اسکتروژن ۲۲۵
شکل (۲- ۷۸) خروج بتن از نازل چاپگر سه بعدی ۲۲۵
شکل (۲- ۷۹) شماتیک روش Contour Crafting ۲۲۶
شکل (۲- ۸۰) نمای دور و شماتیک روی CONPrint 3D ۲۲۷
شکل (۲- ۸۱) نمای نزدیک شامل نازل روش CONPrint 3D ۲۲۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۲- ۸۲) نمایی از Radiolaria ۲۲۸
شکل (۲- ۸۳) طرح مفهومی روش جدید ساخت منازل مسکونی ۲۳۰
شکل (۲- ۸۴) طرح مفهومی ساخت ساختمانهای بلند مرتبه به کمک روش چاپ سه بعدی ۲۳۰
شکل (۲- ۸۵) نمای بیرون عمارت اجرا شده به روش چاپ سه بعدی توسط شرکت WinSun ۲۳۲
شکل (۲- ۸۶) نمای کلی دیوارهای داخلی عمارت اجرا شده توسط شرکت WinSun ۲۳۳
شکل (۲- ۸۷) مسلح کردن دیوارهای عمارت اجرا شده توسط شرکت WinSun ۲۳۳
شکل (۲- ۸۸) ساختمان اجرا شده به روش چاپ سه بعدی توسط شرکت WinSun ۲۳۳
شکل (۲- ۸۹) نمایی از ساختمان اجرا شده به روش چاپ سه بعدی توسط شرکت WinSun ۲۳۴
شکل (۲- ۹۰) ساختمان اداری ساخته شده به روش چاپ سه بعدی در شهر دبی ۲۳۴
شکل (۲- ۹۱) طرح مفهومی آسمان خراش شرکت Cazza در امارات متحده عربی ۲۳۵
شکل (۲- ۹۲) سرباز خانه ارتش ایالات متحده آمریکا، ساخته شده به روش چاپ سه بعدی ۲۳۶
شکل (۲- ۹۳) نمونهای از سربازخانه ساخته شده به روش چاپ سه بعدی توسط ارتش ایالات متحده آمریکا ۲۳۶
شکل (۲- ۹۴) پل فلزی ساخته شده به روش چاپ سه بعدی در آمستردام هلند ۲۳۷
شکل (۲- ۹۵) پروژههای ساخته شده توسط شرکت WinSun ۲۳۷
شکل (۲- ۹۶) پروژههای ساخته شده توسط شرکت WinSun ۲۳۸
شکل (۲- ۹۷) پروژه اجرا شده توسط XtreeE ۲۳۹
شکل (۲- ۹۸) سیستم ساخت خودکار ARCS ۲۳۹
شکل (۲- ۹۹) سازه چند طبقه ساخته شده با سیستم LSF ۲۴۲
شکل (۲- ۱۰۰) تغییرات قیمت چوب نسبت به فولاد ۲۴۴
شکل (۲- ۱۰۱) مثالهایی از کاربرد LSF در ساختمانهای کوتاه مرتبه ۲۴۵
شکل (۲- ۱۰۲) مصالح بکار رفته در سیستم LSF ۲۴۶
شکل (۲- ۱۰۳) استراتژیهایی برای جلوگیری از پلهای حرارتی در المانهای سیستم LSF: (a) نوارهای ترمز حرارتی، (b) مقاطع فولادی سوراخ شده، (c) مقاطع با بال دندانه شده؛ i) مقطع ۱/۴ اینچی ii) مقطع ۱/۲ اینچی iii) مقایسه رفتار حرارتی ۲۵۰
شکل (۲- ۱۰۴) چند روش برای افزایش اینرسی حرارتی در ساختمانهای a LSF) عایق حرارتی خارجی، b) استفاده از مصالح پرجرم، c) استفاده از جرمها کنترل حرارتی، d) استفاده از PCM ها ۲۵۱
شکل (۲- ۱۰۵) عوامل اساسی موثر بر مصرف انرژی ساختمان [۱۶۳] ۲۵۲
شکل (۲- ۱۰۶) ساختمان اصلی هتل Traveloge در شهر لیورپول ۲۵۳
شکل (۲- ۱۰۷) ساختمان شش طبقه بیمارستان St George ۲۵۳
شکل (۲- ۱۰۸) ساختمان مرکز ترافیک شهر تهران ۲۵۴
شکل (۲- ۱۰۹) نحوه اجرای پنل ها در روش Tilt-up ۲۵۴
شکل (۲- ۱۱۰) سیستمهای سنتی ساختمانها در منطقه غرب آسیا ۲۵۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۲- ۱۱۱) آب و هوای متوسط غرب آسیا..... ۲۵۷
شکل (۲- ۱۱۲) دسته بندی پانل مانند نیها برای استفاده در پوشش خانهها ۲۵۹
شکل (۲- ۱۱۳) خانه در حال ساخت به کمک دیوارهای پوشالی..... ۲۶۰
شکل (۲- ۱۱۴) دربهای چوبی در معماری ایرانی ۲۶۰
شکل (۲- ۱۱۵) ساختمان دو طبقه ساخته شده از چوب..... ۲۶۱
شکل (۲- ۱۱۶) خانههای ساخته از رس سرخ در روستای ابیانه، ایران..... ۲۶۱
شکل (۲- ۱۱۷) خانه دو طبقه کاه گلی در روستای قرمزی داش، چالدران، ایران..... ۲۶۲
شکل (۲- ۱۱۸) تفسیر تحلیلی-مقایسهای مصالح ساختمان محلی مورد استفاده در مناطق غرب آسیا..... ۲۶۳
شکل (۲- ۱۱۹) دیوار با مصالح کوبیده شده خاک: مخلوط خاک مرطوب لایه به لایه بین دو پانل فشرده می شود و یک دیوار قالبی را شکل می دهد که با مصالح کوبیده شده خاک ساخته شده است [۴]..... ۲۶۵
شکل (۲- ۱۲۰) جریان اطلاعات رتبه بندی دستورالعمل سبز [۲۲۵]..... ۲۷۱
شکل (۳- ۱) دما در اتاق نشیمن ساختمانهای مونیتور شده به همراه دمای خارجی (LEH-A: مسکن اجتماعی دارای بهره وری انرژی A، ConD: مسکن اجتماعی معمولی (شاهد)) [۴]..... ۲۹۲
شکل (۳- ۲) مدل تحلیلی از ابعاد محیط زیستی توسعه پایدار [۴۶]..... ۳۰۸
شکل (۳- ۳) نمونه خانه رسی ساخته شده با چاپگر سه بعدی با مفهوم سازگاری با محیط زیست..... ۳۱۲
شکل (۳- ۴) میزان رضایتمندی از بخش هزینه ها [۵۷]..... ۳۲۷
شکل (۳- ۵) میزان رضایتمندی از بخش کیفیت ساخت [۵۷]..... ۳۲۷
شکل (۳- ۶) میزان رضایتمندی از بخش معماری ساخت، الف- دسترسی ها [۵۷] ۳۲۷
شکل (۳- ۷) میزان رضایتمندی از بخش معماری ساخت، ب- نور فضاها [۵۷]..... ۳۲۸
شکل (۳- ۸) میزان رضایتمندی از بخش معماری ساخت، پ- آکوستیک [۵۷] ۳۲۸
شکل (۳- ۹) میزان رضایتمندی از بخش تاسیسات برقی [۵۷]..... ۳۲۸
شکل (۳- ۱۰) میزان رضایتمندی از بخش تاسیسات مکانیکی، الف- تهویه [۵۷]..... ۳۲۹
شکل (۳- ۱۱) میزان رضایتمندی از بخش تاسیسات مکانیکی، ب- سرمایش و گرمایش [۵۷]..... ۳۲۹
شکل (۳- ۱۲) نمونه خانه های ساخته شده با مصالح محلی و مصالح مرسوم در کشور غنا [۶۵]..... ۳۳۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فهرست جداول

جدول (۱- ۱) وضعیت تولید و مصرف، صادرات و واردات انرژی ایران در قیاس با اروپا در سال ۲۰۱۶ [7]..... ۴
جدول (۱- ۲) تعریف مسکن اجتماعی در برخی کشورهای منطقه UNECE [20]..... ۲۳
جدول (۱- ۳) مدلهای خانه اجتماعی براساس تخصیص..... ۲۵
جدول (۱- ۴) ارزیابی و بازتاب برنامه های تامین مسکن قابل استطاعت در کشور آمریکا [47]..... ۴۹
جدول (۱- ۵) برنامه های عملیاتی تأمین مسکن خانوارهای کم درآمد [32]..... ۶۶
جدول (۱- ۶) مصرف انرژی سالانه مسکن اجتماعی بازطراحی شده با مفاهیم بهره وری انرژی [90]..... ۸۸
جدول (۱- ۷) مصرف انرژی سالانه مسکن اجتماعی اولیه (قبل از بازطراحی با مفاهیم بهره وری انرژی) [90]..... ۸۹
جدول (۲- ۱) طبقه بندی ذرات خاک بر اساس اندازه..... ۱۱۰
جدول (۲- ۲) پارامترهای رایج برای ارزیابی مناسب بودن خاک [۷]..... ۱۱۱
جدول (۲- ۳) دانه بندی خاک مناسب برای ساخت..... ۱۱۳
جدول (۲- ۴) PCM های آلی پارافینی که قبلاً آزمایش شده اند و خواص آنها [۱۰]..... ۱۲۳
جدول (۲- ۵) قابلیت دوام مالی سیستم های PCM [16]..... ۱۲۸
جدول (۲- ۶) هزینه مصالح تغییرفازدهنده..... ۱۳۱
جدول (۲- ۷) ویژگی های سبز کلیدی مصالح ساختمانی تاب آور [۳]..... ۱۳۲
جدول (۲- ۸) ویژگی های سبز الوار و کفپوش های پلاستیکی..... ۱۳۴
جدول (۲- ۹) ویژگی های سبز آسفالت بازیافت شده..... ۱۳۴
جدول (۲- ۱۰) ویژگی های سبز فونداسیون های عایق..... ۱۳۶
جدول (۲- ۱۱) ویژگی های سبز قاب فولادی..... ۱۳۷
جدول (۲- ۱۲) ویژگی های سبز پوشش جانبی الیاف شیمیایی..... ۱۳۸
جدول (۲- ۱۳) ویژگی های سبز آجرها و CMU ها..... ۱۴۰
جدول (۲- ۱۴) ویژگی های سبز پلی استایرن بازیافتی..... ۱۴۱
جدول (۲- ۱۵) دستاوردهای مدلسازی مجدد ذخیره و ایجاد انرژی [۷۳]..... ۱۷۰
جدول (۲- ۱۶)پیش بینی کاهش هزینه انرژی خورشیدی (برحسب ثابت دلار آمریکا در سال ۱۹۹۷) [۷۴]..... ۱۷۶
جدول (۲- ۱۷) مثال هایی از گازها و وزن معادل CO_2 آن ها..... ۱۹۰
جدول (۲- ۱۸) مثال هایی از واژگان فوق..... ۱۹۱
جدول (۲- ۱۹) خلاصه ای از محدوده ساختمان های این مطالعه..... ۱۹۴
جدول (۲- ۲۰) منابع داده های اولیه در این مطالعه..... ۱۹۶

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۲۱) ضرایب $CO2-e$ مهم برای مصالح و انرژی استفاده شده در این مطالعه..... ۱۹۶
جدول (۲- ۲۲) محتوی بازیافتی مصالح و نرخ های بازیافت استفاده شده در این مطالعه..... ۱۹۷
جدول (۲- ۲۳) برنامه های تعمیر و نگهداری که در ارزیابی های چرخه عمر برای پوشش خارجی انواع مختلف ساختمان ها در این مطالعه استفاده شده اند..... ۱۹۷
جدول (۲- ۲۴) خلاصه ای از GWP محصور و GWP انرژی بهره برداری برای ساختمان های محدوده موردمطالعه ... ۱۹۷
جدول (۲- ۲۵) شاخصهای کلیدی بررسی تاب آوری..... ۲۱۲
جدول (۲- ۲۶) معیارهای تابآوری مورد نظر آیین نامه مقرات ملی انگلستان..... ۲۱۳
جدول (۲- ۲۷) میزان امتیاز دهی و سطوح تعریف شده در مقررات ملی ساختمان..... ۲۱۳
جدول (۲- ۲۸) انرژی و کربن نهفته در مصالح ساختمانی..... ۲۱۸
جدول (۲- ۲۹) ساختار شکست انرژی و کربن نهفته در یک خانه معمولی..... ۲۱۸
جدول (۲- ۳۰) فاکتورهای کربن دی اکسید انتشار یافته بر اساس تن کیلومتر طی شده..... ۲۱۹
جدول (۲- ۳۱) کربن نهفته کل در مصالح و روند ساخت فولادهای سبک ساختمانی..... ۲۱۹
جدول (۲- ۳۲) مقدار کربن نهفته کل در مصالح و رند ساخت مدولهای بتنی پیشساخته..... ۲۲۰
جدول (۲- ۳۳) ترکیب زباله های تولید شده در چرخه عمر ساختمان برمبنای درصدی از وزن ماده..... ۲۴۷
جدول (۲- ۳۴) مقایسه رویکرد ویرایش جدید مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان با ویرایش سال ۱۳۸۹..... ۲۷۵
جدول (۳- ۱) مزایای بهره گیری از بام سبز در دستیابی به ابعاد زیست محیطی [۴۶]..... ۳۱۰
جدول (۳- ۲) وزن معیارها [۵۷]..... ۳۲۴
جدول (۳- ۳) امتیازدهی به سیستم های ساختمانی مورد بررسی برای مسکن های اجتماعی [۵۷]..... ۳۲۶
جدول (۳- ۴) ویژگی های جمعیتی پاسخ دهندگان به پرسشنامه [۶۵]..... ۳۳۱
جدول (۳- ۵) مزایای سکونت در مسکن های اجتماعی با مصالح محلی [۶۵]..... ۳۳۲
جدول (۳- ۶) مشکلات سکونت در مسکن های اجتماعی با مصالح محلی [۶۵]..... ۳۳۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فصل اول

1 معرفی موضوع و بررسی ادبیات فنی و سوابق موضوعی در زمینه مسکن اجتماعی



DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۱ معرفی موضوع، ابعاد مطالعات و تبیین ضرورت و اهمیت

۱-۱-۱ معرفی

مسکن اجتماعی (social housing) که مترادف واژه مسکن عمومی (public housing) می‌باشد، به نوع خاصی از عرضه مسکن اطلاق می شود که اساسا توسط دولت‌ها با هدف خانه‌دارکردن گروه های کم درآمد صورت می-گیرد. مسکن اجتماعی ریشه در قرن نوزدهم دارد و گروهی از کشورهای توسعه‌یافته پس از جنگ جهانی دوم این نوع مسکن را به گروه‌های کم‌درآمد و میان درآمد عرضه نمودند. این نوع مسکن به خصوص در سال های اخیر در تمامی کشورهای جهان برای دهک‌های پایین و میانی در دستور کار قرار گرفته است [1] و سازمان‌های بین المللی ازجمله بانک جهانی، صندوق بین المللی پول و سازمان جهانی اسکان بشر به عنوان بازوهای مشاوره ای و اقتصادی درصددند تا با عرضه مسکن ارزان‌قیمت این چالش جهانی را کاهش دهند؛ زیرا استطاعت پذیری مسکن یکی از مؤلفه‌های کلیدی است که به‌وسیله آن میزان ثبات اقتصادی و سطح توسعه کشور را اندازه‌گیری می‌نمایند و عمدتا به معنای توانایی و دسترسی اقتصادی گروه‌های درآمدی پایین و متوسط جامعه به مسکن متناسب با نیاز است [2] و به طور سنتی معیار سنجش آن بدین گونه است که خانوار نباید بیش از 30 درصد از درآمد سالیانه خود را صرف تامین مسکن نماید و مابقی 70 درصد به سایر نیازهای اساسی زندگی اختصاص یابد [3]. در برنامه دوم توسعه اقتصادی و اجتماعی ایران نیز مسکن اجتماعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است و مسکن اجتماعی را چنین تعریف می کند: "این نوع مسکن عمدتا مترتب بر اهداف اجتماعی احداث گشته و بر اساس حداقل های قابل قبول، احیانا پایین تر از استانداردهای الگوی مصرف مسکن تولید می شود. بهره برداران از این نوع مسکن زوج های جوان، اقشار کم درآمد، خانواده های بی سرپرست و سایر موارد مشابه که توان خرید با توانایی تامین مسکن متناسب در بازار را ندارند، می باشد".

علی رغم این‌که تعریف مسکن اجتماعی در کشورهای مختلف و زمان‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است، مولفه-های اشتراکی نیز در تعریف مسکن اجتماعی وجود دارد که آن را از دیگر انواع مسکن متمایز می سازد. به‌طور کلی مسکن اجتماعی نوعی از مالکیت مسکن است که در آن مالک دولت‌های ملی- محلی و یا سازمان‌های غیر انتفاعی هستند که مسکن مورد نظر را بصورت استیجاری در اختیار گروه‌های هدف سیاستگذار قرار می‌دهند. نرخ اجاره بها در این گونه مساکن پایین تر از متوسط نرخ اجاره بها در بازار آزاد است. اما در دهه های اخیر با توجه به افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری اینگونه از واحدها برخی از کشورها نیز به سمت ساخت مسکن ملکی با استفاده از شیوه های مشارکتی با بخش خصوصی رفته اند. در واقع علی رغم تفاوت‌هایی که در تعریف مسکن اجتماعی در کشورهای مختلف دنیا وجود دارد، تمامی این مسکن‌ها از سه حالت زیر برخوردار بوده اند [4]:

- عرضه بن اجاره در بازار اجاره خصوصی
- ارائه به صورت استیجاری در بازار زیر قیمت بازار
- عرضه به گروه های هدف تعیین شده توسط سیاست گذار

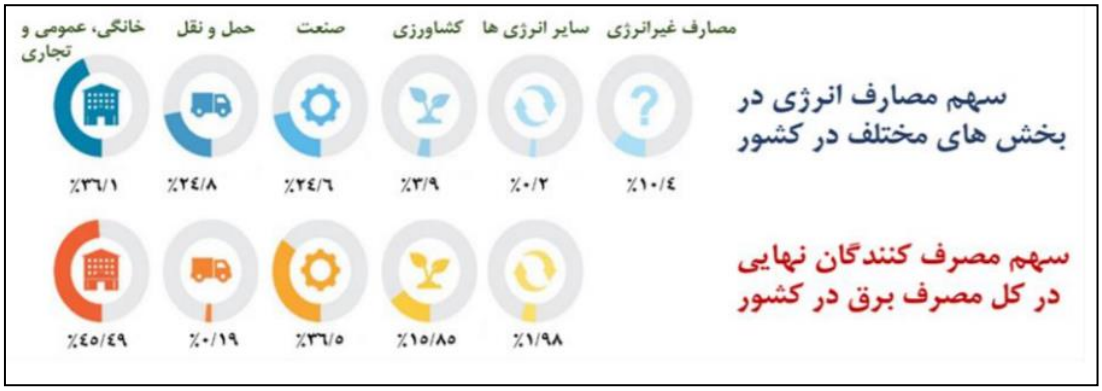
در اصل سی و یک قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران نیز آمده است: :دسترسی به مسکن مناسب حق هر خانواده ایرانی است". مسکن در اینجا یکی از هدف‌های مهم اجتماعی به شمار می‌رود. باید توجه داشت که عدم توانایی یک کشور برای تامین مسکن شهروندان تبعات سنگینی داشته و سبب ناآرامی و ناپایداری اجتماعی می-

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

گردد [5]. هم چنین بر اساس گزارشی در عربستان صعودی، کمبود مسکن مناسب، بزرگترین چالش اجتماعی-اقتصادی ای است که کشورهای در حال توسعه در سال‌های آتی با آن مواجه خواهند شد [6]. به همین علت اهمیت مسکن و لزوم بررسی و فراهم نمودن زمینه‌های دسترسی به آن از مواردی است که دولت‌ها باید در برنامه-های خود و در ارتباط با هدف‌های اجتماعی منعکس ساخته و جایگاه ویژه‌ای به آن اختصاص دهند. گرچه باید توجه داشت که توسعه مسکن های اجتماعی باید با برنامه‌ریزی صحیح و توجه به جنبه‌های مختلف متاثر صورت گیرد. در دومین اجلاس اسکان بشر ۶۹۹۱ که در استانبول برگزار شد، مسکن مناسب چنین تعریف گردید: "سرپناه مناسب تنها به معنای وجود یک سقف بالای سر شخص نیست؛ سرپناه مناسب یعنی آسایش مناسب، فضای مناسب، دسترسی فیزیکی و امنیت مناسب، امنیت مالکیت، پایداری و دوام سازه ای، روشنایی، تهویه و سیستم گرمایی مناسب، زیر ساخت‌های اولیه مناسب از قبیل: آبرسانی، بهداشت و آموزش، دفع زباله،کیفیت مناسب زیست محیطی، عوامل بهداشتی مناسب، مکان مناسب و قابل دسترسی از نظر کار و تسهیلات اولیه است،که همه این موارد با توجه به استطاعت مردم تامین می شود.

با توجه به این که بیش ترین مصرف انرژی در کشور مرتبط با بخش ساختمان می باشد (بین ۳۶ تا ۴۰ درصد، شکل (۱- ۱)) [7]، توجه به بهره وری انرژی در توسعه مسکن های اجتماعی برای اقشار کم درآمد مساله‌ای است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان در کشورهای مختلف قرار گرفته و نیاز به پژوهش در این زمینه و ارائه الگوهای مناسب در کشورمان نیز به شدت احساس می شود. دلیل این امر آن است که:

- از یک سو توجه به کاهش مصرف انرژی از طریق به کارگیری سیستم‌ها و روش های بهره وری انرژی، از دیدگاه کلان به مراتب هزینه کم تری نسبت به هزینه های تولید، انتقال و توزیع انرژی خواهد داشت که منجربه مزایای عمده ای در بخش های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز می گردد.
- از طرفی، کاهش هزینه های انرژی برای اقشار کم درآمد، استطاعت آن ها را برای اجاره یا خرید این نوع مسکن ها بهبود می بخشد. به گونه ای که در سطح دنیا از مسکن اجتماعی با مفهوم "خانه قابل استطاعت" و نه صرفا "خانه ارزان قیمت" تعبیر می گردد.
- امکان بالقوه صرفه جویی انرژی در بخش ساختمان بیش از بخش‌های حمل و نقل و صنعت است. در این زمینه می‌توان به آلمان و سوئد به عنوان کشورهای پیشرو در کاهش تولید گازهای گلخانه ای اشاره کرد که برای بهینه سازی مصرف انرژی، بر اصلاح بخش ساختمان تاکید کرده اند.



شکل (۱- ۱) نمودار توزیع سهم مصارف انرژی و برق در بخش‌های مختلف کشور [7]

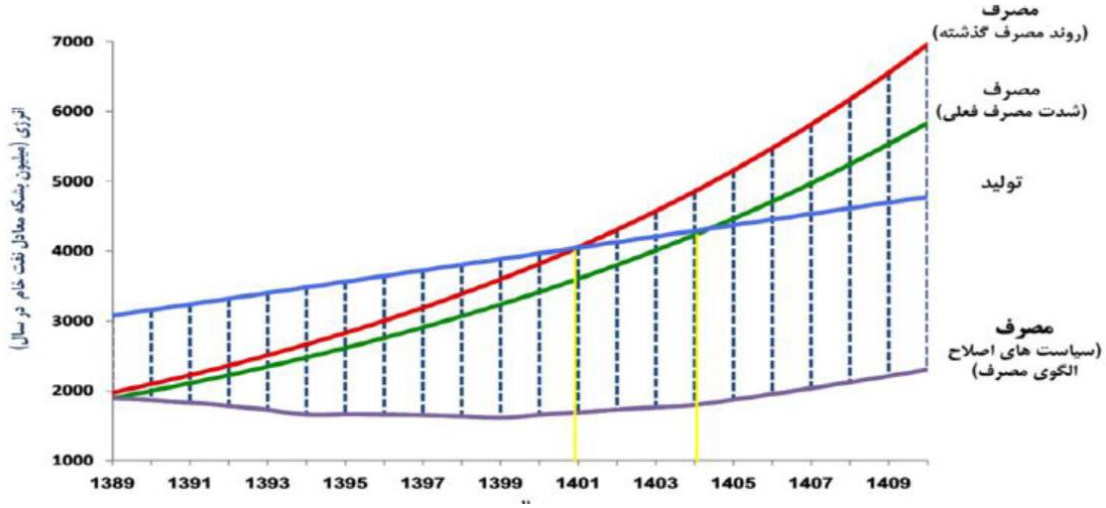
DOI: 10.30503/nripress.2020.341

میزان مصرف انرژی در دنیای امروز یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی عملکرد کشورها و دولت هاست. این شاخص از دو جهت مورد توجه قرار می گیرد؛ نخست از آن جهت که حجم و مقدار انرژی مصرفی در مجموع واحدهای تولیدی یک کشور نشان دهنده تعداد واحدهای فعال، حجم عملیات تولیدی و با تقریب های مشخصی نشان دهنده حجم سرمایه گذاری های صورت گرفته است. اما شاخص میزان مصرف انرژی از جنبه دیگری هم می تواند ملاک قضاوت در مورد وضعیت اقتصادی بنگاه ها در سطح کلان یک کشور باشد؛ به این ترتیب که هرچه نسبت میان مصرف و مصرف کنندگان از بزرگی بیش تری برخوردار باشد، بهره‌وری انرژی در آن کشور کم‌تر می‌باشد [7]. گزارش‌های منتشر شده نشان می دهند که مصرف سرانه انرژی در ایران نسبت به کشورهای توسعه یافته بیش‌تر می باشد. متوسط مصرف سالانه انرژی در ایران در سال ۲۰۱۱ در حدود ۲۲۸ میلیون تن معادل نفت خام برآورد شده است که با این مقدار مصرف در رتبه یازدهم جهان بعد از فرانسه و کره جنوبی قرار دارد [8]. در جدول (۱- ۱) مقایسه ای بین وضعیت تولید و مصرف و نیز صادرات و واردات انرژی بین ایران و اروپا انجام شده است:

جدول (۱- ۱) وضعیت تولید و مصرف، صادرات و واردات انرژی ایران در قیاس با اروپا در سال ۲۰۱۶ [7]

	سرانه اروپا (کیلووات ساعت)	سرانه ایران (کیلووات ساعت)	کل (میلیارد کیلووات ساعت)
مصرف انرژی	۵۷۹۱,۲۸	۲۶۳۲,۸	۲۱۸
تولید انرژی	۶۱۶۲,۶۳	۳۱۱۵,۸۸	۲۵۸
واردات انرژی	۶۰۸,۵۸	۴۵,۸۹	۳,۸
صادرات انرژی	۶۱۳,۶۲	۱۱۷,۱۵	۹,۷

با توجه به روند رو به رشد مصرف کنونی انرژی [7]، می‌توان دریافت که به دلیل رشد میزان مصرف انرژی در قیاس با تولید انرژی در کشور، در آینده بسیار نزدیک میزان مصرف انرژی در کشور از میزان تولید آن فراتر رفته و کشور ما از یکی از بزرگ ترین صادرکنندگان حامل‌های انرژی به وارد کننده انرژی تبدیل خواهد شد. این موضوع در شکل (۱- ۲) نشان داده شده است؛ اگر شدت مصرف انرژی در کشور به همین صورت ادامه پیدا کند، در سال ۱۴۰۴ شدت مصرف انرژی و تولید برابر شده و عملا به وارد کننده انرژی تبدیل خواهیم شد.

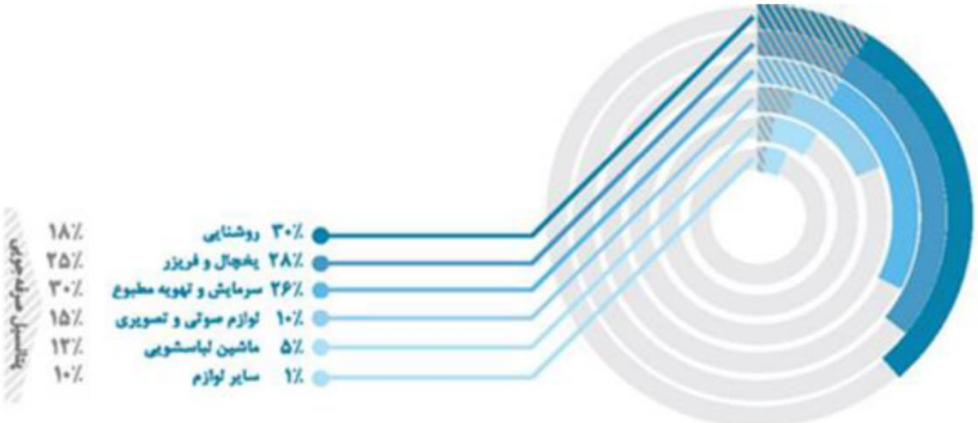


شکل (۱- ۲) چشم انداز تولید و مصرف انرژی ایران درآینده [7]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

وضعیت مصرف انرژی در بخش ساختمان: بیش ترین میزان مصرف انرژی (حدود ۳۶ الی ۴۰ درصد) در کشور مربوط به بخش ساختمان می باشد. از این رقم ۵۰ درصد به روش‌های مختلف هدر می‌رود و بیش‌ترین سهم اتلاف انرژی در ساختمان مربوط به ساختمان‌های عمومی و دولتی است. در شرایط کنونی ایران با جمعیت در حدود ۸۰ میلیون نفر معادل کشوری با جمعیت یک میلیارد نفر انرژی مصرف می‌کند که بیش‌ترین میزان اتلاف انرژی مربوط به بخش ساختمان است. موسسه مطالعات بین المللی انرژی هم با اشاره به وضعیت غیربهره‌ور مصرف انواع حامل‌های انرژی در ایران اعلام کرده است که اگر در راستای اصلاح الگوی انرژی قیمت حامل‌های انرژی در ایران واقعی شود، پتانسیل کاهش مصرف انرژی در حدود ۴۷ درصد مصرف کنونی وجود دارد. بر این اساس و با نگاهی به آمارها مشخص می‌شود که در بخش ساختمان به تنهایی مصرف انرژی ایران ۲/۵ تا ۴ برابر استانداردهای جهانی گزارش شده است [9]. با اجرای راهکارهای کم هزینه و نیز اعمال استانداردهای تدوین شده و با اجرای مصوبه و دستورالعمل‌های بخش ساختمان کشور، به طور متوسط می توان تا ۳۰ درصد از مصرف انرژی در این بخش را کاهش داد که از اهداف این پروژه با تمرکز بر راهکارهای اجرایی در مسکن‌های اجتماعی می‌باشد.

وضعیت مصرف برق در بخش ساختمان: مشترکان خانگی با توجه به تعداد آن ها و افزایش روزافزون لوازم الکتریکی خانگی سهم قابل توجهی از مصارف برق را به خود اختصاص داده اند. متوسط مصرف سرانه برق خانگی در ایران ۲۹۰۰ کیلووات ساعت است، در حالی که متوسط مصرف جهانی کم تر از ۱۰۰۰ کیلووات ساعت است. بدین ترتیب متوسط مصرف سرانه برق خانگی در کشور ما سه برابر متوسط جهانی است. به عبارتی دیگر، برق مصرفی توسط خانوارهای ایرانی با در نظر گرفتن استانداردهای جهانی پاسخگوی ۲۰۰ میلیون نفر جمعیت است. کارشناسان اقتصادی معتقدند اگر تنها ۱۰ درصد صرفه جویی در برق مصرفی خانوارها داشته باشیم، می توان از محل صرفه جویی ها شش نیروگاه ۸۰۰ مگاواتی در سال راه اندازی نمود. در شکل (۱- ۳) سهم هریک از لوازم برقی و روشنایی از مصرف برق خانگی نشان داده شده است.



شکل (۱- ۳) سهم لوازم برقی و روشنایی از مصرف برق خانگی [7]

با توجه به اهمیت بهره‌وری انرژی که در بالا مقدمه ای در مورد آن ارائه گردید و نیز توجه به این موضوع که مسکن‌های اجتماعی درصد قابل توجهی از بخش ساختمان در هر کشور را شامل می گردد، توجه به روش‌ها و تکنولوژی های بهره‌وری انرژی که سازگار با این نوع ساخت و ساز باشد، به گونه‌ای که با کمی افزایش در هزینه ساخت موجب کاهش هزینه های انرژی در طول عمر این ساختمان‌ها (از لحظه تولید تا بهره‌برداری و سپس پایان عمر ساختمان) گردد، دارای مزایای عمده‌ای به شرح زیر می باشد:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

أ. کاهش هزینه های انرژی در مقیاس کلان (در آمریکا ۱۹٪ درآمد سالانه را به خود اختصاص می دهد)
ب. کاهش تکیه بر برنامه های کمکی دولت در تامین هزینه های انرژی (تغییر سیاست های دولت برای این گروه آسیب پذیر است)
ت. افزایش توان خرید یا اجاره خانه برای اقشار کم درآمد (خانه ارزان قیمت لزوما به معنای خانه قابل استطاعت نیست)
ث. کاهش ریسک مربوط به تخلیه اجباری مسکن (بر اساس آمار سال ۱۹۹۷ ایالت مینه سوتا آمریکا، ۲۶٪ تخلیه های اجباری به دلیل به تعلیق درآمدن کنتور برق و گاز، بوده است)
ج. افزایش ارزش ساختمان های اجتماعی (نوید بخش کاهش هزینه های انرژی برای خریداران این خانه‌ها)
ح. کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و دیگر اثرات زیست محیطی
خ. افزایش مزایای اقتصادی به وسیله ایجاد شغل و توسعه بازارهای مرتبط با صرفه جویی انرژی
د. بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان
ذ. افزایش آسایش ساکنین (کنترل رطوبت زیرزمین، کنترل کف های سرد و گردش باد، کنترل رطوبت بر روی پنجره‌ها)
ر. نشان دادن لیدرشیپ

گزارش حاضر مربوط به مرحله اول پروژه "امکان سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره وری انرژی" بوده که عمدتا به روش‌ها و سیاست‌های توسعه مسکن اجتماعی در ایران و سایر نقاط دنیا می‌پردازد. به این ترتیب که در این گزارش، پس از بیان مقدمه‌ای در مورد مسکن اجتماعی، تاریخچه آن و نیز اهمیت ساخت و توسعه مسکن‌های اجتماعی از بعد فنی و نیز دیدگاه کلان کشور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. سپس مطالعه جامعی در مورد نمونه های اجرا شده مسکن اجتماعی در سراسر دنیا و نیز کشور ایران انجام خواهد شد. به علاوه پروژه‌های تحقیقاتی برای نسل جدید مسکن‌های اجتماعی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در انتهای مرحله اول نیز دستورالعمل های موجود در این زمینه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در مرحله دوم پروژه که در گزارش آتی ارائه خواهد شد، ابتدا جایگاه و اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در اسناد بالادستی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا ضرورت تحقیق در این زمینه از دیدگاه کلان تبیین گردد. سپس مطالعات جامعی در مورد مصالح، طرح‌های سازه‌ای و معماری و نیز روش‌های اجرایی مرتبط با کاهش مصرف انرژی در پروسه تولید، ساخت و بهره‌برداری ساختمان‌ها انجام خواهد شد. با توجه به گستردگی موضوع در این زمینه، تمرکز پروژه بیش‌تر بر روی روش‌ها و تکنیک‌هایی خواهد بود که قابل استفاده در ساختمان‌های ارزان قیمت باشد. هم چنین در این مرحله، الزامات مرتبط با صرفه جویی و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها شناسایی خواهد شد. در مرحله سوم پروژه نیز ابعاد مختلف توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی شامل بعدهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست محیطی و پارامترهای موثر بر آن‌ها به صورت کلی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. سپس با توجه به مطالعات انجام شده در گام‌های قبل و نیز بررسی ابعاد مختلف موضوع، به بررسی مزایا و معایب ساخت این گونه مسکن‌ها در کشور و نیز ارائه یک تابع اولویت بندی و انتخاب پرداخته خواهد شد. در انتهای پروژه نیز به منظور تسریع و نیل به اهداف پروژه در زمینه توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی و نیز تعیین مسیر روشن برای محققین، فهرستی از طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با موضوع پژوهش پیشنهاد خواهد شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۱-۲ تعریف مسکن

مسکن معادل کلمه لاتین Housing به عنوان یک پناهگاه است و به یک دستاورد یا فرآیند گفته می شود که در برگیرنده فضای فیزیکی درون و بیرون از ساختمان ها است که خانواده ها در آن زندگی و رشد می کنند و سپس رو به زوال می‌روند [10] و [11]. مسکن چیزی بیش از یک سرپناه صرفا فیزیکی است و شامل همه تسهیلات عمومی و ضروری برای بهتر زندگی کردن انسان می شود [12]. مسکن حاصل توسعه اشکال اولیه سرپناه است و با جنبه های مختلفی از زمینه اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مرتبط است. مهم ترین واژه های مترادف مسکن درادبیات ایران شامل سرپناه، خانه، سرا، منزل، بیت، اطاق، چادر، خیمه، آلاچیق، کلبه، سراچه، باب، بنا، خانه سرا، دار، کده (دهکده) و خانه است [13]. از بررسی مفهوم دو واژه سرپناه و خانه که معادل مسکن در نظر گرفته شده می توان نتیجه گرفت مسکن دارای مفهومی محیطی است که معنایی فراتر از سرپناه و خانه دارد و در این مرتبه نیازمند ابزاری است که به پیوند بین زندگی، خانواده و محیط منجر شود.

۱-۱-۳ اقشار کم در آمد

کاستللو در کتاب شهرنشینی در خاورمیانه، گروه های کم درآمد شهری را شامل بعضی از صنعتگران، کارگران، مزد بگیران و بیکاران می داند به طوری که اعضای این گروه ها، اکثریت جمعیت را تشکیل می دهند و مشکلاتی از قبیل میزان بالای مرگ و میر، باروری بالاتر از سایر گروه های اجتماعی و بار تکفل اقتصادی بیشتر در میان آنان مشترک است و متوسط درآمد و میزان سوادشان هم پایین است. اکثراً منشأ روستایی دارند و نسل اول یا دوم مهاجران روستایی هستند. این گروه ها، هنوز آگاهی طبقاتی چندانی ندارند، همان گونه که چنین آگاهی در شهر ما قبل صنعتی نیز وجود نداشت [14]. اقشار کم درآمد تحت عناوینی همچون اقشار فقیر، اقشار آسیب پذیر و اقشار ضعیف تعریف می گردند. ملاک ها و معیارهای مختلفی برای تعیین این اقشار، از سوی سازمان ها، مراکز تحقیقاتی و صاحب نظران به کار برده می شود که هر کدام از آنها از دریچه ای خاص به موضوع می نگرند. اساس تمام این تقسیم بندی ها بر مبنای خط فقر قرار دارد [15]. در واقع گروه های کم درآمد به معنای آن دسته از جمعیت است که در هر ماه درآمدی کمتر از خط فقر، یا مساوی مبلغ اعلام شده خط فقر یا کمی بیش از آن گاه با رنج و تحقیری جانکاه به دست می آورند [16]. عده ای از صاحبنظران در برآورد نیازهای سکونتی و طبقه بندی نیازمندان از مدل های پیچیده ای استفاده نموده‌اند که شاخص‌های مهم آن را می‌توان چنین خلاصه نمود:

أ. خانوارهای بدون سرپناه
ب. خانوارهائی که به اجبار با خانواده دیگری در یک واحد مسکونی به سر می‌برند
ت. خانوارهائی که نیاز دارند ساختمان‌های بدون شلوغی واحدهای مسکونی داشته باشند
ث. خانوارهائی که نیاز به تعمیرات یا تعویض ساختمان دارند

۱-۱-۴ مسکن اقشار کم درآمد

به طور کلی موفقیت برنامه ریزی برای تأمین مسکن اقشار کم درآمد، منوط به دو ویژگی جامعیت این برنامه ریزی و سازگاری آن با شرایط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و اقلیمی منطقه است. جامعیت آن از دو مورد زیر به دست می آید :[16]

۱- همسویی نظام مند یا سیستماتیک با دیگر برنامه های توسعه

۲- در نظرگیری تمام گروه‌های ذینفع در برنامه و سازگاری برنامه ریزی مسکن با شرایط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و اقلیمی منطقه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

دیدگاه های موجود در رابطه با مسئله مسکن گروه های کم درآمد را می توان به چهار دسته کلی زیر تقسیم نمود [17]:

أ. **دیدگاه خنثی و منفعل:** در این نگرش، مسئولان و مدیران شهری پدیده مسکن فقرا در جهان سوم را نادیده می انگارند. این رهیافت که با نگرشی لیبرالی و تشابه سازی تاریخی با مراحل توسعه ای جوامع توسعه یافته، مسأله نابسامانی مسکن فقیران را پدیده ای گذرا و میرا تلقی می کند و از اینرو خواهان رها سازی آن به ساز و کارهای بازار است و انتظار دارد که با گذر زمان و دست یافتن به توسعه، این معضل دیگر وجود نداشته باشد.

ب. **دیدگاه تخریب و برخورد قهرآمیز:** این دیدگاه سعی در ریشه کن کردن مسأله مسکن فقرا دارد. این رهیافت در واقع صورت مسأله را پاک کرده و به جابجایی جغرافیایی مسائل باقیمانده توجه ندارد، این شیوه بیش از هر شیوه ی دیگری در برخورد با پدیده ی مسکن گروه های کم درآمد شهری (به ویژه زاغه ها) در سطح جهان به اجرا گذاشته شده است.

ت. **دیدگاه بنیادگرا:** در این رهیافت تصور بر این است که تا نظام کلان اصلاح نشود نظام های خرد قابل اصلاح نیستند و در واقع درگیر بهبود وضعیت اجتماعات ساکن در سکونتگاه های فقیرنشین نشده و به سازماندهی اجتماعی برای جنبش های سیاسی تکیه می کند و از این رو باز هم مانند رهیافت اول، آنها را به حال خود رها کرده تا زمانی که ساز و کارهای فقرزا و ناعادلانه جامعه نابود شوند.

ث. **دیدگاه اصلاح طلب:** این رهیافت هر چند به ضرورت برقراری عدالت اجتماعی و تعادل های منطقه ای برای تأمین مسکن همگانی و کاهش مهاجرت های ناشی از فقر مناطق باور دارد اما برای کوتاه مدت و میان مدت به حل مشکل از طریق قبول واقعیت آن در پرداختن به توان های موجود در آن کوشش می کند و بیش از اصرار بر تغییری ناگهانی در سطح کلان، تحول تدریجی در سطح خرد را چاره ساز می داند. بنابراین طبق این رهیافت نباید پرداختن به راه حل های ساختاری، به قیمت غفلت از رنج و فقر موجود در این اجتماعات تمام شود.

۱-۱-۵ سیاست های موجود مسکن گروه های کم درآمد در جهان

۱-۱-۵-۱ سیاست زمین و خدمات

در این روش دولت به جای سرمایه گذاری در ساخت و ساز، زیرساخت های لازم برای مجموعه های زیستی، یعنی زمین و تأسیسات شهری را فراهم می نماید و افراد خانوار به تدریج اقدام به ساخت و تکمیل واحد مسکونی می نمایند. در این روش مسکن به یکباره ساخته نمی شود، بلکه به تدریج مسکن و محیط شکل می گیرد. دولت سازنده و تأمین کننده مسکن نیست، بنابراین از گروه های بیشتری می تواند حمایت نماید.

۱-۱-۵-۲ توانمند سازی

از نیمه دوم دهه 1981 میلادی راهبرد توانمندسازی به همراه ارتقاء یا بهسازی محیط های موجود در پیش گرفته شد. راهبرد توانمندسازی بر بسیج تمامی امکانات بالقوه، منابع و تمامی عوامل برای ایجاد مسکن و بهبودی در شرایط زندگی جوامع فقیر تأکید دارد و به مردم این فرصت را می دهد که شرایط خانه و محل زندگی خود را با توجه به اولویت ها و نیازهایشان بهبود بخشند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۱-۱ اعطای کمک های مالی

رایج ترین سیاست دولت ها برای تأمین مسکن، اعطای کمک های مالی است. سیاست گذاری در زمینه تأمین وام و اعتبار، از مؤلفه های استراتژیک در برنامه تأمین سرپناه به شمار می آید و دولت ها معمولاً در جهت ایجاد بستری مناسب برای ارائه و فراهم آوردن امکانات دسترسی به آنها (منابع مالی) تلاش هایی را سازمان می دهند.

۴-۵-۱-۱ سیاست های معطوف به تامین مالی مسکن

این سیاست ها در تلاش هستند تا از طریق افزایش توان مالی، خانوارهای کم درآمد شهری را وارد تقاضای مؤثر بازار نمایند. در این روش دولت تنها تأمین کننده سرمایه لازم برای مسکن است که آن را عمدتاً به صورت وام در اختیار گروه های کم درآمد شهری قرار می دهد. نحوه بازپرداخت وام و شرایط استفاده کنندگان با توجه به گروه های هدف سیاست ها تعیین می گردند.

۵-۵-۱-۱ ارتقاء کیفیت سکونت

در اجلاس جهانی محیط زیست و توسعه که در بهار 1992 توسط سازمان ملل برگزار شد، ارتقای وضعیت سکونت گاه های غیر متعارف و زاغه های شهری به عنوان یک راه حل عملی و مناسب برای کمبود مسکن شهری مورد تأکید قرار گرفت. یکی از مشکلات تأمین مسکن گروه های کم درآمد این است که اگر بین ارزش بالقوه ی سکونتگاه و درآمدشان تناسبی وجود نداشته باشد سکونتگاه خود را به گروه های درآمدی بالاتر فروخته و خود مجدداً به مساکن قبلی باز می گردند. اجرای روش ارتقاء کیفیت سکونت این مشکل را حل می کند.

۶-۱-۱ مکان مورد نیاز برای مسکن

سیاست‌های آینده باید راه‌هایی را برای افزایش تأمین مسکن در نظر بگیرد. با این وجود، هدف اصلی باید تهیه مسکن مناسب در مکان مناسب باشد. امروزه انتخاب مکان مناسب جهت احداث مکان‌های مسکونی، صنعتی و ... در زمرهٔ مسائل بسیار مهم در برنامه‌ریزی شهری می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در خصوص مکان‌گزینی و استقرار مسکن‌های اجتماعی در نقاط مختلف کشور، دیدگاه برنامه‌ریزی شهری باید مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. کمبود مسکن به عنوان یک چالش اساسی در اکثر کشورها مطرح است. اکثر کشورها از کمبود مسکن در بخش‌های خاص خود (به عنوان مثال در شهرهای مهم و پایتخت) و یا کمبود مسکن‌هایی برای قشرهای مختلف جامعه خود (به عنوان مثال برای یک جمعیت سالخورده) خبر می‌دهند. سطح و ماهیت کمبود مسکن در سطح ملی، منطقه‌ای و محلی متفاوت است. به طوری که کمبود مسکن در یک بخش از کشور اغلب به طور همزمان در بخش دیگر با ملک خالی همراه است. به عنوان مثال، در انگلستان ۱.۸ میلیون نفر در لیست انتظارات مسکن اجتماعی ثبت شده‌اند؛ اما بیش از ۷۰۰۰۰۰ خانه خالی نیز وجود دارد. در فرانسه، تعداد متقاضی مسکن اجتماعی در لیست انتظار ۱.۷ میلیون است، در حالی که تعداد خانه‌های خالی در کشور ۲.۴ میلیون نفر است. همچنین تعداد املاک خالی در ایرلند ۴۰۰ هزار و در اسپانیا ۳.۴ میلیون است. حتی کشورهایی که در سطح ملی، تعادل نسبی بین عرضه و تقاضا مسکن وجود دارد (به عنوان مثال جمهوری چک ، فنلاند ، یونان) اما در مناطقی با فعالیت اقتصادی قوی با کمبود مسکن مواجه هستند. این داده‌ها بیانگر پیچیدگی نیاز مسکن و همچنین تفاوت ماهیت این نیاز در یک کشور است. در مناطقی که بازارهای مسکن عملکرد ضعیفی دارند، ممکن است نیاز کم به مسکن مربوط به سطح بالای بیکاری و سطح پایین درآمد باشد و در مناطقی که بازار مسکن گرم است، خانوارهای با درآمد متوسط و اشتغال کامل ممکن است در تامین مسکن دچار مشکل شوند. بنابراین نیاز به

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مسکن اجتماعی از نوع مسکن مقرون به صرفه است [18]. برخی از مواردی که برای مکان‌یابی مسکن اجتماعی باید به آن توجه شود به شرح زیر می باشد [19]:

- توجه به متغیرهای اصلی بوم‌شناسی همچون سبک معماری، زبان بومی، منطقهای، فرهنگ و سبک زندگی و غیره .
- توجه به خواسته‌های مردم همچون اتلاف نشدن انرژی، وجود فضای سبز و نور و روشنایی مناسب و از طرفی قیمت مناسب جلوگیری از شتابزدگی فارغ از اصول و مبانی شهرسازی و عدم الگوبرداری از مدل-های رایج غربی
- ضرورت توجه ویژه به نیاز گروه‌های خاص مانند معلولین در احداث اینگونه مساکن
- توجه نمودن به ویژگیهای اجتماعی و اقتصادی ساکنان این گونه مساکن
- تخصیص فضای مناسب برای بازی و فعالیت کودکان و استراحت و نشستن بازنشستگان و همچنین مسیرهای عابرین پیاده و ایجاد فضاهایی که موجب تقویت همبستگی و حس مکان در ساکنان شود.

۷-۱-۱ مزایای مسکن اجتماعی و مقرون به صرفه

- **ارتقای اقتصاد محلی و ملی:** افزایش عرضه مسکن اجتماعی و مقرون به صرفه نه تنها باعث تامین مسکن برای نیازمندان می‌شود بلکه روشی برای تثبیت و رونق اقتصاد ملی است. به عنوان مثال در انگلیس فعالیت مسکن اجتماعی ۱۷ درصد از فعالیت ساخت و ساز را در برمی‌گیرد و ۳ درصد از تولید ناخالص داخلی را شکل می‌دهد. برای هر پوندی که در مسکن اجتماعی سرمایه گذاری شده است، بازده ۲.۸۳ پوند به اقتصاد ملی آن وجود دارد .[18]
- **امنیت اقتصادی خانوار:** هزینه بالای مسکن برای خانواده‌های کم درآمد باعث کم رنگ‌تر شدن سایر نیازها مانند غذا، بهداشت، آموزش، پوشاک و... می‌شود. لذا دسترسی به خانه‌های مناسب و مقرون به صرفه باعث افزایش توانایی خانواده‌ها برای سایر نیازهای مهم خانوار و پس‌انداز برای آینده می‌شود.
- **بهبود بهداشت:** عدم کیفیت مسکن (از جمله عدم تعمیر و نگهداری)، بی‌ثباتی مسکن و بی‌خانمان بودن اثرات منفی مستقیمی بر سلامت انسان دارد که ضرر اقتصادی برای خانواده‌ها و جوامع به همراه دارد که برای کاهش مشکلات سلامتی نیاز به سرمایه‌گذاری در بودجه بهداشت است. بنابراین دسترسی به مسکن مناسب و مقرون به صرفه باعث بهبود سلامت ساکنین آن می‌شود. همچنین کمبود مسکن با کیفیت باعث کاهش عملکرد دانش‌آموزان و کارمندان می‌شود که به نوبه خود با ایجاد دسترسی یه مسکن مناسب و مقرون به صرفه می‌توان تعداد روزهای از دست رفته را کاهش داد و باعث بهبود کارایی کارمندان و دانش-آموزان شود.
- **ایجاد اشتغال:** مسکن مقرون به صرفه می‌تواند اشتغال را تضمین کند. اشتغال کاربران مسکن اجتماعی در ساخت و ساز، نگهداری و مدیریت مسکن اجتماعی می‌تواند به وضعیت اقتصادی آن‌ها کمک کند.
- **بهره‌وری انرژی:** بهبود بهره‌وری انرژی باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی مسکن‌های اجتماعی در دراز مدت می‌شود و معرفی استانداردهای خوب بهره‌وری انرژی می‌تواند نمونه‌ای برای سایر صنعت‌ها باشد و آنچه را که امکان‌پذیر است نشان دهد.
- **دسترسی حمل و نقل:** خانه‌های ارزان قیمت چالشی است برای کارگرانی که در مراکز شهرها فعالیت دارند. زیرا عدم دسترسی به سیستم حمل و نقل باعث شده است که احتمال دستیابی به شغل را کاهش

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

داده و وضعیت معیشت آن‌ها را به خطر بیافتد. بنابراین با سرمایه‌گذاری در سیستم حمل و نقل علاوه بر آنکه امنیت شغلی، زمان و پول را تضمین می‌کند؛ باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش زمان مصرفی برای رسیدن به محل کار و افزایش کارآیی کارگران می‌شود.

- **تحصیلات:** بی‌ثباتی مسکن و بدهکاری می‌تواند عملکرد و موفقیت کودکان در مدرسه را به مخاطره بیندازد. لذا مسکن مناسب و مقرون به صرفه می‌تواند به ایجاد یک محیط پایدار برای کودکان کمک کند و باعث بهبود نتایج تحصیلی آن‌ها شود.
- **کیفیت محله و انسجام اجتماعی:** مسکن مقرون به صرفه، اگر به خوبی طراحی مدیریت شود، تأثیر خنثی یا مثبتی بر کیفیت محله دارد. مسکن اجتماعی همچنین در رفع نگرانی‌های گسترده‌تر از جمله انسجام اجتماعی به ویژه هنگامی که ساکنان آن‌ها در توسعه، نگهداری و مدیریت مسکن نقش دارند؛ کمک می-کند.

۱-۸-۱ معرفی مفاهیم پایداری در خانه های اجتماعی

براساس ادبیات مربوطه در [18]، شاخص‌های توسعه مسکن پایدار بر اساس سه عامل توسعه پایدار اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است. به طوری که این شاخص‌ها می توانند برای تصمیم گیرندگان توسعه مسکن پایدار مورد استفاده قرار گیرند.

پایداری اجتماعی در زمینه مسکن اجتماعی به معنای ایجاد مسکن ارزان قیمت و با کیفیت است که در اختیار گروه های مختلف اجتماعی قرار گرفته و نه تنها نیازهای فعلی کاربران بلکه نیازهای متغییر مستاجرین در هنگام استفاده از مسکن اجتماعی را در نظر می گیرد.

پایداری اقتصادی شامل کارایی اقتصادی مسکن اجتماعی در کلیه مراحل تاسیس آن از جمله ساخت و ساز، بهره برداری و نگهداری، نوسازی و بازسازی تا تخریب بازیافت است. برای دستیابی به پایداری اقتصادی مسکن اجتماعی، لازم است یارانه های موجود و همچنین تنوع در نوع اجاره نامه در نظر گرفته شود.

پایداری محیط زیست به معنای روابط مسئولانه بین بخش مسکن و محیط زیست است که با استفاده از منابع طبیعی کارامد، انرژی های تجدیدپذیر، مصالح ساختمانی زیست محیطی، کاهش ضایعات و کاهش انتشار دی اکسید کربن، میزان جنبه های مضر برای سلامتی انسان و محیط زیست را کاهش می دهد.

۱-۸-۱-۱ معیارهای پایداری اجتماعی

مسکن اجتماعی، به عنوان شکل ویژه تأمین مسکن، عمدتاً مبتنی بر اخلاق اجتماعی و همبستگی اجتماعی است. معیارهای پایداری اجتماعی در مسکن اجتماعی عبارت است از:

A1: موقعیت مکانی- محل سکونت از اهمیت ویژه ای برخوردار است و شامل شاخص هایی از قبیل: فاصله از مرکز شهر و سایر مراکز شهری، فاصله از معابر اصلی شهر، خدمات حمل و نقل عمومی و همچنین درجه دسترسی به مشاغل، مؤسسات بهداشتی و آموزشی و ... است.

A2: کیفیت طراحی معماری- این معیار همراه با مسائل اجتماعی از جمله احساس امنیت در مناطق مسکونی است.

A3: تنوع- پروژه های مسکن اجتماعی می توانند در نوع شناسی شهری و معماری، تراکم، نوع اجاره و غیره متفاوت باشند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

A4: ترکیب اجتماعی- معیار تنوع اجتماعی، میزان سطح درآمد خانوار برای انواع خانوارها (مجردها ، زوج های جوان ، خانواده های دارای فرزند و غیره) و نوع استفاده را در نظر می گیرد.
A5: دسترسی به خدمات- طیف وسیعی از خدمات در اختیار مستاجران شامل شاخص های تعداد دفعات استفاده، تعداد کاربران و دسترسی مکانی برای همه گروه های اجتماعی از جمله کودکان، سالمندان و افراد دارای معلولیت را در نظر می گیرد.
A6: ایمنی- معیار مرتبط با سطح ایمنی، پیشگیری از وقوع جرم در محله را ارزیابی می کنند. راه حل های خاص طراحی شهری و معماری و مداخلات بعدی در فضاهای عمومی می تواند نقش مهمی در مبارزه و پیشگیری ازانحرافات اجتماعی داشته باشد.
A7: مشارکت عمومی- معیار میزان مشارکت جامعه محلی را می توان برای برنامه ریزی و طراحی مسکن اجتماعی و همچنین میزان رضایت از شرایط مسکن، امنیت، نگهداری و غیره در نظر گرفت.

۲-۸-۱-۱ معیارهای پایداری اقتصادی

براساس تجزیه و تحلیل جامع و دقیق برای نیازهای مسکن، مقامات دولتی باید محرک سرمایه گذاری اقتصادی را به روش های مختلف از جمله سرمایه گذاری در سهام مسکن اجتماعی فراهم سازند، همچنین بایستی راه هایی برای دستیابی به مسکن مقرون به صرفه پیدا کنند.
B1: ارزش زمین/مسکن- در معیار کلی ارزش زمین یا مسکن، شاخص های خاصی از جمله هزینه ملک (بازده سرمایه گذاری)، روابط مالکیت (مالکیت، اجاره نامه) وجود دارد.
B2: پایداری در تأمین اعتبار پروژه- دستیابی به ثبات مالی به معنای وجود منابع در دسترس برای برنامه مسکن اجتماعی از محل اعتبارات شهری/ ملی است.
B3: هزینه های چرخه عمر ساختمان/شهرک- در معیارهای مربوط به هزینه های چرخه عمر ساختمان/شهرک، چندین شاخص وجود دارد. به عنوان مثال هزینه های سرمایه گذاری، هزینه های عملیاتی و نگهداری (سالانه)، هزینه های تعمیر و جایگزینی در آینده و همچنین نظارت بر وضعیت مسکن.
B4: رقابت پذیری- رقابت پذیری ارائه دهندگان مسکن اجتماعی باید قبل از ورود تدریجی بازیگران مسکن خصوصی در زمینه تأمین مسکن اجتماعی باشد.
B5: مقرون به صرفه- معیار مقرون به صرفه بودن زمانی حاصل می شود که از طرف کاربر، استانداردهای مسکن اجتماعی و محل سکونت با نیازهای خانواده های کم درآمد یا درآمد متوسط مطابقت داشته باشد.
B6: نرخ مجموعه از اجاره بها- میزان مجموعه اجاره بها و نگهداری از مسکن اجتماعی می تواند به ارزیابی پایداری شرایط عمومی اجاره کمک کند.
B7: سطح تجهیزات زیرساختی- دستیابی به سطح تجهیزات زیرساختی و ظرفیت خدمات عمومی منوط به سطح هزینه های خدمات عمومی در مقایسه با ساخت و سازهای مسکن استاندارد است.
B8: فعالیت اقتصادی- چندین شاخص مرتبط با فعالیت های اقتصادی وجود دارد. مانند: میزان اشتغال، تنوع شغل های موجود (در فاصله ۲-۳ کیلومتری محل زندگی) و پویایی در فعالیت های توسعه جامعه، از جمله مشارکت در بهبود رفاه اجتماعی - اقتصادی محله.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۸-۱-۱ معیارهای پایداری محیط زیست:

پروژه های مسکن اجتماعی با استفاده از معیارهای عمومی زیر و شاخص های خاص مربوط به پایداری محیط زیست قابل ارزیابی و رتبه بندی اند.

C1: مکانیزم های انتخاب سایت- انتخاب سایت باید مطابق با عناصر پایداری محیطی و استانداردهای زیست محیطی مانند شرایط طبیعی، کیفیت آب، هوا، خاک، پوشش گیاهی، آسایش محیطی و... باشد.

C2: بهبود سایت از نظر محیط زیست- احیای اکولوژیکی، کنترل فرسایش و رسوب، مدیریت آبهای سطحی، کنترل سیلاب و ....

C3: تنوع کاربری اراضی- توسعه ترکیبی، کاربردهای چندگانه و سازگار.

C4: طراحی یکپارچه- دستیابی با هم افزایی رشته ها و فناوری ها.

C5: کیفیت طراحی محیطی- به منظور بهینه سازی مسکن اجتماعی می توان با استفاده از عایق کاری مانند عایق بندی حرارتی مناسب برای دیوارها و سقف های خارجی، استفاده از پنجره های کارآمد، میزان اتلاف انرژی را کاهش داد.

C6: سازه های سازگار با محیط زیست- استفاده از اقدامات ساخت و ساز پیشرفته و با کیفیت بالا در زمینه سازگار با محیط زیست، از جمله کاهش مصرف انرژی، استفاده از مواد طبیعی، استفاده از انرژی تجدید پذیر برای گرمایش، مدیریت و استفاده مجدد از آب باران، سیستم های زهکشی پایدار و غیره.

C7: مدیریت پایدار زباله های ساخت و ساز و تخریب- شاخص های مربوطه شامل شیوه هایی است که پایداری در مدیریت پسماند را تسهیل می کند. مانند تجدید، بازیافت، استفاده مجدد از منابع، به حداقل رساندن ضایعات و غیره.

C8: نظارت بر مصرف انرژی برای گرمایش- میانگین مصرف سالانه انرژی برای گرمایش (kWh/m^2)

C9: عناصر تجربی در برنامه های مسکن اجتماعی- می توان با استفاده از مسکن های سبزدر قالب مسکن اجتماعی به کار برد.

C10: استانداردهای کم مصرف در تأسیسات زیرساخت های اجتماعی- استفاده از استانداردهای کم مصرف در تأسیسات زیربنایی اجتماعی شهرک سازی، مدارس، مهدکودک ها، مؤسسات بهداشتی و درمانی و ... است.

C11: طراحی فضاهای باز عمومی و فضای سبز- تامین فضاهای باز شهری و فضای سبز به عنوان منابع حیاتی زیست محیطی برای جامعه.

C12: پایداری در حمل و نقل- شامل فاصله محل سکونت تا ایستگاه اتوبوس محلی، تعداد ایستگاه اتوبوس، فاصله تا شبکه مسیرهای دور و غیره است.

C13: ایمنی محیط زیست- شاخص مرکزی ایمنی محیط زیست، میزان سطح حفاظت محل مسکن اجتماعی را از آلاینده های بالقوه مشخص می کند.

۱-۲ جایگاه توسعه مسکن اجتماعی از دیدگاه کلان در اسناد بالادستی

تامین مسکن برای خانواده های کم درآمد به عنوان یک نیاز اجتماعی در هر جامعه تلقی می شود به طوری که مسکن‌هایی تحت عنوان مسکن اجتماعی در اکثر جوامع شکل گرفته است. از جمله اهداف این پژوهش ارائه راهکارهای ساخت و توسعه پایدار مسکن های اجتماعی برای اقشار کم درآمد جامعه است؛ به طوری که بتوان هزینه های مربوط به مصرف انرژی خانوارها را کاهش داد؛ لذا از دیگر اهداف این پژوهش افزایش بهره وری و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

راندمان مسکن های اجتماعی است. در این بخش به بررسی قوانین راهبردی، باتوجه به اسناد بالادستی و سیاست های جمهوری اسلامی ایران که با محورهای این پژوهش مرتبط است، پرداخته شده است.

۱-۲-۱ سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴

در آذر سال ۱۳۸۲ به منظور هماهنگ ساختن کلیه برنامه های کوتاه مدت و میان مدت کشور، سندی تحت عنوان "سند نهایی چشم انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران" به قوای سه گانه ابلاغ شد که چشم انداز ویژگی های اقتصادی، علمی و فناوری ایران در افق سال ۱۴۰۴ را مشخص کرده است. براساس این سند بایستی کلیه برنامه های قوای سه گانه در جهت تحقق اهداف چشم انداز تدوین و اجرا شوند. در راستای چشم انداز افق ۱۴۰۴ بر برخورداری از عدالت اجتماعی و حفظ کرامت و حقوق انسان ها اشاره شده است که از جمله اهداف این پژوهش تامین مسکن های اجتماعی برای اقشار کم درآمد جامعه برای حفظ شان و جایگاه آن‌ها و کاهش اختلاف طبقاتی در جامعه است. هم‌چنین در این سند بر برخورداری افراد جامعه از رفاه، سلامت، نهاد مستحکم خانواده، دوری از فقر و فساد، تامین اجتماعی و بهره مندی از محیط زیست مطلوب اشاره شده است که در این پژوهش با ارائه راهکارهای تامین مسکن اجتماعی می توان قدم موثری در جهت حفظ بنیان خانواده و مشکلات ناشی از بی خانمانی را که به دنبال آن فساد، فقر و مشکلات روحی و روانی برای اعضای خانواده دارد، برداشت. لازم به ذکر است که با ساخت مسکن های اجتماعی با هدف بهره وری انرژی، می توان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای که به همراه آن آلودگی های زیست محیطی دارد، کاهش داد و اقدام موثری در جهت محیط زیست مطلوب برداشت و باعث ارتقاء جامعه در کسب فناوری های نو زیست محیطی شود.

۱-۲-۲ سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴

برنامه راهبردی ۱۴۰۴ وزارت نیرو، نتیجه مشارکت ارزشمند حدود ۳۵۰ نفر از مدیران، صاحب نظران، خبرگان و کارشناسان ارشد صنعت آب و برق در قالب انجام فعالیت های پشتیبانی و حضور فعال در جلسات کمیته های تخصصی، کمیته راهبری و هماهنگی و شورای عالی طرح است. این سند مشتمل بر اسناد مأموریت، چشم‌انداز، ارزش ها و راهبردهای وزارت نیرو در بخش های «آب و آبفا»، «برق و انرژی»، «آموزش، پژوهش و فناوری» و «پشتیبانی صنعت آب و برق» و راهبردهای وظیفه ای وزارت نیرو در حوزه های دهگانه «منابع انسانی»، «ساختار و فرآیند»، «خصوصی سازی»، «فناوری اطالعات و ارتباطات»، «مالی»، «مشترکین»، «توسعهٔ صادرات»، «روابط بین الملل»، «روابط عمومی» و «مدیریت بحران» و «پدافند غیرعامل» می باشد. اسناد خروجی این طرح به عنوان اسناد افق حرکتی آینده وزارت نیرو را ترسیم نموده که نگاه بلند مدت و راهبردی را در تمامی سطوح وزارت نیرو نهادینه می نماید.

از جمله ماموریت ها و راهبردهای وزارت نیرو که با توسعه مسکن های اجتماعی با هدف بهره وری انرژی مرتبط است می توان به موارد زیر اشاره کرد:

أ. توسعه و ارتقای بهره‌وری انرژی با بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای علمی، پژوهشی و روش‌های پیشرفته مدیریت و همچنین توسعه فناوری‌های نوین سازگار با محیط‌زیست

ب. تدوین و اعمال استانداردهای اجباری در صنعت آب و برق

ت. بهره گیری از فناوری های جدید و اصلاح فرآیندهای موجود

ث. ارتقاء بهره وری انرژی

ج. توسعه سامانه های هوشمند در مدیریت و بهره برداری در صنعت آب و برق

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ح. شناسایی فناوری های نوین و انتقال و بومی سازی فناوری های دارای مزیت نسبی

از جمله اهداف این پژوهش ارائه سیستم های نوین در زمینه مسکن های اجتماعی است تا بتوان میزان بهره وری انرژی را در این نوع سازه ها افزایش داد. که این کار مستلزم شناسایی و بومی سازی این فناوری های نوین است. همچینین در جهت راهبردهای وزارت نیرو لازم است استانداردهایی در زمینه ساخت مسکن های اجتماعی اعمال شود که میزان راندمان را در این نوع سازه ها افزایش دهد. اگر چه ممکن است این کار هزینه های ساخت را افزایش دهد اما در دراز مدت می تواند صرفه جویی قابل توجهی در هزینه های خانوار صورت گیرد.

۱-۲-۳ سیاست‌های ابلاغی اقتصاد مقاومتی

در بهمن سال ۱۳۹۲، مقام معظم رهبری در ابلاغیه ای به رؤسای قوای سه گانه، برنامه ای با هدف تأمین رشد پویا و بهبود شاخص های اقتصاد مقاومتی و دستیابی به اهداف سند چشم انداز بیست ساله، سیاست های کلی اقتصاد مقاومتی با رویکردی جهادی، انعطاف پذیر، فرصت ساز، مولد، درون زا، پیشرو و برونگرا ابلاغ گردید. از جمله اهداف این سیاست ها استفاده از ظرفیت اجرای هدفمندسازی یارانه ها در جهت ارتقاء شاخص های عدالت اجتماعی است که با تعیین راهکارهای ارائه مسکن اجتماعی برای خانوارهای کم درآمد با استفاده از یارانه های دولتی می توان قدم موثری در جهت ارتقا شاخص عدالت اجتماعی برداشت.

۱-۲-۴ مصوبه اهداف و سیاست‌های اقتصاد مقاومتی در وزارت نیرو

در مورخ ۹ خرداد ۹۳ به استناد مفاد ماده (۳) قانون برنامه و بودجه و در راستای اجرای سیاست های کلی اقتصادی مقاومتی ابلاغی رهبر معظم انقلاب، پیشنهاد مشترک وزارت نیرو و معاونت برنامه ریزی در خصوص برنامه اجرایی اقتصاد مقاومتی، اهداف، سیاست‌ها و برنامه های عملیاتی وزارت نیرو را تصویب کرد.

از جمله اهداف این مصوبه افزایش بهره وری آب و برق در تمام مراحل زنجیره تولید تا مصرف است. همچنین براساس این مصوبه استفاده گسترده از فناوری های نوین و دانش به منظور کاهش مصرف آب و برق و افزایش سهم انرژی های پاک و تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور در نظر گرفته شده است. از آنجا که سهم مسکن های اجتماعی در مصرف انرژی در حد قابل توجهی است لذا استفاده از سیستم های نوین به منظور افزایش بهره وری مسکن ها و کاهش میزان مصرف انرژی خانوارها می توان گام های موثری در اجرای این مصوبه برداشت. همچنین در این پژوهش می توان با استفاده از انرژی های پاک در زمینه ساخت مسکن های اجتماعی، علاوه بر کاهش هزینه های مصرفی خانوار قدم هایی در جهت افزایش بهره وری انرژی در زنجیره مصرف برداشت.

۱-۲-۵ نقشه راه سیاست‌های کلی علم و فناوری کشور

در سال ۱۳۸۹ به منظور تحقق آرمان های متعالی انقلاب اسلامی ایران، سند نقشه ی جامع علمی کشور در شورای عالی انقلاب فرهنگی به تصویب رسید. از جمله مبانی و ارزش‌های بنیادین نقشهٔ جامع علمی کشور، عدالت محوری و حفظ کرامت است که با تامین مسکن اجتماعی برای اقشار کم درآمد جامعه می توان قدم مناسبی در جهت اجراء اهداف این سند برداشت. همچنین دستیابی به توسعه علوم و فناوری های نوین و نافع، متناسب با اولویت ها و نیازها و مزیت های نسبی کشور؛ انتشار و به کارگیری آنها در نهادهای مختلف آموزشی و صنعتی و خدماتی یکی از اهداف مورد نظر این سند بوده است که با استفاده از سیستم های نوین برای افزایش بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی می توان قدم های موثری در جهت تحقق اهداف این سند برداشت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۲-۶ قانون اساسی کشور

در قانون اساسی کشور در مواد مختلفی، از جمله اصول 31 و43 ، توجه به مقوله مسکن باعث شد که در سال 1358 بنیاد مسکن انقلاب اسلامی تشکیل گردد تا به امر خانه سازی برای محرومان شهری و روستایی با کمک مردم بپردازد. در سال 1358 بانک ها ملی شدند و بانک مسکن از ترکیب مؤسسات وام و پس انداز با بانک رهنی به وجود آمد و به سرعت مأمور پرداخت وام ارزان قیمت به متقاضیان شد. در ابتدای دهه 1361 تدوین یک برنامه توسعه برای دوره ۶۶-۱۳۶۲ در دستور کار قرار گرفت اما پس از تهیه، هر چند راهنمای عمل دولت بود، به تصویب مجلس نرسید و به قانون تبدیل نگشت. در این برنامه تشویق تعاونی های مسکن دارای بیشترین اولویت بود و سیاست اصلی بر واگذاری زمین ارزان از طرف سازمان زمین شهری و وام ارزان (تا 85 درصد هزینه ساخت)، به آنها متمرکز بود. بدین ترتیب تا سال 1368 به یمن واگذاری زمین، وام و مصالح ارزان تولید مسکن سالانه ۷/۴ درصد در سال رشد نمود و این در حالی بود که ایران با رشد غیرعادی جمعیت روبه رو بود و رشد سالانه خانوارها به ۷/۳ درصد در سال بالغ گشته بود. در نتیجه نه تنها تراکم خانوار در واحد مسکونی بهبود چشمگیر یافت، بلکه نسبت واحدهای مسکونی غیر متعارف (کپر و زاغه) کاهش یافت. اما این پاسخگویی به نیاز مسکن با اقداماتی انجام پذیرفت که در بلند مدت قابل تداوم نبود، در نتیجه پس از پایان جنگ تحمیلی در سال 1367 و تدوین اولین برنامه توسعه بعد از انقلاب که به اجرا درآمد، کوشیده شد از شیوه ها و رویکردهای جدیدی استفاده شود.

۱-۲-۷ برنامه اول توسعه

راهبردهای اساسی بخش مسکن در برنامه اول توسعه رفع معضل مسکن کشور، تأمین زمین غیر کشاورزی ارزان قیمت برای ساخت مسکن، بهره گیری بهینه از ظرفیت های بالقوه عوامل تولید، پرداخت یارانه و اعمال سیاست های حمایتی در بخش مسکن به شکل عرضه مصالح ارزان قیمت و ساخت خانه های ارزان قیمت برای اثرگذاری بر بهای مسکن در بازار آزاد و اعطای آن به متقاضیان کم درآمد بود که به دلیل بالابودن سهم زمین در بهای تمام شده واحدهای مسکونی، بالا بردن میانگین سطح زیربنا و پیچیدگی قوانین ناظر بر بخش مسکن در سطح کلان کشور نتوانست به اهداف خود دست پیدا کند. مشکلات مربوط به بافت های فرسوده شهری نیز در این برنامه نادیده گرفته شد و ضوابط و مقرراتی در جهت ساماندهی آن ارائه نگردید. با عنایت به فقدان قوانین حمایت از انبوه سازان و مسکن اجتماعی و همچنین عدم توجه برنامه به افزایش تراکم ساختمانی در این برنامه توجهی نگردید. بنابراین قیمت مسکن بیشتر از سهم زمین متأثر بود تا قیمت مصالح و مواد سازنده مسکن. در این دوره دو برنامه مسکن تدوین و به اجرا درآمد که مرور آنها، رها ماندن و آشفتگی تدریجی را در مدیریت و تنظیم بازار مسکن برای پاسخگویی به گروههای هدف آشکار می کند. به طور خلاصه می توان سیاست های برنامه اول توسعه در بخش مسکن را این چنین بیان کرد:

أ. سیاست های تأمین زمین شهری: در قالب این سیاست، برنامه های آماده سازی و احداث شهرهای جدید در ابعاد وسیع اجرا شد.

ب. سیاست های اعتباری: اعطای وام بلند مدت به خریداران، سازندگان خصوصی و تعاونی و روستائیان و سازندگان مسکن روستایی از جمله اقدامات در راستای این سیاست بود.

ت. ساخت مستقیم یا مشارکت در ساخت مسکن: در راستای این سیاست ساخت واحدهای مسکونی کارمندی، کارگری به صورت مستقیم و یا مشارکتی پیش بینی شده بود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۲-۸ برنامه دوم توسعه

برنامه دوم توسعه را می توان تعمیق راهبردی برنامه اول دانست. برنامه دوم در بخش مسکن با اهداف خاص خود مانند نوسازی بافت های فرسوده و تجمیع قطعات در مناطق شهری کشور و کمک به اقشار آسیب پذیر و آسیب دیدگان از سوانح طبیعی، بازسازی مناطق جنگ زده، حل مشکل اسناد مسکن روستایی، توجه به مسکن ارزان قیمت در راستای کمک به اقشار کم درآمد و غیره تدوین شد. همچنین دولت از طریق پرداخت بخشی از سود تسهیلات اعتباری تلاش کرد توان خرید اقشار کم درآمد را افزایش دهد. با طرح مسکن اجتماعی در کنار مسکن آزاد و مسکن حمایتی، به عنوان یکی از برنامه های مطرح در ذیل برنامه پنج ساله دوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران و عملاً گروه های هدف تبیین و تعریف شدند. بخش مسکن در برنامه دوم، با اصل قرار دادن مسکن حمایت شده و اجتماعی در توجه بیشتر به گروه های کم درآمد جامعه با مشارکت خود آن گروه ها برای تولید مسکن داشت. از جمله راهکارهای مورد نظر برای رسیدن به این هدف می توان به تأمین مسکن اجتماعی و تشویق مسکن حمایتی، تأمین و تشویق تولید مسکن استیجاری و پرداخت یارانه در راستای ارزیابی سیاست های برنامه مورد نظر در بخش مسکن اشاره کرد. لازم به ذکر است که راهکارهایی چون تأمین زمین آماده سازی شده و ارزان قیمت برای ساخت مسکن اقشار کم درآمد و پشتیبانی از تولیدکنندگان مسکن به گونه انبوه سازی (انبوه سازان) که در دستور کار مسئولین کشور قرار داشت نتوانست موفق شود. از جمله دلایل عدم موفقیت آن، می توان به مشارکت ناکافی دستگاه های مرتبط با بخش مسکن به ویژه شهرداری ها در انجام پروژه ها، نبود نهادهای سرمایه گذار در بخش مسکن، ناهم خوانی الگوهای ساخت مسکن با نیازها و امکانات اقتصادی متقاضیان، نبود مکانیزم های تشویقی برای تولید انبوه مسکن و گرایش نداشتن سرمایه گذاران بخش خصوصی اشاره کرد.

۱-۲-۹ برنامه سوم توسعه

برنامه سوم در بخش مسکن را می توان گفت به روال برنامه اول تدوین شد و با برنامه دوم تفاوت های زیادی داشت. حمایت از طرح های انبوه سازی و تشویق مالکان اراضی بافت های فرسوده شهری به تجمیع زمین از طریق معافیت های مالیاتی و اعطای تراکم تشویقی از سیاست های دولت در حوزهٔ مسکن در برنامه سوم بود. تلاش برای دستیابی به برنامه جامع برنامه سوم در زمانی تهیه گردید که بخش مسکن وارد رکود شده بود، در این برنامه نیز مانند برنامه های قبلی بر حل مشکل مسکن کم درآمدها و آزادسازی بازار مسکن تأکید شده است. همچنین حمایت از کوچک سازی و انبوه سازی، از سیاست های مورد تأکید برنامه است. در این برنامه بر نقش سیاست های پولی و تسهیل شرایط اعطای وام مسکن تأکید زیادی شده است. بر اساس قانون برنامه، وزارت امور اقتصادی و دارایی مکلف شده بود که اقدامات لازم را در رابطه با ایجاد بازار ثانویه رهن، امکان خرید و فروش اوراق مشارکت بخش مسکن در بازار بورس به عمل آورد. پلکانی کردن اقساط بازپرداخت تسهیلات بانکی برای دریافت کنندگان وام و پرداخت تسهیلات بانکی تدریجی برای ساخت مرحله ای مسکن گروه های کم درآمد از اهم سیاست های پیشنهادی این برنامه است. در این مقطع زمانی پشتیبانی از ایجاد تشکل های صنفی و مؤسسات محلی در راستای تأمین مسکن اقشار کم درآمد و بهره گیری بهینه از زمین های شهری با هدف کوچک سازی و انبوه سازی در دستور کار مسئولین شهری قرار داشت.

خط مشی های مهم برنامه:

۱- پرداخت تدریجی تسهیلات بانکی برای ساخت مرحله ای مسکن گروه های کم درآمد

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲- ایجاد بازار ثانویه و امکان خرید و فروش اوراق مشارکت بخش مسکن در بازار بورس
۳- اصلاح مقررات مربوط به پرداخت یارانهٔ بخش مسکن در جهت ترویج الگوی مصرف مسکن
۴- اصلاح قانون مسکن استیجاری در جهت کاهش تدریجی دخالت دولت و افزایش حضور بخش خصوصی و نهادهای محلی
۵- حمایت از تولید کنندگان واحدهای مسکونی کوچک با تأکید بر مجتمع سازی و انبوه ساز

دیگر سیاست های برنامه سوم توسعه:

یکی دیگر از سیاست های مهم در برنامه سوم توجه به احیای بافت های فرسوده شهر و حل معضل سکونتگاه های غیر رسمی با طرحی همچون توانمند سازی سکونتگاه های غیر رسمی بود. این برنامه در راستای تغییر ساختار تعاونی ها، تعاونی های تولید و پس انداز را از یکدیگر تفکیک کرده است و تشویق تعاونی های پس انداز مسکن را در دستور کار خود قرار داد، اما در عمل این اتفاق حاصل نشد. با توجه به رشد بهای مسکن در سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ که در حدود ۱۰ تا ۱۲ برابر درآمد سالانه خانوارهای شهری بوده است، نه تنها موجب بهره مند نشدن خانوارها از مسکن به طور اصولی گردید، بلکه گروه های درآمدی بیشتری به سوی مسکن نامناسب و یا مسکن غیررسمی رانده شده اند و در نهایت رکود بر بخش مسکن حاکم گشت. در برنامه سوم پیرو بخشی از سیاست های مسکن کم درآمدها مانند طرح مسکن استیجاری و غیره برای بهبود شرایط مسکن کم درآمدها فعالیت هایی صورت پذیرفته بود. اما در عمل وضعیت مسکن آنها حتی تنزل پیدا نموده و بر ابعاد اسکان غیررسمی افزوده شده بود. از این رو لازم بود که ساختار برنامه ریزی مسکن تغییری بنیادی نماید، چرا که سیاست های بکار گرفته شده در دهه دوم پس از انقلاب، اهداف منعکس شده در قانون اساسی را محقق نساخته بود. ساخت وسازهای دولتی به دلیل طولانی شدن زمان و گران بودن آن در این برنامه به حداقل رسید و از آنجا که عملکرد چندانی هم نداشت، در نهایت بازار آزاد بر بخش مسکن غلبه پیدا کرد. این کاستی های اساسی باعث آن شد که در چارچوب برنامه چهارم توسعه، دولت موظف شودکه طرح جامع مسکن را تهیه نماید.

۱۰-۲-۱ برنامه چهارم توسعه

در برنامه چهارم، دولت برای سامان دهی بازار مسکن، دو سیاست افزایش عرضه و کنترل سوداگری را در پیش گرفت که در چارچوب سیاست عرضه بیشتر، طرح مسکن مهر از سال 1386 آغاز شد و بخش زیادی از تقاضای بازار به این سو شکل گرفت. در سال 1386 دولت مصمم شد جهت مهار بحران روند رو به رشد قیمت مسکن دست به کار شود و برای اولین بار در بودجه های سنواتی تبصرهای ویژه به موضوع مسکن و ساماندهی آن اختصاص داد. بر اساس تبصره 3 قانون بودجه سال1386 اقشار کم درآمد جامعه، در قالب طرح حق بهره برداری 99 ساله و اجاره داری 5 ساله مسکن مهر، مورد حمایت قرار می گیرند تا از این طریق صاحب خانه شوند. مهم ترین ویژگی طرح زمین 99 ساله اجاره ای، حذف قیمت زمین از قیمت تمام شده است. این سیاست که با عنوان "زمین صفر" شناخته می شود در صدد است تا با کاهش بخش عمده قیمت مسکن توانایی خرید را برای اقشار کم درآمد جامعه ایجاد کند. طرح جامع مسکن، با هدف نهایی تأمین مسکن برای همه، پنج هدف اصلی و راهبردی را دنبال می کند:

۱- تأمین مسکن امن و سالم و در استطاعت مالی خانوار، بدون تبعیض، برای همه
۲- ارتقاء کمی و کیفی تولید و عرضه مسکن و تعادل بخشی به بازار مسکن
۳- ارتقاء کیفیت زیست، بهبود شرایط سکونتی همه جوامع، حفظ فرهنگ و هویت اسلامی و ملی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۴- بهبود مدیریت بخش مسکن، ایجاد هماهنگی بین برنامه های مسکن و برنامه های توسعه شهری و روستایی
۵-کاهش نابرابری های منطقه ای در برخورداری از مسکن مناسب و ایجاد هماهنگی بین برنامه های مسکن و سیاست ها و برنامه های آمایشی

یکی از محورهای طرح جامع مسکن، برنامه ساماندهی حاشیه نشینی و جلوگیری از گسترش آن اختصاص دارد که سیاست های زیر را در مناطق اسکان غیر رسمی دنبال می کند:

۱- مدیریت و ساماندهی حاشیه نشین ها و سکونت گاه های فرودست مبتنی بر مشارکت و توانمندسازی ساکنان
۲- تلفیق نظام حمایت اجتماعی با نظام تأمین مسکن گروه های کم درآمد و حاشیه نشینان
۳- اصلاح ساختار نظام بیمه و گسترش آن به تمامی خانوارهای کم درآمد
۴- بازنگری در طرح های توسعه شهری و برنامه ریزی های شهری برای انطباق با نیازهای خانوارهای کم درآمد
۵- توانمندسازی خانوارهای کم درآمد
۶- نهادسازی و مشارکت از طریق تعاونی های خودیار محله ای تا ستاد توانمندسازی محلی، استانی و ملی

۱-۲-۱۱ برنامه پنجم توسعه

در برنامه توسعه پنجم آمده است که وزارت مسکن و شهرسازی (سازمان ملی زمین و مسکن) مکلف است به منظور تأمین منابع مالی لازم جهت پرداخت معوض نصاب مالکانه اعم از موات و غیر موات و خرید اراضی مورد نیاز اجرای طرح های مسکن به ویژه مسکن زوج های جوان و اقشار کم درآمد، اراضی شهری در اختیار خود را به صورت مزایده به فروش رسانده و وجوه حاصل را به حساب خزانه داری کل کشور به عنوان درآمد اختصاصی واریز نماید تا در قالب بودجه سنواتی برای تحقق موارد مذکور به مصرف برسد. در ماده 149 لایحه برنامه پنجم آمده است که دولت باید برای حمایت از تولید و عرضه واحدهای مسکونی کوچک توسط بخش غیردولتی برای اجاره به زوج های جوان و گروه های کم درآمد، با تخصیص سهم مناسبی از منابع احداث مسکن، شامل زمین ارزان قیمت یا رایگان، واگذاری بناهای ناتمام متعلق به دستگاه های اجرایی یا منابع حاصل از واگذاری بناها و زمین های مذکور، تسهیلات بانکی، اعتبارات وجوه اداره شده و یارانه ای و کمک بلاعوض و منابع صندوق توسعه ملی، برنامه ریزی های لازم را انجام دهد. در تبصره ماده 171 دولت موظف است حداقل پنجاه درصد از منابع، اعتبارات و تسهیلات اعطائی برای بخش مسکن اعم از طرح های مسکن مهر، مسکن جوانان و نیازمندان و مانند آن را به اجرای طرح های مذکور در محدوده بافت های فرسوده شهری اختصاص دهد. در تدوین رویکردهای برنامه پنجم در بخش مسکن، اهداف، سیاست ها و راهبردهای ارائه شده برای پاسخگویی به این موضوع ها بر دو رویکرد اساسی و مهم تدوین شده است.

رویکرد اول، حمایت از برنامه های تأمین مسکن اقشار جوان و کم درآمد جامعه با تأکید ویژه بر عرضه واحدهای مسکونی متناسب با توان مالی خانوارهای جوان به منظور افزایش تولید مسکن منطبق با تعداد این خانوارها است. رویکرد دوم، نیز حمایت از مقاوم سازی ساختمان ها، اصلاح الگوی مصرف و افزایش کیفیت ساخت وسازها با استفاده از فناوری های نوین است. این در حالی است که پس از یک دوره تمرکز بر سیاست ایجاد مسکن مهر با هدف خانه دار کردن اقشار کم درآمد به واسطه حذف یا کاهش سهم زمین در قیمت تمام شده مسکن در بازه زمانی 1386 تاکنون، مسکن اجتماعی مجدداً از اوایل دهه 1391، در خلال برنامه پنجم و در آستانه برنامه ششم توسعه، با نام تأمین مسکن اقشار کم درآمد که گروه های با پایین ترین سطح درآمدی را مورد هدف قرار می دهد، مطرح شده است. آنچه که از اهداف برنامه پنجم توسعه تحلیل می شود چنین می نماید که از سازندگان واحدهای

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مسکونی ارزان قیمت حمایت های قانونی و مالی به عمل نیامده و تسهیلات و اعتباراتی بدان اختصاص داده نشده است در حالی که در جهت تأمین مسکن گروه های کم درآمد، سازندگان واحدهای مسکونی ارزان قیمت نقش بسیار مهمی دارند.

۱-۲-۱۲ برنامه ششم توسعه

برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور، سومین برنامه در راستای تحقق اهداف سند چشم انداز 21ساله و اولین برنامه با ابتناء به مبانی نظری و سیاست های اقتصاد مقاومتی کشور است. که با مضمون رشد تولید رقابتی مبتنی بر دانش و بهره وری در چارچوب فرهنگ اسلامی ایرانی و تعامل سازنده با جهان برای سال های 1395 تا 1399 تدوین گردید. برای برنامه ریزی حوزه مسکن در برنامه ششم توسعه، می توان گفت که اولاً یکی از وجوه اصلی بحث آمایش سرزمین و تعادل منطقه ای، بهرهمندی همه اقشار، به خصوص گروه های محروم از مسکن مناسب و مقرون به صرفه است که این مهم باید در دستور کار شورای برنامه ریزی مسکن و شهرسازی و عمران شهری و روستایی برنامه ششم باشد. از سوی دیگر از طرف دولت، بحث مسکن اجتماعی به خصوص برای گروه های هدف، مطرح شد. که گویا تاکنون این اقدام به صورت جدی پیگیری نشده است. با توجه به اینکه در اهداف کلی برنامه ششم به کاهش فاصله دهک های درآمدی و توانمندسازی اقشار آسیب پذیر اشاره شده است و مقوله مسکن نیز یکی از اساسی ترین عوامل گسترش این شکاف درآمدی و دغدغه اصلی گروه های محروم اجتماعی است. لذا می بایست که سیاست گذاران در برنامه ششم، این موضوع را با اهتمام جدی دنبال کنند. به منظور رسیدن به این هدف در برنامه ششم، توسعه توجه به ظرفیت های بخش های خصوصی و تعاونی در تأمین مسکن قابل استطاعت، می تواند راهگشا باشد. همچنین توجه ویژه در زمینه احداث مسکن های مناسب، به خصوص برای گروه های کم درآمد است که در این رابطه یکی از نیازهای ضروری، لزوم دخالت دولت در تأمین مسکن (همانند طرح مسکن اجتماعی) است به گونه ای که واگذار کردن حل مشکلات مسکن فقط به بخش خصوصی، بهای آن را به شدت بالا می برد و دسترسی خانوارهای کم درآمد به مسکن مناسب را بسیار محدود می کند.

سیاست های کلی مسکن در ایران در قالب برنامه های پنج ساله ی توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور تدوین می شود که قبل از انقلاب اسلامی پنج برنامه و پس از آن نیز پنج برنامه اجرا شده است. با گذشت چند دهه از نظام برنامه ریزی در ایران بخش مسکن همواره در برنامه های عمرانی قبل از انقلاب و برنامه های توسعه ای بعد از انقلاب مورد توجه بوده است و به رغم تفاوت های عمده در شرایط سیاسی، اقتصادی و اجتماعی کشور، همواره تأمین مسکن اقشار کم درآمد جایگاه ویژهای داشته است. مروری بر برنامه ها و سیاست های اجرا شده در چند دهه اخیر و بررسی مسائل بنیادی، ضرورت ها، سیاست ها، رویکردهای حل مسأله و روش های اجرایی استفاده شده برای حل مشکل مسکن گروه های کم درآمد، می تواند در بردارنده تجربه هایی روشن از آثار و پیامدهای سیاست های اجرا شده و نیز معیاری برای ارزیابی و امکان سنجی سیاست های جدید باشد. در این زمینه، بازنگری در سیاست های توسعه مسکن در برنامه های توسعه ای کشور برای تأمین مسکن نیازمندان بیش از پیش ضروری به نظر می رسد.

۱-۲-۱۳ بندهای قانونی مرتبط با تامین مسکن مهر

بند «د» ذیل تبصره ۶ بودجه سال ۱۳۸۶ کل کشور بر تأمین مسکن مناسب برای آحاد ملت به خصوص اقشار کم درآمد تأکید جدی داشته و جهت نیل به اهداف تعیین شده راهکارهای متعددی مانند اجاره بلند مدت زمین در

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

چارچوب حق بهره‌برداری از زمین‌های دولتی به منظور کاهش قیمت واحدهای مسکونی و حذف قیمت زمین از قیمت تمام شده واحد مسکونی را پیشنهاد کرد. دستورالعمل اجرایی آیین‌نامه اجرای بند د تبصره ۶ قانون بودجه سال ۱۳۸۶ توسط وزارت مسکن و شهرسازی در جهت اجرایی شدن اهداف طرح مذکور تهیه و در تاریخ ۸۶/۴/۱۳ توسط وزیر محترم مسکن و شهرسازی ابلاغ شد که طی تبصره ۴ ذیل بند «ب» آن، کلیه وظایف وزارت مذکور در خصوص اجرای طرح مسکن مهر در شهرهای زیر ۱۲۰۰۰ نفر اعم از تهیه زمین، دریافت لیست متقاضیان پالایش شده از وزارت تعاون و معرفی متقاضیان به بانک‌های عامل جهت اخذ تسهیلات و نظارت بر تهیه طرح‌های آماده سازی تفکیکی و عملیات آماده‌سازی و عملیات ساخت واحدها به بنیاد مسکن انقلاب اسلامی واگذار شد.

دولت دهم در جهت پیشبرد اهداف یادشده در زمینه تولید و عرضه مسکن، قانون ساماندهی و حمایت از تولید و عرضه مسکن را تهیه و به عنوان لایحه یک فوریتی در تاریخ ۸۶/۳/۱ جهت تصویب به مجلس شورای اسلامی تقدیم کرد و متعاقباً مجلس شورای اسلامی نیز در تاریخ ۸۷/۲/۲۵ قانون مذکور را با تأیید شورای محترم نگهبان مصوب نمود. در تاریخ ۸۷/۹/۱۸ طی مصوبه هیأت محترم دولت و با امضای معاون اول محترم رئیس جمهور در شهرهای زیر ۲۵۰۰۰ نفر جمعیت اقدامات مربوط به مسکن مهر به قائم مقامی وزارت مسکن و شهرسازی به عهده بنیاد مسکن انقلاب اسلامی قرار داده شد. شیوه نامه اجرایی طرح مذکور در شهرهای زیر ۲۵۰۰۰ نفر جمعیت با مبنای واگذاری مسئولیت کلیه امور مسکن مهر به بنیاد مسکن انقلاب اسلامی در تاریخ ۸۸/۲/۷ از سوی وزیر محترم مسکن ابلاغ شد که به همراه فرمها و دستورالعمل های اجرایی پیوست آن مهمترین منبع و مرجع طرح مذکور در شهرهای زیر۲۵۰۰۰ نفر جمعیت است. شرح وظایف و اقدامات مقدماتی در نظر گرفته شده در این طرح به شرح زیر مشخص شد:

۱- پیش بینی راهکارهای مختلف برای تأمین اراضی اجاره بلند مدت به روش های ذیر

أ. استفاده از زمینهای دولتی در اختیار وزارت راه و شهرسازی

ب. استفاده از زمین‌های ملی در اختیار سازمان‌های دولتی غیر از (وزارت راه و شهرسازی) مانند منابع طبیعی و جهاد کشاورزی و سایر وزارتخانه‌ها

ت. زمینهای توافقی به صورت توافق با مالکین حقیقی و حقوق

ث. اراضی در اختیار بنیاد مسکن به عنوان نهاد عمومی غیردولتی

۲- پرداخت وام به متقاضیان دارای زمین ملکی، با حفظ مالکیت اشخاص بر عرصه و عیان

۳- معرفی متقاضیان جهت اخذ تسهیلات ۲۵۰ میلیون ریالی در زمینهایی که امکان ساخت واحد مسکونی، همزمان با اجرای عملیات آماده سازی وجود دارد.

۴- ساخت یک تا ۲ واحد به صورت اضافه اشکوب بر روی واحد مسکونی دارای استحکام بنا و یا تخریب واحد مسکونی فرسوده موجود و ساخت ۳ واحد مسکونی تحت شرایط تعریف شده طرح

۵- ارائه راهکار جهت پرداخت تسهیلات به زمینهای ملکی فاقد سند که گامی مؤثر و بزرگ در جهت پیشبرد طرح و عبور از موانع موجود می‌باشد.

۶- معرفی متقاضیان به بانک با دستور تهیه نقشه جهت انعقاد قرارداد و تعیین مهلت برای اخذ پروانه ساختمان

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۷- پرداخت یارانه‌های مسکن مهر، مصوب وزارت محترم راه و شهرسازی با سرفصل‌های:

أ. کاهش هزینه صدور پروانه ساختمانی و محدود نمودن آن به حداکثر ۱۰۰.۰۰۰ ریال در هر مترمربع
ب. تخفیف ۵۰٪ هزینه صدور پروانه ساختمانی و ۵۰٪ باقیمانده بصورت اقساط ۳۶ ماهه
ت. کاهش هزینه‌های مهندسی و محدود نمودن آن به حداکثر ۳۰.۰۰۰ ریال در هر مترمربع
ث. کمک هزینه تهیه طرح آماده سازی به مبلغ ۱۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال برای هر هکتار زمین اجاره ۹۹ ساله
ج. اجرای شبکه خدمات شهری در محدوده اراضی بزرگ و تامین هزینه های مربوط توسط دولت
ح. صدور پایان کار عملیات ساختمانی از سوی شهرداریها در مرحله سفت کاری قابل سکونت

۱-۳ مطالعات تحقیقاتی و فعالیت های اجرایی انجام گرفته در زمینه مسکن اجتماعی در سطح دنیا

۱-۳-۱ مقدمه

پس از جنگ جهانی دوم اقتصاد بسیاری از کشورها دچار دگرگونی فراوانی شد؛ به طوری که باعث شکل گرفتن ناپایداری در املاک و مستغلات شد. از طرف دیگر خانه‌ها از آغاز قرن ۲۱ در بسیاری از کشورها گران شد و اختلاف طبقاتی باعث شد که برای خانواده‌های کم درآمد، داشتن یک خانه راحت، به یکی از رویاهای غیر قابل دستیابی در طول زندگی آن‌ها تبدیل شود. به همین دلیل، تامین مسکن مناسب به یک کار ضروری برای دولت‌ها تبدیل شده است. مسکن حمایتی[۱] یکی از سیاست‌های دولت‌ها به منظور حمایت از طبقات اجتماعی است که با درآمد خود نمی توانند خانه‌ای مناسب با سبک زندگی فردی تهیه کنند. از اواخر قرن نوزدهم تا کنون، کشورهای مختلف با استفاده از سیاست‌های متنوع مانند مسکن عمومی[۲] و مسکن اجتماعی[۳] اقدام به حمایت از این گروه خانوارها کردند. مسکن عمومی به خانه‌هایی اطلاق می‌شود که متعلق به دولت بوده و یا توسط دولت اداره می‌شود و به منظور تامین مسکن برای خانواده‌های کم درآمد ساخته شده است. معیار دولت‌ها برای استفاده خانواده‌ها از مسکن‌های عمومی، مقایسه درآمد خانوار با متوسط درآمد منطقه است. نوع دیگر از سیاست دولت‌ها برای حمایت از خانواده‌های کم درآمد، ارائه مسکن‌های اجتماعی است که می‌توان در این مورد به مسکن‌های ارزان قیمت اشاره کرد. مسکن‌های ارزان قیمت به خانه‌های اجاره‌ای یا متعلق به ساکنین آن اطلاق می‌شود که هزینه‌های آن کم‌تر از ۳۰ درصد درآمد ماهانه خانواده است. در ادامه به بررسی برنامه‌ریزی‌ها، الگوها و نمونه‌های مسکن اجتماعی در برخی کشورهای جهان به منظور الگوبرداری مناسب برای کشورمان پرداخته می‌شود.

۱-۳-۲ مسکن اجتماعی در منطقه UNECE[4]

۱-۳-۲-۱ تعاریف مسکن اجتماعی در منطقه UNECE

مسکن اجتماعی براساس هدف و کاربرد آن برای کسانی فراهم شده است که نیازهای آن‌ها به دلایل مختلف نمی‌تواند از طریق بازار برآورده شود. لذا دولت‌های آن‌ها به منظور حمایت، اقدام به ارائه خدماتی برای تهیه

---

[۱] Supporting housing
[۲] Public housing
[۳] Social housing
[4] United Nations Economic Commission for Europe

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مسکن این‌گونه افراد کردند [20]. در جدول (۱-۲) تعاریف مرتبط با مسکن اجتماعی در برخی کشورهای منطقه UNECE آورده شده است.

جدول (۱- ۲) تعریف مسکن اجتماعی در برخی کشورهای منطقه UNECE [20]

کشور	تعریف
اتریش	در اتریش تعریف رسمی از مسکن اجتماعی وجود ندارد، اما اشکال مختلف تامین مسکن "فراتر از بازار" وجود دارد.
جمهوری چک	هیچ تعریفی از مسکن اجتماعی وجود ندارد، اما افرادی که در بازار آزاد نمی‌تواند برای خود مسکن تهیه کنند به عنوان یک گروه هدف برای ساخت مسکن اجاره‌ای قرار می‌گیرند که از یارانه‌های دولتی بهره‌مند می‌شوند.
دانمارک	اصطلاح مسکن اجتماعی شامل سه نوع مسکن، خانه‌های اجتماعی خانوادگی، خانه‌های اجتماعی سالمندان و خانه‌های اجتماعی برای افراد جوان است. خانه‌های اجتماعی سالمندان که اقدام به مراقبت و ارائه خدمات به سالمندان می‌کند تحت عنوان خانه‌های مراقبت نیز شناخته شده است.
آلمان	مسکن خود را برای اهداف اجتماعی به عنوان مسکن اجتماعی تعریف نمی کند. بلکه به مسکن-های مقرون به صرفه با استفاده از یارانه دولتی اطلاق می‌شود.
فنلاند	خانه‌های اجتماعی به خانه‌هایی اطلاق می‌شود که از یارانه دولتی و اجاره‌های کنترلی بهره‌مند شده باشد.
فرانسه	هیچ تعریفی از مسکن اجتماعی وجود ندارد که به اتفاق آرا پذیرفته شده باشد. اما مسکن اجتماعی عموما به مسکن‌هایی گفته می‌شود که هزینه اجاره آن‌ها کاهش یافته باشد و عموما تحت عنوان مسکن‌های HLM شناخته شده‌اند.
هلند	اگرچه در قانون اساسی هلند (ماده۲۲) آمده است که ارتقاء مسکن مناسب هدف مراقبت از مقامات دولتی است و قانون مسکن هلند در سال ۱۹۰۱ چارچوب قانونی را برای چگونگی ساماندهی تامین مسکن اجتماعی ارائه داد؛ اما تعریف واحدی از مسکن اجتماعی در هلند وجود ندارد.
روسیه	تعریف رسمی وجود ندارد. مفهوم "مسکن برای استفاده اجتماعی" که در قانون مسکن فدراسیون روسیه شرح داده شده نزدیکترین مفهوم است.
صربستان	مسکن اجتماعی به مسکنی اطلاق می‌شود که با استاندارد مناسب و پشتیبانی دولت مهیا شده باشد. این نوع مسکن مطابق با استراتژی مسکن اجتماعی و برنامه‌های اجرای استراتژی برای خانواده‌هایی که به دلایل اجتماعی، اقتصادی یا موارد دیگر قادر به تهیه مسکن تحت شرایط بازار نیستند؛ کاربرد دارد.
اوکراین	مطابق قوانین اوکراین، مسکن اجتماعی به عنوان همه نوع املاک (به استثنای خوابگاه‌های اجتماعی) با اهداف اجتماعی از کل مسکن‌ها که براساس قرارداد اجاره‌نامه برای مدت زمان مشخصی به شهروندان نیازمند اوکراین ارائه می‌شود.
انگلستان	مسکن اجاره‌ای اجتماعی متعلق به مقامات محلی و ارائه دهندگان ثبت شده خصوصی است (همانطور که در بخش۸۰ قانون مسکن و بازسازی ۲۰۰۸ تعریف شده است)، که برای آن اجاره‌ای از طریق ضوابط ملی اجاره نامه تعیین می‌شود. هم‌چنین ممکن است متعلق به اشخاص دیگر باشد و طبق مقررات اجاره نامه با موافقت مقامات محلی یا انجمن‌ها ارائه شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۳-۱ حق تصدی مسکن اجتماعی

در اکثر کشورهای عضو UNECE، مسکن اجتماعی برای اهداف اجاره فراهم شده است؛ اگرچه می‌تواند برای خرید یا مالکیت مشترک در دسترس باشد. همچنین بخش خصوصی اجاره نیز می‌تواند پاسخگوی نیاز مسکن اجتماعی باشد. بنابراین در بعضی کشورها یکی به عنوان گزینه‌های تصدی (مانند دولت) بر مسکن‌های اجتماعی مسلط است؛ در حالی که در بعضی کشورها مانند انگلستان ترکیبی از چندین شکل مسکن اجتماعی استفاده می‌شود.

أ. **مسکن اجاره‌ای اجتماعی**[۵] یا مسکن اجتماعی برای اجاره، رایج‌ترین شکل مسکن اجتماعی در منطقه UNECE است. در اکثر کشورهای عضو UNECE (به استثنای اسپانیا، قبرس و یونان)، مسکن اجتماعی برای اجاره در قیمتی پایین‌تر از قیمت بازار ارائه می‌شود.

ب. **مالکیت خانه با قیمت ارزان**[۶] روشی سنتی برای برآورده شدن نیاز مسکن در برخی از کشورهای مدیترانه‌ای (اسپانیا، قبرس و یونان) است. دراینجا، مسکن اجتماعی فقط یا به طور عمده به شکل مسکنی که دارای یارانه دولتی است، برای فروش ارائه می‌شود.

ت. **تعاونی‌ها**[۷] یک شکل متمایز از مالکیت خانه هستند، که با جمع کردن منابع اعضا توان خرید آن‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین به ازای هر عضو کلیه خدمات و محصولات مرتبط با مالکیت خانه، تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد.

ث. **مالکیت مشترک**[۸] گزینه‌ای از مسکن‌های اجتماعی مقرون به صرفه است، که در آن مستاجر می‌تواند درصدی (بین ۲۵ تا ۷۵ درصد) از خانه را خریداری کرده ومابقی مبلغ باقیمانده را به صورت اجاره‌بها پرداخت نماید. در انگلیس این گزینه در کنار سایر مسکن‌های اجتماعی مانند مسکن اجتماعی برای اجاره و مسکن اجتماعی خصوصی که دارای یارانه برای اجاره‌بها است؛ قرار دارد.

ج. **حق اشغال مسکن**[۹] گزینه‌ای برای اجاره مسکن (مانند کشورهایی در سوئد، فنلاند و لهستان) است. ساکنین ملزم‌اند که هزینه حق اشغال خود که درصدی از ارزش خانه است؛ بپردازند که مثلا در کشور فنلاند ۱۵ درصد است. سپس ساکنین ملزم به پرداخت اجاره‌بها برای ارزش باقی‌مانده مسکن اند. در این حالت مسکن را نمی‌توان از مالک خریداری کرد، اما حق اشغال مسکن در هنگام جابجایی قابل استرداد است.

ح. **بخش اجاره‌ای خصوصی**[۱۰] می‌تواند به عنوان یک مسکن اجتماعی که معمولا برای مدت زمان مشخصی در اختیار قرار می‌گیرد؛ به درد بخورد. این امر می‌تواند با صدور مجوز به صاحبخانه‌های بخش خصوصی برای اجاره دادن محل خود برای اهداف اجتماعی و ارائه یارانه به متقضیان سکونت انجام شود. این راه حل اکنون در ایرلند و انگلستان درحال اجرا است.

---

[۵] Social rented housing
[۶] Low-cost home ownership
[۷] Co-operatives
[۸] Shared ownership
[۹] Right of occupancy dwelling
[۱۰] Private-rented

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۲-۳-۱ بودجه و امور مالی

فراهم سازی بودجه و تامین مالی برای مسکن اجتماعی، به منظور کاهش هزینه‌های ساخت و ساز (به اصطلاح یارانه آجر و ملات) انجام می‌شود تا باعث کاهش اجاره بها و قیمت فروش مسکن شود. هدف از این کار کمک به ساکنین مسکن اجتماعی است. این کمک‌ها برای ساکنین مسکن اجتماعی را می‌توان در دو دسته تقسیم کرد:

أ. یارانه‌های تقاضا (یارانه برای ساکنین): در قالب کمک هزینه به ساکنین مسکن اجتماعی به صورت مستمری در دسترس است تا بتوان در پرداخت اجاره‌بها و قبوض مسکن کمک کرد. به طور مثال در کشور مجارستان ساکنین مسکن اجتماعی از این نوع خدمات بهره‌مند اند. این یارانه‌ها توسط دولت‌های مرکزی، فدرال یا محلی تامین می‌شود، اما به طور کلی از یک منبع عمومی تامین می‌شود. لازم به ذکر است که میزان دریافتی یارانه، براساس سطح درآمد ساکنان مسکن اجتماعی تنظیم شده است.

ب. یارانه‌های عرضه (یارانه ساختمان): هدف از این کار کاهش قیمت ساخت و ساز مسکن اجتماعی به منظور کاهش هزینه اجاره و قیمت مسکن است. به طور مثال در کشور اسپانیا ساکنین مسکن اجتماعی از این نوع خدمات بهره‌مند هستند. بسته به بستر ملی، این نوع یارانه ممکن است از طریق یک منبع عمومی توسط مقامات ملی و محلی تامین شود یا از طریق بخش خصوصی به عنوان سرمایه سرمایه-گذاران خصوصی تامین شود. لازم به ذکر است که در هر صورت، دولت نقش مهمی در کاهش هزینه-های مالی، قوانین و مقررات مربوط به نرخ اجاره و خرید مسکن اجتماعی دارد. یارانه‌های طرف عرضه که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: زمین با تخفیف، کمک‌های مالی، وام‌های عمومی، وام‌های خصوصی، یارانه‌های نرخ بهره و سرمایه گذاری‌های خصوصی توسط دولت.

۴-۲-۳-۱ مدل‌های تخصیص مسکن اجتماعی در منطقه UNECE

در جدول (۱- ۳) مدل‌های خانه اجتماعی براساس تخصیص ارائه شده است:

جدول (۱- ۳) مدل‌های خانه اجتماعی براساس تخصیص

مدل همگانی[۱۱]	مدل کلی[۱۲]	مدل باقیمانده[۱۳]
تخصیص		
برای کل جمعیت (منوط به ثبت نام در لیست انتظار مسکن اجتماعی)	خانوارهای آسیب‌پذیر گروه‌های ویژه خانوارهای زیر حداقل درآمد تعریف شده	خانوارهای آسیب‌پذیر گروه‌های ویژه (شامل: مهاجرین، پناهجویان، معلولین، سوء مصرف کنندگان مواد و غیره)
ماموریت		
توانایی دست‌یابی به مسکن مناسب برای همه خانوارها	پاسخ به مشکلات در دسترسی به بازار مسکن	پاسخ به جمعیت محروم از بازار مسکن

[۱۱] Universal model
[۱۲] Generalist model
[۱۳] Residual Model

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۴-۲-۳-۱ مدل تخصیص همگانی

طبق CECODHAS، مدل تخصیص همگانی به گونه‌ای طراحی شده است که بدون توجه به درآمد خانوار، مسکن مناسب و مقرون به صرفه را در اختیار کل مردم قرار می‌دهد. در این مدل، مسکن یک مسئولیت عمومی محسوب می‌شود و از طریق شرکت‌های مسکن شهری (به عنوان مثال سوئد ، دانمارک) یا از طریق سازمان های غیر انتفاعی (به عنوان مثال هلند و دانمارک) ارائه می‌شود. به طور کلی کشورهای با الگوی تخصیص همگانی، سهم بالایی از بخش مسکن اجتماعی در سیستم‌های مسکن خود دارند (مقداری بین ۱۸ تا ۳۲ درصد). روش تخصیص مسکن در این مدل براساس لیست انتظار و بدون محدودیت درآمد است. همچنین در این روش کمک هزینه و تضمین اجاره برای گروه‌های آسیب‌پذیر ارائه شده است. در سال ۲۰۰۷، کشورهای دانمارک، سوئد و هلند از این نوع سیستم تخصیص مسکن‌های اجتماعی استفاده کردند.

سیستم تخصیص همگانی در مقایسه با سایر مدل‌های تخصیص، مسکن اجتماعی کاملاً سخاوتمندانه فراهم می-کند. با این حال، تجزیه و تحلیل انجام شده برای این مطالعه نشان می‌دهد که ویژگی‌های این مدل تخصیص در دهه اخیر دستخوش تغییر شده است. به عنوان نمونه، هلند محدودیت‌های جدید حد درآمد کمتری را برای تخصیص مسکن اجتماعی معرفی کرده است.

۲-۴-۲-۳-۱ مدل تخصیص کلی

این مدل فرض می‌کند که اهداف سیاست‌گذاری مسکن عمدتا توسط بازار برآورده می‌شود. مسکن اجتماعی فقط به خانوارهایی مربوط می‌شود که بازار قادر به ارائه مسکن با کیفیت مناسب همراه با قیمت مناسب نیست. تنوع زیادی در نوع و اندازه مسکن اجتماعی در مدل‌هایی که متعلق به این مجموعه است است، وجود دارد. در این مدل، خانه‌های اجتماعی محدوده‌ای بین ۰ تا ۱۹ درصد از سیستم مسکن پوشش می‌دهد. طبق CECODHAS، مسکن اجتماعی کلی براساس مجموعه‌ای مشخص از قوانین و رویه‌ها شامل معیارهای اولویت‌بندی و سقف درآمد به خانوارها توسط ارائه دهندگان مسکن اختصاص می‌یابد. اجاره‌ها دارای سقف ثابت هستند و خانواده‌ها از کمک هزینه مسکن مبتنی بر درآمد که بخشی از اجاره آن‌ها را پوشش می دهد، بهره‌مند می‌شوند.

۳-۴-۲-۳-۱ مدل تخصیص باقیمانده

مدل تخصیص باقی مانده یا پسماند با هدف تخصیص مسکن به یک گروه محدود از ذینفعان شکل گرفته است. جامعه هدف این مدل، معمولاً خانوارهای بسیار آسیب‌پذیر (به عنوان مثال افراد بیکار، معلول، سالمند و والدین مجرد سرپرست خانوار) که به شدت به مزایای دولتی وابسته هستند، می باشند. در اتحادیه اروپا، تخصیص مسکن اجتماعی برای آسیب‌پذیرترین افراد معمولا براساس تخصیص مستقیم این نوع مسکن توسط مقامات محلی براساس نیاز است. براساس CECODHAS، در اتحادیه اروپا اجاره‌بها براساس مخارج خانوار یا براساس درآمد تنظیم و تعیین می‌شود. همچنین کمک هزینه مسکن در دسترس است. با این حال، در بقیه مناطق UNECE اینگونه نیست. سیستم مبتنی بر هزینه در انگلیس، ایرلند یا ایالات متحده استفاده نمی شود. به عنوان مثال در ایالات متحده، اجاره بها به عنوان ۳۰ درصد از درآمد خانوار محاسبه می شود و براساس هزینه خانوار نیست. باید تأکید کرد که در کشورهای SEE و EECA، اجاره بها به ندرت مبتنی بر هزینه بوده و این حالت از مسکن همیشه برای افراد نیازمند مقرون به صرفه نیست. درحال حاضر، اکثر کشورها در منطقه UNECE از مدل باقیمانده برای تخصیص مسکن اجتماعی استفاده می‌کنند. مدل باقیمانده در آمریکای شمالی، اروپا، EECA، SEE و خاورمیانه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. درکشورهایی که مدل تخصیص باقیمانده مرسوم است (مانند

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ایالات متحده آمریکا، ترکیه، مجارستان، استونی)، بخش مسکن اجتماعی سهم بسیار کمی از کل مسکن را در بر می‌گیرد و به طور فزاینده‌ای به جمعیت فقیر و آسیب‌پذیر کمک می‌کند.

۱-۳-۳ توسعه مسکن اجتماعی در کشور چین

سیستم تامین مسکن اجتماعی در چین شامل دو بخش است؛ بخش اول سیستم تامین مسکن برای فروش و دیگری سیستم تامین مسکن برای خانوارهای کم درآمد تحت تملک دولت. دولت چین در سال ۲۰۰۷ به منظور تامین مسکن اجتماعی، روشی برای مدیریت خانه‌های مقرون به صرفه ارائه کرد. منظور از خانه‌های مقرون به صرفه طبق سند ۲۰۰۷ دولت چین، به خانه‌هایی اطلاق می‌شود که دارای حمایت‌های یارانه‌ای از سوی دولت است و از استانداردهای ساخت وساز دولت چین برخوردار است. به منظور توسعه مسکن‌های مقرون به صرفه سیاست‌های گوناگونی از در کشور چین ارائه شده است که عبارت است از:

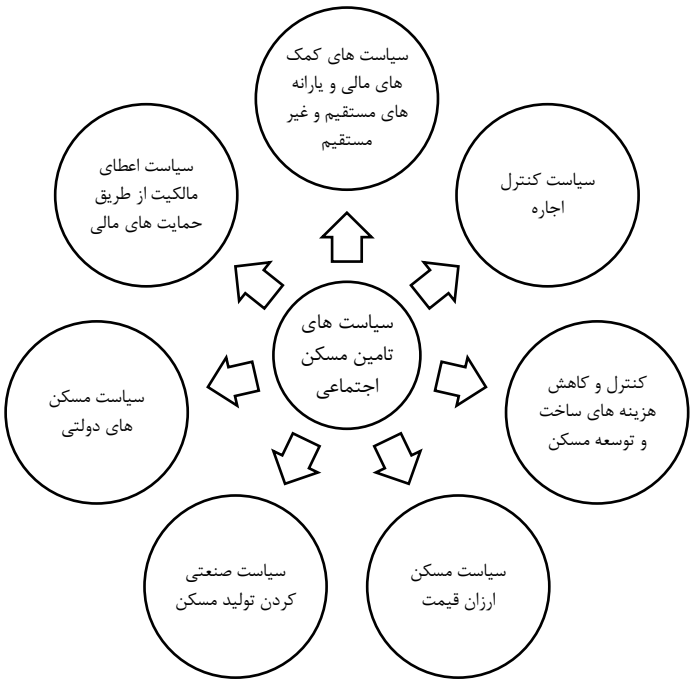
۱- حمایت برای ارائه زمین به خانوارها. زمین ساخت و ساز برای مسکن ارزان قیمت توسط حمایت‌ها و تشویقی‌های دولت تامین می‌شود و اولویت با خانواده‌های کم درآمد است.

۲- تامین منابع سرمایه ساخت و ساز. برای اجرای پروژه مسکن‌های مقرون به صرفه می‌توان به منابع مالی مختلفی مانند بودجه‌های دولتی، پشتیبانی مالی سرمایه‌گذاران و صندوق‌های تامین مسکن اشاره کرد.

۳- روش‌های توسعه‌ای. دولت با استفاده از منقاصه‌های ارائه شده اقدام به توسعه مسکن‌های ارزان قیمت می‌کند.

۴- اندازه و قیمت ثابت برای مسکن‌های حمایتی. به منظور جلوگیری از تاثیر بازار مسکن بر مسکن‌های مقرون به صرفه، اندازه و قیمت ثابتی بر آن‌ها اعمال شده که توسط دولت مدیریت می‌شود.

به طور کلی در شکل (۱- ۴) می‌توان سیاست‌های حمایتی برای توسعه مسکن‌های اجتماعی در چین را به طور خلاصه نشان داد.



شکل (۱- ۴) سیاست های توسعه مسکن اجتماعی در چین

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

در طی اصلاح و توسعه سیستم مسکن در چین، جامعه مسکن اجتماعی به تدریج در حال تبدیل شدن به نوع مهمی از جوامع شهری است. به طو مثال در شهر شانگهای نیاز به نیروی کار جوان است که برای رفع مشکلات ناشی از مسکن، مجموعه مسکن هایی در کنار رودخانه Huangpu ساخته شده است که بر پایه مسکن اجتماعی پایدار است (شکل (۱- ۵)). این نوع مسکن ها برای نیروی جوان کار ساخته شده است، که ترجیح می دهند به جای خرید یک آپارتمان یک مسکن اجتماعی با قیمت مناسب را اجاره کنند و عمده ساکنین آن زوج های جوان متاهل یا مجرد هستند به طوری که آن ها فضای کوچک و انعطاف پذیر برای زندگی را می پذیرند. در این بخش از زمین هشت ساختمان وجود دارد که پنج مورد از آن ها مجموعه واحدهای آپارتمان کوچک، دو ساختمان از آن ها مجموعه خوابگاه های مجرد و یکی از آن ها برای ساختمان های تجاری است .[21].



شکل (۱- ۵) مسکن اجتماعی در Longnan Garden چین [21]

تامین امنیت مسکن یک جزء مهم از امنیت اجتماعی است. پس از اصلاحات و گشایش ها، سیاست مسکن چین از تخصیص مسکن بهزیستی توسط دولت به همکاری بین بازار مسکن و سیستم امنیتی مسکن تبدیل شد، به طوری که باعث شکل‌گیری مسکن‌های اجتماعی شد. لذا مسکن اجتماعی بخش جدایی ناپذیری در سیستم تامین مسکن وزارت مسکن و شهرسازی است که در اطلاعیه ای در کشور چین به مسکن های ارزان قیمت گفته می شود. در پنج سال آینده، ۳۶ میلیون مسکن اجتماعی در شهر چین وجود دارد که ۲۰٪ کل مناطق مسکونی را به خود اختصاص خواهد داد. وضعیت فعلی مسکن اجتماعی چین با چند وجه منفی روبرو است [22]:

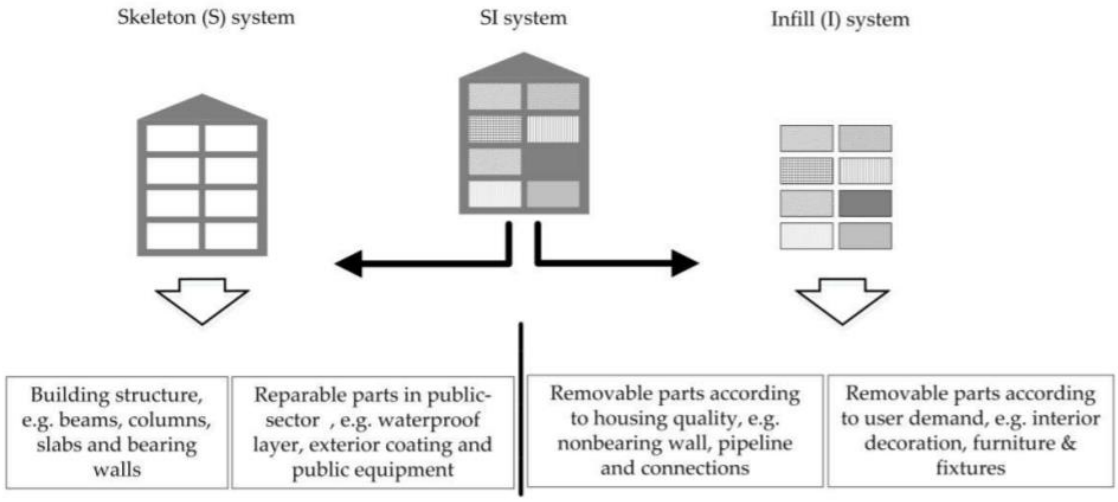
- سازگاری و پایداری ضعیف: منطقه مسکونی به صورت عادی و محدود برای کارکردهای زندگی ثابت ساخته شده است.
- شکاف بین طراحی و نیاز: دولت و طراحان در طراحی مسکن های اجتماعی صدرنشین هستند و ساکنین فقط در تجارت مشارکت می کنند؛ لذا مذاکره کمی بین طراحان و کاربران وجود دارد و ساکنان در وضعیت منفعل هستند به طوری که باعث شکل گیری مشکلات می شود.
- مسکن های اجتماعی در کشور چین معمولا به سبک آپارتمان های مرتفع ساخته می شود و نوعی مسکن با تراکم بالا است. اگرچه برای حل مشکلات زندگی برای جمعیت عظیم در اراضی تنگ موثر است، اما لازم است که محیط طبیعت و محیط جامعه تقویت شود.

لذا این عوامل باعث شده است که تقاضای مسکن از حالت افزایش کمی به پیشرفت کیفی تغییر پیدا کند. بدین منظور در سال ۲۰۰۶، سیستم (skeleton and infill housing (SI)) باتوجه به تجارب کشور هلند و ژاپن، در کشور چین شکل گرفت، که هدف این سیستم توسعه و رشد مسکن های اجتماعی سازگار است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۳-۱ مفهوم خانه *Skeleton Infill*

در سال ۱۹۶۱، سیستم مسکن skeleton infill (SI) اولین بار توسط جان هابراکن[۱۴] با استفاده از تئوری ساختمان باز معرفی شد که این سیستم متشکل از سیستم اسلکلت (S) و سیستم میان قاب ها infill (I) است [23]. در یک سیستم مسکن SI، ساختار مسکن براساس کارکردهای مختلف و عمر سرویس اجزای آن به دو قسمت اسکلت (S) و قسمت میان قاب (I) تقسیم می شود که در طی مراحل ساخت و ساز اتصالات بین دو بخش برقرار می شود. قسمت S عمدتا شامل اجزای سازه ای مانند: تیرها، سقف ها، ستون ها و دیوارهای باربر است و همچنین شامل قطعات قابل تعویض در بخش عمومی مانند شبکه لوله ها، پوشش های بیرونی و تجهیزات آسانسور است. قسمت I شامل اجزای قابل تغییر است که با توجه به کیفیت مسکن تعیین می شود و شامل دیوارهای غیر باربر، خطوط لوله های داخلی و قسمت هایی که طبق تقاضای کاربر مانند تزئینات داخلی، آشپزخانه / حمام یکپارچه است. طرح نمودار سیستم مسکن SI در شکل (۱- ۶) نشان داده شده است. قسمت S ثابت است، در حالی که قسمت I می تواند برای برآورده کردن خواسته های کاربردی ساکنین در طول زندگی بازسازی شود که به شدت تغییرات و انعطاف پذیری طرح های ساختمان را بهبود می بخشد. این یک مسیر جدید برای افزایش پایداری و عمر ساختمان با بهبود دوام ساختاری و تغییرپذیری در نظر گرفته شده است.



شکل (۱- ۶) طرح نمودار سیستم مسکن SI [23]

مزایای سیستم مسکن SI عبارت است از:

- به جای لوله های مشترک در منازل مسکونی سنتی، در سیستم مسکن SI لوله های بخش خصوصی از عمومی جدا است، به طوری که می توان در زمان بهره برداری از قطعات مربوط به خود حفاظت کرد.
- در مقایسه با خانه های سنتی، سیستم مسکن SI در مورد حقوق اختصاصی کاملا روشن است و این به نفع اجرای مسئولیت مدیریت است.
- عمر مسکن هایی که براساس مسکن SI است بسیار طولانی تر از مسکن سنتی است. زیرا ساختار پایدار می تواند نیازهای صد سال را برطرف سازد به طوری که انعطاف پذیری فضای داخلی آن باعث می شود که نه تنها برای عملکرد مسکونی استفاده شود بلکه برای نیازهای تجاری همچنین مورد استفاده قرار گیرد.

[۱۴] John Habraken

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۳-۱ مفاهیم صنعتی سازی ساختمان:

أ. پیش ساخته سازی Prefabrication : فرآیندی تولیدی است که در آن بطور کلی مواد به همدیگر متصل می شوند تا جزئی از نصب نهائی را تشکیل دهند .قطعات پیش ساخته ساده هستند مانند یک پانل وانواع قطعات مزبور می توانند در کارخانه بصورت site-off تولید شوند ویا در خط تولید موقتی بصورت site-onتولید گردند.

ب. پیش مونتاژ نمودن Preassembly : فرآیندی است که در آن اجزای پیش ساخته تجهیزات ومتعلقات آن در یک مکان دیگر به جزء سایت احداث وگاه در حین احداث برهم مونتاژ شده تا جزئی از یک واحد ساختمانی را تشکیل بدهند .این به معنای تولید سیستم های پیچیده است نه ساده، بدین منظور نیاز به مهارت های ویژه نیروی انسانی جهت مونتاژ مواد مختلف ضروری است که در این شیوه خط تولید می تواند دور از سایت احداث یا نزدیک آن باشد.

ت. مدوالریزاسیون Modularization : مدوالریزاسیون به مفهوم مدوالر واستاندارد نمودن اجزاء وقطعات ساختمانی است به نحوی که به جای تولید یک قطعه در ابعاد وقطعات بسیار متنوع، این محصولات در محدوده ای منطقی ومحدود تولید شوند تا امکان دستیابی به تولید انبوه کارخانه ای فراهم شود .مدوالریزاسیون به مفهوم تولید سیستم های پیچیده مدوالر، اشاره به سیستم های پیچیده ای دارد که در مکانی دور از سایت احداث مونتاژ می شوند وسپس به سایت منتقل می گردند.

ث. صنعتی سازی Industrialization : در یک تعریف جامع، صنعتی سازی به معنای یک پارادایم تولید است که شامل روش هائی است که میزان استفاده از منابع ونیروی کار را (با بهینه سازی کاربرد تجهیزات وتکنولوژی) در فرآیندها بهبود می دهد. مفهوم صنعتی سازی ساختمان فقط به معنای پیش ساخته سازی نیست، بلکه شامل پیش ساخته سازی، پیش مونتاژ، مدوالریزاسیون وکاربرد فناوری های نوین در فرآیند ساختمان سازی نیز می گردد.

۳-۳-۳-۱ روش های صنعتی سازی ساخت و ساز:

بسیاری از کشورها و مناطق جهان، ساخت و سازهای صنعتی را یک روش مناسب برای تسهیل در صنعت ساخت و ساز می دانند. در چین طرفداران ساخت و سازهای صنعتی بیشتر به پایداری محیط زیست و اجتماعی توجه کرده اند، اما موانع پایداری اقتصادی به خوبی حل نشده است. به منظور حل این مشکل روش صنعتی سازی در محل[۱۵] (OSI) ارائه شده است [24]. برای انجام روش ساخت و ساز صنعتی در محل از یکسری تجهیزات و تکنولوژی ها استفاده می شود که عبارتند از:

- روش PALSP[۱۶]، فناوری اصلی پیش ساخته برای ایجاد فضای ساخت و ساز است. همانطور که در شکل (۱-۷) نشان داده شده است، PALSP (که به رنگ آبی نشان داده شده است) روی زمین از قبل مونتاژ می شود، سپس توسط تاور کرین به ساختار ساختمان وصل می شود و سپس با استفاده از سیستم نیرو به طور خودکار بالا کشیده می شود. مونتاژ PALSP معمولا برای چهار طبقه است و پس از نصب دیوارهای خارجی چهار طبقه، توسط یک نیروی محرک به سمت بالا بلند می شود. هر طبقه یک مرکز ساخت وساز

[۱۵] On-site Industrialization

[۱۶] Preassembly automatic lifting support platform

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

است و کل سایت ساخت و ساز کارخانه موقت را در جهت افقی تشکیل می دهد و از طرف دیگر با توجه به مکانیزم PALSP می توان ساخت و ساز مربوط به جهت عمودی را بدون دار و بست انجام داد.



الف- نمونه قبل از مونتاژ



ب- PALSP چسبیده به سازه ساختمان



ج- فضای ایجاد شده توسط PLASP



د- محیط شدن PLASP

شکل (۱- ۷) فرآیند تکنیک PALSP [24]

- روش PAFS[۱۷]، در این نمونه قالب پیش ساخته از آلیاژ آلومینیوم ساخته شده است. واحد تولید ساختمان می تواند به یکباره تشکیل شود و فرآیند مونتاژ اجزای پیش ساخته را از بین ببرد. PAFS مانند خط تولید بتن خارج از سایت کارخانه است، که از طریق مونتاژ مکرر، ریخته گری و انتقال به طبقه استاندارد، عملیات ساخت و ساز صنعتی شکل می گیرد. شکل (۱- ۸) این روند را نشان می دهد.

[۱۷] prefabricated aluminum formwork system

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



الف- نمونه قبل از مونتاژ



ب- پروسه مونتاژ PAFS



ج- سیستم PAFS با بتن



د- کارخانه موقت با PAFS

شکل (۱- ۸) فرآیند تکنیکی سیستم قالب پیش ساخته آلومینیوم [24]

- پارتیشن بتنی پیش ساخته (PCP)[۱۸] اصلی ترین جزء بتنی پیش ساخته در روش OSI است. از آنجا که وظیفه پارتیشن های بتنی پیش ساخته تحمل بار نیست لذا می توان پس از اتمام ساخت اصلی سازه ، بدون دخالت در مسیر بحرانی ، نصب شود. مراحل نصب PCP در شکل (۱- ۹) نشان داده شده است.

[۱۸] precast concrete partition

DOI: 10.30503/nripress.2020.341





الف- انبار پارتیشن بتنی پیش ساخته ب- برپایی پارتیشن بتنی پیش ساخته به عنوان دیوار

شکل (۱- ۹) پارتیشن های بتنی پیش ساخته [24]

۱-۳-۴ توسعه مسکن اجتماعی در کشور برزیل

در کم‌تر از ۵۰ سال اخیر، میزان شهر نشینی در کشور برزیل از ۵۰٪ به ۸۵٪ افزایش یافته است. از طرف دیگر، عدم دسترسی به مسکن توسط بخش قابل توجهی از جمعیت به طور عمده خانواده‌های کم درآمد، در حال حاضر یک مشکل جدی در کشور برزیل است. به طوری که در سال ۲۰۱۴، این کمبود مسکن در حدود ۶ میلیون واحد مسکن تخمین زده شد. لذا دولت فدرال برزیل در سال ۲۰۰۹، برنامه‌ای تحت عنوان "خانه من، زندگی من[۱۹]" ایجاد کرد تا دسترسی مسکن را برای خانواده‌های کم درآمد ساده کند. برنامه ساخت مسکن اجتماعی دولت برزیل از ماه مارس سال ۲۰۰۹ و با بودجه ۱۸ میلیارد دلاری آغاز شد که هدف آن ساخت یک میلیون خانه بود. دومین مرحله از این برنامه در سال۲۰۱۰ اعلام شد که طبق آن ساخت ۲ میلیون خانه دیگر نیز در دستور کار قرار گرفت. از ۳ میلیون خانه‌ای که در طرح گنجانده شده، ۱.۶ میلیون خانه به خانواده‌هایی تعلق می‌گیرد که درآمد آن‌ها بین صفر تا سه برابر حداقل دستمزد است. یک میلیون خانه نیز به خانواده‌هایی تعلق می‌گیرد که درآمد آنها بین ۳ تا ۶ برابر حداقل دستمزد است و۴۰۰ هزار خانه نیز برای خانواده‌هایی با درآمد ۶ تا ۱۰ برابر حداقل دستمزد درنظر گرفته شده است. لذا فضای مسکن اجتماعی برای سه نمونه‌ی اصلی با سه گروه درآمدی مختلف طراحی شد. گروه یک که برای کم درآمدترین‌ها است، از بودجه‌ی فدرال و یارانه‌هایی که برای وام و امور زیر بنایی و اجتماعی پرداخت می‌شود؛ بهره‌مند می شوند. مسکن گروه یک به طور مستقیم در اختیار بانک پس‌انداز فدرال (CAIXA) است و با یاری سازمان‌های مردم‌نهاد و غیرانتقاعی ساخته می‌شوند. نمونه‌های مسکن گروه‌های دو و سه دارای تنوع و امکانات بیشتر بوده، اما دارای کمک بلاعوض نیستند و نوع و میزان یارانه‌ی آن‌ها

[۱۹] My house-My life

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

به‌طور نسبی کمتر است. در گروه‌های دو و سه، بخش خصوصی هم فعال بوده و امکـان تجاری‌سازی هم وجود دارد.



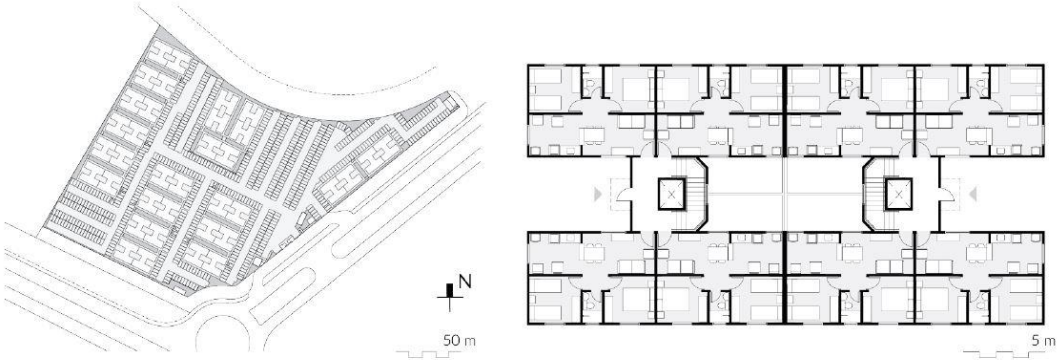
شکل (۱- ۱۰) نمونه مسکن اجتماعی در کشور برزیل

ضرورت تسریع در روند ساخت و ساز و کاهش هزینه‌های ساخت باعث شد که پروژه مسکن اجتماعی در سراسر کشور برزیل بدون در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی منطقه و مصالح ساختمانی اجرا شود. این نتایج منجر به ساختمان‌هایی با کیفیت پایین که از بسیاری جهات نیازهای کاربران از جمله راحتی حرارتی عملکرد انرژی را برآورده نمی‌کند. از طرف دیگر اکثر کاربران مسکن اجتماعی قدرت خرید کم دارند؛ و اغلب آن‌ها منابع مالی لازم برای تامین هزینه‌های سیستم فعال برای غلبه بر ناراحتی‌های حرارتی ندارند. همچنین تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که ساختمان‌ها حدود 44٪ از کل تقاضای برق در برزیل را تشکیل می‌دهند، به طوری که بخش مسکونی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف کننده با 22٪، بعد از آن بخش تجاری با 14٪ و بخش عمومی با 8 ٪ را تشکیل می-دهد [25]. لذا به منظور حفظ انرژی پس از بحران انرژی در سال ۲۰۰۱ در برزیل، دولت را وادار به اجرای سیاست‌هایی در مورد بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها کرد. به منظور دسترسی به اهداف بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی، مطالعاتی توسط محققان انجام شده است که در ادامه به آن ها پرداخته می شود.

۱-۴-۳-۱ بررسی آسایش حرارتی یک مسکن اجتماعی نمونه با مصالح معمول برزیل در مقایسه با گزینه جایگزین ساختمان های چوبی

اخیرا پروژه‌ای تحت عنوان Spazio Mont Royal (SMR) در شهر سائوکارلوس برزیل اجرا شده است که هدف آن تامین مسکن اجتماعی برای ساکنین منطقه است [26]. پروژه SMR دارای ۶۰۲ واحد مسکونی است که در ۳۶ ساختمان ۵ طبقه با ۲۰ آپارتمان در آن ساخته شده است. هر واحد آپارتمانی با متراژ ۳۷.۶۵ متر مربع متشکل از دو اتاق خواب، یک اتاق نشیمن، حمام، آشپزخانه و یک سرویس است. سیستم ساخت و ساز دیوارها از بلوک‌های بتنی ۹ سانتی‌متری با پوشش گچ در داخل و خارج آن تشکیل شده است. سیستم سقف آن به صورت عرشه فولادی با ضخامت بتن ۱۰ سانتی‌متری است. شکل (۱- ۱۱) نحوه توزیع پروژه مسکن اجتماعی SMR را نشان می‌دهد.

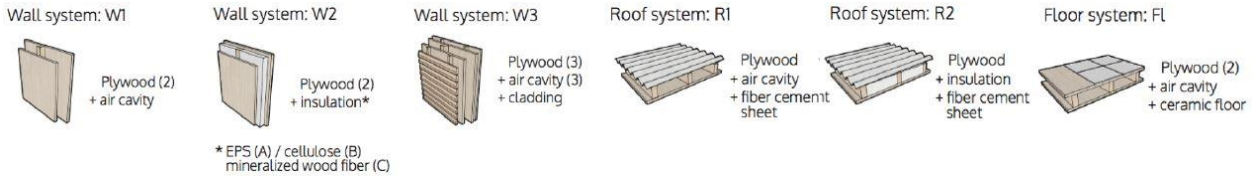
DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۱۱) طرح توزیع مجتمع مسکونی SMR و طبقه واحدهای ساختمانی [26]

علی رغم آن که کشور برزیل دومین ذخیره بزرگ جنگل را بر روی کره زمین دارد؛ اما معمولا از چوب در ساخت و ساز استفاده نمی‌کند. به طوری که استفاده از چوب در ساختمان‌ها به دلیل قابلیت تجدیدپذیری، بازیافت، انرژی کم برای ساخت و ساز و کاهش انتشار گاز کربن می‌تواند مزایای زیست محیطی بسیاری به همراه داشته باشد. لذا محقیقن به بررسی عملکرد استفاده از چوب در سازه به منظور افزایش بهره‌وری انرژی مسکن اجتماعی و آسایش راحتی ساکنین آن پرداختند. بدین منظور آن‌ها سیستم‌های سازه‌ای جایگزینی مبتنی بر چوب ارائه کردند و سپس اقدام به مقایسه بهره‌وری انرژی در مسکن اجتماعی SMR و ساخت مسکن اجتماعی براساس سیستم‌های سازه‌ای مبتنی بر چوب کردند؛ که در ادامه به نتایج آن پرداخته می شود.

دو نوع سیستم سازه‌ای مبتنی برچوب شامل دیوار و سقف در نظر گرفته شده است. این سیستم‌ها برای دیوار شامل صفحات چوبی که در بین آن لایه عایق یا محفظه هوا قرا گرفته است و سه ماده عایق شامل پلی استایرن (EPS)، سلولز و الیاف چوب معدنی برای مطالعه تست شده‌اند. سیستم ساختمانی پیشنهادی برای سقف شامل تیرهای چوبی تکراری است که سطح داخل آن پانل‌های چوب و بر روی سطح خارجی آن سیمان قرار گرفته است و همچنین از مواد عایق و محفظه هوا در بین تیرهای چوبی استفاده شده است. شکل (۱- ۱۲) سیستم‌های سازه‌ای پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل (۱- ۱۲) سیستم‌های جایگزینی ساخت و ساز مبتنی بر چوب [26]

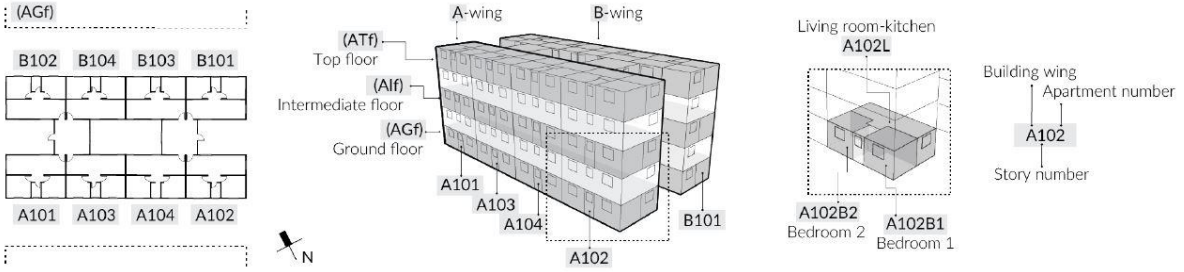
معمولا معیار ناراحتی دمای عملیاتی در ساختمان با استفاده از روش درجه-ساعت[۲۰] (DH) انجام می‌شود. از این روش برای طبقه‌بندی عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی استفاده می‌شود. روش درجه-ساعت (DH) اجازه می‌دهد تا مقدار درجه حرارتی خارج از محدوده آسایش حرارتی را در هر ساعت برای یک بازه دلخواه تعیین کند. تعریف DH برای ناراحتی حرارتی به دو دسته ناراحتی حرارتی ناشی از گرما (بالاتر از محدوده آسایش) و ناراحتی حرارتی ناشی از سرما (پایین‌تر از محدوده آسایش) تقسیم می‌شود. به طور مثال با فرض در نظر گرفتن درجه حرارت بیرون برای دمای محیط داخل خانه و مدل راحتی ASHRAE 55-2013، میزان ناراحتی حرارتی بر اثر

[۲۰] Degree-hours method

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

گرما 625DH و بر اثر سرما 16393DH در کشور برزیل ارزیابی شده است. لذا می‌توان در سیستم‌های غیر فعال مسکن این ناراحتی حرارتی را با استفاده از تهویه‌های طبیعی (ناراحتی حرارتی ناشی از گرما) و با استفاده از گرمای داخلی و خورشیدی (ناراحتی حرارتی ناشی از سرما) برطرف کرد.

به منظور بررسی راحتی حرارتی و بهره‌وری انرژی مسکن اجتماعی SMR با مسکن اجتماعی مبتنی بر چوب، از نرم افزار Energy Plus استفاده شده است. ابتدا اقدام به مدل‌سازی پروژه SMR شده است به طوری که براساس نحوه چیدمان و قرارگیری مجتمع‌های مسکونی یک مجتمع مسکونی به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. از آنجا که ۸۰٪ مجتمع‌ها در راستای شمال غربی و جنوب شرقی واقع شده‌اند یک مجتمع انتخاب شده و سپس اقدام به بررسی معیار DH در واحدهای آپارتمانی در طبقات اول، سوم و پنجم در دو بلوک آن شده است. شکل (۱- ۱۳) شمای کلی واحدهای مسکونی انتخاب شده برای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

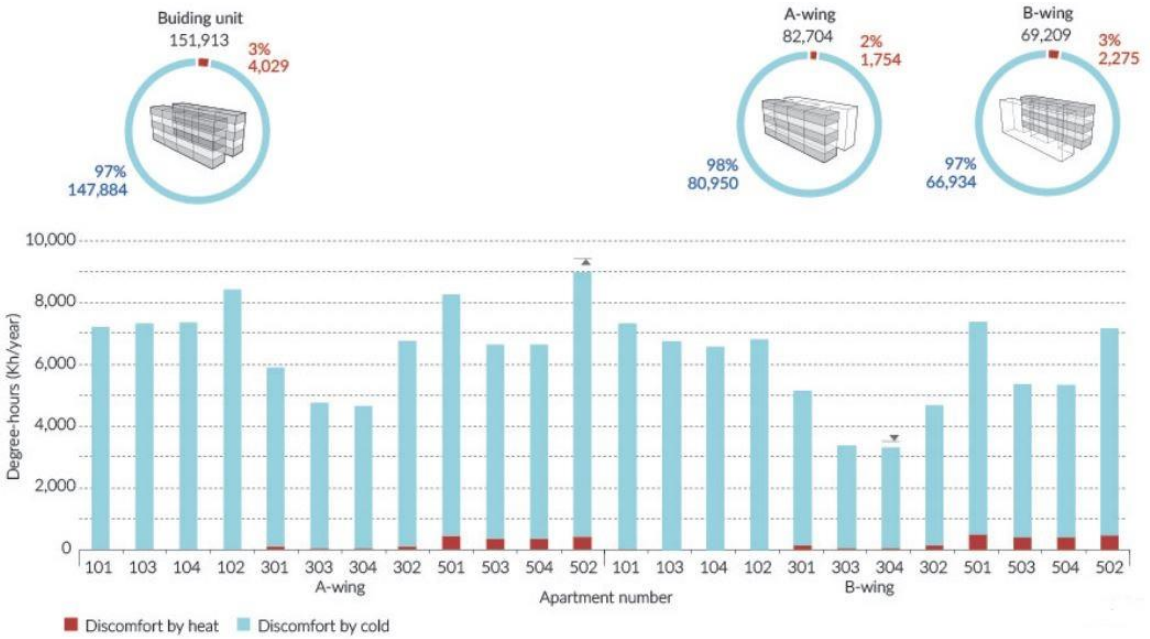


شکل (۱- ۱۳) مدل ساده پروژه SMR برای شبیه‌سازی [26]

لازم به ذکر است که برای مدل‌سازی یک سطح سایه به موازات بزرگ‌ترین سطح نما به عنوان اثر سایه ساختمان‌های مجاور در نظر گرفته شده است. همچنین تعداد درب و پنجره و نوع پوشش‌های آن برای جذب انرژی، افزایش گرما بر اثر بارهای داخلی مانند تجهیزات، افراد و روشنایی و اثرات تغییر حرارت در مسکن در نظر گرفته شده است.

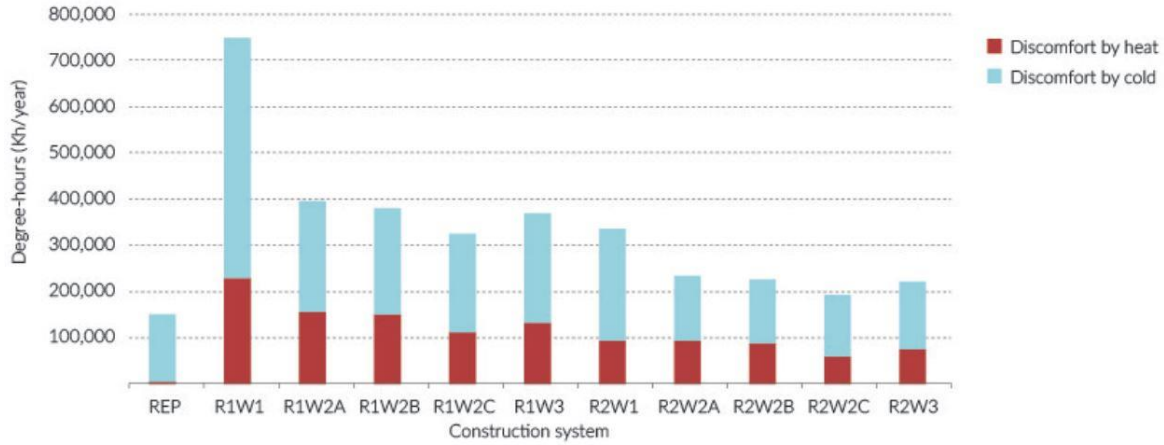
همانطور که در شکل (۱- ۱۴) مشاهده می گردد؛ نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در سیستم ساخت و ساز به روش عادی میزان ناراحتی حرارتی ناشی از سرما (۹۷٪) بیش‌تر از میزان ناراحتی حرارتی ناشی از گرما (۳٪) است. لذا بایستی ساختمان‌های پروژه SMR به گونه‌ای طراحی میشد که میزان ناراحتی حرارتی ناشی از سرما را کاهش دهد. از طرف دیگر در قسمت بلوک A میزان ناراحتی حرارتی ناشی از سرما بیش‌تر از بلوک B است که به طور مستقیم به جهت‌گیری و در معرض نور خورشید قرار گرفتن بستگی دارد. به طوری که نمای شمال شرقی (بلوک B) درای تابش یک روز آفتاب در زمستان است. لذا باعث شده است که ناراحتی حرارتی ناشی از سرما در بلوک B کم‌تر از بلوک A باشد. به طوری که این ناراحتی حرارتی در بلوک A، ۱۹٪ بیش‌تر از بلوک B است. لذا از جمله انتقاداتی که می‌توان به پروژه SMR وارد کرد، عدم توجه به استراتژی مسکن غیر فعال است. از دیگر نتایج حاصل از این تحلیل نشان‌دهد که طبقات میانی به دلیل در معرض فضای خارجی کم‌تراند، لذا عملکرد راحتی حرارتی بهتری در مقایسه با سایر طبقات دارند (شکل (۱- ۱۴)).

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۱۴) میزان DH ناشی از ناراحتی حرارتی در سرما و گرما برای هر آپارتمان در طبقات اول، سوم و پنجم در دو بلوک براساس روش ساخت و ساز عادی [26]

با توجه به آنکه شرایط اقلیمی منطقه پروژه SMR به گونه‌ای است که ناراحتی حرارتی ناشی از سرما بیش‌تر از گرما است لذا محققین به بررسی استفاده از چوب برای ساخت و ساز به خاطر عایق مناسب برای حفظ گرما در محیط ساختمان، پرداخته اند. همانطور که در شکل (۱- ۱۵) مشاهده می گردد، میزان ناراحتی حرارتی ناشی از سرما و گرما براساس ساخت وساز مبتنی بر چوب به طور چشم‌گیری در مقایسه با پروژه SMR کاهش یافته است. همچنین در هنگام استفاده از سیستم عایق در سقف مبتنی بر چوب (R2) نسبت به سقف بدون عایق مبتنی بر چوب (R1)، میزان ناراحتی حرارتی ناشی از سرما و گرما به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (شکل (۱- ۱۵)). در میان سه عایق در نظر گرفته شده برای سیستم سازه‌ای مبتنی بر چوب، عایق با الیاف چوب معدنی (W2C) ناراحتی حرارتی کم‌تری در مقایسه با عایق پلی استایرن (W2A) و سلولز (W2B) دارد. پس سیستم‌های عایق در نظر گرفته شده با سه محفظه هوا (W3) عملکرد مناسب تری در ناراحتی حرارتی دارند.



شکل (۱- ۱۵) میزان DH ناشی از ناراحتی حرارتی در سرما و گرما برای کل ساختمان براساس روش ساخت و ساز مبتنی بر چوب [26]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

در حال حاضر کشور برزیل یک استاندارد اجباری برای عملکرد حرارتی مسکن تحت عنوان NBR 15575 دارد. این استاندارد حداقل پیش نیازها را با توجه به ویژگی‌های حرارتی اجزای ساختمان، برای براورده ساختن عملکرد راحتی حرارتی برای مناطق زیست اقلیمی متفاوت ارائه می‌دهد. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و ضوابط در نظر گرفته شده برای راحتی حرارتی بایستی طراحی مسکن‌های اجتماعی را به گونه‌ای انجام داد که با استراتژی‌های ساختمان غیر فعال میزان بهره‌وری انرژی در سازه را افزایش داد. از جمله این استراتژی‌ها، می‌توان به ایجاد تهویه طبیعی مناسب در ساختمان به گونه‌ای که پنجره‌ها در جهت غالب نسیم و بازشوهایی در جهت مخالف و استفاده از گرمای داخل خانه شامل تجهیزات و نور خورشید اشاره کرد.

۱-۳-۵ توسعه مسکن اجتماعی در کشور ایتالیا

در اتحادیه اروپا، بخش ساختمان حدود ۴۰٪ از مصرف انرژی و ۲۵٪ میزان انتشار گازهای دی اکسید کربن را شامل می شود؛ که عمدتا به خاطر شیوه های نامناسب ساخت و ساز و مصرف انرژی بالا در زمان بهره برداری ساختمان ها است [27]. مسکن اجتماعی که ۵۰٪ از بخش ساختمان های اروپا را تشکیل می دهد، احتمالا در سال های آینده برای برآورده شدن ضوابط عملکرد انرژی ساختمان ها[۲۱] (EPBD)، نیاز به بازسازی در مقیاس بزرگ خواهند داشت تا شرایط مسکن های پایدار در زمینه محیط زیست و بهبود عملکرد ساختمان های موجود را فراهم سازند. بنابراین از جمله اهداف بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی، محرکی برای پایداری زیست محیطی (کاهش میزان آلاینده های هوا) و بهبود کیفیت مسکن اجتماعی است.

هدف از دستورالعمل ۲۰۱۰ اروپا در مورد عملکرد انرژی ساختمان ها (EPBD)، بهبود بهره وری انرژی ساختمان ها به یک استاندار تقریبا صفر انرژی تا سال ۲۰۲۰ است و انتظار می رود که کل مصرف انرژی اتحادیه اروپا را ۵٪ تا ۶٪ و همچنین میزان انتشار دی اکسید کربن را در حدود ۵٪ کاهش دهد. این دستورالعمل نه تنها ساختمان های جدید، بلکه ساختمان های موجود که برای نوسازی مورد توجه قرار گرفته اند؛ در بر می گیرد. که تا سال ۲۰۵۰، حدود ۷۰٪ از کل ساختمان های موجود را شامل می شود که یک هدف امیدوار کننده برای کاهش اثرات مخرب زیست محیطی است .مطالعات و برنامه های تحقیقاتی نشان می دهد که بازسازی ساختمان های موجود اثر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی دارند. به طور مثال، اکوفیس به بررسی ضوابط عملکرد انرژی ساختمان ها (EPBD) بر روی بهره وری انرژی ساختمان های موجود در اروپا پرداخت و نشان داد که به میزان ٪۷۷ می توان در مصرف انرژی صرفه جویی کرد.

از آنجا که حدود ۴۰٪ از انرژی مصرفی در اروپا برای ساختمان ها مصرف می شود و از طرف دیگر بیشترین انرژی مصرفی در ساختمان های مسکونی اروپا، ابتدا برای گرمایش فضا (۵۷٪)، سپس برای تهیه آب گرم (۲۵٪) و برق مورد نیاز برای لوازم خانگی (۱۱٪) استفاده می شود. لذا باعث شده است که تمهیدات لازم برای بازسازی مسکن های اجتماعی که بخش عمده ای از مسکن ها را در اتحادیه اروپا تشکیل می دهد؛ صورت گیرد. تا بتوان دولت مردان هم اقدامات موثری در زمینه کاهش آلودگی های زیست محیطی و هم کاهش انرژی مصرفی بردارند. اما کمیسیون اتحادیه اروپا "عدم آگاهی مصرف کننده" را یکی از اصلی ترین موانع دستیابی به هدف کاهش انرژی تا ٪۲۰ عنوان کرد. به طوری که در سال ۲۰۱۱، ۹.۸٪ از خانوارهای اتحادیه اروپا نمی توانستند به اندازه کافی خانه خود را گرم کنند به طوری که همچنان ۸.۸٪ از خانوارها دارای قبوض معوق بودند. یکی از راه های رفع این

[۲۱] Energy Performance of Buildings Directive

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

چالش، تغییر رفتارساکنین مسکن و افزایش فهم و مشارکت آن ها در زمینه بهره وری انرژی است. به طوری که بتوان با بازسازی منازل مسکونی میزان انرژی مصرفی را کاهش داد.

فناوری پیشرفته بازسازی[۲۲] مربوط به برداشتن اقداماتی مبتنی بر استفاده از تجهیزات اضافی برای تولید یا صرفه جویی در برق است که گاهی اوقات خود این تجهیزات برای بهره برداری از برق استفاده می کنند. فناوری بهسازی با تکنولوژی پایین[۲۳]، مربوط به برداشتن اقداماتی مبتنی بر عملکرد انرژی ساختمان و زیر سیستم های آن است که معمولا بدون نیاز به برق یا سوخت به کار می روند؛ که به ترتیب تحت عنوان اصطلاح سیستم "فعال[۲۴]" و "غیر فعال[۲۵]" ساختمان مطابقت دارند [28] و [29]. جدول (۱-۴) اقدامات مربوط به بهسازی ساختمان ها با هدف کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها را نشان می دهد که بسته به سیستم مورد استفاده به دو گروه تقسیم می شود [30].

جدول (۱-۴) اقدامات مهم در زمینه بهسازی مسکن از منظر ارتباط کاربر و فناوری [30]

سیستم‌های بهسازی (عدم نیاز به آگاهی مصرف کننده)	سیستم‌های بهسازی (نیاز به آگاهی مصرف کننده)
وسایل خانگی و سیستم روشنایی با بهره وری انرژی مناسب	تهویه مکانیکی با بازیابی حرارت(MVHR)
سیستم های با منابع انرژی تجدیدپذیر	ترموستات و سایر دستگاه های کنترل دستی
شیرهای برقی	تکنولوژی های هوشمند
استفاده از عایق های حرارتی (کاموزیت های عایق حرارتی)	سیستمهای گرمایشی و سرمایشی منفعل (مانند سیستم گلخانه ای، دیوارهای ترومبه-میشل وغیره)
سیستم های ذخیره سازی حرارتی	دیوارها و سقف سبز
پنجره های با عملکرد مناسب (مانند پنجره های چند جداره یا پنجره های با پوشش مناسب)	دستگاه های سایه بان کنترل شده توسط کاربر

۱-۵-۳-۱ بهسازی با استفاده از سیستم خورشیدی در ساونا

بهسازی با سیستم غیرفعال خورشیدی برای ساختمان های مسکونی در ساونای ایتالیا، بخشی از نیازهای گسترده شهری بود که در سال ۲۰۱۳ با هدف بهبود سطح زندگی در منطقه شهری پیازاله مورونی تکمیل و انجام شد [30] . این پروژه بهسازی، شامل ۱۵ ساختمان آپارتمانی بود که با همکاری شهرداری ساونا و شرکت مسکن عمومی (ARTE) در چارچوب برنامه های منظم سازی و بهبود منطقه با مبلغ ۵ میلیون یورو به سرانجام رسید. زیرا ساختمان های مسکونی که در اوایل دهه ۷۰ در حومه شهرها ساخته شده بودند، درای مشکلاتی از جمله عدم برنامه ریزی شهری و زیر ساخت ها، عدم در نظرگرفتن شرایط آب و هوایی برای محل تاسیس ساختمان ها،

---

[۲۲] High-tech retrofit
[۲۳] Low-tech retrofit
[۲۴] Active
[۲۵] Passive

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

کیفیت پایین فن آوری به دلیل کم هزینه بودن ساخت ساختمان ها، ناراحتی های حرارتی ناشی از اتلاف گرما و تجمع رطوبت بودند که برنامه در نظر گرفته شده با هدف بهبود محل سکونت خانوارها شکل گرفت.

این پروژه با هدف جایگزینی مصالح ساختمانی ناایمن (یعنی برداشتن روکش آزبست دیوارهای بتنی در نمای شمالی) با مصالح مناسب، عایق کاری دیوارهای خارجی و نوسازی نمای ساختمان صورت گرفت. علاوه بر آن طبق دستوالعمل ها بایستی میزان مصرف انرژی ساختمان ها در زمان بهره برداری کاهش می یافت. بدین منظور در ساونا سه ساختمان به صورت آزمایشی به دلیل تابش خورشیدی مناسب خود که با استفاده از سیستم های گرمایشی خورشیدی غیرفعال بهسازی شده بودند؛ انتخاب شدند.

برای ساخت سیستم خورشیدی از دیوارهای گلخانه های خورشیدی و دیوار ترومبه-میشل استفاده شده است. یک ساختمان شامل گلخانه خورشیدی در نمای جنوبی با حجم ۶۰ متر مکعب (شکل (۱- ۱۶)) ساخته شده است. دو ساختمان دیگر با استفاده از گلخانه های خورشیدی محصور شده در بالکن و همراه با دیوارهای ترومب-میشل در نمای جنوبی ساخته شده است (شکل (۱- ۱۷) و شکل (۱- ۱۸)). همچنین یک سیستم فتوولتائیک ۲۰ کیلوات ساعت در پشت بام یکی از سه ساختمان نصب شده است و به طور متوسط ۱ کیلو وات برای هر آپارتمان فراهم می سازد. همچنین به منظور جلوگیری از گرمای بیش از حد در فصل تابستان، تجهیزات سایه بان مخصوص بر روی سیستم های خورشیدی غیرفعال (پرده های غلتکی قابل تنظیم بر روی گلخانه های خورشیدی، دیوار ترومبه-میشل) و فن های الکتریکی قابل تنظیم اعمال شده است.

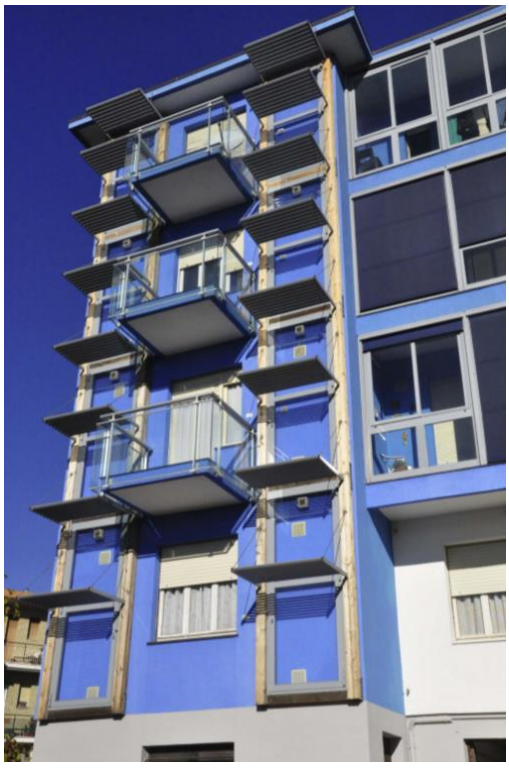
به منظور بررسی عملکرد سیستم های اجرا شده در ساختمان (سیستم گلخانه ای و دیوار ترومب-میشل)، یک گروه تحقیقاتی چندین نظر سنجی از ساکنین واحدهای مسکونی انجام دادند. همچنین برای بررسی عملکرد سیستم ها اقدام به بررسی دمای واحدهای مسکونی در طول زمستان و تابستان با استفاده از نقشه برداری حرارتی پرداختند. نتایج نشان می دهد که استفاده از سیستم گلخانه ای با تعداد دریچه های مناسب برای انتقال هوا، می تواند عملکرد مناسبی برای بهره وری انرژی در ساختمان به همراه داشته باشد.

در این نظرسنجی ها، عدم آگاهی کاربران در مورد مدیریت بهره برداری و نگهداری سیستم ها وجود دارد. که می تواند بر روی عملکرد سیستم ها در دراز مدت اثر بگذارد. لذا به منظور آگاهی مستاجران ساختمان های ۱، ۲ و ۳، مجموعه اطلاعاتی در قالب دفترچه راهنمای کاربر ارائه گردید. که هدف از این کار آشنایی کاربران برای مراقبت و نگهداری از تجهیزات به شکل ساده و قابل فهم است. دفترچه راهنما در دو بخش برای ساختمان های سیستم گلخانه ای و دیوارهای ترومب میشل تهیه شده است که نحوه استفاده آن در تابستان و زمستان و همچنین دستورالعمل های لازم برای نگهداری شرح داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

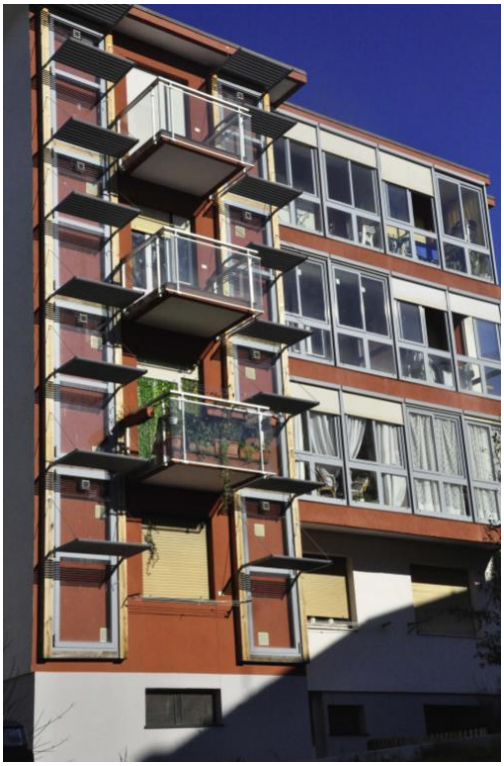


شکل (۱- ۱۶) ساختمان ۱. نمای جنوبی با سیستم گلخانه ای [30]



شکل (۱- ۱۷) ساختمان۲. نمای جنوبی با سیستم گلخانه ای و دیوارهای ترومب میشل [30]

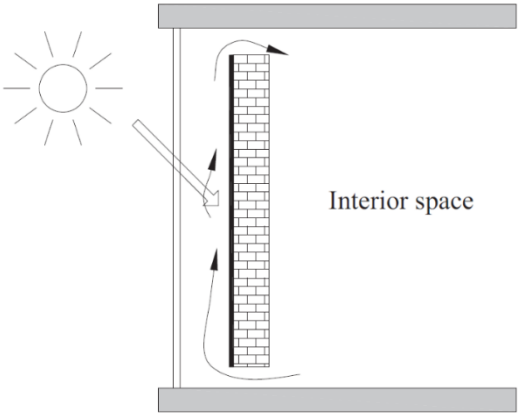
DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۱۸) ساختمان۳. نمای جنوبی با سیستم گلخانه ای و دیوارهای ترومب میشل[30]

۲-۵-۳-۱ دیوار ترومب-میشل

ایده دیوار ترومب برای اولین بار توسط موریس در قرن نوزدهم میلادی مطرح شد و بعدا توسط فیلکس ترومب و جکس میشل در سال ۱۹۵۷ توسعه داده شد و محبوبیت یافت. این دیوار ترومب دارای یک پیکربندی ساده بود و برای جمع آوری گرمای خورشید و فراهم آوردن گرمایش برای فضای داخل طراحی شده بود که تحت عنوان دیوار ترومب کلاسیک شناخته می شود. سطح خارجی دیوار، رنگ آمیزی سیاه داشت تا ضریب جذب افزایش پیدا کند و در جلوی آن یک شیشه ای قرار داشت. بدین ترتیب کانالی بین دیوار و شیشه ایجاد می شود (شکل (۱- ۱۹)) [31].



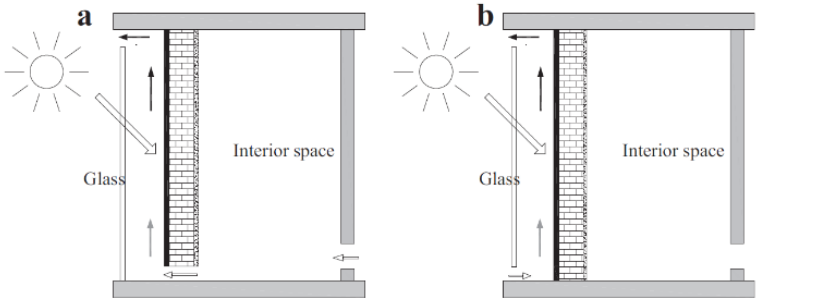
شکل (۱- ۱۹) دیوار ترومب کلاسیک [31]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

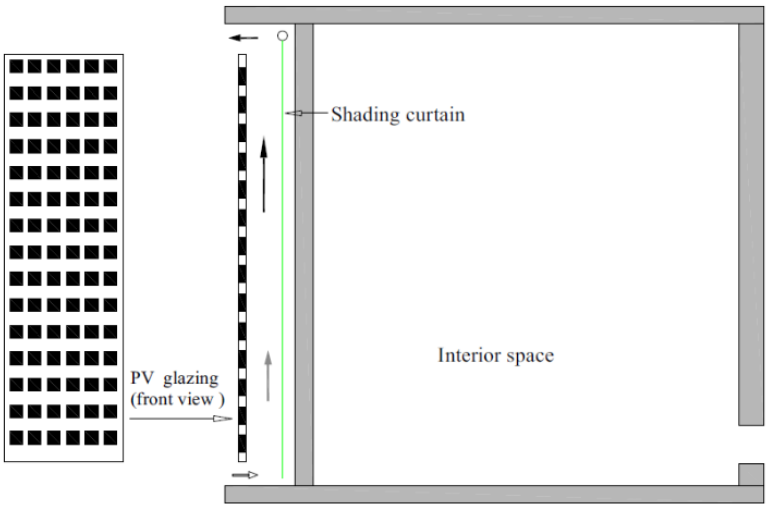
دیوار ترومب کلاسیک می تواند از تابش خورشیدی برای ایجاد اثر گلخانه ای در فاصله هوایی دیوار و سطح شیشه ای استفاده کند و گرمای آن را جذب و آن را در دیوار حجیم ذخیره کند. بخشی از این انرژی از طریق رسانش به داخل منتقل می شود. در همین حین، هوای با دمای پایین از طریق دریچه های پایینی دیوار وارد فضای بین شیشه و دیوار می شود و توسط دیوار گرم می شود و در نتیجه اثر بویونانسی به سمت بالا حرکت می کند. این هوای گرم شده از طریق دریچه های بالایی دیوار وارد اتاق می شود. بدین ترتیب قسمتی از تبادل انرژی دیوار ترومب با فضای داخل از طریق تابش و بخشی از طریق تهویه ی انجام خواهد شد.

انواع دیوار ترومپ سرمایشی: ایده های سرمایش غیر فعال برای ساختمان را می توان در موارد زیر خلاصه نمود (شکل (۱- ۲۰)):

- کاهش گرمای خورشیدی و همرفتی ورودی: جهت گیری، سایه اندازی توسط ساختمان های مجاور، سایه اندازی توسط گیاهان، سایه اندازی توسط نماهای پیش آمده طرح دار، سطوح منعکس دهنده و در پناه بودن از بادهای گرم
- کاهش انتقال حرارت: عایق حرارتی، لایه هوا
- افزایش هدر رفت حرارت از طریق تابش: المان های متحرک، مساحت سطوح زیاد
- افزایش هدر رفت حرارت از طریق همرفت: مدیریت بادهای خارجی، تهویه طبیعی داخلی، تهویه اجباری داخلی، تونل های هوای زمینی که در آن ها آب جریان دارد.
- افزایش هدر رفت حرارت از طریق تبخیر: سرمایش هوای داخل و خارج، سرمایش سطوح ساختمان



The second cooling-based type of Trombe wall operation mode (a) natural ventilation mode (b) thermal insulation model.



شکل (۱- ۲۰) سیستم سرمای دیوار ترومب میشل [31]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۶ توسعه مسکن اجتماعی در انگلستان

در انگلستان شهرداری ها و شورای محلات به طور تاریخی نقش پر رنگی در اداره خانه های عمومی و اجاره آن به اقشار کم درآمد ایفا کرده اند. به دلیل نقش تاریخی شوراها در اجرای طرح های مسکن عمومی، از این نوع از مسکن ها تحت عنوان مسکنهای شورایی (housing Council) یاد می شود. در این کشور شرکت های غیر انتفاعی نیمه مستقل مسکن سازی مسوول ایجاد برخی از این مساکن شواریی بوده اند. در حال حاضر از این شرکت ها تحت عنوان «مالکین اجتماعی ثبت شده» یا RSLs یاد می شود. هرچند نام این شرکت های غیر انتفاعی است اما این شرکت ها عموما نرخ اجاره بهایی بالاتر از مساکن شورایی وضع می کنند. دولت انگلستان سیاست ساختار بندی مجدد اجاره بها را به منظور کنترل اجاره بهای مساکن شورایی و RSLها را تا پیش از سال ۲۰۱۲ به اجرا در آورده است. از سال ۱۹۹۶ میلادی مساکن عمومی به منظور مشمولیت مساکن شورایی و RSLها تحت عنوان مساکن اجتماعی یاد می شود [4].

تا پیش از سال 1890 در انگستان دخالت دولت در امر مسکن در چهار چوب بهداشت عمومی انجام می پذیرفت که به موجب آن دولت های محلی حق داشتند واحدهای مسکونی فرسوده و بخصوص اجاری نامناسب را تخریب کنند و بازسازی آن را از مالکان خواستار گردند. سیاست اجتماعی مسکن در انگستان از سال1890 آغاز گشت، یعنی سالی که دولت های محلی اجازۀ ساخت مسکن کارگری را از دولت مرکزی گرفتند. ابتدا آنها باید مسکن ساخته شده را ظرف 10 سال به فروش می رسانند، که این محدودیت به زودی لغو شد. در آغاز، ساخت مسکن اجتماعی برای دولت محلی اختیاری بود، اما در سال 1919 تبدیل به قانونی فراگیر شد. در ابتدای قرن بیستم تنها 10 درصد از واحدهای مسکونی ملکی، 80 درصد اجاری خصوصی،1 درصد اجاری عمومی و 9 درصد انواع انجمن های غیرانتفاعی بودند. پس از پایان جنگ دوم بخش عمومی فعالیت وسیعی را برای بازسازی و ساخت مسکن جدید، توسط دولت های محلی و شهرهای جدید، آغاز کرد. همچنین انواع یارانه ها برای مالکیت مسکن پرداخت شد. در نتیجه در ابتدای دهۀ 1980، یعنی در مقطع چرخش سیاست مسکن پس از جنگ، نسبت های پیش گفته به ترتیب ۵۷/۱ درصد، ۳۰/۶ درصد، ۱۰/۱ درصد و ۲/۱ درصد بود. تا سال ۲۰۰۱ این نسبت ها به ۶۹/۲ درصد، ۱۴/۴ درصد، ۹/۹درصد و ۶/۶ درصد رسید. یعنی پس از حل نسبی مسألۀ مسکن، به تدریج از سهم مسکن اجتماعی کاسته و بر سهم ملکی و انجمن های غیرانتقاعی مسکن افزوده شد [32].



شکل (۱- ۲۱) نمونه مسکن اجتماعی در کشور انگلستان [4]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۷ توسعه مسکن اجتماعی در ایالات متحده آمریکا

در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم میلادی در آمریکا دخالت دولت در مساله مسکن محرومان بیشتر در ارائه استانداردهای ساختمان بوده است. اما پس از آن دولت به منظور تأمین مسکن محرومان رو به سیاست مسکن اجتماعی آورد. بازسازی بافت های فرسوده بزرگ شهری از ابتدای دهه ۱۹۳۰ به بعد که در برخی نقاط ایالات متحده محدود بوده است را می توان نخستین طرح های مسکن اجتماعی در ایالات متحده آمریکا نامید. این امر در واقع منجر به بهبود شرایط زیستی و اجتماعی بافت های فرسوده شد. مسکن های عمومی در سال های اولیه شروع خود خیلی مورد استقبال مردم قرار گرفت. پروژه های اولیه مسکن اجتماعی دارای تراکم های خیلی زیاد نبودند، اما در سال های بعد برج های چندین طبقه ای احداث شدند که بخشی از آن را مساکن اجتماعی تشکیل میداد. ایالات متحده آمریکا مساکن اجتماعی تنها با کمک دولت های محلی ایجاد می شدند و این پروژه بجای اینکه در نواحی حاشیه ای شهرها احداث شوند بر روی بافت های فرسوده و از طریق احیا و بازسازی این بافت ها تولید می شدند. یکی از مشکلات پیش روی اجرای این طرح‌ها، تخریب بافت های فرسوده و تخلیه ساکنین فقیر بوده است. البته طی سالهای اخیر سیاست مسکن اجتماعی به شدت مورد بازبینی قرار گرفته است؛ چرا که از نظر بسیاری این سیاست منجر به تمرکز فقر شده و افزایش بزهکاری و جرم و جنایت را در پی داشته است. در واقع هنگامی که با احداث مسکن های اجتماعی در یک نقطه از شهری اقدام به اسکان گروههای هدف در این مسکن ها می شود، ناخودآگاه قشر خاصی از مردم که دارای دهکهای پایین درآمدی هستند در یک منطقه کنار هم جمع می شوند. این شرایط منجر به تنزل منزلت اجتماعی این منطقه می شود که مسائل دیگری نظیر بروز بزهکاری را به دنبال دارد. در سال ۱۹۹۳ طرح هایی به اجرا در آمد که در آن در جهت کاهش تراکم مجموعه-های مسکن عمومی تلاش شده بود و نیز اجازه میداد تا خانوارها با سطوح مختلف درآمدی در کنار هم زندگی کنند. در واقع هدف این دسته از طرح ها مقابله با معضلات فرهنگی اجتماعی‌ای بود که طرح های مسکن عمومی با آن مواجه شده بودند. با این وجود کماکان مجتمع‌های مسکن عمومی معروف به فساد و بزهکاری و محل تبادل مواد مخدر بودند. این امر باعث شد تا دولت فدرال آمریکا قانونی مبنی بر اخراج برخی ساکنین بزهکار از مجمتع های مسکونی تصویب کند. تلاش های دیگری نیز برای رفع این مشکل به اجرا در آمد که از آن نمونه میتوان به تشویق بخش خصوصی برای ساخت و احداث مسکن های متناسب با نیاز و نیز مساکن عمومی سوبسیدی نام برد [4].

در ادامه به مهم ترین سیاست های تأمین مسکن در کشور آمریکا که متکی بر اهداف، برنامه های اجرایی و سازمان‌ها و نهادهای کنشگر است پرداخته می‌شود. سیاست ها به دو سطح اول و دوم قابل تفکیک است. سیاست اول عمدتاً بر برنامه هایی تأکید دارد که تولید مسکن و عرضه آن به بازار را مدنظر قرار دارد. اما سیاست دوم برخالف سیاست اول صرفاً بر تولید مسکن تکیه ندارد؛ بلکه بر پایداری مسکن و اختلاط سکونتی-درآمدی در فضاهای شهری متمرکز است.

۱-۳-۷-۱ سیاست اول: ارتقاء کیفیت و افزایش کمیت مسکن قابل استطاعت

۱-۱-۷-۳-۱ برنامه اول: ناحیه بندی فراگیر

این برنامه که به عنوان ناحیه بندی تشویقی نیز شناخته میشود از بسته های مقرراتی استفاده می کند تا بتواند مسکن ارزان قیمت را به وسیله انبوه سازان و توسعه گران بخش مسکن تولید نماید [33]. کشور آمریکا از دهه ۱۹۷۰ در حومه های اغلب شهرها ناحیه بندی فراگیر را به عنوان یکی از جدیدترین ایده های تأمین مسکن قابل

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

استطاعت اجرا کرد؛ بدین صورت که با استفاده از نیروی قانونی و مقرراتی سازندگان انبوه مجبور شدند در برابر اجازه ساخت مسکن، بخشی از نیازهای گروه های کم درآمد به مسکن را به صورت مستقیم تأمین نمایند و توسط نهادهای قانونگذار شهری ملزم شدند در پروژه های مسکونی واحدهای ارزان قیمتی را به بازار عرضه کنند که حتی ارزش پولی آن کمتر از قیمت بازار باشد تا از این طریق گروه های کم درآمد بتوانند مالکیت مسکن را بدست آورند .[34] به عبارت دیگر اگر یک انبوهساز تمایل دارند تا در ساخت ۱۰۰ واحد مسکونی سرمایه گذاری کند باید ۲۰ واحد آن را به قیمت کمتر از بازار عرضه نماید و شرایط دسترسی اقتصادی به مسکن قابل استطاعت برای بخشی از شهروندان فراهم شود. در چنین شرایطی، گروههای هدف در ساخت مسکن، صرفاً طبقات اقتصادی بالا یا متوسط جامعه نیستند؛ بلکه گروههای کم درآمد نیز در پروژه های ساخت مسکن ذینفع می شوند.

۱-۳-۷-۱-۲ برنامه دوم: ساده سازی کد

این ایده مربوط به تجدید نظر در مقررات عوارضی و مالیاتهای تولید مسکن ا ست که امروزه ابعاد گسترده تری را نیز پیدا کرده است، از جمله بالابردن تراکم در مواردی که تقاضا برای مسکن رو به افزایش است، عدم نیاز به پارکینگ برای کاهش هزینه های نهایی تولید مسکن و یا تقلیل سایر استانداردهای محدودکننده در عر ضه مسکن [35].

۱-۳-۷-۱-۳ برنامه سوم- ناحیه بندی مجدد

این برنامه در پاسخ به شکست بازار مسکن و عدم دسترسی گروه های کم درآمد به مسکن قابل استطاعت مورد توجه قرار گرفته است [36]. به عنوان مثال در مناطقی که اجازه ساخت و ساز به دلیل کدهای کاربری زمین یا پهنه بندی محدود است یا ترغیبی برای ساخت و ساز به دلیل کمبود زیرساختها و دسترسیهای مناسب وجود ندارد با ناحیه بندی مجدد و تغییر کدهای کاربری زمین، نیاز به مسکن جدید را پوشش داده و انگیزه سرمایه گذاری در زمین هایی که ارزش کمتری دارند را بالا میبرد.

۱-۳-۷-۲ سیاست دوم: اختلاط درآمدی-سکونتی در محلات

۱-۳-۷-۲-۱ برنامه اول- جوامع ساخته شده هدف

متشکل از شبکه جوامع محلی که از الگوی دریاچه شرقی آتلانتا پیروی میکنند. این گروه مبتنی بر یک مشارکت دولتی و خصوصی فعالیت مینمایند که بودجه فدرال را با بودجه توسعه دهندگان خصوصی و مشارکت غیرانتفاعی جامعه برای تأمین نیاز مسکن گروه های آسیب پذیر از جمله جامعه سالخورده به کار گرفته اند. این جوامع گرایش عمده ای به اخلاقیات کمونیستی در اقتصاد دارند تا جایی که تلاش می شود حتی نیمی از مسکن کم درآمدها توسط سازندگان مسکن انبوه ساخته و روانه بازار گردد [37].

۱-۳-۷-۲-۲ برنامه دوم: محله های منتخب (برنامه احیای جامعه)

هدف این برنامه متکی بر بازآفرینی محالت فرسوده است تا محلات مملو از مسکن فرسوده را با مسکن دارای فضای سبز، درآمد متنوع، خدمات و پشتیبانی محله ای و فعالیت های تجاری جان دوباره بخشند. برنامه احیای جامعه، فراتر از سطح کالبدی عمل میکند بگونه ای که طیف وسیعی از چالش های محلی اعم از اجتماعی-اقتصادی تا زیست محیطی را در بر میگیرد و تأکید آن بر واحد محله است نه مسکن [38].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۷-۲-۳ برنامه سوم: توسعه حمل ونقل

شامل ترکیبی از مسکن، ادارات، خرده فروشی ها و سایر امکانات موجود در یک محله قابل پیاده روی و در فاصله نیم مایلی با حمل ونقل عمومی است تا از این طریق کیفیت محیط ارتقا یابد و از تجمیع فقرا به دلیل عدم برخورداری از زیرساخت های اساسی جلوگیری شود. این برنامه در نهایت منجر به اختلاط سکونتی-درآمدی خواهد شد؛ زیرا فضای زیست کافی را برای تمامی گروههای درآمدی فراهم مینماید و ساکنان محله پس از بهبود وضعیت معیشتی، تمایل به ماندگاری در محله را از دست نمی دهند .[39]

۱-۳-۷-۲-۴ برنامه چهارم: موقعیت مسکن پراکنده

هدف اصلی این برنامه توسعه پروژه های کوچک مقیاس مسکن قابل استطاعت در سطح شهر و نه در مقیاس بزرگتر است. مطالعات نشان می دهد که پیاده سازی این رویکرد منجر به رضایتمندی ساکنان خواهد شد و تأثیر قابل توجهی بر پایداری اجتماعی دارد زیرا از پراکنده رویی شهری و طرد گروه های اجتماعی به بیرون از شهر جلوگیری مینماید و حتی مدیریت وضعیت موجود را نیز سهل تر می نماید. این برنامه تلاش دارد تا پروژه های خانه سازی را در کل فضاهای شهری توسعه دهد که از این طریق در محلاتی که فقرا توانایی سکونت در آن را ندارند تنوع و کثرت درآمدی بیشتری ایجاد گردد .[40]

۱-۳-۷-۲-۵ برنامه پنجم: کوپن انتخاب مسکن

ارانه مسکن فدرال به نیازمندان این امکان را میدهد تا کوپن را برای هر مسکن اجاره ای که یک کوپن را قبول خواهد کرد، اعمال کند (صاحبخانه ها باید موافقت کنند که سطح اجاره من صفانه تعریف شده در HUD[26] را بپذیرند و استانداردهای فدرال بازرسی مسکن را رعایت کنند). تخصیص یارانه مسکن کمک مینماید تا مسکنهایی که به دلیل رشد منفی اقتصاد، بیکاری خانوار، کمبود پس انداز و ... خالی مانده است متقاضی پیدا کند و شوکهای خرد و کلان اقتصادی تأثیری بر عرضه و تقاضای مسکن بر جای نگذارد [41].

۱-۳-۷-۲-۶ برنامه ششم: مسکن با سهام محدود

این برنامه مختص گروههای درآمدی پایین است بگونه ای که ساکنین به مقدار منابع مالی که در اختیار دارند سهمی را از توسعه دهندگان بخش مسکن خریداری می کنند و متعهد می شوند که سهم خود را نیز در مدت معینی و با فرمول مشخصی بفروشند تا علاوه بر کسب سود، به رونق ساخت و سازها کمک نماید. خانوارهایی که تمایلی به فروش سهم خود نداشته باشند باید به مقدار مشخصی اجازه پرداخت کنند. یعنی با هر سرمایه ای میتوان مسکن را با محدودیتهای ذکرشده به تصرف درآورد و مقداری اجاره پرداخت کرد [42].

۱-۳-۷-۲-۷ برنامه هفتم: خانه های کوچک

ساخت خانه های کوچک به دلیل ناتوانی خانوارها از تأمین مسکن معمولی از دهه ۱۹۹۰ در آمریکا شروع شد و امروزه به اوج رسیده است. اصول این برنامه متکی بر واحدهای بسیار کوچک (به طور معمول کمتر از ۴۰۰ فوت یا ۳۷ متر مربع) است که هزینه های نهایی ساخت و توسعه بخش مسکن را کاهش میدهند. اما این برنامه با چالش‌های اجتماعی نظیر به مخاطره افتادن کیفیت زندگی شهروندان روبرو است [43].

۱-۳-۷-۲-۸ برنامه هشتم: صندوق پس انداز (اعتماد مسکن)

در آمریکا یک صندوق پس انداز مسکن وجود دارد که بودجه را از طریق هزینه های مسدود شده در شهرهای مختلف توزیع میکند. به عنوان مثال کارولینای شمالی یک صندوق پس انداز مسکن ایالتی هزینه های مسدود

[26] United States Department of Housing and Urban Development

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شده دارد. این وجوه مشروط به در دسترس بودن، برای تو سعه مسکن قابل استطاعت رقابتی ارائه می شود. بسیاری از جوامع همچنین برای حمایت از توسعه مسکن قابل استطاعت، صندوق اعتماد مسکن خود را تأسیس می کنند. تعداد این صندوقها در آمریکا امروز به بیش از ۷۳۰ مورد رسیده است [44].

۱-۳-۷-۲-۹ برنامه نهم: اعتبار مالیاتی مسکن کم درآمد

این برنامه به عنوان بزرگترین پروژه تأمین مسکن قابل استطاعت در آمریکا مطرح است که از سال ۱۹۸۶ به عنوان بخشی از قانون اصالح مالیاتی فدرال تأسیس شده است. در این برنامه منابع مالی توسط دولت در اختیار انبوه سازان قرار میگیرد تا واحدهای ارزان قیمت را برای طبقات پایین جامعه احداث نمایند و مهمترین نکته این است که انبوهسازان موظف هستند این واحدها را اجاره دهند نه آنکه بفروشند، و باید در دراز مدت قابل استطاعت باقی بماند [45].

۱-۳-۷-۲-۱۰ برنامه دهم: بانک های زمین

زمینی که برای توسعه در آینده در اختیار سازمان های دولتی یا خصوصی در نظر گرفته میشود. بسیاری از جوامع محلی دارای سازمان های بانکی زمین هستند و یا زمین هایی را برای توسعه در اختیار دارند. نکته مهم این است که در این برنامه باید از شیوه های نامناسب انتقال ملک و سوداگری در این بخش جلوگیری شود تا تقاضاهای واقعی بتوانند به مسکن متناسب با نیاز دسترسی داشته باشند [46].

بنابراین می توان نتیجه گرفت که سیاست ها و برنامه های تامین مسکن قابل استطاعت در کشور آمریکا نشان دهنده برنامه‌ریزی یکپارچه با مشارکت همه نهادهای متولی توسعه مسکن و تامین مالی چندجانبه جهت افزایش دسترسی گروه های درآمدی پایین به مسکن ارزان قیمت است؛ با این حال هر کدام از این برنامه ها دارای نقاط قوت و ضعفی هستند که برونداد آن میتواند در زیست شهروندان موثر باشد. در نهایت ارزیابی و بازتاب برنامه های تامین مسکن قابل استطاعت در کشور آمریکا بصورت خلاصه در جدول (۱- ۴) ارائه شده است .[47]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۱- ۴) ارزیابی و بازتاب برنامه های تامین مسکن قابل استطاعت در کشور آمریکا [47]

برنامه		نتیجه برنامه‌ها
ناحیه‌بندی فراگیر	ارزیابی و نقد مثبت	تحقق عدالت اجتماعی، رسوخ منابع مالی از سازندگان مسکن به افراد فاقد مسکن، تعدیل قیمت‌ها بازار بخصوص برای گروه‌های کم‌درآمد
	ارزیابی و نقد منفی	افزایش تراکم در شهر و تبعات اجتماعی-زیست‌محیطی آن
	اثربخشی و بازتاب	ساخت بیش از ۱۵۰ هزار واحد مسکونی در ۵ دهه اخیر
ساده‌سازی کد	ارزیابی و نقد مثبت	افزایش تولید و کاهش هزینه نهایی ساخت مسکن حداکثر تا ۲۰ درصد
	ارزیابی و نقد منفی	کاهش کیفیت ایمنی ساختمان‌ها بخصوص در برابر بحران‌های طبیعی
	اثربخشی و بازتاب	اثرگذار بر افزایش تولید مسکن حداقل در ۲۰ ایالت آمریکا
ناحیه‌بندی مجدد	ارزیابی و نقد مثبت	تغییر کاربری و جلوگیری از شکست بازار، برنامه‌ریزی منعطف و مطابق نیازهای اجتماعی، افزایش تولید مسکن
	ارزیابی و نقد منفی	بورس‌یازی و سوداگری زمین بخصوص در اراضی بایر و موات.
	اثربخشی و بازتاب	مداخله در بیش از ۱۰۰ ناحیه در ۲۶ مادرشهر برای افزایش تراکم در شهرها
جوامع ساخته-شده هدف	ارزیابی و نقد مثبت	بهره‌گیری از سرمایه‌های خرد، مشارکت همه‌جانبه و چندجانبه‌گرایی در تامین منابع مالی، اولویت دادن به گروه‌های آسیب‌پذیر از جمله سالخوردگان فاقد مسکن
	ارزیابی و نقد منفی	---
	اثربخشی و بازتاب	اجرای این برنامه در بیش از ۱۳ شهر برای دسترسی گروه‌های آسیب‌پذیر به مسکن
محله‌های منتخب	ارزیابی و نقد مثبت	برنامه‌ریزی فضایی (و نه بخشی) با تکیه بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، کالبدی و زیست‌محیطی
	ارزیابی و نقد منفی	احتمال افزایش قیمت مسکن در بلندمدت.
	اثربخشی و بازتاب	در هر دهه به‌طور میانگین ۵ میلیارد دلار بودجه برای بیش از ۲۰۰ محله در ایالات‌های مختلف اختصاص می‌یابد.
توسعه حمل‌ونقل	ارزیابی و نقد مثبت	افزایش دسترسی‌های فیزیکی و اقتصادی به گزینه‌های حمل‌ونقل و نتیجتا تحقق سیاست اعیان‌سازی محلات با افزایش جذابیت دسترسی‌ها.
	ارزیابی و نقد منفی	احتمال افزایش قیمت مسکن در بلندمدت
	اثربخشی و بازتاب	تخصیص بودجه فدرالی در تمامی ایالت‌ها و تاثیرگذار بر زندگی بیش از ۲۰ میلیون نفر
موقعیت مسکن پراکنده	ارزیابی و نقد مثبت	کاهش تخریبات محیطی از طریق رشد دورن‌زای شهری و جلوگیری از تهاجم و رشد افقی بافت مسکونی به زمین‌های اطراف شهر
	ارزیابی و نقد منفی	سرانه پایین بخصوص برای خانوارهای ۳ نفره
	اثربخشی و بازتاب	ساخت پروژه‌های کمتر از ۱۵ واحد در محلات شهری در بیش از ۱۰ ایالت (به‌دلیل هزینه بالای این برنامه در مقایسه با سایر برنامه‌ها، تا حدودی استقبال به آن با کاهش مواجه شده است).
کوپن انتخاب مسکن	ارزیابی و نقد مثبت	افزایش استطاعت مالی گروه‌های کم‌درآمد برای تامین مسکن و تشویق سازندگان به عرضه مساکن ارزان‌قیمت به‌دلیل تقاضای بالا
	ارزیابی و نقد منفی	---
	اثربخشی و بازتاب	در بیش از ۳۰ ایالت خانوارهایی که کمتر از ۵۰ هزار دلار در سال درآمد دارند می‌توانند در نوبت دریافت کوپن قرار گیرند و تجربیات نشان می‌دهد که منابع مالی به اندازه‌ای است که به حدود ۲۰ درصد از آنان اختصاص می‌یابد.
مسکن با سهام محدود	ارزیابی و نقد مثبت	کاهش هزینه‌های تامین مسکن در سبد خانوار و دسترسی به مسکن مورد نیاز با هر بودجه‌ای.
	ارزیابی و نقد منفی	---
	اثربخشی و بازتاب	در همه ایالت‌ها با الزامات قانونی فدرال‌ها مورد توجه است. به عنوان مثال در شهر نیویورک خانوارهایی که کمتر از ۱۵۴ هزار دلار در سال درآمد داشته باشند می‌توانند به‌صورت شراکتی با تعاونی‌ها وارد معامله شوند. در این شهر سالیانه بیش از ۲۰۰۰ خانوار تحت پوشش قرار می‌گیرند.
خانه‌های کوچک	ارزیابی و نقد مثبت	دسترسی اقتصادی به شرایط حداقلی مسکن
	ارزیابی و نقد منفی	سرانه پایین بخصوص برای خانوارهای ۳ نفره
	اثربخشی و بازتاب	در تمامی ایالت‌ها، دولت‌های فدرال و نهادهای قانون‌گذار در شهر به مجوز ساخت این خانه‌ها و حمایت‌گری از آن ادامه می‌دهند.
صندوق پس‌انداز مسکن	ارزیابی و نقد مثبت	حمایت مستقیم دولت محلی از گروه‌های درآمدی پایین یا جبران بخشی از هزینه‌های تامین مسکن
	ارزیابی و نقد منفی	---
	اثربخشی و بازتاب	در تمامی ۵۰ ایالت آمریکا این صندوق فعال است و بودجه اختصاصی آن از بین ۲۵ تا ۱۰۰ میلیارد دلار متغیر است. این صندوق بیش از ۲۰ درصد گروه‌های کم‌درآمد کل کشور را تحت پوشش دارد که کمک می‌نماید تامین مسکن قابل استطاعت محقق گردد.
اعتبار مالیاتی مسکن کم‌درآمد	ارزیابی و نقد مثبت	کنشگری حداکثری دولت و بخش خصوصی با محوریت انبوه‌سازان برای کمک به گروه‌های کم‌درآمد
	ارزیابی و نقد منفی	عدم مالکیت مسکن و عرضه آن بصورت اجاره‌ای
	اثربخشی و بازتاب	تحت پوشش قرار دادن دو میلیون خانوار در دو دهه اخیر که سالیانه بیش از ۱۱۰ هزار خانوار را شامل می‌شود گرچه از سال ۲۰۰۸ و پس از رکود بزرگ با افت شدید مواجه بوده است.
بانک زمین	ارزیابی و نقد مثبت	جلوگیری از انحصار زمین
	ارزیابی و نقد منفی	بورس‌یازی و سوداگری زمین در صورت نظارت ضعیف
	اثربخشی و بازتاب	حداقل در ۶ ایالت بانک زمین مورد حمایت مقامات محلی قرار دارد و در موقعیت‌های بحرانی عرضه آن به بخش خصوصی (شخصی‌سازها و گاهی انبوه‌سازان) صورت می‌گیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۸-۳-۱ دو نمونه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی در آمریکا و کانادا

۱-۸-۳-۱ آپارتمان های خیابان بیستم، سانتمونیکا، کالیفرنیا

این آپارتمان ها دارای ۳۴ واحد بوده و واحدهای آن بصورت چسبیده به یکدیگر است (شکل (۱- ۲۲)). هدف از انجام این پروژه نوسازی آن برای خانوارهای کم درآمد بوده است. همچنین این پروژه زیرمجموعه طرحی است که هدف "افزایش عمر مفید ساختمان تا ۴۰-۵۰ سال، تا کیفیت زندگی را برای ساکنان افزایش داده و محیط ساختمان را در همسایگی خود بهبود بخشد" را دنبال می کند. آپارتمان های فوق در اواخر دهه ۱۹۶۰ ساخته شده و مشابه با اکثر خانه هایی که در آن زمان در کالیفرنیا ساخته شده است، کارآمد انرژی نبوده است. نوسازی آپارتمان های خیابان بیستم در بهار سال ۲۰۰۱ تکمیل شده و تمرکز آن برروی افزایش کارآمدی انرژی و قابلیت استطاعت برای ساکنین بوده است. این پروژه دارای دو ساختمان با مساحت کل ۳۰۵۹۲ فوت مربع و ۳۴ واحد یک و دوخوابه است [48].



شکل (۱- ۲۲) نمایی از آپارتمان های خیابان بیشتم، سانتمونیکا، کالیفرنیا[48]

کل هزینه توسعه پروژه حدود ۳.۵ میلیون دلار بوده است که ۶۴۳۰۰۰ دلار آن هزینه ساخت، ۴۱۴۰۵ دلار هزینه های معماری و مهندسی است. اکثر هزینه پروژه از قیمت خرید ۲.۵ میلیون دلاری برای ساختمان ها ناشی می شود. تامین بودجه پروژه عبارت است از: وام های شهر سانتامونیکا (۲۹۹۰۹۵۱ دلار) و بانک آمریکا (۲۸۲۱۳۷ دلار)، مقدار کل تخفیف برابر با ۳۷۴۰۰ دلار از اقدام کارآمدی انرژی منطقه (طرح مشترک کالیفرنیا ادیسون جنوبی، همکاری انرژی کالیفرنیا و شهرهای ایرواین و سانتامونیکا) حاصل شده است. ادیسون کالیفرنیا جنوبی همچنین یخچال های رده Energy Star را به ساکنین دارای درآمد اندک بصورت مجانی اهدا کرد.

یکی از جنبه های اصلی انرژی سبز پروژه خیابان بیستم این است که این پروژه یک پروژه نوسازی است. CCSM توسعه دهنده این پروژه با استفاده مجدد از یک ساختمان قدیمی و تبدیل آن به یک پروژه سودمند، مقدار زیادی در مصالح، انرژی و توسعه زیرساختی که برای یک پروژه ساخت جدید موردنیاز است، صرفه جویی کرده است. بااین حال، پروژه نوسازی امکان انجام برخی از ویژگی های ساختمان سبز را محدود می کند. با وجود ساختمانی که قبلاً ساخته شده و سایتی که قبلاً مورداستفاده قرار گرفته است، توجه به بهسازی سیستم های موجود متمرکز می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تیم پروژه همچنین خود را به ویژگی ها و مصالح سبز آشنا که کارکردن با آن ها ساده تر بود، محدود کرده است. این کار از ایجاد موارد ناآشنا درطول ساخت جلوگیری کرده و کاربری و عملکرد موثر را را پس از شروع خدمت رسانی ساختمان تضمین می کند. این ویژگی ها به شرح زیر می باشد:

أ. **سایت های تاب آور:** با نوسازی بخش موجود در یک موقعیت شهری متراکم، توسعه دهنده پروژه مسکن با کیفیت باصرفه را ارائه داده و باعث توسعه بیشتر محیط شهری نمی شود. ساکنان آپارتمان های خیابان بیستم دسترسی سریع به شغل، خرده فروشی و فرصت های فرهنگی در منطقه نزدیک به پروژه دارند. این مزایا هیچ هزینه اضافی برای توسعه دهندگان و ساکنین ندارد.

ب. **کارآمدی آب**: دوش های با جریان کم آب، شیرآلات توالت، حمام و آشپزخانه در این پروژه با هزینه ۴۰۰۰ دلار نصب شدند. گیاهان تاب آور دربرابر خشکسالی در منظره بیرونی بدون هیچ هزینه اضافی قرار داده شده است.

ت. **انرژی و اتمسفر:** ساختمان ها با ایزوله جدید شیروانی R-30 (هزینه ۹۰۲۰ دلار) بهسازی شده و ایزوله R-11 به دیوارهای اعمال شده است (۱۶۳۰۰ دلار). پنجره های جدید دوجداره و درب های کشویی با هزینه ۳۸۴۰۰ نصب شده اند. سیستم گرمایش آب گرم موجود با کمک انرژی خورشیدی با هزینه ۵۰۰۰ دلار نوسازی شده است. تیم پروژه گزینه هایی را موردلحاظ قرار داد که گرمایش الکتریکی حال حاضر فضا را با گرم کن های دیواری، پمپ های گرمایش یا یک سیستم آب داخل خورشیدی ارتقاء یافته جایگزین می کند، اما این گزینه ها به دلایل هزینه و دیگر مسائل قابلیت اجرا در نهایت پذیرفته نشدند. ترموستات های سنتی با مدل های قابل برنامه ریزی با هزینه ۲۲۰۰ دلار جایگزین شده و ایزوله سازی دربرابر هوا نیز در تمامی واحدها با ۳۳۵۴ دلار انجام شد. روش های تامین روشنایی فلورسنت و لامپ های فلورسنت فشرده با ۲۴۹۰ دلار نصب شدند. در تمامی واحدها محدوده های کارآمدتر انرژی الکتریکی آشپزخانه با ۲۰۵۰۰ دلار قرار گرفت و کالیفرنیای جنوبی ده یخچال با رده انرژی Energy Star را بدون هیچ هزینه ای به مستاجران داد. نورگیر به راه پله ها اضافه شد تا بار روشنایی را در نواحی مشترک کاهش دهد.

ث. **مصالح و منابع:** باوجود اینکه کارآمدی انرژی هدف اصلی پروژه نوسازی است، الوار پلاستیکی تجزیه شده Trex برای حفاظ های پاسیو جدید و مصالح لاستیک تجزیه شده در زمین بازی نصب شد.

ج. **کیفیت محیط زیست داخلی:** در این پروژه تمرکز بسیار کمی برروی کیفیت محیط زیستی داخلی شده است. اما برخی از نوسازی های کارآمد انرژی منافعی مانند کیفیت هوا و تهویه را دارند.

ح. **ابتکار در فرآیند طراحی:** به احتمال زیاد یک فرآیند طراحی استاندارد در این پروژه استفاده شده است. مدل جامع انرژی تا حدودی خلاقانه بوده است که در کالیفرنیا بصورت رسمی نیز درآمده است. بخش ۲۴ قوانین ملزم می کند که تمامی پروژه های مسکونی چندخانواری باید مدل انرژی را کامل کنند. براساس این نیازمندی هیچ هزینه اضافی برای ایجاد انرژی سبز همراه با فرآیند طراحی وجود ندارد.

خ. **کاهش هزینه های بهره برداری ساختمان های سبز نسبت به ساختمان های سنتی**: براساس مدل انرژی Syska و Hennessy که قبل از ساخت انجام شد، بهبود کارآمدی انرژی و آب باید مقدار

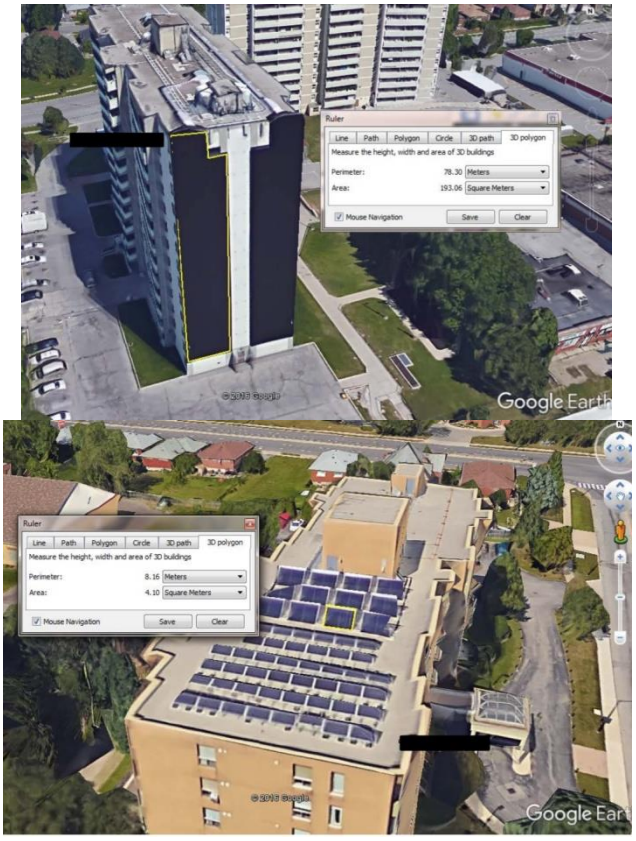
DOI: 10.30503/nripress.2020.341

کلی ۱۱۳۷۵ یا ۰.۳۷ دلار در هر فوت را نسبت به سازه قبل از بهسازی، هزینه ها را برای CCSM و مستاجران کاهش دهد.

د. **خلاصه ارزش خالص فعلی (NPV):** اگرچه هزینه های واقعی طراحی و ساخت برای آپارتمان های خیابان بیستم ۱۴.۷ درصد بیشتر از حالتی بوده است که بهبودی های انرژی و کارآمدی آب استفاده نشده باشد، تحلیل ارزش خالص فعلی نشان می دهد که این تغییرات در طول عمر ساختمان حدود ۱۶۵۰۰۰ دلار ارزش دارد. بااین حال مالک و ساکنان پروژه به اندازه یکسان در هزینه ها و منافع حاصل از این تغییرات سهیم نیستند. CCSM تمامی افزایش هزینه مربوط به انرژی سبز را پرداخت کرده و منافع حاصل از کاهش مصرف آب، کاهش هزینه های گرمایش آب گرم و کاهش هزینه های الکتریکی نواحی مشاع که شامل گرمایش و سرمایش آن نواحی است، را دریافت کرده است.

۲-۸-۳-۱ تامین کننده خصوصی مسکن اجتماعی و قابل استطاعت در ناحیه تورنتو

این تامین کننده نصب یک سیستم PV کوچک و سیستم گرمایی خورشیدی بزرگتر را بااستفاده از تامین بودجه REI انتخاب کرده است [49]. هردو سیستم احتمالاً بعلت نگرانی های مربوط به بارگذاری باد از مدول ها و جمع کننده های تقریباً افقی استفاده کرده اند. غالباً حالتی انتخاب شده است که مدول ها و جمع کننده های خورشیدی با زاویه ای مورب شده اند که جذب انرژی خورشیدی را حداکثر نمایند (شکل (۱- ۲۳)).



شکل (۱- ۲۳) نمونه هایی از سیستم های نصب شده [49]

از آنجایی که تامین کننده احساس می کرد که با توجه به هزینه نصب سیستم، ذخیره انرژی ممکن است ضعیف باشد، یک مشاور را به منظور ارزیابی عملکرد این سیستم ها استخدام کرد. این مشاور صرف نظر از زاویه مورب غیر بهینه، دریافت که عموماً این سیستم ها اندازه و طراحی مناسبی داشته اند و اینکه هزینه های تحمیلی برای

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تغییرات سازه ای نصب به منظور بهبود زاویه مورب با مشاهده نتایج افزایش ذخیره انرژی و درآمد آن ها از نظر مالی قابل توجیه نیست. بطور کلی تامین کننده گزارش داده است که نسبت به عدم نصب این سیستم ها مطمئن نیست زیرا ذخایر انرژی پایین بوده و هزینه های آن ها نسبت به هزینه های نگهداری پس از پایان قرارداد نگران کننده هستند. علاوه براین، آن ها متوجه شدند که این سیستم ها زمانی که موعد جابجایی پشت بام فرا می رسد هزینه هایی را تحمیل می کنند که این هزینه ها در زمان تصمیم برای ادامه کار با این سیستم در محاسبات آن ها آورده نشده است.

۱-۳-۹ توسعه مسکن اجتماعی در کشور سوئد

سوئد برای حمایت از خانواده‌های کم درآمد، خانواده‌های بزرگ و نیز خانواده های بازنشسته و بیکار، سیاست کامل و روشنی برای مسکن‌های مقرون به صرفه دارد. از جمله سیاست‌های دولت در زمینه‌ی خانه‌های اجتماعی این است که نه تنها مسکن اجتماعی خانواده‌های کم درآمد را تامین کند، بلکه سعی می‌کند برای آن‌ها محیط زندگی ای ایجاد کند که تفاوت کم‌تری بین خانواده‌های کم درآمد و پر درآمد داشته باشد. نسبت خانه‌های اجتماعی ساخته شده توسط دولت سوئد یا سایر شرکت‌های توسعه دهنده‌ی خانه های اجتماعی، به کلیه‌ی خانه-های ساخته شده به طور کلی در حدود 2/3 مسکن‌های اجاره‌ای است. متوسط فضای زندگی سوئدی ۴۱ متر مربع است که دارای دو اتاق متوسط است و ۹۳.۱٪ مسکن ها با حمام و ۹۷.۵٪ مسکن ها با سیستم گرمایشی مرکزی‌اند.

هسته این سیاست‌ها شامل موارد زیر است:

۱- ایجاد برنامه‌ای بلند مدت برای توسعه مسکن کشور توسط دولت

۲- اتخاذ سیاست مناسبی برای کاهش هزینه‌های توسعه مسکن به منظور افزایش ساخت و ساز مسکن

۳- نظارت بر تغییر قیمت در سطحی معقول برای بازار مسکن

۴- مقرر کردن انواع مالیات و پشتیبانی‌های مالی از طریق یارانه‌های مستقیم و غیر مستقیم به افراد کم درآمد و بازنشسته

در سال ۱۹۶۰ دولت سوئد با هدف تهیه یک میلیون خانه جدید برای گروه‌های مختلف خانوار برنامه‌ای تحت عنوان "برنامه میلیون[۲۷]" تهیه کرد که در سال های ۱۹۶۵ تا ۱۹۷۴ مشکل کمبود مسکن را حل کرد و پس از این دوره، سیاست‌های دولت بر ارتقاء کیفیت مسکن و محیط بهتر زندگی متمرکز شد.

۱-۳-۱۰ توسعه مسکن اجتماعی در کشور ژاپن

سازمان مسکن عمومی (۱۹۵۱) و نهاد مرکزی مسکن اجتماعی که درواقع یک نهاد دولتی بود، به خانوارهای طبقهٔ متوسط درآمدی وام های رهنی بلند مدت با نرخ بهرهٔ ثابت، با هدف تسهیل دسترسی به مالکیت مسکن برای خانوارها، پرداخت می کرد. مسکن اجتماعی با یارانهٔ دولت ملی ساخته می شود و تحت مالکیت و مدیریت دولت محلی بود که برای افراد طبقه کم درآمد جامعه با اجاره های سوبسیدی ساخته و پرداخته شده بود .در ژاپن نیز بعد از جنگ جهانی دوم، دولت ها همواره به صورتی فعالانه در بازار مسکن مداخله کرده اند. این مداخله ها اکثرا با استفاده از ابزارهای مالی یعنی یارانه های مستقیم و وام های یارانه ای انجام می پذیرفت .مخارج دولت ملی برای برنامه های مسکن در سال 1993 در ژاپن معادل 1/4 درصد از کل بودجه دولت ملی ژاپن بود. این رقم

[۲۷] Million Program (Mijionprogrammet)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تقریبا به همین رقم برای کشور ایالات متحده امریکا نزدیک است و از انگلستان و فرانسه کمتر و از آلمان بیشتر بوده است. ژاپنی ها معتقدند که این رقم به این معناست که دولت ژاپن در پرداخت یارانه برای بخش مسکن در حد متوسط جهانی قرار دارد.



شکل (۱- ۲۴) نمونه مسکن اجتماعی در کشور ژاپن

۱-۳-۱۱ توسعه مسکن اجتماعی در کشور آلمان

بعد از جنگ جهانی به دلیل خرابی های حاصل از جنگ و افزایش جمعیت شهرنشینی، در سال 1949 آلمان با کمبود ۵/۵ میلیون واحد مسکونی مواجهه شد. این واحدها جهت اختصاص به مهاجران روستا به شهر و افرادی که از سایر کشورها بازگشته بودند مورد نیاز بود. برای حل این معضل، چهار سیاست اصلی برگزیده شد.

۱- امنیت استیجار: در واقع تثبیت اجاره بها که از جنگ اول جهانی وضع شده بود و پس از پایان جنگ دوم، با در نظر گرفتن کمبود شدید مسکن، با پشتیبانی قانون مدنی ادامه یافت.

۲- مسکن اجتماعی: در این سیاست دولت تا ۸۰ درصد از بهای زمین و ساخت را برای اشخاص حقیقی و حقوقی تأمین مالی می کرد. بنا به توافق و میزان این تأمین مالی، واحدهای ساخته شده پس از ۲۰ تا ۳۰ سال به سازنده تعلق می گرفت تا بتواند به قیمت بازار آن را اجاره دهد یا به فروش برساند. برای نوسازی مسکن نیز چنین قاعده ای با دورهٔ ۱۰ ساله برقرار شد. در طول این مدت این واحدها به کسانی که دولت (شهرداری) معرفی می کرد، اجاره داده می شد. اجاره بها نیز فقط برابر هزینه های جاری بود، یعنی مالک نباید هیچگونه سودی می برد. با این سیاست بین سا لهای 1949 تا 1959 بالغ بر ۳/۳ میلیون یا سالانه 330 هزار واحد مسکونی اجتماعی ساخته شد. به علاوه ۲/۷ میلیون واحد هم بدون کمک دولتی بنا گشت و بدین ترتیب کمبود مسکن ظرف یک دهه رفع شد.

۳- کمک هزینهٔ مسکن: این سیاست دربرگیرندهٔ کسانی می شود که نمی توانند مسکن مناسب خانوادهٔ خود یا خانواده پسند در بازار باز اجاره کنند. کمک هزینهٔ پرداختی به آنها با در نظر گرفتن اندازهٔ مسکن، مکان آن، اجاره بهای ثبت شده، درآمد شخص و تعداد افراد خانوار محاسبه می شود. این اشخاص با مراجعه به شهرداری ها و اخذ مجوز لازم از کمک هزینه بهره مند می گردند.

۴- یارانهٔ مسکن ملکی: با چرخش اقتصاد کلان از بازار اجتماعی به طرف "بازاری شدن" از سال 1982 اعطای یارانهٔ مستقیم برای مسکن جدید خانوارهای جوان نیز معمول گشت. به تدریج یارانهٔ بخشایش مالیاتی، که ارزیابی شده بود و طبقات مرفه از آن بهره می گرفتند، به تدریج حذف و یارانهٔ مستقیم جای آن را گرفت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۲۵) نمونه مسکن اجتماعی در کشور آلمان

یکی از تکنیک‌های نوین به منظور کاهش تقاضای انرژی در ساختمان‌ها در سطح دنیا که در آلمان نیز مورد توجه ویژه بوده است، استفاده از ساختمان غیر فعال[۲۸] می باشد. هدف از ساختمان غیر فعال تأمین آسایش حرارتی برای ساکنین با استاندارد بالا و کیفیت بهینه هوا در محیط داخلی با حداقل تقاضای انرژی است. بو آدامسون و ولفگانگ فیست برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ استانداردهای خانه غیر فعال را توسعه دادند. به طوری که در سال ۱۹۹۱ نمونه اولیه از خانه‌های غیر فعال در شهر دارمشتات[۲۹]، آلمان ساخته شد. به منظور تایید عملکرد آن، ساختمان مورد پایش قرار گرفت و نشان داد که صرفه جویی در تقاضای انرژی در حدود ۹۰٪ نسبت به ساخت و سازهای سنتی رخ داده است. یک ساختمان غیر فعال[۳۰] بایستی براساس پنج اصل طراحی شود:

- سطح بالای عایق حرارتی
- به حداقل رساندن پل‌های حرارتی
- پنجرهایی با کارآمدی بالا
- مقاومت در برابر صدا
- تهویه مکانیکی با سیستم بازیابی حرارت

برای به دست آوردن گواهینامه‌ی ساختمان غیر فعال، ساختمان باید رفاه حرارتی و انرژی مورد نیاز تعیین شده توسط موسسه (PHI) را تأمین کند. لذا طبق ضوابط PHI به ساختمان‌هایی غیر فعال گفته می‌شود که تقاضای گرمایش و سرمایش نباید از ۱۵ کیلو وات ساعت به ازای هر متر مربع در سال یا بار گرمایشی و سرمایشی از ۱۰ وات بر متر مربع تجاوز نماید. همچنین عمده تقاضای انرژی نباید بیش‌تر از ۱۲۰ کیلو وات ساعت به ازای هر متر مربع در سال باشد.

آسایش حرارتی بخش‌های مختلف ساختمان در فصل زمستان بایستی بیش‌تر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در فصل تابستان کم‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد به طوری که در فصل تابستان اطمینان حاصل شود که از ۱۰ درصدساعات در یک سال معین بیش از ۲۵ درجه سانت‌گراد تجاوز نکند.

---

[۲۸] Passive building

[۲۹] Darmstadt

[۳۰] Passive building

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۱۲ مسکن‌های موقت پس از زلزله

۱-۱۲-۳-۱ تعریف مسکن موقت بعد از زلزله

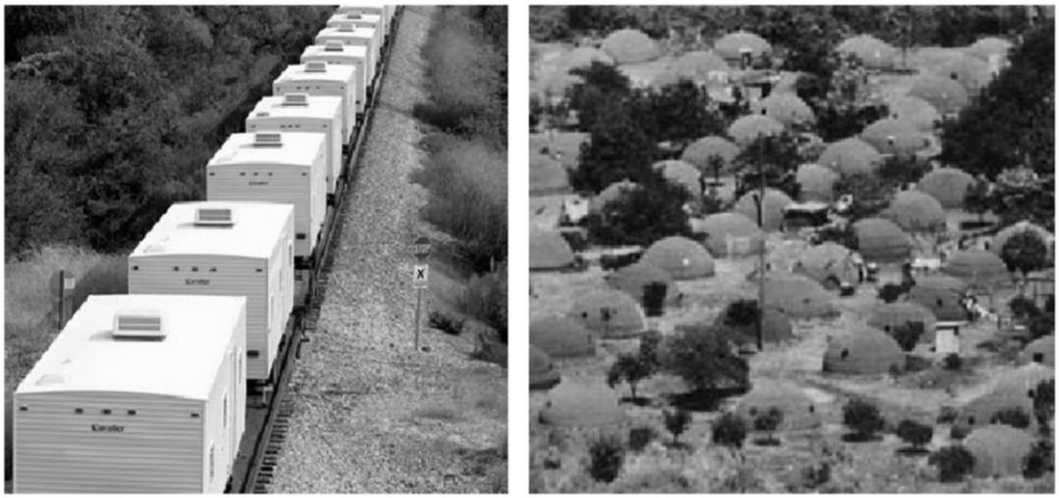
مسکن‌های موقت را می‌توان به عنوان سازه‌هایی برای ساکن نمودن افراد جوامعی که تحت تأثیر یک فاجعه مانند زلزله قرارگرفته اند، تعریف کرد (که معمولاً به عنوان بازماندگان از فاجعه [۳۱]نامیده می شوند). سکونت‌گاه موقت یک مجموعه شهری است که در نتیجه ایجاد خانه‌های موقت در کنار سایر خدمات (آموزشی ، بهداشتی و غیره) برای خدمات رسانی به جامعه آسیب دیده از بلایا ایجاد می شود [50]. نیاز به خانه‌های موقت در مواقعی ضروری است که بازماندگان فاجعه نمی توانند در محل سکونت قبلی خود ساکن شوند.

در یک طرح مدیریت فاجعه (که به طور مرسوم توسط دولت طراحی و اجرا می‌شود)، استفاده از خانه های موقت در مرحله پس از فاجعه همزمان با استراتژی‌های بازیابی و بازسازی به منظور کاهش تلفات و خسارات انجام می‌شود. با این وجود، برنامه ریزی برای تهیه، طراحی و ساخت خانه‌های موقت به طور ایده آل باید قبل از رخداد واقعه به مرحله آمادگی برسد. بصورت کلی مسکن‌های موقت مورد استفاده بعد از زلزله را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم بندی نمود:

پناهگاه‌های موقت [۳۲](شکل (۱- ۲۶)): می‌تواند یک پناهگاه عمومی، پناهگاهی در خانه همسایه، یک پناهگاه در زیر چادر پلاستیکی یا هر پوشش پیش‌ساخته دیگری باشد. پناهگاه‌های موقت بلافاصله پس از یک فاجعه برای سکونت افراد استفاده می شوند. معمولاً افراد تا روزها یا هفته ها در پناهگاه های اضطراری می مانند تا راه حل های بهتری ارائه شود. افرادی که در پناهگاه ها اقامت دارند به احتمال زیاد در تمام روز آن‌جا خواهند بود (به جز افراد شاغل در مشاغل حساس، دانش آموزان و ...). نیاز به خانه‌های موقت به طور معمول زمانی پایان می یابد که خانه های موقت با کیفیت بالاتر یا خانه های دائمی جدید در اختیار مردم قرار گیرد. از پناهگاه‌های موقت معمولاً با عنوان "مسکن اضطراری[۳۳]" نیز یاد می‌شود [51]. خاطر نشان می‌گردد گاهی عبارت مسکن‌های اضطراری را می‌توان در ادبیات فنی با عنوان خانه‌های اقتصادی نیز یافت [52].

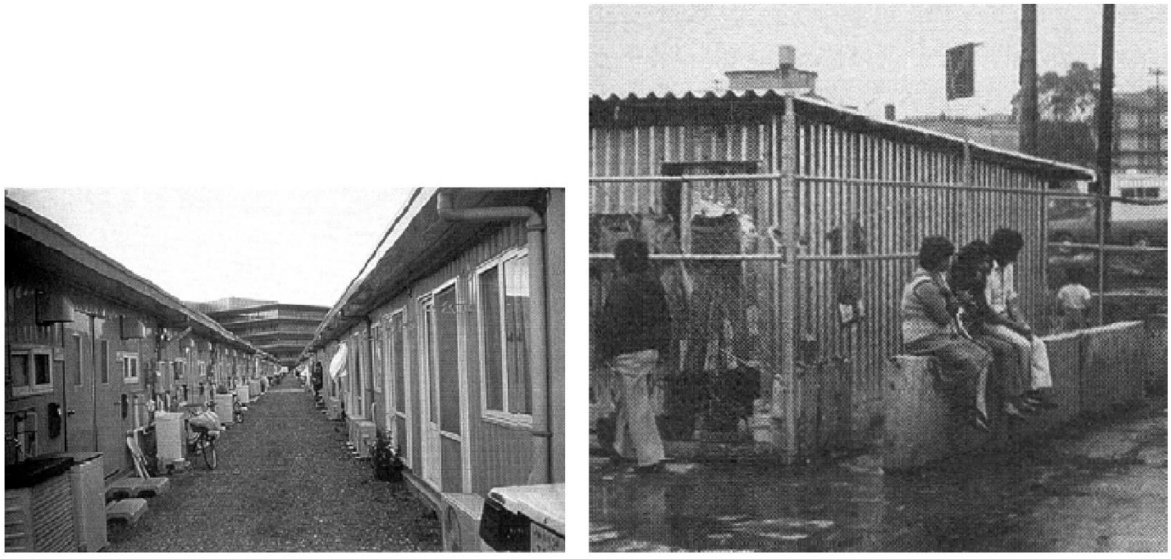
[۳۱] Disaster survivors
[۳۲] Temporary shelter
[۳۳] Emergency housing

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۲۶) چپ: خانه‌های موقت در لویزیانا در ایالات متحده در حال انتقال برای افراد آسیب دیده در طوفان کاترینا، راست: خانه‌های موقت گنبدی به عنوان پناهگاه‌های موقت در نیکاراگوئه در سال ۱۹۷۶ [53]

- **خانه موقت** [۳۴](شکل (۱- ۲۷)): می تواند به عنوان یک آپارتمان اجاره ای یا یک خانه پیش ساخته قلم داد شود. خانه های موقت بازگشت به فعالیت های روزمره، از جمله کار، مدرسه، آشپزی در خانه، خرید و غیره را فراهم می کند. برخلاف پناهگاه‌ها، خانه‌های موقت را می‌توان برای سکونت افراد به مدت طولانی تر (حتی چند سال) نیز در نظر گرفت. نیاز به خانه‌های موقت با احداث خانه‌های دائمی پایان میابد. از طرف دیگر درصورتی‌که خانه‌های موقت کیفیت قابل قبولی را برای زندگی افراد مهیا سازند می‌توانند به عنوان سکونت گاه‌های دائمی نیز مورد استفاده قرار گیرند.



شکل (۱- ۲۷) خانه‌های موقت: (چپ) ژاپن، سال ۱۹۹۵ بعد از زلزله کوبه، (راست) بعد از زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی [54]

[۳۴] Temporary house

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

به طور کلی، مسکن‌های موقت گامی به سمت خانه های دائمی در برنامه های بازیابی و بازسازی حوادث هستند. مسکن‌های دائمی ممکن است خانه ای باشد که از یک فاجعه سالم مانده است (یا برای غلبه بر اثرات فاجعه بازسازی شده است) یا یک پروژه مسکونی کاملا جدید باشد. ممکن است بازماندگان فاجعه از همه مراحل یک پروژه از پناهگاه‌های موقت تا خانه‌های دائمی عبور کنند و بسیاری از مراحل ممکن است به طور همزمان در بخش‌های مختلف جوامع آسیب دیده ارائه شود. اگر مسکن دائمی در مدت زمان کافی در دسترس قرارگیرد، ممکن است افراد از پناهگاه موقت مستقیماً به خانه دائمی منتقل شوند.

زلزله بم با شدت ۶/۶ ریشتر در تاریخ ۵ دی ماه ۱۳۸۲ با مدت دوام ۱۲ ثانیه منطقه بم در استان کرمان، ایران را لرزاند و برآورد گردید که جمعیتی در حدود ۱۵۵۰۰۰ نفر نیاز به پناهگاه موقت دارند. برنامه ساکن نمودن افراد که توسط دولت انجام گردید شامل سه بخش؛ ۱) پناهگاه‌های چادری موقت در محل خانه‌های قبلی یا کمپ‌های از پیش تعیین شده، ۲) پناهگاه‌های نیمه موقت یا متوسط (سازه‌های این پناهگاه‌ها از اعضای پیش ساخته ساخته شده بودند)، ۳) خانه‌های دائمی. در شکل (۱- ۲۸) و شکل (۱- ۲۹) نمونه‌هایی از پناهگاه‌های نیمه موقت نشان داده شده است. یکی از مشکلاتی که دولت پس از تهیه حدود ۹۰۰۵ پناهگاه نیمه موقت با آن روبرو گردید، پر کردن آنها بود؛ زیرا که مردم به دلایلی از قبیل ترس از دست دادن ملک خود، دور شدن از زمین‌های کشاورزی خود و مرکز شهر تمایلی به زندگی در کمپ‌های پناهگاه‌های نیمه موقت نداشتند. بنابراین چیزی در حدود ۳۱۰۰ واحد از این پناهگاه‌ها خالی از سکنه باقی ماند (برگرفته از مصاحبه با آقای دکتر غفوری آشتیانی).



شکل (۱- ۲۸) مسکن‌های نیمه موقت در حال ساخت در خارج شهر بم

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۲۹) نمونه‌ای از خانه‌های نیمه موقت در زمین‌های شخصی افراد

پناهگاه‌های نیمه موقت پیش ساخته بعد از زلزله بم عموما شامل واحدهای یک اتاقه به مساحت ۱۶ تا ۲۰ متر مربع بوده است که بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ دلار هزینه ساخت هرکدام از آنها بوده است. برخی از این پناهگاه‌ها همچنین از نوع ساخته شده در محل نیز بوده اند که از سیستم‌های سازه‌ای و نازک کاری‌های مرسوم در آنها استفاده شده است.

۲-۱۲-۳-۱ اصول برنامه ریزی، طراحی و ساخت مسکن‌های موقت بعد از زلزله

کارفرمایان مختلفی در برنامه ریزی، طراحی و ساخت خانه های موقت دخیل هستند. کارفرمایان به عنوان اشخاص، گروه‌ها، مقامات، سازمان ها و ارگان‌هایی تعریف می شوند که در تهیه، طراحی و ساخت خانه های موقت سهیم هستند. این کارفرمایان با تصمیمات مختلف، مسائل مربوط به برنامه ریزی و مدیریت طرح و ساخت را به عهده دارند. موضوعات مرتبط شامل مقدار مسکن مورد نیاز، شکل و چیدمان مسکن، ابعاد و هدف از ساخت آنها (اعم از استفاده تعیین شده به عنوان خانه یا پناهگاه)، مصالح ساختمانی موجود، سهولت ساخت، محدودیت های زمانی و امکان مشارکت جمعی در روند ساخت و ساز در میان انبوهی از مسائل دیگر می‌باشد. تجزیه و تحلیل صورت گرفته توسط کارفرمایان، شرکت کنندگان اصلی در این بخش را را مشخص می کند و قدرت نسبی، اولویت ها، منابع، اهمیت و نقش هرکدام از آنها را با توجه به تهیه، طراحی و ساخت خانه های موقت در سطوح معماری، برنامه ریزی، اقتصادی، فرهنگی-اجتماعی و فنی مشخص می کند [51].

بصورت کلی کارفرمایان در این پروژه‌ها شامل موارد ذیل می‌باشند:

أ. سازمان‌های مقابله با بلایای طبیعی
ب. دولت‌ها
ت. گروه‌ها و جوامع شهروندی
ث. سازمان‌های غیر انتفاعی عمرانی و یا داوطلب
ج. بخش‌های خصوصی (شامل کارخانجات و کسب و کارهای خاص)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ح. گروه‌های متخصص شامل محققین دانشگاهی، سازمان‌های کارآموزی و شرکت‌های مشاور
خ. رسانه‌ها

در رویکردهای متعارف "از بالا به پایین[۳۵]" در تهیه مسکن از مسیرهای کارفرمایان رسمی مانند دولت ها برای تأمین محل زندگی موقت بازماندگان استفاده می‌شود. این فرایند شامل اعمال دقیق و رعایت قوائد رسمی استانداردهای ساختمان و مدیریت کاربری اراضی است [55]. نامگذاری "از بالا به پایین" به مفهوم این است که پروژه توسط دولت‌ها شروع شده و منتفعین مسکن‌ها در آن مشارکتی ندارند. در زمینه پس از فاجعه، رویکردهای بالا به پایین بر استاندارد نمودن پروژه و راه حل‌های فناور محور برای انجام سریع و اقتصادی کار تأکید می کنند. با این حال، راه حل های بالا به پایین به دلیل فوریت تأمین سریع واحدهای مسکونی، از شرایط فرهنگی و محلی و همچنین نیازهای ساکنین غافل می شوند.
از سوی دیگر، رویکردهای "از پایین به بالا[۳۶]" در مسکن، که در آن جوامع و ساکنین نقشی در تصمیم گیری و مدیریت دارند، از نظر توسعه راه حل های متناسب با فرهنگ، اقتصاد و محیط زیست می‌باشند. این رویکرد همچنین می‌تواند از مشارکت جوامع و مردم در تصمیم گیری‌ها بهره گیرد. از رویکردهای پایین به بالا به عنوان رویکردهای مبتنی بر جامعه نیز یاد می‌شود و در تلفیق تلاش های بازسازی با فرصت های توسعه موفق هستند، بنابراین پتانسیل سرمایه گذاری‌ها را به حداکثر می رسانند. آنها همچنین می توانند با کمک سازمانهای غیر دولتی (NGO) اجرا شوند [56].
اختلافات در اهداف رویکردهای بالا به پایین در مقایسه با رویکردهای پایین به بالا ظاهر می شوند. رویکردهای رسمی برای سکونتگاه های موقت پس از فاجعه معمولاً ایجاد یا استقرار تعداد زیادی از واحدها در کوتاهترین زمان ممکن می‌باشد. از طرفی، پروژه های مبتنی بر جامعه اهمیت بیشتری به نیازهای محلی از جمله استفاده از منابع محلی، ایجاد فرصت های درآمد برای بازماندگان فاجعه، استفاده مجدد از ساختمان ها برای اهداف اجتماعی دارند. به طور کلی، رویکردهای پایین به بالا از نظر تعداد واحدهای ارائه شده از طریق تلاش های محلی در مقایسه با ظرفیت دولت ها برای تأمین مقدار زیادی از واحدها از طریق بودجه و آمادگی قابل توجه، اندک است. طرح‌ها، مصالح و کیفیت کلی خانه‌ها بسته به مشخصات مشخص شده توسط گروه های مختلف، از یک راه حل به راه حل دیگر متفاوت است. چنین اختلافاتی منجر به تغییرات زیادی در آسایش ساکنین می شود. از طرف دیگر، پروژه های دولتی کم و بیش یکسان هستند، زیرا از عناصر پیش ساخته و استاندارد برای پاسخگویی به مشخصات طراحی که توسط دولت مشخص شده، استفاده می‌کنند.

۳-۱۲-۳-۱ مشکلات پیش رو با استفاده از مسکن‌های موقت بعد از حوادث

علیرغم اینکه مسکن موقت راهی برای پیشبرد برنامه‌های بازسازی موفقیت آمیز و بازگرداندن بازماندگان به زندگی عادی است، این مسکن‌ها نیز به دلیل مشکلات تاب آوری و عدم کفایت فرهنگی مورد انتقاد قرار گرفته است. از جمله می‌توان به تحقیقات برکت در سال ۲۰۰۳ [57]؛ حدفی و فلاحی در سال ۲۰۱۰ [58]؛ جانسون در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ [59]،[61] [60] و UNDRO در سال ۱۹۸۲ [62] اشاره نمود. بخش قابل توجهی از برنامه های اسکان موقت به دلیل استراتژی های ناموفق، سو تفاهم درباره نیازهای واقعی کاربران و تصورات غلط در برخورد با شرایط و منابع محلی، تاب نیاور و از نظر فرهنگی نامناسب بوده اند.

[۳۵] Top-down
[۳۶] Bottom-up

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۳-۱۲-۳-۱ مشکلات تاب آوری

به نظر می رسد راه حل های مسکن موقت پس از فاجعه از دو طریق دارای مشکلات تاب آوری هستند: ۱) از نظر هزینه ها ناپایدار و ۲) تاب آور نبودن از نظر مسائل زیست محیطی.

بیشتر اوقات راه حل های ارائه شده در منطقه ای که واقعه رخ داده است بوجود نمی‌آید. واردات و حمل و نقل واحدها یا مصالح مورد نیاز برای اسکان مجدد تمام قربانیان ممکن است هزینه های بسیار بالایی داشته باشد. طبق UNDRO (۱۹۸۲) [62]، هزینه یک واحد خانه موقت می تواند بیش از یک واحد دائمی باشد و برخی از نویسندگان اشاره می کنند که ممکن است سه برابر گران تر نیز باشد [58]. علاوه بر هزینه های مرتبط با واحدها، هزینه های کل زیرساخت‌های لازم برای کارکرد سکونتگاه‌های موقت (جاده ها ، آب ، فاضلاب ، برق و غیره) نیز وجود دارد.

به این ترتیب، مسکن موقت در رابطه با طول عمر خود به یک نوع راه حل بسیار گران تبدیل می شود، زیرا این امر مستلزم سرمایه گذاری کلانی در واحدهایی است که فقط در مدت زمان کوتاهی مورد استفاده قرار می گیرند [61]. در نتیجه، به دلیل فرآیندهای بازسازی طولانی‌تر، یا به عبارت بهتر هزینه بیش از حد که نشان دهنده مصرف منابع مهم برای بازسازی دائمی، بحث‌های زیادی در مورد این مسئله انجام شده است که آیا مسکن موقت واقعاً مورد نیاز است یا خیر [63]؟ در نتیجه، ممکن است کارهای بازسازی دائمی به تأخیر بیافتند و افراد مجبور شوند بیش از آنچه در نظر گرفته شده در واحدهای موقت بمانند. از آنجا که آن اسکان موقت برای مدت طولانی برنامه ریزی نشده است، برخی مشکلات اجتماعی نیز ممکن است به‌وجود آیند [60].

ساخت مسکن موقت راحت و مقاوم، حتی با توجه به شرایط زودگذر آن، معمولاً به معنای تأمین سازه‌هایی با دوام‌تر از مدت زمان کوتاهی است که برای آن لازم است. در نتیجه، واحدها پس از مدت زمان استفاده مورد نظر هنوز قابل استفاده بوده و مسئله این است که با تعداد زیادی از این سازه ها چه باید کرد؟ از آنجا که بیشتر اوقات برنامه ای برای آن وجود ندارد، واحدها به سادگی از بین می روند. این نوع روش یک رویکرد غیرمولد است که باعث از دست رفتن منابع استفاده شده در آنها می شود [64]. از طرف دیگر، مکانی که واحدهای موقت در آن قرار میگیرند بسیار آلوده می شود که لازم است پس از حذف واحدها، تمام زیرساخت ها، زیربناها، زباله ها، ضایعات و غیره برداشته شوند تا مکان دوباره آماده بهره‌برداری شود. با این حال، گاهی اوقات این اتفاق نمی افتد و عواقب زیست محیطی زیادی را به بار می آورد. همچنین این فعالیت‌ها به معنی هزینه‌های زیاد و یا حتی برابر با احداث دوباره می‌باشد. در نتیجه، مسکن موقت به دلیل تعداد زیادی از منابع مورد نیاز برای ساخت واحدها، کمبود راه حل برای آنها بعد از استفاده و همچنین آلودگی محل، از نظر زیست محیطی تاب آور نمی‌باشد. بنابراین اگر الگوهای مناسبی برای توسعه مسکن های اجتماعی پایدار برای مناطق مختلف کشور توسعه داده شود، می تواند به عنوان مسکن های موقت پس از حوادث طبیعی نیز به کار گرفته شود.

۲-۳-۱۲-۳-۱ مشکلات فرهنگی

بخش رسمی ضمن تلاش برای تهیه مسکن سریع و اقتصادی، بر استاندارد سازی و راه حل های مبتنی بر فناوری تأکید کرده است. با این حال، با غفلت از شرایط فرهنگی و محلی و همچنین نیازهای کاربران [65] این راه حل ها معمولاً توسط یک گروه محدود از متخصصان مناسب دانسته می‌شوند، اما ممکن است برای ساکنان محلی مناسب نباشند [66].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پروژه های مسکن موقت همچنان از مشکلات روش بالا به پایین از جمله، هزینه و تناسب فرهنگی رنج می برند [59]. این واحدها معمولاً در کشور دیگری تولید می شوند و بعضاً برای استفاده در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شوند [57]. این مفهوم یک راه حل جهانی یا استاندارد عملی نیست، زیرا نیازهای واقعی ساکنین، تغییرات آب و هوایی، تنوع ارزش‌های فرهنگی و معماری خانه‌ها، تنوع جمعیت خانوارها و دیگر موارد را نادیده می گیرد [59]. بنابراین این مسکن‌ها می‌توانند به مکان‌هایی اجباری و تحمیلی تبدیل شوند که ممکن است از نظر فرهنگی با ساکنین بیگانه باشند [67]. مطالعه ای که توسط کایا، ونتیمیگلیا و ماس (۲۰۱۰) [68] صورت گرفته شده است نشان می دهد که معماری و مصالح برای مطابقت با نمونه اولیه یک خانه مهم است. این مطالعه همچنین بیان می‌کند که کاربران با توجه به انواع مختلف واحدها واکنش نشان می دهند و جابجایی در مسکن موقت گاهی منجر به فشارهای روانی خواهد گردید. بنابراین، نحوه وابستگی بیشتر کاربران به نوع خاصی از واحدهای مسکونی ممکن است برای بهزیستی روانشناختی آنها مفید باشد.

وقتی راه حل ها به نیازها و انتظارات کاربران پاسخ نمی دهند، آنها اغلب برای تأمین نیازهای خود تغییراتی و اضافاتی ایجاد می کنند. از آنجا که در بیشتر مواقع کاربران از مهارت و دانش مناسبی برای مدیریت مصالح جدید و تکنیک های سازه‌ای برخوردار نیستند، بنابراین قادر به ایجاد تغییرات ایمن نخواهند بود که باعث می شود واحدها در برابر بلایای آینده آسیب پذیرتر شوند (شکل (۱- ۳۰)). در برخی موارد بحرانی، افراد واحدهای مسکونی ارائه شده را رها می کنند زیرا امکان زندگی در آنها وجود ندارد و همه سرمایه گذاری‌ها از بین خواهند رفت.



شکل (۱- ۳۰) بازسازی واحدهای مسکن‌های موقت: قبل و بعد از بازسازی واحدها

۱-۳-۱۲-۴ توصیه‌هایی برای توسعه مسکن‌های موقت پایدار

برخی مطالعات راهکارها و توصیه های جایگزینی را برای جلوگیری از مشکلاتی که قبلاً در مورد آنها بحث شد، ارائه داده اند. اکثر آنها اصرار دارند که اصولی مانند مشارکت جامعه، استفاده از منابع محلی و توسعه راه حل های استفاده مجدد از واحدها برای غلبه بر شکاف های موقتی مسکن بسیار سودمند خواهد بود.

به نظر می رسد مشارکت جامعه و استفاده از منابع محلی مفاهیمی اساسی برای یافتن راه حل‌های پایدارتر و از نظر فرهنگی مناسب باشد. از یک سو، جامعه محلی در بیشتر مواقع می تواند در کارهای بازسازی شرکت کند. در واقع، مطالعات نشان داده است که اولین پاسخ به نیازهای پناهگاه پس از واقعه توسط خود بازماندگان ارائه شده است و همچنین این تصور که آنها افراد منفعل و منتظر کمک هستند، تصوری اشتباه بوده است [69]. استفاده از مصالح محلی و تکنیک های ساختمانی امکان ساخت سریع و اقتصادی راه حل های مسکن را فراهم می کند، زیرا

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نیازی به انتقال مصالح و انتظار برای نیروی کار متخصص نیست. به این ترتیب می توان از تأخیر و هزینه حمل و نقل و همچنین هزینه های خرید مصالح خارجی و استفاده از نیروی کار خارجی جلوگیری کرد. از آنجا که جامعه محلی، دانش لازم برای اداره مصالح محلی و تکنیک های ساختمانی محلی را دارد، ساخت خانه های موقت می تواند زودتر آغاز شده، اقتصادی تر و پایدارتر باشد. از طرف دیگر، رضایت ساکنین ارتباط نزدیکی با مشارکت آنها در ارزیابی نیازهای خود دارد [67]، در نتیجه گام مهمی برای تضمین مطابقت راه حل ها با انتظارات آنها و متناسب با سبک زندگی آنها برداشته خواهد شد. به این ترتیب، به دلیل آشنایی بهتر مردم محلی با مصالح محلی و همچنین به دلیل اینکه واحدهای یکپارچه بهتری در محیط‌های محلی ایجاد می‌شود، استفاده از منابع محلی از نظر فرهنگی و اجتماعی مناسب خواهد بود.

علاوه بر این، استفاده از مصالح و نیروی کار محلی اقتصاد محلی را بهبود می بخشد، و تعمیر و نگهداری و اصلاح واحدها را آسان می کند. همچنین، استفاده از پتانسیل‌های محلی برای بازسازی مسکن به بازیابی روحیه جامعه، احساس غرور و رفاه مردم آسیب دیده کمک می‌کند. مفهوم موقت به این معنی است که انتظار می رود واحدها در یک دوره زمانی پیش بینی شده استفاده شوند و پس از آن نیاز به یافتن راه حل های پایدار برای آنها وجود داشته باشد. طبق نظر جانسون در سال ۲۰۰۷ [59]، پنج امکان در مورد مسکن‌های موقت وجود دارد:

(۱) استفاده طولانی مدت از واحدها، که اغلب به دلیل اختلالات اجتماعی، اشغال غیرقانونی، نرخ بالای جرم و غیره، مشکل ساز محسوب می شوند.

(۲) از بین بردن واحدها و ذخیره سازی آنها برای استفاده مجدد در بلایای آینده، که ممکن است به اندازه یک واحد جدید هزینه داشته باشد. زیرا هزینه های برچیدن، حمل و نقل، ذخیره سازی و سر هم کردن مجدد آنها می‌تواند قابل توجه باشند.

(۳) فروش واحدها یا بخش‌هایی از آنها برای جبران برخی از هزینه ها، هرچند مسلماً کمتر از نیمی از سرمایه گذاری اولیه خواهد بود.

(۴) تخریب واحدها برای فروش یا اهدای قطعات آن، که به دلیل شرایط نهایی نامناسب اغلب ارزش کمی دارند.

(۵) استفاده مجدد از واحدها در مکان جدید، که ممکن است هزینه های اضافی برای برچیدن، حمل و نقل و برپا نمودن مجدد در مکان جدید را در برداشته باشد. علیرغم هزینه های اضافی احتمالی، به نظر می رسد گزینه استفاده مجدد یک استراتژی سودمند باشد، زیرا واحدها، منبع مناسبی برای یک جامعه در حال بهبود هستند [60].

ارسلان در سال ۲۰۰۷ [70] پیشنهاد طراحی مجدد، استفاده مجدد و بازیافت خانه های موقت را مطرح نمود. استفاده مجدد و بازیافت ممکن است: (الف) برای همان عملکرد و بدون اضافات برای خانواده های کم درآمد، دانش آموزان و غیره استفاده شود، (ب) برای همان عملکرد با اضافاتی برای بزرگتر کردن خانه با توجه به انتظارات ساکنین استفاده گردد، (ج) برای کارکردهای مختلف، مانند اردوگاه های جوانان، اردوگاه های تعطیلاتی و تفریحی مورد بهره برداری قرار گیرد [71]. جانسون در سال ۲۰۰۸ [61] پیشنهاد می کند که اجاره مسکن موقت به ساکنان کم درآمد، استفاده مجدد به عنوان ساختمان‌های جدید جامعه و واحدهایی که به عنوان هسته اصلی برای مسکن دائمی عمل می کنند، از نظر اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تاب آور ترین روش استفاده مجدد هستند. مستقل از عملکردهای استفاده مجدد ، "زندگی دوم" فرصتی برای غنی سازی سرمایه گذاری های زیاد مورد نیاز برای تهیه واحدها و جلوگیری از مشکلات تاب آوری است. با این حال، این واقعیتی است که پس

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

از بسیاری از فاجعه ها، مسکن‌های موقت مشکل ساز شده و برای بهره گیری از پتانسیل استفاده مجدد، درنظر گرفتن شرایط لازم در مرحله طراحی ضروری خواهد بود [72].

۵-۱۲-۳-۱ رهنمودهای اساسی برای برنامه ریزی مسکن‌های موقت آتی

با توجه به حقایق ارائه شده، به نظر می رسد برخی از رهنمودها برای بهبود نتایج پروژه های مسکن موقت می-تواند ارائه شود. محققان مختلف پنج اصل اساسی را پیشنهاد می کنند: درک زمینه‌ای[۳۷]، مشارکت جامعه، استفاده از منابع محلی، برنامه ریزی آینده و طراحی فراتر از سطح واحدها. درک کامل زمینه‌ای منطقه فاجعه زده، کلیدی برای ارائه راه حل های مناسب مسکن می‌باشد. دانستن زمینه به معنای دانستن همه خصوصیات شرایط از جمله فرهنگ‌ها، سنت‌ها، سازمان‌های اجتماعی، سیستم های اقتصادی و سیاسی، اعتقادات مذهبی، آب و هوا و غیره می‌باشد و همه این موارد باید برای توسعه راه حل‌های اسکان موقت در نظر گرفته شود. بنابراین، می‌توان مشخصات دقیق راه حل‌های مسکن موقت را فقط در یک زمینه دقیق محلی ارائه داد تا بتواند راه حل هایی متناسب با کاربران و محیط آینده آنها ارائه دهد. نقطه شروع در طراحی خانه‌ها باید خواسته‌های مردم و ترکیب اشکال محلی مسکن باشد [57].

دستیابی به هدف قبلی به مشارکت جامعه در روند کار بستگی دارد. مشارکت ساکنین آینده در ارزیابی نیازهایشان تضمین می کند که راه حل ها متناسب با نیاز، انتظارات و استانداردهای زندگی محلی آنها است. فراتر از ادغام آنها در ارزیابی نیازها، همانطور که قبلاً بحث شد، مشارکت آنها در کارهای ساختمانی ممکن است برای بهبود جامعه مزایایی داشته باشد. با این حال، برخی از رویکردهای مبتنی بر جامعه نتایج منفی غیر منتظره داشته اند . بنابراین، همه انواع مشارکت مترادف با نتایج مثبت نخواهد بود و مشارکت باید با توجه به زمینه ها به طور محلی تصمیم گیری شود [73].

استفاده از منابع محلی، مانند مصالح، تکنیک های ساختمانی و نیروی کار، بطور مرتب به کاهش هزینه ها، بهبود اقتصاد محلی و ایجاد یکپارچگی فرهنگی و محلی بهتر کمک می کند. همچنین باعث می شود راه حل ها در برابر آب و هوای محلی مناسب تر و با دوام تر شوند و آنها را در حالت بهبود مناسبی حفظ کند. علاوه بر این، تعمیر و نگهداری بهتر را ایجاد می کند و تغییرات را برای کاربران آسان تر می کند؛ به گونه ای که امکان تغییر واحدها را با توجه به نیازها و امکانات آنها در طول زمان فراهم می آورد. در واقع، اگر راه حل های بومی و محلی به دقت تدوین شوند، احتمالاً موثرتر، سریعتر و متناسب با نیازهای محلی خواهند بود. استفاده از منابع محلی به معنای عدم استفاده از نوآوری نیست. اگر به درستی معرفی شوند و از نظر فرهنگی یکپارچه شوند، برخی از مواد و فن آوری های جدید ممکن است به طور قابل توجهی در بهبود راه حل های مسکن پس از بلایا کمک کنند.

در طول توسعه راه حل ها، برنامه ریزی برای ایجاد فرصت های مفید برای استفاده آینده آنها مورد نیاز می‌باشد. در طول مرحله طراحی، ایجاد راه حل‌های تا حد امکان انعطاف پذیر برای ایجاد سهولت در سازگاری‌های مورد نیاز برای استفاده مجدد، بسیار مهم است. همچنین ایجاد توانایی در ساکنین برای شخصی سازی واحدهای خود، ایجاد موارد اضافی یا تغییر با توجه به نیازها و امکانات آنها، ضروری است. پس از فاجعه، مسکن اغلب محل کار خانواده ها خواهد بود و انعطاف پذیری برای ایجاد تحولات ساده و سریع که واحد را قادر می سازد تا این فضاهای چند منظوره را در خود جای دهد بسیار مهم است. بنابراین، انعطاف پذیری یک ویژگی اساسی برای اسکان موقت خواهد بود و توسط بسیاری از نویسندگان از آن دفاع شده است. به همین ترتیب، سیستم های ساختمانی ساده-

[۳۷] Context understanding

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ای که مونتاژ و از بین بردن آنها آسان است و از عناصر کوچک ساخته می‌شوند، اداره آنها راحت تر خواهد بود. برگشت پذیری روند ساخت و ساز پیشنهاد شده توسط بولوگنا در سال ۲۰۰۴ [74] نیز یک گزینه تاب‌آور برای واحدهای مسکونی پس از فاجعه است. این استراتژی این امکان را دارد که مواد و منابع ارضی را به یک چرخه تولید دیگر وارد کند یا مجدداً آنها را بدون تولید ضایعات ادغام کند. درست مانند امکانات استفاده مجدد، مفهوم برگشت پذیری فقط در صورت برنامه ریزی صحیح از قبل در مرحله طراحی امکان پذیر خواهد بود.

طراحی فراتر از واحد در ساخت خانه های موقت نقشی اساسی دارد. داشتن واحدی که به درستی متناسب با نیازهای ساکنین و مسائل فرهنگی بوده، و به صورت محلی یکپارچه، تاب آور و اقتصادی باشد به تنهایی به معنای موفقیت خوب آن نیست. طراحی واحدها فقط بخش مهمی از این مسئله است، زیرا تمام فضای پیرامونی آنها برای موفقیت در طرح بسیار مهم است. مکان واحدها باید به دقت تعیین شود تا اطمینان حاصل شود که افراد احساس آوارگی نمی‌کنند و به محل کار، خدمات و امکانات رفاهی خود نزدیک‌تر هستند. معمولاً واحدهای مسکونی موقت در مناطق حاشیه‌ای ساخته می شوند، که می تواند باعث انزوای اجتماعی و نیاز به زیرساخت ها و خدمات اضافی مانند حمل و نقل اتوبوس شود، که بیانگر مصرف بیشتر منابع خواهد بود. علاوه بر موقعیت مکانی، طراحی فضاهای عمومی مثل میدان، پارک، باغ و غیره برای ایجاد فرصت های اجتماعی تعیین کننده است؛ زیرا برای ایجاد روحیه جامعه، حفظ روابط اجتماعی ضروری است و می تواند فرصتی برای ایجاد فضاهای جدید باشد. بازیابی حس اجتماع در شرایط پس از فاجعه بسیار مهم است و معنای واقعی واژه جامعه در غنای روابط اجتماعی است [75]. به همین ترتیب، ارائه خدمات مانند مدارس، مراکز کمک پزشکی، مراکز اجتماعی، مغازه‌ها، کافی شاپ‌ها، ساختمان های مذهبی و غیره مهم است تا بتواند همه شرایط زندگی عادی در سکونتگاه موقت را فراهم کند. رابطه بین واحدهای مسکونی موقت و این فضاها و ساختمان‌های عمومی نیز باید به دقت طراحی شود. برای ایجاد حریم خصوصی در بین همسایگان و هم‌چنین تسهیل حمایت و تعامل اجتماعی، مهم است که مناطق حائل از دامنه عمومی به منطقه خصوصی واحدها ارائه شود[68] . حتی اگر این مناطق طراحی نشده باشند، باید فضاهای آزاد در نظر گرفته شود تا کاربران بتوانند مناطق انتقالی مانند باغ ها را ایجاد کنند. از این فضاهای اطراف واحدها می توان برای ساخت مناطق یا فضاهای کاری نیز استفاده کرد که ممکن است برای اقتصاد خانواده ها سودآور باشد. از آنجا که شهرک فقط مجموعه ای از خانواده های منفرد نیست [75]، طراحی فراتر از واحدها، کلیدی برای ایجاد محیط زندگی بهتر برای سکونتگاه های موقت است.

۱-۴ مطالعات تحقیقاتی و فعالیت‌های اجرایی انجام گرفته در زمینه مسکن اجتماعی در داخل کشور

۱-۴-۱ مقدمه

در ایران از دهه 1340 به بعد تا زمان انقلاب و بعد از انقلاب نیز دولت های مختلف سعی نموده اند که با اجرای سیاست های گوناگون نسبت به تأمین مسکن مورد نیاز مردم اقدام نمایند. از سال 1370 نیز سیاست حمایت اجتماعی با استفاده از ابزارهای مختلفی همچون واگذاری زمین ارزان قیمت، ایجاد صندو ق های وام و پس انداز، اعطای وام های کم بهره، پرداخت یارانه های مالی و در نهایت مسکن مهر، تلاش نموده اند که نسبت به تأمین مسکن گروه های کم درآمد اقدام نمایند. طرح جامع مسکن از عملکرد دولت آسیب شناسی انجام داده و اصول زیر را برای برنامهٔ سیاست مسکن اجتماعی پیشنهادکرده است:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

أ. تقدم دادن به طراحی بسته های یکپارچه برنامه ای و نهادی وسازمانی با رعایت گوناگونی اقتصادی، اجتماعی و جغرافیایی، ساماندهی و تکامل تدریجی آنها به جای اجرای تک پروژه های مجزا

ب. رعایت اصل تنوع و انتخاب در سیاست اجتماعی مسکن در نظامی یکپارچه، برای پوشش دادن گروه های درآمدی، اقشار اجتماعی، اقوام و فرهنگ و مناطق جغرافیایی گوناگون، تا با ایجاد حق انتخاب برای آنها از یک سو از انسداد و نا امیدی اجتماعی جلوگیری کند و از سوی دیگر محرک فعالیت و خلاقیت بیشتر فردی و اجتماعی آنها گردد.

ت. استفاده حداکثری از مشارکت انجمن‌های محلی و مدنی غیر انتفاعی و تعاونی مسکن، پس انداز و وام محلی و غیرانتفاعی برای ساخت و مدیریت مسکن ملکی و استیجاری و تأمین مالی مسکن و بهسازی شهری و روستایی

ث. استفاده حداکثری از سطوح محلی دولتی، شهرداری ها و دهیاری ها برای اجرا و نظارت در سیاست اجتماعی مسکن

ج. پیوند یکپارچه و کارآمد سیاست اجتماعی مسکن با برنامه ریزی فضایی، نوسازی، بهسازی، ساماندهی و توانمندسازی در بافت های فرسوده و سکونتگاه های غیررسمی

ح. هم پیوندی نظام مسکن اجتماعی با نظام تأمین اجتماعی در قالب یک سیاست اجتماعی سازگار و هم افزا با برنامهٔ توسعهٔ اقتصادی

خ. هم پیوندی سیاست اجتماعی مسکن با نظام برنامه ریزی فضایی در سطوح ملی، منطقه ای، شهری و روستایی با رعایت ویژگی های جغرافیایی سرزمین

د. یکپارچه سازی مالی پرداخت یارانه ها و برنامه های رفع فقر شهری (توانا و توانمندسازی)، تأمین و حمایت اجتماعی، تأمین شبکه های زیربنایی، و بهسازی و نوسازی شهری و روستایی

برنامه های عملیاتی تأمین مسکن خانوارهای کم درآمد در قالب چهار طرح ، مسکن کارگری، نوسازی و بهسازی بافت های فرسوده و سکونتگاه های غیر رسمی، مسکن اجاره ای و طرح تأمین مسکن گروه های تحت پوشش نهادهای حمایتی مشتمل بر ۸ برنامهٔ عملیاتی تنظیم و به شرح جدول (۱- ۵) ارائه شده است.

جدول (۱- ۵) برنامه های عملیاتی تأمین مسکن خانوارهای کم درآمد [32]

عنوان طرح	عنوان برنامه عملیاتی
الف : طرح مسکن کارگری	برنامهٔ ۱ : تأمین مسکن ملکی کارگری
	برنامهٔ ۲ : احداث و عرضهٔ مسکن استیجاری کارگری
ب: طرح تأمین مسکن خانوارهای کم درآمدها از طریق نوسازی وبهسازی بافت‌های فرسودهٔ شهری و سکونتگاه‌های غیر رسمی	برنامهٔ ۳ : اعطای وام‌های نوسازی مشروط به اجاره‌داری
	برنامهٔ ۴: راه‌اندازی نهادهای محلی بهسازی مسکن
ج : طرح مسکن اجاره‌ای	برنامهٔ ۵ : اعطای وام ودیعهٔ مسکن به خانوارهای ساکن در بافت‌های فرسوده
	برنامهٔ ۶- احداث و عرضهٔ مسکن اجاره‌ای کوچک (بازیربنای کمتر از ۷۰ متر مربع)
د- طرح تأمین مسکن گروه‌های تحت پوشش نهادهای حمایتی	برنامهٔ ۷ : اعطای وام ودیعهٔ مسکن اجاره‌ای به خانوارهای تحت پوشش نهادهای حمایتی
	برنامهٔ ۸: احداث و عرضه مسکن اجاره‌ای (با زیربنای کمتر از ۷۵ مترمربع)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

الف: طرح مسکن کارگری

یکی از استراتژی های پیشنهادی طرح جامع تدوین برنامه های تأمین مسکن اجتماعی بر اساس اصل هم افزایی منابع و همچنین هم افزایی عملکردی بین سازمان های فعال در عرصهٔ تأمین و رفاه اجتماعی و مجموعهٔ دولت است. در پیشی گرفتن این رویکرد به جز ایجاد کارایی عملکردی، می تواند از طریق ایجاد هدفمندی و شناسایی بهتر گروه های هدف، کارایی و هدفمندی برنامه ها را مشخص تر سازد. بر این مبنا در این طرح سعی شده که توزیع جامعهٔ هدف (یعنی 2.5 میلیون خانوار) بر اساس سازمان هایی تحت پوشش مورد شناسایی قرار گیرند و سپس همین سازمان ها به عنوان متولی اجرای برنامه ها مطرح گردند.

ب: طرح تامین مسکن از طریق نوسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده شهری و سکونتگاه های غیررسمی

بخش مهمی از برنامه های مسکن اجتماعی مربوط به محدوده های بافت های فرسوده و سکونت گاه های غیر رسمی است. در این ارتباط محور اصلی این سیاست ها استفاده از ابزارهای نظیر اعطای تراکم های تشویقی برای ساخت و ساز، اعطای یارانهٔ کمک بهره در پرداخت وا مهای کم بهره، سرمایه گذاری مستقیم نهادهای بخش عمومی در زمینهٔ بهبود زیر ساخت های شهری به خصوص شبکهٔ معابر و فراهم آوری امکانات مالی و غیر مالی برای اسکان موقت بوده است. در این راستا دو برنامهٔ عملیاتی برای تأمین مسکن کم درآمدها در سکونت گاه های غیر رسمی تدوین شده است: احداث و عرضه مسکن استیجاری کارگری و راه اندازی نهادهای محلی بهسازی مسکن.

ج: طرح مسکن اجاره ای

شاخص توان پذیری خانوارهای شهری یا نسبت قیمت متوسط یک واحد مسکونی نوساز به درآمد سالانهٔ خانوار در حال حاضر به 12 سال رسیده است، درحالی که اندازهٔ مناسب این شاخص حدود 5 سال است. در صورتی که نرخ رشد درآمد سالانهٔ خانوارهای شهری یکسان فرض شود و رشد الگویی عدالت گونه داشته باشد و درآمد خانوارها نیز به طور متوسط 5.2 درصد در سال رشد یابد. آنگاه در گزینهٔ پایهٔ رشد اقتصادی هرسال 56 هزار خانوار برحجم خانوارهای کم درآمد اضافه خواهد شد. در چنین شرایطی و در صورت ثبات قیمت مسکن متوسط شاخص توان پذیری در دورهٔ 1393 تا 1405 به طور متوسط به 8 سال و در سال 1405 به 5.5 سال خواهد رسید که هنوز با اندازهٔ مناسب این شاخص به میزان 5 سال دارای فاصله است. به این ترتیب توان تأمین مسکن ملکی برای بخش قابل ملاحظه ای از خانوارهای کم درآمد، حداقل تا پایان دوره طرح جامع مسکن مقدور نیست و تأمین مسکن اجاره ایی کاملا لازم به نظر می رسد.

د: طرح تامین مسکن گروه های تحت پوشش نهادهای حمایتی

بخش مهمی از افراد تحت پوشش نهادهایی مانند بهزیستی و کمیتهٔ امداد امام فاقد توان حداقل برای ورود به بازار هستند. این خانوارها توان تملک مسکن را نداشته و از طرف دیگر به تنهایی قادر نیستند که هزینهٔ سکونت خود را تأمین کنند. به این لحاظ در طرح جامع مسکن دو برنامهٔ عملیاتی برای تأمین مسکن خانوارهای تحت پوشش این نهادها تدوین شده است: اعطای وام ودیعه مسکن اجاره ای و احداث و عرضه مسکن اجاره ای (با زیربنای کم تر از ۷۵ مترمربع)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۱ مساکن اجتماعی شاخص در ایران قبل از انقلاب اسلامی

بعد از تاسیس بانک رهنی ایران در ۲۵ دی ۱۳۱۷ به عنوان بانک تخصصی در امر مسکن که در زمان انقلاب به بانک مسکن تغییر نام داد، در زمان پهلوی دوم سه طرح بزرگ و شاخص به عنوان مسکن اجتماعی در ایران ساخته شد که عبارتند از [76]:

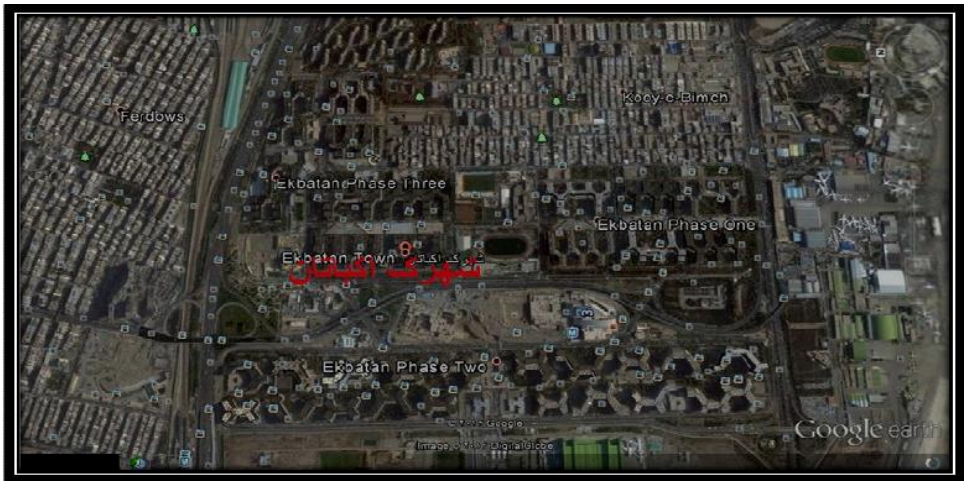
- ✓ ساخت مسکن های اجتماعی برای پزشکان و مهندسان و توریست های ساکن در ایران در سال ۱۳۴۰ توسط یک شرکت طراح آمریکایی با الگوبرداری از برج های مسکونی آمریکا که به همین علت این شهرک نوساز منسوب به شهرک غرب (شکل (۱- ۳۱)) گردید که در عرصه های بزرگ و مشتمل بر ۷ فاز مسکونی ساخته شد.



شکل (۱- ۳۱) عکس هوایی شهرک غرب- برگرفته از گوگل ارث [76]

- ✓ ساخت مسکن های جمعی برای کارگران در شهر ری در سال ۱۳۴۲ با عنوان پروژه ۱۳ آبان در نازی آباد تهران
- ✓ ساخت مسکن اجتماعی به نام اکباتان (شکل (۱- ۳۲)) که این مساکن در ابتدا محل اسکان نظامیان بود که در سال ۱۳۴۵ توسط معمار آمریکایی جردن گروزن با الگوی بلند مرتبه سازی طراحی گردید و توسط شرکت مهندسی استاریت ساخته شد و بعد تبدیل به جمعیت کارمند نشین گردید. این مجتمع مشتمل بر ۳۳ بلوک ۱۵۶۷۵ واحدی بود که حتی مصالح آن هم وارداتی بود. مراحل تکمیل آن نیز در بعد از انقلاب به شرکت عمران و نوسازی محیط اکباتان واگذار شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۳۲) عکس هوایی شهرک اکباتان- برگرفته از گوگل ارث [76]

۳-۴-۱ مسکن مهر (رویکرد جدید مسکن اجتماعی)

مسکن مهر مجتمع های مسکونی هستند که ساخت آن ها در دولت نهم آغاز شده و هدف از آن ها خانه دار کردن قشرهای کم درآمد بود. دولت با واگذاری قطعه زمین رایگان سعی داشت خانه سازی را تشویق کند و برای تامین مالی این طرح از بانک مرکزی قرض کرد که منجر به رشد نقدینگی و افزایش تورم شد. خانه های این طرح عموماً در حاشیه شهرها بودند و فکری برای امکانات گوناگون نظیر آب، برق، گاز و تلفن آن ها نشده بود (شکل (۱- ۳۳) [77].



شکل (۱- ۳۳) نمونه مسکن مهر در کشور ایران

مسکن های مهر از نظر ساخت به سه گروه زیر تقسیم بندی می شوند [77]:

أ. مسکن مهر دولت ساخت: در فاز اولیه ساخت مسکن مهر دولت بصورت مشخص خود سازنده مسکن مهر بوده و با انتخاب پیمانکاران و نظارت‌های رایج ساخت و ساز در نحوه اجرای کار نظارت می‌کرد.

ب. مسکن مهر تعاونی ساز: پس از مدتی دولت سیستم یکپارچه اجرا و نظارت خود را به بخش خصوصی منتقل ساخت و با قراردادن زمین‌های محدوده مسکن مهر به تعاونی‌ها صرفاً خدمات خود را به ارایه نقشه و نظارت تقلیل داد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ت. مسکن مهر شخصی ساز: در این طرح مسکن مهر به افراد متقاضی ساخت واگذار شده تا با سرمایه بخش خصوصی نسبت به ساخت مسکن مهر اقدام نمایند. در این طرح نیز ارائه نقشه و نظارت از کارهای دولت محسوب می‌شد. در این نوع طرح زمین به عنوان آورده دولت در این مشارکت با قیمت متناسب منطقه محاسبه و در ارزیابی‌ها منظور می‌شود.

۱-۳-۴-۱ مبنای شکل گیری طرح مسکن مهر

مبنای اصلی مسکن مهر بر این امر مبتنی است که ارزش زمین، بخش قابل توجهی از هزینه تمام شده مسکن را به خود اختصاص می‌دهد. این سهم در کل کشور در دوره ۳۵ ساله برابر ۴۰ درصد و در دهه اخیر برابر ۴۵ درصد بوده است. همچنین در استان تهران این سهم به حدود ۶۰ درصد بالغ می‌شود. بنابراین با حذف یا کاهش ارزش زمین از هزینه تمام شده مسکن، می‌توان تا حدود زیادی هزینه مسکن را کاهش داد. بنابراین طرح مسکن مهر بر اجاره بلند مدت زمین جهت احداث مسکن مبتنی است. در واقع دولت در راستای پاسخگویی به نیاز مردم به تامین مسکن، طرح مسکن مهر را مطرح کرد و متعهد شد با اجرای این طرح سالانه یک و نیم میلیون واحد مسکونی در سطح کشور بسازد، کارشناسان معتقدند رسیدن به اهداف تعیین شده در این طرح با ساخت سنتی محقق نمی شود و به همین منظور باید اقدامات موثری در امر صنعتی سازی مسکن مهر صورت گیرد. طبق آمار در کشور همسایه ما ترکیه در حدود ۴۰ درصد از ساخت و سازها با روش صنعتی و در ایران کمتر از ۳ درصد انجام می شود. این در حالی است که روش ساخت صنعتی حدود ۵۰ سال پیش وارد ایران شد و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن کشور نیز در سال ۱۳۵۳ با هدف توسعه صنعتی ساختمان بنا نهاده شد که با اجرای برنامه پنجم توسعه ساخت و ساز صنعتی از ۳ درصد به ۲۰ درصد افزایش می یابد.

۲-۳-۴-۱ بررسی ایمنی و کیفیت ساخت سازه مسکن مهر

۱-۲-۳-۴-۱ زمین لرزه کرمانشاه ۷/۳ ریشتر (آبان ۱۳۹۶)

زمین لرزه کرمانشاه به بزرگی ۷/۳ در مقیاس بزرگای گشتاوری در شامگاه یکشنبه ۲۱ آبان سال ۱۳۹۶ در نزدیکی ازگله استان کرمانشاه رخ داد. کانون زمین لرزه ۵ کیلومتری شهر کرمانشاه بوده است. تعداد کشته ها در ایران به ۶۲۰ تن رسید و ۹۳۸۸ نفر نیز زخمی شده اند و حدود ۷۰۰۰۰ تن بی خانمان شدند [78]. پس از وقوع این زمین لرزه مسکن های مهر سرپل ذهاب با وجود تازه ساز بودن، به دلیل خساراتی که به آن ها وارد شده است حواشی زیادی داشته اند. برخی بر این عقیده اند که خسارات عمده برروی مسکن های مهری وارد شده است که خودمالکی بوده و دولت نظارتی برروی آن ها نداشته است در حالیکه گروهی دیگر اظهار می کنند که اصل نظارت نداشتن دولت برروی مسکن های مهر کاری اشتباه بوده و علاوه براین بیشترین خسارات برروی مسکن های مهر ساخت دولت وارد شده است. در این گزارش سعی بر آن شده که اظهار نظراتی که پایه علمی داشته و به دور از هرگونه تمایلات سیاسی است، ارائه شود.

علی بیت‌اللهی دبیر کارگروه ملی زلزله مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در سخنانی گفت: علت تخریب جدی واحدهای مسکن مهر کرمانشاه، پایین بودن مقاومت این ساختمان ها است. زلزله کرمانشاه نشان داد که مسکن مهر این منطقه هم در برابر زلزله مقاوم نیست. در مناطق زلزله زده شاهد این هستیم که در کنار بناهای خشت و گلی با تخریب کم، واحدهای مسکن مهر که دو سال هم از ساخت آن‌ها نمی‌گذرد به صورت جدی تخریب شده‌اند. علت تخریب جدی ساختمان‌های مسکن مهر استفاده از مصالح ساختمانی غیر استاندارد، شتاب زدگی در ساخت، جانمایی و طراحی نادرست است .[77]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

همچنین گزارش‌های تصویری خبرگزاری‌های مختلف حاکی از آن است که ساخت ساختمان‌های مسکن مهر غیراصولی بوده و در سرپل ذهاب آسیب‌های زیادی همچون فروریختن بسیاری از دیوارها و سقف‌ها دیده است. در شکل (۱- ۳۴) نمونه ای از تخریب دیوارهای میانی بدلیل عدم مهار به اجزای اصلی سازه، مشاهده می شود [77].



شکل (۱- ۳۴) تخریب دیوارهای میان قاب براثر عدم مهار به اجزای سازه ای [77]

مجید نیک نژاد، نایب رئیس انجمن انبوه‌سازان کرمانشاه نیز در این خصوص نظر زیر را داشته اند: واگذاری اراضی نامناسب برای احداث مسکن مهر، ضعف خدمات زیربنایی و روبنایی لازم از جمله آب، فاضلاب، بیمارستان، مدرسه و فضای سبز، ضعف فنی و اجرایی در عملکرد پیمانکاران و مجریان طرح مسکن مهر و گاهی پایین بودن کیفیت ساخت و سازها، نداشتن متقاضی برای تعداد ۶۶ هزار و ۸۵۲ واحد از پروژه‌های مسکن مهر، عدم نصب انشعابات آب برق، گاز و فاضلاب از جمله ایرادات در اجرای این طرح بوده‌است .[77]

در ادامه ساختمان های مسکن های مهر کرمانشاه که براثر زلزله آسیب دیده اند مطابق با گزارش پژوهشگاه زلزله شناسی، ازنظر سازه ای و مصالح موردبررسی قرار می گیرند [79]:

الف- سرپل ذهاب (شهرک شیرودی)

این شهرک دارای ۲۴ بلوک ۷ طبقه (شش طبقه مسکونی و یک طبقه همکف) بوده است که هرطبقه ۴ واحد مسکونی و مجموعاً هر بلوک ۲۴ واحد مسکونی داشت. اسکلت این ساختمان ها بتنی و سیستم باربر لرزه ای آن ها درراستای شمالی-جنوبی خمشی و درراستای شرقی-غربی قاب خمشی به همراه دیوار برشی بودند. ستون ها در تمام طبقات مربعی با آرماتور طولی یکسان در هردو جهت بودند.

بطور متوسط حدود ٪۵۰ آسیب ها درزده آسیب متوسط و حدود ٪۴۰ درزده آسیب زیاد و نزدیک به ٪۱۰ آن ها آسیب خیلی زیاد داشتند که قابل مقاوم سازی نبوده و باید تخریب می شدند. درخصوص عملکرد اجزای غیرسازه ای شامل میان قاب ها، نماها، تیغه های جداکننده و سقف های کاذب متاسفانه عملکرد بسیار ضعیفی مشاهده شده است که آسیب آن ها پرخطر و فروریزش بوده است. از دلایل اصلی آسیب به این میان قاب ها عدم اجرای وال پست در این شهرک بوده است. وال پست ها المان های فلزی هستند که بین اجزای سازه ای اصلی اجرا شده و دیوارهای میان قاب از طریق آن ها به سازه اصلی مهار می شوند. شکل (۱- ۳۵) نمونه ای از آسیب های سازه ای وارد بر ساختمان های این شهرک مسکونی را نشان می دهد:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۳۵) نمونه ای از شکست اجزای غیر سازه ای در شهرک شیرودی [79]

ب- سرپل ذهاب (شهرک الوند مسکن مهر کارگران)

این شهرک دارای ۴۸ بلوک ۴ طبقه (سه طبقه مسکونی و یک طبقه همکف) بود که هرطبقه ۱ واحد و مجموعاً هر بلوک ۳ واحد مسکونی داشت. اسکلت این ساختمان ها فولادی و سیستم باربر لرزه ای آن ها درراستای شمالی-جنوبی مهاربندی و درراستای شرقی-غربی قاب خمشی بودند. برای این ساختمان ها از ستون های دوبل به هم چسبیده و برای مهاربند ها از دوبل ناودانی استفاده شده بود که در اکثر آن ها توسط لقمه به هم متصل نشده بودند و باعث شده بود که هر مهاربند حول محور ضعیفش کمانش کرده و ظرفیت باربری کاهش یابد. بطور متوسط حدود ٪۵۰ آسیب ها درزده آسیب متوسط و حدود ٪۵۰ درزده آسیب زیاد بودند. احتمالاً همه بلوک ها قابل مقاوم سازی بودند که نظر قطعی با ارزیابی دقیق تر امکان پذیر بوده است. در اجزای غیرسازه ای شامل میانقاب ها، نماها، تیغه های جداکننده و سقف های کاذب آسیب‌ها در حد زیاد تا خیلی زیاد بودند. شکل (۱- ۳۶) و شکل (۱- ۳۷) دو نمونه از آسیب های عمده وارد به ساختمان های این مجتمع مسکونی را نشان می‌دهند.



شکل (۱- ۳۶) کمانش مهاربند دوبل به دلیل عدم استفاده از لقمه [79]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۳۷) نمونه ای از آسیب به اجزای غیرسازه ای (ایجاد ترک و خوردشدگی میانقاب ها) [79]

ج- سرپل ذهاب (شهرک فرهنگیان)

این شهرک دارای ۲۵ بلوک ۵ طبقه (چهار طبقه مسکونی و یک طبقه همکف) بود که هرطبقه ۲ واحد و مجموعاً هر بلوک ۸ واحد مسکونی داشت. اسکلت این ساختمان ها فولادی و سیستم باربر لرزه ای آن ها بدلیل نریختن بخش نازک کاری از روی اسکلت به سختی قابل تشخیص بود.

در اجزای غیرسازه ای شامل میانقاب ها، نماها، تیغه های جداکننده و سقف های کاذب آسیب ها در حد کم بودند. به نظر می رسد نیاز به مقاوم سازی نباشد. شکل (۱- ۳۸) نمونه ای از آسیب جزئی وارد به نمای ساختمان های این شهر را نشان می دهد.



شکل (۱- ۳۸) آسیب جزئی در نمای ساختمان های مسکن مهر شهرک فرهنگیان سرپل ذهاب [79]

د- اسلام آباد غرب

در این منطقه ۹۰ بلوک ۵ طبقه بتنی که هرطبقه ۴ واحد و مجموعاً هر بلوک ۲۰ واحد مسکونی داشت، ساخته شدند. سیستم سازه ای این ساختمان ها با یکدیگر متفاوت بود. برخی دارای سیستم دیوار برشی در دوجهت و برخی دارای سیستم قاب خمشی دوطرفه بودند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

دو بلوک که دارای سیستم دیواربرشی دوطرفه بودند آسیب جدی دیدند. یکی از آن ها کاملاً فروریخته و دیگری نیز نیمی از طبقه اول دچار تخریب شد. آسیب سازه ای ساختمان ها از کم تا فروریزش دسته بندی می شود. آسیب اجزای غیرسازه ای غیر از دو ساختمان مذکور در رده خسارت متوسط تا زیاد بودند. کلیه بلوک ها غیر از دو ساختمان تخریب شده نیاز به ارزیابی و درصورت لزوم مقاوم سازی داشتند. شکل (۱- ۳۹) و شکل (۱- ۴۰) آسیب های جدی وارد به دو بلوک مذکور را نشان می دهند.



شکل (۱- ۳۹) آسیب جدی ناشی از پانچ طبقه اول در اسلام آباد غرب [79]



شکل (۱- ۴۰) آسیب جدی ناشی از پانچ دیوار برشی (راست) و ضعیف بودن ستون ها (چپ) در اسلام آباد غرب [79]

ه- کرند غرب

در این منطقه ۸ بلوک ۵ طبقه (چهار طبقه مسکونی و یک طبقه همکف) که هرطبقه ۴ واحد و مجموعاً هر بلوک ۱۶ واحد مسکونی داشت، ساخته شد. اسکلت این ساختمان ها فولادی و سیستم باربر لرزه ای آن ها درراستای شمالی-جنوبی مهاربندی با اتصال فلنجی و درراستای شرقی-غربی اتصالات فلنجی بودند. خسارت در اعضای سازه ای ناچیز یا کم و دراجزای غیرسازه ای درره کم تا متوسط بود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۴-۳-۲-۲ زمین لرزه بجنورد ۵/۷ ریشتر(اردیبهشت ۱۳۹۶)

زمین لرزه ۵/۷ ریشتری که در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۶در بجنورد رخ داد خسارات جدی از جمله شکاف خوردن دیوارها در سراسر مجتمع ساختمان‌های مسکن مهر وارد کرد و به دلیل خطر ریزش آوار منجر به تخلیه گلستان‌شهر و نگرانی از دوباره مستقر شدن شد .[77]

مطابق با گزارش روزنامه دنیای اقتصاد گفتنی است، تعداد بسیاری از واحدهای مسکونی گلستان شهر بجنورد در پی زلزله ۵/۷ ریشتری اردیبهشت ماه خسارت زیادی را دید که به علت سردی هوا مردم در منازل آسیب دیده زندگی می‌کنند [77]. در نشست شورای مدیریت بحران استان خراسان شمالی که در اسفراین انجام شده است مطرح شده است که مسکن مهر به علت اینکه ساخت آن ها دستوری بوده و دقت نظر در ساخت و نظارت آن ها انجام نشده بود موجب خسارت شد [80].

۱-۴-۳-۳ بررسی معماری مسکن مهر

۱-۴-۳-۳-۱ مقدمه

یکی از نیازهای اساسی انسان مسکن است. مسکن یک مکان فیزیکی است که بعنوان سرپناه و نیاز اولیه و اساسی خانوار به حساب می آید. در دومین اجلاس اسکان بشر (۱۹۹۶) که در استانبول برگزار شد، مسکن مناسب چنین تعریف شده است: سرپناه مناسب تنها به معنای وجود یک سقف بالای سر هر شخصی نیست. سرپناه مناسب، دسترسی فیزیکی و امنیت مناسب، امنیت مالکیت، پایداری و دوام سازه ها، روشنایی، تهویه و سیستم گرمایشی مناسب، زیرساخت های اولیه مناسب از جمله آبرسانی، بهداشت و آموزش، دفع زباله ، کیفیت مناسب زیست محیطی، عوامل بهداشتی مناسب، مکان مناسب و قابل دسترسی از نظر کار و تسهیلات اولیه است که همه این موارد باید باتوجه به استطاعت مردم تامین شود [81].

اصول معماری سنتی و ایرانی در کشور ما بر مبنای پنج اصل استوار بوده است که عبارتند از [81]:

- مردم واری: توجه به نیازهای انسانی در کار ساختمانی
- پرهیز از بیهودگی: تلاش می شد کار بیهوده در ساختمان سازی نکنند و از اسراف پرهیز کنند.
- نیارش: دانش استایی، فن ساختمان و ساختمایه (مصالح) شناسی
- خودبسندگی: ساختمان مصالح موردنیاز خود را از نزدیک ترین مکان ها بدست آورد و نیاز به مصالح جاهای دیگر نباشد. بدین صورت کار ساختمان سازی با سرعت بیشتری انجام شده و ساختمان با طبیعت پیرامون خود سازگاری خواهد داشت.
- درونگرایی: ارزش نهادن به زندگی شخصی و حرمت آن که معماری ایرانی را درونگرا ساخته است.

متاسفانه الگوی معماری امروزه ایران از الگوی سنتی خود که موارد فوق در آن ها رعایت می شد فاصله گرفته است و بخصوص درباره مسکن مهر بحث تامین مسکن با هر شرایطی را مطرح ساخته است. در ادامه با بررسی یک مطالعه موردی از مسکن مهر تهرانسر تطابق یا عدم تطابق پروژه های مسکن مهر با مفهوم صحیح مسکن ارائه می شود.

۱-۴-۳-۳-۲ مطالعه موردی ۱: پروژه مسکن مهر ویژه تهرانسر

مطابق با مطالعه سینا ناصری [82] با عنوان آموزه های معماری منظر برای مسکن مهر عمده ترین آسیب ها و ایراداتی که به پروژه های مسکن مهر وارد است را می توان در چهار دسته کلی کالبدی-معماری، اجتماعی، زیست محیطی-اقلیمی و منظر شهری دسته بندی کرد:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

الف- آسیب های کالبدی-معماری

یکی از دلایل ایجاد این نوع از آسیب ها مکانیابی نادرست مسکن های مهر است. جانمایی عمده پروژه های مسکن مهر بدلیل وجود زمین های بدون کاربری و ارزان قیمت در حاشیه مادرشهرها و به دور از امکانات و تسهیلات رفاهی و خدمات شهری بوده است. این امر خود موجب می شود که ساکنین مسکن مهر برای رفع نیازهای رفاهی و خدمات شهری درطول روز به شهرهای بزرگ مراجعه کرده و تمایلی به گذران اوقات فراقت در محیط مسکن مهر نخواهند داشت.

از دیگر آسیب های کالبدی و معماری می توان به عدم نشانه پذیری و سهولت دسترسی نام برد. مجتمع های مسکن مهر در سرتاسر کشور بصورت ساختمان های یکسان به مثابه سلول های تکرارشونده بی شکل و بدون ایجاد هیچ وجه تمایزی ساخته شده اند. بنابراین حس یکنواختی برای ساکنین این مجتمع ها بوجود آورده و مانع سهولت دسترسی در محدوده این واحدها می شوند (شکل (۱- ۴۱)).



شکل (۱- ۴۱) بلوک های ساختمانی یک شکل در مسکن مهر تهران سر [82]

عدم تنوع کاربری ها به دلیل تک عملکردی بودن محوطه این مجموعه ها که فارغ از سایر نیازهای انسانی تنها به دنبال تامین مسکن حداقلی بوده اند باعث شده است صرفاً پاسخگوی نیاز به سرپناه در انسان باشند.

از دیگر آسیب های کالبدی می توان به عدم تناسب توده و فضا و عدم سازماندهی مناسب فضایی دانست. همانطور که در شکل (۱- ۴۲) می توان دید تراکم ساختمان ها در محدوده مسکن مهر یکسان نبوده که باعث عدم وجود امنیت در بخش مسکونی مجتمع های مسکن مهر می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۴۲) تراکم نامناسب ساختمان ها که باعث کاهش امنیت منطقه می شود [82]

ب- آسیب های اجتماعی

از آسیب های اجتماعی در مجتمع های مسکن مهر می توان به عدم وجود بستر مناسب و امکان تعامل اجتماعی نام برد. علاوه براین در شهرسازی سنتی ایرانی-اسلامی به محلات مشخصی براساس پیشه ساکنان و یا اشتراکات میان ساکنین تفکیک شده اند، در شهرهای مدرن این اشتراکات جای خود را به طبقه بندی اقتصادی داده اند که خود باعث عدم وجود تجانس اجتماعی شده است.

هویت شهر به واسطه تداعی خاطرات جمعی در شهروندان در آن ها تعلق خاطر و وابستگی ایجاد کرده و مفهومی چون شهروند شدن را که فراتر از ساکن بودن است پدید می آورد که ماهیت وجودی آن با زندگی درازمدت حاصل شده و برخاطرات جمعی و فردی تکیه دارد. در مسکن های مهر بدلیل عدم امکان ایجاد خاطرات جمعی این موضوع محقق نشده و باعث بحران هویت و عدم وجود امکان خاطره جمعی در ساکنین این پروژه ها می شود.

ج- آسیب های منظر شهری

از آسیب های وارد بر منظر شهری می توان به فقدان مفهوم منظر شهری و نادیده گرفتن سطوح برنامه ای و مداخله ای منظر شهر بیان کرد.

د- آسیب های زیست محیطی

آنچه بعنوان فضای سبز در مسکن های مهر وجود دارد عملاً محدود به ایجاد نوار سبز حاشیه ای، با کاشت حداقلی درختان یکسان و بدون توجه به تنوع گونه ها و ویژگی های ذاتی هریک از آن ها در کنار گذرهاست. همچنین در مسیرهای ارتباطی اولویت با سواره بوده است و فضاهای انسان محور که شرط لازم ارتقاء سطح کیفی فضا هستند در برنامه طراحی جایی نداشته است.

همچنین با توجه به اینکه عمده کاربری های صنعتی در حاشیه شهرها جانمایی شده اند، این همنشینی نامتجانس مسکن مهر و کاربری های صنعتی مشکلات زیست محیطی فراوانی را به همراه داشته و و تبعات آن بر

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ساکنان و محیط زندگی آنان موثر خواهد بود. بنابراین می توان گفت در پروژه های مسکن مهر به شرایط ایمنی و زیست محیطی توجهی نشده است (شکل (۱- ۴۳)).



شکل (۱- ۴۳) قرارگیری مسکن مهر تهرانسر در محل شهرک های صنعتی [82]

۱-۴-۳-۳-۳ مطالعه موردی ۲: طراحی معماری مسکن برای اقشار کم در آمد در شهر جدید بهارستان

در پژوهشی که در سال ۱۳۹۲ توسط سعید دادخواهی انجام شده است، اقشار کم درآمد جامعه به عنوان گروه هدف از سایر گروه ها جدا گردیده است و معماری مناسبی با مساحت مورد نیاز آن افراد، با احتساب نیازهای اولیه سکونتی و شرایط رفاه نسبی و با توجه به تعداد نفرات متفاوت موجود در یک خانواده ، از یک زوج گرفته تا یک خانواده با تعدد فرزندان دختر و پسر، بررسی و طراحی کرده اند [83]. این پژوهش برای شهر جدید بهارستان انجام گرفت. شهر جدید بهارستان در ۱۵ کیلومتری جنوب شهر اصفهان در مسیر جاده اصفهان-شیراز قرار گرفته است و با ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی می‌باشد. آب و هوای بهارستان گرم و خشک است که حداقل دمای آن در سردترین روزهای زمستان منفی ۱۳ درجه سانتیگراد و گرم‌ترین حد آن تا ۴۰ درجه سانتیگراد در روزهای تابستان است. سمت و جهت باد ها در زمستان پاییز و بهار، از غرب به شرق با سرعت۹/۶ کیلومتر در ساعت است که گاهی به ۱۲/۴ کیلومتر در ساعت نیز می رسد. مکانیک خاک و ترکیب شیمیایی خاک در این شهر از لحاظ فنی مطلوب و مناسب جهت شهرسازی است.



شکل (۱- ۴۴) عکس هوایی و سایت پروژه شهر جدید بهارستان [83]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

با توجه به هدف استفاده از انرژی خورشیدی در فصل سرد و جلوگیری از ورود آن در فصل گرم واضح است که جبهه جنوبی مناسب ترین جبهه برای دریافت انرژی خورشید است. مناسب ترین جهت گیری برای شهر اصفهان ۱۷۷ و نیم درجه است.

فاصله بلوک ها از یکدیگر با توجه به موضوع بهره مندی از نور خورشید و میزان سایه اندازی در نظر گرفته شده است. فضای داخلی خانه ها یکپارچه طراحی شده و تمامی فضاها دارای قابلیت بهره‌برداری چند منظوره می‌باشد. استفاده از حیاط در طراحی مجموعه به عنوان الگوی برگرفته از معماری گذشته در طراحی لحاظ شده است. در این پژوهش به طراحی چند بلوک مسکونی با تعداد اتاق خواب متفاوت (از یک اتاق خواب تا سه اتاق خواب) با مساحت های مختلف پرداخته شده است که در آنها سعی شده که زندگی یک خانواده را با توجه به تعداد نفرات و جنسیت متفاوت فرزندان و الگوهای رفتاری متفاوت افراد ساکن در آن جوابگو باشد. در طراحی های انجام شده سعی بر آن بوده که کلیه فضاهای خانه از نور طبیعی برخوردار شوند و دسترسی مستقیم به هوای آزاد داشته باشند این موضوع می‌تواند در سلامت فیزیکی و روحیه ساکنین خانه تاثیر مستقیم گذارد.



شکل (۱- ۴۵) نحوه چیدمان بلوک ها در سایت مورد نظر [83]

این طرح شامل ۶ بلوک مسکونی است. این شش بلوک به چهار تیپ پلان تقسیم شده و در طراحی پلان ها سعی بر آن شده که اکثر واحدها از نور جنوب بهره ببرند و همه واحدها نیز به فضای حیاط مرکزی مجموعه دید داشته باشند که این امر کیفیت سکونت در فضای واحدها کمک می کند. فضای سبز مرکزی بین بلوک ها فضای امن و بدون دسترسی سواره به آن می باشد که یک محیط آرام و ساکت برای فعالیت‌های اجتماعی ساکنین و بازی کودکان و یک بستر عمومی جهت انجام امور جمعی آنها می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۴۶) فضای باز در نظر گرفته شده بین بلوک ها [83]

طراحی انجام شده کلیه بلوک ها به نحوی است که همه آنها دارای پارکینگ و انباری و لابی در طبقه همکف می‌باشند که این موجب یک دست بودن فضا و ارتباط بیشتر با فضای باز مجموعه می‌شود. در همه پلان ها وجود تراس یا حیاط باعث ارتباط بیشتر ساکنین با فضای بیرون می شود که در همه واحدها لحاظ گردیده است.



شکل (۱- ۴۷) دسترسی به پیلوت، پارکینگ و فضای سبز [83]



شکل (۱- ۴۸) فضای داخلی یکی از واحد ها [83]

۱-۴-۳-۴ بررسی اقتصادی مسکن مهر

مبنای اصلی مسکن مهر بر این امر مبتنی است که ارزش زمین، بخش قابل توجهی از هزینه تمام شده مسکن را به خود اختصاص می‌دهد. این سهم در کل کشور در دوره ۳۵ ساله برابر ۴۰ درصد و در دهه اخیر برابر ۴۵ درصد بوده‌است. همچنین در استان تهران این سهم به حدود ۶۰ درصد بالغ می‌شود؛ بنابراین با حذف یا کاهش ارزش

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

زمین از هزینه تمام شده مسکن، می‌توان تا حدود زیادی هزینه مسکن را کاهش داد؛ بنابراین طرح مسکن مهر بر اجاره بلند مدت زمین جهت احداث مسکن مبتنی است [77].

اما نکاتی که در این میان در نظر گرفته نشده‌است آن است که ارزش زمین در شهرهای مختلف دارای اختلافاتی فاحش است. به عبارت دیگر ارزش زمین در کلان‌شهرها رقم بسیار بالایی است و به همین دلیل مسکن مهر در کلان‌شهرها (در حقیقت شهرهای جدید مجاور کلان‌شهرها) جوابگو خواهد بود و البته این امر خود موجب افزایش تمایل به مهاجرت به این شهرها خواهد شد.

طبق مطالعه پورمحمدی و اسدی [84] برای مسکن مهر شهر زنجان، باتوجه به میزان کم پس انداز خانوارها، مسکن مهر برای آنان یک فرصت محسوب می شود و این گروه ها با میزان پس انداز کم، توانایی لازم برای تامین و خرید مسکن را در بازار آزاد ندارند. ولی در عوض هم ممکن است که نتوانند تسهیلات دولتی را بازپرداخت نمایند که این امر می تواند باعث ایجاد مشکلات برای بانک ها و دولت شود. البته نکته ای که در اینجا بایستی مورداشاره قرار گیرد این است که تورم در سال های اخیر در کشور شدید بوده که باعث کاهش ارزش پول شده و مطمئناً آن هایی که چندسال پیش مسکن مهر با اعتبارات دولتی دریافت کرده اند بخاطر تورم سود چند برابری کرده اند.

۵-۳-۴-۱ مزایای مسکن مهر

از مزایای ساخت مسکن مهر برای قشر کم درآمد جامعه می توان موارد زیر را برشمرد [84]:

- اصلاح الگوی مصرف زمین شهری: با ساخت مسکن مهر در خارج از محدوده شهری و با کاهش استفاده از زمین شهری اسراف در سایر اقلام مصرفی نظیر آب، برق، گاز و سوخت وسایط نقلیه خواهد شد.
- افزایش تولید ملی و رشد اقتصادی
- افزایش سطح اشتغال: مسکن بخشی از صنعت است که با رشد آن به دلیل درگیر بودن با مشاغل بسیاری، افراد زیادی مشغول به کار شده و باعث افزایش سطح اشتغال می شود.
- کنترل سطح عمومی قیمت ها و قیمت مسکن: با ساخت بیشتر مسکن میزان عرضه افزایش یافته و با ثابت بودن تقاضا بازار مسکن کنترل شده و قیمت ها کنترل می شوند.
- افزایش شاخص دسترسی به مسکن
- بهبود تراکم خانوار در واحد مسکونی
- ارتقاء عدالت اجتماعی با خانه دار شدن خانوارهای کم درآمد
- ارتقاء کیفیت ساخت: الزام به رعایت مقررات ملی ساختمان. لازم به ذکر است این مزیت درصورت نبود کنترل کافی می تواند تحت تاثیر افراد و پیمانکاران سودجو قرار گرفته و رعایت نشود.
- گسترش انبوه سازی و صنعتی سازی
- سرمایه گذاری خارجی
- تشکیل نهادهای مدیریتی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۵ شناسایی دستورالعمل‌های موجود در زمینه الزامات مسکن اجتماعی

۱-۵-۱ الزامات و دستورالعمل های کلی برای توسعه مسکن های اجتماعی

در بسیاری از کشورها به دلیل کمبود یا پرهزینه بودن نیروی کار از تکنولوژی‌های پیشرفته در صنعت ساختمان استفاده می شود و طبیعتا استانداردها نقش اساسی ایفا کرده و قابل اعمال به طور دقیق هستند. در کشورهای در حال توسعه با تعمیم این نوع سیاست‌ها می‌توان به مزایای زیر دست یافت [85]:

۱- محاسن اقتصادی از قبیل کاهش قیمت تولید به جهت انبوه سازی- هزینه پایین نگهداری
۲- محاسن فنی، استقامت بیش‌تر و طراحی اصولی تر در مقابله با عوامل جوی
۳- برنامه ریزی و مدیریت استفاده بهتر از فضا و انعطاف پذیر بودن معماری
۴- سرعت بخشیدن به ساخت و ساز

برخی دولت ها به دلیل کمبود شدید مسکن، در ساخت مساکن اجتماعی استانداردهای لازم را رعایت نکرده اند: "اغلب دولت‌هایی که به تامین مسکن اجتماعی مبادرت کرده اند، طی دوره ای تولید کمی مسکن را برای رفع کمبود در نظر داشته اند و نیز به دلیل فقدان منابع مالی کافی قادر به رعایت ملاحظات کیفی در ساخت مسکن اجتماعی نبوده اند. اما با تخفیف نسبی کمبود مسکن، رعایت حدود معینی از استانداردهای مسکن را اجباری ساخته اند".

اتحادیه بین المللی سازمان‌های خانواده (UNIOF) در سال ۱۹۵۷ در کلن آلمان گرد آمده و چارچوب واحدی را به عنوان حداقل سطح قابل قبول برای سکونت در کشورهای صنعتی پیشرفته پیشنهاد کردند. استانداردهای گوناگونی در ساخت مسکن اجتماعی توسط بخش خصوصی و عمومی باید رعایت شوند که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- مناطقی که مسکن در آن ها ساخته می شوند
۲- سطوح و انواع درآمد خانواده ها
۳- انواع مسکن برحسب استانداردهای مربوط به تراکم و تسهیلاتی که باید فراهم شود

استانداردهایی که معیارهای مقبولیت مسکن و مشخص کننده وضعیت کمی و کیفی واحدهای مسکونی گروه های کم درآمد شهری دارای اهمیت فراوان بوده و تدوین آن ها به برنامه ریزی مسکن کمک خواهد نمود به شرح زیر می باشد [86]:

الف- استانداردهای مربوط به طراحی و تفکیک قطعات و نوع مسکن گروه های در آمدی
ب-استانداردهای محیطی و مکان یابی نظیر استانداردهای تراکم، فضای باز و تسهیلات زیربنایی
ج- استانداردهای مربوط به نوع مصالح ساختمانی و آیین نامه های مربوطه
ه- استانداردهای مربوط به روش اجرایی

البته استانداردهای مسکن اجتماعی متفاوت است و ممکن است از کشوری به کشور دیگر و حتی از یک دوره زمانی تا دوره زمانی دیگر متفاوت باشد. به عنوان نمونه در کشورهای اروپایی مسکن های اجتماعی از نظر معماری با مسکن های خصوصی تفاوت چندانی ندارند. این یگانگی و شباهت بین منازل دولتی و خصوصی با این واقعیت بیان می شود که کشورهای اروپایی بدون استثنا پدیده و ظاهر فقر را در پروژه هایشان منعکس نمی کنند. در نتیجه قشر وسیعی از مردم متقاضی پروژه های دولتی می شوند و لیست انتظار معمولا طولانی است. یکی از عناصر مهم مسکن اروپا تاکید آن ها بر برنامه ریزی و سرعتی است که برنامه ها و طرح ها به عمل و اجرا

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مبدل می شوند می باشد. استانداردهای مسکن اجتماعی نیز ممکن است در برخی مواقع یا موضوع های تغییر نماید. به عنوان نمونه در خصوص سطح زیر بنای واحدهای مسکن اجتماعی.

در خصوص استانداردهای مسکن اجتماعی در ایران تا کنون ضوابط خاصی تدوین نشده است و باید توجه داشت که با توجه به خصوصیت های خاص اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایران ضوابط دیگر کشورها برای ایران قابل استفاده نخواهد بود. وقتی که تشخیص داده شد که کیفیت مسکن های اجتماعی شهری بسیار پایین و غیربهداشتی است، راه حل آن ها برای برخورد با این مساله اعمال اجباری ضوابط دقیق تر برای بالا بردن استانداردهای مسکن سازی بوده است. اما همین بالاتر رفتن استانداردها خود سبب افزایش هزینه ساختمان سازی شده و ساختن خانه در حد ضوابط قانونی را برای شهروندان فقیر غیرممکن کرده و هرچه بیش تر آن ها را به زندگی در خرابه ها و زاغه ها مجبور کرده است. دولت به منظور افزایش تعداد واحد مسکونی و کاهش هزینه احداث واحد مسکونی، سیاست های تشویقی متعددی برای کاهش مساحت زیربنای واحد مسکونی اعمال کرده است. زیربنای این مساکن در شهرهای بزرگ و شهرستان ها به میزان ۷۵ متر مربع و در تهران به مقدار کم تر از آن حتی تا ۴۰ متر مربع منظور گردیده است که در آن هیچ گونه پیوندی مابین مکانی به نام مسکن و زندگی مردم مشاهده نمی گردد و با همه الگوهایی که تهیه شده، نتوانسته است اتاق استراحت، انباری و اتاق مهمانی و محل دستشویی را در این فضای کم مشخص نماید.

۲-۵-۱ الزامات بهره وری انرژی برای طراحی مسکن های اجتماعی

با توجه به اهمیت مساله بهره وری انرژی در بخش مسکن، و با توجه به این که حجم وسیعی از مسکن های اجتماعی موجود در ایران و جهان بدون توجه به این مساله طراحی شده اند، مطالعات نوینی برای طراحی مجدد این مسکن ها به گونه ای که در طول عمر باقی مانده خود که ممکن است ۵۰ سال یا بیش تر نیز باشد به منظور استخراج ضوابط کاربردی انجام شده است.

یکی از راه حل های موفق کاربردی برای مسکن های اجتماعی استفاده از مفهوم "معماری انعطاف پذیر" بوده است که امکان تنظیم نمودن فضای داخلی براساس تغییرات رفتارهای اجتماعی را ممکن ساخته است. معماری انعطاف پذیر را می توان به صورت زیر تعریف نمود [87]:

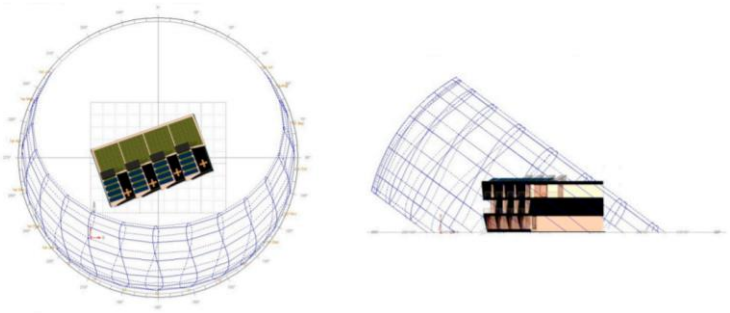
"معماری انطاف پذیرنوعی معماری است که در آن برخی از اجزا می توانند در پاسخ به نیازهای ساکنین یا تغییرات محیطی تغییر کنند. این تغییرات می تواند توسط تغییر خود سیستم سازه و یا با اضافه کردن برخی اجزای خارجی انجام گردد".

امکان ایجاد تغییر در فضای داخلی ساختمان یک نیاز جهانی بوده و موجب می شود که ساختمان نه تنها در زمان طراحی بلکه برای سالیان سال بعد از آن با توجه به تغییرات محیطی و اجتماعی قابل تغییر و استفاده باشد [88]. به علاوه استفاده از طراحی معماری انعطاف پذیر نه تنها موجب می شود که بتوان نیازهای مختلف را در یک فضای محدود برآورده ساخت (مزیت اقتصادی)، بلکه پتانسیل های اکولوژیک زیادی خصوصا در زمینه بهره وری انرژی ایجاد می سازد [89]. معماری انعطاف پذیر نیاز به مصالح، انرژی و نیروی کار کم تری داشته و بنابراین طراحی پایدار محسوب می گردد.

به عنوان نمونه می توان به یک پروژه مسکن اجتماعی در انگلستان اشاره کرد که با طراحی مجدد با استفاده از مفهوم معماری انعطاف پذیر و نیز مفهوم ساختمان غیرفعال، سبب بهره‌وری انرژی در مسکن های اجتماعی گردیده است [90]. در این پروژه، چهار واحد آپارتمان با ابعاد 12m × 6m در فضایی به وسعت ۲۹۰ متر مربع

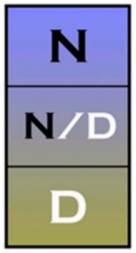
DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مطابق شکل (۱- ۴۹) احداث گردیده است. زاویه قرارگیری نسبت به راستای شرق حدود ۱۹ درجه می باشد تا سبب افزایش نورخورشید در صبح برخلاف عصر گردد.



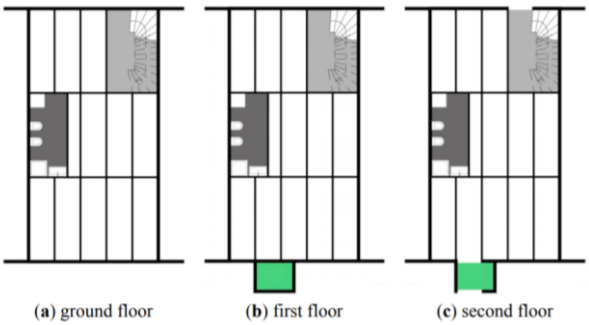
شکل (۱- ۴۹) نمایی از ساختمان های مورد مطالعه از منظر زاویه قرارگیری نسبت به خورشید [90]

پلان ساختمان به سه فضای شب، روز و روز/شب (N، D و D/N) تقسیم شده است (شکل (۱- ۵۰))؛ فضای روز مختص فعالیت های روزانه که در آن می توان از نور و حرارت طبیعی خورشید بهره برد می باشد و در قسمت جنوبی ساختمان در نظر گرفته شده است. در حالی فضای شب، در بخش شمالی ساختمان قرار گرفته و مختص فعالیت های شبانه که نیاز به نور زیادی ندارد می باشد. یک فضای روز/شب میانی نیز درنظر گرفته شده است که به عنوان "فضای انعطاف پذیر" یا "فضای مرزی" برای هردو فعالیت روز یا شب دارای کاربرد می باشد [91].



شکل (۱- ۵۰) پلان جانمایی (N: شب، D: روز) [90]

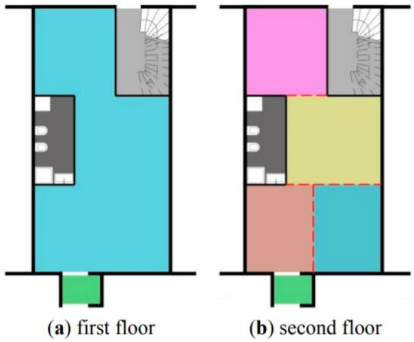
جانمایی راه پله و سرویس‌های بهداشتی انتخاب مهمی است؛ چراکه این دوفضا انعطاف پذیری نداشته و به راحتی نمی توانند جابجا شوند و بنابراین ثابت در نظر گرفته می شوند. قرار دادن سرویس بهداشتی در ضلع شمالی به دلیل وجود پنجره خارجی سبب تهویه طبیعی می گردد و از این نظر دارای مزیت است. گرچه قراردادن راه پله در ضلع شمالی سبب ایجاد یک هسته مستقل و یک ورودی جدید به ساختمان شده و انعطاف پذیری بیش‌تری را برای بقیه فضاها تامین خواهد نمود (شکل (۱- ۵۱)). به علاوه قرار دادن راه پله در ضلع شمالی می تواند سبب ورود تهویه طبیعی به داخل ساختمان شده و مانند یک دودکش خورشیدی نیز عمل نماید.



شکل (۱- ۵۱) جانمایی راه پله و سرویس های بهداشتی در سه طبقه [90]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پس از جانمایی المان‌های ثابت، بقیه فضا می‌تواند بر حسب نیاز ساکنین در طول سالیان مختلف به صورت انعطاف پذیر و با استفاده از دیوارهای متحرک تقسیم بندی گردد (شکل (۱- ۵۲)).



شکل (۱- ۵۲) فضاهای با قابلیت چیدمان معماری انعطاف پذیر [90]

بهره‌وری انرژی در باز طراحی این مسکن اجتماعی یکی از مهم ترین پارامترهایی بوده است که به آن پرداخته شده است. یکی از مزیت‌های طراحی های انعطاف پذیر، کاهش مصرف انرژی با استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی، جانمایی صحیح و مصالح مورد استفاده می باشد. این روش، یک روش غیرفعال برای بهره وری انرژی با کم ترین استفاده از سیستم های انرژی می باشد. دستیابی به ساختمان های پایدار بر اساس استاندارد ساختمان های پسیو [92] در هر نقطه ای از جهان عملی است. ساختمان های پسیو با بهره گیری از عایق کاری اصولی، سبب کاهش قابل ملاحظه هدر رفت انرژی می گردند. بر طبق تعریف اگر انرژی گرمایشی مورد نیاز ساختمان کم تر از $15\ kWh/m^2$ در سال باشد، آن ساختمان دارای استاندارد ساختمان پسیو می باشد.

عایق کاری اصولی، پل های حرارتی ایزوله شده و هوابندی صحیح سه اصل اساسی برای دستیابی به استاندارد ساختمان پسیو می باشد که در طراحی مسکن‌های اجتماعی دارای بهره وری انرژی باید در نظر گرفته شود. در ساختمان مورد مطالعه، ترکیبی از محاسبات ضخامت و جنس عایق برای هر حجمی از فضا به همراه ایزولاسیون چوبی در محیط اطراف ساختمان برای حذف پل حرارتی به کار گرفته شده است (شکل (۱- ۵۳)).



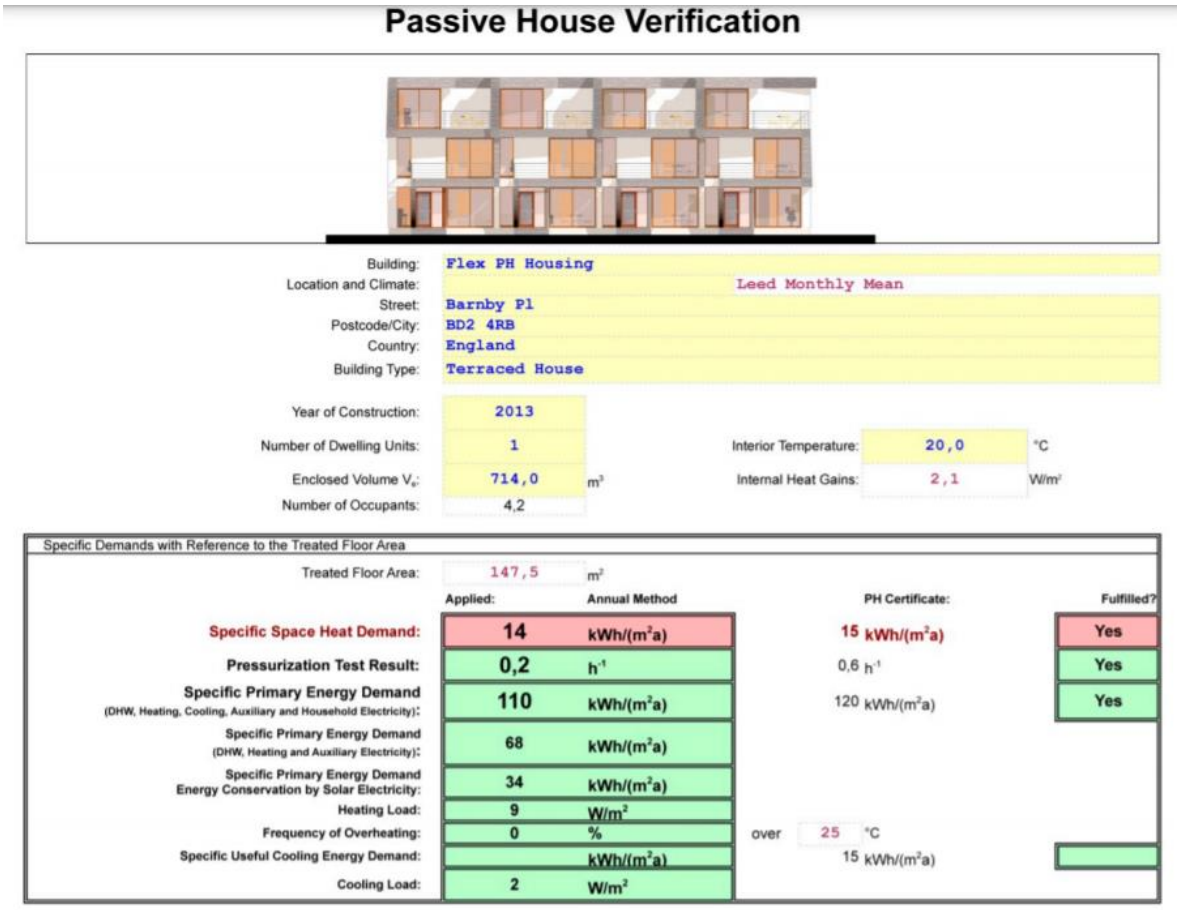
شکل (۱- ۵۳) نمایی از ایزولاسیون های مورد استفاده در مسکن اجتماعی مورد مطالعه [90]

برای طراحی ساختمان های پسیو از بسته برنامه‌ریزی ساختمان های پسیو (PHPP[۳۸]) استفاده می شود. این بسته مهندسین طراح را با اصول مورد نیاز برای دستیابی به یک ساختمان پسیو آشنا می کند [92]. در محاسبات PHPP نه تنها هدر رفت گرما، بلکه دریافت گرما و نیز اینرسی دمایی می تواند تعیین گردد. در این محاسبات

[۳۸] Passive House Planning Package

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

می‌توان تمام منابع تولید گرما از جمله خورشید، ساکنان خانه، چرخش آب گرم خانگی و لوازم خانگی را منظور نمود. باید توجه داشت که در معماری های انعطاف پذیر، انرژی تولید شده توسط ساکنین متغیر بوده و بر اساس کاربری‌های مختلف فضاها تعیین می‌گردد. محاسبات مربوط به میزان انرژی گرمایش مورد نیاز سازه مورد مطالعه براساس PHPP در شکل (۱- ۵۴) نشان داده شده است. با توجه به نتایج محاسبات مشاهده می گردد که با طراحی مجدد مسکن اجتماعی مورد بررسی، این سازه در دسته سازه های پسیو قرار گرفته است (Specific space heat demand<15 kWh/m^2).

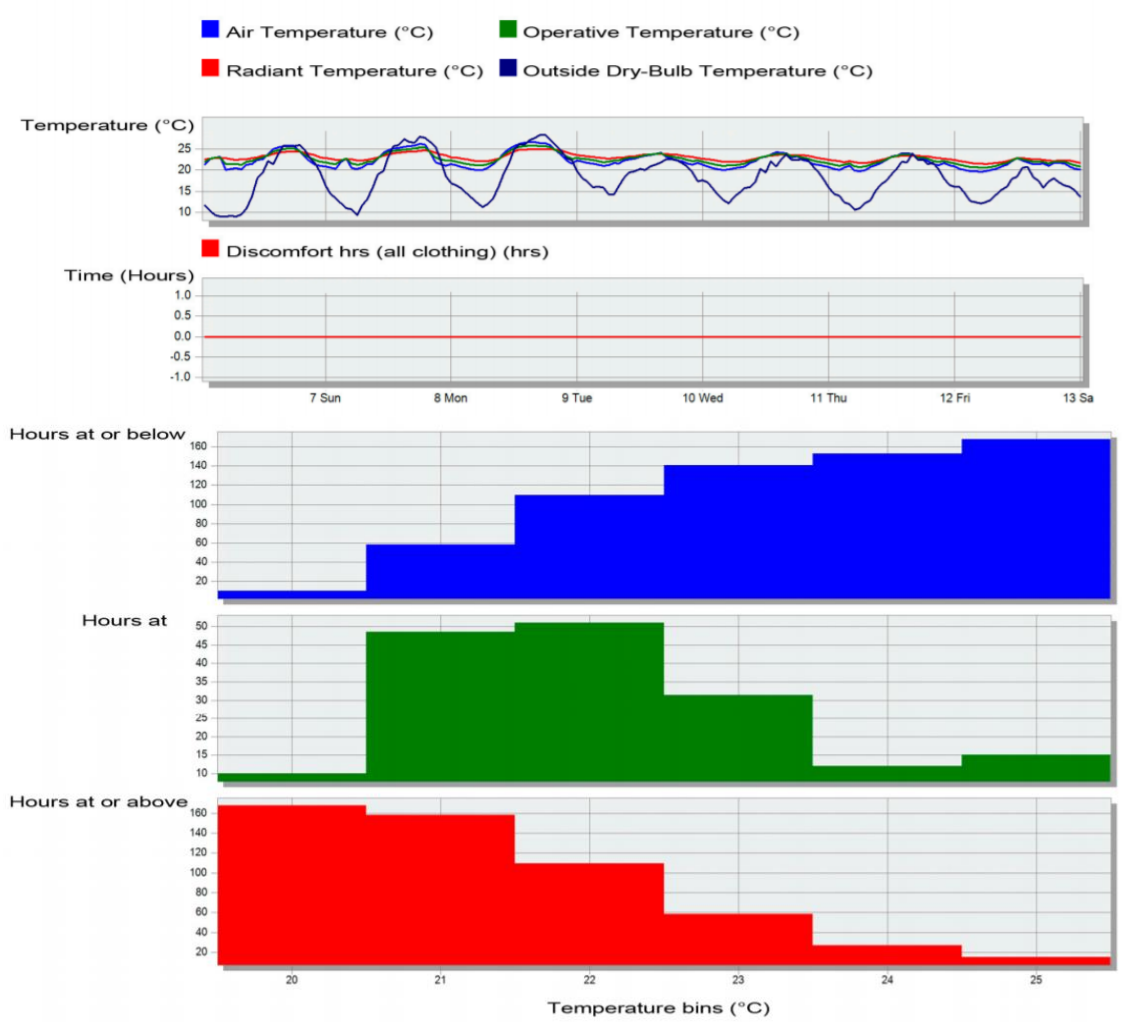


شکل (۱- ۵۴) محاسبات PHPP برای مسکن اجتماعی مورد مطالعه [90]

در ادامه این تحقیق، مسکن اجتماعی باز طراحی شده با مفاهیم معماری انعطاف پذیر و بهره وری انرژی، توسط نرم افزار DesisnBuilder شبیه سازی شده است. یکی از اهداف شبیه سازی های انجام شده، بررسی پتانسیل گرم شدگی بیش از حد آسایش ساکنین ساختمان بازطراحی شده بوده است که می تواند در اثر عواملی مانند عایق کاری بیش از حد، هوابندی بیش از حد و سطح بالای حرارت خورشیدی دریافتی در طراحی ساختمان باشد. بنابراین آسایش داخلی در یکی از گرم ترین هفته های سال برای بررسی امکان بیش گرم شدگی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در شکل (۱- ۵۵) دما و آسایش یا عدم آسایش حرارتی به صورت ساعتی برای اتاق نشیمن طبقه همکف در بازه زمانی ۶ام تا ۱۳ام جولای ۲۰۱۳ به عنوان یک هفته گرم سال رسم شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

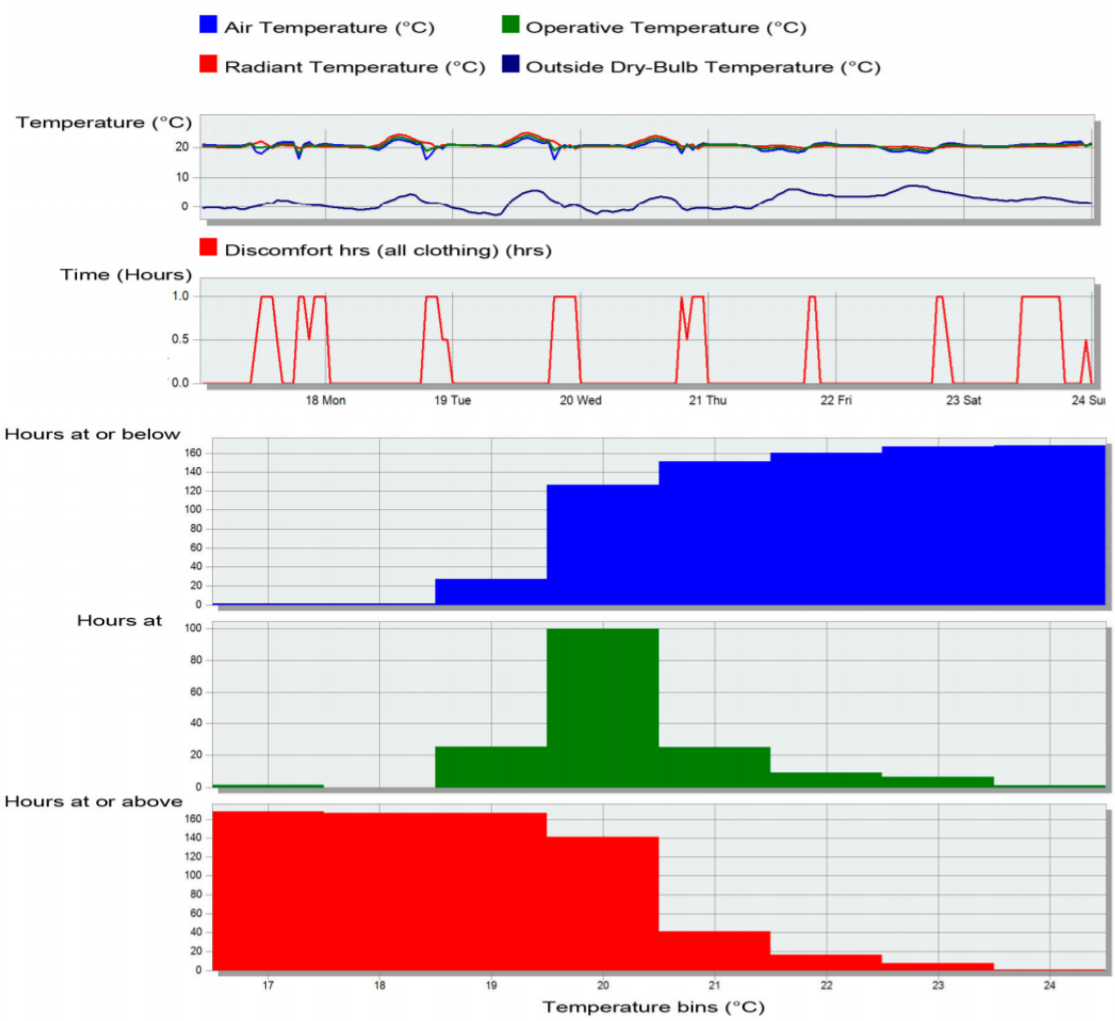


شکل (۱- ۵۵) نمایش دما و ساعات آسایش یا عدم آسایش حرارتی در یکی از هفته های گرم تابستان [90]

به صورت مشابه در شکل (۱- ۵۶) برای یکی از هفته های سرد سال توزیع دما نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود دمای میانگین حدود ۲۰ درجه سانتیگراد می باشد که دلیل آن بازیابی گرما، عایق بندی و دریافت انرژی خورشیدی می باشد. باید توجه داشت که در یک ساختمان پسیو (همانند مسکن اجتماعی پسیو مورد مطالعه) که استانداردهای پسیو در آن رعایت شده است، از هیچ گونه سیستم گرمایشی استفاده نمی شود و فقط از یک سیستم دارای تهویه مکانیکی که امکان بازیابی حرارت را دارد (MVHR[39]) استفاده می گردد.

[39] Mechanical Ventilation with Heat Recovery

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۱- ۵۶) نمایش دما و ساعات آسایش یا عدم آسایش حرارتی در یکی از هفته های سرد زمستان [90]

در جدول (۱- ۶) نیز مصرف انرژی سالانه مسکن اجتماعی بازطراحی شده با مفاهیم بهره وری انرژی و میزان انتشار CO_2 متناظر آن ارائه شده است.

جدول (۱- ۶) مصرف انرژی سالانه مسکن اجتماعی بازطراحی شده با مفاهیم بهره وری انرژی [90]

Total Energy Demand	Carbon Dioxide (CO_2) Emission
10,880 kWh/year	7493 kg/year
64 kWh/m^2	**44** kg/m^2

برای این که بتوان مزیت این سازه باز طراحی شده نسبت به سازه اولیه را نشان داد، اطلاعات واقعی مصرف انرژی سازه اولیه (بدون بهره‌وری انرژی) که مونیتور گردیده بود در جدول (۱- ۷) جهت مقایسه ارائه شده است. اطلاعات جدول (۱- ۷) بر اساس میانگین انرژی مصرف شده و دی اکسید کربن منتشر شده متناظر با آن که در سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ به صورت واقعی در محل اندازه گیری شده است، ارائه گردیده است. با مقایسه جدول (۱- ۶) و جدول (۱- ۷) می توان نتیجه‌گیری نمود که طراحی مجدد مسکن اجتماعی مورد مطالعه با در نظر گرفتن معماری انعطاف پذیر و مفاهیم ساختمان‌های پسیو، سبب کاهش انرژی مصرفی و نیز انتشار دی اکسید کربن گردیده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۱- ۷) مصرف انرژی سالانه مسکن اجتماعی اولیه (قبل از بازطراحی با مفاهیم بهره وری انرژی) [90]

Total Energy Demand	Carbon Dioxide (CO_2) Emission
13,358 kWh/year *	6833 kg/year *
~**104** kWh/m^2	~**244** kg/m^2

۳-۵-۱ بررسی ابعاد آیین نامه های طراحی از منظر طرح سازه‌ای، معماری و تاسیسات برای ساخت و ساز مدولار

همان طور که ذکر شد، و در بخش دوم گزارش به تفصیل به آن پرداخته می شود، ساخت و ساز مدولار یکی از گزینه های مطرح ساخت مسکن‌های اجتماعی می باشد. بصورت معمول مدولاریزه کردن ساختمان‌ها مفهومی فراتر از در نظر گرفتن آئین نامه‌های سنتی دارد. بصورت ایده آل، فلسفله طراحی مدولار برای یک پروژه باید از ابتدا با در نظر گرفتن شرایط مختلف از قبیل هندسه، مصالح، آمایش حمل و نقل و دیگر مواردی که معمولا میان رشته‌ای می‌باشند، در نظر گرفته شود.

تفاوت‌ها در آیین نامه‌های ساختماتی معمولا شامل ساخت، نوع مصالح و روش تامین تسهیلات بانکی برای اهداف استیجاری، می‌باشد. در ایالات متحده، از آئین نامه های محلی و یا ایالتی می‌توان برای طراحی خانه‌های مدولار استفاده نمود اما در مقابل، خانه‌هایی که در کارخانه‌ها ساخته می‌شوند باید از آیین نامه های فدرال پیروی کنند. در ایالات متحده، معمولا خانه‌های مدولار براساس آئین نامه بین المللی ساختمان (IBC)، IRC، BOCA و یا آئین نامه‌هایی که صلاحیت‌های قضایی آنها تضمین شده است، ساخته می‌شوند. در برخی از ایالات مثل کالیفرنیا، خانه‌های متحرک باید مانند وسایل نقلیه بصورت سالانه توسط دپارتمان وسایل موتوری یا برخی دیگر از مراکز ثبت و بررسی شوند. این امر حتی زمانی که صاحبان آنها چرخ‌ها را جدا کرده است و خانه را برروی فونداسیون ثابت قرار داده اند، باید انجام پذیرد.

در سایت موسسه ساختمان‌های مدولار (http://www.modular.org/Links/BuildingCodes.aspx?regionalcouncilid=137) به تفکیک آیین نامه‌های مورد تایید هر ایالت در آمریکا و کانادا قرار گرفته شده است که می‌توان آن را به نوعی بهترین مرجع برای انتخاب آیین نامه‌های ساخت ساختمان‌های مدولار دانست. برای مثال برای ایالت نیویورک به ترتیب آیین نامه های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- آیین نامه سازه‌ای : IBC 2015
- آیین نامه مکانیکال: IMC 2015
- آیین نامه الکتریکال: IEC 2015

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۶ مراجع

[۱] R. Arnott, "Housing policy in developing countries the importance of the informal economy", Department of Economics, University of California Riverside, 2008 .

[۲] K. Li, Y. Qin & J. Wu, "Recent housing affordability in urban China: A comprehensive overview", *China Economic Review*, 2019.

[۳] V. W. Y. Tam, "Cost Effectiveness of using Low Cost Housing Technologies in Construction", *Procedia Engineering* ,14 ,pp. 156-160, 2011 .

[۴] مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه علم و صنعت ایران, "عرضه مسکن ملی؛ راهکار مناسب برای حمایت اجتماعی از مسکن," مرکز پژوهشی علم و توسعه، دانشگاه علم و صنعت ایران, ۱۳۹۳.

[۵] Affordable Housing Institute & Ernst and Young, "The growing crisis of affordable housing in MENA", Dubai, United Arab Emirates: EYGM Limited, 2013.

[۶] Oxford Analytica, Saudi housing sector set for rapid growth, 2011,Available: https://dailybrief.oxan.com/Analysis/DB169642/Saudi-housing-sector-set-for rapid-growth.

[۷] انرژی دیده بان، "بهره وری انرژی در ساختمان"، *دبیرخانه برنامه ملی آینده نگاری علم و فناوری*, شماره ۴, ۱۳۹۶.

[۸] "Energy efficiency organization reports", 2017.

[۹] IIES, "T.I.f.I.E.S. Strategies, figures and analytical reports ", *Oil Ministry of Islamic Repoblic of Iran*, 2017.

[۱۰] ف. سیف الدینی، "*فرهنگ واژگان برنامه ریزی شهری و منطقه ای*", تهران, انتشارات آییژ, ۱۳۸۵.

[۱۱] ن. اسماعیل پور، "بررسی وضعیت مسکن در سکونتگاه های غیر رسمی و ارائه راهبردهای ساماندهی آن ها، نمونه موردی: محله حسن آباد یزد،" *مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای*, شماره ۴, pp. 95-112, ۱۳۸۹.

[۱۲] E. Knapp, "Housing Problems in Third World ",University of Stuttgart, Sage Publication, 1990 , Chapter 1, p. 35.

[۱۳] م. سرتیپی پور، "پدیدار شناسی مسکن روستایی"، *فصلنامه مسکن و محیط روستا*, جلد ۱۳۳, pp. 3-14, ۱۳۹۰.

[۱۴] و. کاستللو، "شهرنشینی در خاورمیانه", ترجمه پرویز پیران و عبدالعلی رضایی، نشر نی، چاپ سوم, ۱۳۸۳.

[۱۵] ج. پژویان، "مطالعه بررسی فقر و شرایط اقتصادی خانوارهای استان تهران", معاونت هماهنگی و برنامه ریزی سازمان برنامه و بودجه استان تهران, ۱۳۷۸.

[۱۶] ج. سعیدی و ف. علیزاده افشار, "رویکردهای برنامه ای توسعه مسکن برای اقشار کم درآمد شهری در ایران," در *پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و شهرسازی*, دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران, ۱۳۹۶.

[۱۷] م. صرافی، "بازنگری ویژگی های اسکان خودانگیخته در ایران"، در جستجوی راهکارهای توانمندسازی،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مجموعه مقالات حاشیه نشینی و اسکان غیر رسمی, انتشارات دانشگاه علوم بهزیستی و توان بخشی، تهران.

[۱۸] UNECE Information Service,“ Social housing in the UNECE region: Models, Trends and Challenges ”,www.unece.org, Switzerland, 2015.

[۱۹] ر. فرهادی و س. همتی گشتاسب, "مکانگزینی مسکن اجتماعی (مطالعهٔ موردی: مسکن مهر شهر کازرون)," *فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیای اجتماعی شهری*, جلد ۴, شماره ۲, 1396 ,101-87 .pp.

[۲۰] UNECE Information Service, "Housing for migrants and refugees in the UNECE Region challenges and practices", 2021.

[۲۱] “Arch Daily, Longnan Garden Social Housing Estate", 2017, Available: https://www.archdaily.com/874649/longnan-garden-social-housingestate-atelier-gom.

[۲۲] L. Ke and J. Leng, “A Study of Sustainable Social Housing Community Design in Britain and China ”, *KNE Social Sciences* , pp. 459-472, 2019 .

[۲۳] X. Cao, "Skeleton and Infill Housing Construction Delivery Process Optimization Based on the Design Structure Matrix ”,*Sustainability* , 4570, 2018 .

[۲۴] L. Li, “A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization ”, *Journal of Cleaner Production* , 244, 2020 .

[۲۵] S. Bodach and J. Hamhaber,“ Energy efficiency in social housing: opportunities and barriers from a case study in Brazil ”, *Energy Policy* ,38 ,pp. 7898-7910, 2010 .

[۲۶] E. Valdenebro, U. Dietrich, and A. Ino, “Thermal comfort analysis of a representative multi-story social housing unit with wood as an alternative construction material in Brazil ”,*Earth and Environmental Science, 297, 2019* .

[۲۷] A. Uihlein & P. Eder, “Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU ”,*Energy and Buildings* „ 42(6), p. 791-798, 2010 .

[۲۸] B. Bradford & J. Schleich“ Residential energy-efficient technology adoption, energy conservation, knowledge, and attitudes: an analysis of European countries ”,*Energy Policy, 49*, pp616-628, 2012 .

[۲۹] P. Brown, W. Swan, & S. Chahal,“ Retrofitting social housing: reflections by tenants on adopting and living with retrofit technology ”,*Energy Efficieny*,7(4), pp. 641-653, 2014.

[۳۰] V. Gianfrate, C. Piccardo, D. Longo, A. Giachetta, “Rethinking social housing: Behavioural patterns and technological innovations ”,*Sustainable Cities and Society* ,article in press, 2017 .

[۳۱] https://upgreengrade.ir/index.php.

[۳۲] ع. حسینی “گزارش کارشناسی طرح مسکن اجتماعی- مسکن مستمری بگیران کم درآمد," موسسه عالی پژوهش تأمین اجتماعی, ۱۳۹۵.

[۳۳] J. Meltzer و R. Schuetz“ Inclusionary Zoning to Support Affordable Housing ”,*International*

Encyclopedia of Housing and Home ,pp. 32-36, 2012 .

[۳۴] J. E. Hoben" Inclusionary zoning moves downtown ",*Cities*, 4(1), 1987.

[۳۵] House Reports" United States Congressional Serial Set, Serial No. 14848, House Reports Nos. 82-105 ",*U.S. House of Representatives*, 2004 .

[۳۶] C. J. Gabbe" Local regulatory responses during a regional housing shortage: An analysis of rezonings in Silicon Valley "*Land Use Policy*, 80 ,pp. 79-87, 2019 .

[۳۷] G. N. Hamiduddin "Self-build communities: the rationale and experiences of group-build (Baugruppen) housing development in Germany ",*Housing Studies*, 31(4), pp. 365-383, 2015 .

[۳۸] W. Apgar & S. Donovan "Beyond Housing: The Comprehensive Community Revitalization Program in the South Bronx ", *John F Kennedy School of Government* , 1999 .

[۳۹] D. I. Azmi & H. Karim "Implications of Walkability Towards Promoting Sustainable Urban Neighbourhood", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *50* ,pp. 204-213, 2012 .

[۴۰] D. P. Varady & W. F. E. Preiser "Scattered-Site Public Housing and Housing Satisfaction: Implications for the New Public Housing Program", *Journal of the American Planning Association*, 64(2) , pp. 189-207, 1998 .

[۴۱] G. Bentley, P. McCutcheon, R. G. Cromley & D. M. Hanink "Race, class, unemployment, and housing vacancies in Detroit: an empirical analysis" , *Urban Geography* , 37 (5), pp. 785-800, 2015 .

[۴۲] D.G. Martin, A. Hadizadeh Esfahani, O.R. Williams, R. Kruger, J. Pierce & J. DeFilippis "Meanings of limited equity homeownership in community land trusts ",*Housing Studies* ,pp. 1-20, 2019 .

[۴۳] H. Shearer & P. Burton "Towards a Typology of Tiny Houses ",*Housing, Theory and Society* , pp. 1-21, 2018 .

[۴۴] Housing trust Funds, "What Are Housing Trust Funds" available: https://housingtrustfundpoject.org./

[۴۵] K. O'Regan, M. Horn & M. Katherine "The low income housing tax credit and racial segregation ",*Housing Policy Debate*, 21(3), pp. 443-473, 2011 .

[۴۶] F. Yasuyuki "Spotlight on the Main Actors: How Land Banks and Community Development Corporations Stabilize and Revitalize Cleveland Neighborhoods in the Aftermath of the Foreclosure Crisis ", *Housing Policy Debate*, 26(2), pp. 296-315, 2016 .

[۴۷] پ. ابراهیمی و ع.م. آقایی "سیاستها و برنامه های تأمین مسکن قابل استطاعت؛ مروری بر تجربه آمریکا" *فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده*, جلد ۲, شماره ۱, 1400 ,59-49 pp.

[۴۸] W. Bradshaw, E. F.Connelly, M. F. Cook, J. Goldstein & J. Pauly "The Costs & Benefits of Green Affordable Housing", *Tellus Institute*, 2005 .

[۴۹] Torento and Region Conservation Authority "Review of Effectiveness of Investments in Renewable Energy for Social and Affordable Housing", *evergreen, TRCA,York University, University of Guelph*, 2017 .

[۵۰] C. Schittich "Small Structures: Compact Dwellings, Temporary Structures, Room Modules ", *Birkha ¨user, Berlin*, 2010 .

[۵۱] D. Amaratunga & R. Haigh, "Post-Disaster Reconstruction of the Built Environment: Rebuilding for Resilience", John Whiley and Sons Ltd, West Sussex, 2011 .

[۵۲] M. Burt, Y. Aron, E. Lee & J. Valente, "Helping America's Homeless: Emergency Shelter or Affordable Housing", Washington, DC: The Urban Institute Press, 2011 .

[۵۳] M. Comerio "Disaster Hits Home: New Policy for Urban Housing Recovery", New Jersey: University of California Press, 1998 .

[۵۴] I. Davis "Shelter After Disaster", Oxford: Oxford Polytechnic Press, 1978 .

[۵۵] D. Smith "Housing and the Urban Development Process", Cambridge: Croom Helm , 1981 .

[۵۶] A. Tipple "Extending Themselves: User Initiated Transformations of Government (Built Housing in Developing Countries)", Liverpool: Liverpool University Press, 2001 .

[۵۷] S. Barakat "Housing reconstruction after conflict and disaster", London: Overseas Development Institute, 2003 .

[۵۸] F. Hadafi & A. Fallahi "Temporary housing Respond to disasters in developing countries e case study: Iran-Ardabil and Lorestan Province earthquakes" *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 66, pp. 1536-1542, 2010 .

[۵۹] C. Johnson "Impacts of prefabricated temporary housing after disasters: 1999 earthquakes in Turkey ",*Habitat International* , 31, pp. 36-52, 2007a .

[۶۰] C. Johnson "Strategic planning for post-disaster temporary housing" *Disasters*, 31, pp. 435-458, 2007b .

[۶۱] C. Johnson "Strategies for the reuse of temporary housing. In I.a. Ruby (Ed)", *Urban transformation* ,pp. 323-331, 2008 .

[۶۲] UNDRO "Shelter after disaster: Guidelines for assistance", New York: United Nations, 1982 .

[۶۳] F. Steinberg "Housing reconstruction and rehabilitation in Aceh and Nias, IndonesiadRebuilding lives", *Habitat International*, 31, pp. 150-166, 2007 .

[۶۴] H. Arslan & N. Cosgun "The evaluation of temporary earthquake houses dismantling process in the context of building waste management", *International earthquake symposium*., Kocaeli, Turkey, 2007 .

[۶۵] S. El-Masri & P. Kellett "Post-war reconstruction. Participatory approaches to rebuilding the damaged villages of Lebanon: a case study of al-Burjain", *Habitat International*, 25, pp. 535-557, 2001 .

[۶۶] G. Lizarralde & C. Davidson "Learning from the poor", Post-disaster reconstruction: Meeting stakeholders 'interest, Florença: Università degli studdi, pp. 393-403, 2007.

[۶۷] R. Jigyasu, R. Vasavada, S. Havelka & J. Duyne Barenstein "Participatory design and appropriate technology for disaster reconstruction", *Conference proceedings, international i-Rec conference*, 2010 .

[۶۸] G. Caia, F. Ventimiglia & A. Maass "Container vs. dacha: the psychological effects of

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

temporary housing characteristics on earthquake survivors" *Journal of Environmental Psychology,* 30, pp. 60-66, 2010 .

[۶۹] F.G. Bedoya "Hábitat transitorio y vivienda para emergencias" , *Tabula Rasa* ,pp. 145-166, 2004 .

[۷۰] H. Arsalan "Re-design, re-use and recycle of temporary houses", *Building and Environment,* 42, pp. 400-406, 2007 .

[۷۱] H. Arslan & N. Cosgun "Reuse and recycle potentials of the temporary houses after occupancy: example of Duzce, Turkey", *Building and Environment,* 43, pp. 702-709, 2008 .

[۷۲] G. Lizarralde & M. Massyn "Unexpected negative outcomes of community participation in low-cost housing projects in South Africa" , *Habitat International* ,32, pp. 1-14, 2008 .

[۷۳] L. Garofalo & D. Hill "Prefabricated recovery: post-disaster housing component production and delivery ", *Without a hitch a new direction in prefabricated architecture ,* pp. 64-71, 2008 .

[۷۴] R. Bologna "Transitional housing for emergencies: temporariness and reversibility of the building process" , *In Proceedings of the 2004 international conference Improving post-disaster reconstruction in developing countries,* 2004 .

[۷۵] P. Kellett& J. Moore "Routes to home: homelessness and home-making in contrasting societies", *Habitat Internationa,* 27, pp. 123-141, 2003 .

[۷۶] م. شکروی "بررسی ابعاد اجتماعی مسکن مهر بر ارتقاء کیفیت محیط زندگی اقشار کم درآمد جامعه- نمونه موردی: مسکن مهر شهرک واوان اسلامشهر", پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده هنر، گروه برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر, ۱۳۹۵.

[۷۷] "مسکن مهر" Available: https://fa.wikipedia.org/wiki/مسکن_مهر.

[۷۸] "زمین لرزه ۱۳۹۶ ازگله" https://fa.wikipedia.org/wiki

[۷۹] ب. حسینی هاشمی و ح. فرشچی "گزارش زمین لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه," تهران, ۱۳۹۶.

[۸۰] Available: https://www.jamaran.news./

[۸۱] ح. صارمی، م. هدایتیان و س.س. علوی "بررسی و مقایسه واحدهای ساخته شده مسکن مهر با اصول و معیارهای معماری و شهرسازی ایرانی-اسلامی (محدوده مورد مطالعه: شهر بروجرد)," *فصلنامه علمی-پژوهشی نقش جهان,* جلد ۱, شماره ۷, ۱۳۹۶.

[۸۲] س. ناصری "آموزه های معماری منظر برای مسکن مهر (کارآمدی معماری منظر رهیافتی برای برون رفت از وضع موجود)، نمونه موردی: مسکن مهر تهرانسر" جلد ۱۱, شماره ۴۹, 1397 ,57-48 pp.

[۸۳] س. دادخواهی "طراحی مسکن برای اقشار کم درآمد در شهر جدید بهارستان", پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معماری گرایش معماری، دانشگاه هنر اصفهان., ۱۳۹۲.

[۸۴] م. پورمحمدی و ا. اسدی "ارزیابی پروژه های مسکن مهر شهر زنجان," *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی,* 1393 ,171-192 pp.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

[۸۵] م. دلالپور محمدی "برنامه ریزی مسکن، روش برنامه ریزی سیستمی،" *مجموعه مقالات سمینار سیاست های توسعه مسکن در ایران، سازمان ملی زمین و مسکن*، جلد اول، ۱۳۷۳.

[۸۶] خ. طاهری بابرصاد "بررسی سیاست های توسعه مسکن برای اقشار کم درآمد شهری، مطالعه موردی مطالعه و ارزیابی مسکن اجتماعی در شهر شیراز،" پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته شهرسازی، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۲.

[۸۷] C.M.J.L. Lelieveld, A.I.M. Voorbij, W.A. Poelman "Adaptable Architecture" *Building Stock Activation Activation*, pp.245-252, 2007 .

[۸۸] N.E. Altas & A. Özsoy "Spatial Adaptability and Flexibility as Parameters of User Satisfaction for Quality Housing" *Build Environ*, 33, pp. 315-323, 1998 .

[۸۹] T. Narahara "Designing for Constant Change: An Adaptable Growth Model for Architecture" *Int. J. Archit*, 8, pp. 29-40, 2010 .

[۹۰] H. Altan, N. Gasperin, S. Moshaver & A. Frattari "Redesigning terraced social housing in the UK for flexibility using building energy simulation with consideration of passive design" *Sustainability*, 7(5), pp. 5488-5507, 2015 .

[۹۱] N.J. Habraken, J.T. Boekholt, P.J.M. Dinjens & A.P. Thijssen "Variations: The Systematic Design of supports", MIT Press: Cambridge, MA, USA, 1976.

[۹۲] Passivhaus Institut (PHI) "Passive House Planning Package (PHPP) 2007: User Guide" PHI: Darmstadt, Germany, 2010.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فصل دوم

2 بررسی اهمیت و جایگاه توسعه ساختمان‌ها با رویکرد بهره‌وری انرژی و مطالعه روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده و نوین در این زمینه









۲-۱ جایگاه بهینه سازی مصرف انرژی در اسناد بالادستی

با توجه به اهمیت مصرف انرژی در سطح جهانی و لزوم کاهش آلاینده ها و تبعات زیست محیطی ناشی از آن، در کشورهای مختلف سیاست های کلان برپایه کاهش الگوی مصرف انرژی تنظیم شده است. در کشور ما ایران نیز سیاست ها و اسناد بالادستی به طرق مختلف مباحث مربوط به بهره وری انرژی را لحاظ کرده اند. ازطرفی با توجه به اینکه در کشور ما حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان است، درنظر گیری این مهم در مراحل ساخت انواع ساختمان ها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

۲-۱-۱ مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان

می توان گفت اولین سند رسمی که الزامات کاهش انرژی را درنظر گرفته است، ویرایش اول مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان [۱] بوده است که در سال ۱۳۷۰ با عنوان صرفه جویی در مصرف انرژی به این موضوع پرداخته است. مقررات ملی ساختمان توسط وزارت مسکن و شهرسازی موردانتشار قرار می گیرد. بخش عمده این سند به ضوابط طراحی عایق کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان اختصاص داشته است که به دلیل عدم وجود آمادگی لازم در صنعت ساخت و ساز در اکثر پروژه های ساختمانی نادیده گرفته شد. در سال ۱۳۸۱ ویرایش دوم مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ابلاغ شده است. در این ویرایش علاوه بر پوسته خارجی، تاسیسات مکانیکی و روشنایی ساختمان، توصیه هایی برای طراحی ساختمان ارائه شده است. همچنین در گروه بندی ساختمان ها، علاوه برکاربری عواملی مانند نیاز انرژی سالیانه نیز موردلحاظ قرار گرفته است. علاوه براین در پیوست ویرایش مذکور، به منظور یکسان سازی داده های فنی در خصوص مصالح و فرآورده های ساختمانی مورداستفاده در پوسته خارجی ساختمانی، ضریب هدایت حرارتی و مقاومت های حرارتی موردنیاز در طراحی و محاسبات ارائه گردیده است. در سال ۱۳۸۹ آخرین ویرایش مبحث ۱۹ مقررات ملی با عنوان صرفه جویی در مصرف انرژی تهیه شده است. در این ویرایش مباحثی مانند یکسان سازی روش محاسبات طراحی عایق کاری حرارتی پوسته ساختمان، تکمیل داده های حرارتی مربوط به مصالح مورداستفاده در ساخت و ساز و فرآورده های نوین مانند شیشه دوجداره، پنجره یو پی وی سی و آلومینیوم گرماشکن و ...، سایه بان های مناسب برای شهرهای مختلف کشور و اطلاعات فنی طراحی انواع پل حرارتی در پوسته ساختمان ارائه شده است.

۲-۱-۲ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی

در اجراء اصل یکصد و بیست و سوم (۱۲۳) قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی که با عنوان طرح به مجلس شورای اسلامی تقدیم گردیده بود، با تصویب در جلسه علنی روز چهارشنبه مورخ ۱۳۸۹/۱۲/۴ و تأیید شورای نگهبان به قوه مجریه آن دوره ابلاغ شد. کاربرد انواع انرژی هایی که در کشور تولید، وارد و مصرف می شود، به گونه ای که بدون کاستن از سطح تولید ملی و رفاه اجتماعی، از اتلاف انرژی از نقطه تولید تا پایان مصرف جلوگیری نماید و افزایش بازدهی و بهره وری، استفاده اقتصادی از انرژی، بهره برداری بهتر، کمک به توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست را باعث شود، براساس این قانون مدیریت و بهینه سازی می گردد.

حوزه مسئولیت نهادهای مختلف در زمینه سیاست ها و خط مشی های اساسی این قانون عبارتند از:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- تعیین، اصلاح و بازنگری خط مشی های اساسی در مورد هرکدام از حوزه های مصرف و تولید انرژی توسط کارگروهی متشکل از وزرای نیرو، نفت و معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور انجام می شود.
- راهکارهای اجرایی مناسب به منظور حمایت و تشویق برای ارتقاء نظام تحقیق و توسعه درباره فناوری های جدید ازطریق تامین اعتبارات تحقیقاتی موردنیاز تا مرحله ساخت نمونه و تجاری سازی، توسط وزارتخانه های نفت و نیرو در قالب بودجه سنواتی تدوین و به تصویب هیئت وزیران می رسد.

دو فصل این قانون که با مصرف انرژی خانگی در ارتباط است عبارتند از: فصل چهارم با عنوان مصرف انرژی مشترکین، فرآیندها و تجهیزات انرژی بر و فصل پنجم با عنوان مصرف کنندگان انرژی در بخش ساختمان و شهرسازی.

طبق ماده ۱۳ فصل چهارم این قانون کلیه تولیدکنندگان و واردکنندگان تجهیزات انرژی بر، موظفند بر مبنای معیارها و مشخصات فنی ابلاغ شده از سوی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نسبت به تهیه و نصب برچسب مصرف انرژی بر روی کالا و بسته بندی آن اقدام نمایند. توزیع و فروش تجهیرات انرژی بر فاقد برچسب مصرف انرژی ممنوع است. موسسه استاندارد و وزارت بازرگانی موظف به نظارت و برخورد با توزیع کنندگان و فروشندگان متخلف مطابق قانون خواهند بود. همچنین طبق ماده ۱۴ این قانون، به منظور ترغیب مصرف کنندگان به استفاده از تجهیزات، مجموعه ها و فرآیندهای با مصرف انرژی و آلودگی زیست محیطی کمتر، برای مصرف کنندگان این موارد از محل منابع مالی ماده (۷۳) این قانون و نیز اعتبارات پیش بینی شده در لوایح بودجه سنواتی، مشوق های مالی درنظرگرفته می شود.

همچنین مطابق با ماده ۱۸ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، در اجرای قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی موظف است آیین نامه های صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان ها را با جهت گیری به سوی ساختمان سبز و همچنین شهرسازی را منطبق بر الگوی مذکور با همکاری وزارتخانه های نفت، نیرو، کشور و معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور ظرف یکسال بعد از تصویب این قانون تهیه و به تصویب هیئت وزیران برساند. آیین نامه های اجرائی شامل معیارها و مشخصات فنی مصرف انرژی ساختمان سبز حداکثر ظرف شش ماه پس از تصویب این قانون به گونه ای که تمامی ضوابط خاص در طراحی و ساخت از دیدگاه مدیریت انرژی و محیط زیست از جمله کاهش آلودگی و نیاز به کمترین حد انرژی های تجدیدناپذیر در آنها لحاظ شده باشد، در کارگروه موضوع ماده (۱۱) این قانون تهیه و به تصویب هیأت وزیران می رسد. الگوی مصرف برق و گازطبیعی به ازاء هر مترمربع ساختمان به پیشنهاد مشترک وزارتخانه های نفت، نیرو و مسکن و شهرسازی به تصویب شورای عالی انرژی می رسد. مصارف برق و گازطبیعی مازاد بر الگوی مصرف مشمول حداکثر صددرصد (۱۰۰ ٪) افزایش قیمت خواهد شد. وجوه اضافی اخذ شده به حساب درآمد عمومی نزد خزانه داری کل کشور واریز و براساس قانون هدفمندکردن یارانه ها و قانون بودجه سالانه و به ترتیب مقرر در ماده (۷۳) این قانون هزینه می شود.

۳-۱-۲ سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف

این سیاست ها توسط رهبر معظم انقلاب اسلامی پس از مشورت با مجمع تشخیص مصلحت نظام تعیین شده و به روسای قوای سه گانه و رییس مجمع تشخیص مصلحت نظام ابلاغ شده است. تمامی بخش های این سیاست ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در ادامه بعنوان نمونه بند ۷ آورده شده است:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

صرفه‌جویی در مصرف انرژی با اعمال مجموعه‌ای متعادل از اقدامات قیمتی و غیرقیمتی به منظور کاهش مستمر «شاخص شدت انرژی» کشور به حداقل دو سوم میزان کنونی تا پایان برنامه پنجم توسعه و به حداقل یک دوم میزان کنونی تا پایان برنامه ششم توسعه با تأکید بر سیاست‌های زیر:

- اولویت دادن به افزایش بهره‌وری در تولید، انتقال و مصرف انرژی در ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید انرژی.
- انجام مطالعات جامع و یکپارچه سامانه انرژی کشور به منظور بهینه‌سازی عرضه و مصرف انرژی.
- تدوین برنامه ملی بهره‌وری انرژی و اعمال سیاست‌های تشویقی نظیر حمایت مالی و فراهم کردن تسهیلات بانکی برای اجرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف و عرضه انرژی و شکل‌گیری نهادهای مردمی و خصوصی برای ارتقاء کارایی انرژی.
- پایش شاخص‌های کلان انرژی با ساز و کار مناسب.
- بازنگری و تصویب قوانین و مقررات مربوط به عرضه و مصرف انرژی، تدوین و اعمال استانداردهای اجباری ملی برای تولید و واردات کلیه وسایل و تجهیزات انرژی‌بر و تقویت نظام نظارت بر حسن اجرای آنها و الزام تولیدکنندگان به اصلاح فرآیندهای تولیدی انرژی‌بر.
- اصلاح و تقویت ساختار حمل و نقل عمومی با تأکید بر راه آهن درون‌شهری و برون‌شهری به منظور فراهم کردن امکان استفاده سهل و ارزان از وسایل حمل و نقل عمومی.
- افزایش بازدهی نیروگاهها، متنوع‌سازی منابع تولید برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین.
- گسترش تولید برق از نیروگاههای تولید پراکنده، کوچک مقیاس و پربازده برق و تولید همزمان برق و حرارت.
- بهبود روش‌های انتقال حامل‌های انرژی از جمله حداکثرسازی انتقال فرآورده‌های نفتی از طریق خط لوله و راه آهن.

۴-۱-۲ قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴-۱۳۹۰)

قانون برنامه پنجم توسعه پنجمین قانون توسعه پس از پیروزی انقلاب اسلامی ایران است. این قانون برای تحقق سند چشم انداز ۱۴۰۴ تدوین شده است. این قانون ۲۳۵ ماده داشته و ماده ۲۳۵ آن اعلام می‌کند که این قانون تا سال ۱۳۹۴ شمسی اعتبار دارد. در این قانون در بخش های مختلف توسعه کشورمان ایران از فرهنگ، علم، اجتماعی، مدیریتی و اقتصادی گرفته تا توسعه منطقه ای و سیاسی و دفاعی برنامه ارائه شده است. در ادامه موادی از این قانون که به بهره وری انرژی اختصاص داشته را ذکر خواهیم کرد:

در ماده ۱۳۹ این قانون بیان شده است که: به منظور ایجاد زیرساخت‌های تولید تجهیزات نیروگاههای بادی و خورشیدی و توسعه کاربرد انرژیهای پاک و افزایش سهم تولید این نوع انرژی ها در سبد تولید انرژی کشور، دولت مجاز است با حمایت از بخشهای خصوصی و تعاونی از طریق وجوه اداره شده و یارانه سود تسهیلات، زمینه تولید تا پنج هزار مگاوات انرژی بادی و خورشیدی در طول برنامه متناسب با تحقق تولید را فراهم سازد. همچنین در بخش سیاست های کلی نظام ابلاغی توسط رهبر انقلاب و بخش سایر منابع انرژی آمده است:

- ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت مسائل زیست محیطی و تلاش برای افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر با اولویت انرژیهای آبی.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- تلاش برای کسب فن آوری و دانش هسته ای و ایجاد نیروگاه های هسته ای به منظور تأمین سهمی از انرژی کشور و تربیت نیروهای متخصص.
- گسترش فعالیت های پژوهشی و تحقیقاتی در امور انرژیهای گداخت هسته ای و مشارکت و همکاری علمی و تخصصی در این زمینه.
- تلاش برای کسب فن آوری و دانش فنی انرژیهای نو و ایجاد نیروگاه ها از قبیل بادی و خورشیدی و پیل های سوختی و زمین گرمایی در کشور.

سیاست های کلی نظام درخصوص منابع طبیعی:

- ایجاد عزم ملی بر احیای منابع طبیعی تجدید شونده و توسعه پوشش گیاهی برای حفاظت و افزایش بهره وری مناسب و سرعت بخشیدن به روند تولید این منابع و ارتقاء بخشیدن به فرهنگ عمومی و جلب مشارکت مردم در این زمینه.
- شناسایی و حفاظت منابع آب و خاک و ذخایر ژنتیکی گیاهی جانوری و بالابردن غنای حیاتی خاکها و بهره برداری بهینه براساس استعداد منابع و حمایت مؤثر از سرمایه گذاری در آن.

۲-۲ بررسی مصالح مرتبط با کاهش مصرف انرژی

۲-۲-۱ تعریف مصالح ساختمانی تاب آور

تعریف دقیق از ساخت و ساز تاب آور در کشورهای مختلف، متفاوت است. در ایالت متحده آژانس محافظت از محیط زیست (EPA) ساخت و ساز تاب آور را با عنوان زیر معرفی می کند: "عملیات ساخت سازه ها و استفاده از فرآیندهایی که در برابر محیط زیست مسئول بوده و درطول چرخه عمر ساختمان از امکان سنجی تا طراحی، ساخت، کاربری، نگهداری، بازسازی و تخریب، منابع کارآمدی داشته باشند". هلند ساخت و ساز تاب آور را با عنوان روشی از ساخت معرفی می کند که هدف آن کاهش تاثیرات (منفی) بر سلامت و محیط زیست است که در فرآیند ساخت و ساز یا توسط ساختمان یا محیط ساخت و ساز ایجاد می شود. معمولا مصالح ساختمانی متعارف مانند آهن، سیمان و بتن به روش های تاب آور تولید نمی شوند. تولید و انتقال این مصالح باعث انتشار سطوح بالایی از گازهای گلخانه ای می شود. در مقابل مصالح ساختمانی وجود دارند که در منطقه تولید و استفاده شده که مقدار CO_2 قابل توجهی را منتشر نمی کنند. علاوه براین، مصالح مذکور کسب و کار منطقه ای را بوجود آورده و مهارت نیروی انسانی منطقه را افزایش می دهد که می تواند تاب آوری واقعی را به دنبال داشته باشد. برخی از مصالح تاب آور ساختمانی عبارتند از بامبو و چوب و بلوک های سنگی و خشتی. باوجود اینگونه مصالح، فناوری های جدید براساس روش های سنتی ساختمان را می توان برای تولید مسکنی که تاب آور بوده و بطور همزمان برای قشر ضعیف جامعه شهرنشین قابل استطاعت باشد، توسعه داد [۲].

چرخه عمر مصالح را می توان به سه مرحله تقسیم بندی کرد: پیش از ساختمان، درحین بهره برداری از ساختمان و پس از ساختمان [۳]. این مراحل با مراحل چرخه عمر خود ساختمان هم راستا است. ارزیابی تاثیر محیط زیستی مصالح ساختمانی در هر مرحله امکان تحلیل هزینه-فایده را در طول عمر ساختمان فراهم می کند که نسبت به اینکه فقط هزینه های اولیه ساخت را درنظر بگیریم، بسیار مطمئن تر است. در ادامه ویژگی مصالح تاب آور محیط زیست در هریک از مراحل فوق شرح داده می‌شود:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۱-۲-۲ مرحله پیش از ساختمان: تولید

۱-۱-۱-۲-۲ کاهش ضایعات

ویژگی کاهش ضایعات بیان می کند که تولیدکننده ازطریق کاهش مقدار خورده مصالحی که ایجاد می شود، گام‌هایی را برای کارآمدتر کردن فرآیند تولید انجام داده است. این خورده مصالح ممکن است براثر فرآیندهای مختلف قالب گیری، قطع زائده ها و پرداخت و یا توسط محصولات معیوب و آسیب دیده ایجاد شود. برای محصولاتی که این ویژگی را دارند، مصالح اضافی را می‌توان در تولید دوباره استفاده کرده و یا این‌که درجایی دیگر برای بازیافت کنارگذاشت. برخی از صنایع می‌توانند عملیات خود را با استفاده از محصولات ضایعاتی که در سایت یا توسط صنایع دیگر تولید شده راه بیندازند. این روش ها ضایعاتی را که به سمت دپو می روند کاهش می‌دهند.

۲-۱-۱-۲-۲ جلوگیری از آلودگی

ویژگی جلوگیری از آلودگی بیان می کند که تولید کننده، آلودگی هوا، آب و خاک را که مربوط به فرآیند تولید است کاهش داده است. این ویژگی بیان می کند که تولیدکننده ابعادی را بکار گرفته است که از حداقل های قانونی موردنیاز بیشتر است. این کاهش آلودگی ها را می توان ازطریق پرداخت ضایعات در محل، کاهش تشعشعات یا بازچرخه آوری آبی که در فرآیند تولید استفاده می شود، بدست آورد. بسته بندی متناسب با محیط زیست نیز یکی دیگر از ویژگی های جلوگیری از آلودگی است، چراکه روش بسته بندی و انتقال یک محصول برروی مقدار کل ضایعاتی که توسط آن محصول تولید می شود، تاثیرگذار است.

۳-۱-۱-۲-۲ محتوای بازیافتی

محصولی که دارای ویژگی محتوای بازیافتی است، بخشی از آن یا تمام آن از ضایعات پسا صنعتی یا پسا مصرفی تولید شده است. بکارگیری مصالح ضایعات فرآیندهای صنعتی یا خانوارها در محصولات ساختمانی قابل استفاده، جریان ضایعات و تقاضا برای منابع طبیعی دست نخورده را کاهش می دهد.

۴-۱-۱-۲-۲ انرژی درونی مصالح[1]

انرژی درونی مصالح اشاره دارد به کل انرژی که برای تولید آن مصالح موردنیاز است که همان انرژی جمع آوری مصالح خام است. این انرژی عبارت است از انرژی سوختی که برای راه انداختن تجهیزات هرس چوب یا معدن کاری، تجهیزات پرداخت و وسایل نقلیه ای که مصالح خام را به مجموعه های پرداخت مصالح منتقل می کنند، لازم است. این انرژی معمولاً از مصرف سوخت های فسیلی که منبعی محدود و تجدیدناپذیر است، نشات می‌گیرد. اشتعال سوخت‌های فسیلی پیامدهای محیط زیستی شدیدی مانند غبار منطقه ای و باران اسیدی نیز دارد. هرچه انرژی درونی مصالح بزرگتر باشد، انرژی مورد نیاز برای تولید آن بیشتر بوده که نشان دهنده پیامدهای زیست محیطی شدیدتری خواهد بود. بعنوان مثال پرداخت چوب (که با الگویی تاب آور بریده شده است) انرژی کمتری را مصرف کرده و آلودگی کمتری را نسبت به پرداخت آهن که باید از سنگ های معدنی استخراج شود، ایجاد می‌کند.

۵-۱-۱-۲-۲ استفاده از مصالح طبیعی

مصالح طبیعی عموما انرژی درونی و سموم کمتری نسبت به مصالح ساخته دست بشر دارند. این مصالح نیاز به پرداخت کمتر داشته و آسیب کمتری را به محیط زیست وارد می کنند. اکثر آن‌ها مانند مصالح چوب بصورت

[1] Embodied Energy

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تئوریک تجدیدپذیر هستند. زمانی که مصالح طبیعی در صنایع ساختمانی به کار گرفته شوند، محصول بدست آمده تاب آوری بیشتری خواهد داشت.

۲-۲-۱-۱-۶ مصالح منطقه ای

استفاده از مصالح ساختمانی که در منطقه تولید شده است، مسافت های انتقال را کاهش می دهد لذا آلودگی هوایی که توسط وسایل نقلیه ایجاد می شود کاهش خواهد داد. غالبا مصالح منطقه ای ازنظر شرایط اقلیمی مناسب تر هستند و همچنین خرید مصالح منطقه ای، اقتصاد منطقه را تقویت می کند. استفاده از مصالح منطقه ای موجود همواره امکان پذیر نیست، اما درصورتی که لازم باشد مصالح را وارد کرد باید بصورت انتخابی بوده و تا حد امکان با حجم کم این واردات را انجام داد. بعنوان مثال استفاده تزیینی از سنگ مرمر که مسافت بسیار زیادی را طی می کند تا به سایت پروژه برسد انتخاب تاب آوری نیست. اما درصورت نیاز به مقاومت و دوام سازه ای، استفاده از فولاد توجیه پذیر است چراکه در فاصله کمتری از سایت تولید می شود.

۲-۲-۱-۲ مرحله ساختمان: استفاده

۲-۲-۱-۲-۱ کاهش ضایعات ساخت

مصالح ساختمانی بسیاری می توانند بصورت اندازه‌های استاندارد براساس مدل‌های آماده به محل اجرا آورده شوند. طراحی یک ساختمان با درنظرداشتن این اندازه های استاندارد می تواند به مقدار زیادی مصالح ضایعاتی که درطول فرآیند نصب ایجاد می شوند را کاهش دهد. استفاده کارآمد از مصالح یک اصل اساسی از تاب آوری است. مصالحی که با ابزارهای رایج براحتی نصب می شوند نیز ضایعات کلی حاصل از قطع زائده ها و متناسب سازی را از بین می برند.

۲-۲-۱-۲-۲ بهره وری انرژی

بهره‌وری انرژی ویژگی مهمی در ایجاد تاب آوری محیط زیستی برای مصالح ساختمانی است. هدف نهایی در استفاده از مصالح دارای بهره وری انرژی کاهش مقدار انرژی تولیدی است که باید به سایت ساختمان آورده شود. هزینه های بلندمدت انرژی بهره برداری از یک ساختمان بسیار وابسته به مصالحی است که در ساخت آن استفاده شده است.

بهره‌وری انرژی مصالح ساختمانی را می توان با استفاده از عواملی مانند مقدار R (عایق بندی پوشش ساختمان)، ضریب سایه، ضریب تاثیر درخشانی یا ضریب تاثیر سوخت محاسبه کرد. مصالح ترجیحی انتقال حرارت ازطریق پوشش ساختمان را کاهش داده و نیاز به گرمایش یا سرمایش را کاهش می دهند. می توان به منظور مقایسه انواع مصالح ساختمانی و نیاز به نصب آن ها، از اندازه گیری های کمی بازدهی مصالح ساختمانی استفاده کرد.

أ. مقدار R: پوشش ساختمان را معمولاً با مقدار عایق بندی آن که با مقدار R شناخته می شود، درجه بندی می‌کنند. مصالح دارای مقادیر R بالاتر عایق های بهتری هستند؛ به منظور کسب مقدار عایق بندی یکسان در مصالح دارای مقدار R پایین‌تر، باید از لایه‌های ضخیم تری از آن‌ها استفاده کرد. مقادیر R را می توان برای مصالح یکنواخت (مانند عایق بندی، دیواره، پانل چوب، آجر) یا برای المان-های سازه‌ای مرکب (مانند پشت بام، دیوارها، کف ها یا پنجره ها) محاسبه کرد. انواع زیادی از مصالح عایق بندی، از سلولز معدنی ساخته شده از کاغذ تجزیه ای گرفته تا فوم های تهیه شده از روش پتروشیمیایی، وجود دارند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ب. ضریب سایه: اگرچه که روشنایی روز ارزان ترین و دلپذیرترین شکل از روشنایی است، حرارتی که از تابش مستقیم خورشید بدست می آید بخصوص در اقلیم های آب و هوایی بسیار گرم همواره خوشایند نیست. ضریب سایه (SC) نسبت افزایش حرارت خورشیدی در پنجره های یک ساختمان مشخص نسبت به یک لایه استاندارد از شیشه دوجداره با مساحت یکسان است. این ضریب امکان مقایسه تاثیر مانع شدن در برابر خورشید را برای انواع مختلف شیشه، وسایل ایجاد سایه و الگوهای پنجره ایجاد می‌کند. ابزارهای ایجاد سایه را می توان برای جلوگیری از افزایش حرارت خورشیدی در زمان‌های مشخصی از روز یا سال طراحی کرد؛ سایبان ها غالباً برای جلوگیری از نور خورشید در تابستان استفاده شده اند اما درطول زمستان نور مستقیم را دریافت می کنند. انواع مشخص شیشه ها یا انواع نوارهای پوششی امکان انتقال حرارت قابل تنظیم را فراهم کرده ضمن اینکه از انتقال تابش فروسرخ هم جلوگیری کرده یا آن را کاهش خواهد داد.

ت. بهره وری سیستم: بیش از ٪۵۰ از هزینه های انرژی سالیانه یک ساختمان مربوط به سیستم های الکتریکی و مکانیکی است. سیستم های گرمایش، تهویه و مطبوع هوا (HVAC) باید برای بیشترین بهره وری انرژی در بیشترین سابقه درجه حرارت آن ها انتخاب شوند. سیستمی که بیشترین بهره وری را در درجه حرارت محیط دارد که در اقلیم آب و هوایی ساختمان تنها در ٪۵ اوقات تجربه می شود، لزوماً بهترین انتخاب نخواهد بود. لازم است به منظور حفظ کارکرد تجهیزات در بیشترین بهره وری، برنامه های منظم تعمیر و نگهداری نیز تنظیم شود.

۲-۲-۱-۲-۳ تصفیه/حفاظت از آب

محصولاتی که دارای ویژگی تصفیه/حفاظت از آب هستند، یا کیفیت آب را افزایش می دهند یا مقدار آب مورداستفاده در سایت را کاهش می دهند. بطور کلی این کار مقدار آبی که باید توسط سیستم های سپتیک شهری تصفیه شود را به همراه هزینه های شیمیایی و انرژی مربوط به آن ها، کاهش می دهد. این کار می تواند به دو روش صورت پذیرد: با محدود کردن فیزیکی مقدار آبی که می تواند از تجهیزات (سردوش، شیر آب، توالت) عبور کند یا توسط چرخش آبی که قبلاً به سایت وارد شده است. پساب حاصل از آشپزی یا شستشوی دست را می توان به دستشویی هدایت کرد. آب باران جمع آوری شده را می توان برای آبیاری استفاده کرد.

۲-۲-۱-۲-۴ استفاده از مصالح غیر سمی یا با سموم کمتر

مصالح غیرسمی یا با سمیت کمتر برای کارگران ساخت و ساز و ساکنین ساختمان خطر کمتری دارند. مصالح بسیاری بطور معکوس کیفیت هوای داخلی را تحت تاثیر قرار داده و ساکنین را در معرض خطرات سلامتی قرار می دهد. برخی از مصالح مانند چسب ها بخارهای خطرناکی را برای مدت زمان کوتاهی درحین نصب و پس از آن منتشر می کنند؛ مصالح دیگر می توانند کیفیت هوا درطول عمر ساختمان به تدریج کاهش دهند.

۲-۲-۱-۲-۵ عمر طولانی

مصالحی که نسبت به مصالح دیگر عمر طولانی تری دارند و برای هدف مشابهی طراحی شده اند، باید تا حد امکان جایگزین نشوند. این کار منابع طبیعی که برای تولید موردنیاز است و نیز مقدار پولی که برای نصب و کارگر مربوطه هزینه می شود را کاهش خواهد داد. مصالح بادوامی که نیاز به نگهداری کمتری دارند ضایعات کمتری را درطول عمر ساختمان ایجاد می کنند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۱-۲-۲ مرحله پس از ساخت: انهدام مصالح

۱-۳-۱-۲-۲ قابلیت استفاده مجدد

قابلیت استفاده مجدد تابعی از سن و قابلیت دوام مصالح است. مصالحی که قابلیت دوام بسیار بالایی دارند نسبت به عمر ساختمان نیز بادوام تر بوده و می توان از آن ها در یک سایت جدید نیز استفاده کرد. این مصالح ممکن است سال های زیادی از سرویس مفید را پس از اینکه ساختمانی که برروی آن نصب بوده اند از سرویس خارج شده است، باقی داشته باشند و ممکن است براحتی استخراج شده و در سایت جدید نصب شوند.

۲-۳-۱-۲-۲ قابلیت بازیافت

قابلیت بازیافت ظرفیت استفاده از یک مصالح را بعنوان منبعی در ساخت محصولات جدید، مشخص می کند. فولاد رایج ترین مصالح ساختمانی بازیافتی است که دلیل آن تا حد زیادی این است که به راحتی می توان آن را از واریزه های ساخت و ساز با آهنربا جدا کرد. شیشه نیز بصورت تئوریک قابل بازیافت است اما بکارگیری و جداسازی آن در یک سایت ویران شده دشوار است.

۳-۳-۱-۲-۲ زیست تجزیه پذیری

زیست تجزیه پذیری یک مصالح به ظرفیت تجزیه طبیعی آن پس از دورانداختن اشاره دارد. مصالح معدنی می توانند سریعاً به زمین بازگردند درصورتی که تجزیه مصالح دیگر مانند فولاد زمان زیادی می برد. نکته مهمی که باید لحاظ شود این است که آیا مصالح مدنظر در هنگام تجزیه، به تنهایی یا در ترکیب با اجسام دیگر، مصالح خطرناکی تولید می کنند یا خیر.

در ادامه انواع مختلف مصالح ساخت تاب آور و فواید، چالش ها و امکان کاربرد آن ها در ساخت و ساز ارائه خواهد شد [۴]. تمرکز این قسمت برروی مصالح طبیعی مانند مصالح پایه چوب و حصیر و مصالح پایه سنگی و همچنین مصالح بازیافتی خواهد بود. همچنین امکان استفاده از بتن بصورتی که تاب آوری بیشتری داشته باشد نیز ارائه خواهد شد.

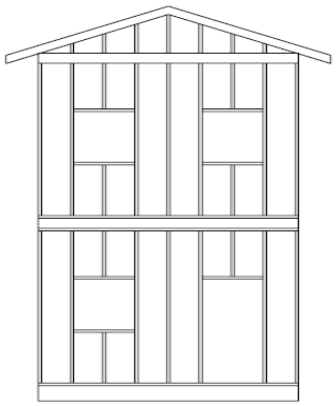
۲-۲-۲ ساخت و ساز چوبی و حصیری

مصالح پایه چوبی و حصیری برای انواع مختلف ساخت و ساز انعطاف پذیر بوده، قابلیت کارکرد بدون نیاز به مهارت و سطح تجربه فنی بالا داشته و ساخت و ساز سبکی را ایجاد خواهند کرد. یکی از مشکلات اصلی مربوط به این مصالح ضد حریق نبودن آن ها است.

۱-۲-۲-۲ ساخت و ساز با الوار

شش نوع اصلی از ساخت و ساز چوبی وجود دارند که عبارتند از: کاه گل، سازه قابی پایه و تیر (اعضای قطری به منظور ایجاد دیوار برشی استفاده می شوند، شکل (۲- ۱))؛ دیوارهای با شبکه بامبویی و پایه (وافل و اندود)؛ قاب-های چوبی با یا بدون میانقاب؛ قاب های یکپارچه دیوارپایه که درآن ستون ها با صفحه تخته چندلایه/گچ و مهارهای پوششی و قطری به صفحات بالا و پایینی متصل می شوند؛ سازه پانل چوبی (دیوارها و کف ها دارای اعضای چوبی لایه بندی شده هستند) و سازه لوگ (لوگ های الوار افقی دارای مقاطع عرضی و بدون کمربند).

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱) یک نوع رایج سازه چوبی پایه و تیر [۴]

سازه های برپایه اسکلت و تیر رایج ترین سازه ها هستند. یک خانه متعارف قاب چوبی برروی فونداسیون بتنی ساخته می شود که با بولت/اتصال به یک پلتفرم برروی آن مهار می شود و با تخته چند لایه پوشانده می شود. برروی این پلتفرم، دیوارهای داخلی و خارجی بااستفاده از پایه های الوار عمودی که به اعضای مقطعی و پانل-ها/اعضای افقی متصل هستند و مصالح نمای ساختمان به آن ها گیردار می شوند، ساخته می شوند. بطور مشابه با کف اولیه یک کف ثانویه را می توان برروی اعضای عمودی ساخت که بعنوان فونداسیون برای دیوارهای طبقه دوم عمل کند.

۲-۲-۲-۲ مزایا و مضرات الوار

چوب یکی از منابع تجدیدپذیر است. انواع مختلفی از چوب بسته به کشور و ناحیه موردنظر استفاده می شود. چوبی که بصورت قانونی و تاب آور تولید شود بیشترین دوستداری طبیعت در میان مصالح متعارف ساختمان خواهد بود؛ کمترین مقدار گاز گلخانه ای را تولید کرده و کمترین انرژی را در طول فرآیند تولید نیاز خواهد داشت و در طول چرخه عمر ساختمان ها و دیگر ساخت و سازها توانایی حفظ کربن را دارند. چوب مصالح قوی و انعطاف پذیری است که همراه با تقویت برای نواحی زلزله خیز مناسب است. کار با این مصالح حتی بدون مهارت نیز آسان بوده و تعمیر و تغییر طراحی آن راحت است. استفاده از چوب باید با مقدار منابع جنگل منطقه ای متناسب باشد: جنگل زدایی در برخی از مناطق مشکل مهمی است. دانستن منشاء چوبی که استفاده می شود و عدم استفاده از گونه های چوب خام، بسیار حیاتی است.

کیفیت الوار برروی کیفیت ساخت و ساز تاثیر می گذارد: اندازه، مقدار، موقعیت و شکل شاخه ها برروی مقاومت چوب تاثیر می گذارند. استفاده از چوب در ساخت و ساز مشکلاتی ایجاد می کند که برخی از آن ها عبارتند از: چوب براحتی می سوزد؛ ساخت و سازهای اتصال قابی با چسب فضای زیادی را برای عایق بندی ایجاد نمی کنند؛ و اینکه تغییرات وارد بر آن درحضور رطوبت و آفتاب می تواند برای ساکنین سمی باشد. همچنین خانه های چوبی غالباً مقدار قابل توجهی از مصالح متصل دیگر مانند محصولات فلزی و مصالح عایق بندی را دارند که برروی نیمرخ کلی چشم انداز خانه تاثیر خواهد گذاشت.

بطور کلی استفاده از چوب در ساخت و ساز در سرتاسر جهان مرسوم است. بااین‌که چوب مصالح ساخت بسیار مناسبی است، اما همواره در منطقه موجود نیست. باید هزینه های نقل و انتقال و کاشت دوباره درخت ها در منطقه ای که چوب از آن برداشت می شود، درنظرگرفته شود. از نظر اکولوژیکی استفاده از چوب بعنوان مصالح ساختمانی تن‌ها درصورتی قابل توجیه است که درخت ها دوباره کاشته شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۲-۲ بامبو

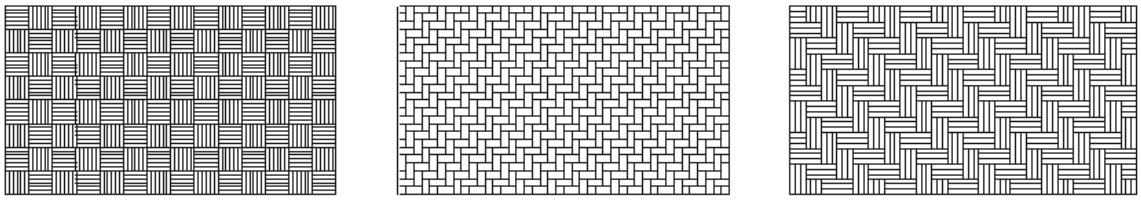
بامبو مصالح ساختمانی بسیار مناسبی برای ساختن خانه است. در بسیاری از کشورهای آمریکای لاتین و آسیا، خانه بامبویی یک پدیده روستایی عمده است که براساس تولید محلی و پرداخت مصالح خام بوجود می آید. درصورتی که مسکن بامبویی موردپذیرش ساکنان شهر نیز بود، نیاز به توسعه کاشت بامبو وجود داشت که بازارهای مسکن شهری را برای ساخت بامبویی تامین کند. مطابق با مطالعه مسکن بامبویی برای شهر Guayaquil در اکوادور معمار Simon Valez از بامبو با نام "فولاد گیاهی" نام می برد. هم‌چنین گفته می‌شود: "... به تدریج پس از اینکه سایت مستحکم شد، خانه ساکنان به خانه ای بتنی تبدیل خواهد شد". این موضوع بدین خاطر است که در نهایت ساکنان ترجیح می دهند خانه ای با مصالح آجری ساخته شده باشد (خانه های آجری احساس بهتری نسبت به خانه های بامبویی می دهند؛ بسیاری از خانوارها معتقدند که بامبو مصالح ضعیفی برای ساخت و ساز انسانی است). استفاده از بامبو بعنوان مصالح ساخت در مسکن های شهری همچنان محدود است. اما این مصالح بادوام بوده و حتی می تواند در برابر زلزله مقاوم باشد. پیشرفت های فناوری نیز همانطور که در شکل (۲- ۲) در اتصالات گوشه جدید مشاهده می شود، امکان پذیر است. بامبو را می توان برای اهداف زیادی مانند جداسازی دیوارها، طبقات، سقف ها، بام ها، پایه ها و قاب های پنجره مورداستفاده قرار داد. همچنین در سایت های ساخت و ساز بعنوان قالب بندی نیز استفاده می شوند. بااین حال، استفاده از بامبو بعنوان مصالح ساخت اصلی در نواحی متراکم شهری موردانتظار نیست [۵].



شکل (۲- ۲) اتصالات گوشه بامبو جدید که برای ساخت خانه مناسب است [۵]

قاب سازه ای بامبویی مشابه با قاب الوار سنتی است. ساقه های ضخیم تر بامبو برای فشار قائم مناسب هستند، درحالی‌که ساقه های نازک‌تر در کشش افقی مقاوم‌تر هستند. کف ها معمولاً بصورت تیرهایی با عرشه کف هستند که دارای ساقه های کوچک بامبو؛ بامبو جداشده یا مسطح؛ کفپوش های بامبو؛ پانل ها یا پارکت ها هستند. دیوارها از ساقه های نصف شده عمودی بامبو که با روش های مختلفی پوشیده شده اند، ساخته می شوند. غالباً از خرپاهای بامبو در پشت بام استفاده می شود زیرا دهانه های بلندی را ممکن می سازند. پوشش پشت بام را می‌توان از هم پوشانی ساقه های نصف شده، کاشی ها، توفال یا کفپوش (شکل (۲- ۳)) ساخت. به منظور مقاومت در برابر زلزله، باد و طوفان، برخورداری از دیوارها، پشت بام و کف های نفوذپذیر؛ اتصالات قوی؛ مقاومت در برابر برش درون صفحه ای و مهار مناسب ستون های بامبو به داخل فونداسیون، اهمیت دارد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۳) مثال هایی از صفحات گسترده بافته شده از بامبو [۵]

۲-۳-۲-۱ مزایا و چالش های بامبو

کاشت بامبو آسان و سریع است و می توان از آن بدون تکنیک یا ابزار پیچیده ای استفاده کرد. این مصالح قوی و سبک بوده و مقاومت مناسبی دربرابر باد، زلزله و طوفان ها دارد. بطورخاص بامبو برای مناطق نیمه حاره ای و حاره ای مناسب است و می توان از آن در نواحی مختلفی استفاده کرد. این مصالح مقاومت کششی و ابعاد مناسبی دارد که غالباً در ساخت و ساز بدون برش یا قطع قابل استفاده است. درصورتی که آموزش مناسبی وجود داشته باشد، ویژگی سرمایه اولیه پایین، بامبو را به انتخاب مناسبی برای خانوارها و جامعه های کم درآمد تبدیل کرده است.

مشکلات بامبو عبارتند از: تخریب زیست محیطی؛ پوسیدگی، آفت، قارچ یا هجوم حشرات؛ قابلیت اشتعال؛ طول عمر کوتاه و اتصالاتی که اگر با دقت اجرا نشوند می توانند سازه را ضعیف کنند. طراحی سازه ای، اتصال، نگهداری و آیین نامه ساخت آن ها به اندازه سازه های چوبی توسعه پیدا نکرده است. به منظور دستیابی به بامبو با کیفیت مناسب چالش هایی وجود خواهد داشت و گوناگونی در اندازه و قطر می تواند مشکلاتی را ایجاد کند. علاوه براین، بامبو تمایل به خوردشدگی و گسستگی دارد.

۲-۳-۲-۲ عوامل تاثیرگذار بر قابلیت دوام بامبو

قابلیت دوام بامبو بسته به گونه های آن، طول ساقه و ضخامت دیواره متفاوت است. قسمت های پایینی ساقه و قسمت خارجی دیواره سخت تر هستند. روش بریدن، نگهداری و انتقال بامبو برروی قابلیت دوام آن تاثیرگذار است. از آنجایی که بامبو باید قبل از استفاده خشک شود، تنها گونه های منطقه ای مناسب باید استفاده شده و خشک شوند. محافظت دربرابر آب ازطریق ایجاد مجرا به خارج از پشت بام، استفاده از پیش آمدگی های لبه بام و شیروانی های شیبدار و ساخت برروی پایه های چوبی یا فونداسیون های بالاتر، اهمیت زیادی دارند. جزئیات بندی دقیق می تواند از ورود حشرات موذی جلوگیری کند. همچنین اتصالات و عمل آوری مهمترین عواملی هستند که برروی قابلیت دوام بامبو تاثیرگذارند.

۲-۳-۲-۳ عمل آوری بامبو

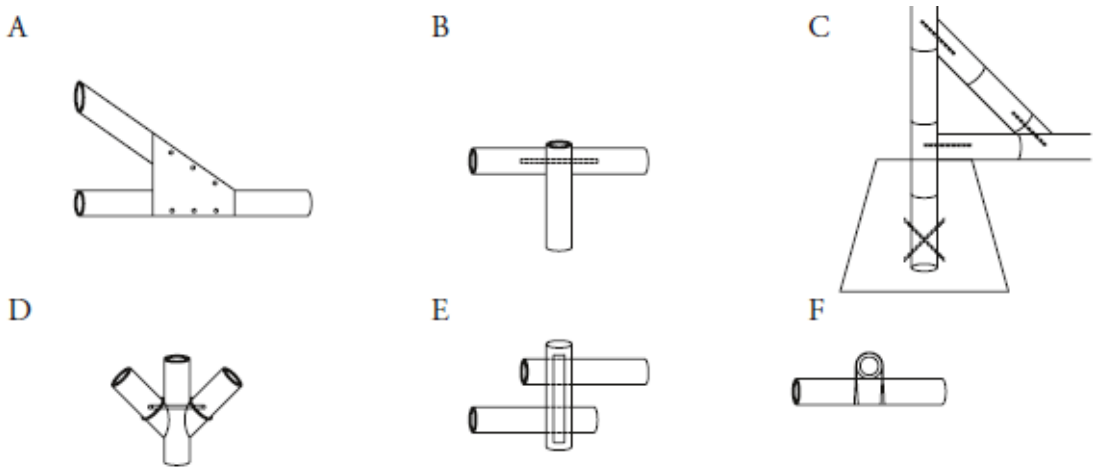
بامبو بدون عمل آوری طول عمر ۱ تا ۵ ساله، با محافظت دربرابر باران ۴ تا ۷ ساله و درصورتی که بعنوان لاپه-های داخلی قاب استفاده شود عمر ۱۰ تا ۱۵ ساله خواهد داشت. روش‌های سنتی عمل آوری عبارتند از دود دادن از طریق قراردادن ساقه های بامبو در بالای آتش؛ سفیدکاری در جایی که ساقه ها و سطوح بامبو با آهک آبدیده رنگ شده باشند؛ ترکیبی از قیرپاشی، ماسه پاشی و سفیدکاری کفپوش ها؛ دوغاب ریزی؛ عمل آوری (ساقه ها در محل روباز رها می شوند تا افتادگی آن ها برطرف شود)؛ مستغرق سازی و خشک کردن (برای چند هفته در معرض آب گذاشتن و سپس در سایه و در معرض هوا آن ها را خشک کردن). عمل آوری های سنتی را می توان تقریباً بصورت آزادانه و با مهارت کمی انجام داد اما هیچ تضمینی برای افزایش قابلیت دوام آن ها وجود ندارد. عمل آوری های شیمیایی می توانند عمر خدمت بامبو را تا ۱۵ سال در محیط باز و تا ۲۵ سال در صورت قرار

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

دادن پوشش افزایش دهند. عمل آوری های شیمیایی عبارتند از عمل آوری لب به لب؛ مستغرق سازی سرد؛ عمل آوری با فشار؛ فرآیند حمام سرد و عمل آوری خط چسب.

۲-۲-۳-۴ اتصال بامبو

به‌علت مقطع گرد بامبو، اتصالات آن با الوار متفاوت است. در اتصالات سنتی طناب پیچی همراه با اتصالات وصله دار (ساقه ها برای تشکیل اعضای بلندتر به یکدیگر متصل می شوند)؛ اتصالات متعامد (شامل اتصالات لب به لب و اتصالات متقاطع)؛ اتصالات زاویه دار و اتصالات سرتاسری (ساقه کوچکتر به داخل ساقه بزرگتر می رود) استفاده می شود. روش های اتصال مدرن قوی تر بوده اما گران تر و پیچیده تر هستند. این روش ها عبارتند از: گاست پلیت ها (تخته چندلایه یا صفحات یکپارچه با لبه الوار)؛ اتصالات ITCR (تخته چندلایه در المان های اتصالی به مربع ها چسبیده است)؛ اتصالات قوسی (ورود چوب به دو انتها)؛ گیره das (مقاطعی که با نوارهای فولادی بولت شده اند)؛ اتصال Gutierrez (یک میلگرد فولادی جوشی از المان عبور می کند)؛ متصل کننده های فولادی یا پلاستیکی به همراه ناخونک و پیچ (شکل (۲- ۴)).



شکل (۲- ۴) انواع مختلف اتصالات بامبو: A- اتصالات گاست پلیت- B- اتصال ITCR- C- پایه بتنی پیش قالب شده- D,F: اتصالات سنتی که با بستن ایجاد شده. E: اتصال سرتاسری

۲-۲-۳-۵ بامبو مهندسی

بامبو مهندسی می تواند روشی برای افزایش استفاده از بامبو در ساخت و ساز باشد. مقدار محصولات بامبویی صنعتی موجود هنوز زیاد نیست. بااین حال پیش از این ۲۸ نوع محصول مرکب بامبو و الوار و پانل (BCL) وجود دارد که برای اهداف ساخت غیرسازه ای از جمله محصولاتی مانند صفحات نواری بامبو (BSB) و صفحات کف بامبو لایه ای در دسترس است. برخی از محصولات بامبو علاوه بر کاشت راحت تر و سریع تر نسبت به چوب، حتی می توانند برای برخی از استفاده های خاص نسبت به چوب برتری داشته باشند. زمانی که تحقیقات و صنایع مرتبط محصولات باربر سازه ای بامبو را توسعه دادند، پتانسیل استفاده از بامبو در ساخت و سازهای مختلف افزایش یافته که در نتیجه استفاده وسیع تر از بامبو بعنوان مصالحی برای معماری سبز را پشتیبانی خواهد کرد.

۲-۲-۴ مصالح خاک پایه

حدود یک پنجم جمعیت جهان در ساخت و سازهای مصالح خشتی یا متراکم زمین زندگی می کنند. مصالح خاک پایه و سنگی بطورکلی مصالح تجزیه پذیر با تاثیر محیط زیستی اندک، انرژی درونی بسیار پایین در مقایسه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

با بتن و ظرفیت های مناسب عایق حرارت و صدا هستند. ساخت آن ها سریع و اقتصادی بوده و طبیعی، سالم و غیراشتعال پذیر هستند. کف، بام و دیوارهایی که با مصالح خاکی ساخته شده اند می توانند حرارت را جذب و ذخیره کنند که بطور خاص می تواند برای اقلیم های گرم و خشک سودمند باشد. برخی از مصالح سنگی نیاز به انرژی زیادی دارند تا استخراج و تجزیه شوند و این فرآیند می تواند به منظره نیز آسیب بزند اما بطورکلی مصالح سنگی نتراشیده دوستدار محیط زیست هستند. دیگر چالش های مصالح سنگی شامل مقاومت کششی ناکافی است که باعث می شود در زلزله ها و طوفان های شدید تاب آوری نداشته باشد. اما می توان تاب آوری را با طراحی ضدزلزله و روش های مهندسی افزایش داد.

خاک یکی از قدیمی ترین مصالحی است که برای ساخت ساختمان در مناطق روستایی استفاده شده است. فواید خاک بعنوان مصالح ساختمانی عبارتند از:

أ. در برابر آتش مقاوم است.
ب. نسبت به اکثر مصالح جایگزین دیوار ارزان تر است و در اکثر سایت های ساختمانی به سادگی در دسترس است.
ت. ظرفیت گرمایی بسیار بالایی دارد که این امکان را برای آن فراهم می کند تا سرمای داخل ساختمان را زمانی که فضای بیرون گرم است حفظ کند و برعکس.
ث. جذب کننده صدای خوبی است.
ج. با ابزارها و مهارت های ساده کار با آن راحت است.

با وجود این ویژگی های مناسب، خاک بعنوان مصالح ساختمانی دارای نقاط ضعف زیر نیز است:

أ. مقاومت کمی دربرابر نفوذ آب دارد که باعث خردشدن و گسیختگی سازه ای آن می شود.
ب. ضریب جمع شدگی و تورم بسیار بالایی دارد که درصورتی که در معرض شرایط تغییرات آب و هوایی قرار گیرند، باعث ترک های اصلی سازه ای می شوند.
ت. مقاومت کمی دربرابر ساییدگی دارد و در صورت استفاده در ساخت ساختمان نیاز به تعمیرات و نگهداری مکرر دارند.

با این حال راه های زیادی برای غلبه بر این نقطه ضعف ها و ایجاد یک مصالح ساختمانی مناسب برای اهداف گوناگون وجود دارد.

۱-۴-۲-۲ دسته بندی خاک ها

واژه‌های خاک و زمین زمانی که در ساخت و ساز ساختمانی استفاده می شوند مترادف هستند و به لایه خاک زیرین اشاره دارد و نباید با تعریف زمین شناسی یا کشاورزی خاک اشتباه شوند. تعاریف مذکور شامل مصالح خاکی آلی هوازده در لایه فوقانی (نباتی) است. معمولاً لایه فوقانی یا خاک نباتی قبل از اینکه کارهای مهندسی آغاز شود و یا قبل از اینکه خاکبرداری به منظور برداشت خاک بعنوان مصالح ساختمانی انجام شود، برداشته می‌شود. گل ترکیب یک یا چند نوع خاک با آب است. روش‌های مختلفی برای طبقه بندی انواع خاک وجود دارد: براساس منشاء زمین شناسی، براساس محتوی معدنی (ترکیب شیمیایی)، براساس اندازه ذرات یا براساس پیوستگی (که معمولا با محتوی رطوبتی آن در ارتباط است) [۶]. در ادامه چند نوع از طبقه بندی خاک هایی که برای ساخت و ساز مناسب هستند ارائه خواهد شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ساختمان های سنتی کویری با توجه به توزیع وسیع خود، با انواع مختلفی از خاک ها ساخته شده اند. سه نوع اصلی خاک وجود دارد که بطور وسیعی مورداستفاده قرار گرفته اند، اما تنها دو مورد آخر مربوط به محیط های کویری است [۷].

أ. خاک هایی که بصورت درجا تشکیل شده اند (خاک های پس ماند)- اینگونه خاک ها و بخصوص لایه های فوقانی خاک آلی بصورت طبیعی در کویرها بسیار کمیاب هستند. این خاک ها درصورت وجود می توانند مربوط به باقیمانده های اقلیم های آب و هوایی پیشین بوده و براثر هوازدگی سنگ اصلی زیرین خود توسعه یافته اند. استفاده از لایه های خاک آلی فوقانی برای ساخت و ساز ممنوع است اما خاک های سنگی بسیار درشت دانه قابل استفاده هستند به شرطی که مخلوطی از خاک ریزدانه تر نیز موجود باشد.

ب.خاک های حمل شده توسط رودخانه/سیل (خاک های آبرفتی)- این گونه خاک های انواع مختلفی دارند، اما نهشته های یکنواخت رس، ماسه، شن و ساختارهای قلوه سنگی این نوع خاک ها برای سازه های زمینی مناسب نیستند مگراینکه دانه بندی آن ها را بتوان با ترکیب با مصالح دیگر اصلاح کرد. انواع خاک سیلتی (لای) مناسب ترین خاک برای ساخت و ساز هستند بخصوص اگر دارای درصد کمی رس و درصدی از ماسه با دانه بندی ریز تا متوسط باشند. خاک های رسی آبرفتی در کویر بسیار کمیاب هستند، اما باید از آن ها خودداری کرد. چراکه قبل از استفاده، کار با آن ها دشوار و زمان بر بوده با وجود اینکه به خوبی سخت می شوند، اما مستعد جمع شدگی، تورم، ترک خوردگی و تغییرشکل قابل توجهی هستند. بطور کلی شن های وادی و خاک های ماسه ای که معمولاً حجم پایداری دارند، مناسب نیستند زیرا ضعیف بوده و مستعد ساییدگی و بسیار نفوذپذیر هستند. بااین حال، خاک هایی که دارای مقدار قابل توجهی نمک کلسیم، سدیم یا پتاسیم هستند بصورت موفقیت آمیزی استفاده شده‌اند.

ت.رس سیلیت دار، خاک های سیلتی بادآورده- این نوع خاک ها معمولاً برای سازه های خاکی بسیار مناسب هستند، بخصوص اگر دارای مقدار کمی رس و مقدار زیادی کربنات باشند.

خاک ها براساس اندازه ذره نیز گروه بندی و نام‌گذاری می شوند. این نام‌گذاری در جدول (۲- ۱) نشان داده شده است:

جدول (۲- ۱) طبقه بندی ذرات خاک بر اساس اندازه

مصالح	اندازه ذرات (mm)
شن	۶۰ تا ۲ میلیمتر
ماسه	۲ تا ۰.۰۶ میلیمتر
لای	۰.۰۶ تا ۰.۰۰۲ میلیمتر
رس	کوچکتر از ۰.۰۰۲ میلیمتر

۲-۴-۲-۲ دسترسی خاک ها و ارزیابی مناسب بودن آن ها

یک هدف اقتصادی مهم این است که از خاک نزدیک محل ساخت و ساز استفاده شود تا حمل مصالح حداقل شود. در صورتی که منابع محلی محدود باشند یا برای استفاده کشاورزی اهمیت داشته باشند، می توان خاک ساختمان قدیمی را دوباره استفاده کرد. بااین حال ممکن است مجبور به دستیابی به خاک های مخصوص (مانند رس های آجرساز، خاک هایی که بعنوان پوشش یا بافت ضدآب پشت بام استفاده می شوند) از موقعیت های دورتر شد. منابع قرضه محلی برای ساخت و ساز کلی ممکن است کم عمق باشد یا در برخی از موقعیت ها،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ممکن است مصالح به سادگی از سطح زمین پیرامونی برداشت شوند. درمقابل، این منابع ممکن است از منابع قرضه عمیق که برخی اوقات دو یا چند لایه را ترکیب می کنند تا مخلوط مدنظر بدست آید، حاصل شوند.
غالبا مناطق منبع قرضه بعدا تخلیه می شوند اما حضور آن ها ممکن است برروی شرایط زمین تاثیرگذارند بعنوان مثال زمانی که نواحی شهری برروی آن ها توسعه می یابند. معمولاً درجایی که سکونت گاه های قدیمی مصالح خاک ساختمان را برای دوره طولانی تجزیه کرده اند، توپوگرافی در طول زمان افزایش می یابد، اما این مسئله می تواند مفید باشد چراکه سکونت گاه را از رویدادهای سیل متمایز محافظت کند. در زمان های قدیم، محتویات مخلوط مناسب خاک محلی از تجربیات پیشین با مشاهده کاربری قبلی آن، تولید و عملکرد منطقه ای تعیین می شد. درصورتی که هیچ سرنخی از استفاده منطقه ای نبوده باشد، معمولاً دلیل فنی برای آن وجود دارد. بااین حال، خاک هایی که برای ساختمان پیشنهاد می شوند را می توان با روش های میدانی تجربی مانند رنگ، دستکاری، رطوبت دادن، پهن کردن و حتی بو کردن تشخیص داد. امروزه این آزمایشات مشاهداتی بصورت تست های استاندارد آزمایشگاهی خاک منعکس شده اند.
معمولاً هردو روش آزمایشگاهی و میدانی برای عملیات محافظت از ساختمان های تاریخی استفاده می شوند. کیفیت مطلوب عموماً مربوط به برخورداری از مخلوط کافی، محتوی رطوبت و توالی تولید صحیح است. در کویرهای داغ، با وجود اینکه قابلیت قالب درآوردن، تراکم، جمع شدگی و چگالی و لذا مقاومت همگی پارامترهای وابسته به یکدیگر هستند حفظ رطوبت مداوم بسیار حیاتی است. بااین حال، عملکرد پیشین خاک بهترین شاخص از مناسب بودن آن برای ساخت و ساز است. امروزه روش های اصلی تعیین مناسب بودن فنی یک خاک براساس توزیع اندازه ذرات آن است که در ادامه پلاستیسیته و مقاومت فشاری محصورنشده آن در حالت خشک باید تعیین شود. هر پروژه بزرگی باید امکانات تست آزمایشگاهی را در محل پروژه داشته باشد تا این پارامترها را بااستفاده از فرآیندهای استاندارد ملی یا بین المللی مناسب تعیین کند. آزمایش هایی که برای ارزیابی مناسب بودن خاک ها و کنترل منبعی که برای ساخت و ساز خاکی استفاده می شود، در جدول (۲- ۲) آمده است:

جدول (۲- ۲) پارامترهای رایج برای ارزیابی مناسب بودن خاک [۷]

پارامتر	توضیح
توزیع اندازه ذرات	احتمالاً مفیدترین پارامتر است. مستقیماً با مناسب بودن خاک برای ساختمان در ارتباط است. محدوده مجاز اندازه وسیع است. محتوی لای می تواند از ۳۰ تا ۶۰ درصد و محتوی ماسه از ۲۰ تا ۵۰ درصد متغیر باشد. بطور ایده آل محتوی رس باید بین ۵ و ۱۰ درصد باشد. معمولاً خاک هایی که برای اهداف ساخت ساختمان مناسب هستند دارای دانه بندی مناسبی هستند بدین معنی که حاوی مخلوطی با اندازه های مختلف ذرات مشابه نسبت های جدول ۱ هستند تا تمامی حفرات بین ذرات بزرگ تر با ذرات کوچکتر پر شوند. بسته به مورد استفاده از خاک، حداکثر اندازه ذرات باید بین ۴ تا ۲۰ میلیمتر باشد.
معدن شناسی	نیاز به فرآیندهای آزمایش خاک شناسی دارد که معمولاً بصورت منطقه ای وجود ندارد و کاربرد عملی محدودی دارد. این پارامتر می تواند درصورتی مرتبط باشد که خاک حاوی رس های متورم باشد یا در جایی محصولات تجزیه سنگی در یک دیوار استفاده شده و بصورت درجا شکست آن ها ادامه داشته باشد.
نوع و مقدار رس	محتوی کلی رس مفید است زیرا تعیین کننده اصلی جمع شدگی درهنگام خشک شدن است. عموماً مقدار رس را می توان از فعالیت رس (نسبت PI به درصد رس) که از طریق آزمایشات آتربرگ تعیین می شود، محاسبه کرد. دقت شود که رس های مونت موریلونیت و smectite زمانی که مرطوب هستند متورم می شوند و باید از آن ها خودداری کرد. درصد رس اهمیت زیادی در سازه های خاکی دارد زیرا ذرات بزرگتر را به

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

	یکدیگر می چسباند. بااین حال خاک های دارای مقدار رس بیشتر از ۳۰٪ نسبت های جمع شدگی/تورم زیادی دارند که همراه با تمایل آن ها به جذب رطوبت، ممکن است باعث ترک های قابل توجه در محصول نهایی شود. خاک های دارای رس بالا نیاز به درصدهای بالایی از پایدارساز یا ترکیبی از پایدارسازها دارند.
نمک ها	خاک هایی که دارای نمک های محلول هستند قابل استفاده اند، کربنات ها مطلوب ترین نمک ها هستند. خاک هایی که سولفات و کلورید زیادی دارند ممکن است بطور موفقیت آمیزی استفاده شوند اما زمانی که در شرایط مرطوب استفاده شوند یا در تماس با آجر، سنگ یا بتن باشند باعث ایجاد مشکل می شوند.
محتوی رطوبتی	خاک خشک درصورتی در سازه ساختمانی قابل پذیرش است که بین ۲ تا ۵ درصد رطوبت داشته باشد. بالاتر از این مقدار رطوبت می تواند برای مقاومت خاک مضر باشد و ممکن است باعث هجوم حشرات، از بین رفتن چوب و شکفتگی نمک شود. رطوبت موضعی می تواند باعث تورم خاک و آسودگی چگالی شود. افزایش رطوبت می تواند باعث تغییرشکل پلاستیک، ریزش دیوار و حتی گسیختگی فاجعه بار آن شود چراکه مقاومت دیوار کاهش یافته است.
آزمایشات حدود آتربرگ	تست های آزمایشگاهی مهم که برای تعیین محدوده رطوبتی که تا آن رطوبت خاک جامد است، حجم پایدار، قابلیت قالب درآمدن یا بهم ریختگی خاک استفاده می شود. رس ها ویژگی های فیزیکی و شیمیایی متنوعی دارند. بعلت ذرات بسیار ریز آن، بررسی خواص آن بسیار دشوار است اما برخی از آن ها را می توان بصورت متعارف ازنظر پلاستیسیته بااستفاده از آزمایش های استاندارد بیان کرد. بسته به مقدار رطوبت یک خاک، ممکن است مایع، پلاستیک، نیمه جامد یا جامد باشد. با خشک شدن یک خاک محتوی رطوبتی آن و حجم نمونه کاهش می یابد. یک خاک با محتوی رطوبتی بسیار بالا تحت وزن خود جریان یافته و به آن مایع گفته می شود. در حد روانی محتوی رطوبتی کاهش یافته است تا جریان یافتن خاک متوقف شده و تبدیل به پلاستیک شود و زمانی که نیرو اعمال شود بطور مداوم تغییرشکل داده اما با برداشتن نیرو، شکل جدید خود را حفظ می کند. کاهش بیشتر رطوبت در نهایت منجر به خوردشدن خاک تحت بار شده و دیگر تغییرشکل پلاستیک نمی دهد. محتوی رطوبتی در این نقطه بعنوان حد پلاستیک شناخته می شود. اختلاف عددی بین محتوی رطوبتی در حد روانی و حد پلاستیک بعنوان شاخص پلاستیسیته شناخته می شود. هردو حد روانی و شاخص پلاستیسیته تحت تاثیر مقدار رس و نوع رس های معدنی موجود هستند. حد روانی و شاخص پلاستیسیته بالا بیانگر خاکی است که تمایل به آب زیادی دارد و لذا مستعد حرکات رطوبتی بیشتر است که می تواند باعث ایجاد ترک شود. بعنوان یک دستورالعمل، حد پلاستیک باید در محدوده ۱۵ تا ۲۵ درصد باشد و حد مایع بالاتر از ۴۰ درصد باشد. برخورداری از شاخص پلاستیسیته در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد مطلوب است. تست های آتربرگ و نیز محتوی رس را می توان برای تعیین مقادیر فعالیت رس و لذا تشخیص نوع رس استفاده کرد.
دانسیته خشک	دانسیته آجرهای خشتی سنتی معمولاً از ۱.۲ تا ۱.۵ مگاگرم بر متر مکعب متغیر است، اما زمانی که با مخلوطی خشک تر قالب بندی شوند می توانند چگالی ۱.۶ مگاگرم بر مترمکعب را کسب کنند. خاک کوبیده شده معمولاً بین ۱.۴ تا ۱.۸ مگاگرم بر مترمکعب چگالی دارد اما درصورتی که بخوبی متراکم شود می تواند تا چگالی ۲.۲ مگاگرم بر مترمکعب نیز کسب کنند. روش های کنترلی جدید و شیوه های تراکم خاص به همراه محتوی اندک رطوبتی می تواند بلوک های خاکی و دیوارهای خاک کوبیده ای تولید کند که چگالی های خشک آن ها بیشتر از ۲.۵ مگاگرم بر مترمکعب است.
جمع شدگی	جمع شدگی را می توان با کنترل دقیق دانه بندی خاک و محتوی رس یا ازطریق کاهش محتوی رطوبتی، افزایش تراکم و اطمینان از اینکه خشک شدن خاک آهسته و یکنواخت است، کمینه ساخت. همچنین می توان از افزودنی های پایدارساز به منظور کاهش جمع شدگی استفاده کرد.
مقاومت	مقاومت فشاری محصورنشده در محتوی رطوبتی محیط می تواند بین ۰.۵ تا ۵ نیوتن بر میلی متر مربع باشد و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

	مخلوط های غیریکنواخت مقادیر مقاومت پایین تری خواهند داشت. تثبیت خاک می تواند این امکان را برای خاک های اشباع فراهم کند تا مقاومت های قابل توجهی را حفظ کنند. هدف نهایی برای تمامی المان های خاک پایه در یک سازه باید این باشد که مقاومت ها و سختی های یکسانی داشته باشند چراکه سطوح گوناگون این مقادیر می تواند باعث تنش های غیرقابل قبول شود. درصورتی که محصول خاک ضعیف باشد، دیوارها ضخیم تر ساخته می شوند به نحوی که تا ضخامت ۱ متر نامتعارف نیست و این کار می تواند به نیازمندی های عایق بندی حرارتی نیز کمک کند.
قابلیت فرسایش	هیچ روش استانداردی برای تعیین قابلیت فرسایش وجود ندارد اما روش های تجربی در اکثر پروژه های مهم تجهیز شده اند و همراه با مشاهده میدانی مستقیم درجه بندی دانه بندی در سازه های موجود در محل است که دستورکار مفیدی را در اختیار می گذارد.

طرح اختلاط‌های کمی مستقیما برای ساخت ساختمانی نتایج قابل قبولی داشته اند. با این حال اختلاط‌های زیادی را می توان با اصلاح این طرح اختلاط ها و اضافه کردن پایدارساز برای ایجاد مصالح ساختمانی مناسب توسعه داد. نمونه ای از این طرح اختلاط برای انواع سازه های ساختمانی که با مصالح خاکی ساخته می شوند، در جدول (۲- ۳) نشان داده شده است.

جدول (۲- ۳) دانه بندی خاک مناسب برای ساخت

استفاده	رس ٪	لای ٪	رس و لای ٪	ماسه٪	شن٪	ماسه و شن٪	قلوه سنگ٪	معدنی٪	نمک های محلول٪
دیوارهای خاکی کوبیده	۵-۲۰	۱۰-۳۰	۱۵-۳۵	۳۵-۸۰	۰-۳۰	۵۰-۸۰	۰-۱۰	۰-۰۳	۰-۱.۰
بلوک های خاکی فشرده	۵-۲۵	۱۵-۳۵	۲۰-۴۰	۴۰-۸۰	۰-۲۰	۶۰-۸۰	-	۰-۰۳	۰-۱.۰
آجرهای گلی (خشت)	۱۰-۳۰	۱۰-۴۰	۲۰-۵۰	۵۰-۸۰	-	۵۰-۸۰	-	۰-۰.۳	۰-۱.۰
پیشنهادی طرح اختلاط ایده آل	۱۵	۲۰	۳۵	۶۰	۵	۶۵	-	۰	۰

خاک های سرخ که در مناطق استوایی و زیر استوا بطور گسترده توزیع شده است، معمولاً نتایج خوبی می دهند بخصوص اگر با سیمان یا آهک تثبیت شده باشند. خاک های سرخ بعنوان خاک های استوایی با هوازدگی بالا که حاوی نسبت های مختلف آهن و آلومینیوم اکسید هستند معرفی می شوند که به شکل رس های معدنی و مقادیر بالای کوارتز وجود دارند. رنگ آن ها از سرخ تا قرمز، بنفش تا سیاه متغیر است. هرچه رنگ این نوع خاک ها تیره تر باشد، سخت، سنگین تر بوده و مقاومت بیشتری دربرابر رطوبت دارند. برخی از خاک های رس در معرض هوا سخت تر می شوند. درصورتی که خاک موجود مناسب نباشد ممکن است با اضافه کردن رس یا ماسه اصلاح شود. بهترین خاک ها برای ساخت لای ماسه ای و لای ماسه ای-رسی است. رس ماسه ای درصورت پایدارشدن نتایج خوبی را می دهد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۴-۲-۲ روش های آزمایش خاک

همان‌طور که در مطالب فوق بیان شد، برخی از خاک ها نسبت به خاک های دیگر بعنوان مصالح ساختمانی مناسب تر هستند. بنابراین لازم است ابزاری برای شناسایی انواع مختلف خاک وجود داشته باشد. تعدادی روش از تست های آزمایشگاهی گرفته تا تست های میدانی ساده موجود هستند. تست های خاک آزمایشگاهی درصورتی پیشنهاد می شود که تولید ساختمان ها در بزرگ مقیاس (چندین خانه) مدنظر باشد.

از آنجایی که خاک ها در نواحی کوچک می توانند متنوع باشند، نمونه های خاکی که تست می شوند باید دقیقاً از محل حفاری جهت ساخت ساختمان برداشت شود. نمونه های خاک باید از چندین مکان که در کل مساحت ناحیه انتخابی توزیع شده اند، جمع آوری شوند. ابتدا باید خاک نباتی (هر خاک تیره دارای ریشه و گیاه) که معمولاً کمتر از ۶۰ سانتیمتر است، برداشته شود. سپس یک چاله با عمق ۱.۵ حفاری شده و خاک نمونه را در اعماق مختلف بین ۰.۸ و ۱.۵ متری جمع آوری شود. حجم کل موردنیاز برای تست میدانی ساده حدود یک سطل پر است درحالیکه تست آزمایشگاهی کامل حدود ۵۰ کیلوگرم خاک لازم دارد.

در آزمایشگاه، طبقه بندی براساس اندازه ذره بوسیله الک کردن مصالح دانه درشت (ماسه و شن) و توسط ته نشینی مصالح ریزدانه (لای و رس) انجام می شود. شاخص پلاستیسیته با تست حدود آتربرگ تعیین می شود. آزمایش‌های خاک تنها شاخصی از مناسب بودن خاک برای اهداف ساخت و ساز و نوع و مقدار پایدارساز مورداستفاده ارائه می دهد. بااین حال، خواص دیگری مانند کارایی و رفتار درطول تراکم نیز ممکن است روش دیگر تشخیص خاک مناسب باشد. بنابراین آزمایش های خاک حداقل در جایی که طراحی و کاربری نیاز به مقاومت و دوام دارد، باید با تست های مربوط به محصولات نهایی ترکیب شوند. معمولاً برای پروژه های کوچک یک تست ته نشینی ساده در ترکیب با یک تست جمع شدگی میله اطلاعات کافی را درباره نسبت های مختلف اندازه ذرات و خواص پلاستیک خاک در اختیار می گذارند.

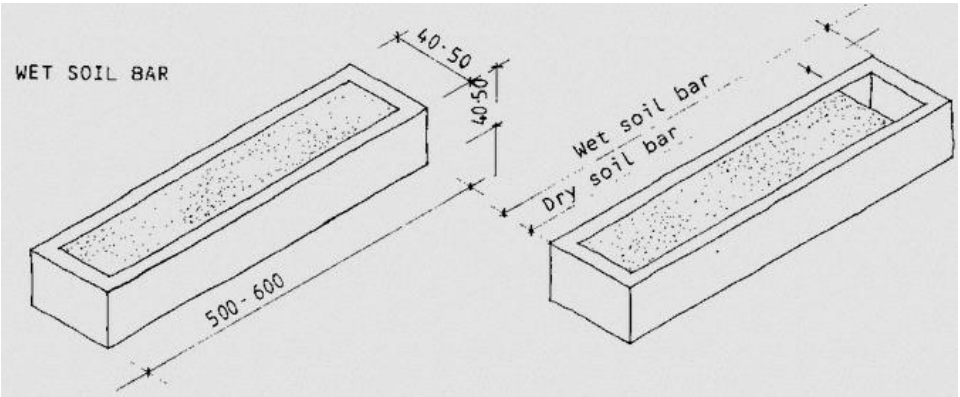
۱-۳-۴-۲-۲ تست ته نشینی ساده

این تست به دانه بندی خاک اشاره می کند و امکان محاسبه محتوی ترکیبی لای و رس را امکان پذیر می سازد. یک بطری شیشه ای تمیز بزرگ با کف صاف برداشته شده و با خاک حاصل از نمونه به اندازه یک سوم ارتفاع کامل پر شود. آب تا زمانی که بطری به اندازه دو سوم پر شود اضافه می گردد. دو قاشق غذاخوری نمک را می توان اضافه کرد تا خاک سریعتر هم بخورد. بطری را بسته و آن را محکم تکان داده و اجازه داده می‌شود تا محتویات آن برای یک ساعت ته نشین گردد. دوباره آن را تکان داده و حداقل به مدت ۸ ساعت زمان در نظر گرفته می‌شود تا ته نشین گردد. حال نمونه خاک باید خط نسبتاً متمایزی پایین تر از خطی که تک تک ذرات می توانند با چشم غیرمسلح دیده شوند، از خود نشان دهد. ضخامت لایه لای و رس ترکیب شده بالای خاک را اندازه گرفته و بعنوان درصدی از کل ارتفاع نمونه خاکی محاسبه میگردد. این تست می تواند بعلت قفل شدن برخی از لای و رس ها در ماسه و بعلت اینکه برخی از مصالح در آب بالای نمونه بصورت معلق می مانند، عدد کوچکتری نسبت به تست های آزمایشگاهی ارائه دهد. مضرات اصلی این آزمایش این است که نسبت های لای و رس را نمی توان بصورت جداگانه تعیین کرد. از آنجایی که رفتار لای با رفتار رس متفاوت است، این موضوع می‌تواند باعث نتایج نادرست درباره مناسب بودن خاک برای تثبیت و بعنوان مصالح ساختمانی شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۴-۲-۲ تست جمع شدگی میله

این تست بیانی از شاخص پلاستیسیته خاک ارائه می دهد چراکه نسبت جمع شدگی خاک در زمان خشک شدن و در حالت پلاستیک با شاخص پلاستیسیته آن در ارتباط است. یک جعبه چوبی یا فلزی بدون درپوش فوقانی و با مقطع مربعی که هر سمت آن ۳۰ تا ۴۰ میلیمتر است و طول ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتر دارد با خاک نمونه پر می-شود. خاک باید قبل از پرشدن کمی بیشتر از حد روانی با آب مخلوط شود. پیوستگی آن درصورتی صحیح است که شکاف V شکل در خاک پس از حدود ۵ ضربه آهسته به جعبه بسته شود. جعبه را گریسی یا روغن مالی کرده و آن را با خاک پر کرده و بخوبی متراکم می کنند. جعبه را برای هفت روز در سایه قرار می‌دهند. می توان با قراردادن جعبه برای یک روز در دمای اتاق و سپس در کوره ۱۱۰ درجه سانتیگراد تا زمان خشک شدن خاک، فرآیند خشک شدن را تسریع کرد. درصورتی که میله خاک پس از خشک شدن علاوه بر شکاف های انتهایی بیش از سه ترک بزرگ داشته باشد، خاک مناسب نیست. نسبت جمع شدگی را با هل دادن نمونه خشک شده به یک انتهای جعبه اندازه گیری کرده و طول شکاف بصورت درصدی از طول جعبه محاسبه می‌گردد. درصورتی که نسبت جمع شدگی بیش از ۱۰٪ باشد یعنی فضای خالی ۶۰ میلیمتر در جعبه به طول ۶۰۰ میلیمتر وجود داشته باشد، خاک برای تثبیت مناسب نیست. هرچه نسبت جمع شدگی بیشتر باشد، تثبیت بیشتری باید استفاده شود.
نسبت جمع شدگی بصورت زیر محاسبه می شود:
نسبت جمع شدگی= طول میله مرطوب منهای طول میله خشک شده ضربدر صد تقسیم بر طول میله مرطوب.
هریک از موارد فوق در شکل (۲- ۵) نشان داده شده اند.



شکل (۲- ۵) پارامترهای تست جمع شدگی میله

۲-۴-۴-۲-۲ تثبیت خاک

ضعف اصلی خاک بعنوان مصالح ساختمانی مقاومت پایین آن در برابر آب است. پیش آمدگی لبه بام و ایوان ها کمک قابل توجهی می کنند اما باران های استوایی با هرشدتی می تواند دیوارهای محافظت نشده را آسیب رساند. بعلت نسبت رس موجود در خاک که برای چسبندگی لازم است، دیوارهایی که از خاک پایداری نشده ساخته شده اند با جذب آب دچار تورم و در هنگام خشک شدن دچار جمع شدگی می شوند. این موضوع ممکن است باعث ترک خوردگی شدید و سختی انجام اصلاحات محافظتی به منظور چسباندن به دیوار شود.
کیفیت تقریباً هرنوع خاک غیرآلی را به‌عنوان مصالح ساختمانی می توان بطورقابل توجهی با اضافه کردن پایدارساز مناسب و به مقدار مناسب افزایش داد. هدف از تثبیت خاک افزایش مقاومت خاک دربرابر شرایط آب و هوایی مخرب به یک یا چند روش زیر است:

- به‌وسیله سیمانته کردن ذرات خاک به یکدیگر، که باعث افزایش مقاومت و چسبندگی آن می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- به‌وسیله کاهش حرکات (جمع شدگی و تورم) خاک زمانی که محتوی رطوبتی آن به دلیل شرایط آب و هوایی تغییر می کند.
- با ضد آب کردن خاک یا کاهش نفوذپذیری آن دربرابر رطوبت

روش های مختلفی برای تثبیت خاک و رسیدن به اهداف مذکور وجود دارد. فرهنگ های زیادی روش های تثبیت مانند اضافه کردن شیر، پنیر، خون، ادرار حیوانات، شیره کاکتوس را توسعه داده اند. روغن پس ماند اتومبیل، قیر، آهک و سیمان پرتلند نیز روش هایی است که اخیراً برای اصلاح مخلوط خاک پیشنهاد شده است. کاه، علف یا کود حیوانات رایج ترین موادی هستند که به خاک اضافه می شوند و هدف آن ها افزایش پلاستیسیته، کاهش جمع شدگی و ترک خوردگی و افزایش سرعت خشک شدن است. هدف کلی اینگونه پایدارسازها کمک به تراکم خاک و سپس تولید یک بلوک دیواری که حجم پایداری داشته و مقاومت خشک آن افزایش یافته و جذب آب کمتری داشته باشد، است [۷]. برخی از خاک ها بعلت واکنش های شیمیایی نامطلوب با پایدارساز نتایج پیش بینی نشده ای را تولید می کنند. خاک کتان سیاه، که یک خاک بسیار تیره است مثالی از این نوع خاک است.

وسایل زیادی را می توان برای تثبیت خاک استفاده کرد. از آنجایی که انواع مختلفی از خاک ها و پایدارسازها وجود دارند، یک پاسخ یگانه برای همگی آن حالت ها وجود ندارد. این موضوع به سازنده بستگی دارد که انواع پایدارسازها را استفاده کند. پایدارسازهای رایج عبارتند از:

أ. ماسه یا رس: ماسه یا رس به منظور بهبود دانه بندی خاک استفاده می شود. ماسه به خاک هایی اضافه می شود که زیادی رسی بوده و رس به خاک هایی اضافه می شود که زیادی ماسه ای باشد. بااین کار مقاومت و چسبندگی خاک ماسه ای افزایش یافته و حرکت رطوبتی خاک رسی کاهش می یابد. بهبود دانه بندی مصالح خاکی تا حد زیادی خاک را پایدار نمی سازد اما تاثیر آن را افزایش داده و مقدار پایدارسازهای موردنیاز دیگر را کاهش می دهد. خاک رسی قبل از اختلاط با خاک ماسه ای باید ساییده شود. این کار ممکن است مشکلاتی را در بسیاری از موارد ایجاد کند.

ب. سیمان پرتلند: مقاومت فشاری و نفوذناپذیری را تا حد زیادی افزایش داده و ممکن است حرکت رطوبتی را نیز کاهش دهد بخصوص زمانی که با خاک های ماسه ای استفاده شود. بصورت تقریبی، خاک های ماسه ای ۵ تا ۱۰ درصد سیمان، خاک های لایی ۱۰ تا ۱۲.۵ درصد و خاک های رسی ۱۲.۵ تا ۱۵ درصد سیمان برای تثبیت لازم دارند. سیمان باید کاملاً با خاک خشک ترکیب شود. این کار می تواند نسبتاً دشوار باشد بخصوص اگر خاک رسی باشد. بلافاصله پس ازاینکه آب اضافه شود سیمان شروع به واکنش می کند لذا مخلوط باید سریعاً استفاده شود (۱ تا ۲ ساعت). درصورتی که خاک-سیمان قبل از بتن ریزی سفت شود باید از آن صرف نظر کرد. بلوک های خاک-سیمان باید لااقل ۷ روز تحت شرایط رطوبتی یا نم عمل آوری شوند.

ت. آهک: آهک غیرهیدرولیکی یا آهک کشته زمانی که با خاک های ریزدانه یعنی خاک های سیلتی و رسی استفاده شود بهترین نتایج را می دهد. آهک با واکنش با رس و با تشکیل پیوندهای قوی با ذرات خاک، حرکت رطوبت و نفوذپذیری را کاهش می دهد. مقدار آهک استفاده شده از ۴ تا ۱۴ درصد متغیر است. آهک کلوخه ها را شکسته و اختلاط آن را با خاک های رسی آسان تر می سازد. عمل آوری در دماهای بالا مولکول های سیمانته را قوی تر می سازد و در مناطق استوایی فواید زیادی دارد. زمان عمل آوری آهک نسبت به زمان عمل آوری خاک-سیمان بیشتر است. ترکیب آهک و سیمان زمانی استفاده می شود که خاک رس

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

زیادی برای تثبیت با سیمان داشته باشد یا رس بسیار کمی داشته باشد و واکنش طولانی مدت با آهک ایجاد نشود. آهک باعث می شود کار با خاک راحت تر باشد و سیمان مقاومت را افزایش می دهد. نقادیر یکسان سیمان و آهک باید استفاده شود. اختلاط اولیه خاک خشک با آهک کار با خاک را ساده تر می کند. بلوک ها حداقل برای ۷ روز تحت شرایط مرطوب عمل آوری می شوند.

ث. قیر: امولسیون قیر (یا آسفالت) و قیرمایع عمدتاً برای افزایش نفوذناپذیری خاک و جلوگیری از کاهش مقاومت آن در زمان رطوبت، استفاده می شود اما ممکن است مقاومت خشک خاک را کاهش دهد. آن ها تنها با خاک های ماسه ای استفاده می شوند چراکه اختلاط آن ها با خاک های رسی بسیار دشوار است. قیر به شکل طبیعی خود برای اختلاط با خاک بدون حرارت بسیار ضخیم است لذا باید با مایع های دیگر باریک شود تا قابلیت کارایی داشته باشد. ساده ترین راه اختلاط با آب است تا یک امولسیون ایجاد شود. پس از اینکه امولسیون به خاک اضافه شد، آب جداشده و لایه قیری را برروی دانه های خاک برجا خواهد گذاشت. درصورتی که امولسیون قیر زودگیر باشد، یعنی آب سریعاً قبل از اینکه با خاک مخلوط شود جدا شود، قیر باید در کروسین یا نفتا حل شود. این مخلوط قیرمایع نامیده می شود و باید در کار با آن دقت کرد زیرا خطر اشتعال و انفجار دارد. پس از اینکه خاک با قیرمایع پایدارشده باید پهن شود تا کروسن آن تبخیر شود. محتوی قیر مورداستفاده بین ۲ تا ۴ درصد است بیشتر از آن مقاومت فشاری خاک را کاهش می دهد.

ج. پوزولان ها (مانند خاکستر بادی، خاکستر پوست برنج، خاکستر آتشفشانی): ترکیب آهک و پوزولان یک آستر می سازد که تقریباً به خوبی سیمان پرتلند است. این آستر مشابه با ترکیب آهک و سیمان استفاده می شود بااین تفاوت که ۲ تا ۴ قسمت پوزولان با یک قسمت از آهک ترکیب شده و زمان عمل آوری نسبت به سیمان معمولی طولانی تر است.

ح. فیبرهای طبیعی (مانند علف، کاه، نخ، خاک اره): در نسبت اختلاط حدود ۴ درصد استفاده می شوند و حرکت رطوبتی را بسیار کاهش می دهند اما بلوک های خاک خشک را ضعیفتر ساخته و نسبت به آب نفوذپذیرتر می سازند.

خ. سدیم سیلیکات (آب-شیشه): سدیم سیلیکات یا آب-شیشه بهترین استفاده را برای پوشش سطح خارجی بلوک های خاکی بعنوان ضد آب دارد.

۵-۴-۲-۲ محافظت سطحی از ساختمان ها

در جایی که از بلوک های خاکی کم مقاومت یا ساخت با خاک تثبیت نشده استفاده شده باشد، عملکرد سازه کم دوام ساخته شده را می توان با انجام محافظت سطحی افزایش داد. بطور مشابه محافظت سطحی را می توان به عنوان روشی برای نگهداری یا نوسازی خانه های تخریب شده خاک پایه موجود استفاده کرد. دیوارهای خاکی محافظت نشده در اقلیم های آب و هوایی معتدل شانس خوبی برای دوام پذیری دارند بخصوص اگر خاک های با کیفیت مناسبی استفاده شده و فونداسیون های خوب و لایه کف مناسب تامین شده باشد. بااین حال در نواحی بارانی و مرطوب محافظت سطحی جزء نیازمندی های اصلی است. محدوده روش های محافظت سطحی برای ساخت و ساز خاکی چندین گزینه کم هزینه را ممکن می سازد. دو روش اصلی برای محافظت سطحی وجود دارد که به ساخت و ساز خاکی کم هزینه مرتبط است: رنگ و اندودکاری [۸].

رنگ های متعارف، رنگ چسب، دوغاب های آهک و سیمان به همراه قیر به شکل قیرآسفالتی مایع، همگی می-توانند بعنوان پوشش های محافظتی برروی دیوارهای خاکی استفاده شوند. این گزینه ها معمولاً موثر هستند بخصوص زمانی که دیوارهای خاکی قبل از بکارگیری رنگ بخوبی آماده شده باشند. به‌عنوان مثال درصورتی که

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

دوغاب آهک یا سیمان بخواهد بکار گرفته شود، دیوارهای خاکی باید قبل از آن با آب افشانه شوند. خاک ارزان ترین مصالح برای اندودکاری است. برای این هدف، اندازه ذرات خاک باید دو میلیمتر یا کمتر باشد و دارای یک جزء رس و سه جزء ماسه باشد. خاک هایی که برای اندودکاری استفاده می شوند می توانند با سیمان، آهک و قیر تثبیت شوند. انواع مختلف فیبرها مانند فیبرهای سبزیجات، پشم حیوانات و حتی فیبرهای ترکیبی نیز می توانند بعنوان تثبیت کننده استفاده شوند.

در آماده سازی اندودهای خاک تثبیت شده، سیمان یک تثبیت کننده موثر برای خاک های ماسه ای است. نسبت‌های مخلوط بین ۲ و ۱۰ درصد سیمان متغیر هستند. همچنین می توان مقاومت دربرابر آب اندود خاک-سیمان را بااضافه کردن مقدار کمی مثلا ۲ تا ۴ درصد قیر افزایش داد. آهک درصورتی که لااقل ۱۰ درصد اضافه شود، خاک های رسی را تثبیت می کند. قیر باید برای خاک هایی که رسی و ماسه ای هستند استفاده شود. نسبت قیر معمولاً ۲ تا ۶ درصد است. درصورتی که قیر به شکل قیر مایع باشد، باید تا دمایی کمتر از ۱۰۰ درجه حرارت داده شود. می توان بصورت جایگزین امولسیون های قیر استفاده کرد.

۲-۲-۵ مصالح چوبی و اندود[1] (گل و چوب)

این نوع از ساخت خانه های ساختمانی کوچک در مکان هایی که بامبو یا ساقه درختان در دسترس باشد، بسیار رایج است. این نوع سازه ها دارای چارچوبی از بامبو، ساقه ها یا پایه های چوبی جداشده هستند که توسط پایه های چوبی و بامبو نگهداری می شوند. خاک که بصورت چینه آماده سازی شده است در هردو طرف توفال ها اندود شده که بصورت آرماتور عمل خواهد کرد. اکثر خاک ها برای این نوع ساخت مناسب هستند اما اگر بسیار رسی باشد، ترک خوردگی ممکن است زیاد باشد. به منظور کمینه ساختن ترک خوردگی، سنگ ها را می توان با خاک مخلوط کرده یا در اسکلت چوبی قرار داد. در زمان گل مالی کردن سمت داخلی ساختمان، غالباً از خاک کف استفاده می شود. اگرچه که این روش ارتفاع سقف را افزایش می دهد، ایجاد سیل درطول فصول بارانی نیز محتمل تر خواهد بود. وزن خاک درطول خشک شدن به سازه چوبی منتقل می شود که وزن کلی سازه در نهایت برروی شمع ها مستقر خواهد بود. سازه مصالح چوبی و اندود معمولاً بعلت فرسایش خاک و نشست غیریکنواخت شمع ها و آسیب توسط قارچ و موریانه طول عمر کوتاهی دارد. بااین حال قابلیت دوام را می توان بطور قابل توجهی (۲۰ تا ۴۰ سال) بااستفاده از فونداسیون مناسب، ساخت ساختمان جدای از زمین، انجام اصلاح سطحی و استفاده از شمع های مقاوم در برابر موریانه، افزایش داد.

۲-۲-۶ رس/کاه

روش ساخت دیوارهای رس/کاه در چین توسعه زیادی پیدا کرده است که محفظه های ذخیره با قطر ۸ متر، ارتفاع ۸.۵ متر و ظرفیت نگهداری ۲۵۰ تن برای این مصالح ساخته شده است. هرنوع کاهی قابل استفاده است، اما باید کیفیت مناسبی داشته باشد. رس باید پلاستیسیته قوی داشته و حاوی کمتر از ۵ درصد ماسه باشد. درصورتی که محتوی ماسه اندکی زیاد باشد، مقداری آهک را می توان برای تثبیت اضافه کرد. ابتدا دسته های کاه تولید می شوند. کاه در انتهای ریشه به اندازه یکسان بریده می شود و سپس به دونیمه تقسیم می شود که دو قسمت را بصورت عکس بطوری که ذو سوم طول آن ها همپوشانی داشته باشند، برروی هم قرار می دهند. سپس این دسته کاه بصورت مسطح درآمده و در گل رس غوطه ور می شوند. پوشش کامل هر یک از کاه ها به منظور

[1] Wattle and Daub

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مقاومت نهایی آنها ضروری است. سپس کاه به یکدیگر پیچیده شده و گل اضافی آن برداشته می شود. دسته رس/کاه نهایی باید در وسط ضخیم و در دو انتها باریک باشد که دارای طول ۸۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر و قطر وسط ۵ سانتیمتر است. نسبت ایده آل کاه و رس براساس وزن خشک برابر با ۱ به ۷ است.

۲-۲-۷ روش های استفاده از بتن در الگویی با تاب آوری بیشتر

۲-۷-۲-۱ بتن

بتن محصول ترکیب سیمان، ماسه/شن و آب است و می توان تا زمان گیرش، آن را عمل آوری کرد. بتن در فشار بیشترین مقاومت را دارد لذا معمولاً با فولاد مسلح می شود تا مقاومت کششی آن افزایش پیدا کند. محصولات بتنی قوی را می توان بااستفاده از روش های کم هزینه و یک کارگر ماهر و تجهیزات کوچک مقیاس در کارگاه-های محلی و در محل ساخت. این کار می تواند برای فعالیت های کوچک صرفه اقتصادی داشته باشد. این محصولات عبارتند از: کاشی های بام کم بتن (سبک تر از کاشی های بتنی فشرده بوده و نسبت به ورقه های فولادی دوستدار بیشتر محیط زیست بوده و قابل بازیافت هستند)، بلوک های تهویه یا دودکش ها و بلوک های بتنی (که بجای آجرهای سوخته می توانند استفاده شوند و هزینه ساخت کمتری نیز دارند). بلوک های بتنی می توانند دارای حفره باشند که باعث می شود سبک تر شده، استفاده از از ملات کاهش یافته، توانایی عایق حرارتی آن ها بیشتر شده و امکان استفاده از میلگردهای فولادی را به منظور بهسازی لرزه ای ایجاد می کنند.

۲-۷-۲-۲ مزایا و چالش های بتن

معمولا به بتن بعنوان مصالحی که برای محیط زیست مناسب است نگاه نمی شود، لذا نباید به گستردگی کاربرد امروزی مورداستفاده قرار گیرد. استفاده از بتن نباید ممنوع شود بلکه باید محدود شود. همانطور که در قسمت های قبلی بیان شده، سیمان اهمیت زیادی بعنوان پایدارساز دارد. همچنین استفاده از بتن می تواند گاهی اوقات از نظر محیط زیستی سودمند باشد چراکه می تواند طول عمر ساختمان را افزایش دهد. معمولاً ساختمان های بتنی عمرطولانی تر (غالباً چنددهه) نسبت به ساختمان های ساخته شده با مصالح زمین یا بامبو داشته و نیاز به نگهداری کمتری دارند.

از بتن می توان برای اندازه ها و شکل های مختلف ساختمان استفاده کرد؛ این مصالح قوی بوده و دوام پذیر می باشند؛ استفاده از آن ها آسان بوده و مقاومت مناسبی در برابر هوا، آتش و حشرات دارد؛ می توان در تمام اقلیم های آب و هوایی از آن استفاده کرد؛ باربر سازه ای بوده و تجزیه پذیر است. ویژگی های منفی محیط زیستی بتن از سیمان حاصل می شود نه از آب یا دیگر محتویات آن. ویژگی های منفی آن عبارتند از: انرژی درونی بالای بتن در تولید، انتقال و استفاده از آن؛ و مقدار عایق بندی پایین آن (که نیاز به عایق بندی سختگیرانه دارد). تولید فولاد موردنیاز برای مسلح کردن بتن تاثیر محیط زیستی مهمی دارد. علاوه براین، بازیافت بتن مسلح انرژی زیادی می برد و مواد شیمیایی که در تولید بتن استفاده می شود می تواند مواد آسیب زایی را مانند سولفور دی اکسید و کروم منتشر کنند.

۲-۷-۲-۳ ساخت و ساز فرو سیمانی

در تولید فرو سیمانی، المان های با ضخامت سه سانتیمتر از بتن میکرو (ویبره شده یا خودمتراکم) با عملکرد بالا به همراه تسلیح شبکه سیمی استفاده می شود. این المان ها برروی فونداسیون بتنی قرار داده می شوند و با تیرهای اتصالی افقی در بالای آن و با بتن مسلح فولادی به یکدیگر متصل شده و یک سازه مقاوم در برابر زلزله و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

طوفان را می سازد. پانل هایی که برای دال ها و بام های سقف چندطبقه استفاده می شوند بسته به مقاومت خمشی موردنیاز آن قالب و اندازه متفاوتی دارند. می توان کاشی های بام فروسیمانی را نیز تولید کرد.
مزایا و چالش های مصالح فرو سیمانی: روش های فروسیمانی در مقایسه با بتن های متعارف، دیوارهای نازک تر و زمان ساخت کمتری را ممکن می سازند. المان ها را می توان توسط دو نفر و بدون هیچ کمک مکانیکی بلندکرده و در جای خود قرار داد و در کارگاه های محلی رسمی یا غیررسمی تولید کرد. فروسیمان صرفه اقتصادی دارد؛ برپاسازی دیوارها تنها چندروز زمان لازم دارد و نیاز به بتن و فولاد در آن ها کاهش یافته است. کسب مجوزهای ساختمان و استفاده از این مصالح که همچنان یکی از روش های ساخت ناشناخته است، یکی از چالش های ساخت با فروسیمان است. علاوه براین، استفاده از تانکرهای فروسیمانی برای جمع آوری آب، احتمال حل شدن فلزهای سنگین رادیواکتیو ازطریق خاکسترهای بادی در آب آشامیدنی را ایجاد می کند. بااین حال تمرکز مصالح رادیو اکتیو نمی تواند بعنوان هشدار تلقی شود.

۲-۷-۲-۴ سیمان پوزولانی آهکی، *CP 40*

ساخت و ساز با CP 40: کلسیم هیدروکسید (سنگ آهک یا حتی سنگ آهک محلی ثانویه) و پوزولان (ضایعات صنعتی یا محصولات طبیعی مانند ماسه های آتشفشانی، پوزولان های سوخته رسی، خاکستر بادی، خاکستر پوست برنج یا ترکیبی از پوزولان ها) با نسبت ۱ به ۱.۵ یا ۱ به ۲ با یکدیگر مخلوط شده و در یک آسیاب گلوله ای قرار داده می شوند. می توان از نسبت ۱ به ۳ یا ۱ به ۴ برای سیمان پوزولان-آهک و ماسه استفاده کرد. چالش های مربوط به استفاده از سیمان آهک-پوزولان در ساخت و ساز عبارتند از: خطوط تولید اندک برای سیمان آهک-پوزولان در کارخانه های سیمان، مشکلات دسترسی به مصالح پوزولانی و مشکلات دستیابی به درجه حرارت بالا که برای تولید موردنیاز است.
فواید و چالش های CP40: تا ۴۰ درصد از CP 40 را می توان جایگزین سیمان پرتلند کرد. انرژی درونی سیمان آهک- پوزولانی کمتر از نصف انرژی درونی سیمان پرتلند است. در تولید محصولات نهایی در مقایسه با سیمان پرتلند صرفه مالی بیشتری صورت می پذیرد (بدون تاثیر برکیفیت تا ۲۰ درصد ارزان تر است). تولید سیمان آهک-پوزولانی انتشار CO_2 و سولفور دی اکسید کمتری نسبت به سیمان پرتلند دارد؛ مقاومت مخلوط ملات به راحتی کنترل می شود؛ سیمان آهک-پوزولان بصورت چسبنده هیدرولیکی عمل می کند؛ برای تولیدات کوچک مقیاس مناسب بوده و قیمت بازار این چسبنده تا ۴۰ درصد کمتر از قیمت سیمان پرتلند است. سیمان آهک-پوزولان را می توان در کارگاه های کوچک (در سطح کسب و کار کوچک) ساخته یا با تولید المان های بتنی مانند بلوک های توخالی یا آجرها مرتبط ساخت.

۲-۷-۲-۵ جایگزینی محتویات داخل بتن

خاکستر بادی محصول ضایعاتی است که درزمان سوزاندن ذغال سنگ آسیاب شده در کارخانه های تولید انرژی الکتریکی تولید می شود. می توان از خاکستر بادی برای جایگزینی سیمان پرتلند در مخلوط بتن استفاده کرد. این جایگزینی تا ۲۵ درصد برای تمامی اقلیم های آب و هوایی مناسب است. خاکستر بادی مقاومت کششی و فشاری و قابلیت دوام بتن را افزایش داده و نفوذ آب بتن را کاهش می دهد. علاوه براین، انرژی درونی خاکستر بادی کمتر از سیمان پرتلند است. بخش تحتانی خاکستر بازیافتی حاصل از سوخت ذغال سنگ و ماسه ریخته گری را می توان با ماسه در مخلوط بتنی جایگزین کرد. تا ۲۵ درصد ماسه در بلوک ها را می توان در نواحی سردسیر و تا ۳۵ درصد آن را در نواحی گرمسیر جایگزین کرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۸-۲-۲ مواد تغییر فازدهنده[1]

۱-۸-۲-۲ معرفی مصالح تغییر فازدهنده

به منظور کاهش وابستگی به منابع انرژی سوخت فسیلی، باید منابع انرژی تجدیدپذیر را به منظور برآوردن نیازهای برق خود و تامین انرژی قابل اطمینان توسعه داد. دشواری برخی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید یا باد متناوب بودن آن هااست. زمانی که باد به اندازه کافی قوی نبوده یا بسیار قوی باشد، توربین های بادی نمی توانند کار کنند. پانل های فوتولتایک (PV) نیز در زمان شب یا زمانی که پوشش ابر ضخیم وجود دارد، نمی توانند انرژی الکتریکی را تولید کنند. برای تکنولوژی های تولید مستقیم انرژی الکتریکی مشکل تناوبی بودن منبع انرژی را می توان با شارژ وسایل ذخیره شارژ مانند باتری ها و سلول های سوختی در ساعت های اوج حل کرد تا انرژی را برای استفاده بعد از آن ذخیره کنند. برای کاربردهایی که از انرژی حرارتی خورشید استفاده می کنند، می توان از مصالح ذخیره انرژی حرارتی (TES) به منظور ذخیره سازی حرارت استفاده کرد. TES را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد: ذخیره شیمیایی و ذخیره فیزیکی [۹].

ذخیره شیمیایی شامل شکست و تشکیل پیوندهای شیمیایی است که از یک واکنش شیمیایی برگشت پذیر با تغییر بزرگ آنتالپی بهره می برد. حرارت ناشی از خورشید یا دیگر منابع حرارتی باعث می شود که درطی واکنش، محصولات پر انرژی تولید شده و سیستم را شارژ کنند. درطول تخلیه شارژ واکنش در جهت عکس ادامه می یابد که باعث آزادسازی گرما می شود. ذخیره فیزیکی که موضوع مدنظر ماست، از خواص حرارتی مصالح TES به منظور ذخیره سازی حرارت بهره می برد.

TES فیزیکی را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد: ذخیره گرمای محسوس و ذخیره گرمای نهان. مصالح ذخیره گرمای محسوس گرما را ازطریق ظرفیت های گرمایی خود ذخیره می کنند. برای یک مصالح موردنظر مقدار گرمایی که می تواند ذخیره شود، Q، به هردو محدوده درجه حرارتی که به مصالح وارد می شود و جرم مصالح، m بستگی دارد به نحوی که:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} mc_p dT \qquad (۲-۱)$$

به نحوی که c_p ظرفیت گرمایی مخصوص در فشار ثابت؛ T_1 درجه حرارت اولیه و T_2 درجه حرارت نهایی است. بهترین مصالح ذخیره گرمای محسوس مصالحی با ظرفیت گرمایی بالا هستند. از این منظر، آب با ظرفیت گرمایی مخصوص $4.2K^{-1}g^{-1}$ یکی از بهترین مصالح ذخیره گرمای محسوس است. ذخیره انرژی گرمایی توسط آب در اقلیم های مختلف، بعنوان مثال دماهای متعادل منطقه ساحلی در مقایسه با اختلاف دماهای زیاد مناطق خشک قاره ای، متفاوت است. محدوده دمایی که مصالح در معرض آن قرار دارند نیز دارای اهمیت است. طبق معادله فوق مقدار گرمای ذخیره شده با انتگرال در محدوده دمایی موردنظر ارتباط دارد، بنابراین هرچه محدوده دمایی بزرگتر باشد گرمای بیشتری ذخیره خواهد شد. عبارت مهم دیگر جرم است. مصالح پرچگال مانند بتن یا سنگ جرم حرارتی بزرگی را در واحد حجم به نمایش می گذارند و می توانند مقدار قابل توجهی گرما ذخیره کنند.

در محدوده دمایی کوچک، مصالح ذخیره گرمای نهان می توانند حتی نسبت به بهترین مصالح ذخیره گرمای محسوس، عملکرد بهتری داشته باشند. این مصالح گرما را ازطریق گرمای نهان حاصل از تغییر فاز ذخیره می کنند و بعنوان مصالح تغییر فاز دهنده (PCM ها) شناسایی می شوند. زمانی که یک PCM تا دمای تغییر فاز خود گرم می شود، از یک فاز به فاز دیگر تبدیل می شود. درصورتی که تغییر فاز یک جسم خالص از مرتبه اول

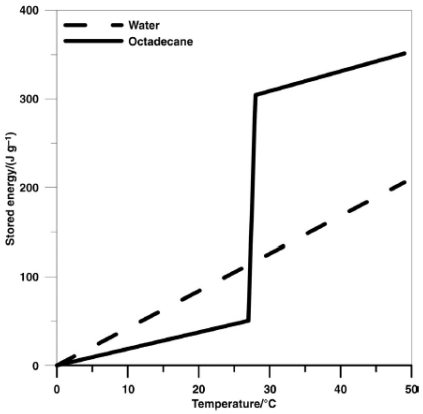
[1] Phase Change Material (PCM)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

باشد، بصورت هم دما (ایزوترمال) رخ داده و در دمای تغییر فاز به انرژی ورودی نیاز دارد. این انرژی ورودی همان تغییر آنتالپی تبدیلی است که گرمای نهان نیز نامیده می شود. درصورتی که تغییر فاز برگشت پذیر باشد، این انرژی را می توان با سرمایش برگرداند. علاوه براین، هر انرژی ورودی که برای گرما دادن به مصالح تا دمای تبدیل فاز آن ها و هر انرژی ورودی که برای افزایش دمای مصالح پس از تبدیل فاز آن ها لازم است بصورت گرمای محسوس ذخیره می شود. بنابراین مقدار کلی گرمایی که می تواند توسط یک PCM در محدوده دمایی T_1 تا T_2 ذخیره شود برابر است با:

$$Q = \int_{T_1}^{T_{trs}} mc_{p,1}dT + m\Delta_{trs}H + \int_{T_{trs}}^{T_2} mc_{p,2}dT \qquad (۲-۲)$$

که در آن T_{trs} دمای تبدیل؛ $\Delta_{trs}H$ تغییر آنتالپی تبدیل؛ $c_{p,1}$ ظرفیت گرمایی ویژه فاز دما پایین و $c_{p,2}$ ظرفیت گرمایی ویژه فاز دما بالا است. شکل (۲- ۶) ذخیره گرمایی محسوس آب مایع را با ذخیره گرمایی PCM اکتادسان مقایسه می کند.



شکل (۲- ۶) مقایسه انرژی ذخیره شده توسط آب مایع (ذخیره گرمای محسوس) با انرژی ذخیره شده (محسوس + نهان) توسط اکتادسان (PCM با نقطه ذوب ۲۸ درجه سانتیگراد) در محدوده دمایی ۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد [۹]

بطور کلی PCM ها می توانند از هر تغییر فازی بهره ببرند، اما تبدیل فاز جامد به مایع رایج ترین آن است. درحالی‌که تغییر فازهای جامد به گاز و مایع به گاز غالبا تغییرات آنتالپی تبدیل بالایی داشته ($> 300Jg^{-1}$) و همچنین تغییر حجم زیادی می دهند که در اکثر حالات غیرقابل کاربرد هستند. PCM های جامد به جامد در برخی از کاربردها استفاده می شوند؛ این تبدیل فازها معمولاً تغییر حجم کوچکی دارند و هردو فاز غیر متحرک بوده و لذا قابلیت محدودشدگی راحت تری دارند. اما تغییر فازهای جامد به جامد معمولاً تغییرات آنتالپی تبدیل پایینی ($< 100Jg^{-1}$) دارند. بنابراین PCM های با تغییر فاز جامد به مایع بیشترین کاربرد را داشته و موردمطالعه بیشتری قرار گرفته اند. این تبدیل فازها تغییرات آنتالپی بالایی داشته ($\sim 200Jg^{-1}$) و تبدیل فاز جامد به مایع افزایش حجم بسیار اندکی (10%) نیز دارد. فاز مایع نیز نیاز به محصورشدگی دارد اما این محصورشدگی نسبت به فاز گازی بسیار راحت تر بدست می آید.

۲-۲-۸-۲ دسته بندی مصالح تغییرفاز دهنده

مصالح تغییرفازدهنده ای که برای کاربرد ساختمان های استفاده می شوند از تبدیل فاز جامد به مایع بهره می برند و به دو گروه آلی و غیرآلی دسته بندی می شوند. PCM های آلی غالباً از مصالح آلی مانند پارافین، اسیدهای چرب و الکل های شکر تشکیل شده اند که بطور کلی به PCM های آلی پارافینی و غیرپارافینی دسته بندی می

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شوند. هیدرات های نمک را می توان بعنوان آلیاژهای PCM غیرآلی درنظرگرفت. در ادامه هریک از انواع PCM توضیح داده شده و ویژگی های هریک بیان خواهد شد [۱۰]:

۲-۲-۸-۲-۱ PCM های آلی پارافینی

PCM های آلی پارافینی محصولات نفتی بوده و از خانواده هیدروکربن های اشباع شده با خواص مشابه هستند. بیشترین کاربرد PCM ها در ساختمان ها مربوط به PCM های آلی پارافینی است. فرمول شیمیایی آن ها بصورت C_nH_{2n+2} بوده و تمامی مجموعه های کمتر از n=5 در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بصورت گازی شکل هستند. مقادیر بین n=5 و n=15 مایع بوده و بقیه بصورت مواد جامد مومی شکل هستند. هدایت حرارتی پارافین بسیار پایین بوده و با بهترین عایق ها قابل قیاس هستند. علاوه براین، پارافین بعنوان یک PCM برای پوشش ساختمان استفاده می شود چراکه دارای اکثر معیارهای انتخاب PCM برای ساختمان ها است. PCM های آلی پارافینی ارزان بوده، ظرفیت های ذخیره گرمای محسوس و نهان بالایی داشته و در محدوده دماهای ذوب وسیعی در دسترس هستند که طراحی و بهینه سازی این PCM را برای ساختمان ها تسهیل می کند. اما پارافین نباید درمعرض دماهای بالا قرار گیرد زیرا قابل اشتعال است. ویژگی های کلی پارافین عبارتند از:

- گرمای نهان گداخت بالا حدود 240000 J/kg
- محدوده وسیع انتخاب نقطه ذوب از ۶- تا ۶۶ درجه سانتیگراد
- قابل اشتعال
- غیرسمی و غیرخورنده
- پایدار شیمیایی
- انبساط حرارتی حجمی بالا
- چگالی بالا حدود $750\,kg/m^3$
- هدایت حرارتی پایین حدود $0.3\,W/m-K$
- قابلیت خیس کنندگی بالا
- فشار تبخیر پایین در نقطه ذوب

جدول (۲- ۴) لیستی از PCM های آلی پارافینی را که قبلاً در اجزای ساختمانی استفاده شده اند، نشان می‌دهد:

جدول (۲- ۴) PCM های آلی پارافینی که قبلاً آزمایش شده اند و خواص آن‌ها [۱۰]

پارافین های آلی	فرمول	نقطه ذوب ($°C$)	گرمای نهان (kJ/kg)	چگالی (kg/m^3)	هدایت گرمایی (W/m-K)
n-Tetradecane	$C_{14}H_{30}$	5.5	228.0	771	0.15
n-Hexadecane	$C_{16}H_{34}$	16.7	237.0	774	0.25
n-Octadence	$C_{18}H_{38}$	28.0	244.0	774	0.35
Eicosane	$C_{20}H_{42}$	36.8	241.0	778	0.27

۲-۲-۸-۲-۲ PCM های آلی غیرپارافینی

فرمول شیمیایی مواد آلی غیرپارافینی از جمله اسیدهای چرب بصورت $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$ است، گرمای نهان گداخت آن ها با گرمای نهان گداخت پارافین های آلی قابل قیاس است و چگالی آن ها از پارافین های آلی بزرگ

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تر است. اما غالباً بعلت ویژگی های غیرقابل قبول آن ها، در پوشش ساختمان ها استفاده نمی شوند. هزینه آن ها بیش از دوبرابر پارافین ها است. علاوه براین، تقریباً تمامی مصالح آلی غیرپارافینی اشتعال پذیر بوده و نباید در معرض دمای بالا، شعله یا مخازن دارای اکسیدکننده قرار گیرند. همچنین قرارگیری در معرض حرارت بالا می تواند باعث تجزیه شده و در هنگام کار با هرنوع مواد آلی غیرپارافینی باید احتیاط کرد. یکی دیگر از معایب مواد آلی غیرپارافینی هدایت حرارتی آن هاست که ۵ تا ۱۰ برابر بزرگ تر از پارافین ها است؛ لذا بعنوان رسانای حرارتی مناسبی درنظر گرفته می شوند. همچنین بعلت ماهیت اسیدی بودن آن ها، تمایل به واکنش با محیط اطراف خود را دارند. الکل های شکر شکل هیدروژنیزه شده از کربوهیدرات هایی مانند سوربیتول D یا اکسلیتول است. آن ها معمولاً گرمای نهان و چگالی بالاتری نسبت به پارافین ها و اسیدهای چرب دارند. اما از آنجایی که در دماهای بین ۱۹۴ تا ۳۹۲ درجه فارنهایت (۹۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد) ذوب می شوند، برای کاربردهای ساختمان ها مناسب نیستند [۱۱].

۳-۲-۸-۲-۲ PCM های غیرآلی از نوع هیدرات های نمک

مواد آلی پارافینی و غیرپارافینی مختلف دارای نقطه ذوبی در محدوده مطلوب هستند، در مقابل قابل اشتعال نیز هستند و طراحی یک محفظه ویژه برای آن ها موردنیاز است که هزینه تولید آن ها را افزایش می دهد. هیدرات های نمک جایگزین موفقی برای PCM های آلی بوده و پیش از این بعنوان PCM برای آجرها استفاده شده است. این مواد غیرقابل اشتعال بوده، گرمای گداخت بالایی داشته و محدوده وسیعی از دمای ذوب از ۱۸.۵ تا ۱۱۶.۰ درجه سانتیگراد دارند. اما عیب اصلی هیدرات های نمک بعنوان PCM این است که خورندگی زیادی دارند. عیب دیگر آن ها اختلاف قابل توجه بین چگالی های حالت مایع و جامد آن ها است. بنابراین، سازه محفظه PCM باید بطور بی نقص به منظور غلبه بر انبساط حرارتی نمک طراحی شود. ویژگی های کلی هیدرات های نمک عبارتند از:

- گرمای گداخت بالا
- هدایت حرارتی نسبتا پایین
- خورندگی بالا
- نسبت به PCM های پارافینی و غیرپارافینی نسبتا گران تر هستند

۳-۲-۸-۲ انتخاب مصالح تغییر فازدهنده (*PCM*) برای ساختمان ها

انتخاب PCM برای پوشش ساختمان اصولا بر اساس دمای ذوب آن صورت می گیرد. به منظور برخورداری از PCM کارآمد، دمای ذوب PCM باید در محدوده دماهای حداقل و حداکثر فضای روباز باشد تا امکان ذوب و انجماد PCM فراهم شود. ویژگی‌های دیگر PCM که باید در اولویت باشند عبارتند از: هزینه کم و غیرسمی بودن، غیراشتعال بودن و پایدار شیمیایی. همانطور که پیش از این ذکر شد، PCM ها بصورت مواد آلی یا غیرآلی با گرمای نهان گداخت بالا و دمای ذوب نسبتاً پایین (مانند پارافین و نمک) دسته بندی می شوند. برخی از PCM ها گرمای نهان گداخت بالا و دمای ذوب مناسبی دارند اما سمی بوده یا خوردگی بالایی دارند بهمین دلیل در ساختمان سازی استفاده نمی شوند. لذا انواع PCM های مورداستفاده در ساختمان ها محدود است. PCM های آلی یا غیرآلی با گرمای گداخت بالایی در محدوده دمای ذوب وسیعی ذوب می شوند. اما دو معیار دمای ذوب PCM و گرمای نهان گداخت تنها معیار انتخاب PCM نیستند. PCM باید خواص ترمودینامیکی و شیمیایی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مشخصی داشته باشد. علاوه براین، ملاحظات اقتصادی هزینه و دسترسی در مقیاس‌های بزرگ نیز باید درنظرگرفته شوند [۱۰].

۴-۸-۲-۲ معیار انتخاب *PCM*

مهمترین خواص برای انتخاب PCM برای ساختمان‌ها دمای ذوب PCM و گرمای نهان گداخت آن است. معیارهای ترمودینامیکی، شیمیایی و اقتصادی زیر به منظور موفقیت در انتخاب مناسب‌ترین PCM باید درنظر گرفته شوند:

الف- معیارهای ترمودینامیکی

۱. خواص ترموفیزیکی باید در دسترس بوده و صحیح باشند.
۲. دمای ذوب PCM باید نزدیک به دمای فضای آزاد باشد.
۳. گرمای نهان گداخت و گرمای ویژه آن باید بالا باشد.
۴. هدایت حرارتی آن باید به منظور جلوگیری از وقوع حرارت بیش از حد و امکان پاسخ سریع نسبت به حرارت، بالا باشد.
۵. اولویت این است که خواص فاز جامد و مایع PCM نزدیک به یکدیگر باشد. تفاوت های زیاد چگالی بین جامد و مایع می تواند باعث جداشدگی شود که باعث تغییرات در محتوی شیمیایی مصالح خواهد شد.
۶. انبساط حجمی حرارتی PCM درطول ذوب باید کم باشد.

ب- معیارهای شیمیایی

۱. پایدار شیمیایی، تا PCM بتواند برای مدت طولانی سرویس دهی کند.
۲. تجزیه شیمیایی رخ ندهد.
۳. بدون خوردگی باشند.
۴. PCM باید به منظور اطمینان از ایمنی ساکنین، غیرسمی باشد.
۵. غیرقابل اشتعال باشد.
۶. نسبت به الکتریسیته عایق باشد تا درصورت وقوع نشت از ایجاد مدار جلوگیری شود.

ج- معیارهای اقتصادی

۱. بصورت تجاری و در مقادیر زیاد در بازار موجود باشد.
۲. خلوص PCM باید بالا باشد تا عملکرد بالای آن را تضمین کند.
۳. گران نباشد تا قیمت آن با مصالح عایق بندی سنتی قابل قیاس باشد.

متاسفانه یک PCM که تمامی معیارهای فوق را داشته باشد موجود نیست و درواقع PCM بدون نقص وجود ندارد. اما برخی از ویژگی های نامطلوب PCM را می توان اصلاح کرد. به‌عنوان مثال درصورت نیاز به پاسخ حرارتی سریع می توان از فلزات با رسانایی بالا در PCM به منظور افزایش هدایت گرمایی پایین آن ها استفاده کرد. تاثیر منفی انبساط حرارتی بالای PCM را می توان با رها کردن مقدار اندازه گیری شده از پاکت هوا در محفظه اصلاح کرد تا از این طریق به PCM اجازه انبساط داده شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۵-۸-۲-۲ روش های استفاده از مواد *PCM* در صنعت ساختمان

۱-۵-۸-۲-۲ کلیات

روش‌های مختلف کاربرد PCM در ساختمان ها مورد مطالعه قرار گرفته اند: صفحات دیواری PCM، PCM مخلوط در بتن و آجر، PCM میکرو یا ماکرو کپسوله شده که با عایق پرکننده سبک در حفره های دیوار مخلوط می شوند، فوم صلب پلی اورتان که از PCM اسیدچرب پایه استر استفاده می کند و PCM دارای بسته بندی ماکرو در کیسه های پلاستیکی از جمله روش های مطالعه شده هستند [۱۲]. پاسوپاتی و همکاران [۱۳] مرور مختصر و در عین حال کاملی از روش های کاربرد PCM ها در سازه های ساختمانی ارائه داده اند. دو روش کلی به منظور بهره برداری از ذخیره انرژی گرمای نهان در ساختمان ها استفاده شده است. یکی از روش ها که بیشترین مطالعه درباره آن صورت گرفته است، ساخت "دیوارهای PCM" با طراحی خاص است. این روش شامل طراحی های ساده ای است که امکان جذب بخش زیادی از تابش نور خورشید به دیوار را توسط PCM می دهد. در اقلیمهای گرم، این روش می تواند بار سرمایشی را به زمان هایی که مصرف اوج برق نیست، انتقال دهد. روشی مشابه اما با پیچیدگی بیشتر را می توان با طراحی دیوار با لایه شیشه ای که انرژی خورشیدی را به دام اندازد، آن را به داخل یک لایه PCM داخلی جذب کند و سپس به محیط داخلی ساختمان آزاد نماید و ازاین طریق گرمایش داخل را تامین کند، در اقلیم های سرد استفاده کرد. در نواحی که در معرض تغییرات دمایی شدید محیطی قرار دارند، می توان با ذخیره سرمای شب هنگام در PCM، سرمایش داخل ساختمان را بدست آورد. این روش ها معمولاً وابسته به فضاهای خالی داخل سازه ساختمان به منظور قرارگیری PCM هستند، که هزینه ساخت را افزایش را داده، ریسک نشت را درزمان آسیب ساختمان بوجود آورده و بطورکلی سرمایش غیریکنواختی را تامین می‌کنند که تاثیر منفی قابل توجهی بر توانایی هدایت گرمایی PCM خواهد داشت [۱۴]. روش دوم بکارگیری PCM ها در مصالح سازه ای داخل ساختمان، عمدتاً پوشش گچی و بتن وآجر است. مصالح PCM به روش های مختلفی مانند مایع، پودر یا خمیر می توانند با دیگر مصالح ساختمانی مانند گچ، بتن یا سیمان مخلوط شوند. طراحی های پوشش گچ دیواری عمدتاً شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد حجمی PCM اساس پارافین هستند که به مخلوط پلاستر گچ اضافه می شود. در برخی از کشورها محصولات پوشش دیواری تجاری PCM در بازار شروع به عرضه کرده‌اند. با وجود استفاده زیاد از بتن در ساخت ساختمان، توجه نسبتاً کمی به ترکیب مصالح تغییر فازدهنده با بتن شده است. سودمندی اصلی بکارگیری PCMها در بتن تازه تاثیر آن ها درطول عمل‌آوری بتن است. روش دیگری که می توان مصالح PCM را با مصالح سازه‌ای متعارف ترکیب کرد روش غوطه ورسازی است. در این روش مصالح متعارف ساختمانی در PCM در حال ذوب غوطه ور شده و از این طریق PCMها جذب حفره های مصالح ساختمانی می شوند [۱۵]. شکل (۲- ۷) انواع مواد PCM را در حالات فوق نشان می دهد.

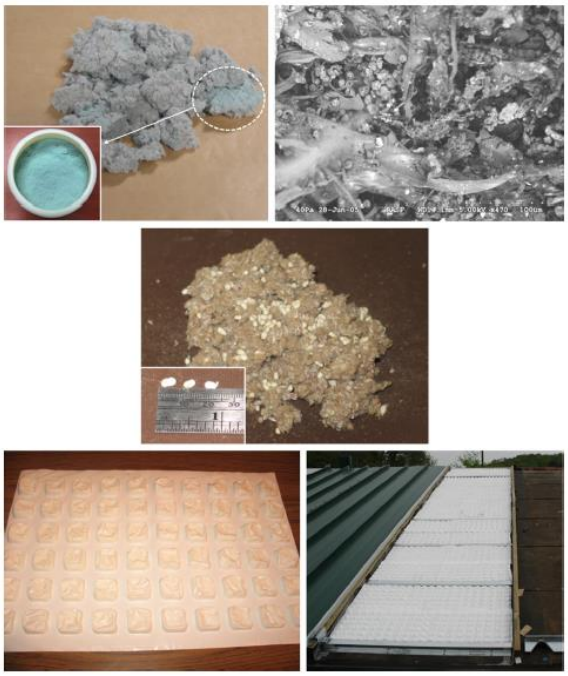


PCM مایع | PCM پودری | PCM با حالت خمیری

شکل (۲- ۷) انواع حالات PCM های ترکیبی با مصالح ساختمان [۱۵]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

روش دیگری که از مصالح PCM در ساختمان ها استفاده می شود کپسوله کردن یا محصور کردن این مصالح در مقیاس های ماکرو، میکرو و نانو است. این شیوه های بکارگیری مصالح PCM اصطلاحاً با نام های نانو کپسوله (NEPCM) (اندازه ذره در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر)، میکروکپسوله (microPCM) و ماکروکپسوله (macroPCM) شناخته می شوند. شکل (۲- ۸) مثال هایی از انواع مواد PCM را در مقیاس های میکرو، ماکرو نشان می دهد. در روش میکروکپسوله مقادیر PCM در محدوده ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر، با مصالح پوسته محافظتی پوشیده می شوند. میکرو کپسوله کردن بعلت افزایش سطح PCM افزایش هدایت حرارتی را بین PCM و اطرافش برقرار می سازد اما معمولاً هزینه را افزایش می دهد زیرا شامل چندین مرحله ترکیب شیمیایی است. در روش ماکروکپسوله یا بسته بندی، PCM ها در کیسه های بزرگ، لوله، پانل های مستطیلی یا محفظه های کروی بسته بندی می شوند. در این روش اندازه ذرات بیش از ۱ میلیمتر می باشد. هزینه محصول PCM نهایی بسته به روشی که برای کپسوله کردن استفاده شده است، متفاوت خواهد بود [۱۱].



شکل (۲- ۸) تصاویر PCM های میکرو و ماکرو انتخاب شده در مطالعات مختلف. بالا: PCM های میکروکپسوله که با عایق های فیبری ترکیب شده اند، وسط: PCM با اندازه میلیمتر که دارای بسته های HDPE است که با عایق فیبری ترکیب شده است، پایین: PCM با بسته بندی ماکرو دارای اساس بیوشیمیایی در کارکرد پشت بام [۱۲]

۶-۸-۲-۲ معایب و چالش های استفاده از *PCM* در صنعت ساختمان

اکثر ساختمان ها با هدف برخورداری از عمر بهره برداری ۵۰ تا ۱۰۰ سال ساخته می شوند. Peippo و همکاران دریافتند که خانه‌ای که بااستفاده از PCM در صفحات دیوار خود ساخته شده است، همه ساله حدود 4 GJ انرژی ذخیره می کند که برابر است با حدود ٪۱۵ کاهش هزینه انرژی سالیانه. جدول (۲- ۵) خلاصه ای از قابلیت دوام مالی نصب سیستم PCM را در بخش مسکونی انگلستان را نشان می دهد [۱۶].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۵) قابلیت دوام مالی سیستم های PCM [۱۶]

میانگین هزینه سالیانه انرژی بخش مسکن انگلستان	میانگین هزینه نصب سیستم PCM در بخش مسکن	کاهش سالیانه هزینه انرژی	تعداد سال های برگشت سرمایه
۱۳۵۱ پوند	۵۰۰۰ پوند	۲۰۲.۶۵ پوند	۲۵ سال

براساس جدول (۲- ۵) میانگین هزینه نصب حدود ۵۰۰۰ پوند و کاهش سالیانه هزینه انرژی ۲۰۲.۶۵ پوند است. این موضوع بدین معنی است که یک سیستم PCM ایده آل که در ساختمان مسکونی نصب می شود لازم است طول عمر بهره برداری حداقل ۲۵ سال داشته باشد تا دوام پذیر باشد. یک مسئله تعجب برانگیز درباره استفاده از PCM ها بعنوان مصالح ساختمانی این است که هیچ روشی برای انجام نگهداری و تعمیرات سیستم PCM وجود ندارد. در واقع این موضوع بیان می کند که زمانی که PCM کارایی خود را از دست داد، جابجایی PCM بدون انجام روش‌های تخریبی به منظوری دسترسی به آن، دشوار خواهد بود. مسائل زیادی درباره PCM ها وجود دارند که باعث زوال مصالح در طول زمان می شوند و بعد از حدود ۱۰۰۰ چرخه انجماد/ذوب آن ها را بدون استفاده می کند. در ادامه به بخشی از معایب سیستم های PCM اشاره خواهد شد [۱۶].

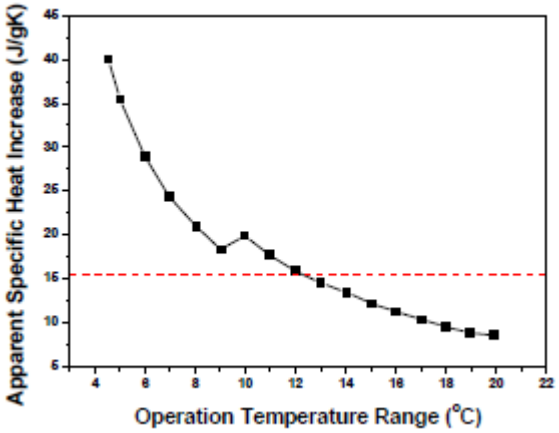
۱- اثرات سرمایش شدید

سرمایش شدید بعنوان حالتی معرفی می شود که در آن یک مایع پایین تر از نقطه انجماد معمولی آن منجمد می شود و لذا تاخیری را در شروع فرآیند انجماد خود نجربه می کند. پس از استفاده طولانی مدت، اکثر هیدرات های نمک تمایل به سرمایش شدید قبل از انجماد و درطی استخراج گرمای ذخیره شده دارند. این مسئله باعث کاهش بازدهی مصالح شده و در نهایت باعث می شود که برگشت گرما هرگز در PCM رخ ندهد. این نقص بیشتر برای PCM های غیرآلی رایج است، اما تحقیقات نشان داده اند که PCM های آلی که میکروکپسوله شده اند نیز بعلت عدم حضور نوکلئی در فضاهای کوچک تمایل به سرمایش شدید دارند.

تحقیقات نشان داده اند که تاثیر سرمایش شدید را می توان با افزودن نماینده هسته ساز کاهش داد. Fan و همکاران دریافته اند که می توان با اضافه کردن مستقیم حدود 9 wt درصد از ۱-اکتادسانول در PCM یا 6 wt درصد سدیم کلراید به امولسیون از سرمایش شدید جلوگیری کرد. بااین حال نتایج این تحقیق نشان می دهد که عملکرد گرمایی PCM بعلت کاهش گرمای نهان گداخت حاصل از اضافه کردن مقادیر نسبتاً زیاد افزودنی تحت تاثیر قرار می گیرد.

تحقیق اخیر توسط Cao و Yang انجام شده است تا اثرات سرمایش شدید را بدون تاثیر بر ظرفیت گرمایی مصالح در سیستم های PCM میکروکپسوله با بهینه سازی سازه و ترکیب پوسته میکروکپسوله متوقف کند. آن ها در آزمایش خود n اکتادسان را بعنوان PCM و رزین ملامین فرمالدهید را بعنوان پوسته میکروکپسوله انتخاب کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بااستفاده از این روش سرمایش شدید بطور قابل توجهی متوقف می شود. همچنان مشاهده شد که گرمای نهان گداخت PCM بااستفاده از این روش بسیار بیشتر است. در دمای تبدیل فاز ۱۰ درجه سانتیگراد، افزایش گرمای نهان حدود 21.3 kJ/kg مطابق شکل زیر مشاهده شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۹) افزایش گرمای نهان برای ساختمان دارای سیستم PCM

غلبه بر اثرات سرمایش شدید در سیستم های PCM فرآیند دشواری است. افزودن نماینده هسته ساز به مخلوط PCM کارایی دارد اما باعث کاهش عملکرد حرارتی می شود. روش هایی که عملکرد حرارتی را افزایش می دهند ضمن اینکه سرمایش شدید را محدود می کنند، گران به نظر رسیده و نیاز به پیشرفت بیشتری دارند. براساس مشاهدات پیشین توصیه می شود که سیستم های PCM مسکونی از استفاده از PCM های میکروکپسوله و هیدرات های نمکی که در آن ها سرمایش شدید کنترل کننده است، خودداری کنند. میکرکپسوله کردن برای کاربری های مسکونی بسیار رایج و بادوام درنظرگرفته شده است، و این مسئله به معنی این نیست که ضروری باشند.

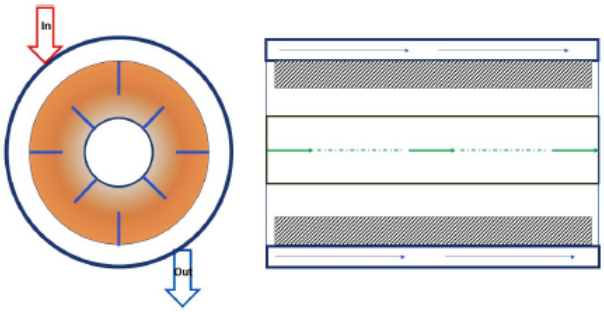
۲- هدایت های حرارتی پایین

PCM ها تمایل دارند هدایت های حرارتی بسیار پایینی داشته باشند که باعث نرخ هدایت حرارتی پایینی در داخل و خارج سیستم های ذخیره انرژی گرمای نهان می شود. هدایت حرارتی پایین می تواند پتانسیل PCM ها در سیستم های ذخیره انرژی حرارتی را محدود کند چراکه باعث کاهش سرعت جذب/آزادسازی گرما درطول تغییر فاز جامد به مایع می شود. کارهای زیادی به منظور افزایش هدایت حرارتی PCM ها بااستفاده از افزودنی ها و ترکیب ها انجام شده است، بعنوان مثال افزودنی های پایه کربنی را می توان به اسید استئاریک در ساختار نانوکامپوزیت اضافه کرد. این آزمایش نشان داده است که افزودنی گرافیت با 5 wt درصد می تواند هدایت حرارتی PCM را تا ۱۲ برابر افزایش دهد. بااین حال، این کار باعث ضعیف شدن انتقال حرارت طبیعی مصالح شده و گرمای نهان گداخت آن ها را کاهش می دهد. در کاربردهای مسکونی، هدایت حرارتی اندک می تواند باعث مسائل عملکردی بسیاری در سیستم های PCM شود. از آنجایی که سرعت تبدیل فاز باوجود هدایت حرارتی پایین تر، طولانی تر می شود، فواید آسایش ساکنین که توسط سیستم های PCM ارائه می شود به اندازه ظرفیت نهایی خود احساس نمی شوند. همچنین انرژی نمی تواند در زمان های تغییردمای سریع مانند صبح ها و شب ها، سریعاً توزیع/جذب شود. این مسائل جذابیت سیستم های PCM را کاهش داده و پتانسیل آن ها برای بکارگیری در ساختمان های مسکونی را کاهش می دهد. آزمایشاتی که روش های افزایش هدایت حرارتی PCM ها را بررسی می کنند بطورکلی می توانند به دو دسته تقسیم بندی شوند: افزایش سطح مبدل حرارتی با اضافه کردن پره یا توسعه ترکیب های جدید PCM با افزودنی به منظور افزایش عملکرد حرارتی. افزودنی های احتمالی برای

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مصالح عبارتند از: صفحات نانویی گرافیت ورقه ای، اسفنج های فلزی و تزریق فیبر کربنی. تحقیقات افزایش هدایت حرارتی توسط پره ها عبارتند از: مبدل حرارتی لوله Triplex و پره های حلقه ای معمولی.

این موضوع اهمیت دارد که افزایش هدایت حرارتی سیستم PCM قبل از نصب سیستم در ساختمان در نظر گرفته می شود. این افزایش هدایت حرارتی می تواند تاثیر قابل توجهی بر کارآمدی کلی سیستم داشته و عملکرد را بهتر بخشد. آزمایشی که توسط Al-Abidi و همکاران انجام شد، ظرفیت افزودن پره به سیستم های انرژی حرارتی گرمای نهان را نشان دادکه بعنوان روشی برای افزایش عملکرد حرارتی آن ها استفاده شده است. مقاطع عرضی و طولی مبدل حرارتی در شکل (۲- ۱۰) نشان داده شده است. می توان تصور کرد که این روش نسبت به ساخت ترکیب های جدید PCM ارزان تر بوده و لذا برای کاربردهای مسکونی مطلوب تر است.



شکل (۲- ۱۰) مقطع عرضی و طولی مبدل حرارتی

۳- جداشدگی فاز

جداشدگی فاز یکی از بزرگترین تاثیرات منفی بر پایداری سیکلی حرارتی PCM ها است. جداشدگی فاز می تواند زمانی اتفاق بیفتد که محتویات داخل PCM درطول بارگذاری چرخه ای در فازهای مختلفی باشند. این موضوع در PCM های چندجزئی که دانسیته اجزا متفاوت است رایج تر است که باعث جداشدگی نهایی اجزا بعلت نیروی ثقلی می شود که نقطه ذوب مصالح را تغییر می دهد. ذوب غیریکنواخت PCM های از نوع هیدرات نمک دلیل عمده دیگر جداشدگی فاز در سیستم های PCM است. Oro و همکاران بیان داشته اند که بسیاری از PCM ها به منظور کمینه ساختن تاثیر جداشدگی فاز بخصوص در کاربردهای دمای پایین (کمتر از ۲۰ درجه سانتیگراد) باید از نماینده های هسته ساز و ضخیم کننده استفاده کنند. همچنین توصیه کرده اند تاثیرات بلندمدت جداشدگی فاز درزمان توسعه PCM برای کاربردی جدید، کاملاً بررسی شود. تاثیری که جداشدگی فاز بر ساختمان های مسکونی خواهد داشت این است که پایداری بلندمدت مصالح تغییرفازدهنده مورداستفاده را محدود خواهد کرد. پیش از این شرح داده شد که یک راهکار ذخیره انرژی حرارتی بادوام که چندین سال بطور کارآمد استفاده شود، موردنیاز است لذا محققان روش هایی را به منظور حذف اثرات زیان بار جداشدگی فاز از مصالح تغییرفازدهنده بررسی کرده اند. از جمله این روش ها می توان به بکارگیری نماینده های ضخیم کننده به منظور کاهش/حذف جداشدگی فاز از PCM های نمک های هیدرات غیرآلی و استفاده از PCM های جذب شده به بتن متخلخل بعنوان روشی از کاهش اثرات جداشدگی فاز در PCM های غیرآلی اشاره کرد.

۴- ایمنی PCM ها دربرابر آتش

توسعه آتش داخل ساختمان می تواند به مقدار زیادی تحت تاثیر مصالح استفاده شده در نمای ساختمان باشد. صفحات پوشش گچی یک نوع مصالح ساختمانی رایج هستند و ثابت شده اند که مناسب بوده و نسبتاً ایمن هستند. بااین حال تحقیقات نشان داده اند که پوشش دیوار گچی معمولی با حدود ٪۲۴ PCM از نوع پارافین،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نیازمندی های ایمنی ساختمانی را برآورده نمی کنند و در مقایسه با پوشش گچی استاندارد ایمنی آتش کمتری دارند. درطول آتش، پارافین به بخار تغییرفاز می دهد و بااین تغییر فاز محیط کپسوله خود را ازدست داده و به سازه متخلخل پوشش گچی آزاد می شود. انتظار می رود که این بخار پارافین در دماهای آتش بالا مشتعل شده و لذا بار آتش یک ساختمان را افزایش داده و ویژگی های ایمنی آتش آن را کاهش دهد. محققان استفاده از بازدارنده‌های آتش را بعنوان ابزاری از کاهش اثرات منفی بر ایمنی حریق ناشی از استفاده از PCM های آلی در نماهای ساختمان را بررسی کرده‌اند. مصالحی که بعنوان بازدارنده های آتش در تحقیقات استفاده شده اند عبارتند از: آمونیوم پلی فسفات (AP)، آلومینیوم هیدروکسید، پنتاری تریتول و گرافیت منبط شده (EC). نتایج همین تحقیقات نشان داد که PCM ای که حاوی ترکیب AP+EC بوده، بهترین بازدارندگی آتش را از خود نشان داده است چراکه درطول حریق یک پس ماند تشکیل می دهد که باعث می شود آتش خودش خاموش شود. لازم بذکر است خواص حرارتی PCM با افزودن بازدارنده های آتش تغییر زیادی نمی کنند.

۵- هزینه

در بخش‌های قبل معایب و مشکلات انواع PCMها و روش برخورد با آن‌ها ذکر شد. نتیجه مشترکی که برای تمامی راهکارها می‌توان گرفت، اضافه کردن یک افزودنی به PCM به منظور دستیابی به یک منفعت مشخص است. انتظار می‌رود این کار هزینه استفاده از PCM را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد. جدول (۲- ۶) هزینه میانگین مصالح تغییرفازدهنده رایج را نشان می‌دهد. تمامی این اطلاعات از مرور دپارتمان انرژی ایالات متحده با موضوع تحلیل هزینه مصالح تغییرفازدهنده ساده که برروی نمای ساختمان استفاده شده است، برداشت شده است. این جدول نشان می دهد که شکل‌های پایه PCM های آلی، غیرآلی و اسیدهای چرب نسبتاً ارزان هستند. واکس پارافین حدود ۲ دلار درهرکیلوگرم و رایج‌ترین شکل هیدرات نمک، کلسیم کلرید، تنها ۰.۲ دلار در هرکیلوگرم قیمت دارند. بااین حال، هزینه یک هیدرات نمک که بصورت تجاری موجود است، حدود ۲۵ برابر گران‌تر از مصالح خام است. این موضوع بدین دلیل است که PCM هایی که بصورت تجاری در دسترس هستند، افزودنی های زیادی به منظور توسعه کارآمدی و بازدهی خود دارند. سیستم‌های PCM قبل از اینکه برای خریداران تجاری جذاب باشند، باید تا حدی ذخیره انرژی قابل توجهی را در اختیار گذارند. میانگین سالیانه مصرف هر خانواده در بخش مخارج گازی در انگلستان ۷۰۰ پوند است که ٪۸۰ آن برای گرمایش فضاها استفاده می شود. محصولات PCM تجاری موجود در بخش مسکن وجود دارند مانند صفحه FES تغییرفازدهنده Datum که بین ۲۵ و ۷۵ پوند در هر مترمربع هزینه دارد. این هزینه، هزینه‌های نصب که ایجاد نوارهای پوششی دیوار و نصب آن و جایگزینی با صفحه FES است را شامل نمی‌شود. از طرفی دیگر، گزارش شده است که این راهکار کمک به کاهش مصرف انرژی حدود ٪۳۵ می کند.

جدول (۲- ۶) هزینه مصالح تغییرفازدهنده

مصالح	نوع PCM	هزینه (دلار آمریکا در هر کیلوگرم)
واکس پارافین	آلی	1.88-2.00
ایکوسان درجه فنی	آلی	7.04
ایکوسان درجه خالص	آلی	53.9
استئاریک اسید	اسید چرب	1.43-1.56
پلامیتیک اسید	اسید چرب	1.61-1.72
اولئیک اسید	اسید چرب	1.67-1.76

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

گلیسیرین خام	اسید چرب	0.22-0.29
M-27	اسید چرب تجاری موجود	14.26
M-51	اسید چرب تجاری موجود	11.13
کلسیم کلراید	هیدرات نمک غیرآلی	0.20
آخرین 29T	هیدرات نمک تجاری موجود	4.95

این موضوع بستگی به تصمیم استفاده کننده نهایی دارد که آیا سیستم های PCM ارزش سرمایه گذاری دارند یا خیر. بااین حال می توان گفت که دانش عمومی PCM ها و فواید آن ها کم است و لذا شرکت های بیشتری باید راهکارهایی را به بازار و عموم معرفی کنند تا فواید آن ها مشخص تر شود. اما باوجود تمامی نگرانی‌های مالی عموم درباره آن، توسعه مسیراصلی سیستم های PCM در ساختمان های مسکونی ممکن است همچنان چنددهه دیگر اتفاق بیفتد.

۲-۹-۲ نمونه های استفاده مصالح دارای بهره وری انرژی در مراحل مختلف ساختمان سازی بـا دیدگاه چرخه عمر آن ها

تاب آوری و بهره‌وری انرژی مصالح ساختمانی باید در طول چرخه عمر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و پس از مطالعات مختلفی همچون ارزیابی چرخه عمر (LCA)[1] تصمیم گیری درباره انتخاب مصالح مناسب ساخت و ساز مسکن اجتماعی صورت پذیرد. بر اساس مصاحبه غیررسمی از تولیدکنندگان مصالح ساختمانی توسط دانشگاه میشیگان، در هرسیستم ساختمانی مصالح تاب آور محیط زیستی جایگزین مشخص شده است. معیارهای انتخابی این مطالعه تاب آوری را در زمینه محدوده وسیعی از مسائل محیط زیست مانند استخراج و جمع آوری مصالح خام، فرآیندهای تولید، و نیز روش های ساخت و انباشت ضایعات پس از تخریب در نظر می گیرد. جدول (۲- ۷) نمونه ای از این معیارها را که براساس مرحله ای از چرخه عمر تحت تاثیر دسته بندی شده اند، نشان می دهد. با استفاده از این جدول می توان ویژگی های تاب آور مصالح مختلفی که برای هدف یکسان استفاده شده اند را با یکدیگر مقایسه کرد. وجود یک یا چند مورد از این ویژگی های سبز در مصالح ساختمانی می تواند به تعیین تاب آوری مربوطه کمک کند.

جدول (۲- ۷) ویژگی های سبز کلیدی مصالح ساختمانی تاب آور [۳]

ویژگی های سبز		
مدیریت ضایعات (WM)	**استفاده در ساختمان (BO)**	**فرآیند تولید (MP)**
زیست تجزیه پذیر (B)	کارآمدی انرژی (EE)	کاهش ضایعات (WR)
قابل بازیافت (R)	تصفیه و محافظت از آب (WTC)	کاهش آلودگی (P2)
قابل استفاده مجدد (RU)	غیرسمی (NT)	بازیافت شده (RC)
سایر موارد (O)	منبع انرژی تجدیدپذیر (RES)	کاهش انرژی درونی (EER)
-	طول عمر بیشتر (LL)	مصالح طبیعی (NM)

در ادامه استفاده از برخی مصالح تاب آور محیط زیست در مراحل مختلف ساختمان سازی بیان شده و مزایای آن نسبت به مصالح مشابه و ویژگی های سبز آن ها به تفکیک تشریح خواهد شد.

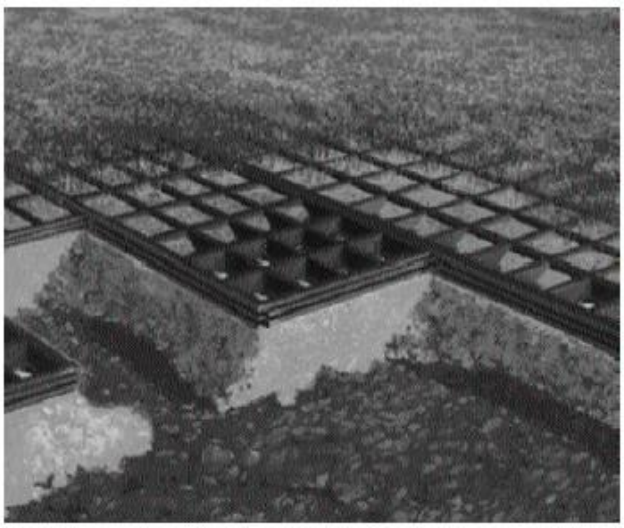
[1] Life Cycle Analysis

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۱-۹-۲-۲ جانمایی سایت و محوطه سازی

پلاستیک بازیافتی به‌عنوان مواد محوطه سازی توسعه زیادی پیدا کرده است. الوار پلاستیک بطور گسترده در جانمایی بیرونی و قالب بندی استفاده می شوند. این الوار از طریق خردکردن و شکل دهی مجدد ظروف پلاستیک پس از مصرف مانند بطری های نوشیدنی های کم الکل و ظروف شیر ساخته می شوند. برخی از تولیدکننده ها چوب ضایعاتی یا بازیافتی را نیز با آن ترکیب می کنند. الوار پلاستیکی مزایایی را مانند عدم نفوذپذیری دربرابر رطوبت و عدم پیچ خوردگی و پوسیدگی را در مقایسه با چوب دارند. این مواد در ابعاد بریده شده مختلف و یا بصورت ابزارها و چیدمان تولید شده برای فضای سبز، موجود هستند. سرعت گیرها و ضربه گیرها نیز از پلاستیک بازیافتی تولید می شوند که جای بتن و آسفالت را خواهند گرفت.

با بازیافت پلاستیک، یکی از عوامل مهم انباشت زباله به استفاده جدید درآمده و از مصالح خام محافظت خواهد شد. همچنین حفظ آب بیشتری نیز صورت می گیرد؛ زیرا بازیافت پلاستیک در مقایسه با پرداخت پلاستیک جدید، چوب یا بتن به آب کمتری نیاز دارد. پلاستیک بازیافتی درصورت استفاده در فرآورده های کنترل فرسایش خاک، باعث عدم ازبین رفتن لایه خاک سطحی و کاهش تیرگی آب نیز خواهد شد. مصالح بازیافتی پس از پایان عمر مفید، خود نیز می توانند بازیافت شوند. از آنجایی که این مصالح پایدار هستند، درصورتی که در انباشت زباله نیز رها شوند به مواد سمی تبدیل نخواهند شد. کفپوش های فضا که از پلاستیک بازیافتی ساخته شده اند را می توان بجای آجر استفاده کرد. کفپوش ها در رنگ ها و سبک های مختلف تولید می شوند و می توانند مشابه با الگوی آجر سنتی مورداستفاده قرار گیرند. مصالح پلاستیک سخت شبکه ای نیز مشابه شکل (۲-۱۱) معرفی شده اند. این محصولات علاوه بر کاربرد کفپوش، اجازه رشد چمن در نواحی باز شبکه را داده و زهکشی آب از داخل آن را ممکن می سازد. می توان از آن بعنوان ایده در زمین بازی استفاده کرده و همچنین سطح سختی را برای دسترسی ویلچر به چمنزار فراهم می کند. جدول (۲-۸) ویژگی های سبز الوار و کفپوش پلاستیکی را نشان می دهد.



شکل (۲- ۱۱) سیستم کفسازی متخلخل که از پلاستیک بازیافتی ساخته شده است (برای تامین دسترسی ویلچر به پارک ها و زمین های بازی عالی است)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۸) ویژگی های سبز الوار و کفپوش های پلاستیکی

مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
_	-	کاهش ضایعات (WR)
قابل بازیافت (R)	تصفیه و محافظت از آب (WTC)	-
قابل استفاده مجدد (RU)	غیرسمی (NT)	بازیافت شده (RC)
-	-	کاهش انرژی درونی (EER)
-	طول عمر بیشتر (LL)	-

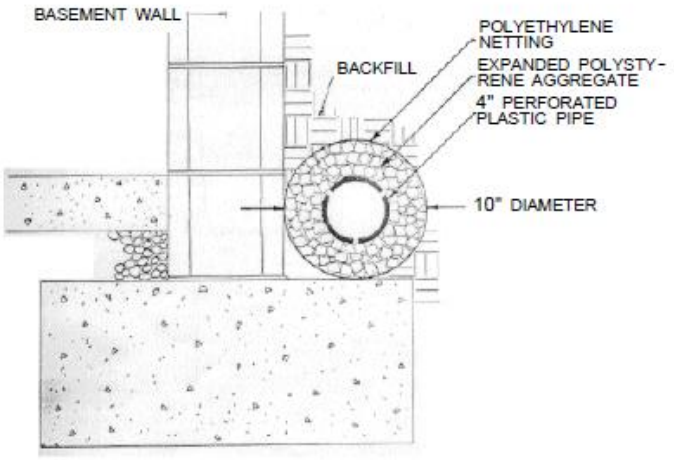
مصالح روسازی متعارف مانند آسفالت نیز از مصالح بازیافتی استفاده کرده اند. استاندارد متعارف در ساخت بزرگراه و خیابان این است که آسفالت قدیمی آسیاب و بازگرمادهی شده و در سطوح روسازی مجدد استفاده می شود. در حالی که استفاده از لاستیک بازیافت شده، شیشه و پلاستیک در مخلوط آسفالت باعث کاهش قابل توجه ضایعات می گردد. به علاوه این مصالح دوام بیشتری را نسبت به روش های سنتی روسازی در اختیار می گذارند که درواقع عمر طولانی تر و نیاز به روسازی مجدد کمتری را در پی خواهد داشت. این موضوع، مصالح و انرژی استفاده شده درطول عمر پروژه را کاهش می دهد. جدول (۲- ۹) ویژگی های سبز آسفالت بازیافت شده را نشان می دهد.

جدول (۲- ۹) ویژگی های سبز آسفالت بازیافت شده

مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
-	-	کاهش ضایعات (WR)
قابل بازیافت (R)	-	-
-	-	بازیافت شده (RC)
O سایر موارد (O)	-	کاهش انرژی درونی (EER)
-	طول عمر بیشتر (LL)	-

در نوع جدیدی از سیستم زهکشی، تکه های پلی استایرن (EPS)، که درغیراینصورت به انباشت زباله ها می روند، جایگزین شن می شود. پلی استایرن را به سادگی می توان بجای شن استفاده کرده و در طبیعت پایدار است. یک سیستم پیش ساخته از لوله زهکشی سوراخ دار که در اطراف آن تراشه های پلاستیک قرار دارد با شبکه پلاستیکی مانند شکل (۲- ۱۲) در جای خود مستقر شده اند. وزن سبک و پیش ساختگی آن، زمان و کارگر مورد نیاز را درطول ساخت کاهش می دهد. هم چنین نیاز به کامیون های شن از بین رفته و آلودگی هوا کاهش خواهد یافت. هر یک از این دو نوع را می توان دراطراف فونداسیون ها، زمین های زهکشی، پارکینگ ها و هر محلی که از زهکش های سنتی سایت استفاده می شود، استفاده کرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

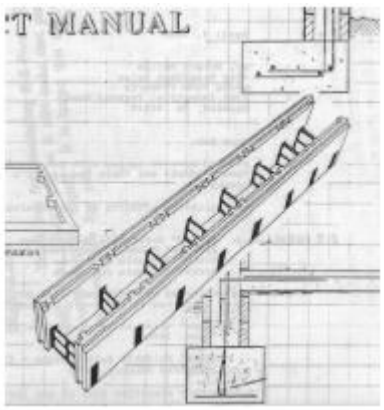


شکل (۲- ۱۲) سیستم زهکشی پیش ساخته بااستفاده از تراشه های EPS بجای شن

۲-۹-۲-۲ فونداسیون ها

بتن درجاریز و فونداسیون های بتن بلوکی در صنعت ساخت و ساز مدت زیادی است که استفاده می شود. این مصالح عایق حرارتی خوبی ایجاد کرده و طول عمر زیادی دارد. پیشرفت های قابل توجهی به منظور کاهش ضایعات نصب تولید شده در سایت و افزایش ارزش عایق بندی این سیستم های فونداسیون انجام شده است. این سیستم بطور کلی بعنوان فونداسیون های با عایق بندی بالا شناخته می شوند.

دو مورد از معایب اصلی بتن درجاریز، زمان و مصالح موردنیاز برای ساخت قالب است. بطورکلی تخته چندلایه و الوار با ابعاد مختلف برای ساخت قالب‌ها استفاده می شود و پس از گیرش بتن دور انداخته می شوند. این موضوع انرژی موجود در تولید چوب و تخته چندلایه را هدر می دهد که با وجود خشک شدن چوب و سوخت استفاده شده برای ساخت رزین های چسبندگی، می تواند بسیار زیاد باشد. علاوه براین باوجود رزین ها، بازیافت تخته چندلایه دشوار بوده و معمولاً به انباشت زباله ها ختم می شود. یکی از راهکارها در راستای بهره وری انرژی، استفاده از قالب بندی دائمی با استفاده از فوم پلاستیک سخت می باشد (شکل (۲- ۱۳)). ورقه ها یا بلوک های فوم برای محدودکردن بتن در حین بتن ریزی استفاده می شوند و از طریق حفظ گرمای تولیدشده در حین گیرش بتن مقاومت فشاری را افزایش می دهد که در نهایت دیوار ساخته شده ۲۵٪ قویتر بوده و ارزش عایق آن معادل R22-R24 خواهد بود.



شکل (۲- ۱۳) قالب دائمی برای دیوارهای بتنی درجا که از فوم پلاستیک سخت ساخته شده است

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

روزنه های موجود در بلوک بتنی که برای کاهش وزن و سادگی اجرا طراحی شده اند، پتانسیل ایجاد عایق را نیز دارند. غالباً از عایق های پرکننده سبک برای پر کردن این روزنه ها در حین ساخت دیوار استفاده می شود. روش جدیدی وجود دارد که این روزنه های بلوک را براساس نیاز تغییر داده و از مواد فوم سخت و محکم الحاقی استفاده می کند (شکل (۲- ۱۴)). این مواد در دو لبه بلوک مورد تماس بتن قرار گرفته و حفاظ حرارتی پیوسته ای را درسرتاسر طول دیوار ایجاد می کند.



شکل (۲- ۱۴) بلوک های بتنی دارای فوم های الحاقی

در جدول (۲- ۱۰) ویژگی های سبز فونداسیون های عایق آورده شده است.

جدول (۲- ۱۰) ویژگی های سبز فونداسیون های عایق

مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
-	کارآمدی انرژی (EE)	کاهش ضایعات (WR)
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	طول عمر بیشتر (LL)	-

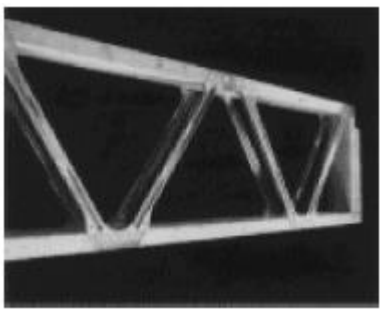
۳-۹-۲-۲ قاب سازه ای

با افزایش قیمت چوب خام و کاهش کیفیت آن، قاب فولادی جایگزینی اقتصادی برای قاب‌های چوب پایه در ساخت و ساز مسکونی خواهد بود. قاب‌های فولادی مدت زیادی به دلیل سادگی برپایی و نیز کیفیت یکنواخت آن در ساخت و ساز تجاری مورد استقبال قرار گرفته است. گرچه اخیراً قیمت قاب فولادی و ماهیت سلیقه ای طراحی خانه استفاده از آن را محدودتر ساخته است. از طرفی، از آنجایی که فولاد قوی تر است اعضای سازه ای کمتری برای تحمل بار یکسان لازم است. با وجود اینکه فولاد محتوای انرژی درونی بسیار بالایی دارد اما می توان به‌راحتی آن را مجدداً استفاده کرده و بازیافت نمود. یکی از مضرات استفاده از فولاد در دیوارهای خارجی ماهیت عدم عایق بندی آن است: به منظور تامین ارزش R یکسان در مقایسه با دیوار پایه چوبی، عایق بندی بیشتری موردنیاز خواهد بود. سیستم های تیرچه ای و خرپایی با استفاده از الوار پیش ساخته یا ترکیبی از الوار و فولاد دارای ابعاد مختلف، در بخش مسکونی نیز موردتوجه قرار گرفته است. تیرچه های با جان باز و خرپاها (شکل (۲- ۱۵)) نسبت به اعضای چوبی 2x12 اقتصادی تر هستند و سیستم تولید آن ها نیز کیفیت یکنواختی را عرضه می کند. چوب که محصولی طبیعی است در معرض متغیرهای زیادی قرار دارد که می توانند برروی مقاومت سازه ای

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

آن تاثیر گذارند. در سیستم های مذکور بطورکلی الوار و بخصوص مصالح 2x4 کمتری استفاده شده و جان های فلزی می توانند از فولاد بازیافتی تولید شوند. همچنین از دیگر مزایای این سیستم ها می توان به افزایش رده صوتی آن ها اشاره کرد. الواری که از تخریب ساختمان ها بازیافت شده اند، به دلایل محیط زیستی و نیز زیبایی در نوسازی و ساخت و ساز جدید استفاده می شوند. سازه های قاب چوبی غالباً به دلیل دشواری دستیابی به برش های بزرگ چوب، به چوب بازیافتی وابسته هستند.

الوار، کفسازی، تکه های چوب و کفسازی از تخریب خانه ها و انبارهای قدیمی بدست آمده و درصورت لزوم تمیز شده و دوباره برش داده می شوند. محصول بدست آمده انباشت زباله را کاهش می دهد، غیرسمی و قابل بازیافت بوده و به علاوه نسبت به الواری که بصورت تجاری موجود است، کیفیت بهتری دارد. در جدول (۲- ۱۱) ویژگی های سبز قاب فولادی آورده شده است.



شکل (۲- ۱۵) تیرچه با جان باز چوبی و فولادی

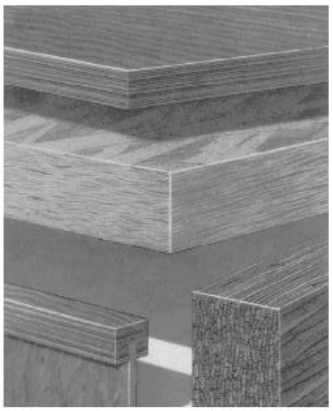
جدول (۲- ۱۱) ویژگی های سبز قاب فولادی

مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
زیست تجزیه پذیر (B)	-	-
قابل بازیافت (R)	-	-
قابل استفاده مجدد (RU)	غیرسمی (NT)	بازیافت شده (RC)
-	-	-
-	طول عمر بیشتر (LL)	مصالح طبیعی (NM)

۲-۹-۴-۲ پوشش های ساختمان

تخته چندلایه و صفحه رشته ای جهت داده شده مصالح پوششی متعارفی است که پس از ساخت قاب سازه، برای محصور کردن ساختمان ها استفاده می شوند. هردو مصالح بر پایه چوب هستند: تخته چندلایه دارای ورقه های بزرگ روکش دار است که به یکدیگر متصل شده اند و برای ساخت صفحه رشته ای نیز از اجزای چوبی ضایعاتی استفاده می شود (شکل (۲- ۱۶)). رزین هایی که برای چسباندن رشته های چوبی استفاده می شوند از فرآورده های نفتی هستند. موادشیمیایی که فرار و گاهی اوقات خطرناک هستند درطول عمر محصول از صفحات تبخیر می شوند و باعث آلودگی هوای داخل و خارج خواهند شد. لذا این مصالح بهترین استفاده را زمانی خواهند داشت که با دیگر محصوات ساختمانی پوشیده شده یا عایق شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱۶) الوار مرکب که از چوب ضایعاتی ساخته می شود

پوشش جانبی چوبی، آلومینیومی یا پلاستیکی (وینیل) عموماً برروی این پوشش نصب می شود تا آن را از شرایط آب و هوایی حفظ کند. هر سه مصالح دارای مضراتی هستند: نگهداری از چوب دشوار بوده و روبه کمیاب شدن است؛ آلومینیوم و وینیل هردو دارای انرژی درونی بالایی بوده و عموماً نمی توانند کیفیت های مربوط به زیبایی چوب را حفظ کنند. بااین حال هردو مصالح می توانند دارای درصد زیادی از مصالح بازیافتی باشند. مصالح پوششی جایگزین نیز موجود هستند که شامل محصولات دیگری با ظاهری شبیه چوب گرفته تا مصالح اندود پیشرفته متغیر خواهند بود.

پوشش جانبی و توفاله‌های الیاف شیمیایی به شکل ظاهری چوب و بدون نیاز به نگهداری در می آیند و مشابه با آلومینیوم یا وینیل محتوی انرژی درونی بالایی ندارند. این پوشش ها که از فایبرگلس یا رزین های پلاستیکی ساخته شده اند، غیرسمی، غیراشتعال پذیر، سبک وزن و مقاوم در برابر رطوبت هستند. در جدول (۲- ۱۲) ویژگی های سبز پوشش جانبی الیاف شیمیایی آورده شده است.

جدول (۲- ۱۲) ویژگی های سبز پوشش جانبی الیاف شیمیایی

مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
-	-	-
-	-	-
-	غیرسمی (NT)	-
-	-	-
-	طول عمر بیشتر (LL)	-

۵-۹-۲-۲ پوشش های سازه ای

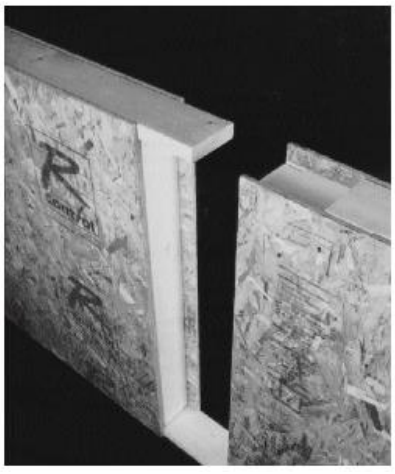
پوشش های سازه ای شامل دو مرحله قاب بندی و میان قاب می شوند. رایج ترین مثال ساختمان بنایی است که در آن سنگ، آجر یا واحدهای بتن بنایی (CMU) مقاومت سازه ای ساختمان را تامین کرده و بعنوان روکش یا میان قاب بین اعضای قاب چوبی یا فلزی استفاده نمی شوند. سنگ لاشه ای گران بوده و حمل و نقل دشواری دارد، لذا امروزه تقریباً هیچ‌گاه در مصالح بنایی منسجم استفاده نمی شود. آجر و CMU همچنان بصورت سازه ای و عموماً در کاربردهای مسکونی یا تجاری سبک استفاده می شوند. اگرچه که رس برای آجر نیز باید بصورت لاشه درآید اما بصورت فراوان وجود داشته و می تواند به راحتی از نهشته های سطحی بدست آید. آجرهای رسی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

معمولاً درنزدیکی سایت معدن رس تولیدشده و فروخته می شوند که هزینه های حمل و نقل و آلودگی هوا را کاهش می دهند. فرآیند پخت آجر محتوی انرژی درونی بالایی را تحمیل می کند. اکثر آجرها با رنگ دانه های آلی رنگ می شوند؛ اما برخی از مصالح شیشه ای و رنگدانه ها می تواند برای محیط زیست خطرناک باشد. CMU ها نیاز به پختن ندارند اما غالباً در کوره خشک می شوند. سوخت سنگ آهک به منظور تولید آهکی که در سیمان و دوغاب استفاده می شود نیز مقدار انرژی زیادی مصرف می کند. بااین حال آجرها و CMU ها مصالح با عمر طولانی بوده، مقدار عایق جرم حرارتی بالایی داشته و درصورتی که در انباشت زباله رها شوند پایدار هستند. همچنین آن ها را می توان در ترکیب با محصولات ضایعات صنعتی مانند خاکستر بادی، شیشه، پلاستیک و حتی ضایعات خطرناک مورداستفاده قرار داد. در جدول (۲- ۱۳) ویژگی های سبز آجرها و CMUها آورده شده است.

مصالح خشتی و خاک متراکم که از قدیم بعنوان انواع ساختمان هایی که در جنوب غرب ایالات متحده و دیگر نواحی خشک استفاده می شدند متصور بوده اند، مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. درسطح جهانی، ۴۰ درصد از جمعیت دنیا در خانه های خشتی سکنی گزیده اند. این مصالح را می توان بصورت محلی و حتی در سایت خود ساختمان بدست آورد. آن ها غیرسمی، زیست تجزیه پذیر بوده و می تواند ضایعات حاصل از تولید یا نصب را بکار گیرند. بیندرهای پلاستیکی در مخلوط خاک و سیستم های اندود توسعه یافته مقاومت دربرابر آب این سازه ها را افزایش داده و باعث شده است که ساخت و ساز با مصالح خاک پایه فراتر از نواحی خشک و در آب و هوای مرطوب نیز اجرا شوند. مصالح خشتی و خاک متراکم غیرآلاینده، غیرسمی، قابل بازیافت، با بهره وری انرژی بالا بوده و درصورتی که ساخت مناسبی داشته باشند عمر طولانی مدتی خواهند داشت: برخی از سازه هایی که بااین روش ساخته شده اند طول عمر تا ۳۵۰ سال داشته اند.

پانل های ورقه ای تحت فشار که عایق بندی بالایی دارند (شکل (۲- ۱۷)) لایه های بزرگی از عایق صلب هستند که در تخته چندلا یا صفحه رشته ای محصور شده اند. برخی از انواع پانل ها قابلیت باربری داشته و می توانند در سیستم سازه ای مورداستفاده قرار گیرند. سایزهای استاندارد آن ها دارای پهنای چهار فوت بوده و طول های متفاوت تا ۲۴ فوت دارند. این پانل ها براحتی متصل شده و غالباً دارای ویژگی کام و زبانه هستند. از آنجایی که دیوار یکپارچه است، عایق بندی آن کامل تر است. شبکه های توکار آن ها برای عبور لوله های الکتریکی و تاسیساتی مورداستفاده قرار می گیرند.



شکل (۲- ۱۷) پانل های سازه ای ساختمان

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

استفاده از این پانل ها ضایعات را به مقدار زیادی کاهش داده و زمان و نیروی کاری را کاهش می دهد. هسته فومی را می توان با پلی استایرن منبسط شده بازیافتی ساخته و چوبی که در تخته چندلایه یا صفحه رشته ای استفاده می شود از الوار بریده شده تجزیه پذیر و ضایعات خوردشده آن بدست می آید. از آنجایی که هیچ جریان هوایی از این پانل ها عبور نمی کند، روزهایی که باد زیاد است تاثیر آن بر هزینه های گرمایش و سرمایش اندک خواهد بود. معمولاً در سازه های دارای ابعاد ۲ در ۶ ذخیره انرژی ۴۰ تا ۶۰ درصد رایج است. از آنجایی که اکثر مصالحی که در پانل های ورقه ای تحت فشار استفاده می شوند بازیافتی هستند، انرژی بسیار کمتری به منظور تولید پانل ها نسبت به دیگر مصالح ساختمانی، موردنیاز خواهد بود.

جدول (۲- ۱۳) ویژگی های سبز آجرها و CMU ها

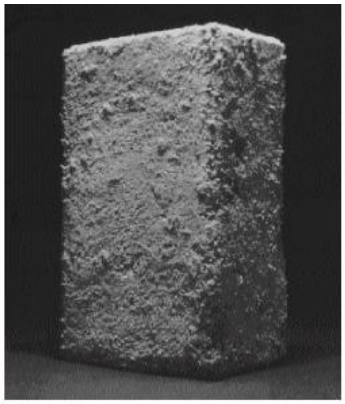
مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
-	کارآمدی انرژی (EE)	-
-	-	-
قابل استفاده مجدد (RU)	غیرسمی (NT)	بازیافت شده (RC)
سایر موارد (O)	-	-
-	طول عمر بیشتر (LL)	مصالح طبیعی (NM)

۶-۹-۲-۲ عایق بندی

عایق بندی کامل یکی از بهترین روش ها برای کاهش مصرف انرژی و هزینه های مصرفی ساختمان است. عایق بندی فوایدی مانند عایق صوتی را نیز در اختیار می گذارد. عایق بندی متعارف فایبرگلس توسط پلیمرهای با تکنولوژی بالا و کتان های قدیمی تامین می شود.

عایق بندی فوم سخت که در پانل های سازه های جدید استفاده می شوند می توانند مقدار R بسیار بالایی را در هر اینچ ضخامت تامین کنند. انرژی که با نصب این مصالح ذخیره می شود بسیار بیشتر از انرژی مصرف شده در تولید آن است. مقدار R تحت تاثیر رطوبت قرار نداشته و فوم پلاستیک توسط حشرات خورده نمی شود.

به دلیل محتوای انرژی درونی بسیار بالای پلاستیک ها و خطرات احتمالی مواد شیمیایی فراری که از آن ها استخراج می شود، عایق بندی بااستفاده از مواد ارگانیک مورد توجه قرار گرفته است. انواع مختلف عایق بندی که درحال حاضر در بازار موجود است از روزنامه های بازیافتی (شکل (۲- ۱۸)) یا الیاف بازیافتی ساخته شده اند. این محصولات بصورت کاربردهای چسباننده، اتصال سست و یا افشانه ای موجود هستند.



شکل (۲- ۱۸) عایق بندی بااستفاده از روزنامه های بازیافتی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

عایق بندی حرارتی و صوتی که بصورت افشانه استفاده می شود و از الیاف کاغذی بازیافتی با چسب پایه آکریلیک ساخته شده است، مقدار R برابر با ۴.۵۴ در هر اینچ مربع ارائه می دهد. استفاده از ٪۱۰۰ کاغذ پس از مصرف، باعث حفظ درختان، آب و فضای انباشت زباله می شود. بیندر آکریلیک غیرسمی بوده و عایق بندی را در محل خود نگه داشته و باعث تثبیت نهایی آن شده که مقدار R را کاهش خواهد داد. کاربرد افشانه ای نیز باعث می شود عایق براحتی در اطراف لوله ها و مسیرهای عبور سیم های برق پر شود. در فرآیند تولید تاخیرسازهای اشتعال و حشره کش ها به الیاف اضافه می شوند. عایق بندی با کتان از الیاف بازیافتی که معمولاً در نهایت در انباشت زباله جمع آوری می شوند، ساخته می شود. مقادیر R از R-11 برای ضخامت ۳.۵ اینچ تا R-38 برای ضخامت ۱۲ اینچ موجود هستند. فرآیندی که برای بازیافت کتان استفاده می شود انرژی بسیار کمی را مصرف می کند، غیرسمی بوده و می تواند از مصالح بازیافتی استفاده کند. هیچ آلاینده یا انتشار زیان آوری از آن در فرآیند تولید رخ نمی دهد. مشابه با عایق سلولزی، تاخیرسازهای اشتعالی و حشره کش ها در مرحله تولید به الیاف اضافه می شوند. در جدول (۲- ۱۴) ویژگی های سبز پلی استایرن بازیافتی آورده شده است.

جدول (۲- ۱۴) ویژگی های سبز پلی استایرن بازیافتی

مدیریت ضایعات (WM)	استفاده در ساختمان (BO)	فرآیند تولید (MP)
-	کارآمدی انرژی (EE)	کاهش ضایعات (WR)
قابل بازیافت (R)	-	کاهش آلودگی (P2)
-	غیرسمی (NT)	بازیافت شده (RC)
سایر موارد (O)	-	-
-	-	-

۷-۹-۲-۲ پنجره ها

پنجره ها و نورگیرها باعث می شوند نور به فضاهای داخلی ساختمان ها برسد و نیاز به نور مصنوعی را کاهش می دهند. این واحدها می توانند به تهویه و سرمایش کمک کرده و نیاز به تجهیزات مکانیکی را کاهش داده یا حذف کنند. با این حال، پنجره ها ضعیف ترین نقاط از نظر اتلاف انرژی در پوشش ساختمان هستند و تحقیقات زیادی در راستای توسعه سیستم های پنجره کارآمدتر انجام شده است. روش های توسعه یافته پنجره، شیشه های عایق بندی و فضاهای هوای پایدار پرشده از گاز را بین جداره ها پیشنهاد می دهند. جداره و قاب پنجره نیز با اضافه کردن عایق بندی و آب بندی بهبود یافته اند.

افزایش حرارت ازطریق تابش مستقیم خورشید را به بهترین نحو می توان ازطریق ابزارهای ایجاد سایه و با استفاده از شیشه با قابلیت انتشار اندک (E پایین) جلوگیری کرد. شیشه با E پایین بعنوان آینه تابشی عمل کرده و اشعه های فروسرخ (حرارتی) را به سمت منبع تابش منعکس می کند. این موضوع از افزایش حرارت خورشید در تابستان جلوگیری کرده و حرارت را در طول زمستان در داخل ساختمان حفظ می کند.

کاهش یا افزایش حرارت از طریق پنجره ها به وسیله انتقال حرارت نیز صورت می گیرد. پنجره های دو یا سه جداره به منظور جلوگیری از انتقال حرارت از فضای هوای بین جدارها استفاده می کنند (شکل (۲- ۱۹)). با پر کردن این فضا با گازی پایدار مانند آرگون انتقال حرارت کاهش بیشتری خواهد یافت. همچنین می توان از این فضا به منظور نگهداری لایه های کم انرژی (low-E) یا ابزارهای ترکیبی ایجاد سایه استفاده کرد. این نوع پنجره را می توان با استفاده از لایه ای که با نورخورشید کنترل می شود و در میان لایه های پنجره محفوظ می شود، بدست آورد. این لایه فضای خالی را تقسیم می کند و دو فضای خالی را ایجاد کرده که در نتیجه آن انتقال

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

حرارت کاهش می یابد. این لایه شفاف اجازه ورود نور خورشید به داخل را می دهد و از تابش فرابنفش (UV) جلوگیری می کند. فرابنفش علت خرابی و زوال سطوح و دلیل اصلی سرطان پوست می باشد. این لایه افزایش حرارت را کاهش داده و انرژی را درطول فصول سرد سال حفظ کرده ضمن اینکه نور روز را بیشینه می سازد. درحین تولید آن از مصالح غیرسمی به منظور جلوگیری از آلودگی استفاده می شود و لایه مذکور زمانی که در معرض فضای باز قرار می گیرد، بصورت غیرزیان آوری زیست تجزیه پذیر است.



شکل (۲- ۱۹) پنجره دوجداره به همراه لایه هایی که فضای خالی اضافی را ایجاد کرده و محافظت از UV را برقرار می سازند

پنجره های وینیل و آلومینیوم برای پوشش های خارجی ساختمان پرطرفدار هستند، زیرا نیاز به نگهداری اندکی دارند. غالباً جداره و قاب پنجره از چوب ساخته شده و سپس با آلومینیوم یا وینیل پوشانده می شود. چوب عایق بندی بهتری نسبت به وینیل یا آلومینیوم تنها ایجاد کرده و مقاومت قاب را افزایش می دهد. این نوع پنجره ها بطور خاص در ساخت و ساز مسکونی مطلوب است، چراکه چوب می تواند در سمت داخلی پنجره بصورت نمایان اجرا شود. حتی در سطوحی که نمایان نیستند استفاده از الوار با کیفیت به منظور کنترل تغییرشکل مورد نیاز خواهد بود. برخی اوقات در قاب های پنجره از فولاد به منظور افزایش مقاومت استفاده می شود. هردو مصالح پوششی بخصوص آلومینیوم، محتوای انرژی درونی بالایی دارند.

سیستم های پنجره فایبرگلس فوایدی را نسبت به آلومینیوم یا وینیل در اختیار می گذارند. این پنجره ها مشابه با ویتیل و آلومینیوم نیاز به نگهداری کمی دارند اما دچار تغییر شکل و پوسیدگی نمی شوند. علاوه براین طول عمر بیشتری داشته و محتوای انرژی درونی پایین تری نسبت به وینیل یا آلومینیوم دارند. این پنجره ها به هیچ چوب یا فولادی نیاز نداشته و به منظور افزایش عایق بندی با فوم پلی استایرن پر می شوند. از میله های فاصله گذار سیلیکنی بین جداره های چندگانه شیشه استفاده می شود. جدار فایبر گلاس نسبت به آب بندی هوا که در صورت استفاده از فضاهای پرشده با آرگون لازم است، قابلیت بهتری دارد. از آنجایی که فایبرگلاس عمدتاً از رشته های شیشه ساخته شده است، ضریب انبساط حرارتی مشابه با شیشه تنها داشته و سرعت انبساط و انقباض این دو مصالح تقریباً یکسان است. این بدین معنی است که تنش کمتری به آب بندها و بطورکلی مصالح پنجره وارد می شود. اگرچه در حال حاضر هیچ فرآیند تجزیه ای برای فایبرگلاس وجود ندارد، اما پتانسیل استفاده مجدد از آن بدلیل طول عمر طولانی آن وجود دارد.

نورگیرهای سقف در هردو بخش ساخت و ساز مسکونی و تجاری بعنوان روشی برای ایجاد نور روز به فضای داخلی سازه استفاده می شوند. روش های عایق بندی جدید در این سیستم ها مشکلات تراوش آب را که در

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

سیستم های نصب قدیم وجود داشت، کاهش داده است. یکی از معایب این سیستم ها افزایش حرارت مربوط به جدارهای بزرگ شیشه بخصوص در پشت بام که هیچ وسیله ای برای کاهش نورمستقیم خورشید وجود ندارد، است. بنابراین بسیاری از نورگیرهای بام تولیدشده، از یک وسیله ایجاد سایه که بصورت دستی یا الکترونیکی کنترل می شود، استفاده می کنند.

۲-۳ بررسی تکنیک ها و روش های مورد استفاده و مطالعات تحقیقاتی در زمینه سازه و معماری‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی

۲-۳-۱ طراحی ساختمان‌های بهره ور انرژی با نگاه بر چرخه عمر ساختمان

۲-۳-۱-۱ مقدمه

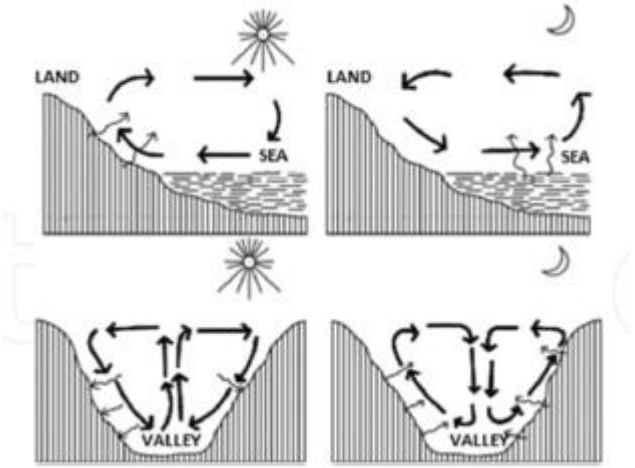
ساختمان ها در هریک از مراحل چرخه عمر خود سطوح مختلفی از انرژی را مصرف می کنند. به منظور ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی ساختمان ها ابتدا لازم است مراحل چرخه عمر ساختمان شناخته شود. چرخه عمر یک ساختمان به سه مرحله اصلی مرحله پیش از ساختمان، مرحله ساختمان و مرحله پس از ساختمان تقسیم بندی می شوند. هریک از این مراحل خود دارای مراحل جزئی تری هستند. مرحله پیش از ساختمان شامل انتخاب مناسب سایت، تهیه سایت پلان، شکل ساختمان، پلان ساختمان و سازماندهی فضایی مناسب آن، طراحی پوشش ساختمان با انتخاب مصالح ساختمانی بهره ور انرژی، طراحی چشم انداز بهره ور انرژی، دستیابی، تولید و انتقال مصالح خام مورد استفاده در ساختمان می باشد. مرحله ساختمان شامل فرآیندهای ساخت و استفاده از ساختمان است. مرحله پس از ساختمان مرحله پس از تکمیل استفاده از ساختمان است. در این مرحله تخریب، بازیافت و از بین رفتن ساختمان مطرح می شود.

۲-۳-۱-۲ روش های طراحی بهره ور انرژی در مرحله پیش از ساختمان

۲-۳-۱-۲-۱ انتخاب مناسب سایت

سایت ساختمان و فاصله آن با سایر ساختمان ها یکی از مهم ترین پارامترهای طراحی هستند که برروی مقدار تابش خورشید و سرعت جریان هوای اطراف ساختمان ها تاثیر می گذارند. به همین دلیل باید به نحوی انتخاب شود که از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند آفتاب و باد منفعت برده و محافظت دربرابر آن ها را ارائه دهد [۱۷]. موقعیت ساختمان ها برروی زمین به منظور تامین محافظت کافی دربرابر باد و آفتاب، بسته به شرایط اقلیمی منطقه باید مناسب باشد. در مناطق سردسیر، دماهای پایین شبانه باعث می شود که هوای سردتر و متراکم تر در گودی ها و دره ها جمع شود. بنابراین در مناطق سردسیر توصیه می شود که ساختمان ها در دامنه شیب ها و نه در دره ها ساخته شوند. این دامنه های شیب دار به اندازه دره ها در معرض باد سرد نبوده و بیشتر از باد مستقیم بهره می برند. شکل (۲- ۲۰) این موضوع را نشان می دهد [۱۸].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



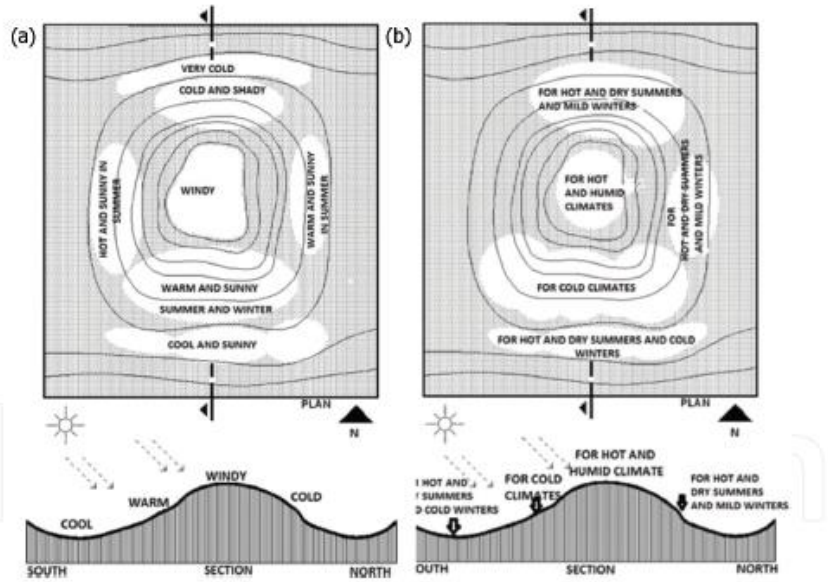
شکل (۲- ۲۰) تغییر شرایط اقلیمی اطراف ساختمان بسته به موقعیت آن [۱۹]

همچنین توپوگرافی موقعیت ساختمان به دلیل تاثیر زاویه تابش خورشید، شیب و جهت زمین در بهره گیری از نور روز و گردش هوای طبیعی و تابش آفتاب از اهمیت زیادی برخوردار است [۲۰]. این موضوع مشخص شده است که دامنه جنوبی گرم تر است. در زمان انتخاب موقعیت سایت، دامنه جنوبی برای اکثر انواع ساختمان ها بهترین انتخاب است. در زمستان به دو دلیل دامنه جنوبی گرم ترین ناحیه است: اول اینکه بیشترین انرژی تابشی خورشید را در هر فوت مربع از مساحت زمین دریافت می کند، زیرا با خورشید زمستان بیشترین تقابل مستقیم را دارد. دلیل دوم این است که دامنه جنوبی کمترین سایه را تجربه می کند زیرا اشیاء در دامنه های جنوبی کوتاه ترین سایه خود را می سازند [۲۱]. شکل (۲- ۲۱-a) انواع وضعیت های اقلیمی را در جهت های دامنه مختلف نشان می دهد. دامنه جنوبی بیشترین آفتاب را دریافت می کند و در زمستان گرم ترین دامنه است درحالیکه دامنه غربی در تابستان گرم ترین دامنه است. دامنه شمالی پرسایه ترین و سردترین است درحالیکه ناحیه قله بیشترین باد را دارد. نواحی گودی نسبت به دامنه ها سردتر هستند زیرا هوای سرد در داخل آن ها جمع می شود.

بهترین سمت ساخت ساختمان در یک ناحیه تپه دار به هردو اقلیم آب و هوایی و نوع ساختمان بستگی دارد. در ساختمان هایی که پوشش ساختمان غالب است مانند ساختمان های مسکونی و کوچک اداری، شرایط آب و هوایی انتخاب سایت را مشابه با شکل (۲- ۲۱-b) پیشنهاد می کند. بعنوان مثال در شرایط آب و هوایی سرد، دامنه‌های جنوبی تمرکز تابش خورشید را بیشینه ساخته و از ساختمان در برابر بادهای شمالی سرد محافظت می‌کند. باید از ساخت در نقاط بادخیز قله و همچنین نواحی کم ارتفاع مانند گودی ها که هوای سرد را در خود نگه می‌دارند خودداری شود. در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، ساخت در نواحی کم ارتفاع و گودی ها که هوای سرد را ذخیره می کنند، توصیه می شود. درصورتی که زمستان‌ها خیلی سرد باشند، ساختمان در پایین دامنه جنوبی ساخته شود. درصورتی که زمستان‌ها متوسط باشند در دامنه شمالی و شرقی ساختمان ساخته شود، اما در تمامی شرایط از ساختمان سازی در دامنه های غربی باید خودداری کرد. در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب می توان با ساخت در قله ها بیشترین گردش هوای طبیعی را ایجاد کرد اما نباید در سمت غربی قله ساخته شود زیرا تابش خورشید عصر آن بسیار داغ است. همچنین نقاط کم ارتفاع سرد بخصوص در سمت شمالی قله‌ها مناسب هستند. در ساختمان‌هایی که بخش داخلی آن‌ها غالب هستند مانند ساختمان‌های اداری بزرگ که

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نیاز به تابش خورشید بسیاری کمی دارند، دامنه های شمالی و شمال شرقی بهترین دامنه‌ها هستند [۲۱]. در شکل (۲- ۲۱) بسته به نواحی اقلیمی مختلف، نواحی مسکونی مناسب هر ناحیه نشان داده شده است [۲۲]:



شکل (۲- ۲۱) زمین مناسب برای ساختمان براساس نواحی اقلیمی مختلف. (a) شرایط آب و هوایی در اطراف یک قله و (b) سایت های ترجیحی ساختمان دراطراف یک قله در پاسخ به شرایط آب و هوایی برای ساختمان هایی که پوشش آن ها تعیین کننده است [۲۱]

ارتفاع ساختمان نیز باعث اختلاف مقادیر تابش خورشید می شود. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، مقادیر تابش خورشید افزایش می یابد. دلیل این موضوع به شرایط اتمسفری، شفافیت اتمسفر و کوتاه شدن فاصله ارتباط دارد. در مقابل افزایش مقادیر تابش خورشید، با افزایش ارتفاع از سطح دریا، دمای هوا نیز کاهش می یابد. با افزایش ارتفاع نیروی تندباد نیز افزایش می یابد که باعث افزایش افت دما در ساختمان می شود [۲۳].

۲-۲-۱-۳-۲ تهیه سایت پلان

در طراحی ساختمان ها فاصله بین ساختمان ها پارامتر طراحی مهمی است که برروی بهره وری از انرژی خورشیدی، جهت و سرعت باد در مواجهه با محیط ساخته شده توسط انسان تاثیرگذار است. در فرآیند طراحی، ساختمان باید بصورت کلی به همراه محیط اطراف خود درنظر گرفته شود. فاصله بین ساختمان ها به اندازه زیادی برروی عملکرد انرژی ساختمان در مرحله کاربری آن تاثیر می گذارد. این حقیقت که یک ساختمان در فضای سایه ساختمان های دیگر باقی می ماند برروی استفاده از نور خورشید تاثیر داشته و مصرف انرژی را افزایش می دهد. فضاهای ساختمان به منظور استفاده از نور خورشید نباید کمتر از ارتفاع بلندترین سایه ساختمان های پیرامون باشد. علاوه براین موقعیت و فاصله ساختمان از ساختمان های دیگر برروی سرعت و جهت باد وارد بر ساختمان تاثیر گذاشته و این موضوع عملکرد انرژی ساختمان را تحت تاثیر قرار می دهد [۲۴]. تعیین موقعیت ساختمان ها به نحوی که به یکدیگر متصل باشند باعث کاهش نسبت نمای ساختمان به حجم آن شده و نوسانات دمایی ازطریق نمای ساختمان را کاهش می دهد. علاوه براین موقعیت آن ها در جهت جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی باعث می شود از نور خورشید استفاده بهتری شود [۱۷] .

در مجموعه مسکونی London-BedZED، خانه های مجزایی که باغچه های مخصوص به خود را دارند طراحی شده اند، تا بتوانند از دست رفتن گرمای ساختمان را کاهش دهند. همچنین از ساختار فشرده ساختمان ها

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

استفاده شده و گروه های ساخت در یکدیگر تجمیع شده اند و تلاش این بوده است که نسبت مساحت خارجی به حجم ساختمان مطابق با شکل (۲- ۲۲) کاهش داده شود [۲۵].



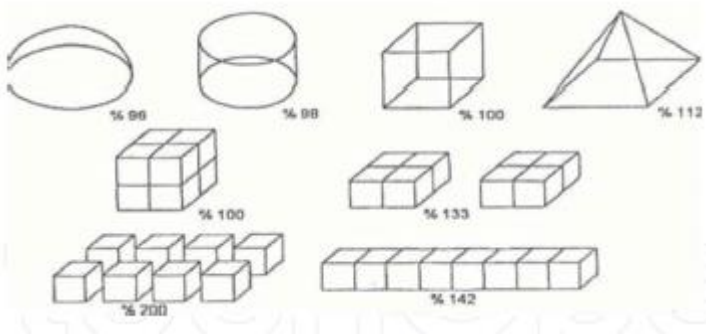
شکل (۲- ۲۲) سایت پلان مجموعه مسکونی بوم شناختی London-BedZED [۲۵]

۲-۳-۱-۲-۳ شکل ساختمان

شکل ساختمان عامل بسیار تاثیرگذار برروی افزایش و کاهش حرارت ساختمان است که می تواند ازطریق متغیرهای هندسی تشکیل دهنده ساختمان مانند نسبت طول به عرض ساختمان، ارتفاع ساختمان، نوع بام و شیب آن معرفی شود. بسته به نسبت سطوحی از ساختمان که در معرض محیط بیرونی است به حجم ساختمان، افزایش و کاهش حرارت ساختمان می تواند افزایش یا کاهش یابد [۲۶]. در مطالعاتی که در این باره انجام شده است، مشاهده شده است که اجسامی که حجم برابر اما شکل های متفاوتی دارند، عملکرد انرژی متفاوتی دارند. این محاسبات برمبنای مساحت خارجی اجسامی صورت گرفته است که حجم برابر داشته اما شکل متفاوتی دارند. سطح یک مکعب بعنوان مرجع برابر با ۱۰۰ درنظرگرفته شده و شکل های دیگر با آن مقایسه شده است (شکل (۲- ۲۳)) [۲۳].

شکل ساختمان در نواحی اهمیت دارد که شرایط اقلیمی مختلفی وجود دارد. در نواحی سردسیر، از شکل های فشرده که از دست رفتن حرارت را کمینه می سازند باید استفاده شود. در نواحی گرم و خشک از شکل ها و حیاط های فشرده باید استفاده شود که افزایش حرارت را کمینه ساخته و در تامین فضاهای سایه دار و سرد برای زندگی کمک می کنند. در نواحی گرم و مرطوب از شکل های بلند و لاغر که جهت بلندتر آن در جهت باد غالب باشد استفاده می شود تا از این طریق حداکثر گردش هوای ممکن برای مقطع ایجاد شود. در اقلیم های آب و هوایی معتدل، شکل های متراکم که نسبت به شکل های استفاده شده در نواحی سردسیر انعطاف پذیری بیشتری دارند، باید استفاده شود [۱۷].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

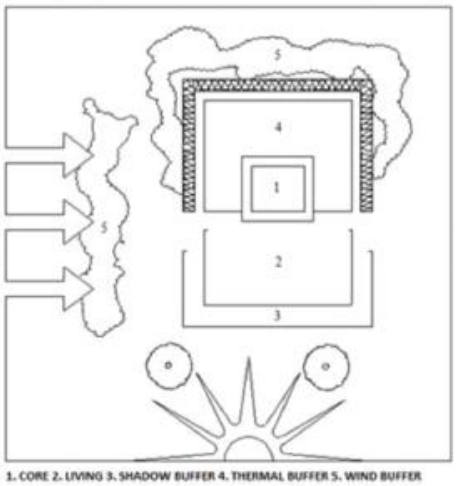


شکل (۲- ۲۳) رابطه شکل ساختمان و سطح آن [۲۷]

۲-۳-۱-۲-۴ پلان ساختمان و سازماندهی مناسب فضاها

پلان و شکل ساختمان باید طوری باشد که در صرفه جویی انرژی کارآمد باشد. در پلان های ساده مانند مربعی و مستطیلی که سطح خارجی آن ها کاهش یافته است، افزایش و کاهش حرارت نیز کاهش یافته است. ساختمان های کوچکتر که از فضای داخلی آن ها بصورتی کارآمد استفاده شده است، به دلیل گرمایش، سرمایش و روشنایی موثرتری که نسبت به ساختمان های بزرگتر دارند، انرژی کمتری مصرف می کنند [۲۸].

موقعیت یک فضا در سازماندهی پلان تاثیر بیشتری نسبت به جهت آن فضا در زمینه صرفه جویی انرژی دارد[۲۹]. نیاز انرژی ساختمان ها را می توان با تغییر چیدمان داخلی طرح کاهش داد. با بهره گیری حداکثر از نور خورشید نیاز به انرژی حرارتی را می توان کاهش داد. فضاهای مشترک یک خانه نیاز به گرمای بیشتری دارند در حالیکه فضاهایی مانند محل نگهداری خوراکی ها، حمام و دستشویی گرمای کمتری لازم دارند. لذا می توان از این فضاها بعنوان حایل فضاهای مشترک استفاده کرد. به نحوی که با قراردادن آن ها در محل از بین رفتن حرارت ساختمان، انتقال حرارت را به بیرون از ساختمان کاهش داد [۲۸]. در طراحی ساختمان می توان با لایه بندی براساس ناحیه حایل، فضاهای بهداشتی، سطح سروصدا، سطح روشنایی و نیاز گرمایشی عمل زون بندی را انجام داد. بنابراین نواحی که درطول روز استفاده زیادی می شوند باید در جهت جنوبی ساختمان باشند. زون بندی حرارتی و موقعیت فضاهای داخلی می تواند به صورتی طراحی شوند که حرکت هوا را در تمامی فضاها افزایش دهد (شکل (۲- ۲۴)). پلان های پیچیده و استفاده زیاد از المان های جداکننده ممکن است حرکت هوا را در محیط های داخلی ساختمان محدود کند [۳۰].



شکل (۲- ۲۴) زون بندی فضاها [۳۲]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۵-۲-۱-۳-۲ نمای ساختمان

ویژگی های فیزیکی و سازه ای اجزای ساختمان مانند دیوارها، پنجره ها، سقف ها و درها که پوسته خارجی ساختمان را می سازند تاثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی ساختمان دارند. عملکرد حرارتی، ضخامت و رنگ مصالحی که در این اجزا استفاده شده اند نقش قابل توجهی در تنظیم افزایش و کاهش حرارت ساختمان دارند [۲۸]. ویژگی های ذخیره انرژی این اجزای ساختمان در ادامه بیان خواهد شد:

دیوارهای خارجی: ویژگی های حرارتی و جرمی دیوارهای خارجی به مصالح سازنده آن ها و ویژگی های لایه های عناصر تشکیل دهنده ساختمان و نحوه جداسازی آن ها مرتبط است. ساختار فضاهای خارجی که می توانند حداکثر تابش خورشید را دریافت کرده یا دربرابر تابش خورشید ازنظر کسب حرارت حداکثر محافظت را ایجاد کنند، باید براساس ویژگی های نواحی اقلیمی تعیین شوند. بعنوان مثال در زمستان ها به منظور حفظ حداکثری نورخورشید، توصیه می شود نسبت دیوار به پنجره بیشتر از ۱۵ درصد نباشد که از مصالح تیره با چگالی بالا در نواحی که در معرض نور خورشید هستند استفاده شود [۳۱].

بام ها: شکل، مصالح، شیب، جهت، رنگ سطح خارجی و ویژگی های عایق بندی بام، عملکرد حرارتی ساختمان ها را تعیین می کنند. بنابراین بام ها باید به نحوی طراحی شوند که مناسب شرایط اقلیمی منطقه باشند [۲۸]. ویژگی های عایق بندی گرمایی پشت بام ها، شیب و نمای آن ها باید بسته به نقش اقلیمی که دارند انتخاب شوند، اما رنگ سطح خارجی و ترتیب لایه بندی آن ها باید با درنظر گیری ازدست دادن و کسب حرارت انتخاب شوند. در نواحی اقلیمی خشک معتدل و مرطوب معتدل و نواحی اقلیمی سرد، بام های شیبداری که بخوبی ایزوله شده اند، ترجیح داده می شود. در نواحی اقلیمی گرم و خشک بام های صاف ترجیح داده می شوند تا تاثیر تابش خورشید را کاهش دهند؛ در نواحی اقلیمی گرم و مرطوب که هوا جریان دارد، باید از بام های شیدار یکطرفه یا دوطرفه استفاده کرد[۱۸].

پنجره ها: پنجره ها از سه طریق از دست دادن و کسب حرارت، تهویه طبیعی و روشنایی برروی بازدهی انرژی ساختمان ها تاثیر می گذارند. پنجره ها باید تا حدی بزرگ طراحی شوند که نور طبیعی را به حد کافی تامین کنند. بعنوان مثال مجموع مقدار پنجره ها باید حداقل ۱۵ درصد سطح طبقه باشد [۳۳]. زمانی که درباره جانمایی و نسبت های پنجره ها در نمای ساختمان تصمیم گیری می شود، ناحیه اقلیمی که ساختمان در آینده با آن مواجه است باید درنظرگرفته شود. بعنوان مثال در نواحی اقلیمی گرم و خشک که محافظت دربرابر تابش خورشید و باد هدف اصلی است، باید از پنجره های کم و کوچک استفاده کرد. در نواحی اقلیمی گرم و مرطوب با رعایت احتیاط های لازم باید از بازشوهای بزرگ به منظور افزایش گردش هوای داخل ساختمان استفاده کرد. در نواحی اقلیمی سرد نیز به منظور کمینه ساختن ازدست دادن حرارت ازطریق پنجره ها، استفاده از پنجره های کوچک و کم ضروری است. همچنین به منظور بهره مندی از اثرات مفید نور خورشید، بازشوهای پنجره بیشتری در سمت جنوبی نسبت به دیگر سمت ها باید تدارک دیده شوند. در نواحی اقلیمی معتدل نیز بازشوها باید به منظور تامین گردش هوای کافی تدارک دیده شوند [۳۴].

استفاده از پنجره ها اهداف مهم دیگری مانند تهویه، نورطبیعی و بازشو به سمت منظره بیرونی فراهم می کنند که هزینه ساخت زیادی را با خود ندارند. در نواحی اقلیمی که زمستان های سردی دارند، جانمایی پنجره ها به سمت شمال صحیح نیست زیرا کسب حرارت خورشید در سمت شمال بسیار کم بوده و نفوذ هوا به داخل افزایش می یابد زیرا بادهای زمستانی معمولاً از سمت شمال می وزند و بنابراین ازدست دادن حرارت افزایش می یابد. می توان حد مشخصی از حرارت ناشی از تابش آفتاب را با قرار دادن پنجره ها در جهت های غربی و شرقی ساختمان

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

بدست آورد که این مقدار نسبت به جهت جنوبی در زمستان کمتر است. اما باید توجه داشت از آنجایی که خورشید تابستان صبح ها و عصرها بصورت افقی می تابد، ممکن است با مشکل افزایش حرارت مواجه باشیم. اما پنجره هایی که در سمت جنوب قرار دارند، می توانند از تابش افقی نورخورشید در زمستان تقریباً در تمام طول روز استفاده کنند و در تابستان می توانند براحتی به دلیل تابش قائم آفتاب، در برابر گرما محافظت ایجاد کنند [۳۵].

کف ها: کف هایی که برروی خاک قرار می گیرند باید به نحوی سازماندهی شوند که عملکرد مطلوب ازنظر حرارت و رطوبت داشته باشند. در نواحی اقلیمی سرد و معتدل، استفاده از کف هایی که بخوبی عایق شده اند اولویت دارد. در نواحی اقلیمی گرم-مرطوب استفاده از کف های فاصله دار از زمین ارجحیت دارد زیرا در این نواحیجریان هوا اهمیت زیادی پیدا می کند. در احجامی که نورخورشید را دریافت می کنند، لایه های کف می توانند بعنوان ذخیره حرارت و گرما استفاده شوند. در لایه های کف، استفاده از مصالح تیره رنگ که ظرفیت جذب حرارت بالایی دارند در اولویت است. پهن نکردن فرش روی زمین و رها گذاشتن کف نیز ظرفیت جذب حرارت آن را افزایش می دهد.

۶-۲-۱-۳-۲ انتخاب مصالح ساختمانی بهره ور انرژی

مصالح ساختمانی در هردو فاز تولید و استفاده باید از خصوصیات بهره وری انرژی برخوردار باشند. خواص بهره وری انرژی مصالح در ادامه بیان شده است:

مصالح محلی:

ازنظر مصرف کلی انرژی ساخت و سازها، مقدار انرژی که برای انتقال مصالح ساخت به سایت ساخت مصرف می شود قابل ملاحظه است و برروی کارآمدی انرژی ساخت و هزینه اقتصادی آن تاثیر می گذارد. به همین دلیل درصورتی که مصالح ساخت مصالح محلی باشند و تا حد امکان در مکان های نزدیک سایت ساخت تولید شوند، مصرف انرژی در انتقال مصالح کاهش یافته و این کاهش انرژی ناشی از انتقال، کیفیت زیست محیطی مهمی را به سازه می دهد [۳۶].

منابع بازیافتی:

مقدار زیادی انرژی در تولید بسیاری از مصالح ساختمانی مصرف می شود. در تولید مصالح ساختمانی، استفاده از منابع بازیافتی به جای منابعی که تازه پرداخت شده اند، باعث حفظ قابل ملاحظه مصالح خام شده و انرژی قابل ملاحظه ای را ذخیره می کند. بازیافت مصالح ساختمانی به منظور کاهش انرژی درونی ساختمان ضروری است؛ بعنوان مثال استفاده از فلز بازیافتی چیزی بین ۴۰ تا ۹۰ درصد در مقایسه با مصالحی که از منابع طبیعی تولید شده اند، صرفه جویی انرژی را در بر دارد [۳۷].

مصالحی که ازطریق فرآیندهای صنعتی با چگالی پایین تولید می شوند:

بخش زیادی از انرژی کلی مصرف شده در چرخه عمر ساختمان، در حین تولید مصالح ساختمانی (بخصوص انرژی درونی) مصرف می شود. بسته به روش های ساخت، اقلیم و شرایط مشابه مصالح ساختمانی، نسبت مقدار انرژی که در تولید مصالح ساخت مصرف می شود به مقدار انرژی کلی ساخت در طول ۵۰ سال استفاده از ساختمان بین ۶ تا ۲۰ درصد است [۳۷]. با صنعتی شدن، مقدار مصرف انرژی در مراحل اولیه تولید مصالح ساختمانی و اجزای آن افزایش یافته است [۳۸]. عدم وجود فرآیندهای سنگین در فرآیند تولید باعث مصرف کمتر انرژی خواهد شد که بهره وری انرژی را به مصالح خواهد داد. استفاده از فناوری های پیشرفته در فرآیندهای صنعتی مانند روش تجدید حرارت مصرف انرژی را کاهش می دهد. بعنوان مثال در تکنولوژی تولید

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

سیمان، استفاده از کوره های استوانه ای بجای کوره های متعارف دوار بین ۱۰ تا ۴۰ درصد صرفه جویی انرژی را در بردارد. بطور مشابه، استفاده از کوره قوسی بجای کوره دوار در صنعت فولاد باعث حدود ۵۰ درصد ذخیره انرژی می شود [۳۷].

مصالح طبیعی که سریعاً از منابع تجدیدپذیر بدست می آیند:

عموماً محتوی انرژی مصالح طبیعی کمتر از مصالح مصنوعی است زیرا این مصالح با هزینه انرژی و کارگر کمتری تولید می شوند. این نوع مصالح که تامین آن ها بصورت محلی آسان است عموماً جزئی از منابع تجدیدپذیر هستند. اینگونه مصالح گیاهی در ساخت و ساز استفاده می شوند بعنوان مثال چوب، بامبو، نی، حصیر، ساقه گندم، ساقه گل آفتاب گردان، قارچ مصالح طبیعی هستند که به راحتی از منابع تجدید پذیر بدست می آیند [۳۹].

مصالحی که نیاز به کارگر زیادی دارند:

استفاده از قدرت زیاد انسانی در تولید مصالح، فرآیندهای تولید برپایه صنعت را کاهش خواهد داد و مطابق با آن مصرف انرژی را کاهش می دهد. در فرآیند تولید، مصالحی که به جای استفاده از سوخت های فسیلی از منابع انرژی تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی، انرژی باد و غیره) استفاده می کنند باید در اولویت باشند. بعنوان مثال آجر خشتی پس از قالب بندی بااستفاده از انرژی خورشیدی خشک شود.

مصالحی که درحین فرآیند کار در سایت، انرژی کمتری مصرف می کنند:

مدیریت سایت کاری، نیاز به انرژی الکتریکی و ماشین آلات، گرمایش و روشنایی حین کار مصرف انرژی سایت کاری را تحت تاثیر قرار می دهد. درنتیجه این افزایش مکانیکی شدن سایت کاری، مصرف الکتریسیته نیز بطور قابل توجهی افزایش یافته است [۳۷].

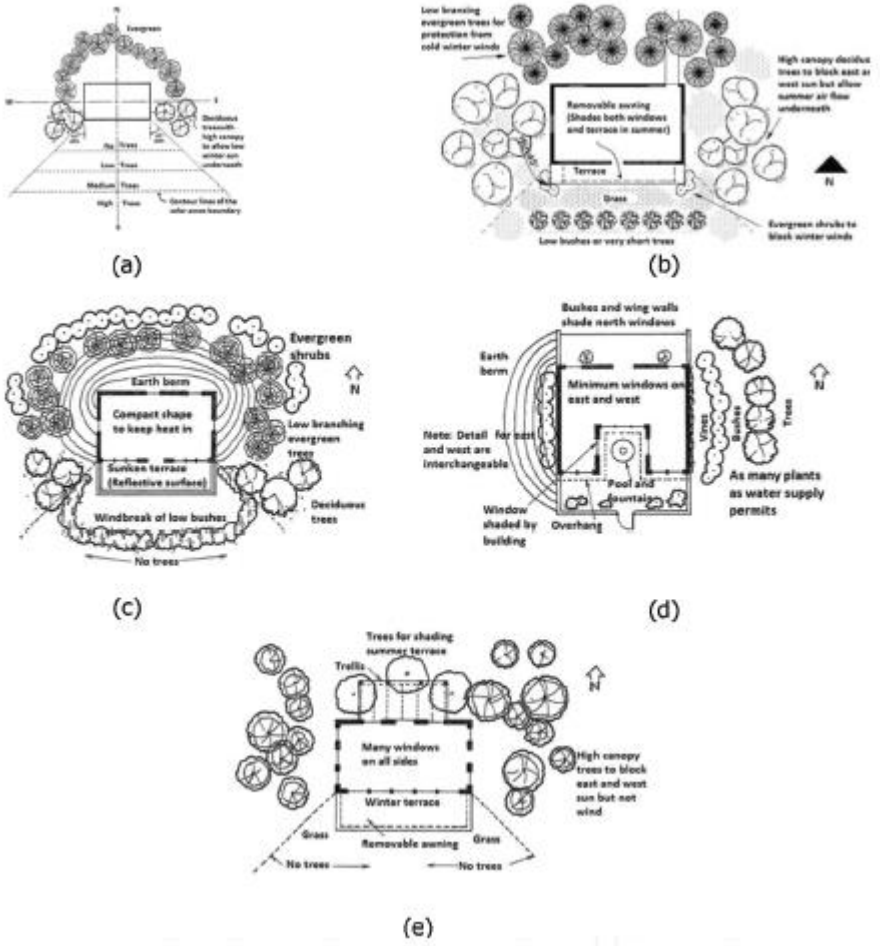
استفاده از مصالح ساختمانی بادوام:

استفاده از مصالح با دوام در ساختمان ها باعث می شود که دربرابر عوامل مختلف مقاومت و پایداری بیشتری داشته باشند. این موضوع نیاز به نوسازی مصالح یا نگهداری ناشی از معیوب و کهنه شدن آن ها را کاهش می دهد. بااین روش انرژی مصرف شده برای نگهداری یا نوسازی مصالح ذخیره خواهد شد. مصالح ساختمانی دارای ظرفیت عایق حرارتی بالا: باانتخاب مصالح ساختمانی که ظرفیت عایق حرارتی بالایی دارند، مقدار انرژی که در مرحله کاربری ساخت و ساز استفاده می شود کاهش خواهد یافت. بعنوان مثال استفاده از مصالح عایق غیرشفاف یا نیمه شفاف می تواند مناسب باشد [۳۹].

۲-۳-۱-۲-۷ طراحی چشم انداز برپایه بهره وری انرژی

با طراحی دقیق و هوشیارانه چشم انداز برپایه محافظت از انرژی، می توان هزینه انرژی صرف شده برای گرمایش و سرمایش درطول فصول تابستان و زمستان را تا ۳۰٪ کاهش داد [۴۰]. کفسازی زمین و چمن در محیط بیرونی ساختمان ازطریق انتقال بخار اثر خنک کننده دارد. راهکارهای صرفه جویی انرژی مربوط به چشم انداز بستگی به منطقه موردنظر دارد. این راهکارهای چشم انداز بسته به منطقه موردنظر و بترتیب اولویت در ادامه اشاره شده و در شکل (۲- ۲۵) نشان داده شده اند:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۲۵) روش های چشم انداز که برای چهار اقلیم مختلف مناسب هستند. (a) کاشت عمومی درخت در بیشتر مناطق کشور، (b) روش های چشم انداز برای اقلیم معتدل. بادشکن در سمت شمالی ساختمان نباید دورتر از چهار برابر ارتفاع آن ساختمان باشد، (c) روش های چشم انداز برای اقلیم های بسیار سرد، (d) روش های چشم انداز برای اقلیم های گرم و خشک و (e) روش های چشم انداز برای اقلیم های خشک و مرطوب [۲۱]

اقلیم معتدل: باید اثرات گرم کردن خورشید در زمستان و سایه در تابستان حداکثر باشد. ساختمان ها باید دربرابر بادهای زمستانی محافظت شوند. نسیم تابستانی باید درجهت ساختمان ها باشد. درخت هایی که همیشه سبز هستند با شاخه های کوتاه به منظور محافظت ساختمان ها دربرابر بادهای سردزمستان در سمت شمالی ساختمان، بوته ها یا درختان کوتاه در سمت جنوبی ساختمان، درخت های برگ ریز بلند در نماهای شرقی و غربی ساختمان به منظور محافظت دربرابر نورخورشید و امکان تهویه طبیعی باید کاشته شوند[۴۱].

اقلیم گرم و خشک: به منظور خنک سازی بام ها، دیوارها و پنجره ها باید بروی آن ها سایه ایجاد شود. بادهای تابستانی باید به خانه هایی که بصورت طبیعی سرد می شوند برسد و خانه هایی که با تهویه هوا خنک می شوند نباید در معرض این بادها قرار گیرند. سمت شمالی و جنوبی نباید درختکاری شود درحالیکه سمت شرقی و غربی درختچه، تاک برروی دیوارها ایجاد شده و درختان برگریز نیز باید کاشته شوند.

اقلیم گرم و مرطوب: نسیم های تابستان باید به سمت خانه هدایت شوند. سایه تابستان باید بااستفاده از درختانی که اجازه عبور نورکم زاویه خورشید زمستان را می دهند، حداکثر باشد. از کاشت درختانی که آبیاری زیادی نیاز

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

دارند در نزدیک خانه خودداری شود. از درختکاری در سمت جنوب خودداری شود و در سمت شمال درختکاری باید به منظور تامین سایه در تابستان انجام شود. در جهت های شرقی و غربی باید برروی دیوارها بوته ها و تاک کاشته شده و درختان برگریز کاشته شوند.

اقلیم سرد: از بادشکن های با فاصله کم به منظور محافظت از ساختمان در برابر بادهای سردزمستانی استفاده شود. به خورشید زمستان اجازه داده شود به پنجره های سمت جنوب بتابد. درصورتی که حرارت بیش از حد در تابستان مشکل زا می شود، پنجره های جنوبی و غربی و دیوارها از تابش مستقیم خورشید تابستان بوسیله سایه محافظت شوند. در بادشکن جنوبی، بوته های کوتاه و چمن باید استفاده شود. در جهت جنوبی شرقی و جنوب غربی خارج ساختمان، از درختان برگریز باید استفاده کرد.

۸-۲-۱-۳-۲ استفاده از منابع تجدید پذیر

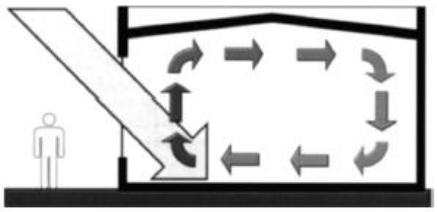
منابع انرژی تجدیدپذیر (خورشید، باد، زیست توده، زیست گاز، انرژی زمین گرمایی، انرژی برقابی، چوب، حرارت اقیانوسی، جزرومد، موج، جریان های دریایی) منابع انرژی هستند که می توانند توسط تمامی موجودات زنده روی زمین استفاده شده و با توجه به بازسازی مداوم آن ها تمام نشدنی هستند. بااستفاده از روش های غیرفعال و فعال می توان از منابع انرژی تجدیدپذیر بهره برد.

۱-۸-۲-۱-۳-۲ استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر با روش های غیرفعال:

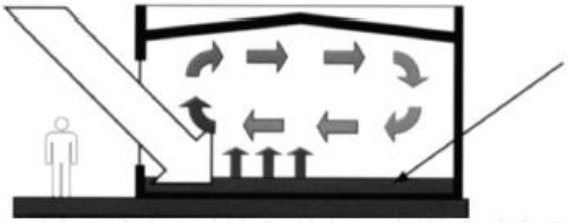
گرمایش غیرفعال: سیستم های گرمایش خورشیدی غیرفعال براساس رابطه بین سیستم خورشیدی و ساختمان دسته بندی می شوند. سه نوع سیستم گرمایش خورشیدی غیرفعال وجود دارد: سیستم های افزایش حرارت مستقیم، سیستم های افزایش حرارت غیرمستقیم و سیستم های افزایش حرارت مجزا [۴۲]. در سیستم گرمایش خورشیدی غیرفعال، المان های ساختمان (پنجره ها، دیوارها، کف ها و غیره) گرما را جمع آوری و ذخیره می کنند و سپس این گرما به فضای داخلی توزیع می شود.

سیستم های افزایش حرارت مستقیم: ساختمان دارای سیستم افزایش حرارت مستقیم دارای پنجره هایی است که اجازه می دهند که خورشید زمستان مستقیم به محیط مسکونی بتابد. این افزایش حرارت ناشی از تابش خورشید در جهت رفع نیازهای حرارتی حال حاضر ساختمان عمل می کند یا اینکه در جرم حرارتی ذخیره می شود تا نیازهای حرارتی که در آینده ایجاد می شود را برآورده کند. اکثر ساختمان های دارای سیستم افزایش حرارت مستقیم دارای موارد زیر هستند: (۱) پنجره های بزرگ روبه جنوب (برای نیمکره شمالی) برای پذیرش نورخورشید زمستان، (۲) جرم حرارتی در سمت داخلی نمای عایق به منظور کاهش نوسانات دمایی، (۳) یک آویز طراحی شده در بالای شیشه سمت جنوبی (یا روشی مشابه) به منظور ایجاد سایه برروی آن شیشه در تابستان در حالیکه در زمستان نورخورشید را می پذیرد؛ (۴) وسیله ای برای کاهش ازدست دادن حرارت در شب. در ساختمان دارای سیستم افزایش حرارت مستقیم، نورخورشید مستقیماً ازطریق پنجره به فضای داخلی می رسد. به سطوح داخلی بزرگ (مانند کف بتنی و سطح دیوارهای بنایی) برخورد می کند، به آن ها جذب شده و به گرما تبدیل می شود. مقداری از حرارت تابیده شده به این سطوح سریعاً به فضای داخلی اتاق بازمی گردد. باقی مانده حرارت به سمت جرم حرارتی هدایت شده و بعداً در شب هنگام این گرمای ذخیره شده مطابق با شکل (۲- ۲۶) و شکل (۲- ۲۷) به فضای داخلی خانه بازمی گردد [۴۳].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

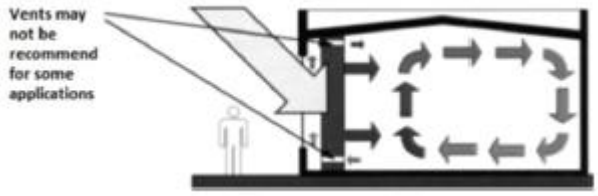


شکل (۲- ۲۶) شکل شماتیک سیستم افزایش حرارت مستقیم [۴۴]



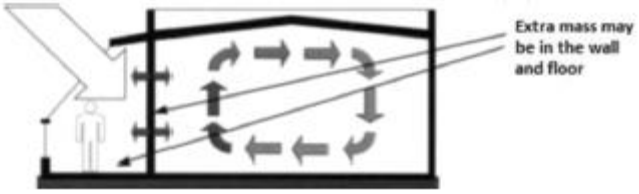
شکل (۲- ۲۷) شکل شماتیک افزایش و ذخیره حرارت بصورت مستقیم [۴۲]

سیستم های افزایش حرارت غیرمستقیم: یک سیستم خورشیدی غیرفعال افزایش حرارت غیرمستقیم ذخیره گرمایی را بین نما و فضاهای داخلی خود انجام می دهد. گرما در دیوار خارجی یا بام (با آب یا آجر/بتن) ساختمان انباشته و ذخیره شده و همانطور که در شکل (۲- ۲۸) نشان داده شده است در فضای داخلی توزیع می شود [۴۲].



شکل (۲- ۲۸) شکل شماتیک افزایش حرارت غیرمستقیم [۴۲]

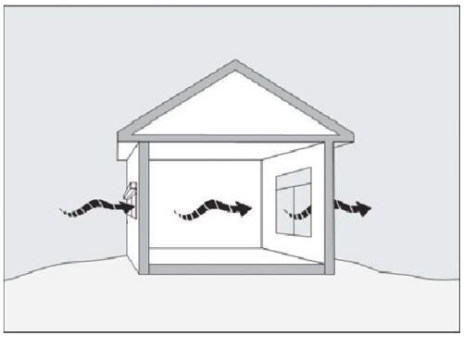
سیستم های افزایش حرارت مجزا: در سیستم خورشیدی غیرفعال افزایش حرارت مجزا انباشت و ذخیره انرژی خورشید بصورت مجزای از فضای داخلی ساختمان انجام می شود. رایج ترین استفاده سیستم های افزایش حرارت مجزا یک فضای خورشیدی است. در این روش انباشت و ذخیره از فضاهای دارای سکونت مجزا هستند اما ارتباط حرارتی مستقیمی دارند. فضای خورشیدی اتاقی است که متصل به فضای بیرونی یا در ادغام با آن است که در آن اجازه افزایش و کاهش دمای اتاق بیشتر از حد آسایش حرارتی داده شده است (شکل (۲- ۲۹)) [۴۲].



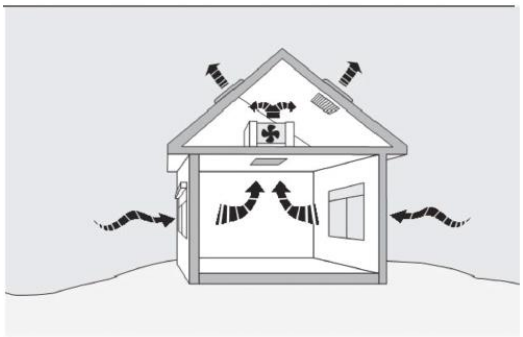
شکل (۲- ۲۹) شکل شماتیک فضای خورشیدی [۴۲]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

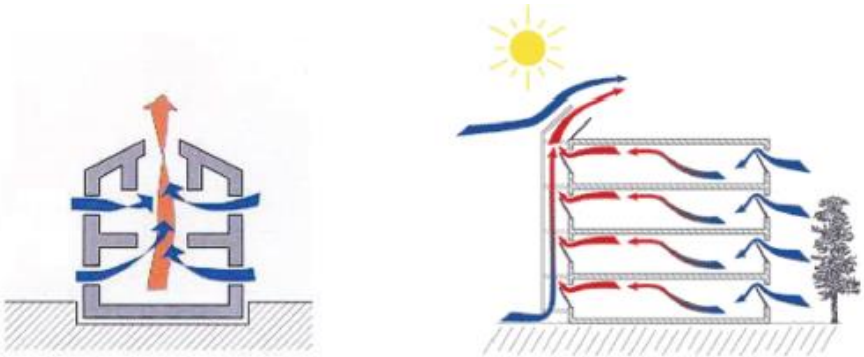
خنک سازی و تهویه غیرفعال: همانطور که پیش از این اشاره شد، افزایش حرارت خورشیدی غیرفعال برمبنای شکل کاربرد دسته بندی می شود. در حالیکه خنک سازی غیرفعال برمبنای مجموعه ای از شاخه های تحقیقاتی شناخته می شود که بر روی مخازن حرارتی اصلی متمرکز هستند. اما بسیاری از سیستم های موجود دارای چندین مخزن حرارتی هستند که این موضوع کار را برای طراحان و تصمیم گیران دشوار ساخته است [۴۵].
خنک سازی غیر فعال از پنج روش خنک سازی تهویه ای، خنک سازی تشعشعی و خنک سازی تبخیری، رطوبت زدایی و خنک سازی اثر جرم انجام می شود که در ادامه توضیح داده می شوند:
خنک سازی تهویه ای: گرم کردن هوای ساختمان و جایگزینی آن با هوای سردتر بیرون از ساختمان: هدایت جریان هوای اطراف ساکنین ساختمان به منظور سردکردن ازطریق ترکیبی از همرفت و تبخیر. در کاربردهای غیرفعال انتقال هوای موردنیاز ازطریق باد یا اثر مکشی تامین می شود. در کاربردهای هیبریدی این انتقال هوا را می توان توسط فن ها انجام داد (شکل (۲- ۳۰)، شکل (۲- ۳۱) و شکل (۲- ۳۳)) [۴۳].



شکل (۲- ۳۰) استفاده از پنجره ها و درب ها برای تهویه مقطعی ساختمان [۴۶]



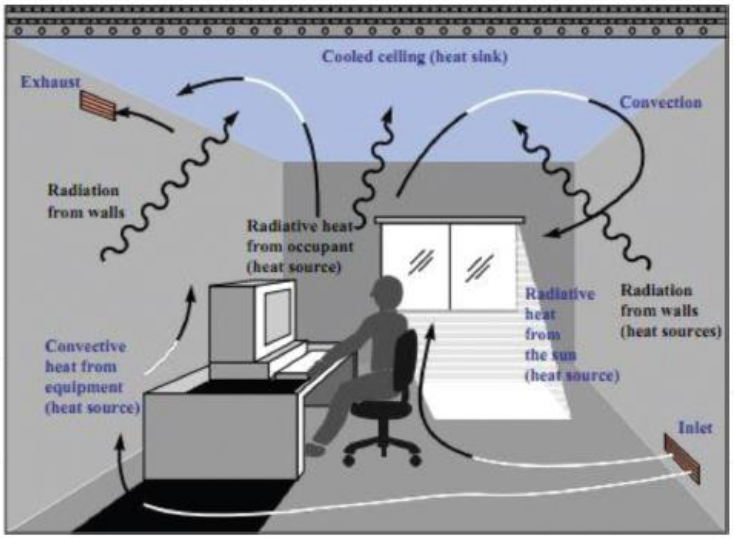
شکل (۲- ۳۱) یک فن در در تمام ساختمان عمل می کند [۴۶]



شکل (۲- ۳۲) انتقال هوا در تهویه مکشی[۴۷]

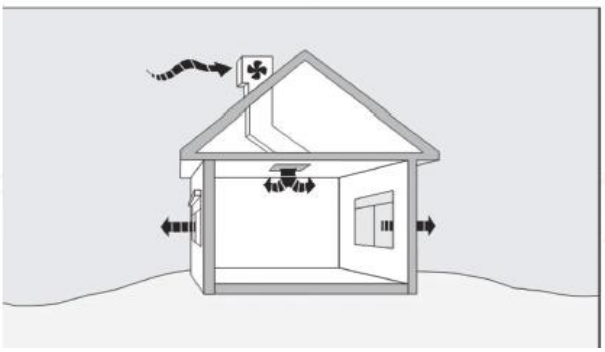
DOI: 10.30503/nripress.2020.341

خنک سازی تشعشعی: تمامی اجزای ساختمان از خود انرژی ساطع کرده و انرژی تشعشعی را نیز جذب می کنند. اجزای ساختمان درصورتی ازطریق تشعشع سرد می شوند که جریان خالص به سمت بیرون ساختمان باشد. در شب هنگام، تشعشع موج بلند فروسرخ از آسمان صاف بسیار کمتر از تشعشع موج بلند فروسرخی است که یک ساختمان منتشر می کند. لذا جریان خالص به سمت بیرون خواهد بود (شکل (۲- ۳۳)) [۲۱].



شکل (۲- ۳۳) خنک سازی تشعشعی از سقف ساختمان [۴۸]

خنک سازی تبخیری: زمانی که آب تبخیر می شود مقدار زیادی از حرارت محسوس را ازاطراف خود می گیرد و این نوع حرارت را در تبخیر آب مصرف می کند. با تبدیل حرارت محسوس به حرارت نهان دمای هوا کاهش می یابد. از این پدیده برای خنک سازی ساختمان ها به دوروش مختلف استفاده می شود. درصورتی که آب در ساختمان یا هوای آزاد تبخیر شود، هوا سرد نخواهد شد اما رطوبت آن افزایش می یابد. این روش با عنوان خنک سازی تبخیری مستقیم شناخته می شود. اما درصورتی که ساختمان یا هوای فضای داخلی توسط تبخیر و بدون رطوبت زایی هوای داخلی سرد شوند، به آن روش خنک سازی تبخیری غیرمستقیم می گویند (شکل (۲- ۳۴)) [۲۱].

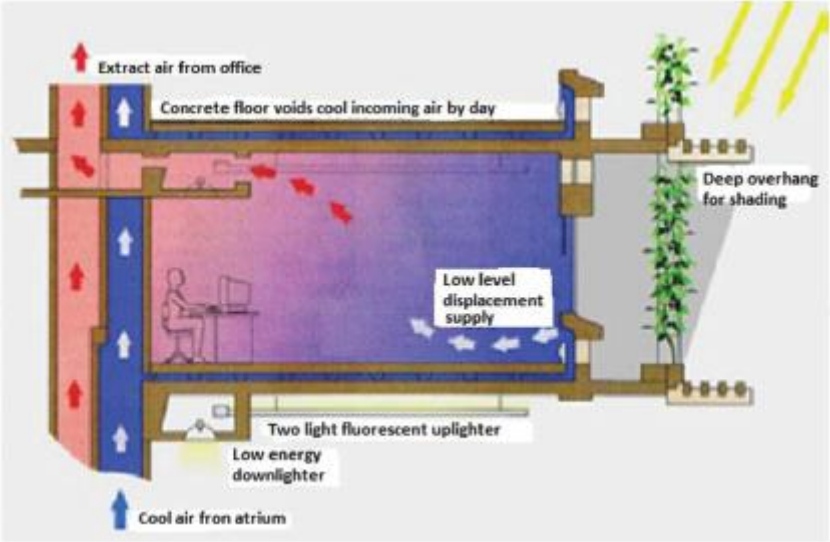


شکل (۲- ۳۴) خنک سازی تبخیری [۴۶]

رطوبت زدایی: حذف بخار آب از هوای اتاق توسط رقیق سازی ازطریق هوای خشک تر، متراکم سازی یا خشک سازی. در حالت متراکم سازی و خشک سازی، رطوبت زدایی بصورت مبادله حرارت نهان هوا با حرارت محسوس قطره های آب روی سطوح انجام می شود. هردو روش واکنش معکوس خنک سازی تبخیری بوده و لذا فرآیندهای حرارتی بی دررو می باشند [۴۳].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

خنک سازی اثر جرم: استفاده از ذخیره حرارتی به منظور جذب گرما در گرم ترین زمان چرخه دمایی دوره ای و آزادسازی آن در زمانی سردتر. فلاشینگ شب (که در آن با انتقال گرمای ذخیره شده درطول روز در کف ها و دیوارهای بزرگ، در شب هنگام هوای سرد در ساختمان ایجاد می شود) مثالی از خنک سازی اثر جرم در چرخه روزانه است (شکل (۲- ۳۵)) [۴۳].



شکل (۲- ۳۵) حرکت هوا در ورودی شرقی ساختمان اداری [۴۹]

۲-۸-۲-۱-۳-۲ استفاده از منابع انرژی با روش های فعال:

می توان با استفاده از تجهیزات جمع کننده خورشیدی، پانل های فوتوولتایک (PV) و PV ادغام شده در ساختمان (BIPV) حرارت و الکتریسیته را ازطریق انرژی خورشیدی در ساختمان ها تولید کرد. کاربرد ممکن برای پانل های PV در ساختمان های بلندمرتبه بیشتر از ساختمان های کوتاه مرتبه است زیرا در این ساختمان ها ارتفاع بیشتر بوده و امکان در معرض بودن تابش مستقیم خورشید افزایش می یابد. مهم ترین چالش موجود، الزامات مربوط به تعداد زیاد پانل های PV است. چراکه در ساختمان ها حفظ زیبایی و نیز بازدهی پانل های PV ضروری است [۵۰]. سیستم هایی که تابش های خورشیدی را به انرژی تبدیل می کنند بسته به انرژی که تولید می کنند به دو دسته تقسیم بندی می شوند. سیستم های گرمایی خورشیدی که انرژی گرمایی تولید می کنند و سیستم های الکتریسیته گرمایی (فتوووولتایک PV) که انرژی الکتریسیته تولید می کنند. این سیستم ها در ادامه بطور مختصر در ادامه شرح داده شده اند:

سیستم های گرمایی انرژی خورشیدی: سیستم های گرمایی انرژی خورشیدی (سیستم های گرمایی خورشیدی کارآمد) ترکیب اجزای مکانیکی و الکترونیکی است که تابش خورشیدی را ازطریق جمع کننده هایی به انرژی گرمایی تبدیل می کنند. کالکتورها (جمع کننده ها) این امکان را فراهم می کنند که این انرژی مستقیماً با آب، هوا و سیالی مشابه استفاده شده و یا ازطریق ارزیابی بیشتر آن در یک واحد ذخیره انرژی مورداستفاده قرار گیرد. سیستم های گرمایی کارآمد انرژی خورشیدی برای گرم کردن آب استخر استفاده می شود [۵۱]. اساس کاربرد عمومی سیستم های حرارتی برمبنای جمع کردن حرارت از طریق جمع کننده ها و ذخیره انرژی گرمایی است تا بتوان در آینده درصورت نیاز از آن ها استفاده کرده و به شاخه های مربوطه توزیع کرد [۵۲].

سیستم های خورشیدی حرارت دهنده آب: این سیستم ها دارای المان هایی هستند که تابش خورشید را به انرژی گرمایی تبدیل می کنند و این حرارت را حفظ کرده و در محیط آبی توزیع می کنند. برخلاف این حقیقت

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

که سیستم ها براساس پیچیدگی و میزان ضرورت تفاوت هایی از خود نشان می دهند، تمامی سیستم های خورشیدی حرارت دهنده آب براساس حرارت دادن آب، ذخیره و توزیع آن عمل می کنند. آب داغ تولید شده ازطریق تبدیل انرژی خورشیدی بسته به ویژگی های سیستم می تواند مستقیماً برای حمام گرفتن، شستشوی لباس ها و شستن ظرف ها استفاده شود، همچنین می توان از آن برای کمک به سیستم حرارتی موجود استفاده کرد [۵۱].

سیستم های فوتوولتایک: ترکیب اجزایی که انرژی الکتریکی را ازطریق جمع کننده های تابش خورشیدی تولید می کنند و این انرژی را به انرژی قابل استفاده تبدیل می کنند، سیستم های فوتوولتایک (PV) نامیده می شوند. سیستم های PV به منظور تولید الکتریسیته در تعداد زیادی از شاخه های مختلف مانند روشنایی جاده ها، وسایل نقلیه، ساخت و ساز و نیروگاه های تولید برق استفاده می شوند. یک سیستم فوتوولتایک انرژی الکتریکی را تولید می کند و این انرژی تولید شده را برای شرایط ضروری ذخیره کرده و بطور ایمن آن را به نواحی مورداستفاده منتقل می کند. همانطور که در شکل (۲- ۳۶) نشان داده شده است، با قراردادن باتری های فوتوولتایک در نما و بام ساختمان ها، انرژی خورشیدی که به سطح آن ها می رسد به انرژی الکتریکی تبدیل می شود [۵۳].



شکل (۲- ۳۶) پانل های فوتووولتایک که در ساختمان ها استفاده شده اند [۵۴]

استفاده فعال از سیستم های انرژی باد در ساختمان ها: انرژی باد منبع انرژی تجدیدپذیری است که بیشترین توسعه را در جهان دارد. انرژی باد منبع انرژی بدون سوخت است و هیچ آلاینده ای را که باعث باران اسیدی یا گازهای گلخانه ای می شود، در اتمسفر تولید نمی کند. انرژی باد منبع انرژی تمام نشدنی است. تازه ترین توسعه ها در این تکنولوژی اجازه استفاده از توربین های بادی را در طراحی ساختمان می دهند. امروزه استفاده از توربین های بادی در ساختمان های بلندمرتبه که با روش افزایش عملکرد در طراحی ساختمان سازگار است، بطور قابل توجهی با ترکیب در معماری ساختمان افزایش یافته است [۵۵].

با افزایش ارتفاع سازه، باد بدون توقف ناشی از تماس مستقیم با سازه افزایش می یابد، سرعت باد بصورت خطی با افزایش ارتفاع افزایش یافته و با استفاده از توربین در ساختمان های بلند دارای این ویژگی می توان مقادیر قابل توجهی از انرژی الکتریسیته تولید کرد. به منظور اجرای توربین های بادی در ساختمان های بلندمرتبه، در ملاحظات فاز طراحی درنظرگیری موارد زیر موردنیاز است: طرح کلی پلان سایت، تاثیر ایرودینامیک باد باتوجه به شکل ساختمان، الگوی باد محلی، بزرگی سرعت باد، فرکانس توزیع سرعت باد و جهت غالب باد [۵۶]. مطالعات

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پیشین نشان داده است که زاویه بهینه بین جهت غالب باد و توربین های باد به منظور کسب بیشترین بازدهی برابر با ۴۵ درجه است (شکل (۲- ۳۷)) [۵۰].

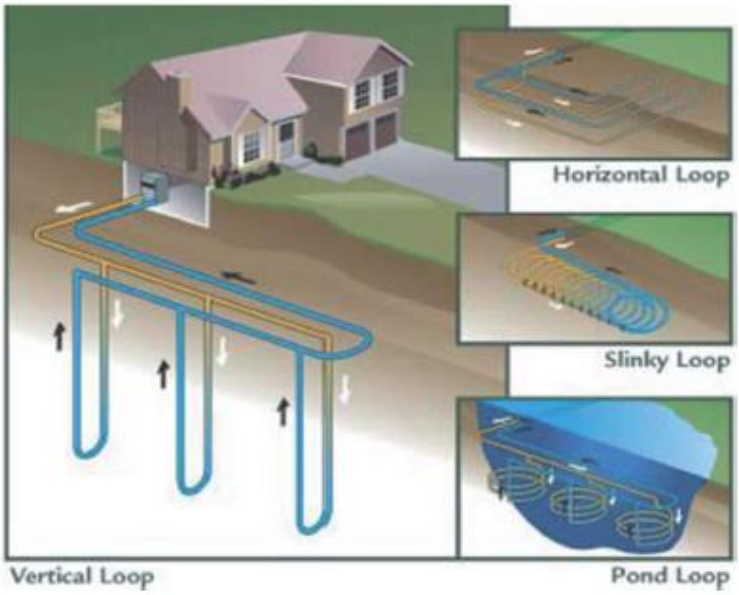


شکل (۲- ۳۷) توربین های بادی که در ساختمان مورداستفاده قرار گرفته اند [۵۷]

استفاده از انرژی زمین گرمایی در ساختمان ها: انرژی زمین گرمایی در گرم کردن و سردکردن خانه ها، کاشت در گلخانه و کشاورزی استفاده می شود. سیستم های انرژی زمین گرمایی بسته به روش های کاربرد در سه روش مختلف مانند پمپ های حرارتی، مبدل های حرارت دانهول و لوله های حرارتی استفاده می شوند. استفاده رایج آن ها در ساختمان ها به شکل لوله های حرارتی است.

شکل دیگر استفاده از انرژی زمین گرمایی روش هایی است که در آن ها از دمای زمین استفاده می شود. بسته به عرض جغرافیایی، کمی در عمق زمین دما همیشه بین ۴۵ و ۷۵ درجه فارنهایت (۷/۲۲ و ۲۳/۸۸ درجه سانتیگراد) است [۵۸]. می توان از این دمای زمین ازطریق هوا یا آب بهره برد. هوا ازطریق لوله های قیفی شکل حفاری شده در اعماق مختلف زمین به داخل ساختمان منتقل می شود و فضای داخلی قادر است سطح دمایی مشابه با دمای اعماق زمین را بدست آورد. از این روش می توان در جهت گرم کردن خانه در زمستان و سردکردن آن در تابستان استفاده کرد. کاربرد مشابهی را می توان برای استفاده از دمای آب های زیرزمینی بدست آورد، آبی که در ساختمان ازطریق لوله ها گردش داشته است، حرارت خود را به احجام داخل منزل توسعه می دهد [۵۳]. شکل (۲- ۳۸) بصورت شماتیک این کاربردها را نشان می دهد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۳۸) شکل های استفاده از لوله های حرارتی درون زمین [۵۹]

استفاده از انرژی هیدروژن در ساختمان ها: انرژی هیدروژن را می توان برای گرم کردن خانه ها، تامین آب داغ، آشپزی و رفع نیازهای الکتریکی استفاده کرد. در اینجا به منظور استفاده از هیدروژن، ابتدا باید آن را تولید کرده و سپس ذخیره و هدایت کرد. هیدروژن را می توان از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید، هیدروالکتریک، باد و زمین گرمایی تولید کرد.

امروزه در میان منابع انرژی تجدیدپذیر سیستم هیبریدی هیدروژن خورشیدی پربازده ترین سیستم است. در این سیستم اجزای اصلی تشکیل دهنده عبارتند از: پانل های فوتوولتاییک، الکترولایزر، سلول سوخت، مخزن ذخیره هیدروژن (H2)، بسته باتری و مبدل. در مکانیزم انرژی هیدروژن خورشیدی، سیستم بصورت زیر کار می کند [۶۰]:

أ. در پانل های PV الکتریسیته از انرژی خورشیدی تولید می شود.
ب. در الکترولایزر H2 و O2 تولید می شوند.
ت. گازها به منظور ایجاد حرارت در محیط و گرم کردن آب به داخل مخزن ذخیره منتقل می شوند.
ث. در زمستان با سوخت هیدروژن بدون اشتعال ازطریق کاالیست هیدروژن سبک تر (1.5 kW) هوای موجود در سیستم تهویه گرم می شود.
ج. درصورتی که الکتریسیته بیشتری لازم باشد، سلول های سوخت شروع به کار می کنند.
ح. بخشی از حرارتی که در سلول سوخت وجود دارد برای گرم کردن آب استفاده می شود.

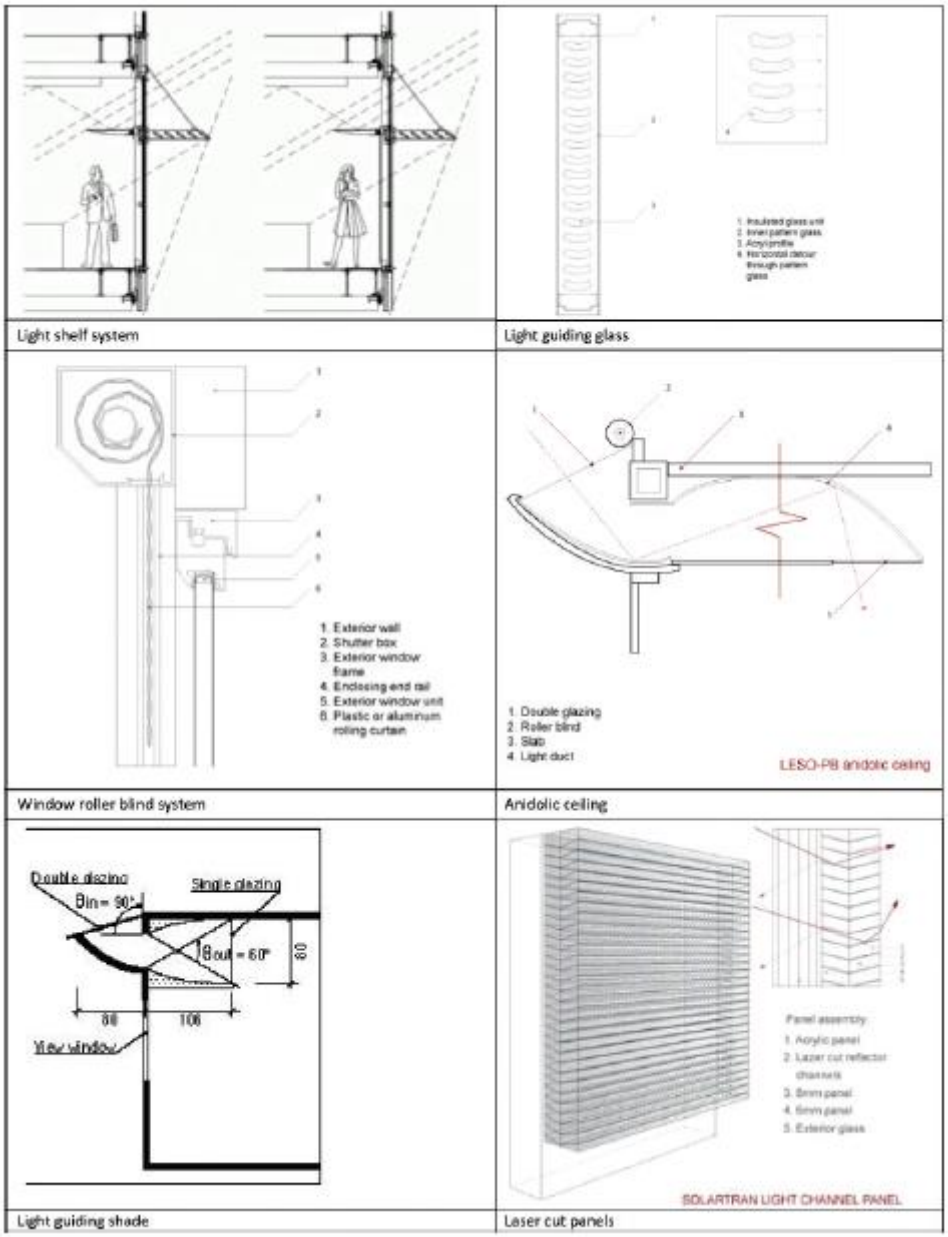
استفاده از انرژی زیست توده در ساختمان ها: زیست توده یک منبع انرژی استراتژیک است که تجدیدپذیر و دوستدار طبیعت بوده و می تواند در هر مکانی توسعه پیدا کند و توسعه اجتماعی-اقتصادی را ممکن ساخته و می تواند برای تولید برق و بدست آوردن سوخت وسایل نقلیه استفاده شود. زیست توده در بخش انرژی با سوخت مستقیم استفاده می شود یا اینکه می توان کیفیت سوخت آن را با فرآیندهای مختلف افزایش داد و از این طریق سوخت های زیستی را بدست آورد (که به راحتی قابل انتقال، قابل ذخیره سازی و قابل استفاده هستند) که کاربردی مشابه با سوخت های موجود دارند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

روشنایی طبیعی: روشنایی طبیعی در ساختمان ها ازطریق پنجره ها و نورگیرها حاصل می شود. انتخاب جهت پنجره ها و نورگیرهای بام مهم است. مناسب ترین جهت ها برای روشنایی طبیعی جهت های جنوب و شمال هستند. جهت شمال در معرض تابش نیست اما می تواند نور روز را با کیفیتی مشابه بدست آورد. در جهت های غرب و شرق، خورشید بصورت افقی می تابد و کنترل آن دشوار است. در جهت جنوب، تاثیر خورشید دائمی بوده و خورشید در مقایسه با جهت های غرب و شرق با زاویه مناسب می تابد. لذا کنترل نور خورشید آسان است [۶۱]. به منظور افزایش ورود نور روز به ساختمان باید از رنگ های روشن در پنجره هایی که در جهت نور قرار دارند استفاده کرد. علاوه براین المان هایی که برای بازتاب نور استفاده می شوند باید در موقعیتی ساخته شوند که نور را به سقف منعکس کنند. سطوح دیوار و سقف باید رنگ روشن داشته باشند تا نور بتواند توزیع شود [۶۲]. مطابق با پیشنهادات جامعه مهندسی روشنایی مقادیر انعکاس مطلوب عبارتند از: سقف ها> ۸۰٪؛ دیوارها ۵۰ تا ۷۰ درصد (درصورتی که دیوار دارای پنجره باشد بیشتر است)؛ کف ها ۲۰ تا ۴۰ درصد و مبلمان ۲۵ تا ۴۵ درصد. طراحی و انتخاب مناسب سیستم های روشنایی روز می تواند به بهبود بهره وری انرژی کمک کرده و آلودگی محیط زیستی را کاهش دهد. استفاده از روشنایی روز در ساختمان ها مصرف انرژی الکتریکی را کاهش می دهد. بعنوان مثال نشان داده شده است که روشنایی مصنوعی ساختمان های غیرمسکونی ۵۰٪ انرژی در اروپا را مصرف می کند. همچنین نشان داده شده است که می توان این مصرف را با ترکیب استفاده از روشنایی مصنوعی و طبیعی بین ۳۰ تا ۷۰ درصد کاهش داد. مقدار ذخیره انرژی به جهت، اندازه و شکل پنجره و شکل اتاق و انعکاس از سطوح آن بستگی دارد [۶۳].

استفاده ای دیگر از روشنایی طبیعی در ساختمان بهره گیری از سیستم روشنایی روز است. روشنایی روز عبارت است از: ترکیب نور منتشر شده از آسمان و نور خورشید. کاربرد اصلی سیستم روشنایی روز این است که بخش قابل توجهی از نورپیوسته طبیعی را به منظور افزایش شرایط روشنایی داخلی هدایت کند و لذا نزدیک بازشوهای نمای ساختمان یا برروی آن ها قرار می گیرد. سیستم های روشنایی روز به دو گروه تقسیم می شوند: روشنایی اطراف و روشنایی بخش فوقانی. نور می تواند از انواع مختلفی از پنجره های قائم یا افقی و ازطریق اطراف یا سطح فوقانی وارد شود. روشنایی از اطراف که بیشتر مشاهده می شود در واقع همان پنجره های ساده یرروی دیوارهای ساختمان است. روشنایی از بالا یک بازشو در المان سقف یا بام ساختمان است. کاربردهای سیستم روشنایی روز در شکل (۲- ۳۹) نشان داده شده اند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۳۹) سیستم های روشنایی روز بااستفاده از نورمستقیم خورشید [۶۴]

۳-۱-۳-۲ روش های طراحی بهره وری انرژی در مرحله ساختمان

مرحله ساختمان شامل فرآیند های ساخت و استفاده از ساختمان است. بهره وری انرژی در مرحله ساختمان با استفاده از روش های ساختی که انرژی کمتری مصرف می کنند و استفاده از تجهیزات بهره ور انرژی بدست می آید. انرژی که در ساخت استفاده می شود بسته به سیستم های ساختمانی تغییر می کند. مصرف انرژی نه تنها در ساختمان هایی که با مصالح مختلف ساخته می شوند متفاوت است بلکه در ساختمان هایی که با مصالح یکسان ساخته می شوند نیز متفاوت است. بعنوان مثال مصرف انرژی سیستم ساختمانی قاب بتن مسلح با استفاده از روش های ساخت مختلف در ادامه تشریح شده است:

۱. سیستم ساختمانی قابی متعارف: مهمترین ویژگی روش ساخت متعارف قاب بتن مسلح این است که کل اجزا بااستفاده از نیروی انسانی در سایت ساختمانی تولید می شوند. ازنظر مصرف انرژی با توجه به

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ویژگی های تجهیزاتی که در این روش و در مراحل تولید بتن و بتن ریزی استفاده می شوند (میکسر بتن، جرثقیل سقفی)، مصرف انرژی در سطح پایینی قرار دارد [۶۵].

۲. اجرای سیستم مصالح بنایی بتنی به روش تونلی: در این روش چون جرثقیل های نگهدارنده ای که مقدار زیادی انرژی مصرف می کنند برای حمل قالب های بزرگ و سنگین استفاده می شوند، مصرف انرژی بسیار بالا است. همچنین انجام عمل آوری بتن بااستفاده از حرارت دهنده های بین تونلی نیز مصرف انرژی سیستم را افزایش می دهد [۶۶].

۳. سیستم پیش ساخته: از آنجایی که اکثر فرآیندهای مربوط به ساختمان در کارخانه تولید انجام می شود، مصرف انرژی بسیار بالا است. در این سیستم ها تخلیه بار اجزا از وسایل نقلیه به سایت کار، چینش و سرهم بندی آن ها در سایت با استفاده از جرثقیل های نگهدارنده انجام می شود. همچنین وسایل نقلیه سنگین که المان های آماده ساختمانی را از کارخانه تولید به سایت ساختمان منتقل می کنند باعث مشکلاتی در ترافیک شده و مصرف انرژی را افزایش می دهند [۶۶].

همانطور که پیش از این بیان شد مصرف انرژی در روش های ساخت متعارف نسبت های به روش های تونلی و پیش ساخته کمتر است، با این حال لازم به ذکر است که ازنظر تشکیل ضایعات روش ساخت متعارف نقطه ضعف بیشتری دارد. همچنین استفاده از روش های ساختی که انرژی کمتری دارد باید در اولویت باشد با این شرط که کیفیت ساختمان کاهش پیدا نکند.

مرحله استفاده از ساختمان مرحله ای است که بیشترین انرژی را در ساختمان ها مصرف می کند. مطابق با گزارش WBCSD (انجمن تجارت جهانی برای توسعه تاب آور)، ۸۸٪ انرژی که در ساختمان ها مصرف می شود مربوط به مرحله استفاده و نگهداری از آن ها است. موارد زیر پتانسیل ذخیره انرژی قابل ملاحظه ای را در حین استفاده از ساختمان بوجود می آورند:

حمایت از توسعه های چندوجهی: توسعه تاب آور از ترکیب موقعیت خانه، ناحیه کسب و کار، اداره و نواحی خورده فروشی حمایت می کند. لذا مردم شانس زندگی در نزدیکی محل کار و خرید خود را خواهند داشت. این موضوع باعث تشکیل جامعه ای می شود که پتانسیل فعالیت ۲۴ ساعته را داشته و همچنین منطقه را ایمن تر خواهد کرد [۶۷].

ترکیب طراحی با حمل و نقل عمومی: معماری تاب آور در مقیاس شهری باید به روشی طراحی شود که از حمل و نقل عمومی حمایت کند. هزاران وسیله نقلیه درطول فشار کاری روزانه به شهر می آیند و از آن خارج می شوند که باعث ایجاد آلودگی هوا و ترافیک می شود و این وسایل نقلیه نیاز به پارکینگ خواهند داشت [۶۸].

استفاده از لامپ ها و وسایل بهره ور انرژی: بعنوان مثال لامپ های LED یکی از تکنولوژی های روشنایی امروزی است که بیشترین بهره وری انرژی را داشته و به سرعت درحال توسعه است.

کنترل های روشنایی: نیاز ساختمان به روشنایی با طراحی ساختمان رابطه مستقیم دارد. نیاز به روشنایی درطول روز بستگی به اندازه پنجره و موقعیت آن و موقعیت ساختمان ها دارد. با استفاده از کنترل های خودکار، نیاز به روشنایی کاهش می یابد که بستگی به موقعیت پنجره های ساختمان، تامین نور روز و نوع استفاده از اتاق ها دارد [۶۹].

تجهیزات گرمایش، تهویه و سرمایش پربازده: سیستم های گرمایش و تهویه هوا (HVAC) شدیداً مصرف انرژی را در ساختمان ها تحت تاثیر قرار می دهند. ارتباط بین خصوصیات ساختمان و سیستم های HVAC عبارتند از: نماهای ساختمان با بهره وری بالا نیاز به سیستم های گرمایش و سرمایش را کاهش می دهد. ساختمان های با

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

طراحی مناسب و هوشمندانه می توانند نیاز به سیستم های HVAC را کاهش دهند. پیشرفت های مربوط به کارآمدی سیستم های HVAC می تواند صرفه جویی های قابل توجهی را بوجود آورد. بعنوان مثال درصورتی که بهره وری انرژی در یک بویلر حرارتی یا تهویه کننده هوا بهبود یابد، صرفه جویی های کلی آینده تنها به نیاز کلی گرمایش و سرمایش داخل ساختمان بستگی خواهد داشت. در نمای ساختمانی که عایق بندی مناسبی دارد، نیازهای انرژی سیستم HVAC کاهش می یابند. ساختمان را می توان به نواحی حرارتی دارای ابعاد مناسب تفکیک کرد و با طراحی دقیق پلان ساختمان نیاز به گرمایش، سرمایش و تهویه را کاهش داد.

۲-۳-۱-۴ روش های بهره وری انرژی در مرحله پس از ساختمان

مرحله پس از ساختمان مرحله ای است که مرحله استفاده از آن به پایان رسیده است. این مرحله شامل تخریب ساختمان، بازیافت و جمع آوری آن است. در این مرحله مهم این است که مصالح ساختمانی و اجزایی که در ساختمان استفاده شده اند بازیافت شده و در ساختمان ها دوباره استفاده شوند. پس از اتمام استفاده کاربردی از ساختمان ها، استفاده مجدد از آن ها به شکل های دیگر اینگونه منابع را بصورت مصالح خام، آب و انرژی حفظ می کند. باید استفاده مجدد از اجزای ساختمانی که قرار است تخریب شود، مانند خرپای بام و قسمت های چوبی امکان پذیر باشد. علاوه بر حفظ اجزای ساختمانی مناسب، مصالح ساختمانی بازیافتی نیز باید تفکیک شوند. لازم است تا حدی که ممکن است از ماشین آلات و تجهیزات کمی برای تخریب ساختمان ها استفاده شود و تجهیزاتی انتخاب شود که ذخیره انرژی برای تخریب تامین شود.

۲-۳-۲ نمونه هایی از ساختمان ها با مفاهیم بهره وری انرژی

۲-۳-۲-۱ مجتمع مسکونی مدیران غیردولتی دادگاه *Wilmar*، *Scarborough*، اونتاریو

این ساختمان که یک فعالیت مشترک بین سازمان خانه های غیردولتی کلیسایی Wilmar Heights و پناهگاه، پشتیبانی و مسکن تورنتو است، در سال ۱۹۷۴ ساخته شده و در سال ۱۹۹۳ به بهره برداری رسیده است (شکل (۲- ۴۰)). دادگاه Wilmar یک مرکز مسکونی غیردولتی ۷۲ واحد ۴ طبقه است. در سال ۲۰۱۰ دادگاه Wilmar در میان ۲۷ راه یافته نهایی به جایزه تورونتوی سبز در مصرف انرژی و نیز دریافت کننده جایزه غیردولتی مسیر سبز اونتاریو بوده است [۷۰]. این ساختمان از شروع فرآیند ساخت، از یک روش یکپارچه برای بهبود حفاظت و قابلیت دوام انرژی استفاده کرده است. تمامی ابتکارها با درنظرگیری مستاجران اصلی، هزینه ها، طراحی امکانات و تجهیزات دردسترس، نیازمندی های برنامه های آموزشی و توانایی امکانات و مستاجران در تحمل برنامه لحاظ شده ازنظر گردش مالی مستاجر، بررسی شده اند.

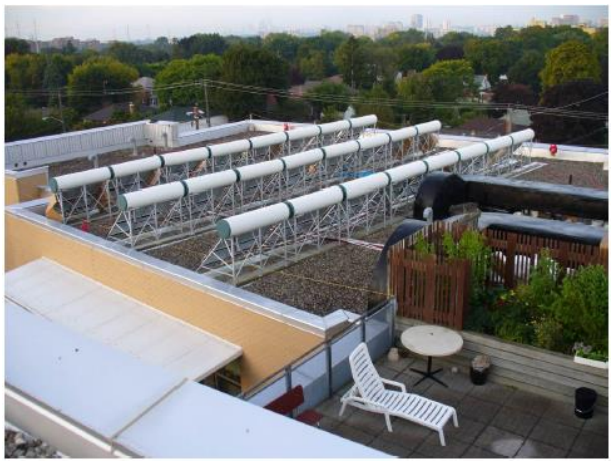
تمامی برنامه های ابتکاری و محافظت بصورت یک فرآیند سه مرحله ای درنظر گرفته شده است. مرحله اول برنامه های آموزشی مخصوص را برای مشتری معرفی می کند که رفتارها را به منظور کمک به اقدامات کاهش یا صرفه جویی اصلاح خواهد کرد. مرحله دوم تجهیزات و امکانات موجود را بررسی می کند و اطمینان می دهد که برنامه های نگهداری و تعمیر دارای سیستم هایی هستند که مطابق با الزامات تولیدکننده عمل می کنند. مرحله سوم (گران ترین مرحله) معرفی تکنولوژی های ارتقا یافته به منظور فعالیت همزمان با تجهیزات موجود یا نوسازی شده یا بعنوان جایگزین تجهیزات است. در سال ۲۰۰۸، مدیریت این طرح، امکان پذیری فنی و قابلیت تامین مالی استفاده از فناوری گرمای خورشیدی را به منظور تامین DHW (آب گرم خانگی) بررسی کرد تا بتواند مصرف گاز طبیعی مجموعه را کاهش دهد. آن ها درحال حاضر، یک سیستم متراکم کننده دیگ بخار را با فناوری خورشیدی DHW ترکیب می کنند که درواقع اولین نوع بهسازی در کانادا است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۴۰) تصویری از مجتمع مسکونی مدیران دادگاه Wilmar و کلیسای Wilmar Heights [۷۰]

تامین بودجه این پروژه از دو برنامه کمک مالی فدرال و استانی مربوط به انرژی تجدیدپذیر (گرمای خورشیدی و زمین گرمایی) هزینه پروژه را تا ٪۵۰ کاهش داده است. ٪۲۵ هزینه از کل هزینه پروژه انرژی گرمایی خورشید توسط برنامه کمک های مالی دولتی فدرال موسوم به "ecoENERGY برای انرژی تجدید پذیر" تامین شده است. ٪۲۵ دیگر کمک مالی (تا حداکثر ۸۰۰۰۰ دلار) توسط دولت اونتاریو بوده است که ۱۴.۴ میلیون دلار را در چهارسال تامین کرده است تا بخش صنعتی/تجاری/موسساتی را برای تبدیل به انرژی گرمای خورشیدی تشویق کند. بدون هیچ یک از این کمک های دولتی، ROI[1] (بازگشت سرمایه) برای اینچنین پروژه ای جذابیتی نداشته است (از ٪۳.۳ تا ٪۸.۸ متغیر بوده است) که مدت برگشت آن ۱۰ سال به طول خواهد انجامید. با کمک مالی ٪۵۰ دولت و ضریب افزایش هزینه سالانه انرژی ٪۵، ROI سالیانه به میانگین قابل قبول ٪۱۱.۵ در مدت میانگین بازگشت ۹.۷ سال افزایش می یابد. واضح است که محصولات لوله تخلیه شده[2] بیشترین ROI و کوتاه ترین دوره بازگشت سرمایه را ارائه خواهند داد (شکل (۲- ۴۱)). فناوری صفحه مسطح زمان بیشتری است که در کانادا استفاده می شود اما به نظر می رسد ROI آن در مقایسه با دیگر فناوری ها جذابیت کمتری دارد. احتمالاً علت محبوبیت کمتر محصولات گرمای خورشیدی در کانادا نیز همین است.



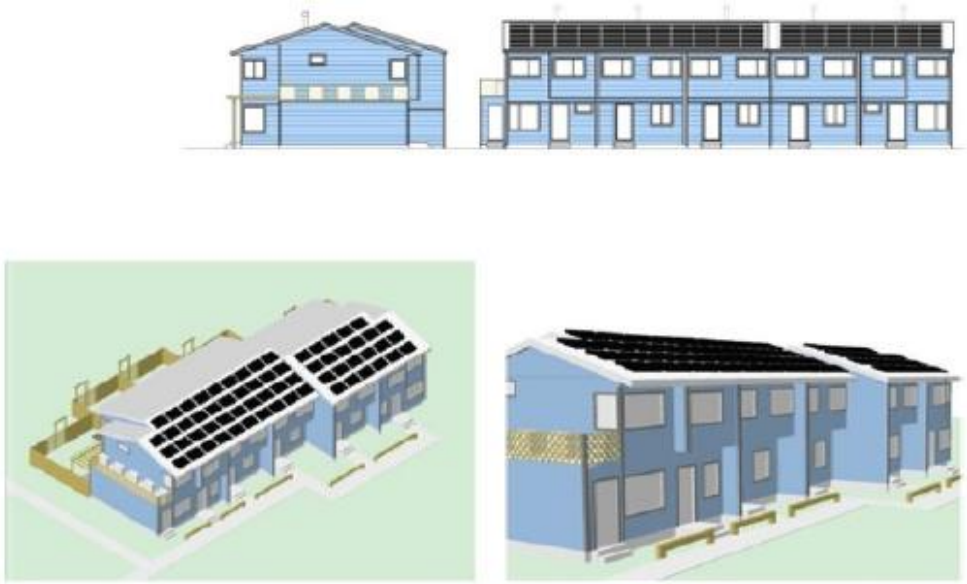
شکل (۲- ۴۱) فناوری انرژی خورشیدی لوله تخلیه شده (۲۴ واحد) که در بالای پشت بام دادگاه Wilmart نصب شده است [۷۰]

[1] Return-On-Investment
[2] Evacuated tube

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۳-۲ پروژه تاب آوری *Greenbrook، Surrey، British Columbia*

مالک Greenbrook که در سال ۱۹۷۴ ساخته شده است، موسسه استانی مسکن British Columbia بوده و توسط آن استفاده می شود. این پروژه دارای یک ساختمان سازمانی و ۱۲۷ واحد در ۲۸ بلوک کوتاه مرتبه و قاب چوبی است که در ۳ یا ۵ ساختمان قرار دارد و ۳۸۰ نفر (شامل ۱۳۰ بالغ و ۲۵۰ کودک) را اسکان می دهد (شکل (۲- ۴۲)). Greenbrook پروژه ای است که افزایش طول عمر و قابلیت دوام را ادغام کرده است تا مصارف انرژی را به طور قابل توجهی کاهش داده و بهبودهای فیزیکی را در مجتمع ساختمانی موجود ایجاد کند. نمای ساختمان پروژه طول عمر مجتمع را تا مقدار تخمینی ۳۰ سال یا بیشتر افزایش داده و استفاده از انرژی پربازده و سیستم های الکتریکی، انتشار گاز گلخانه ای مجتمع (GHG) را تا ۹۰ درصد در هرسال کاهش می دهد. این پروژه بزرگترین نصب پانل خورشیدی را در غرب کانادا توسعه داده است. پانل های خورشیدی الکتروشیمیایی[1] در پشت بام های روبه جنوب ۱۱ ساختمان از ۲۸ ساختمان نصب شده اند. نصب فناوری خورشیدی ٪۱۰ از الکتریسیته استفاده شده در سایت و بخش وسیعی از مصرف باقیمانده انرژی را جبران کرده و انتشار GHG را کاهش خواهد داد که پروژه را تبدیل به پروژه ای می کند که بدون کربن تلقی خواهد شد.



شکل (۲- ۴۲) نمونه ساختمان Greenbrook [۷۰]

چهار ناحیه اصلی کاری که تمرکز بهسازی و نوسازی بودند عبارتند از: ۱) جابجایی زهکش پیرامونی؛ ۲) نوسازی نمای ساختمان؛ ۳) سیستم جدید مکانیکی و الکتریکی و ۴) جابجایی المان های اصلی چشم انداز ساختمان و جابجایی درخت ها. این نوسازی های اصلی همراه با ویژگی های موثر انرژی در روشنایی و سردوش ها و توالت های موثر برای آب تکمیل شدند (شکل (۲- ۴۳)).

[1] Solar voltaic panels

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۴۳) خانه قبل از بازسازی (چپ) و پس از بازسازی (راست) [۷۰]

بودجه این پروژه توسط بودجه استانی ۲۱.۸ میلیون دلار برای زهکش پیرامونی (۴ میلیون دلار)؛ نمای ساختمان (۱۰.۲ میلیون دلار)؛ کارآمدی های انرژی شامل انرژی خورشیدی (۵ میلیون دلار) و مناظر و چشم انداز (۱.۳ میلیون دلار) تامین شد. این پروژه در دو فاز انجام شد و در اواسط سال ۲۰۱۰ تکمیل شد. فاز اول در سال ۲۰۰۸ با جابجایی زهکش پیرامونی شروع شد. فاز دوم در سال ۲۰۰۹ با جابجایی کامل نمای ساختمان شامل نوسازی های داخلی برای واحدها و همراه با بهسازی وسیع چشم انداز بیرونی انجام شد. اگرچه که نوسازی های داخلی در بودجه اصلی نبوده است، مسکن British Columbia توانسته بود بهسازی یک سوم محیط های داخلی را به دلیل ذخیره هزینه قابل توجه در این پروژه تامین کند.

۳-۲-۳-۲ شرکت کانون صلح احمدیه، تورنتوی شمالی، اونتاریو

این پروژه ۱۶ طبقه، ۱۷۶ واحد بوده و آپارتمانی بلندمرتبه با تکنولوژی پیشرفته است که فضای امکانات فراوانی دارد و دارای یک نمازخانه با ظرفیت بیش از ۲۵۰ نمازگزار است. هزینه ساخت این پروژه ۲۲ میلیون دلار بوده است که در ۱۴ ماه تکمیل شده است. گروه ساختمان صلح احمدیه (AAP) از زمان فاز مفهومی آن در سال ۱۹۹۰، پیشرو در برنده جایزه ذخیره و کارآمدی انرژی بوده است. نوسازی های انرژی بسیاری درطول سال ها انجام شده است که صرفه جویی های قابل توجهی را در اثرات محیط زیستی آن ها و هزینه های کاربری سطح پایین تر آن ایجاد کرده است. سرمایه ای که توسط REI (اقدام انرژی تجدیدپذیر[1]) تامین شد به آن ها این امکان را داد که با نصب سه سیستم انرژی تجدیدپذیر اهداف مصرفی خود را توسعه دهند، درغیر اینصورت آن ها بعنوان یک تامین کننده غیردولتی نمی توانستند اینچنین سیستم هایی را نصب کنند. AAP یک سیستم PV[2] ، یک سیستم خورشیدی گرم کننده هوا و یک سیستم خورشیدی آب داغ خانگی (SDHW[3]) نصب کرد. آن ها با وجود فضای محدود پشت بام توانستند مساحت اشغال فیزیکی سیستم ها را با نصب سیستم PV بر بالای جمع کننده خورشیدی هوا در دیوار سمت جنوبی ساختمان کاهش دهند (شکل (۲- ۴۴)).

آن ها با یک شرکت محلی که داده های مانیتورینگ را نیز تامین می کرد، وارد یک قرارداد ۱۰ ساله تعمیر و نگهداری شدند، داده های مذکور توسط مدیر مالی آن ها مورد بازبینی دقیق قرار می گرفت. هردو تهویه خوشیدی و SDHW نیز مانیتورینگ شدند. طبق گزارش AAP ذخایر انرژی که در اندازه گیری مصرف گاز دیده شد، حدود ٪۴۰ نسبت به مقدار سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است. مدیر مالی AAP همکار مقیم برای نصب سیستم

[1] Renewable energy initiative
[2] photovoltaic
[3] Solar domestic hot water

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

انرژی تجدیدپذیر بوده است که همراه با گروه خدمات مسکن بعنوان مدیر پروژه فعالیت کرده است. AAP هیچ مشکلی را در پیاده سازی برنامه REI یا جریان مالی آن گزارش نداده است. توصیه مدیرمالی AAP برای مالکان آینده سیستم انرژی تجدیدپذیر در بخش مسکن اجتماعی و باصرفه این است که نسبت به فرصت های مالی موجود آگاه باشند. آن ها در پروژه خود علاوه بر REI توانستند سیستم PV خود را ازطریق قرارداد microFIT به شبکه متصل کنند و صرفه جویی های گاز مصرفی آن به دلیل دیوار خورشیدی، اجازه دریافت کمک مالی را از Enbridge برای آن ها فراهم کرد.



شکل (۲- ۴۴) ساختمان صلح احمدیه واقع در تورنتو شمالی، اونتاریو، کانادا- همانطور که در تصویر مشخص است سیستم PV در دیوارهای ضلع جنوبی آن نصب شده است [۷۱]

۳-۳-۲ پیاده سازی هدف دولت ژاپن برای مسکن انرژی صفر بعنوان استاندارد برای مسکن‌های تازه ساخته شده تا سال ۲۰۲۰

تغییرات آب و هوایی شدید که براثر تغییر اقلیم در سال های جدید بوجود آمده است، یکی از جدی ترین مشکلات محیط زیستی بوده است. به منظور جلوگیری از بحران تغییر اقلیم و کنترل گرمایش زمین، انتشار گازهای گلخانه ای مانند CO_2 باید کاهش یابد. بطور خاص سیاست های شهرنشینی از اهمیت زیادی برخوردار است چراکه ٪۶۷ انرژی جهان در شهرها مصرف شده و ٪۷۱ از CO_2 حاصل از انرژی از شهرها منتشر می شود [۷۲]. در COP21 (چارچوب قراردادی درباره تغییر اقلیم، ۲۱ امین دوره از کنفرانس احزاب در سازمان ملل) که در سال ۲۰۱۵ در پاریس برگزار شد، ژاپن بطور کلی متعهد شد که سطح انتشار گاز گلخانه ای خود را از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۳۰ ٪۲۶ کاهش دهد. به منظور دستیابی به این هدف، باید کاهش این سطح انتشار به مقدار قابل توجه ٪۳۹.۳ در بخش مصارف مسکونی صورت پذیرد [۷۳].

به منظور کاهش انتشار CO_2 ناشی از مصارف خانگی الکتریسیته و گاز، دولت ژاپن در حال گسترش مسکن با انرژی خالص صفر (ZEH) است که مصرف خالص انرژی صفر را ازطریق بکارگیری قابلیت های عایق حرارتی و وسایل ذخیره انرژی همراه با سیستم های فوتوولتایک (PV) و سلول های سوخت ممکن می سازد. مسکن انرژی صفر (ZEH) مسکنی است با مصرف خالص انرژی صفر، بدین معنی که مقدار کل انرژی سالیانه که در آن مصرف می شود برابر است با مقدار انرژی تجدیدپذیری که در آن تولید می شود. دربرخی از حالات این ساختمان ها درطول کاربری نسبت به ساختمان های غیرZEH مشابه گاز گلخانه ای کمتری را به اتمسفر منتشر می کنند.

شرکت مسکن Sekisui که شرکتی بین المللی ژاپنی در زمینه ساخت و ساز خانه های مسکونی است طی گزارشی به بیان اقداماتی که در زمینه چشم انداز دولت ژاپن برای مسکن های انرژی صفر (ZEH) انجام داده

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

است و برنامه های پیشرو خود پرداخته است. در سال ۲۰۰۸ این شرکت چشم انداز سال ۲۰۵۰ خود رااعلام کرد که هدف آن پایین آوردن انتشار CO2 درطول عمر مسکن ساخته شده تا حد صفر است. آن ها همچنین در کنفرانس COP21 در سال ۲۰۱۵ تعهد خود را به معاهده پاریس اعلام کرده اند. هدف این شرکت افزایش آسایش و قابلیت پرداخت مسکن بوده ضمن اینکه مصرف انرژی را بطور قابل توجهی کاهش داده و درراستای دستیابی به اهداف ملی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ژاپن حرکت کند. همچنین هدف دستیابی به تعهدهای بخش مسکونی COP21 را ازطریق ساخت خانه های جدید و نوسازی خانه های موجود را دربرنامه خود دارد.

۱-۳-۳-۲ سیاست های اجرایی و وضعیت توسعه آن ها در شرکت *Sekisui*

درسال ۲۰۱۳ با پیش بینی برنامه های دولتی در استاندارد کردن ZEH تا سال ۲۰۲۰، شرکت Sekisui فروش نسخه بروز شده از مسکن سبز انرژی صفر را راه انداخت. مسکن سبز انرژی صفر سطح بالایی از آسایش، قابلیت پرداخت و دوستداری محیط زیست را ازطریق محدود کردن مقدار مصرف انرژی بوسیله عایق بندی بالا و تجهیزات ذخیره کننده انرژی کارآمد ارائه می دهد که انرژی بیشتری را ازطریق سیستم های ظرفیت بالای PV و سلول های سوختی Ene-Farm نسبت به مصرف تولید می کند.

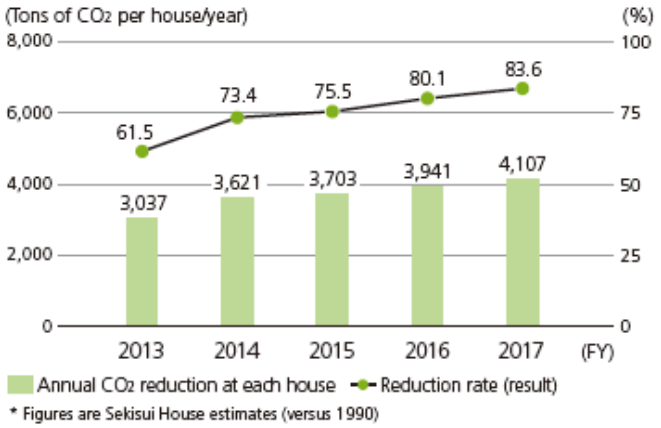
۱-۱-۳-۳-۲ توسعه مسکن انرژی صفر خالص

- افزایش درصد مسکن های سبز مستقل جدید با انرژی صفر تا ٪۸۰ تا سال ۲۰۲۰.
- کاهش انتشار CO2 از خانه های جدید و آپارتمان های اجاره ای کوتاه موجود تا ٪۳۹.۳ تا سال ۲۰۳۰ (نسبت به سال ۲۰۱۳).

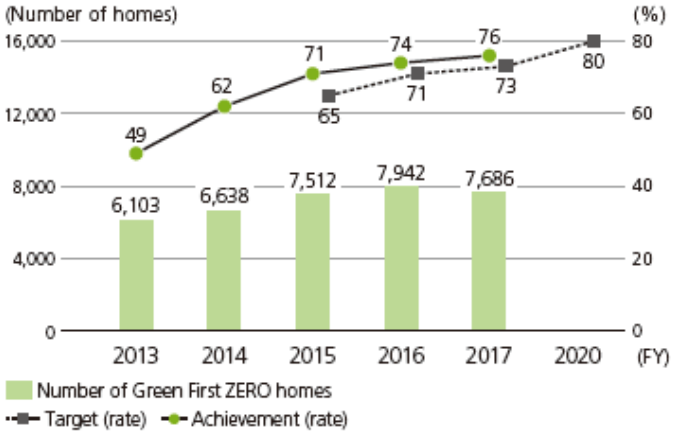
پس از اینکه شرکت بطور فعال پیشنهاد استفاده از یارانه های مربوط به پروژه حمایت از مسکن انرژی صفر خالص را به مشتریان در سال ۲۰۱۷ پیشنهاد داد نسبت ZEH برای خانه های مستقل تا ٪۷۶ افزایش یافت. این شرکت در بیست و سومین کنفرانس احزاب سازمان ملل متحد درباره تغییراقلیم که در بن آلمان در نوامبر ۲۰۱۷ برگزار شد، حضور یافت. طبق گزارش آن ها اولین شرکت در ژاپن بودند که اعلام کاهش کربن به منظور حذف انتشار کربن در طول عمر مفید خانه ها کردند. همچنین این شرکت اعلام کرد که اقداماتی را به منظور دستیابی به اجرایی کردن این هدف انجام داده و نسبت خانه های جدید آن که دارای صلاحیت خانه های سبز انرژی صفر هستند از ٪۷۰ بیشتر شده است. این شرکت نسبت ٪۸۰ را بعنوان هدفی که باید تا سال ۲۰۲۰ به آن دست پیدا کند، مدنظر قرار داده و در حال انجام اقدامات لازم است.

در دو نمودار شکل (۲- ۴۵) و شکل (۲- ۴۶) مقادیر کاهش انتشار CO2 و افزایش تعداد خانه های انرژی صفر نسبت به سال ۱۹۹۰ نشان داده شده است. مطابق با شکل (۲- ۴۵) نسبت کاهش سالانه انتشار CO2 در هر ساختمان در سال ۲۰۱۷ به ٪۸۳.۶ رسیده است که نشان می دهد در مراحل سکونت خانه های انرژی صفر مقادیر کاهش انتشار CO2 در این نوع مسکن ها افزایش می یابد. همچنین مطابق با شکل (۲- ۴۶) در سال ۲۰۱۷ نسبت خانه های سبز انرژی صفر به ٪۷۶ رسید که از مقدار هدف شرکت که ٪۷۳ بود نیز بیشتر است و اینکه این عدد بصورت پیوسته تا هدف ٪۸۰ در سال ۲۰۲۰ افزایش خواهد یافت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۴۵) کاهش سالیانه CO2 در هر خانه که ازطریق روش Green First بدست آمده است [۷۳]



شکل (۲- ۴۶) رشد تعداد خانه های سبز انرژی صفر [۷۳]

بعنوان مثالی از پیاده سازی خانه انرژی صفر می توان از ساخت مسکن اجاره ای در Kanazawa با واحدهای مسکونی که استانداردهای ZEH را برآورده می کند. از آنجایی که فضای پشت بام نسبت به تعداد واحد های مسکونی آن کوچک است، تعداد پانل های خورشیدی را که می توان در یک مسکن اجتماعی نصب کرد، برای تامین انرژی هریک از خانه های مسکونی کافی نیست که سازگاری با استانداردهای دولتی ZEH را دشوار می سازد. شرکت مسکن Sekisui تجهیزات ذخیره انرژی مانند پنجره های عایق بندی شده، تهویه هوای با کارآمدی بالا، آب گرم کن های دارای پمپ های حرارتی پربازده، شیرفلکه های ذخیره کننده آب داغ و چراغ های LED را در تمامی واحدهای مسکونی در مجموعه مسکن اجاره ای Kanazawa که در سال ۲۰۱۷ ساخته شده نصب کرد. مقدار خروجی انرژی موردنیاز از پانل خورشیدی برای هرواحد بطور میانگین برابر با 2.4kW است. این شرکت حتی در Kanazawa که مقادیر تابش خورشید کم است، در حال ایجاد سازگاری کامل با سیاست های انرژی خالص صفر می باشد.

۲-۱-۳-۳-۲ تقویت پیشنهادات ذخیره انرژی و ایجاد انرژی به منظور مدلسازی مجدد و ایجاد نوآوری ها

ذخیره انرژی ازطریق نوآوری های بهبود عایق بندی و نصب آخرین تجهیزات به همراه ایجاد انرژی با استفاده از سیستم های PV و سلول های سوخت باید بطور قابل توجهی انتشار CO2 را کاهش دهد. علاوه براین شرکت،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نوآوری های کفسازی، دیوار، سقف و پنجره را پیش برده اند که عایق بندی را ازطریق ابعادی مانند پوشش های حرارتی دیوار داخلی و روش ساخت پوشش قاب RePlus SH توسعه داده اند. نصب سیستم تامین فوتوولتایک تا حدودی به دلیل کاهش قیمت های خرید انرژی الکتریکی کاهش یافته است اما نصب سلول های سوختی Ene-Farm که بخشی از مدلسازی مجدد ایجاد انرژی شامل تولید انرژی هیبریدی است، افزایش یافته است. جدول (۲- ۱۵) مثال هایی از دستاوردهای بخش مدلسازی مجدد ذخیره انرژی و ایجاد انرژی را نشان می دهد:

جدول (۲- ۱۵) دستاوردهای مدلسازی مجدد ذخیره و ایجاد انرژی [۷۳]

گزینه های مدلسازی مجدد ذخیره و ایجاد انرژی	دستاوردهای انتهای سال ۲۰۱۷
نصب سیستم برق فوتوولتایک	۵۶۷ واحد
قطعات بهره ور انرژی در سرویس های بهداشتی	۳۷۱۱ واحد
اصلاح عایق بندی در و پنجره	۲۸۱۴ واحد
سلول های سوخت مسکونی (Ene Farm)	۵۳۵ واحد
Eco-Jozu (سیستم گرم کننده آب بوسیله گرمای پنهان گاز)	۳۰۳۱ واحد
Eco-Cute (سیستم پمپاژ آب گرم)	۱۱۲۰ واحد
پوشش گرمایی زیر طبقه	۹۷۵ واحد

۲-۳-۳-۲ ریسک های پیش رو و راه حل های ارائه شده

ریسک ۱- افزایش هزینه ها در اثر ایجاد سازگاری خانه ها با استانداردهای ملی ZEH

راه حل ۱: خانه های مستقل در ژاپن الزاماتی با استانداردهای بالا را برآورده می کنند، لذا ارتقاء آن ها به ZEH می تواند در هزینه های اضافه نسبتاً کمی انجام شوند. علاوه بر این، این شرکت بعنوان یک تولیدکننده اصلی مسکن هزینه ها را ازطریق خرید مرکزی کنترل می کند که بار هزینه ای را برای خریدار کاهش می دهد. همچنین طبق الزامات ZEH هزینه های تجهیزات بطور قابل توجهی پایین تر است لذا افزایش هزینه ها را می توان بعد از مقدار زمان مشخصی بازگرداند.

ریسک ۲- کاهش تقاضا بعلت کاهش یارانه ها یا کاهش قیمت های خرید انرژی الکتریکی

راه حل ۲- ویژگی های اقتصادی مسکن های سبز انرژی صفر را می توان با ارائه شبیه سازی هایی که پس از درنظرگیری سبک زندگی، اثرات نصب سیستم های فوتولتایک و آب گرم کن های پربازده را نشان دهند، توضیح داد. علاوه براین، می توان آموزش داد که خانه های کارآمد انرژی و دارای عایق بندی مناسب باعث زندگی سالم و راحت و افزایش امید به زندگی سالم خواهد شد. درک ارزش این نوع مسکن ها باعث خواهد شد که خریداران مسکن از ارائه خانه های دارای این ویژگی رضایت زیادی داشته باشند.

۲-۳-۳-۳ حفظ تنوع زیستی

تنوع زیستی بعنوان جزئی از اکوسیستم، ضروریات روزانه زندگی مان را تامین کرده و ارتباط قوی با فعالیت های کسب و کار شرکت هایی دارد که نسبت به مسائل اجتماعی مانند تهیه مصالح خام آگاه هستند. در این راستا شرکت مسکن Sekisui دو نکته زیر را نیز شناسایی کرده است:

- **آسیب به اکوسیستم شهری**

در سال های اخیر با کوچک شدن فضای سبز بعلت توسعه شهرنشینی، کاشت موثر گیاهان نه تنها باعث حفظ اکوسیستم خواهد شد بلکه سبک زندگی های مارا از روش های گوناگونی مانند ساخت فضاها به منظور استراحت،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جان بخشیدن به مناطق و کاهش آسیب آبی توسط ذخیره کردن آب باران حفظ خواهد کرد. همه ساله درختان زیادی با ساخت فضاهای زندگی جدید کاشته می شوند. ضروری است درهنگام انتخاب گونه های گیاهی با دقت زیادی سازگاری آن ها با منطقه به منظور حفظ اکوسیستم های منطقه ای درنظرگرفته شود.

- **اهمیت قابلیت ردیابی در تهیه مصالح**

الوار مصالح مهمی است که فضاهای زندگی ما را نگهداری می کند و شرکت مسکن Sekisui از ۳۰۰۰۰۰ متر مکعب الوار در هر سال استفاده می کند. اما عدم کارکرد مناسب حفظ محیط زیست بعلت اعمالی مانند قطع غیرمجاز درختان باعث تهدیدهایی مانند اختلال در روند زندگی، آسیب به بازار الوار شده و موانعی را برای مدیریت پایدار جنگل ها ایجاد می کند. علاوه براین، بعلت کانال های توزیع پیچیده، ایمن ساختن قابلیت ردیابی الوار به مسئله بسیار مهمی تبدیل شده است. یکی از فعالیت های ژاپن این است که ازطریق قانون چوب سبز، توزیع و استفاده از چوب بریده شده قانونی را توسعه داده است. این اقدام تنها اقدام برای ایمن سازی تهیه مناسب الوار نیست بلکه در سطح جهانی نیز اینگونه اقدامات در حال گسترش است.

۲-۳-۳-۴ سیاست های شرکت *Sekisui* به منظور حفظ تنوع زیستی ازطریق زنجیره تامین

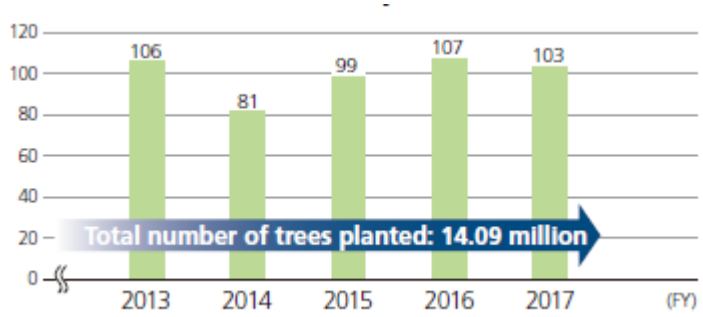
شرکت مسکن Sekisui که بزرگترین تولید کننده و تامین کننده مسکن پیش ساخته و یکی از بزرگترین باغبان های مناظر تزیینی نیز می باشد، نزدیک به یک میلیون درخت در هرسال می کارد. از این منظر هدف سال ۲۰۵۰ این شرکت حداکثر ساختن شبکه های اکوسیستم ازطریق کسب و کار است که شامل تمرکز فعالیت ها برروی کاشت درختان خواهد بود که به حفظ اکوسیستم های منطقه ای و تهیه الوار بصورت پایدار که باعث حفظ تنوع زیستی در سطح جهانی می شود، کمک خواهد کرد. بلوغ یا بازیابی سرمایه های طبیعی و اکوسیستم زمان می برد. علاوه براین، این گونه اقدامات تنها با یک شرکت کامل نمی شود. این شرکت براساس سناریوهای بلندمدت با تامین کنندگان خود، در ارائه مشتری های دارای سبک زندگی غنی و با آسایش همکاری می کند که به حفظ محیط زیست و ایجاد جامعه پایدار کمک خواهد کرد.

- **توسعه کاشت گونه های بومی با درنظرگیری اکوسیستم های منطقه ای ازطریق طرح Gohon no ki**

از سال ۲۰۰۱ شرکت مسکن Sekisui فعالیت های باغبانی و ایجاد چشم انداز را که به Gohon no ki (پنج درخت) معروف است، ارتقا داده است. این پروژه شامل پیشنهاد فعالانه ازگونه های بومی است که بتوانند سطح بالایی از حمایت را برای موجودات منطقه ای با درنظرگیری حفظ اکوسیستم انجام دهند. به منظور پیاده سازی آن، شرکت با شبکه ای از باغبانان و فعالان عرصه تزیینات گیاهی منطقه همکاری می کند تا نسبت به تامین گونه های بومی که در قدیم مقادیر موجود از آن ها کم بوده است، مطمئن شود. سپس به مصرف کنندگان توضیح خواهد داد که زندگی هماهنگ با مخلوقات زنده و اهمیت حفظ محیط زیست چقدر ارزشمند است. این شرکت ارتقاء طرح Gohon no ki را تا انتهای سال ۲۰۱۷ با کاشت درخت هایی با درنظرگرفتن اکوسیستم های منطقه ای ادامه داده است. در طول سال ۲۰۱۷، تعداد ۱۰۳۰۰۰۰ درخت در باغچه های خانه های مستقل و مسکن های اجتماعی که این شرکت ساخته است، کاشته شده است (شکل (۲- ۴۷)). از سال ۲۰۰۱ که این طرح آغاز شده است تعداد ۱۴۰۹۰۰۰۰ درخت کاشته شده است. اگرچه که اقدامات سبز عاملی است که با افزایش هزینه های نگهداری در مسکن های اجتماعی همراه است، این ایده که کاشت درخت آسایش فضاهای زندگی ما را افزایش می دهد و اینکه با افزایش سن زیباتر می شوند، کمک می کند که نسبت به ویژگی های دیگر این شرکت متمایز بوده و در جهت افزایش کیفیت کاشت آن ها در مسکن های اجتماعی عمل شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شرکت Sekisui با استفاده از بروشور پیشنهادی کاشت و رشد و نگهداری گونه های گیاهی مطلوب برای تک تک مشتریان در این جهت عمل می کند. بااستفاده از این بروشور آن ها توانسته اند بطور خاص تر مشتریان خود را نسبت به جنبه های لذت بخش باغچه ها مانند تغییر نوع گل ها، میوه ها و برگ ها و انواع مختلف پرنده ها و حشرات مهاجر آگاه کنند. همچنین ازطریق مرکز فروش قادر بوده اند اطلاعات نگهداری کاملتری را درباره دوره های باروری و هرس و نیز درباره پاسخ به آفت های گیاهی، پس از اینکه در مسکن خود ساکن شدند، منتقل کنند. تغییرات در تعداد خانه های مستقلی که ساخته می شود باعث ایجاد تغییر در تعداد درخت های کاشته شده می شوند. بااین حال، مشتریان منافع حاصل از خانه های سبز مانند آسایش، ظاهر بسیار متمایز و چشم انداز منطقه ای که درطول زمان جذاب تر می شود را درک کرده اند که خود کمک کرده است تا فروش ۶۷.۸ میلیارد یورویی را در بخش ساخت و ساز بیرونی مسکن ها که شامل اقدامات کاشت و فضاسازی سبز است، داشته باشد.
گسترش ZEH و استفاده از روش های ساخت جدید، نصب پنجره های بزرگ را امکان پذیر ساخته و باغچه ها ارزش افزوده ای را برای ساکنین ایجاد کرده و نقش بزرگی را در افزایش آسایش مستاجران ایجاد کرده اند. بنابراین طراحان شرکت، فرآیند "طراحی کل ناحیه" را مدنظر قرار داده اند که در آن طراح ارتباط طراحی محیط بیرونی را به کل ساختمان از همان ابتدای طراحی درنظر می گیرد.



شاخص	واحد	انتهای ۲۰۱۳	انتهای ۲۰۱۴	انتهای ۲۰۱۵	انتهای ۲۰۱۶	انتهای ۲۰۱۷	تعریف و یادآوری
تعداد درختانی که در یک سال کاشته می شوند.	ده هزار	۱۰۶	۸۱	۹۹	۱۰۷	۱۰۳	تعداد درختانی که درطول سال ازطریق باغچه های چشم اندازی و اقدامات سبزسازی کاشته شده است.

شکل (۲- ۴۷) تعداد درختانی که سالانه کاشته شده اند [۷۳]

- **توسعه استفاده از الوار قانونی و پایدار FairWood**

دستورالعمل های تهیه چوب در آوریل سال ۲۰۰۷ ایجاد شدند. این دستورالعمل ها به ۱۰ خط مشی برای تهیه چوب تقسیم بندی شده اند که چهار زمینه قانون مندی، تنوع زیستی، اقتصاد نواحی تولیدی و سبک زندگی ساکنان مناطق بریده شدن درخت ها را درنظر می گیرند. هر محصول چوبی براساس امتیاز کلی که از هر خط مشی بدست می آورد، به چهار رده بندی S، A، B و C تقسیم می شوند که به ترتیب نوع S بیشترین و نوع C کمترین مرغوبیت را دارند. ۱۰ دستورالعمل تهیه چوب عبارتند از:

۱. محصولات چوبی از نواحی که ریسک نسبتاً پایینی برای قطع غیرقانونی دارند، تهیه شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲. محصولات چوبی از نواحی که اکوسیستم های حساسی دارند تهیه نشوند.
۳. محصولات چوبی از نواحی که اکوسیستم های منطقه ای بعلت قطع زیاد جنگل های طبیعی آسیب می بینند، تهیه نشوند.
۴. از گونه های درمعرض خطر برای محصولات چوبی استفاده نشود.
۵. در زمان تولید، پرداخت و انتقال محصولات چوبی، انتشار CO2 کمینه شود.
۶. درزمان قطع محصولات چوبی، از برخورد با گروه های منطقه ای و از برخوردهای غیرمنصفانه با کارگر خودداری کنید.
۷. محصولات چوبی را از نواحی قطع کنترل شده تهیه کنید تا بیشتر از مقدار تولید درخت نباشد.
۸. محصولات چوبی را از جنگل های داخلی تهیه کنید که در آن ها مدیریت جنگل با برنامه ریزی مناسب به منظور حفظ اکوسیستم وجود داشته باشد.
۹. محصولات چوبی را از جنگل های کشت شده ای تهیه کنید که به گونه ای مدیریت شده اند تا حفظ اکوسیستم و توسعه آن را ارتقاء بخشند.
۱۰. از مصالح چوبی برای ساختمان استفاده کنید که تجزیه پذیر هستند.

۲-۳-۴ سیستم های فوتولتایک در کانادا

۲-۳-۴-۱ مصرف انرژی در ساختمان های کشور کانادا

ساختمان های تجاری و مسکونی حدود ٪۳۰ کل انرژی و بیش از ٪۵۰ انرژی الکتریسیته را مصرف می کنند. سیستم های فوتوولتایک یکی از فناوری های پاک است که می تواند تقاضای انرژی الکتریکی را در ساختمان ها برآورده کند. ساختمان های مسکونی و تجاری به اندازه کافی سطح پشت بام و در صورت نیاز سطح دیوار روبه جنوب دارند تا سیستم فوتولتایک را که می تواند بار کامل انرژی الکتریکی را در ساختمان های کارآمد پشتیبانی کند، تحمل کنند [۷۴].

حدود ۷ میلیون خانه مسکونی مجزا در کانادا وجود دارد که حدود ۶۲ تراوات ساعت انرژی الکتریکی را با قیمت ۶ میلیارد دلار کانادا مصرف می کنند. درصورتی که یک سلول ۳۰ مترمربعی فوتولتایک بخواهد بر بالای پشت بام یک خانه متعارف در کانادا نصب شود، می تواند درطول سال حدود ۴۰۰۰ کیلووات ساعت یا ٪۴۵ انرژی الکتریکی را تامین کند. خانه سبز واترلو، بخشی از طرح خانه های پیشرفته NRCan تنها ۴۳۴۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی مصرف می کند. همان سیستم فوتولتایک ۳۰ مترمربعی در این خانه قادر است درطول سال تمامی انرژی الکتریکی را تامین کند. سیستم فوتولتایک انرژی الکتریکی اضافی را در تابستان تامین کرده و در زمستان دارای کمبود انرژی است. درصورتی که تجهیزات الکتریکی برای استفاده خالص از این فناوری که باعث می شود برق اضافی فروخته شده و کمبود برق با قیمت توافقی برای هر کیلووات ساعت خریداری شود، وجود داشته باشد، این تغییرات فصلی و تغییرات روز و شب هیچ مشکلی را بوجود نخواهد آورد. بنابراین، ترکیبی از لوازم روشنایی و خانگی که از نظر انرژی پربازده هستند و یک طرح فوتولتایک فشرده توانایی برآوردن تمامی نیازهای انرژی الکتریکی را در خانه های مسکونی (با فرض گرمایش غیرالکتریکی) دارد.

۴۳۰۰۰۰ ساختمان تجاری/موسسات در کانادا وجود دارد که حدود ۵۱۷ میلیون متر مربع زمین را اشغال کرده اند. مصرف الکتریکی سالانه در این بخش ۱۰۰ تراوات ساعت (بدون احتساب تهویه فضا و آب) یا ۱۰ میلیارد دلار کانادا است. میانگین مصرف الکتریکی در ساختمان های تجاری ۱۹۳ کیلووات ساعت برهر مترمربع مساحت است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

اما ساختمان Green on the Grand که اولین ساختمان اداری C2000 در کانادا است تنها ۷۳ کیلووات ساعت برهرمترمربع مساحت مصرف انرژی دارد. درصورتی که در پشت بام این ساختمان دو طبقه یک سیستم فوتولتایک جاگذاری شود، می تواند ٪۶۵ تقاضای انرژی الکتریکی سالانه ساختمان را تامین کند. همچنین اگر در نمای جنوبی ساختمان نیز پانل های فوتولتایک قرارداده شوند، سیستم فوتولتایک ٪۱۰۰ بار الکتریکی را برآورده خواهد کرد.

۲-۴-۳-۲ فناوری فوتوولتایک برای ساختمان ها

محصولات جدید ساختمان که برای بکارگیری سیستم های فوتولتایک برروی بام های شیبدار، بام های مسطح، نماها و بعنوان المان های سایه بان طراحی شدند، در دهه ۱۹۹۰ توسعه یافته اند که درنتیجه آن تجاری سازی بیش از ۵۰ محصول خورشیدی و محصولات پشتیبان که بطور خاص برای کاربردهای ساختمانی طراحی شده بودند، انجام گرفت. محصولات فوتولتایک یکپارچه برای ساختمان معمولاً نسبت به اکثر مصالح ساختمانی متعارف گران تر هستند بااین حال، هزینه آن ها به ازای نصب هر کیلووات در حال کاهش است که باعث رقابتی تر شدن این محصولات می شود.

بکارگیری سیستم های فوتولتایک در ساختمان ها مزایایی فراتر از کاهش هزینه ها دارد. زیبایی ساختمان می تواند با بکارگیری مدول های فوتوولتایک در نمای ساختمان بجای نصب ردیفی آن ها در پشت بام یا روی زمین افزایش یابد. چندین تولیدکننده سنتی شیشه محصولاتی را برای طراحی ها، رنگ ها یا شکل های سلیقه ای معرفی کرده اند که به معماران این انعطاف را می دهند که به ظاهر ساختمان موردنظر خود دست یابند (شکل (۲- ۴۸)).

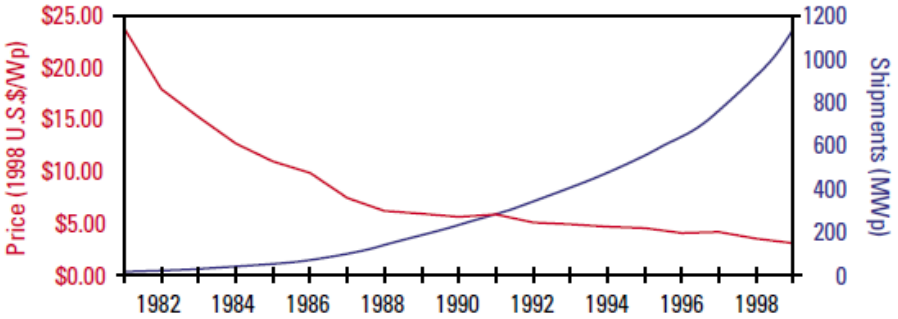


شکل (۲- ۴۸) سیستم فوتولتایک در پشت بامی در Maryland [۷۴]

۲-۴-۳-۳ وضعیت بازار و آینده سیستم های فوتولتایک

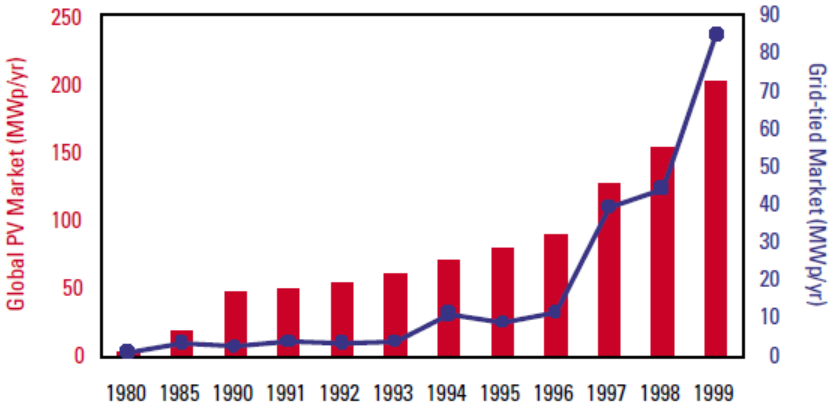
درطول ۲۵ سال گذشته بیش از ۱۰۰۰ مگاوات فوتوولتایک در سرتاسر جهان نصب شده اند که نیمی از آن ها در چهارسال اخیر بوده است، دوره ای که بازار نرخ رشد سالانه میانگین ٪۲۶ و کاهش مداوم هزینه ها را تجربه کرده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۴۹) قیمت جهانی مدول فوتولتایک به ازای هر وات توان و مقدار تجمعی انرژی حاصل شده بر حسب مگا وات توان ۱۹۸۰-۱۹۹۹ [۷۴]

در اوایل دهه ۱۹۹۰ بازار توجه بیشتری به بکارگیری مستقیم سیستم های فوتوولتایک بعنوان پوشش ساختمان کرده است. درک عمومی نسبت به این موضوع افزایش یافته است که این گزینه هزینه های مصالح سنتی ساختمان را کاهش داده و از بسیاری از هزینه های تولید سنتی انرژی مانند خرید زمین و اجزای ساختمان و هزینه های انتقال و توزیع جلوگیری کرده یا آن ها را کمینه می سازد. ژاپن، آلمان، ایالات متحده و دیگر کشورها بااستفاده از ابزارهای تاب آور تامین مالی به منظور شتاب دادن به رشد این بخش از بازار ساختمان در طول مسیر در حال پیشرفت هستند.



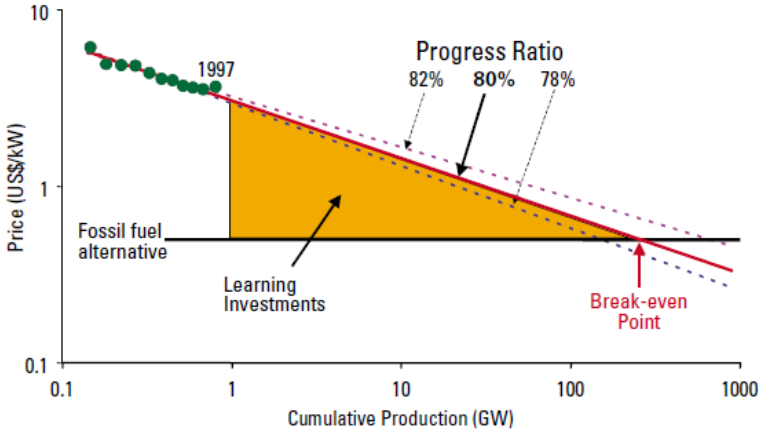
شکل (۲- ۵۰) رشد بازار جهانی فوتولتایک شبکه ای [۷۴]

منحنی تجربه برای قیمت های مدول فوتوولتایک در برابر فروش تجمعی درطول ۲۰ سال گذشته نرخ رشد بین ۸۰٪ و ۸۲٪ داشته است- نرخی که برای محصولات تولید شده مقدار متعارفی است. بنابراین مجموع کل نرخ آموزش برای مدول های فوتوولتایک بین سال های ۱۹۷۷ و ۱۹۹۷ حدود ۱۸٪ تا ۲۰٪ متغیر بوده است. نقطه تعادل (نقطه ای که هزینه کل با درآمد کل برابر باشد) برای فروش مدول های فوتوولتایک (در نرخ پیشرفت ۸۰٪) در تولید تجمعی حدود ۳۰۰ گیگاوات رخ خواهد داد. براساس نرخ رشد سالیانه ۲۰٪، نقطه تعادل برای فناوری موجود که با تولید انبوه الکتریسیته در کانادا رقابت کند، براساس پایین ترین هزینه تولید، در محدوده زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ رخ خواهد داد. افزایش تجربه براثر توسعه فناوری های حاصل از آزمایشگاه های تحقیق و توسعه باعث افزایش کارآمدی مدول های فوتوولتایک شده است که در نتیجه انتظار می رود باعث کاهش قابل توجه هزینه ها و استفاده بزرگ مقیاس از سیستم های فوتوولتایک شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۱۶)پیش بینی کاهش هزینه انرژی خورشیدی (برحسب ثابت دلار آمریکا در سال ۱۹۹۷) [۷۴]

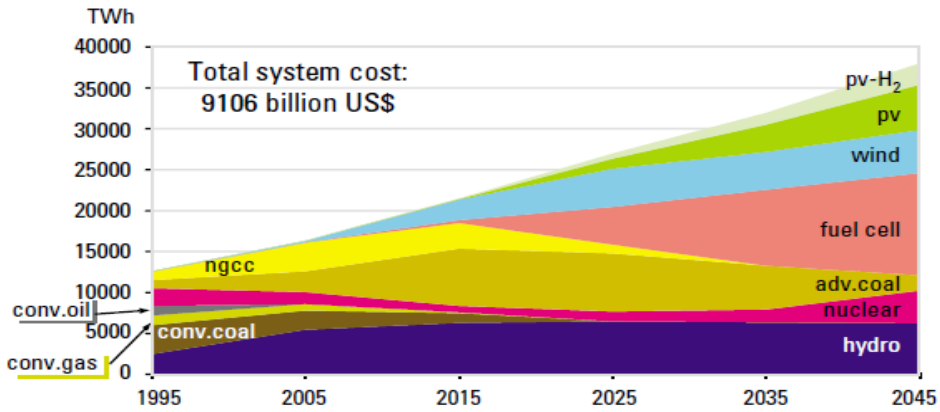
هزینه انرژی (دلار آمریکا به کیلووات ساعت)	۱۹۹۷	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰
	0.30	0.14	0.08	0.047



شکل (۲- ۵۱) برقراری تعادل سیستم فوتولتایک [۷۴]

هر کیلووات توان از سیستم نصب شده فوتولتایک ، توانایی کاهش ۱/۵۸ تن CO2 در هرسال درصورت جابجایی با ذغال سنگ، ۱/۳ تن CO2 درهرسال درصورت جابجایی با سوخت مایع و ۰/۷۳ تن CO2 در سال درصورت جابجایی با گاز طبیعی را دارد.

آژانس بین المللی انرژی اخیراً گزارشی درباره روش های تاب آور تولید انرژی منتشر کرده که به پایداری گازهای گلخانه ای کمک کرده و هزینه های نسبی این سیستم ها را مقایسه کرده است. این مطالعه پیش بینی می کند که سرمایه گذاری اولیه در هردو فناوری های فوتولتایک و سلول سوخت باعث کاهش سریع تر هزینه ها شده و باعث می شود که بخش قابل توجهی از انرژی الکتریکی موردنیاز جهان را تاسال ۲۰۳۰ تامین کنند (شکل (۲- ۵۲)).



شکل (۲- ۵۲) مسیرشکست همراه با سرمایه گذاری آموزش برای فوتولتایک [۷۴]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۵ ارزیابی چرخه عمر (LCA)

۲-۳-۵-۱ مقدمه

صنعت ساختمان حدود ٪۴۰ تاثیر منفی بر محیط زیست را که عمدتاً توسط کشورهای توسعه یافته در اتحادیه اروپا اتفاق می افتد برعهده دارد [۷۵]. ازطریق اجرا و کاربری کارآمدتر ساختمان ها می توان صرفه جویی های انرژی قابل توجهی بدست آورد. مطابق با نقشه راه منابع کارآمد اروپا این بهره وری انرژی می تواند موجب کاهش ٪۴۲ از مصرف کلی انرژی، ٪۳۵ انتشار گازهای گلخانه ای (GHG)، ٪۵۰ مصالح خام استخراج شده و در برخی از نواحی ٪۳۰ از مصرف آب باشد. یکی از ابزارهای رایج به منظور مطالعه تاثیر مصالح مختلف برروی محیط زیست ارزیابی چرخه عمر (LCA) است. صنعت ساختمان می تواند با بکارگیری ارزیابی های چرخه عمر از نظر انتخاب مصالح مصرفی کارآمدتر شده و تاثیرات محیط زیستی ناشی از ساختمان سازی را در کل چرخه عمر یک ساختمان کاهش دهد. LCA ابزاری است که تاثیر محیط زیستی مصالح از مرحله استخراج، تولید، ساخت و بهره برداری تا فرآوری ضایعات و پایان عمر محصول را ارزیابی می کند. کمیته اروپا کاهش ۹۰ درصدی CO_2 منتشر شده از بخش ساختمان را تا سال ۲۰۵۰ هدف گذاری کرده است. به منظور دستیابی به این هدف باید از آنالیز چرخه عمری به منظور تخمین میزان انتشار CO_2 ساختمان های مختلف که از مصالح ساختمانی مختلفی استفاده کرده اند، بهره برد. استفاده از LCA در تاب آوری صنعت ساختمان منافع محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی دارد. منافع محیط زیستی آن با مقایسه مصالح جایگزین و ارائه اطلاعات درباره تاثیر محیط زیستی آن ها به سرمایه گذاران بدست می آید تا آن ها بتوانند تصمیمات آگاهانه ای درباره انتخاب مصالح بگیرند. از جمله منافع اجتماعی آن می توان به تصویب قوانین دولتی و سیاست های مهم تصمیم گیری پس از آن اشاره کرد. منافع اقتصادی آن نیز براساس توسعه محصولات برای ساختمان های سبز که بدلیل کاهش تاثیرات منفی محیط زیستی هزینه های ساخت و بهره برداری کاهش یافته است، حاصل می شود. علاوه براین LCA توسط استانداردهای ISO دنبال شده است و بنابراین چشم اندازی بلندمدت دارد.

۲-۳-۵-۲ پیشینه تحقیقات

LCA در صنعت ساختمان از سال ۱۹۹۰ مورداستفاده قرار گرفته است [۷۶]. مطالعات LCA زیادی از ساختمان های مسکونی در اروپا، آمریکای شمالی و استرالیا انجام شده است. در این مطالعات از هرمنطقه به منطقه ای دیگر بدلیل دسترسی به مصالح خام، آب و هوا و عادات اجتماعی مختلف و سایر موارد، انواع مختلف ساختمان ها مورد ارزیابی قرار گرفته اند. از آنجایی که نیازهای گرمایشی و سرمایشی یک ساختمان به آب و هوای منطقه وابسته است، موقعیت جغرافیایی می تواند تاثیر قابل توجهی برروی نتایج مطالعه داشته باشد. بعنوان مثال مطالعه ای توسط Carre [۷۷] نشان داده است که ساختمان های مسکونی آمریکای شمالی و استرالیا آلاینده های بیشتری را در واحد انرژی در طول عمر بهره برداری خود نسبت به خانه های اروپا منتشر می کنند، بااین حال این اختلاف می تواند علاوه بر آب و هوا به تفاوت در روش های اجرای ساختمان ها نیز مربوط باشد.

فرضیات مربوط به طول عمر ساختمان بطور قابل توجهی در میان مطالعات پیشین LCA درباره ساختمان ها متفاوت بوده اند. توافق یکسانی برای درنظرگیری طول عمر ساختمان ها وجود نداشته است. فرضیات طول عمر از ۴۰ تا ۱۰۰ سال متغیر بوده اند؛ مقدار میانه آن ۵۰ سال است. مقدار درنظرگرفته شده برای طول عمر ساختمان تاثیر قابل توجهی برروی اثرات محیط زیستی فاز بهره برداری ساختمان دارد. اخیراً مطالعه ای از استرالیا [۷۸]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نشان داده است که با کاهش طول عمر ساختمان از ۱۰۰ به ۵۰ سال، انرژی اصلی چرخه عمر و آلاینده های GHG حدود ٪۵۰ کاهش می یابد.

مطالعات LCA بااستفاده از استانداردهای ISO 14044 [۷۹] انجام می شود. در این استاندارد واحد عملکردی[1] بعنوان واحد مقایسه معرفی شده است. دو واحد عملکردی که بیشترین استفاده را برای مطالعات ساختمان مسکونی داشته اند، "۱ متر مربع" و "کل مساحت خانه" بوده اند. این موضوع باعث می شود که واحد عملکردی یک سیستم با واحدهای عملکردی سیستم های دیگر با کاربرد مشابه، قابل قیاس باشند. واحد عملکردی "کل مساحت خانه" تنها برای مقایسه مطالعات خانه هایی مفید است که مساحت طبقه یکسانی داشته باشند [۷۷].

مرز سیستم[2] تاثیر قابل توجهی برروی نتایج مطالعه داشته است. برخی از مطالعات برای ارزیابی تاثیرات محیط زیستی ارزیابی بخشی از چرخه عمر محصول (معروف به گهواره تا خروج[3]) را انجام داده اند [۸۰]. این ارزیابی مرحله استخراج منابع (گهواره) تا خروج از کارخانه را شامل می شود. برخی از مطالعات ارزیابی چرخه عمر کامل را از مرحله استخراج منابع (گهواره) تا پایان عمر یا حذف (گور) محصول را که معروف به گهواره تا گور[4] است، انجام داده اند [۸۱]. همچنین از نظر ارزیابی تاثیر وارد بر محیط زیست، شاخص های محیط زیستی در مطالعات مختلف متفاوت بوده اند. این انتخاب به اهداف خاص مربوط به هرمطالعه و علاقمندی های منطقه موردمطالعه بستگی دارد. GHG[5] (گاز گلخانه ای) و CED[6](تقاضای انرژی تجمعی) شاخص هایی هستند که در اکثر مطالعات استفاده شده اند. همچنین دسته بندی تاثیر امکان گرمایش زمین (GWP[7]) که واحد آن وزن دی اکسید کربن معادل آلاینده ها است (CO_{2e}) نیز می تواند مورداستفاده قرار گیرد. سایر دسته بندی های ارزیابی را می توان استفاده کرد اما سیاست گذاران و مجریان GWP را بعنوان یک معیار جامع قبول دارند.

با توجه به نکات فوق بطور کلی انتخاب ها و فرضیات مختلف در مطالعات مختلف LCA تاثیرات قابل توجهی بر نتایج داشته است. بنابراین در زمان مقایسه مطالعات باید فرضیات مربوط به نوع ساختمان، محدوده انجام تحلیل ها، مرز سیستم و آب و هوای منطقه موردتوجه قرار گیرد.

۳-۵-۳-۲ ویژگی های کلیدی *LCA*

موارد زیر برخی از ویژگی ها و مفاهیم کلیدی روش LCA را که در ادامه مطالعه استفاده خواهند شد، بصورت خلاصه مطرح می کنند [۸۲]:

- LCA بصورت سیستماتیک جنبه ها و تاثیرات محیط زیستی سیستم های محصول را از مرحله استخراج مصالح خام تا دوراندازی نهایی آن ها مطابق با هدف و محدوده بیان شده ارزیابی می کند.
- LCA ماهیتی نسبی دارد که این ماهیت بدلیل ویژگی واحد عملکردی این روش است.
- میزان جزئیات و چارچوب زمانی درنظرگرفته شده برای LCA می تواند تاحد زیادی بسته به هدف و محدوده موردمطالعه متفاوت باشد.
- بسته به کاربرد LCA، احترام به حریم خصوصی و مسائل حق مالکیت افراد و شرکت ها، انتشار اطلاعات صورت می گیرد.

[1] Functional unit
[2] Boundary system
[3] cradle-to-gate
[4] cradle-to-grave
[5] Green House Gas
[6] Cumulative Energy Demand
[7] Ground Warming Potential

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

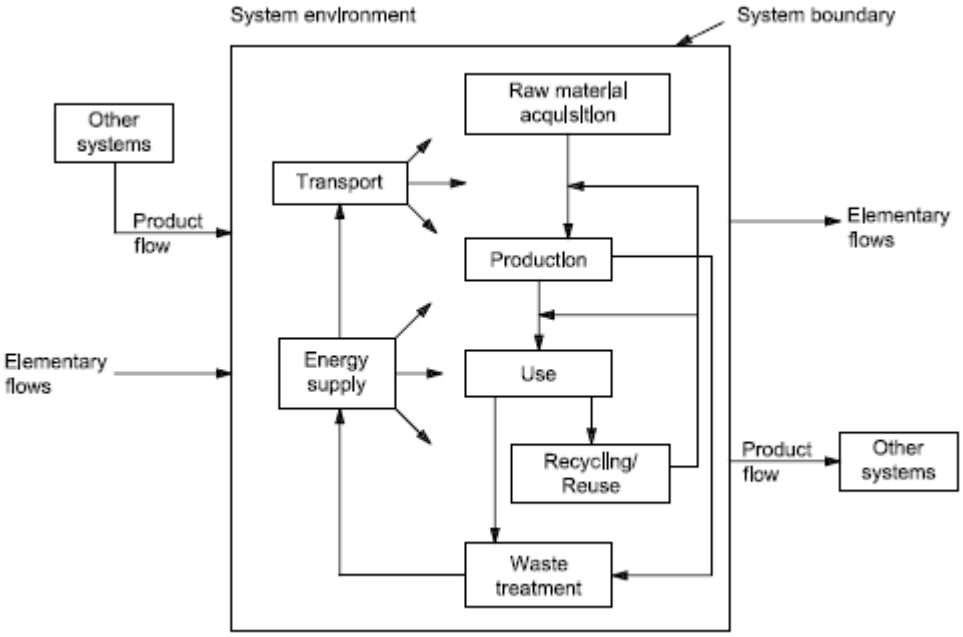
- روش LCA قابلیت درنظرگیری یافته ها و پیشرفت های علمی جدید را در الگوی موردنظر خود دارد.
- برای LCA هایی که به منظور اهداف مقایسه ای انجام می شوند که در آینده در اختیار عموم قرار می گیرند، الزامات ویژه ای باید بکار گرفته شود.
- هیچ روش منحصر به فردی برای انجام LCA وجود ندارد. سازمان ها این انعطاف پذیری را دارند که LCA را مطابق با الزامات استاندارد ISO 14040 & 14044 و برطبق کاربرد مدنظر و نیازمندی های سازمان خود انجام دهند.
- LCA با بسیاری دیگر از روش ها (مانند ارزیابی عملکرد محیط زیست، ارزیابی تاثیر محیط زیست و ارزیابی ریسک) متفاوت است؛ زیرا روشی نسبی براساس واحد عملکردی است؛ بااین حال ممکن است از اطلاعاتی که توسط روش های دیگر جمع آوری شده است استفاده نماید.
- LCA تاثیرات ممکن محیط زیستی را درنظر می گیرد و به دلایل زیر تاثیرات مطلق با دقیق محیط زیستی را پیش بینی نمی کند:
  - ✓ بیان نسبی تاثیرات ممکن محیط زیستی نسبت به یک واحد مرجع
  - ✓ یکپارچگی اطلاعات محیط زیستی در طول زمان و مکان های مختلف
  - ✓ عدم قطعیت ذاتی در مدلسازی تاثیرات محیط زیستی
  - ✓ این واقعیت که برخی از تاثیرات ممکن محیط زیستی حال حاضر درآینده نیز تاثیرگذار هستند.
- مرحله LCIA هماهنگ با دیگر مراحل LCA یک دیدگاه سیستماتیک از مسائل محیط زیستی و منابع برای یک یا چند سیستم محصول ارائه می دهد.
- مرحله LCIA نتایج LCA را به دسته بندی های تاثیر۱ اختصاص می دهد؛ برای هر دسته بندی تاثیر یک شاخص دسته بندی تاثیر چرخه عمر۲ انتخاب شده و نتیجه شاخص دسته بندی (نتیجه شاخص) محاسبه می شود؛ مجموع نتایج شاخص (نتایج LCIA) یا نمودار LCIA3 اطلاعاتی را درباره مسائل محیط زیستی مربوط به ورودی ها و خروجی های سیستم محصول ارائه می دهد.
- هیچ مبنای علمی برای کاهش نتایج LCA به یک امتیاز یا عدد کلی وجود ندارد زیرا وزن دهی نیاز به انتخاب های ارزش دارد.
- مرحله تفسیر چرخه عمر از یک فرآیند سیستماتیک برای شناسایی، صلاحیت، کنترل، ارزیابی و ارائه نتایج براساس یافته های LCA به منظور برآوردن نیازمندی های تشریح شده در مرحله هدف و محدوده مطالعه استفاده می کند.
- تفسیر چرخه عمر از یک فرآیند تکراری هم در مرحله تفسیر و هم در مراحل دیگر LCA استفاده می کند.
- تفسیر چرخه عمر الزاماتی را برای ایجاد ارتباط بین LCA و دیگر روش ها به منظور مدیریت محیط زیست توسط تاکید بر نقاط قوت و محدودیت های هدف و محدوده معرفی شده LCA ایجاد می کند.

[1] Impact category
[2] Impact category indicator
[3] Life Cycle Impact Assessment

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

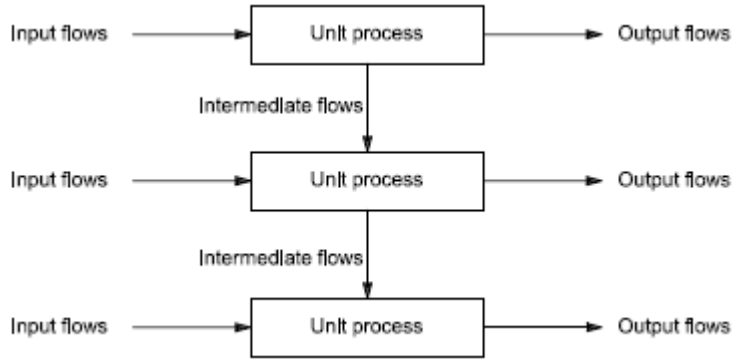
۴-۵-۳-۲ مفاهیم کلی سیستم های محصول[1]

LCA چرخه عمر یک محصول را بصورت سیستم محصول مدلسازی می کند که این سیستم یک یا چند وظیفه تعریف شده دارد. ویژگی اصلی یک سیستم محصول با وظیفه آن معرفی می شود و نمی تواند مطلقاً توسط محصولات نهایی معرفی شود. شکل (۲- ۵۳) مثالی از سیستم محصول را نشان می دهد.



شکل (۲- ۵۳) مثالی از سیستم محصول برای LCA [۸۲]

سیستم های محصول خود به مجموعه هایی از فرآیندهای واحد[2] تقسیم می شوند (شکل (۲- ۵۴)). فرآیندهای واحد توسط جریان های محصولات میانی[3] یا بازآوری ضایعات[4] به یکدیگر، توسط جریان های محصول[5] به سیستم های محصول دیگر و توسط جریان های اولیه[6] به محیط زیست مرتبط می شوند.



شکل (۲- ۵۴) مثالی از مجموعه ای از فرآیندهای واحد داخل یک سیستم محصول [۸۲]

[1] Product system
[2] Unit process
[3] Intermediate flow
[4] Waste treatment
[5] Product flow
[6] Elementary flow

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تقسیم بندی یک سیستم محصول به اجزای فرآیندهای واحد آن شناسایی ورودی ها و خروجی های سیستم محصول را تسهیل می کند. در بسیاری از حالات برخی از ورودی ها بعنوان جزئی از محصول خروجی استفاده می شوند. درحالیکه سایر ورودی ها (ورودی های کمکی) که در یک فرآیند واحد استفاده می شوند بخشی از محصول خروجی نیستند. یک فرآیند واحد خروجی های دیگری (جریان های اولیه یا محصولات) را نیز در نتیجه فعالیت های خود تولید می کند. سطح جزئیات مدلسازی که به منظور ارضای هدف مطالعه لازم است، مرز فرآیند واحد را تعیین می کند.

جریان های اولیه شامل استفاده از منابع و ورود آلاینده ها به هوا، آب و خاک مربوط به سیستم است. بسته به هدف و محدوده LCA تفاسیر مختلفی را می توان از این داده ها برداشت کرد. این داده ها نتایج LCI هستند و ورودی های مرحله LCIA را تشکیل می دهند.

مثال ها:

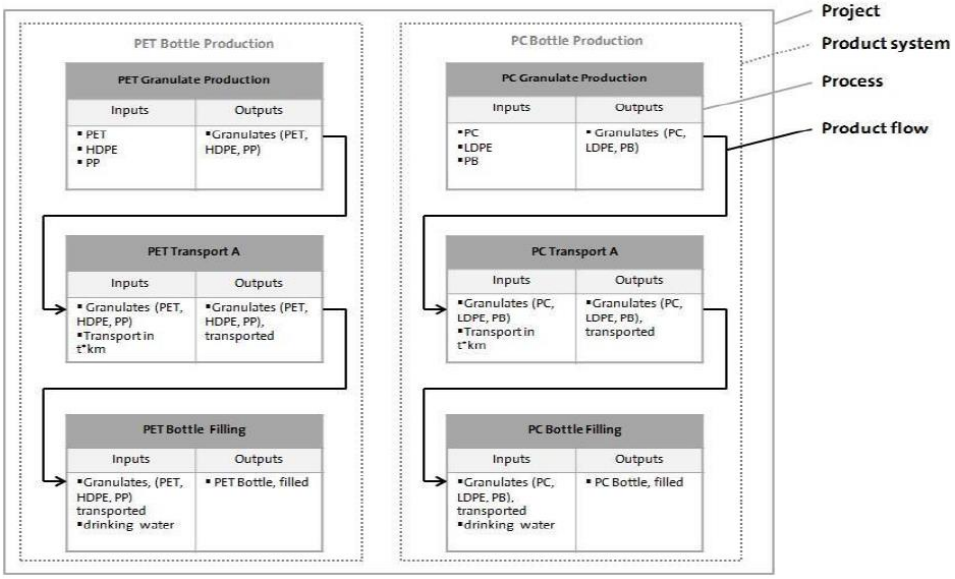
جریان های اولیه ای که به فرآیند واحد وارد می شوند: نفت خام زمین و تابش خورشید

جریان های اولیه ای که از فرآیند واحد خارج می شوند: ورود آلاینده ها به هوا، تخلیه به آب یا خاک و تابش اشعه های مضر

جریان های محصول میانی: مصالح پایه ای و مصالح فرعی

جریان های محصولی که به سیستم وارد شده یا از آن خارج می شوند: مصالح بازیافتی و اجزای چندبار مصرف

به منظور درک بهتر، یک مثال از منوال نرم افزار OpenLCA ارائه خواهد شد. در این مثال اثرات محیط زیستی تولید بطری های پلاستیکی آب آشامیدنی از نوع PET (پلی اتیلن) با بطری های PC (پلی کربنات) مقایسه شده است. شکل زیر پروژه اشاره شده را در قالب سیستم محصول، فرآیندهای واحد و جریان های محصول نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود هر یک از سیستم های محصول دارای سه فرآیند واحد الف) تولید ذرات PET و PC، ب) انتقال PET و PC، پ) پرکردن بطری های PET و PC هستند که دارای ورودی و خروجی بوده و توسط جریان های محصول به یکدیگر مرتبط می شوند (شکل (۲- ۵۵)).

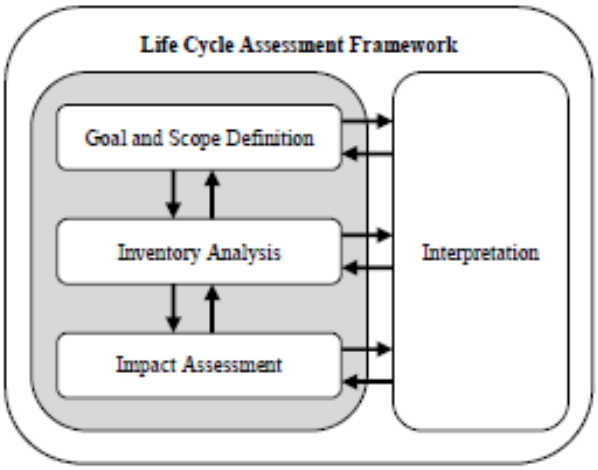


شکل (۲- ۵۵) مثالی از اجزای سیستم محصول مقایسه اثرات محیط زیستی دو نوع تولید بطری آب آشامیدنی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۵-۵ روش انجام ارزیابی چرخه عمر (*LCA*)

روش LCA برای محاسبه تاثیر محیط زیستی فرآیندها توسط مجموعه های ۱۴۰۴۰ سازمان بین المللی استاندارد (ISO) بصورت رسمی موردتوجه قرار گرفته است. اسناد اصلی در این مجموعه ها عبارتند از ISO 14040:2006 با عنوان قواعد و چارچوب و ISO 14044:2006 با عنوان الزامات و دستورالعمل ها (ISO 2006a;ISO 2006b) که هردو سند مفاهیم اساسی مربوط به توسعه و انجام مطالعات LCA را پوشش می دهند. استانداردهای ISO چارچوب انجام LCA را به چهار مرحله تقسیم بندی می کنند که عبارتند از: معرفی هدف و محدوده مطالعه[۱]، ارزیابی فهرست داده[۲]، ارزیابی تاثیر[۳] و تفسیر نتایج[۴]. شکل (۲- ۵۶) این مراحل، ارتباط و کاربردهای ممکن آن ها را نشان می دهد. مطابق با توضیحات ISO هریک از مراحل فوق شامل فعالیت های زیر هستند:



شکل (۲- ۵۶) مراحل انجام LCA [۸۲]

۲-۳-۵-۵-۱ معرفی هدف و محدوده مطالعه

در این مرحله طرح کلی برای انجام LCA شرح داده می شود. در بخش هدف مطالعه، کاربرد مدنظر، دلایل انجام مطالعه، مخاطبان مدنظر بدین معنی که نتایج مطالعه برای چه افرادی می تواند مفید باشد و انتشار محصول نهایی بدین معنی که نتایج در اختیار عموم قرار می گیرد یا خیر، شرح داده می شود. محدوده مطالعه باید به خوبی معرفی شود تا بتوان اطمینان حاصل کرد که وسعت، عمق و جزئیات مطالعه به منظور درنظرگیری هدف بیان شده سازگار و کافی باشد. در بخش محدوده مطالعه روش رسیدن به اهداف بیان شده شامل معرفی واحد(ها) عملکردی، مرزهای سیستم، دسته بندی های تاثیر، روش ارزیابی تاثیر، داده های موردنیاز، فرضیات و دیگر پارامترهای مربوطه معرفی می شود. بطور کلی LCA یک فرآیند تکراری است و با جمع آوری داده ها و اطلاعات، جنبه های مختلف محدوده مطالعه ممکن است نیاز به اصلاح داشته باشند تا بتوان به هدف اصلی مطالعه دست یافت. در ادامه برخی از اجزاء محدوده مطالعه شرح داده می شوند:

[1] Goal and scope definition
[2] Inventory analysis
[3] Impact assessment
[4] interpretation

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۵-۵-۱-۱ عملکرد، واحد عملکردی و جریان های مرجع[1]

یک سیستم ممکن است تعدادی عملکرد ممکن داشته باشد و عملکردهایی که برای مطالعه انتخاب می شود به هدف و محدوده مطالعه وابسته هستند. واحد عملکردی تعداد عملکردهای شناخته شده (ویژگی های عملکردی) محصول را معرفی می کند. هدف اصلی یک واحد عملکردی ارائه مرجعی است که براساس آن ورودی ها و خروجی ها به یکدیگر مرتبط شوند. این مرجع به منظور اطمینان از قابلیت مقایسه نتایج LCA ضروری است. قابلیت مقایسه نتایج LCA بطور خاص زمانی اهمیت دارد که سیستم های مختلف در حال ارزیابی هستند تا بتوان اطمینان حاصل کرد که مقایسه ها بر اساس مبنایی متعارف انجام شده اند. همچنین تعیین جریان مرجع در هر سیستم محصولی به منظور انجام عملکرد مدنظر اهمیت دارد بدین معنی که تعداد محصولاتی که برای انجام عملکرد لازم است باید مشخص شود.

مثال ۱: در عملکرد خشک کردن دست ها، هردو دستمال کاغذی و سیستم خشک کننده هوا مورد مطالعه قرار می گیرند. واحد عملکردی انتخاب شده می تواند تعداد جفت دست های مشابهی که توسط هردو سیستم خشک می شوند باشد. برای هر سیستمی می توان جریان مرجع را نیز تعیین کرد بعنوان مثال به ترتیب میانگین جرم کاغذ یا میانگین حجم هوای داغی که برای خشک کردن یک جفت دست لازم است. برای هردو سیستم می توان یک فهرست از ورودی ها و خروجی ها را براساس جریان های مرجع تفسیر کرد. در ساده ترین سطح و درمورد دستمال کاغذی، این تفسیر می تواند مربوط به مقدار کاغذ مصرف شده باشد. در مورد خشک کننده هوا این تفسیر می تواند مربوط به مقدار جرم هوای داغی که برای خشک کردن دست ها لازم است، باشد.

مثال ۲: در مثال مقایسه تاثیرات محیط زیستی تولید بطری های PET و PC مطابق با شکل (۲- ۵۵)، جریان های محصول برای PET و PC به ترتیب Granulates(PET,HDPE,PP)، Granulates(PET,HDPE,PP), transported، PET Bottle,filled و Granulates(PC,LDPE,PB)، Granulates(PC,LDPE,PB), transported، PC Bottle,filled هستند که جریان مرجع آن ها مشابه و به ترتیب برابر با جرم، تعداد آیتم ها و جرم خواهند بود.

۲-۳-۵-۵-۱-۲ مرز سیستم

LCA با معرفی سیستم های محصول بعنوان مدل هایی که المان های کلیدی سیستم های فیزیکی را شرح می دهند، انجام می شود. مرز سیستم معرف فرآیندهای واحدی است که در این سیستم قرار می گیرند. بطور ایده آل سیستم محصول باید به نحوی مدل شود که ورودی ها و خروجی ها در مرز آن همان جریان های اولیه باشند. اما منابع لازم نیست در تعیین این ورودی ها و خروجی ها نقش داشته باشند که این موضوع تغییر زیادی در نتایج کلی مطالعه ایجاد نخواهد کرد.

انتخاب المان های سیستم فیزیکی که قرار است مدل شود به مرحله معرفی هدف و محدوده مطالعه، کاربرد و مخاطب مدنظر آن، فرضیات انجام شده، محدودیت های داده ها و هزینه و معیارهای انحراف وابسته است. مدل-های استفاده شده باید شرح داده شده و فرضیاتی که مبنای آن انتخاب ها هستند باید شناسایی شوند. معیارهای انحرافی که در مطالعه استفاده شده است باید بصورت واضح شرح داده شود.

معیاری که در انتخاب مرز سیستم استفاده شده است ازنظر درجه اطمینان از درستی نتایج و احتمال رسیدن به هدف نهایی آن، دارای اهمیت است.

[1] Reference flow

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

درزمان تنظیم مرز سیستم چندین مرحله چرخه عمر، فرآیندهای واحد و جریان ها باید موردلحاظ قرار گیرند بعنوان مثال موارد زیر:

أ. جمع آوری مصالح خام
ب. ورودی ها و خروجی ها در مراحل تولید/پردازش
ت. توزیع/انتقال
ث. تولید و استفاده از سوخت، الکتریسیته و گرما
ج. استفاده و نگهداری محصولات
ح. حذف ضایعات و محصولات فرآیند
خ. بازیابی محصولات استفاده شده (شامل استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی انرژی)
د. تولید مصالح کمکی
ذ. تولید، نگهداری و حذف تجهیزات اصلی
ر. کاربری های دیگر مانند روشنایی و گرمایش

در اکثر حالات، مرز سیستمی که در ابتدا معرفی شده است بعداً باید اصلاح شود.

بطور کلی مرز سیستم عبارتست از مراحلی از چرخه عمر محصول که قرار است مورد ارزیابی قرار گیرد. همانطور که پیش از این بیان شد در چرخه عمر یک محصول ۵ مرحله وجود دارد که عبارتند از:

۱. استخراج مصالح خام
۲. تولید و پردازش
۳. انتقال
۴. استفاده و بهره برداری
۵. دوراندازی ضایعات

این مراحل در شکل (۲- ۵۷) [۸۳] نشان داده شده اند.

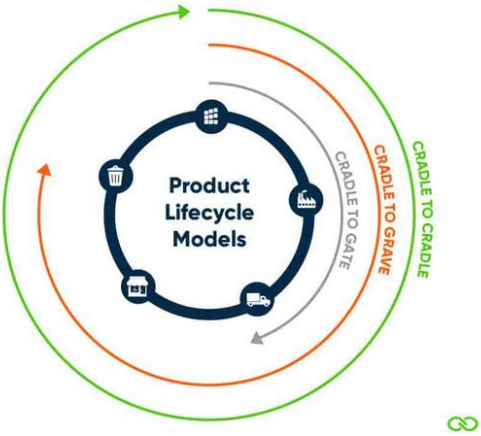


شکل (۲- ۵۷) مراحل چرخه عمر [۸۳]

درصورتی که در یک ارزیابی چرخه عمر تمامی مراحل فوق مشارکت داشته باشند مرز سیستم آن ارزیابی بعنوان گهواره تا گور معرفی می شود. منظور از گهواره شروع چرخه عمر محصول با استخراج مصالح خام و منظور از گور حذف و دورانداختن آن محصول است. مرحله انتقال در گام ۳ معرفی شده است اما می تواند بین تمامی مراحل اتفاق افتد. از دیگر مرزهای سیستم رایج می توان به گهواره تا خروج و گهواره تا گهواره اشاره کرد. در حالت

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

گهواره تا خروج ارزیابی محصول تنها تا زمان ترک از کارخانه و قبل از انتقال به سمت مصرف کننده انجام می شود. بدین معنی که مرحله استفاده و دوراندازی محصول حذف شده است. تحلیل گهواره تا خروج می تواند بطور قابل توجهی پیچیدگی LCA را کاهش داده و بخصوص درباره فرآیندهای داخلی دید سریع تری بدهد. حالت گهواره تا گهواره نوعی از حالت گهواره تا گور است که در آن مرحله دورریزی محصول با فرآیند بازیافتی که آن محصول را برای استفاده در محصولات دیگر امکان پذیر می کند، جایگزین می شود. در واقع در این نوع ارزیابی حلقه چرخه عمر بسته می شود به همین دلیل با عنوان بازیافت حلقه بسته نیز در مراجع به آن اشاره شده است. شکل (۲- ۵۸) بصورت شماتیک انواع مرزهای سیستم معرفی شده را نشان می دهد:



شکل (۲- ۵۸) انواع مرزهای سیستم [۸۳]

۲-۵-۵-۳-۲ ارزیابی فهرست داده (LCI)

این مرحله مختص جمع آوری داده ها و محاسبه یک فهرست از مصالح، انرژی و آلاینده های مربوط به سیستم موردمطالعه می باشد. بعبارتی دیگر ارزیابی فهرست داده عبارت است از جمع آوری داده ها و فرآیندهای محاسباتی به منظور تعیین ورودی ها و خروجی های مربوط به یک سیستم محصول. برای درک بهتر می توان به مثالی درباره مخزن اشاره کرد. در مرحله ۱ ما مخزنی را که می خواهیم داده ها را در آن بریزیم معرفی کردیم و در مرحله ۲ مخزن را پر خواهیم کرد. هدف این مرحله این است که تمامی ورودی ها و خروجی های محیط زیستی تعیین شوند، بدین معنی که هرچیزی که به داخل و خارج از سیستم معرفی شده در مرحله ۱ جریان دارد، اندازه گیری می شود.

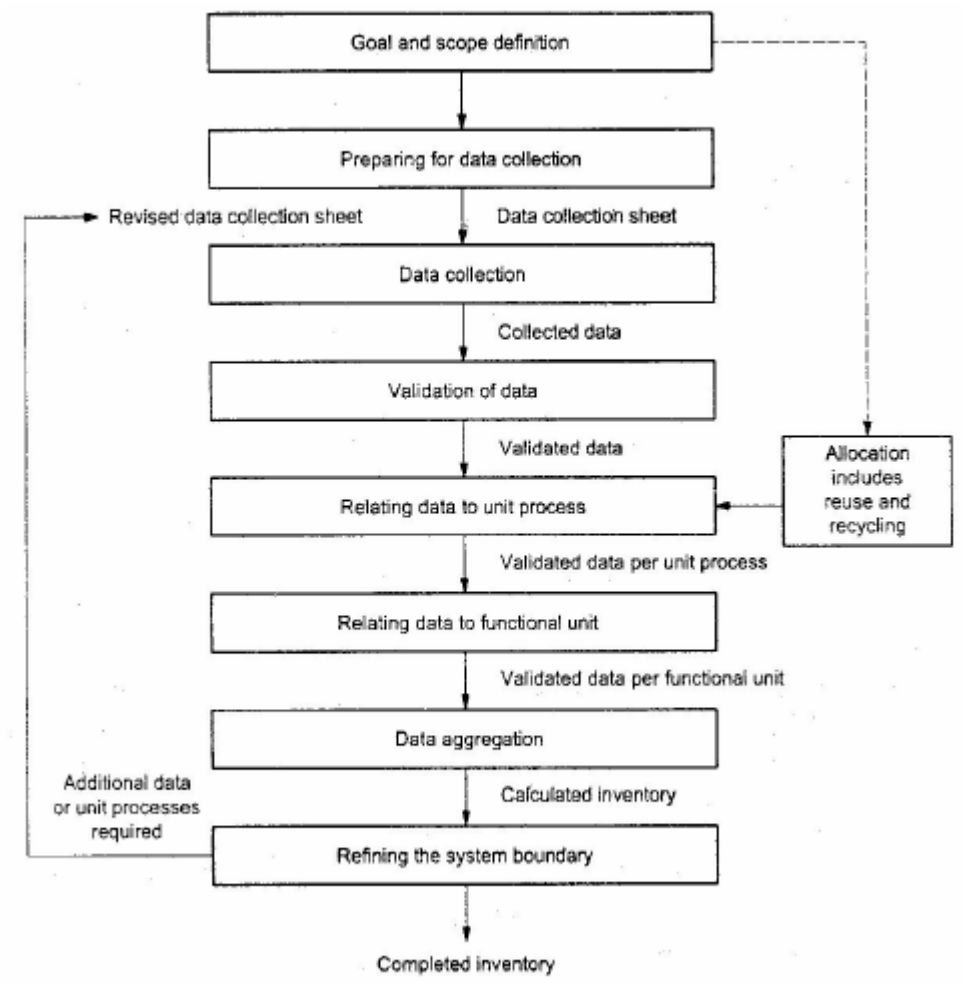
در این مرحله ورودی ها و خروجی های هر فرآیندی که در محدوده مطالعه قرار می گیرد، شرح داده شده و محاسبه می شوند. این ورودی ها و خروجی ها می تواند شامل مصالح یا منابع خام، انواع مختلف انرژی، آب، انتشار گازها یا آلاینده ها از محصول به هوا، خاک یا آب باشد. این مرحله از ارزیابی چرخه عمر می تواند بسیار پیچیده باشد چراکه فرآیندهای تولید و زنجیره تامین می تواند پیچیدگی زیادی داشته باشد. به همین دلیل مرحله آنالیز داده ها بیشترین زمان و تلاش را در فرآیند LCA می طلبد.

این مرحله، مرحله کلیدی در فرآیند LCA است که در آن روابط بین داده ها و فرآیند ها ایجاد می شود. در تحلیل فهرست داده ها چرخه عمر به چند مرحله تقسیم بندی می شود (قبل از استفاده، استفاده و پایان عمر) که در ادامه هریک از آن ها بصورت فرآیندهایی سازماندهی می شوند (مانند جریان های مصالح و فواصل انتقال). این فرآیندها در پایین ترین سطح حاوی داده های مربوط به ورودی ها (مانند مصالح و مصرف انرژی) و خروجی ها (مانند محصولات، آلاینده ها و ضایعات) هستند. در ادامه ارزیابی فهرست داده چرخه عمر تمامی ورودی ها و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

خروجی هایی که در مرز سیستم معرفی شده قرار می گیرند بایکدیگر ترکیب می شوند. در حالت ایده آل فهرست داده ها تنها حاوی جریان های اولیه (جریان هایی که بدون هیچ انتقالی به طبیعت منتشر شده یا از آن گرفته شده اند) مانند انرژی منابع، آلاینده ها یا ضایعات هستند. نتایج ارزیابی فهرست داده را می تواند به منظور تعیین آلاینده های کل چرخه عمر در تمامی فرآیندها ترکیب کرد.

فرآیند انجام ارزیابی فهرست داده بصورت تکراری است. بدین صورت که هرچه داده ها بیشتر جمع آوری شده و درباره سیستم بیشتر آموخته می شود، الزامات یا محدودیت های جدید ممکن است شناسایی شده که نیاز به تغییر در فرآیندهای جمع آوری اطلاعات باشد به نحوی که همچنان بتوان به اهداف مطالعه دست یافت. برخی اوقات ممکن است مسائلی شناسایی شود که نیاز به اصلاح هدف یا محدوده مطالعه باشد. درزمان انجام ارزیابی فهرست داده گام های کاربردی شکل (۲- ۵۹) باید انجام شوند:



شکل (۲- ۵۹) فرآیندهای ساده شده برای ارزیابی فهرست داده ها [۷۹]

در ادامه هریک از این مراحل شرح داده می شوند:

۲-۳-۵-۵-۲-۱ جمع آوری داده

داده های کمی و کیفی برای درنظرگیری کامل فهرست داده باید برای هریک از فرآیندهای واحد درون سیستم محصول جمع آوری شود. این داده های جمع آوری شده که می تواند اندازه گیری شده، محاسبه شده یا تخمین زده شده باشند به منظور محاسبه ورودی ها و خروجی های یک فرآیند واحد استفاده می شوند. داده ها می تواند

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مخصوص سایت باشد که بعنوان مثال از شرکت ها، نواحی و کشورهای خاصی برگرفته شده باشد و یا اینکه کلی بوده و از منابع کلی تر مانند سازمان های کسب و کار و پرسشنامه های عمومی و غیره برگرفته شده باشند.
از آنجایی که جمع آوری داده ممکن است موقعیت های گزارش و مراجع مختلف را دربر گیرند، اقداماتی باید انجام شود تا فهم یکپارچه و سازگار از سیستم های محصول مدلسازی شده صورت پذیرد. این اقدامات می تواند شامل موارد زیر باشد:

أ. رسم دیاگرام های کلی جریان فرآیند که بطور کلی تمامی فرآیندهای واحد مدل و روابط آن ها را نشان دهد.
ب. توضیح کامل هریک از فرآیندهای واحد دررابطه با عواملی که برروی ورودی ها و خروجی ها تاثیرگذارند.
ت. فهرست جریان ها و داده های مربوط به شرایط کار با هریک از فرآیندهای واحد
ث. توسعه لیستی که واحدهای استفاده شده را مشخص می کند.
ج. توضیح روش های جمع آوری و محاسبه داده های موردنیاز برای همه داده ها.
ح. ارائه دستورالعمل های مستندسازی واضح موارد خاص، نامنظمی ها یا دیگر آیتم های مربوط به داده های ارائه شده.

داده ها برای هریک از فرآیندهای واحد درون مرز سیستم را می توان در عناوین اصلی زیر دسته بندی کرد:

أ. ورودی های انرژی، ورودی های مصالح خام، ورودی های کمکی و دیگر ورودی های فیزیکی
ب. محصولات، محصولات همراه و ضایعات
ت. آلاینده های وارد شده به هوا، تخلیه به داخل آب و خاک
ث. دیگر جنبه های محیط زیستی

جمع آوری داده می تواند یک فرآیند افزایشی با منابع باشد. محدودیت های عملی در جمع آوری داده باید در محدوده مطالعه درنظرگرفته شده و در گزارش مطالعه ثبت شود. بعنوان مثال در زمینه تاثیر محیط زیستی حمل و نقل می توان نکات زیر را در ارزیابی فهرست داده در نظر گرفت [۸۰]:
تاثیر محیط زیستی حمل و نقل داخل کارخانه نسبتاً اندک است. مطالعه ای برروی ارزیابی فهرست داده مصالح فولادی نشان داده است که بطور میانگین ۰/۰۰۱ لیتر دیزل به ازای هرکیلوگرم فولاد خام تولیدی (برای حمل و نقل داخلی) مصرف شده است که برابر است با حدود ۰/۰۳ مگاژول انرژی به ازای هرکیلوگرم محصول نهایی فولاد. بااین حال هرزمان که ممکن باشد سوخت دیزلی که توسط وسایل نقلیه موجود در سایت مصرف می شود باید درنظرگرفته شود تا از این طریق اطمینان حاصل شود که تمامی داده های موجود لحاظ شده و فرضیات تا حد امکان محافظه کارانه هستند. درصورتی که برای تک تک واحدهای فرآیندی این مقدار اندازه گیری نشده باشد، یک رقم کلی باید به LCI محصول اولیه فولاد خام یا معادل آن اختصاص داده شود.
برای حمل و نقل خارج از سایت، وسایل حمل و نقل و فواصل انتقال مصالح خام اولیه باید ثبت شود زیرا تاثیرات آن ها برروی محیط زیست زیاد خواهد بود. مصالح می توانند ازطرق زیر منتقل شوند:

- حمل و نقل ریلی (که می تواند با انرژی الکتریکی یا دیزل کار کنند)
- جاده
- دریا
- رودخانه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

داده های فوق را می توان از منابع اطلاعاتی مختلفی از جمله پایگاه داده نرم افزارهای مختلف و یا شرکت های تولید مصالح ساختمانی بدست آورد. عموماً بدلیل گستردگی اطلاعات، تنظیم آن ها در جداول مختلف توصیه نمی شود بلکه باید برای هر محصول مدل جریان داده رسم شده و برای تمامی فعالیت های محدوده مطالعه این اطلاعات جمع آوری شود. بااین حال مطابق با استاندارد ISO 14044 خروجی مرحله جمع آوری داده می تواند بصورت صفحات جمع آوری داده ارائه شود.

۲-۲-۵-۵-۳-۲ محاسبات داده

پس از جمع آوری داده، لازم است فرآیندهای محاسباتی زیر به منظور تولید نتایج فهرست داده سیستم کلی برای هر یک از فرآیندهای واحد و نیز برای واحد عملکردی معرفی شده برای سیستم محصول، انجام شوند:

أ. اعتبارسنجی داده های جمع آوری شده
ب. ارتباط داده ها با فرآیندهای واحد
ت. ارتباط داده ها با جریان مرجع واحد عملکردی

محاسبات جریان های انرژی باید منابع مختلف سوخت و الکتریسیته استفاده شده، کارآمدی تبدیل و توزیع جریان انرژی و نیز ورودی ها و خروجی های مربوط به تولید و استفاده از آن جریان انرژی را در نظر گیرد.
همانطور که پیش از این بیان شد، چند مرحله عملیاتی برای محاسبات داده لازم است که در ادامه شرح داده می شود:

۱. اعتبار سنجی داده ها: به منظور تایید و ارائه شواهدی انجام می شود که نشان دهد الزامات کیفی داده ها برای کاربرد مدنظر برآورده شده است. از آنجایی که هر فرآیند واحدی از قوانین پایستگی جرم و انرژی پیروی می کند، بالانس جرم و انرژی کنترل مفیدی برروی اعتبار توضیحات فرآیند واحد خواهند بود.
۲. ارتباط داده ها به فرآیند واحد و واحد عملکردی: یک جریان مناسب باید برای هر فرآیند واحدی تعیین شود. داده های کمی ورودی و خروجی فرآیند واحد باید دررابطه با این جریان محاسبه شوند. براساس این فلوچارت و جریان های بین فرآیندهای واحد، جریان های تمامی فرآیندهای واحد به جریان مرجع مرتبط می شوند. در نتیجه این محاسبات باید تمامی داده های ورودی و خروجی سیستم به واحد عملکردی ارجاع داده شوند.

۳-۲-۵-۵-۳-۲ تخصیص جریان ها و خروجی ها

فرآیندهای صنعتی اندکی وجود دارند که یک خروجی یکتا را نتیجه داده یا براساس رابطه خطی ورودی ها و خروجی های مصالح خام باشند. در واقع اکثر فرآیندهای صنعتی بیش از یک محصول را نتیجه می دهند و محصولات میانی یا دورریز بازیافت شده را بعنوان مصالح خام درنظر می گیرند.
درزمان کار با سیستم هایی که چندین محصول و سیستم های بازیافتی دارند باید به موضوع نیاز به فرآیندهای تخصیص توجه لازم شود.

۳-۵-۵-۳-۲ ارزیابی تاثیر (LCIA)

تا این مرحله محدوده اندازه گیری و جمع آوری اطلاعات در مرحله ۱ معرفی شده و سپس در مرحله ۲ این اطلاعات جمع آوری شده و سازماندهی شدند. در مرحله ۳ اهمیت تاثیرات این داده ها ارزیابی می شود. این مرحله براساس جریان های داده چرخه عمر در مرحله ۲ انجام می شود. در این مرحله داده ها به منظور ارزیابی مشارکت آن ها در انواع مختلف دسته بندی های تاثیر محیط زیستی مورد ارزیابی قرار می گیرند. بعبارتی دیگر، در این مرحله از دسته بندی های تاثیر به منظور تعیین آسیب های محیط زیستی براساس اطلاعات فهرست داده

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

استفاده می شود. بعنوان مثال دسته بندی تاثیر "امکان گرم شدن زمین" پتانسیل گرم کردن کربن دی اکسید، متان، نیترواکسید و دیگر گازهای گلخانه ای را عموماً بصورت معادل های کربن دی اکسید یا CO_2e بررسی می کند.

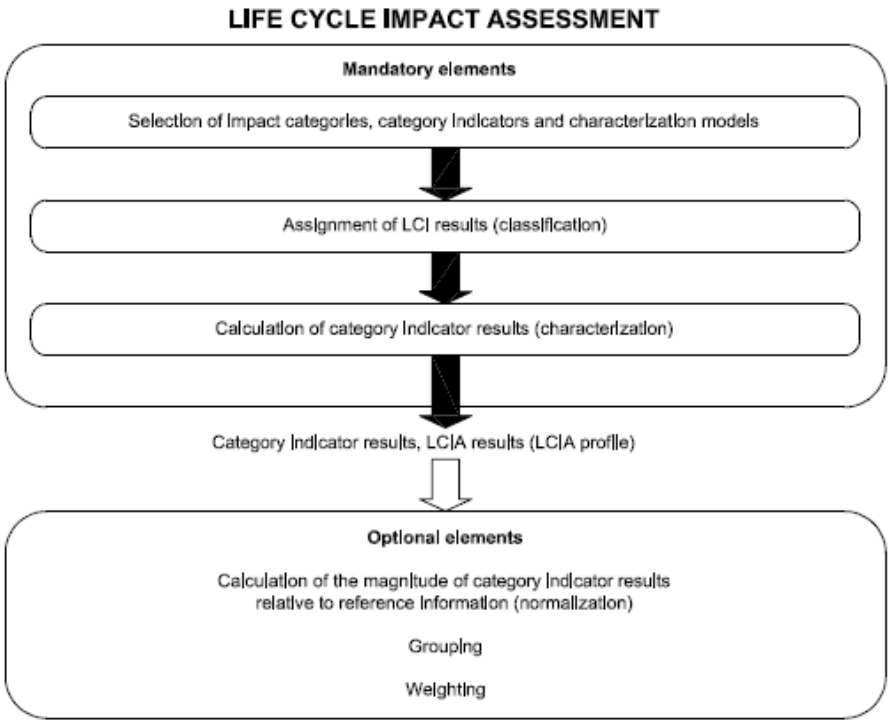
هدف مرحله ارزیابی تاثیر LCA ارزیابی اهمیت تاثیرات ممکن محیط زیستی بااستفاده از نتایج LCI است. بطور کلی در این مرحله اطلاعات فهرست داده با دسته بندی های تاثیر محیط زیستی و شاخص های دسته بندی ارتباط داده شده و تلاش می شود که این تاثیرات تفسیر شوند. مرحله LCIA همچنین اطلاعاتی را برای مرحله تفسیر چرخه عمر در اختیار می گذارد.

ارزیابی تاثیر می تواند فرآیند تکراری مرور هدف و محدوده مطالعه LCA باشد تا تعیین کند که آیا اهداف مطالعه کسب شده است یا خیر و یا درصورتی که ارزیابی نشان داد که نمی توان به اهداف و محدوده مطالعه رسید، هدف و محدوده مطالعه تغییر یابد. مسائلی مانند انتخاب، مدلسازی و ارزیابی دسته بندی های تاثیر می‌توانند سلیقه ای بودن مرحله LCIA را کاهش دهند. بنابراین شفافیت برای ارزیابی تاثیر مهم است تا اطمینان حاصل شود که فرضیات بطور واضح شرح و گزارش داده شده اند.

المان های مرحله LCIA در شکل (۲- ۶۰) نشان داده شده اند. جداسازی مرحله LCIA به المان های مختلف به دلایل زیر مفید و ضروری است:

- هر المان LCIA مجزا بوده و می تواند بصورت واضحی معرفی شود؛
- مرحله معرفی هدف و محدوده یک LCA می تواند هر المان LCIA را بصورت جداگانه درنظر بگیرد.
- ارزیابی کیفی روش های LCIA، فرضیات و دیگر تصمیمات را می توان برای هر المان LCIA انجام داد.

مطابق با شکل (۲- ۶۰) سه مرحله کلیدی در این مرحله باید انجام شود:



شکل (۲- ۶۰) المان های مرحله LCIA [۷۹]

مرحله ۱: انتخاب شاخص ها و مدل ها

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

در مرحله ۱ از LCIA دسته بندی های تاثیر براساس اهداف ارزیابی معرفی می شود. دسته بندی های تاثیر برابر است با آنچه می خواهد تاثیرش مشخص شود. بعنوان مثال ممکن است تاثیر محصولات بر تغییر اقلیم با واحد معادل CO_2e اندازه گیری شود. دسته بندی های تاثیر فراوانی را می توان انتخاب کرد. بسته به هدف و محدوده تحلیل، ممکن است از دسته بندی های مختلفی استفاده کرد.

برخی از دسته بندی های تاثیر بصورت معادل اندازه گیری می شوند که با اندیس e قابل شناسایی هستند بعنوان مثال CO_2e برای معادل CO_2. این کار معادلسازی بدین خاطر انجام می شود که آلاینده های زیادی در یک دسته بندی تاثیر مشابه مشارکت دارند. بعنوان مثال تغییر اقلیم یا پتانسیل گرمایش زمین (GWP) بصورت معادل CO_2 اندازه گیری می شود. این بدین معنی نیست که تنها CO_2 در گرمایش زمین مشارکت دارد بلکه بعنوان مثال متان و نیترواکسید نیز نقش خود را ایفا می کنند. اما به منظور یکنواخت کردن تمامی گازها به یک شاخص، تمامی گازهای دیگر به معادل CO_2 تبدیل می شوند. نمونه ای از این معادلسازی ها در جدول (۲- ۱۷) نشان داده شده است:

جدول (۲- ۱۷) مثال هایی از گازها و وزن معادل CO_2 آن ها

equivalentCO_2 (kg)	1 kg gas
1	CO_2
25	Methane(CH4)
298	Nitrous oxide (N2O)

با اختصاص دادن این معادلسازی، می توان تمامی ورودی ها را بایکدیگر مقایسه کرد. درست مشابه با زمانی که واحدهای پولی مختلف با یکدیگر مقایسه می شوند. بااین حال محاسبات مربوط به معادلسازی تا مرحله ۳ ارزیابی تاثیر انجام نمی شوند. لذا ابتدا باید دسته بندی های تاثیری که مربوط به ارزیابی کلی مدنظر است انتخاب شوند. از رایج ترین دسته بندی های تاثیر می توان به موارد زیر نام برد:

- سمی بودن برای انسان[1]
- پتانسیل گرمایش زمین
- سمی بودن برای محیط زیست[2]
- ایجاد شرایط اسیدی[3]
- غنی سازی بیش از حد مواد[4]

مرحله ۲: دسته بندی

در این مرحله از ارزیابی تاثیر چرخه عمر، داده های چرخه عمر تقسیم بندی شده و به دسته بندی های تاثیر معرفی شده اختصاص پیدا می کنند.

مرحله ۳: اندازه گیری تاثیر

در آخرین گام ارزیابی تاثیر، در نهایت تمامی معادلسازی ها محاسبه شده و بصورت مجموع دسته بندی تاثیر کلی جمع بندی می شوند. مجموع دسته بندی ها می توان مشابه موارد زیر باشد:

أ. شاخص هزینه محیط زیستی (ECI) در EUR (یا دیگر واحدهای پولی)

[1] Human toxicity
[2] ecotoxicity
[3] acidification
[4] eutrophication

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ب. پتانسیل گرمایش زمین (معادل CO_2در واحد کیلوگرم)
ت. پتانسیل کاهش لایه ازون استراتوسفری (معادل CFC-11 در واحد کیلوگرم)
ث. پتانسیل اسیدی شدن خاک و آب (معادل SO_2 در واحد کیلوگرم)
ج. پتانسیل اشباع شدن (معادل PO4-3 در واحد کیلوگرم)
ح. پتانسیل تشکیل اکیدان های فوتوشیمیایی اوزون تروسفری (معادل اتان در واحد کیلوگرم)
خ. پتانسیل کاهش عامل غیرزیستی برای منابع غیرفسیلی (معادل Sb در واحد کیلوگرم)
د. پتانسیل مسمومیت انسانی (معادل 1.4-DB در واحد کیلوگرم)
ذ. پتانسیل مسمومیت زیستی آب آشامیدنی (معادل 1.4-DB در واحد کیلوگرم)
ر. پتانسیل مسمومیت زیستی آب دریا (معادل 1.4-DB در واحد کیلوگرم)
ز. پتانسیل مسمومیت زیستی خاک (معادل 1.4-DB در واحد کیلوگرم)

مثالی از موارد معرفی شده فوق در جدول (۲- ۱۸) آمده است:

جدول (۲- ۱۸) مثال هایی از واژگان فوق

واژه	مثال
دسته بندی تاثیر	تغییر اقلیم
نتایج LCI	مقدار گاز گلخانه ای به ازای هر واحد عملکردی
مدل مشخصه	مدل پایه ۱۰۰ سال پانل بین حکومتی برای تغییر اقلیم
شاخص دسته بندی	نیروی بازتاب فروسرخ (W/m3)
ضریب مشخصه	امکان گرم شدن جهانی (GWP100) برای هر یک از گازهای گلخانه ای (کیلوگرم CO_2معادل به ازای هر کیلوگرم گاز)
نتیجه شاخص دسته بندی	کیلوگرم معادل های CO_2 به ازای هر واحد عملکردی
اهداف نهایی دسته بندی	صخره های مرجانی، جنگل ها، غلات
ارتباط محیط زیستی	نیروی بازتابی فروسرخ عامل اثرات احتمالی وارد بر اقلیم است که به جذب حرارت اتمسفریک یکپارچه که براثر بازتاب ایجاد می شود و نیز توزیع این جذب حرارت درطول زمان وابسته است.

۲-۳-۵-۵-۴ تفسیر نتایج

تفسیر نتایج می تواند در هر مرحله ای صورت پذیرد و لزوماً در انتهای ارزیابی چرخه عمر انجام نمی شود. اما در انتهای ارزیابی چرخه عمر باوجود اطلاعات کامل حاصل از تحلیل می توان نتیجه گیری ها و پیشنهادات قابل اعتماد ارائه کرد.

این مرحله نتایج حاصل از مراحل ارزیابی فهرست داده و ارزیابی تاثیر را همراه با یکدیگر به منظور کسب نتیجه گیری های قابل دفاع با یکدیگر ترکیب می کند. مرحله تفسیر نتایج باید نتایجی را ارائه نماید، محدودیت ها را بیان کرده و پیشنهاداتی ارائه دهد که با هدف و محدوده معرفی شده سازگار باشند. نتایج این مرحله درزمینه ارزیابی عدم قطعیت ها و فرضیات را می توان به تصمیم گیرندگان ارائه کرد.

مواردی که باید مورد تفسیر قرار گیرد در معیارهای استاندارد ISO نیز گنجانده شده است. براساس استاندارد ISO 14044:2006 آنچه که در تفسیر ارزیابی چرخه عمر آورده می شود باید شامل موارد زیر باشد:

- شناسایی مسائل مهم براساس مرحله LCI و LCIA

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- ارزیابی کل مطالعه، مقدار جامعیت آن و اینکه با حساسیت و پیوسته انجام شده باشد.
- نتایج، محدودیت ها و پیشنهادات

در نهایت می توان نتیجه گیری های زیر گرفته شود:

- مقدار انتشار آلاینده حاصل از محصول چه مقدار است؟
- این مقدار در مقایسه با دیگر محصولات آن مجموعه چه مقدار است؟
- بهترین راهکارها برای کاهش تاثیر محصول چیست؟
- آیا می توان تولید کارآمدتری از محصول داشت؟

۶-۵-۳-۲ ابزارهای کامپیوتری انجام *LCA*

ابزارهای ارزیابی چرخه عمر از سال ۱۹۹۰ وجود داشته اند. با توسعه مفاهیم تاب آوری، تغییر اقلیم و اقتصاد چرخه ای، بازار ابزارهای LCA نیز توسعه پیدا کرده است. امروزه ابزارهای مختلفی برای LCA وجود دارند که هرکدام اهداف مختلفی را انجام می دهند. برخی از آن ها همچنان زمینه ای دانشگاهی دارند و برخی دیگر برای کمک به کسب و کارها به منظور اندازه گیری تاثیر محیط زیستی توسعه یافته اند. برخی از آن ها برروی صنایع خاصی متمرکز هستند درحالیکه برخی دیگر در صنایع مختلفی استفاده می شوند. همانطور که پیش از این بیان شد نرم افزار LCA از اطلاعات فهرست داده چرخه عمر (LCI) برای ارزیابی تاثیرات محیط زیستی استفاده می کند. پایگاه های داده LCI زیادی مانند ATHENA، Eco-Invent و AusLCI وجود دارند. ATHENA برای استفاده در مطالعات ایالات متحده و کانادا مناسب تر است زیرا حاوی کامل ترین پایگاه داده از محصولات و فرآیندهای تولید کانادا و ایالات متحده است. Eco-Invent حاوی داده های محصولات و فرآیندهای تولید سوییس و اروپا است. AusLCI نیز داده های محصولات و فرآیندهای تولید استرالیا را در خود گنجانده است.

در ادامه مروری بر سه نرم افزار محبوب که برای انجام LCA استفاده می شوند، ارائه شده و مزایا و محدودیت های هریک بیان خواهد شد [۸۳].

- **OpenLCA**

OpenLCA یک راهکار متن باز برای انجام LCA است [۸۴]. در واقع برای انجام تحلیل های LCA با این نرم افزار نیاز به پرداخت هزینه ای است. این ویژگی می تواند در کشور ایران از اهمیت زیادی برخوردار باشد چراکه دسترسی به نسخه اصلی نرم افزارهای تجاری غیررایگان ممکن است دشوار باشد. ویژگی مثبت دیگری که این نرم افزار دارد این است که امکان دسترسی به پایگاه های داده زیادی را به کاربر می دهد که اکثر این پایگاه داده ها غیررایگان هستند.

- **SimaPro**

SimaPro بیش از ۳۰ سال پیش در اروپا ساخته شده است و شاید شناخته شده ترین ابزار LCA در بازار باشد. این نرم افزار عمدتاً در شاخه تحقیقات دانشگاهی و توسط مشاوران باتجربه LCA استفاده می شود. این نرم افزار ابزار کاربردی پیچیده ای است که افزونه های زیادی را در خود دارد که کار با آن را پویاتر ساخته است و به کاربران امکان محاسبات عمیق LCA یک محصول را می دهد. پایگاه داده این نرم افزار Ecoinvent است که حاوی بیش از ۲۵۰۰ پایگاه داده فرآیندی از نواحی سوییس و اروپا است. برخلاف نرم افزار OpenLCA این نرم افزار رایگان نیست.

- **GaBi**

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

GaBi نیز مشابه SimaPro در اواسط دهه ۹۰ در اروپا ساخته شده است. GaBi ابزاری است که در اکثر صنایع بخصوص در بازار خانگی خود آلمان استفاده می شود. این نرم افزار نیز رایگان نیست و دانلود آن نیاز به صرف هزینه دارد.

۲-۳-۵-۷ مطالعات موردی

در بخش های قبلی مراحل انجام LCA در قالب استاندارد ISO تشریح شد. این بخش روش انجام LCA را در قالب یک مطالعه موردی شرح می دهد.

۲-۳-۵-۷-۱ گزارش انجام LCA توسط دانشگاه MIT برروی سیستم های سازه ای و کاربری های مختلف ساختمان [۸۱]

این گزارش دسته بندی تاثیر پتانسیل گرمایش زمین (GWP) را در اثر ساخت و استفاده از ساختمان های مسکونی و تجاری محاسبه می کند.

۲-۳-۵-۷-۱-۱ هدف مطالعه

این مطالعه دو سیستم ساخت مختلف را برای انواع مختلف کاربری ساختمان ها مقایسه می کند تا به دو هدف اصلی خود برسد. اولین هدف آن مقایسه ساختمان های بتنی با سایر سیستم های سازه ای رایج است. هدف دوم آن شناسایی زمین های بهبود محیط زیستی در ساختمان های بتنی است. فهم این موضوع که تاثیر محیط زیستی درطول عمر ساختمان از کجا حاصل می شود به منظور کاهش تاثیر کلی آن و لذا ایجاد محیط ساخت و ساز پایدارتر ضروری است. با استفاده از LCA پیشرفت های ممکن به منظور کاهش GWP ساختمان های بتنی را می توان شناسایی کرد. با ارائه نتایج به بخش صنعت طراحان و سیاست گذاران می توانند تاثیر یک ساختمان را درک کرده و با این کار مبنایی ساخته می شود که براساس آن پیشرفت ها صورت می گیرند.

۲-۳-۵-۷-۱-۲ محدوده مطالعه

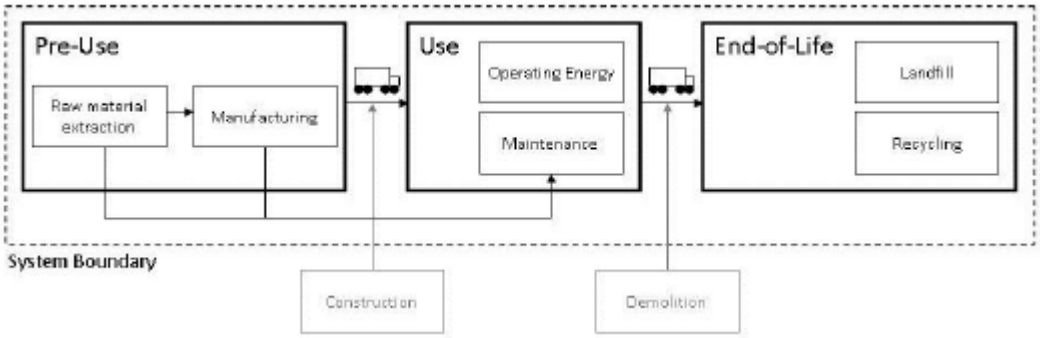
جریان مرجع این LCA یک سازه ساختمانی دارای طول عمر ۶۰ سال است. واحد عملکردی آن سطح قابل استفاده برای هر نوع ساختمان است. به منظور سهولت مقایسه، نتایج بر مبنای فوت مربع (و مترمربع) نیز ارائه شده اند. ساختمان ها در دو موقعیت فونیکس و شیکاگو مدلسازی شده اند تا نقش تغییر آب و هوا، تغییر روش های اجرا و تغییر شبکه انرژی براثر تغییر منطقه جغرافیایی درک شود. تمامی ساختمان ها نسبت به یکدیگر به اندازه یکسانی ساخته شده اند و تنها سیستم های سازه ای آن ها متفاوت است. مرز سیستم بصورت گهواره تا گور معرفی شده است. در نهایت در پایان عمر ساختمان، فرض می شود که درصد زیادی از فلز و بتن بازیافت خواهد شد.

چرخه عمر ساختمان ها در این مطالعه به سه مرحله تقسیم بندی می شود: قبل از استفاده از ساختمان، استفاده از ساختمان و پایان عمر ساختمان (شکل (۲- ۶۱)). مرحله قبل از استفاده همان بخش گهواره تا سایت[1] از استخراج مصالح خام تا تولید و پرداخت و درنهایت انتقال از کارخانه تا سایت ساختمان است. این بخش پس از انتقال مصالح به سایت ساختمان، از انرژی موردنیاز برای ساخت ساختمان ها صرف نظر می کند. مرحله استفاده از ساختمان انرژی موردنیاز برای کاربری ساختمان مانند بارهای وسایل الکتریکی، سیستم های گرمایش، تهویه و سرمایش (HVAC) و روشنایی را شامل می شود. همچنین شامل تعمیر و نگهداری استاندارد در طول عمر

[1] Cradle-to-site

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ساختمان مانند تعویض بام و پنجره و نقاشی مجدد فضای داخلی و خارجی ساختمان می شود. مرحله پایان عمر ساختمان تخریب کامل ساختمان را فرض می کند. درصد زیادی از مصالح به انباشت زباله[1] منتقل می شوند و آهن و آلومینیوم بازیافت می شوند. همچنین فرض می شود که نیمی از بتن تخریب شده به سنگدانه بازیافت می شود. واژه "محصور[2]" به آلاینده های مربوط به مصالح و دورریزهای آن ها درطول چرخه عمر ساختمان اشاره دارد. واژه "بهره برداری[3]" تنها به انرژی و آلاینده های مربوط به بهره برداری از ساختمان در مرحله استفاده از آن اشاره دارد.



شکل (۲- ۶۱) مرز سیستم LCA که در این مطالعه استفاده شده است [۸۱]

جدول (۲- ۱۹) خلاصه ای از انواع ساختمان هایی که در این مطالعه مقایسه شده اند و سیستم های سازه ای مربوطه را نشان می دهد. همچنین تعداد طبقات در هر ساختمان و مساحت قابل استفاده را بر اساس فوت مربع (متر مربع) ارائه می دهد. لازم به ذکر است که مساحت مرجعی که برای تعیین انرژی و GWP استفاده شده است بر اساس $1/ft^2$ ابعاد خارجی ساختمان بوده و بنابراین با تغییر آب و هوا و مصالح تغییر می کند.

جدول (۲- ۱۹) خلاصه ای از محدوده ساختمان های این مطالعه

	Structure Type	Floors	Useable Area
		No.	*ft² (m²)*
Single-Family	Insulated Concrete Forms	2	2,400 (223)
	Light-frame Wood	2	2,400 (223)
Multi-Family	Insulated Concrete Forms	4	33,763 (3,137)
	Wood	4	33,763 (3,137)
Commercial	Cast-in-Place Concrete	12	498,590 (46,321)
	Steel	12	498,590 (46,321)

درصورت امکان داده های مربوط به آمریکای شمالی استفاده می شود، اگرچه که داده های جهانی یا اروپا در برخی از موارد جایگزین می شوند. در این حالات اعتبارسنجی جداگانه به منظور کنترل اینکه این فرض نتایج را بطور قابل توجهی تغییر نمی دهد، انجام شده است. همچنین زمانی که مسائل تخصیص وارد مطالعه شود، فرضیه تخصیص جرم استفاده می شود که در آن تاثیر محیط زیستی براساس مشارکت هریک از محصولات همراه در جرم کلی مطابق با استاندارد های ISO تقسیم بندی می شود.

[1] landfill
[2] embodied
[3] operating

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۱-۷-۵-۳-۲ ارزیابی فهرست داده

ارزیابی فهرست داده داده های ورودی و خروجی را جمع آوری می کند که این داده ها پس از جمع آوری اعتبارسنجی شده و به منظور ارتباط با واحد عملکردی مقیاس می شوند. در این پروژه محاسبه مقادیر مصالح اولین گام در جمع آوری داده است. سازه با درنظرگیری مساحت یکسان در انواع ساختمان ها طراحی می شود و وزن های مصالح بااستفاده از چگالی های استاندارد محاسبه می شوند. ساختمان ها مطابق با آیین نامه های قابل کاربرد ساختمان و استاندارد اجرایی در صنعت طراحی می شوند. منبع اصلی برای چگالی های مصالح و خواص حرارتی آن ها استانداردهای ASHRAE بوده اند. گام دوم در جمع آوری داده جمع آوری ورودی ها و خروجی های موردنیاز تولید مصالح است. بسیاری از فرآیندهای موردنیاز در پایگاه داده GaBi که براساس استانداردهای ISO ایجاد شده اند، موجود است. بخش های دیگر داده ها از پایگاه داده جمع آوری شده توسط PE بین الملل و سایر منابع مانند پایگاه داده چرخه عمری ایالات متحده (USLCI)، انجمن سیمان پرتلند (PCA) و انجمن جهانی فولاد (world steel 2011) برداشت شده اند. زمانی که داده ها از این منابع در اختیار نباشد، با تولیدکنندگان تماس گرفته می شود.

فواصل انتقال برای انواع مصالح ساخت بین مراکز شیکاگو و فونیکس و موقعیت کارخانه (براساس اطلاعات موجود از کارخانه) محاسبه می شوند. تولیدکنندگان براساس تولیدکنندگان محلی و برای محصولاتی که عموماً از محل دیگری از کشور می آیند، براساس میانگین های ملی انتخاب شده اند. فواصل برای استخراج مصالح خام و دیگر بخش های فرآیند تولید براساس میانگین های ملی یا منطقه ای هستند و قبلاً در محاسبه کلی تاثیر محیط زیستی هر یک از مصالح آورده شده اند.

یک گام مهم در ارزیابی فهرست داده اعتبار سنجی داده ها است که تضمین می کند مقادیر استفاده شده صحیح هستند. این مرحله ازطریق مقایسه با سایر مطالعات منتشر شده انجام می شود. درصورتی که مقادیر داده ها با مطالعات پیشین همخوانی نداشتند مطالعه بیشتری باید انجام شود که مشخص نماید کدام یک در محدوده و هدف و مرز سیستم موردنظر دقیق تر است. علاوه براین ضرایب CO2e مصالح به منظور مقایسه با مطالعات آینده ارائه شده است. اعتبارسنجی های مجزایی برای سیمان، بتن، فولاد و چوب که رایج ترین مصالح سازه ای در این پروژه هستند انجام شده است.

انرژی بهره برداری با مدلسازی انرژی موردنیاز برای مدلسازی روشنایی، بارهای تجهیزات الکتریکی، آب داغ و نیازمندی های HVAC بدست می آید. داده های آب و هوایی برای هر شهر ازطریق وب سایت EnergyPlus و از منابع مختلف در دسترس است. تقاضای انرژی محاسبه شده توسط نرم افزار EnergyPlus بعنوان ورودی به برنامه GaBi داده می شود تا تاثیرات حاصل از بهره برداری از ساختمان را محاسبه کند. فرض می شود که پیش بینی های حال حاضر سالانه انرژی بهره برداری برای ۶۰ سال آینده ثابت باشد. بااین حال ترکیب های انرژی و شدت های کربن آن ها ممکن است در آینده تغییر کنند.

۴-۱-۷-۵-۳-۲ ارزیابی تاثیر

هدف اصلی این مطالعه تعیین آلاینده های گاز گلخانه ای ناشی از چند نوع ساختمان است. بنابراین دسته بندی تاثیر انتخاب شده امکان گرمایش زمین (GWP) است که واحد آن وزن دی اکسید کربن معادل آلاینده ها است (CO2e). سایر دسته بندی های ارزیابی را می توان استفاده کرد اما سیاست گذاران و مجریان GWP را بعنوان یک معیار جامع قبول دارند. توضیح آلاینده ها بصورت CO2e یک استاندارد موردقبول برای تحلیل تاثیر محیط زیستی یک محصول یا سیستم است و یک معیار رایج را برای صنایع مختلف و کشورهای مختلف به منظور

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

سنجش تاثیرات نسبی تغییر اقلیم ارائه می دهد. در این حالت اثرات GWP در مدت زمان ۱۰۰ ساله انتخاب شده است. عوامل اصلی GWP برای یک ساختمان کربن دی اکسید (CO2)، نیترو اکسید (N2O) و متان (CH4) هستند. ضرایب تبدیل آن ها به CO2 قبلاً شرح داده شده اند. از آنجایی که GWP دسته بندی تاثیر جهانی است این ضرایب مخصوص یک منطقه خاص نیستند.

۲-۳-۵-۷-۱-۵ تفسیر و شفافیت نتایج

هدف تکمیلی این مطالعه این بوده است که شفاف باشد تا به دیگران اجازه بازسازی مطالعه انجام شده را داده و یک راهنما برای مطالعات LCA آینده ساختمان ها باشد. با وجود اینکه مقادیر استفاده شده در این مطالعه باتوجه به محدوده آن دقیق هستند مهم است که درک شود که برای مطالعات دیگر مرزهای سیستم متفاوتی براساس اهداف آن ها باید درنظر گرفته شود. به منظور دستیابی به سطح بالاتری از شفافیت، داده های ارائه شده در جدول (۲- ۲۰)، جدول (۲- ۲۱)، جدول (۲- ۲۲) و جدول (۲- ۲۳ مهمترین عواملی هستند که تحت تاثیر تغییر مرز سیستم قرار خواهند گرفت. جدول (۲- ۲۰) منابع استفاده شده برای برخی از داده ها را نشان می دهد که انتخاب این منابع نیز می تواند برروی نتایج تاثیرگذار باشد.

جدول (۲- ۲۰) منابع داده های اولیه در این مطالعه

Process	Source
Steel products	World Steel (2011)
Cement	PCA (Marceau et al. 2006)
Concrete mixes	PCA (adapted from Marceau et al. 2007)
Wood products	USLCI (data from 2009) (via PE International 2011)
Electricity grid mixes	US EPA eGrid (2007)

جدول (۲- ۲۱) GWP مربوط به برخی از مصالح کلیدی که در این مطالعه استفاده شده اند را نشان می دهد. وجود اختلاف در مقادیر این جدول می تواند نشان دهنده پراکندگی زیاد بین مطالعات مشابه باشد.

جدول (۲- ۲۱) ضرایب $CO_2 - e$ مهم برای مصالح و انرژی استفاده شده در این مطالعه

Process	CO_2e Factor		Units	
Cement		0.928	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Concrete Mix (5000 psi)[a]		0.144	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Concrete Mix (3000 psi)[b]		0.105	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Steel – Structural[c]		1.001	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Steel – Rebar		1.241	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Wood – Sawn Lumber (PNW/SE)[d]		0.282/0.169	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Wood – Plywood (PNW/SE)[d]		0.286/0.255	*lb CO_2e/lb*	*kg CO_2e/kg*
Chicago Electricity	1.7842	*lb CO_2e/kWh*	0.2248	*kg CO_2e/MJ*
Phoenix Electricity	1.3087	*lb CO_2e/kWh*	0.1649	*kg CO_2e/MJ*
US Natural Gas	0.5953	*lb CO_2e/kWh*	0.0750	*kg CO_2e/MJ*

[a] Pre-use impact: 0.131 lb CO_2e/lb, end-of-life impact: 0.012 lb CO_2e/lb
[b] Pre-use impact: 0.093 lb CO_2e/lb, end-of-life impact: 0.012 lb CO_2e/lb
[c] Pre-use impact: 1.563 lb CO_2e/lb, end-of-life credit: 0.562 lb CO_2e/lb
[d] End-of-life impact: 0.020 lb CO_2e/lb

جدول (۲- ۲۲) جزئیات بازیافت مصالح استفاده شده در این مطالعه را نشان می دهد. فرضیات محتوی بازیافتی و نرخ بازیافت می تواند تاثیر مهمی برروی GWP مصالح داشته باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۲۲) محتوی بازیافتی مصالح و نرخ های بازیافت استفاده شده در این مطالعه

Material (Source)	Type	Recycled Content	End-of-life Recycling Rate
Steel (World Steel 2011)	Structural	60%	98%
	Rebar	70%	70%
Aluminum (EAA 2008)	All	11%	100%
Concrete (Aggregate) (Kelly 1998)	All	0%	50%

در نهایت جدول (۲- ۲۳) جزئیات برنامه تعمیر و نگهداری که برای تمامی ساختمان ها در این مطالعه استفاده شده است را نشان می دهد. مناطق و مطالعات مختلف فرضیات زمانی مختلفی را انتخاب خواهند کرد که باعث تغییر GWP محصور کلی برای مصالح تعمیر و نگهداری می شود.

جدول (۲- ۲۳) برنامه های تعمیر و نگهداری که در ارزیابی های چرخه عمر برای پوشش خارجی انواع مختلف ساختمان ها در این مطالعه استفاده شده اند.

Material	Years before replacement
Roof	15 years
Windows	15 years
Paint	10 years

این مطالعه LCA را برای مجموعه ای از ساختمان ها انجام داده و نتایج آن در بخش های زیر بطور خلاصه آورده شده است. نتایج براساس GWP و با واحد جرم آلاینده CO_2e در واحد سطح ناخالص (پوند CO_2e در فوت مربع و کیلوگرم CO_2e بر متر مربع) بیان شده است.

- **امکان گرمایش زمین براثر انرژی محصور و انرژی بهره برداری**

جدول (۲- ۲۴) خلاصه ای از GWP محصور حاصل از مصرف مصالح و GWP سالیانه بهره برداری حاصل از مصرف انرژی ساختمان برای ساختمان های تحلیل شده در این مطالعه را نشان می دهد. علاوه براین نسبت GWP محصور به GWP سالیانه بهره برداری (که نشان دهنده تعداد سال های GWP بهره برداری که GWP محصور یکسانی خواهد داشت، است) به منظور ارائه دیدی کلی از تفاوت های انواع ساختمان ها ارائه شده است. در تمامی حالات GWP کلی محصور ساختمان برابر با یا کمتر از ۸ سال GWP بهره برداری بوده است که بدین معناست که آلاینده های محصور کمتر از ۱۲ درصد آلاینده های کل چرخه عمر را در مدت ۶۰ سال تشکیل می دهند.

جدول (۲- ۲۴) خلاصه ای از GWP محصور و GWP انرژی بهره برداری برای ساختمان های محدوده موردمطالعه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

Global Warming Potential (GWP) in lbs CO_2e/ft^2 (kg CO_2e/m^2)							
		Embodied GWP (Pre-Use + Maintenance +		Annual Operational GWP		Ratio of Embodied to	
		ICF	Wood	ICF	Wood	ICF	Wood
Single Family Building	Chicago	69.4 (339)	61.5 (300)	12.7 (62.2)	13.6 (66.3)	5.5	4.5
	Phoenix	63.7 (311)	55.7 (272)	8.18 (39.9)	9.12 (44.5)	7.8	6.1
Multi-Family Building	Chicago	35.5 (173)	27.9 (136)	16.8 (82.1)	17.6 (85.9)	2.1	1.6
	Phoenix	35.2 (172)	26.9 (131)	12.6 (61.5)	13.4 (65.5)	2.8	2.0
		Concrete	Steel	Concrete	Steel	Concrete	Steel
Commercial Building	Chicago	42.4 (207)	39.7 (194)	16.0 (78.1)	16.3 (79.7)	2.7	2.4
	Phoenix	42.3 (207)	39.5 (193)	12.1 (59.1)	12.4 (60.3)	3.5	3.2

مطابق با جدول (۲- ۲۴) GWP محصور برای سازه های بتنی مسکونی از در محدوده 35-70 lbs CO_2e/ft^2 (171-339 kg CO2e/m^2) متغیر است. برای سازه مسکونی چوبی این محدوده 27-62 lbs CO_2e/ft^2 (132-301 kg CO_2e/m^2) است. ساختمان های تجاری بتنی GWP محصور حدود 42 lbs CO_2e/ft^2 (205 kg CO_2e/m^2) دارند در حالیکه ساختمان های تجاری فولادی GWP محصور حدود 40 lbs CO_2e/ft^2 (194 kg CO_2e/m^2) دارند. از نظر GWP بهره برداری سازه مسکونی بتنی دارای محدوده سالانه 8-17 lbs CO_2e/ft^2 (39-83 kg CO_2e/m^2) است؛ محدوده تقریباً مشابه 9-18 lbs CO_2e/ft^2 (44-86 kg CO_2e/m^2) سالیانه برای سازه مسکونی چوبی صادق است. برای ساختمان های تجاری، GWP بهره برداری سالیانه برای هردو سازه بتنی و فولادی در محدوده 12-16 lbs CO_2e/ft^2 (59-80 kg CO_2e/m^2) قرار دارد. در ساختمان های مسکونی سازه بتنی GWP محصور بالاتری نسبت به سازه چوبی مشابه دارد. GWP محصور یک ساختمان بتنی تجاری ۶.۴٪ بیشتر از GWP محصور ساختمان فولادی معادل است. برای هردو ساختمان های تجاری و مسکونی، سازه های بتنی بدون توجه به آب و هوای مختلف، GWP بهره برداری سالانه پایین تری دارند.

این مطالعه عملکرد انرژی بهتری را برای سازه های بتنی (ICF و بتن مسلح) در مقایسه با انواع دیگر سازه ها (قاب چوبی در نوع مسکونی و قاب فولادی در نوع تجاری) نشان داد. باوجود اینکه سازه بتنی GWP محصور برابر یا حتی بیشتر نسبت به دیگر مصالح داشته است، GWP سالیانه بهره برداری برای ساختمان های بتنی پایین تر است. درنتیجه در طول عمر ۶۰ ساله ساختمان، آلاینده های تجمعی CO_2e مقدار کمی در ساختمان های بتنی در مقایسه با چوبی و فولادی پایین تر است.

۲-۴ بررسی تکنولوژی‌ها و روش‌های اجرایی ساختمان‌ها مرتبط با موضوع پروژه

۲-۴-۱ مقدمه

شروع یک پروژه ساختمانی جدید نیاز به تصمیمات زیادی توسط تیم پروژه و صاحبان آن دارد، از بودجه و برنامه زمانبندی گرفته تا نگهداری طولانی مدت و هزینه های آب و برق. صاحبان امروزی هنگام انجام پروژه، بیش از هر زمان دیگری به اطلاعات دسترسی دارند و با این وجود به دلیل این حجم اطلاعات، با سردرگمی و چالش های بیشتری روبرو هستند. تمرکزی که قبلاً در تأمین بودجه ساخت، تأمین و هزینه های چرخه زندگی بود، اکنون باید متوجه کیفیت هوای داخل ساختمان، کاهش مواد اولیه و بازیافت پذیر و ناپذیر شود. این مرز جدید کسب اطلاعات و تصمیم گیری، شواهدی را نشان می دهد که مالکان پروژه های تاب‌آور را با سرعت چشمگیری افزایش

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

می دهند. فراتر از مزایای اجتماعی طراحی و ساخت تأسیسات تاب‌آور، مالکان تمایل به سازه‌ای تاب‌آور دارند تا با ترکیب مواد بازیافتی و هزینه های عملیاتی بلند مدت، با انتخاب سیستم های ساختمانی بهتر برای تأسیسات خود، هم هزینه های کوتاه مدت را کاهش دهند. در این گزارش با نگاهی متمرکز بر تاب‌آوری روش‌های نوین در ساخت مسکن‌ها اجتماعی به معرفی این روش‌ها پرداخته شده است.

۲-۴-۲ ساخت و ساز مدولار

۲-۴-۲-۱ تعریف

ساخت و ساز مدولار [۱]عبارتی است که برای تعریف ساختمان‌های پیش ساخته مهندسی که به صورت مدول‌های حجمی مجزا که در کارخانه تولید می‌شوند و به محل ساخت پروژه[۲] جهت سرهم کردن [۳] حمل می‌شوند، گفته می‌شود. هر کدام از این مدول‌ها می‌تواند تشکیل دهنده بخشی یا تمام یک اتاق کامل، سرویس‌های بهداشتی و یا لیفت های تردد آسانسورها باشند. بنابراین پیکر بندی این مدول‌ها بصورت کلی می‌تواند یک سازه خود-متکی [۴]و یا متکی بر قاب سازه‌ای مجزا (معمولا برای ساختمان‌های بلند) باشد. بصورت معمول این مدول‌ها همراه با اجزای مکانیکی، الکتریکی و لوله کشی ساخته شده و به محل پروژه حمل می‌شوند [۸۵] که در نهایت منجر به روشی شده است که قابلیت کاربرد در موارد مختلف مانند مسکونی، تجاری، سرویس‌های بهداشتی، هسته‌های سازه‌ای و ... داشته باشد.

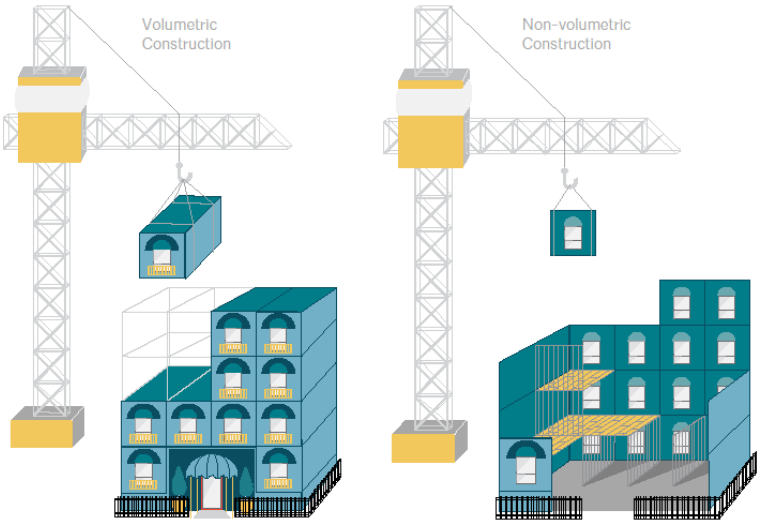
بصورت کلی دو روش برای ساخت مدول‌ها مرسوم می‌باشد؛ روش حجمی[۵] و روش غیر حجمی [۶]. روش حجمی شامل ساخت واحد های پیش‌ساخته سه بعدی که فضای بسته‌ای را تشکیل می‌دهند. در این روش مدول‌ها بصورت مجزا به محل پروژه حمل شده و برای تشکیل کل ساختمان به یکدیگر متصل می‌شوند (شکل (۲- ۶۲)). برای مثال، در روش ساخت و ساز حجمی مدول‌ها معمولا در پروژه های مسکونی (که شامل واحدهای متعدد می‌شود)، هتل‌ها و خوابگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین هر آپارتمان، می‌تواند متشکل از یک یا چند واحد حجمی باشد. روش غیر حجمی به روشی گفته می‌شود که اجزای هریک از مدول‌ها در کارخانه ساخته شده و پس از حمل به محل پروژه در آنجا سرهم می‌شود. سازه‌های غیر حجمی معمولا شامل اجزا زیر می‌باشند؛

- المان‌های سازه‌ای مثل تیر، ستون و قاب‌ها
- مقاطعی از نمای ساختمان و روکش‌های فلزی
- پنل‌های دیوار و دیوارهای جداکننده داخلی
- اجزای مجزای کف‌ها و سقف‌ها
- خرپاهای سقف‌ها

---

[۱] Modular Construction
[۲] Site
[۳] Assembling
[۴] Self-supporting
[۵] Volumetric
[۶] Non-volumetric

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۶۲) تفاوت دو روش ساخت ساختمان‌های دولار؛ روش حجمی و روش غیرحجمی

یک پروژه مدولار ممکن است از هر دو روش حجمی و غیر حجمی بصورت همزمان تشکیل شده باشد که بنا بر شرایط محل پروژه و یا الزامات طراحی یا برنامه ریزی از دو روش ساخت در محل و یا کارخانه‌ای بصورت ترکیبی استفاده کند. برای مثال؛ معمولا ساخت المان‌هایی که برای دستیابی به دهانه های بزرگ مورد استفاده قرار می-گیرد، در کارخانه کار مشکلی است که ترجیح بر ساخت آنها در محل پروژه می‌باشد.

از نظر مقایسه دو روش حجمی و غیر حجمی؛ هرچند که به دلیل بارگیری راحت تر روش غیر حجمی، هزینه حمل و انتقال پایین تر می‌باشد، اما هزینه های مازاد سرهم کرد و آب بندی نیز باید در نظر گرفته شود. ولی بصورت کلی همچنان هزینه های هر دو روش بسیار کمتر از روش های ساخت سنتی می‌باشد. خاطر نشان می-گردد که تمرکز این گزارش بیشتر برروی روش حجمی می‌باشد اما کلیات عمومی دو روش یکسان می‌باشد.

المان‌های هر مدول در روش حجمی می‌توانند سازه‌ای و یا غیر سازه‌ای باشند. برای مثال یک پروژه مدولار می-تواند از مجموعه ای از واحدهای سازه‌ای تشکیل شده که پس از سر هم نمودن آنها، تشکیل سازه اصلی پروژه را بدهند. در اکثر پروژه‌ها، مسئولیت طراحی سازه به دلیل پیچیدگی‌های بیشتری که این سازه‌ها نسبت به همتایان سنتی خود دارند، برعهده کارخانه سازنده می‌باشد که معمولا باعث اجماع بیشتر در طرح و بهینه تر شدن آن خواهد شد. در مراجع معتبر برای روش ساخت و ساز مدولار مزایای زیادی نسبت به ساخت و سازها سنتی بیان شده است. از جمله این مزایا:

- **سرعت ساخت، برنامه ریزی و بازگشت سرمایه سریع:** ساخت اجزای یک ساختمان در کارخانه به معنی تاثیر پذیری کمتر روند پروژه از شرایط محیطی می‌باشد، که نتیجه آن برنامه زمان بندی قابل پیش بینی خواهد بود. ساخت و ساز در کارخانه همچنین این حسن را دارد که جبهه های کاری پشت سر هم بصورت همزمان پیش برده شوند. به علاوه طبق تحقیقات موسسه ساختمان‌های مدولار آمریکا [۱]، اگر پروژه به نوعی برنامه ریزی شود که فعالیت‌های محل پروژه و روند ساخت در کارخانه بصورت همزمان انجام شود، میتواند از ۳۰ تا ۵۰ درصد برنامه زمان‌بندی پروژه را کاهش داد. این یعنی، مشکلاتی از قبیل عقب افتادن کار در محل پروژه به خاطر اتمام فعالیت‌های مرتبط با فونداسیون دیگر باعث عقب افتادن زمان تحویل

[۱] Modular Building Institute

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پروژه نمی‌شود. بصورت کلی هرچه بتوان فعالیت های بیشتری را در کارخانه انجام داد، زمان و هزینه بیشتری را می‌تواند ذخیره نمود. از جمله دیگر مواردی که می‌توان به آن اشاره نمود تاخیرات ناشی از زنجیره تامین مصالح می‌باشد، زیرا یک کارخانه علاوه بر این‌که ارتباط بهتری با تامین کننده‌گان مصالح اولیه باکیفیت دارد، هزینه های مرتبط با انبارداری و نگهداری این مصالح را نیز به راحتی می‌تواند مدیریت کند.

- **پرت مصالح:** در روش مدولار به دلیل تکراری بودن روند ساخت واحدها، کارخانه‌ها می‌توانند با دقت بیشتری میزان مصالح مورد نیاز خود را جهت خرید سفارش دهند. به کمک این ثبات در ساخت، طراحان می‌توانند سیستم‌هایی را طراحی کنند که از طول‌های مشخصی از مصالح در ساخت استفاده کنند (برای مثال شاخه های ۱۲ متری تیر آهن موجود در بازار) تا به برش‌های کارا تری دست یابند. براساس تحقیقات گروه WARP کشور انگلستان، به کمک روش ساخت و ساز مدولار، ۹۰ درصد کاهش در مصالح مصرفی قابل دستیابی می‌باشد. از جمله دیگر مصالح حاشیه‌ای که به کمک روش مدولار مصرف آنها به حداقل خواهد رسید؛ پالت‌های چوبی و پلاستیکی، مقوا، بلوک‌های گچی، چوب، بتن، آجر و سیمان را می‌توان نام برد که به تفضیل در بخش ۴.۱ به مصالح مورد استفاده در این روش ساخت و ساز اشاره خواهد شد.
- **تاب آوری و روشی دوستار با محیط زیست:** روش ساخت و ساز مدولار تاثیر قابل توجهی بر تاب-آوری محیط زیستی یک پروژه دارد. برای مثال همانطور که در بخش پرت مصالح گفته شد این روش به مقدار قابل توجهی در بهینه کردن مصالح مصرفی موثر می‌باشد. همچنین مصالح مورد استفاده در این روش به مقدار زیادی قابل بازیافت بوده که رابطه مستقیمی با بزرگی پروژه دارد. قابل ذکر است که تیم طراح می‌تواند با هماهنگی با تیم سازنده به همگرایی بیشتری در انتخاب مصالح برسد. با این کار امکان انتخاب مصالح بومی منطقه پروژه وجود خواهد داشت که منجر به پایین آمدن اثرات ناشی از استخراج، فرایند و حمل مصالح خواهد شد. همچنین تولید بیشتر اجزای پروژه در کارخانه، منجر به کاهش قابل توجه سفرهای کارگری و حمل مصالح به محل پروژه خواهد شد که متناظر با پایین آمدن میزان نشر گازهای گلخانه ای می‌شود. انرژی بهره‌برداری[۱](عملیاتی) پروژه های مدولار به دلیل عملکرد حرارتی[۲]مناسب ناشی از کنترل کیفیت بالا کارخانه‌ای نسبت به ساخت و سازها سنتی نیز کمتر بوده. ساختمان‌های مدولار همچنین می توانند به تامین الزامات LEED [۳]کمک کنند و حتی می توانند در زمینه های تاب‌آوری محل، انرژی و جو، مواد و منابع و کیفیت محیط داخلی نیز نقش مفید و تاثیرگذاری بازی کنند. ساخت و ساز مدولار همچنین می تواند مزیت‌های ارائه شده در آئین نامه بین المللی ساخت سبز [۴] را ارضا کند. در بخش ۵.۱ به تفصیل به بحث تاب‌آوری روش مدولار پرداخته خواهد شد.
- **انعطاف پذیری:** در پروژه‌های مدولار، زمانی که نیاز به تغییرات در سازه موجود باشد، به راحتی می‌توان با کاهش، افزایش و یا تغییر پیکر بندی مدول‌ها با صرف انرژی، هزینه و زمان ناچیز به تغییرات مورد

---

[۱] Operational energy
[۲] Thermal performance
[۳] Leadership in Energy and Environmental Design
[۴] International Green Construction Code

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نظر دست یافت. در صورت لزوم حتی می‌توان کل ساختمان را بازیافت نمود و از بازمانده‌های آن در پروژه دیگری استفاده نمود.

- **کنترل کیفیت:** به کمک ترکیب روش‌های سنتی، کنترل کیفیت ساخت و بازرسی‌های شخص ثالث، مدول‌های تجاری ساختمان‌ها را می‌توان با دقت بسیار بالایی مطابق با آیین نامه ها و دستورالعمل‌های موجود در منطقه پروژه ساخت. همچنین از آنجا که مدول‌های ساخته شده باید دوام کافی در مقابل حمل و نصب در محل را داشته باشند که محصول نهایی دارای دوام و کیفیت بالاتری نسبت به آنچه در محل ساخته می‌شود، باشد. همانطور که در بخش‌های بعد توضیح داده خواهد شد، در بسیاری از ساختمان‌های مدولار از پانل‌های عایق‌بندی سازه‌ای [1] استفاده می‌شود که مزایا و دوام بیشتری نسبت به مصالح سنتی دارند.
- **ایمنی:** ساخت و ساز کارخانه‌ای بصورت کلی ایمنی بیشتری برای کارگران مهیا می‌سازد. در این روش کارگران در محیط‌های کنترل شده‌ی بیشتری کار می‌کنند و از مواجه شدن با خطرات آب و هوایی و محل پروژه ایمن تر خواهند بود. براساس گزارشات دپارتمان دفتر آمار کارگری ایالات متحده [2]، نرخ جراحات کشنده در پروژه های ساخته شده در کارخانه به مقدار قابل توجهی کم‌تر از روش‌های سنتی ساخت در محل می‌باشد.
- **هزینه و درآمد:** اقتصادی بودن روش مدولار بطور مستقیم به این معنی نمی‌باشد که نسبت به روش های مرسوم و سنتی ارزان تر خواهد بود. در زمانی که قابل کنترل بودن هزینه ها یکی از مسائل مورد توجه ما در پروژه باشد، استفاده از روش مدولار منطقی به نظر می‌رسد. اما این روش نیاز به توجه بیشتر به طراحی در طی برنامه ریزی پروژه دارد. مدیریت هزینه ها در پروژه‌هایی که به روش مدولار ساخته می‌شوند به عوامل متعددی بستگی دارد. برای مثال در برخی از این پروژه‌ها برای کنترل هزینه‌های حمل و دسترسی به الزامات شهری آن نیاز به مدیریت نرخ تولید مدول‌ها می‌باشد و یا عدم هماهنگی تیم طراح پروژه با کارخانه تولید کننده می‌تواند اثرات قابل توجهی به بالا بردن هزینه‌های تولید به دلیل استفاده از مصالح گران قیمت در منطقه پروژه داشته باشد. از طرف دیگر، اگر در پروژه‌ای نیاز به استفاده از پیچیدگی‌های خاصی دیده شود که نیاز به استفاده از مصالح گران قیمت‌تر و صرف زمان بیشتری دارد، هماهنگی تیم پروژه و گروه سازنده باعث خواهد شد که در صورت نیاز تیم سازنده در زمان بهتری بتواند کارخانه خود را مجهز کند. در بحث هزینه‌های حمل و نقل از محل ساخت به محل پروژه، برای هر پروژه خاص شرایط ویژه‌ای از جمله فاصله حمل و تعداد سفرها مورد نظر می‌باشد. برای مثال، با مطالعه شرایط خاص هر پروژه، ممکن است تیم طراح و سازنده به این نتیجه برسند که تا جای ممکن ابعاد مدول‌ها، بزرگ ساخته شوند تا هم هزینه‌های حمل و نقل(شامل هزینه کامیون‌ها و هزینه همراهی پلیس) و هم هزینه‌های مرتبط با تعداد کرین‌های مورد نیاز به حداقل برسد. در نهایت زمانی که مقایسه هزینه‌های یک پروژه مدولار و یک پروژه مرسوم مورد نظر باشد، مهم است که تمام هزینه‌های سخت و نرم پروژه در نظر گرفته شود. بصورت کلی، روش ساخت و ساز مدولار باید به عنوان یک سرمایه‌گزاری بلند مدت در نظر گرفته شود. صرف نظر از هزینه های اولیه ، اگر روش مدولار به درستی اجرا شود،

[1] Structural Insulated Panels

[2] U.S. Labor Department Bureau of Labor Statistics

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

روشی مقرون به صرفه تر برای سرمایه گزاری‌های بلند مدت خواهد بود و تصمیم گیری در مورد استفاده از ساخت و ساز مدولار باید نه بر اساس مقایسه هزینه اولیه ، بلکه بر اساس درک صحیح از مزایای خاص این روش و میزان همسویی آنها با آنچه صاحب پروژه در هر شرایط خاص ارزش گذاری می کند، باشد.

مشابه همه روش‌ها و تکنولوژی‌های مهندسی، روش ساخت و ساز مدولار نیز دارای معایب و ایراداتی است که توجه به آنها در بهینه کردن طرح و حتی روش ساخت، می‌تواند تاثیر قابل توجهی داشته باشد. از جمله این معایب، حجیم بودن مدول‌های ساختمانی است که مشکلاتی برای انتقال آنها به محل پروژه ایجاد می‌کند. محدود شدن ابعاد مدول‌ها به محدودیت‌های تولیدی کارخانه سازنده و ماشین‌های حمل و نقل از دیگر معایب این روش بوده و در آخر، عدم اعتماد موسسات مالی به تامین هزینه‌های ابتدایی این تکنولوژی جدید را می‌توان از جمله معایب این روش نام برد.

از طرف دیگر برای رشد و توسعه روش مدولار در مراجع معتبر موانعی بیان شده است، از جمله می‌توان به زنجیره تامین محدود، تمرکز بیشتر کارخانه‌های سازنده برروی ساختمان‌های کوتاه و میان مرتبه، سردرگمی مهندسان طراح در استفاده از آیین نامه‌های ساخت و سازهای مرسوم و نحوه منطبق کردن آنها با ساختمان‌های مدولار اشاره نمود. اما بزرگترین مانع در رشد این روش ساخت و ساز تصورات غلط حاکم بر جامعه مهندسی و ساخت و ساز کشورها می‌باشد؛ به این صورت که تجربه کم مهندسین در استفاده از این روش، عامل ایجاد عدم اطمینان خاطر شده نسبت به بکار گیری فراگیر آن شده است. همچنین برخی از مهندسین معمار ممکن است تصور داشته باشند که استفاده از روش مدولار آنها را در طراحی داخلی دچار محدودیت می‌کند، که این امر با توجه به مطالعات موردی انجام شده با حقیقت فاصله دارد. همچنین ترکیب این روش با روش‌های نوین همچون BIM[1] و نرم‌افزارهای جدید کامپیوتری، کنترل مهندسین معمار بر ساخت و ساز مدولار را به میزان زیادی افزایش داده است.

۲-۲-۴-۲ تفاوت های روش ساخت و ساز مدولار و روش سنتی

یکی از تفاوت‌های عمده‌ای که بین این روش و روش‌های سنتی وجود دارد نحوه تامین بودجه در پروژه‌های مدولار می‌باشد که باعث بی میل شدن برخی مالکین به این تکنولوژی شده است. برای مثال پروژه‌های مدولار هزینه‌های ابتدایی بیشتری برای توجیه فنی طرح نسبت به پروژه‌های سنتی دارا هستند که به معنی نیاز به تفسیرهای قوی‌تری از آئین نامه‌های موجود می‌باشد. در نتیجه هزینه‌های ابتدایی تیم طراح را افزایش می‌دهد. همچنین استفاده از روش مدولار به معنی برنامه ریزی متفاوت در مدیریت سرمایه پروژه می‌باشد. از آنجا که سرعت اجرای روش مدولار بسیار بالاتر از روش‌های سنتی می‌باشد، میزان خواب سرمایه بسیار کمتر بود و بازگشت سرمایه سریع تر اتفاق می‌افتد. بنابراین برنامه ریزی‌های مالی این دسته از پروژه‌ها باید با روش‌های دیگری انجام شود. قابل ذکر است، مقاومت‌هایی از سوی اتحادیه‌های کارگری در مقابل روش مدولار وجود دارد، زیرا روش ساخت و ساز مدولار نیاز به صنعت و استانداردی بالاتری دارد که نیازمند کارگران متخصص بیشتری نسبت به کارگران معمولی است. در مقابل، طرفداران این روش مطرح می‌کنند که این تکنولوژی که از روش‌های نوین بیشتری برای ساخت استفاده می‌کند که فرصت‌های بهتری را در برابر کارگران جوان قرار می‌دهد. برخی دیگر از منتقدین این روش بیان می‌کنند که برای جا افتادن و همه گیر شدن روش‌های مشابه روش مدولار، نیاز به تغییر در فرهنگ حاکم بر ساخت و ساز جامعه می‌باشد. یکی از گام‌های مورد نیاز برای شروع این تغییر

[1] Building Information Modeling

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فرهنگی آموزش معماران جوان از ابتدا با این روش‌ها می‌باشد. برای اطلاعات بیشتر پیشنهاد می‌شود به وبسایت (https://www.nibs.org) مراجعه شود. همچنین گزارشات تکمیلی مفیدی در سایت موسسه ساختمان‌های مدولار آمریکا [۸۶] موجود می‌باشد.

۲-۴-۲-۳ تاریخچه ای از کاربرد ساخت و ساز مدولار در سطح جهان

تحقیقات زیادی برروی کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در کشورهای مختلف بخصوص ایالات متحده انجام شده است که مزایای اصلی این روش را در کاهش برنامه زمان‌بندی، بالا رفتن کیفیت ساخت، تاب‌آوری محیط زیستی، ایمنی بیشتر محیط کار و نیاز کمتر به کارگران ماهر بیان نموده‌اند(گان در سال ۱۹۹۶ [۸۷]، هسیه [۸۸]، ادج در سال ۲۰۰۲ [۸۹]، گیب در سال ۲۰۰۱ [۹۰]، ونبل در سال ۲۰۰۴ [۹۱] و لو در سال ۲۰۰۷ [۹۲]). این موارد به تفصیل در بخش قبل و بخش‌های بعدی مورد بحث قرار گرفته است. اما این بخش فراتر از تحقیقات صورت گرفته برروی کارایی و تاثیرات مثبت و منفی روش مدولار و تاریخچه‌ای از به کارگیری این روش در مناطق مختلف جهان پرداخته است. خاطر نشان می‌گردد این بخش و بخش مطالعات موردی مکمل یکدیگر بوده با این تفاوت که در بخش مطالعات موردی توضیحات مفصل تری برای برخی از پروژه‌های اجرا شده ارائه گردیده است.

۲-۴-۲-۳-۱ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در انگلستان:

اگرچه واحدهای مدولار برای سال‌ها در ساختمان‌های قابل حمل و همچنین واحدهای تاسیسات و سرویس‌های بهداشتی ساختمان‌های اداری استفاده می‌شد اما کاربرد واحدهای سازه‌ای باربر به اوایل دهه ۱۹۹۰ بر می‌گردد. یکی از اولین نمونه‌های این ساختمان‌ها، خوابگاهی دانشجویی در دانشگاه کاردیف می‌باشد که توسط جان پریور طراحی شده است (شکل (۲- ۶۳)). نمونه دیگر، پروژه مری گروو است که در سال ۱۹۹۹ تکمیل شد و در آن سال برنده جوایز ارزشمندی نیز گردید. این پروژه که توسط Cartwright Pickard طراحی شده است را به نوعی می‌توان اولین پروژه‌ای دانست که توجهات عمومی را به روش مدولار جلب کرده است.



شکل (۲- ۶۳) یکی از خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه کاردیف انگلستان ساخته شده در سال ۱۹۹۰

در پروژه خیابان للی در فولام شهر لندن که در سال ۲۰۰۳ کامل شد، از قاب‌های فولادی سبک و سرویس‌های بهداشتی مدولار استفاده شده است. همچنین برای دستیابی به فضای باز بیشتر در طبقه اول از یک قاب فولادی بهره گرفته شده است. در (شکل (۲- ۶۴))، این پروژه نشان داده شده است. خوابگاه دانشجویی رویال کالج شمالی موسیقی در شهر منچستر (کامل شده در سال ۲۰۰۳) شامل ۹۰۰ مدول در ۶ تا ۹ طبقه است و به نوعی طراحی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شده است که قابل بازشدن و استفاده در نقاط دیگری از محیط دانشگاه باشد. (شکل (۲- ۶۵))، پروژه مسکونی-تجاریی که به سفارش شرکت OPAL در شهر منچستر ساخته شده است و شامل ۱۴۰۰ مدول تکیه کرده برروی یک قاب فولادی ۲ طبقه است را نشان می‌دهد. تامین مدول‌های ساخته شده برای اینکه پروژه در زمان مقرر تحویل داده شود چالش اصلی مهندسین در این پروژه بوده است.



شکل (۲- ۶۴) پروژه خیابان للی در منطقه فولام شهر لندن، ساخته شده در سال ۲۰۰۳



شکل (۲- ۶۵) پروژه مسکونی-تجاری شرکت OPAL در شهر منچستر

۲-۳-۲-۴-۲ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در ژاپن و کره:

خانه‌های مدولار در ژاپن از اوایل دهه ۱۹۷۰ بصورت گسترده مورد است قرار گرفته اند و بیشترین اقبال به آن‌ها در اوایل سال ۲۰۰۰ گزارش شده است که بیش از ۱۷۰۰۰۰ خانه در سال (بیشتر به خریداران خصوصی) فروخته شده است. اصلی ترین تامین کننده مدول در ژاپن Sekisui Heim ، بخشی از Sekisui Chemicals، Misawa، Daiwa و Toyota Homes می‌باشند. Sekisui Heim خانه‌های مدولار را توسط ۶ کارخانه اتوماتیک خود در سطح کشور تولید می‌کند. این تامین کننده از خط تولید اجزا استاندارد استفاده می‌کند. بازاریابی خانه-های مدولار در ژاپن به شدت تحت تاثیر میزان بالای انتخاب کاربران در مورد پیکربندی و چیدمان مدول‌ها،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

طراحی سریع، ساخت، نصب و تغییرات ناگهانی دارد. به این صورت که یک خانه می‌تواند تنها در ۶ روز نصب و تمام شود که به شدت برای مناطقی از ژاپن که قیمت زمین بسیار بالا است، مناسب می‌باشد.
بیشتر پروژه‌های مدولار بکار رفته در کشور ژاپن متمرکز بر ساختمان‌های ۲ و ۳ طبقه بوده که معمولا از مدول-های به نسبت کوچک (۲.۴ متر عرض در ۳.۶ تا ۵.۴ متر طول) با دیواره‌های باز ساخته می‌شوند. معمولا از قاب-های جوشی با مقاطع قوطی ۲۰۰ میلیمتر و تیرهایی با عمق ۲۰۰ میلی‌متر که به شدت در مقابل زلزله‌های کشور ژاپن مقاوم هستند، در ساخت مدول‌ها استفاده می‌شود. نمونه‌ای از این ساختمان‌ها در شکل (۲- ۶۶) نشان داده شده است.



شکل (۲- ۶۶) نمونه‌ای از ساختمان‌های مدولار جدید در کشور ژاپن

اخیرا تلاش‌هایی برای فروش خانه‌هایی با هزینه آب و برق صفر در ژاپن اتفاق افتاده است که حدود ۵۰۰۰۰ خانه بر این اساس فروخته شده است. Misawa و Toyota از سرمایه‌گذاری مشترک برروی خانه‌های مدولار با میزان صفر انتشار گازهای گلخانه‌ای خبر داده اند. در این خانه‌ها از پنل‌های Solar thermal و Photovoltaic استفاده شده است.
در کشور کره، شرکت POSCO از سیستمی مدولار برای مدارس پرده برداری کرده است که از مدول‌هایی با طول ۱۲ متر و عرض ۳ متر با وجوه باز تشکیل شده است. شکل (۲- ۶۷) یک مدرسه در شهر سئول را نشان می‌دهد که از این سیستم در ساخت آن استفاده شده است. این مدرسه که تنها در ۴ روز ساخته شده است برروی تیر-های زمینی پیش‌ساخته نشان داده شده، قرار گرفته است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۶۷) مدرسه ساخته شده در شهر سئول کشور کره، در این پروژه از مدول‌هایی با دیواره‌های باز استفاده شده است

۳-۳-۲-۴-۲ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در ایالات متحده:

در سال ۲۰۰۵ و در بیشترین اقبال به خانه‌های مدولار، حدود ۴۰۰۰۰ خانه مدولار در ایالات متحده ساخته شد که در حدود ۲/۵ درصد کل بازار آن زمان بود. همچون صنعت خودرو سازی ایالات متحده، کارخانه‌های ساخت خانه‌های مدولار گرایش به تولید و ساخت مدول‌هایی با ابعاد بزرگ (عرض ۳/۹ تا ۴/۶ متر و طول ۱۲ تا ۱۵ متر) دارند به نوعی این مدول‌ها به صورت کامل به همراه روکش‌های دیوار و سقف ساخته شده اند. در اسکلت اکثر پروژه‌های ساخته شده در آن زمان از قاب‌های چوبی استفاده شده است، هرچند در برخی از مناطق که تحت تاثیر شرایط جوی بیشتری هستند، از قاب‌های فولادی سبک بهره گرفته شده است. مولن [۹۳] بیان می‌کند که اکثر مدول‌های ساخته شده با قاب چوبی در ایالات متحده برای خانه‌ها تک خانوار استفاده شده اند، به این صورت که حدود ۴۴ درصد منازل خریداری شده از طراحی استاندارد و بدون سفارش پذیری تشکیل شده اند. ۵۹ درصد خانه‌ها شامل ۲ مدول و ۳۱ درصد آنها از ۳ یا ۴ مدول تشکیل شده اند. مساحت تقریبی هر مدول حدودا از ۴۰ تا ۶۰ مترمربع متغیر می‌باشد که کمی بزرگ‌تر از آنچه در اروپا ساخته می‌شود، است. دلیل این تفاوت محدودیت-های کمتر ترافیکی در مناطق شهری ایالات متحده می‌باشد. McGraw-Hill Construction در سال ۲۰۱۱ نتایج نظر سنجی (شامل معماران، مشتری‌ها، پیمانکاران و مهندسین) را مشخص نمود که بیان می‌کند اکثر پروژه‌های ساخته شده با استفاده از روش مدولار در ایالات متحده، شامل ساختمان‌های بیمارستانی، دانشگاهی، خوابگاه‌ها و ساختمان‌های کارخانجات بوده است. اخیرا، موسسه ساختمان‌های مدولار (www.modular.org) در این کشور جهت رشد و توسعه هرچه بیشتر ساخت و ساز مدولار اقدامات تحقیقاتی و عملی ارزشمندی ارائه نموده است.

اولین کاربرد ساخت و ساز مدولار در ساختمان‌های چند طبقه ایالات متحده را می‌توان به یک آپارتمان ۴ طبقه مسکونی در شهر سان فرانسیسکو نسبت داد که موفق به کسب جایزه LEED[1] شده است. این ساختمان شامل ۳۲ آپارتمان تک مدول بوده و در مدت زمان ۳ ماه تکمیل گردید.

[1] Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۲-۳-۴ تاریخچه کاربرد روش ساخت و ساز مدولار در اروپا:

در کشورهای اسکاندیناوی و بریتانیا، بیشترین بازار سیستم‌های مدولار مخصوص منازل مسکونی بوده، در حالی که در آلمان بیشتر به بخش‌های بهداشتی اختصاص داده شده است. در اروپا اکثر تامین کنندگان و سازندگان، از فولاد سبک برای ساخت، استفاده می‌کنند. هرچند مواردی از استفاده بتن‌های پیش‌ساخته و چوب نیز مشاهده شده است.

در بریتانیا، در سال ۲۰۰۷ و در اوج اقبال به ساخت و سازهای مدولار حدود ۸۰۰۰ مدول فولادی و حدود ۵۰۰ مدول بتنی برای کاربردهای متفاوت ساخته شد. اولین شرکتی که در ساخت مدول‌ها فعالیت می‌کرد در اوایل ۱۹۹۰ شرکت Yorkon and Terrapin بود که تمرکزش برروی تولید مدول‌های آموزشی بود.

در سال‌های گذشته بازار ساخت و ساز مدولار در کشور بریتانیا به شدت برای ساختمان‌های مسکونی دانشجویی، هتل‌ها و ساختمان‌های نظامی گسترش یافته است. استفاده از این روش همچنین به ساختمان‌های بلند مرتبه‌ای در حدود ۱۲ تا ۲۵ طبقه نیز توسعه پیدا کرده است. در این ساختمان‌ها که یک نمونه ۱۶ طبقه آن در شکل (۲-۶۸) نشان داده شده است. با اتصال سازه مدولار به یک هسته بتنی، پایداری جانبی سازه تامین شده است.



شکل (۲- ۶۸) ساختمان ۱۶ طبقه ساخته شده در شمال لندن

در کشورهای شمال اروپا، به دلیل فصل کوتاه ساخت و ساز تمایل بسیاری به استفاده از روش‌های پیش‌ساخته وجود دارد. در فنلاند، ساخت و ساز مدولار بصورت سنتی نشات گرفته از کابین‌های مدولار مورد استفاده در صنعت کشتی سازی این کشور بوده است. شرکت فولاد Ruukki نوعی از روکش‌های فلزی را ساخته است که همراه با بالکنی‌های متصل به آن بصورت گسترده در نوسازی و صفر سازی خانه‌ها کاربرد دارد. شرکت NEAPO، در نزدیکی تمپر کشور فنلاند نوعی از پانل‌های دولایه فلزی به نام Fixcel را ساخته است که به کمک آن‌ها می‌توان مدول‌های به نسب بزرگ ۵ در ۱۶ متری ساخت که نیاز به مهاربندی ندارند. این سیستم بصورت گسترده در خانه‌های مسکونی و توسعه بناهای سطح کشور مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۲- ۶۹) یک ساختمان ۲ طبقه را نشان می‌دهد که از این روش استفاده نموده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۶۹) ساختمان دو طبقه ساخته شده به روش Fixcel در کشور فنلاند

۲-۴-۲-۴ ویژگی های تکنولوژی؛ از مصالح بکار رفته تا تفسیر رفتار سازه ای در برابر باد، زلزله، آتش و ویژگی های آکوستیک شامل محدودیت های مساحتی و ارتفاعی

۲-۴-۲-۴-۱ مصالح

مصالح به کار رفته در پروژه‌های مدولار غالبا مشابه ساختمان‌های معمولی می‌باشد. معمولا قاب‌های چوبی در سقف‌ها و دیوارها بکار برده می‌شوند. برخی از خانه‌ها مدولار از سنگ و آجر در دیوارهای خارجی خود ساخته شده اند. سازه‌ها مدولار علاوه بر اینکه می‌توانند برروی فونداسیون‌های بتنی در محل پروژه بنشینند، می‌توانند توسط شاسی‌های فلزی نیز محافظت شوند. در ادامه به جزئیات بیشتری در رابطه با مصالح بکار رفته در ساختمان‌های مدولار پرداخته شده است.

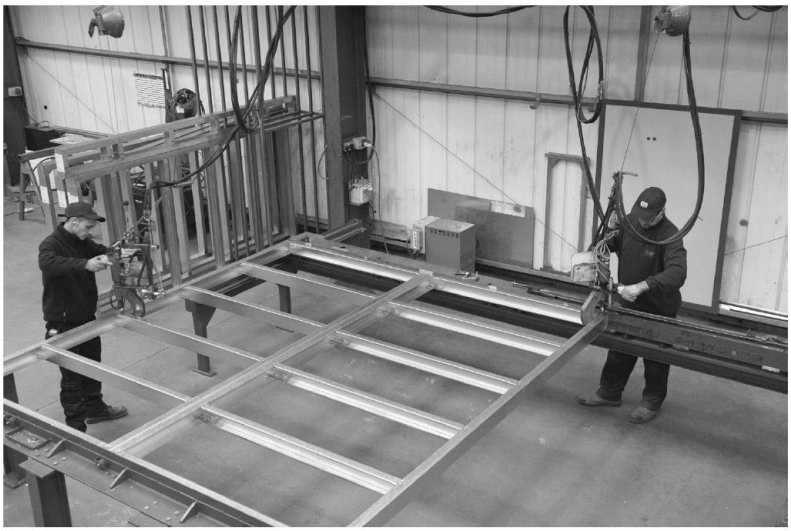
- **فولاد**

کاربرد فولاد در سازه‌های مرسوم به معنی طراحی سازه متکی بر یک قاب فولادی تشکیل شده از تیرها، ستون‌ها و مهاربندها می‌باشد. در این نوع از ساخت و سازهای فولادی معمولا از مقاطع گرم نورد شده I و H شکل که به کمک اتصالات از پیش تایید شده به یکدیگر متصل می‌شوند، استفاده می‌شود. اما در ساخت و ساز مدولار از نوع دیگری از فولاد استفاده می‌شود، ورق‌های فولاد گالوانیزه که معمولا به صورت نورد سرد به مقاطع C تبدیل می‌شوند. همانطور که در شکل (۲- ۷۰) دیده می‌شود. مقاطع C، در دیوارها، سقف‌ها و کف‌های مدول‌های پیش‌ساخته قرار گرفته که باعث شکل گیری کلی پیکر یک مدول می‌شوند. این مقاطع در دیوارها، معمولا ارتفاعی برابر ۷۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر دارند که از ورق‌هایی با ضامت ۱/۲ تا ۲/۴ میلی‌متر ساخته می‌شوند. این مقاطع C شکل براساس ابعاد پنل‌های گچی مورد استفاده به فاصله‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌توانند قرار بگیرند. در کف‌ها از مقاطعی با ارتفاع ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر استفاده می‌شود که معمولا تعیین سایز مقطع بستگی به دهانه‌های مورد نظر دارد. روش دقیق استفاده از فولاد در ساخت و ساز به روش مدولار در تالیفات موسسه ساخت و ساز فولادی [۱]، گزارش شماره P272 نوشته لواسون و همکران در سال ۱۹۹۹ [۹۴]، P302 نوشته شده توسط جورگولوسکی و همکاران در سال ۲۰۰۱ [۹۵] و P348 نوشته شده توسط لوانسون و همکاران در سال ۲۰۰۷ [۹۶] آورده شده است.

[۱] Steel Construction Institute

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

معمولا ورق‌های فولاد گالوانیزه براساس استاندارد انگلیسی BS EN 10346 [۹۷] بوده و ضخامت زینک استفاده شده برای پوشش آنها برابر ۲۷۵ گرم بر متر مکعب است (در حدود ۲۰ میکرون در هر وجه) می‌باشد. زینک در مواقع روبرو شدن مصالح با هوا و آب اکسید شده و فولاد را از زنگ زدگی محفوظ نگه می‌دارد. براساس مطالعات صورت گرفته توسط لوانسون و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۹۸] عمر طراحی فولادهای سبک نورد سرد که در ساختمان‌ها بکار می‌روند بیش از ۱۰۰ سال می‌باشد.



شکل (۲- ۷۰) کاربرد مقاطع سبک C شکل

- **بتن**

بتن‌های پیش ساخته که بصورت گسترده در صنعت ساختمان‌سازی از سقف‌های توخالی تا تیر و ستون‌های سازه‌ای بکار برده می‌شوند. یکی از بهترین مصالح جهت ساخت مدول می‌باشند. مدول‌های پیش ساخته بتنی در مجموع به دو روش ساخته می‌شوند؛ روش اول ساخته شده از پنل‌ها، دیوارها و سقف‌های دو بعدی و روش دوم بصورت مدول‌های سه بعدی که با کف باز بتن ریزی می‌شوند. از آنجا که مدول‌های پیش ساخته بتنی به مقدار خوبی در برابر آسیب مقاوم هستند، معمولا از آنها برای سازه‌هایی امنیتی نیز استفاده می‌شود. بصورت معمول دیوارها و سقف‌های مدول‌های پیش ساخته بتنی دارای ضخامت ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی متر بوده که علاوه بر مقاومت ثقلی و جانبی مورد نیاز برای پوشاندن لوله‌ها و تاسیسات نیز از آنها استفاده می‌شود. از ویژگی‌های بسیار مهم این مدول‌ها می‌توان به مقاومت بسیار بالا در برابر حریق و عایق بودن در برابر صوت اشاره نمود.

- **چوب**

قاب های چوبی از دهه ۱۹۶۰ به طور گسترده در بخش‌های مسکونی مورد استفاده قرار گرفته است و در ایالات متحده برای مسکن مدولار به طور گسترده ای مورد نظر بوده اند. از لحاظ تاریخی ، قاب سازی چوبی نیز در ساخت و ساز مدولار، به ویژه در ساختمانهای موقت یا قابل جابجایی مورد استفاده قرار می گرفت. فرم ساخت بر اساس پانل های دیواری پیش ساخته چوبی با استفاده از ناودانی های فلزی با یک مسیر بالا و پایین از همان بخش ساخته شده است. به طور معمول پانل های دیواری با تخته سه لا یا تخته رشته ای جهت دار (OSB) غلاف می شوند و یک یا دو لایه تخته گچ در داخل آن متصل می شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پانل های کف و سقف با تیرچه های عمیق تری تولید می شوند (عمق آن عموماً ۲۲۵ میلی متر است) و در برخی سیستم ها تیرهای لبه ای به عنوان تیرهای لمینیت عمیق ساخته می شوند ، به طوری که بین ستون های گوشه تا ۱۰ متر فاصله دارند. ماژول های الوار می توانند تا حدود ۴ طبقه طراحی شوند.

۲-۴-۲-۴-۲ بررسی ابعاد آیین نامه های طراحی (نسبت به سازه های ساخته شده در محل) از منظر طرح سازه‌ای، معماری و تاسیسات

بصورت معمول مدولاریزه کردن ساختمان‌ها مفهومی فراتر از در نظر گرفتن آئین نامه‌های سنتی دارد. بصورت ایده آل، فلسفله طراحی مدولار برای یک پروژه باید از ابتدا با در نظر گرفتن شرایط مختلف از قبیل هندسه، مصالح، آمایش حمل و نقل و دیگر مواردی که معمولا میان رشته‌ای می‌باشند، در نظر گرفته شود.

تفاوت‌ها در آیین نامه‌های ساختماتی معمولا شامل ساخت، نوع مصالح و روش تامین تسهیلات بانکی برای اهداف استیجاری، می‌باشد. از آئین نامه های محلی و یا ایالتی می‌توان برای طراحی خانه‌های مدولار استفاده نمود اما در مقابل، خانه‌هایی که در کارخانه‌ها ساخته می‌شوند باید از آیین نامه های فدرال پیروی کنند. در ایالات متحده، معمولا خانه‌های مدولار براساس آئین نامه بین المللی ساختمان (IBC)، IRC، BOCA و یا آئین نامه‌هایی که صلاحیت‌های قضایی آنها تضمین شده است، ساخته می‌شوند. در برخی از ایالات مثل کالیفرنیا، خانه‌های متحرک باید مانند وسایل نقلیه بصورت سالانه توسط دپارتمان وسایل موتوری یا برخی دیگر از مراکز ثبت و بررسی شوند. این امر حتی زمانی که صاحبان آنها چرخ‌ها را جدا کرده است و خانه را برروی فونداسیون ثابت قرار داده اند، باید انجام پذیرد.

در سایت موسسه ساختمان‌های مدولار (http://www.modular.org/Links/BuildingCodes.aspx?regionalcouncilid=137) به تفکیک آیین نامه‌های مورد تایید هر ایالت در آمریکا و کانادا قرار گرفته شده است که می‌توان آن را به نوعی بهترین مرجع برای انتخاب آیین نامه‌های ساخت ساختمان‌های مدولار دانست. برای مثال برای ایالت نیویورک به ترتیب آیین نامه های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- آیین نامه سازه‌ای : IBC 2015
- آیین نامه مکانیکال: IMC 2015
- آیین نامه الکتریکال: IEC 2015

۲-۴-۲-۵ تاب‌آوری (شامل مصرف انرژی و بازیافت پذیری)

در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، فضاهای ساخته شده بیش از ۴۰ درصد کل انرژی مصرفی کشور را شامل می‌شوند. از این منظر در اروپا، کمیسیون اروپا، در طی بخشنامه‌ی رفتار انرژی ساختمان‌ها، روش‌های کاهش انرژی بهره برداری در ساختمان‌های جدید را به جهت کاهش شدید گاز CO_2 الزامی دانسته است. بخش مسکونی به عنوان یکی از اصلی ترین بخش‌ها، به منظور کاهش نشر CO_2 انتخاب گردید. برای مثال در انگلستان، این بخش مسئول مصرف بیش از ۲۷ درصد کل انرژی مصرفی انگلستان بوده است. آیین نامه انگلیسی خانه‌های تاب-آور [۹۹] در این کشور هم اکنون اجباری و در دیگر بخش‌های مصرف انرژی روش‌های BREEAM بصورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تاب‌آوری، در زمینه برنامه ریزی ساختمان سازی، در قالب برخی از رفتارهای محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی کمی می‌شود. در انگلستان، ادارات و ساختمان‌های عمومی به کمک BREEAM و خانه‌های مسکونی به وسیله

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

آیین نامه خانه‌های تاب‌آور (CfSH, 2010) [۹۹] ارزیابی می‌شوند. در کشورهای دیگر نیز الزاماتی از این قبیل وجود دارند، برای مثال از LEED[۱] در ایالات متحده برای ارزیابی تاب‌آوری پروژه های مدولار استفاده می‌شود. الزامات اساسی برای سیستم های مدیریت محیط زیست در BS EN IS 14001 (۲۰۰۴) ارائه شده است. PAS 2050 (۲۰۱۱) این روش را برای تأثیرات زیست محیطی و انتشار گازهای گلخانه ای محصولات تولید شده اعمال می کند که با سایر روش‌های شناسایی اثر کربن در سطح بین المللی سازگار است.

۱-۵-۲-۴-۲ مزایای ساخت و ساز کارخانه‌ای ساختمان‌ها از نظر تاب‌آوری:

فرآیند تولید خارج از محل (OSM[۲]) در ساخت مدولار مزایای تاب‌آوری زیادی را به بار می آورد که ناشی از کارآیی بیشتر مراحل تولید و ساخت، عملکرد بهبود یافته در ساختمان‌های تکمیل شده و همچنین استفاده مجدد بالقوه در پایان عمر مفید ساختمان است. مزایای تاب‌آوری OSM ممکن است از نظر شاخص های کلیدی عملکرد که با روند ساخت و ساز و عملکرد در ساخت ساختمان های مدولار مرتبط هستند، ارائه شود. این شاخص ها در جدول (۲- ۲۵) مشخص شده اند [۱۰۰]. ساخت کاملاً مدولار بالاترین سطح تولید خارج از سایت را ارائه می دهد، بنابراین بصورت بالقوه به بالاترین مزایای تاب‌آوری منجر می شود.

واحدهای مدولار نیز در پایان عمر طراحی خود مقدار پسماند قابل توجهی دارند و اکنون تجربه خوبی وجود دارد که مدول‌ها مجدداً در جای دیگر استفاده می شوند. مزایای تاب‌آوری از نظر عملکرد ضمن خدمت، به امتیازات بالقوه مورد نظر BREEAM یا آئین نامه خانه های تاب‌آور تبدیل می شود.

جدول (۲- ۲۵) شاخص‌های کلیدی بررسی تاب آوری

Sustainability benefits of off-site manufacture as a construction process	*Sustainability benefits of off-site manufacture in in-service performance*
1. Social • Fewer accidents on site and in manufacture • More secure employment and training • Better working conditions in the factory • Reduced traffic movements to site • Less noise and disturbance during construction	1. Social • Acoustic insulation is improved due to sealed double-leaf construction • Improved finished quality and reliability • Future point of contact to the modular supplier • Modular buildings can be extended or adapted as demand changes
2. Environmental • Less pollution, including traffic, dust, noise, and volatile organic compounds (VOCs) • Less wastage of materials on site and in manufacture • More recycling of materials and use of materials with higher recycled content	2. Environmental • Improved energy performance by better airtightness and installation of insulation, hence, reduced CO_2 emissions • Renewable energy technologies can be built in and tested off site • Modular buildings can be "sealed" against gases, e.g., radon, and use on brownfield sites
3. Economic • Faster construction programme • Site preliminary costs are reduced • Less snagging and rework • Economy of scale in production reduces manufacturing cost • Higher productivity on site • Less site infrastructure and hire charges	3. Economic • Savings in energy bills, including by use of renewable energy systems • Longer life and freedom from in-service problems, e.g., cracking • Reduced maintenance costs • Modular buildings can be extended and adapted • Asset value of the modules can be maintained if they are reused

۲-۵-۲-۴-۲ آئین نامه خانه‌های تاب‌آور (CfSH[۳]):

این آئین نامه برای روند ارزیابی، از یک‌سری معیارهای محیطی که براساس مجوزهای موجود وزن دهی شده اند استفاده می‌کند. امتیازات بصورت تجمعی محاسبه می‌شوند، هرچند در برخی از موارد مانند انرژی ناشی از CO_2،

[۱] Leadership in Energy and Environmental Design
[۲] Off-site manufacturing
[۳] Code for Sustainable Homes

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

صرفه جویی در مصرف آب و منابع مصرفی باید حداقل‌های این آیین نامه را ارضا نمایند. سطح ۳ آیین نامه، الزامات پیش‌فرض استانداردهای انرژی برای پروژه های خانه‌سازی، براساس مقررات ملی ساختمان سال ۲۰۱۰ انگلستان می‌باشد. سطح ۶ آیین نامه، که با عنوان صفر-کربن نام گذاری شده است، نیازمند تکنولوژی‌های جدید در زمینه‌های انرژی می‌باشد. جدول (۲- ۲۶) و جدول (۲- ۲۷) این امتیاز دهی‌ها را نشان داده است.

جدول (۲- ۲۶) معیارهای تاب‌آوری مورد نظر آیین نامه مقرات ملی انگلستان

Category	*Credits*	*% of total*
1. Energy and CO_2	29	36.4%
2. Water	6	9%
3. Materials	24	7.2%
4. Surface water runoff	4	2.2%
5. Waste	7	6.4%
6. Pollution	4	2.8%
7. Health and well-being	12	14%
8. Management	9	10%
9. Ecology	6	12%

جدول (۲- ۲۷) میزان امتیاز دهی و سطوح تعریف شده در مقررات ملی ساختمان

Code level	*Total score*	*Minimum reduction DER*
1 (*)	36	10%
2 (**)	48	18%
3 (***)	57	25%
4 (****)	68	44%
5 (*****)	84	100%
6 (******)	90	Zero carbon

Note: DER = dwelling emission rate.

معیارهای موجود و وزن‌دهی‌های مرتبط با هر حالت خاص، در جدول (۲- ۲۶) آورده شده است. حداقل کاهش در نرخ انتشار مسکن (DER) به پارت L مقررات ملی ساختمان انگلستان (۲۰۱۰) مرتبط شده است. در جدول (۲- ۲۷) امتیازات مورد نیاز هر سطح آیین نامه نشان داده شده است.

مهم‌ترین معیارهایی که در ارزیابی تاب‌آوری ساخت و سازهای مدولار باید مورد ارزیابی قرار گیرد در زیر آورده شده است:

۱- انرژی و انتشار CO2:

کاربرد اصلی انرژی در عمر مفید ساختمان‌ها مربوط به انرژی بهره برداری می‌باشد که ناشی از گرمایش (و یا سرمایش) و روشنایی می‌باشد. مقدار کم U کمتر از 0.2 $W/m_2°C$ می‌تواند به کمک ساخت و ساز " قاب‌های گرم" که در آنها بیشتر عایق کاری در وجه خارجی مدول‌ها انجام می‌پذیرد، تامین گردد. این آئین نامه ها معمولا از انرژی های نهفته مصالح در طول عمر مفید ساختمان صرف نظر می‌کنند. منظور از انرژی نهفته، مقدار انرژی است که در کارخانه ها برای تولید مصالح و مصرف آنها در ساخت مدول‌ها مصرف شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲- مصالح:

ساخت و سازهای مدولار از نظر مصرف دقیق مصالح و مقادیر سفارش دهی به جهت کاهش پرت مصالح بسیار کارا هستند. موسسه تحقیقات ساختمان (BRE[۱]) تحت دستورالعمل سبز [۲]سال ۲۰۰۹ [۱۰۱] میزان تاثیر گذاری سیستم‌های ساختمانی بر محیط زیست را براساس معیارهای مختلف اندازه گیری می‌نماید. از جمله می‌توان به کربن نهفته[۳]، ضایعات[۴] و اجزا قابل بازیافت اشاره نمود. نرخ‌دهی با مقیاس *A (بالاترین) و E (پایین‌ترین) بیان می‌شوند. برای مثال المان‌های سبک ساختمانی معمولا در دسته *A، A یا B قرار می‌گیرند. از نظر مصرف مصالح، ۹۸٪ همه فلزات قابل بازیافت هستند و ۵۰٪ کارگاه‌های فولادی در اروپا از فولادهای بازیافتی بهره می-گیرند. برای مدول‌های بتنی، ساخت تکراری در کارخانه‌ها، استفاده چند باره از قالب‌های بتنی را امکان پذیر نموده است. همچنین آرماتورهای بکار رفته در بتن‌های مدولار ۱۰۰٪ از فولادهای بازیافتی حاصل شده اند. از نظر مصرف مصالح در فونداسیون‌ها نیز، ساخت و ساز مدولار به دلیل وزن سبک بسیار بهینه تر می‌باشد.

۳- ضایعات:

پرت مصالح یا ضایعات در ساخت سازه‌های معمول ناشی از برخی از عوامل مانند سفارش بیش از اندازه، خرابی‌ها و آسیب‌های وارد در محل ساخت و دوباره کاری ناشی از خطاهای اجرایی، می‌باشد.

براساس BRE، در صنعت ساخت و ساز میانگین پرت مصالح در محل، ۱۰٪ می‌باشد که بسته به نوع مصالح می-تواند متغیر باشد. در مقابل، در ساخت و ساز مدولار، پرت در طی پروسه ساخت و نصب به حداقل مقدار خود می‌رسد و هر بخش از ضایعات بصورت مناسبی دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد. WRAP مطالعات موردی زیادی برروی کاهش ضایعات و بازیافت آنها انجام داده است. از این دسته می‌توان به مطالعه سربازخانه وولویچ در لندن در سال ۲۰۰۸ اشاره نمود[۱۰۲].

در مدول‌های بتنی، مصرف بتن به دلیل بچینگ و بتن ریزی دقیق به حداقل مقدار خود می‌رسد، در حالی که بصورت مرسوم در بتن ریزی‌های در محل بتن حدود ۱۰٪ بیشتر سفارش داده می‌شود تا اطمینان خاطر از مقدار بتن ریزی حاصل شود. یک مطالعه در هنگ کنگ که توسط جالیون و پون در سال ۲۰۰۸ [۱۰۳] انجام شده است، کاهش حدود ۶۵٪ درصدی را برای پنل‌های پیش ساخته نسبت به بتن ریزی در محل نشان می‌دهد.

۴- آب:

ساخت فولادهای سبک و مدول‌های چوبی در اصطلاح خشک نامیده می‌شود که در محل و کارخانه نیز همینطور می‌باشد. در ساخت و ساز بتنی اما آب یکی از مواد تعیین کننده می‌باشد از آن جهت که در ساخت و ساز مدولار هم حجم بتن مصرفی به نسبت ساخت و ساز مرسوم بسیار کمتر می‌باشد و هم در کارخانه کنترل مصرف آب دقیق تر می‌باشد، هدر رفت آب بصورت کلی در سیستم‌های مدولار بسیار کمتر می‌باشد.

۵- آلودگی:

---

[۱] Building Research Establishment

[۲] Green Guide to Specification

[۳] Embodied Carbon

[۴] Waste

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

به کمک ساخت و ساز مدولار، در محل مقادیر بسیار کمتری از آلودگی‌های صوتی، گرد و خاک و گازهای سمی در محیط منتشر می‌شود. بصورت کلی در ساخت و سازهایی که مقدار پیش ساخته بودن به نسبت بالا می‌باشد، حمل و نقل مصالح به محل پروژه چیزی در حدود ۷۰ درصد کاهش نسبت به روش ساخت و ساز آجری و بلوکی را دارا می‌باشد. همچنین مصالح مورد استفاده در این روش بصورت کلی به کارخانه‌های مدول سازی بصورت دقیق و به مقدار مورد نیاز منتقل می‌شود که به نسبت ساخت و ساز در محیط بسیار به صرفه تر خواهد بود.

۲-۴-۲-۵-۳ مطالعات پس زمینه‌ای برروی تاب‌آوری:

مطالعات متعددی به جهت ارزیابی مزایای محیط زیستی و تاب‌آوری OSM انجام شده است. اداره حسابرسی ملی آمریکا [۱](NOA) در گزارشی با عنوان روش‌های نوین ساخت هرچه سریع تر و بهینه تر خانه‌ها[۲] سیستم‌های مختلف ساخت و ساز در زمان استفاده از پنل‌های ساخت و ساز دوبعدی، سه بعدی و ترکیبی از دوبعدی و سه بعدی و ساخت و ساز سنتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. یک از اصلی ترین شاخص‌های کلیدی برای تکمیل یک ساختمان، زمان مورد نیاز برای جداسازی آبی-هوایی یک مدول از فضای بیرون خود است که به حدود ۲۰٪ زمان مورد نیاز برای روش‌های سنتی ساخت و ساز کاهش می‌یابد. زمان کارگری مورد نیاز در محل و هزینه‌های مرتبط با آن براساس مقدار پیش‌ساخته بودن به چیزی در حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد ساخت و سازهای سنتی کاهش میابد. پروژه زندگی هوشمند BRE[3] (انجام شده توسط کارترایت و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۱۰۴]) بهره وری کارگاه و پرت مصالح سه پروژه خانه سازی در کمبریج را از منظر آجر و بلوک کاری، قاب سازی فولادی سبک، قاب سازی چوبی و قالب بندی بتنی مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که قاب‌های فولادی سبک از نظر بهره وری بهترین حالت را دارا هستند و کم ترین پرت مصالح را دارند که از این مورد برداشت می‌شود که ساختمان‌های مدولار حتی می‌توانند بهتر نیز باشند.

۲-۴-۲-۵-۴ ارزیابی تاب‌آوری ساختان‌های بلند مرتبه

در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰، سه ساختمان ۸، ۹ و ۲۵ طبقه در ولورهمپتو انگلستان از نظر نرخ نصب مدول، بهره‌وری ساخت (براساس تعداد کارگر در حال کار بر زیر بنا پروژه)، تعداد عمده تحویل اجزا و مصالح ساختمان و پرت مصالح تحت نظر قرار گرفتند. شکل (۲- ۷۱) ساختمان ۸ طبقه در حین ساخت را نشان می‌دهد. این پروژه با زیر بنا ۲۵۰۰۰ مترمربع چیزی در حدود ۱۵ ماه (از سطح فونداسیون) جهت تکمیل زمان برد (که حدود ۱۲ ماه از پروژه‌های ساخت در محل کمتر می‌باشد).

---

[۱] National Audit Office

[۲] Using Modern Methods of Construction to Build More Homes Quickly and Efficiently

[3] SmartLife

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۷۱) ساختمان ۸ طبقه در حال ساخت ولورهمپتون انگلستان که از آن برای مطالعات موردی استفاده گردید

نرخ نصب در حدود ۲۸ تا ۴۹ مدول در هفته در زمستان بوده است که با توجه به میانگین تعداد پرسنل کارگاهی، نرخ تکمیل سازه در حدود ۱۸ متر مربع زیر بنا در هفته می‌باشد. محاسبات صورت گرفته توسط پیمانکار کل نشان می‌دهد که تعداد پرسنل مورد نیاز برای ساختمان مشابه به روش ساخت در محل در حدود ۱۰۰ نفر سالانه است. بصورت خلاصه فایده‌های تاب‌آوری کسب شده در طول این پروژه توسط لوانسون و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۱۰۵] بدین شرح می‌باشد:

- نصب ۷/۵ مدول در روز (معادل ۱۹۰ متر مربع سطح در روز).
- کاهش ۱۲ ماهه زمان ساخت نسبت به ساخت در محل
- کاهش ۵۰ درصدی پرسنل مورد نیاز
- کاهش ۹۵ درصدی ضایعات حمل شده به دپو.

۲-۴-۲-۵-۵ ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های مدولار باز در سوئد

موسسه ساخت و ساز فولادی سوئد[۱]، یک ارزیابی برروی سیستم‌های مدولار مسکونی ساخته شده از فولادهای سبک را انجام داده است. این روش ساخت و ساز همچنین برای توسعه ساخت و ساز در کشورهای دانمارک و سوئد جنوبی نیز استفاده شده است (بریگرسون درسال ۲۰۰۴ [۱۰۶] و لسینگ در سال ۲۰۰۴ [۱۰۷]). این پروژه مطالعاتی، ساخت و ساز ۱۲۰۰ آپارتمان مسکونی در شهر آنستد سوئد را گزارش نموده است (شکل (۲- ۷۲)) که شامل پارامترهای تاب‌آوریه؛ مصالح و منابع، انرژی بهره برداری و نهفته، ضایعات و بازیافت مصالح، ایمنی و بهره وری ساخت و ساز، انعطاف پذیری و سازگاری با شرایط زندگی و مزایای ساخت و ساز کارخانه‌ای می‌باشد (ویدمن، ۲۰۰۴ [۱۰۸]).

[۱] Swedish Steel Construction Institute

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۷۲) پروژه خانه‌های باز (OPEN HOUSE) در کشور سوئد پس از تکمیل شدن

مصرف مصالح این آپارتمان‌ها با متوسط ساخت و سازهای مسکونی سوئد (یک ساختمان ساخته شده به روش سنتی و دیوارهای بلوکی) مقایسه گردیده است. وزن مصالح سازه‌ای بکار رفته چیزی در حدود ۶ برابر کاهش را نشان داده است. از نظر بازیافت مصالح، ساختمان‌های مدولار حدود ۴۵ درصد و ساختمان‌های مسکونی سوئد ۵ درصد بازیافت داشته اند.

انرژی بهره برداری ساختمان‌های چند طبقه مدرن در سوئد بطور متوسط ۱۶۰ کیلووات-ساعت بر متر مربع می-باشد که شامل گرمایش محیط، تهیه آب گرم و روشنایی می‌شود. این درحالی است که این انرژی برای ساختمان‌های مدولار درحدود ۱۲۰ کیلو وات- ساعت بر متر مربع می‌باشد. این محاسبات در طی ۵۰ سال نشان داده است که چیزی در حدود ۲۵ درصد کاهش در مصرف انرژی بهره برداری خانه‌های مدولار قابل دستیابی است. انرژی نهفته این پروژه‌ها که شامل انرژی مصرف شده در تولید مصالح و ساخت وساز می‌باشد ۲۸ درصد کمتر از ساخت و سازهای مورد مقایسه بوده است. که خود بیانگر بصرفه بودن ساخت و ساز مدولار از نظر مصارف انرژی نهفته می‌باشد.

۲-۴-۲-۵-۶ محاسبه انرژی و کربن نهفته:

محاسبه انرژی و کربن نهفته برای یک ساختمان تکمیل شده بسیار مورد توجه مشتریان قرار گرفته است. منابع اصلی محاسبه انرژی و کربن نهفته شده همان‌هایی هستند که توسط هاموند و جونز از دانشگاه بث در سال ۲۰۰۸ [۱۰۹] و BSRIA در سال ۲۰۱۱ [۱۱۰] ارائه شده است. در جدول (۲-۲۸) و جدول (۲-۲۹) اطلاعات مربوط به مصالح رایج در ساختمان سازی آورده شده است. میزان کربن نهفته به میزان وزن معادل کربن انتشار یافته ناشی از استخراج، پالایش و ساخت اعضای سازه گفته می‌شود که شامل CO_2 مصرف شده در ساخت نمی‌باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۲۸) انرژی و کربن نهفته در مصالح ساختمانی

Material	Typical density (kg/m^3)	Embodied energy (MJ/kg)	Embodied carbon ($kgCO_2/kg$)
Bricks	1800	3	0.24
Cement mortar	2200	1.3	0.22
Concrete—structural	2400	1.0	0.15
Concrete (with fly ash)	2400	0.9	0.13
Reinforced concrete (1% rft)	2450	1.9	0.22
Precast concrete	2400	1.5	0.18
Screed (sand and cement)	1200	0.6	0.07
Autoclaved aerated concrete (AAC) blocks	600	3.5	0.28–0.37
Concrete blockwork (medium)	1400	0.59	0.063
Concrete blockwork (heavy)	2000	0.72	0.088
Clay tiles	1600	6.5	0.48
Steel (sections)	7850	21.5	1.53
Galvanised steel	7850	22.6	1.54
Stainless steel	8000	56.7	6.15
Reinforcement	7850	17.4	1.4
Plywood	800	15	0.81
Timber joists/frame	700	10	0.46
Plasterboard	850	6.75	0.39
Oriented strand board (OSB)	850	15	0.6
Mineral wool	30–140	16.6	1.28
Expanded polystyrene (EPS) insulation	25	88.6	3.29
Polyurethane (PUR) insulation board	30	101	4.26
Glass fibre	45	28	1.54
Glass (4 mm)	2500	15	0.91

Source: Hammond, G. P., and Jones, C. I., *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, Version 1.6a, University of Bath, Bath, UK, 2008.

جدول (۲- ۲۹) ساختار شکست انرژی و کربن نهفته در یک خانه معمولی

	Embodied energy % of total	Embodied CO_2 % of total
Concrete and bricks	37%	58%
Insulation	12%	7%
Clay tiles	7%	5%
Steel elements	6%	5%
Wood elements	6%	3%
Windows and glass	5%	3%
Plastics	3%	2%
Plasterboard and plaster	2%	2%
Copper pipes and wires	2%	2%
Other	20%	16%

Source: Hammond, G. P., and Jones, C. I., *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Energy*, 161(2), 87–98, 2008.

۲-۴-۲-۵-۷ کربن نهفته در حمل و نقل

کربن نهفته در انواع مختلف حمل و نقل جاده‌ای (جدول (۲- ۳۰))، به نوع و اندازه بارگیر ماشین‌های عمل وابسته می‌باشد. اطلاعات مرتبط با کربن نهفته ماشین‌های مختلف حمل و نقل توسط دپارتمان امور محیط زیستی، مزرعه داری و روستایی انگلستان (DEFRA[1]) در سال ۲۰۰۸ منتشر شده است. این گزارش بیان می‌کند

[1] Department for Environment, Food and Rural Affairs

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

که زمانی که از ساخت و ساز مدولار استفاده می‌شود، تعداد انتقال‌های مورد نیاز به سایت در حدود ۷۰ درصد کاهش می‌یابد که برخلاف دیگر ارزیابی‌های موجود شامل سفرهای روزانه کارگری می‌شود.

جدول (۲- ۳۰) فاکتورهای کربن دی اکسید انتشار یافته بر اساس تن کیلومتر طی شده

Body type	Gross vehicle weight	$kgCO_2$ per tonne km
Rigid	>3.5–7.5 t	0.59
Rigid	>7.5–17 t	0.33
Rigid	>17 t	0.19
All rigid	**UK average**	**0.27**
Articulated	>3.5–33 t	0.16
Articulated	>33 t	0.082
All articulated	**UK average**	**0.086**
All HGVs	**UK average**	**0.132**

۸-۵-۲-۴-۲ مطالعات برروی کربن نهفته:

در این بخش، به ارائه مطالعه ای برروی مصالح مصرفی و کربن نهفته یک مدول رایج فولاد سبک و یک مدول بتنی پرداخته شده است. ابعاد این مدول‌ها ۷/۲ در ۳/۶ متر بوده برای یک ساختمان ۴ طبقه مسکونی طراحی شده اند که شامل پوشش بیرونی، پنجره‌ها، تاسیسات و غیره نمی‌باشند. بنابراین مطالعه ارائه شده فقط برروی ساخت سازه‌ای این مدول‌ها تمرکز دارد. از پشم و شیشه به عنوان عایق در بین مقاطع C شکل فولادی و از یک لایه پوشش گچی برروی سطح بتنی مدول‌های بتنی استفاده شده است. در جدول (۲- ۳۱) بصورت خلاصه نتایج مطالعه برای مدول‌های فولادی ارائه شده است که نشان می‌دهد، فولاد مصرف شده در هر مدول در حدود ۱ تن یا ۳۸ kg/m2 بوده است و در نهایت با در نظر گرفتن نازک کاری‌های مورد نظر، وزن کل مدول به حدود ۷ تن می‌رسد. برای این سازه، کربن نهفته که شامل حمل و نقل نیز می‌شود، برابر ۱۲۷ kg/m2 اندازه گیری شده است که برابر با ۸۴٪ وزن سازه ساخته‌شده یک مدول می‌باشد.

جدول (۲- ۳۱) کربن نهفته کل در مصالح و روند ساخت فولادهای سبک ساختمانی

Component	Total weight of materials (kg)	Embodied energy MJ/kg	Embodied carbon $kgCO_2$/kg	Total embodied energy MJ	Total embodied carbon $kgCO_2$
Walls and ceiling: 100 × 1.6 Cs at 600 mm centres	680	22.6	1.54	15,370	1047
Floor: 200 × 1.6 Cs at 400 mm centres	320	22.6	1.54	7230	493
OSB sheathing boards	860	15	0.62	12,900	533
Plasterboards (2 layers of 15 mm boards on walls and ceiling)	1850	6.79	0.39	12,560	721
Mineral wool between the C sections	250	16.6	1.28	4150	320
Transport to site (200 km journey)	6500 kg including finishes	—	0.086 $kgCO_2$/ tonne km	Not included	232
Totals	3960 kg			52.2 GJ	3346 $kgCO_2$
Total per m^2 floor area	153 kg/m^2		or	2014 MJ/m^2	129 $kgCO_2/m^2$

Note: Data for 3.6 m wide by 7.2 m long module.

اطلاعات استخراج شده برای مدول بتنی در جدول (۲-۳۲) خلاصه شده است که بیانگر این می‌باشد که کربن نهفته فقط ۱۹ درصد وزن مدول می‌باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۳۲) مقدار کربن نهفته کل در مصالح و رند ساخت مدول‌های بتنی پیش‌ساخته

Component	Total weight (kg)	Embodied energy MJ/kg	Embodied carbon $kgCO_2/kg$	Total embodied energy MJ	Total embodied carbon $kgCO_2$
Walls: 125 mm thick concrete panels	15,400	1.0	0.15	15,400	2310
Ceiling: 150 mm thick concrete slab	8400	1.0	0.15	8400	1260
T10 reinforcing bars at 200 mm centres on both faces of all walls	315	17.4	1.4	5480	441
T12 reinforcing bars at 200 mm centres on both faces of ceiling	125	17.4	1.4	2180	175
Transport to site (200 km journey)	26,800 kg including finishes	—	0.086 $kgCO_2$/ tonne km	Not included	581
Totals	24,240 kg			31.5 GJ	4767 $kgCO_2$
Total per m^2 floor area	935 kg/m^2		or	1214 MJ/m^2	184 $kgCO_2/m^2$

Note: Data for 3.6 m wide by 7.2 m long module.

۲-۴-۲-۶ نمونه های موردی از استفاده از این تکنولوژی در کشورها و قاره های مختلف با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ویژگی های خاص هر منطقه

۲-۴-۲-۶-۱ پروژه ساختمان کارامل (Caramel Place):

- زیر بنا: ۳۵۰۰۰ فوت مربع
- موقعیت: شهر نیویورک، ایالات متحده
- سال اتمام پروژه: ۲۰۱۷
- مدت زمان ساخت: ۲۲ ماه
- هزینه نهایی: ۳۰۰ تا ۴۰۰ دلار بر فوت مربع
- کاربری: مسکونی

طرح این ساختمان در مسابقات adapt NYC شهر نیویورک برنده جایزه اولین میکرو-آپارتمان شهر نیویورک شده است. این ساختمان ۹ طبقه (شکل (۲- ۷۳)) که شامل ۵۵ واحد کوچک (۲۳ تا ۴۰ متر مربع برای هر مدول که ۴۰ درصد آنها به عنوان مسکن‌های اجتماعی استفاده شده است)، باشگاه ورزشی، روف گاردن، باغ و ... می‌باشد، اولین ساختمان در منهتن می‌باشد که همه مدول‌های آن در خارج از محل و در کارخانه ساخته شده است.

این ساختمان از ۶۵ مدول خود متکی ساخته شده از قاب‌های فولادی تشکیل شده است. از این تعداد ۵۵ عدد واحدهای آپارتمانی را تشکیل داده و ۱۰ عدد به عنوان هسته سازه‌ای ساختمان مورد استفاده قرار گرفته اند. تمامی سیستم‌های تاسیساتی نیز از قبل برروی مدول‌های نصب شده اند اما نازک کاری‌ها و متعلقات متصل به مدول‌ها در محل پروژه به آنها متصل شده است. براساس تیم توسعه دهنده پروژه، وجود کارخانه تامین کننده مدول‌ها در اطراف پروژه یکی از بزرگترین پارامترها بر موفقیت آمیز بودن این پروژه بوده است که هم از نظر ساخت و هم از نظر کنترل‌های نظارتی روند کار را آسان نموده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۷۳) ساختمان کارامل در نیویورک

۲-۶-۲-۴-۲ پروژه آژانس مسکن اقتصادی ونکوور در خیابان ترمینال ۲۲۰:

- زیر بنا: ۱۴۷۸۵ فوت مربع
- موقعیت: ونکوور، ایالت بریتیش کلومبیا، کانادا
- سال اتمام پروژه: ۲۰۱۷
- مدت زمان ساخت: ۱۰۰ روز
- هزینه نهایی: ۳ میلیون دلار
- کاربری: مسکونی

آژانس مسکن‌های اقتصادی شهر ونکوور (VAHA[۱]) برای تامین هرچه سریع تر مسکن‌های اجتماعی شهر برنامه ریزی براساس استفاده از ساخت و ساز مدولار انجام داده است از این رو این آژانس از زمین‌های بلا استفاده عمومی شهر برای ایجاد مسکن‌های اجتماعی مدولار موقت (حداقل برای سه سال) استفاده نموده است. این کار با هدف اسکان موقت مستاجرین این خانه تا زمان در دسترس بودن مسکن‌های دائم انجام شد. اولین نمایش از این کار در پروژه خیابان ترمینال ۲۲۰ خود را نشان داده است. این پروژه که شامل ۴۰ واحد کامل می‌باشد به نوعی طراحی شده است تا در صورت نیاز به راحتی با محل جدید پس از انتقال از نظر زمین و هندسه ساختمان سازگار شود. در شکل (۲- ۷۴) این پروژه نشان داده شده است. VAHA گزارش نموده است که روند تأییدیه‌های لازم در این پروژه اولیه بیش از حد پیچیده و وقت گیر بوده و بخشی از منافع حاصل از ساخت و ساز مدولار را از بین برده است و به عنوان سدی در هدف تسریع در ایجاد مسکن ارزان قیمت عمل واقع شده است. برای رسیدگی به این موضوع ، آژانس، توصیه کرده است که کارکنان شهر مجاز به کار با تیم های پروژه در مورد اختلاف‌های احتمالی در مناطق مختلف خواهند بود.

[۱] Vancouver Affordable Housing Agency

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۷۴) مسکن‌های اقتصادی شهر ونکوور

۳-۶-۲-۴-۲ پروژه برج ۴۶۱ خیابان دین (DEAN STREET):

- زیر بنا: ۳۵۰۰۰۰ فوت مربع
- موقعیت: بروکلین، نیویورک، ایالات متحده
- سال اتمام پروژه: ۲۰۱۶
- مدت زمان ساخت: ۴ سال
- هزینه نهایی: نا مشخص
- درصد پیش‌ساختگی: حدود ۶۰ درصد
- کاربری: مسکونی

این پروژه یک ساختمان ۳۲ طبقه مسکونی می‌باشد که در مجموع شامل ۳۶۳ آپارتمان می‌باشد (شکل (۲-۷۵)). تحت تاثیر بحران اقتصادی سال ۲۰۰۸ که افزایش شدید قیمت‌های کارگری را به دنبال داشت، توجه به روش‌های هرچه مقرون به صرفه تر مشابه ساخت و ساز مدولار جلب شد. از این رو سازندگان این پروژه با هدف کاهش ۲۰ درصدی هزینه‌ها و کوتاه کردن مدت زمان ساخت از ۳۰ ماه به ۱۰ ماه با تغییر روش ساخت بخشی این پروژه از روش سنتی به روش مدولار موافقت نمودند.

در این پروژه مجموعا از ۹۳۰ مدول فلزی استفاده شده است اما تفاوت‌های معماری موجود تعداد تیپ مدول‌های مورد نیاز را به ۲۲۵ عدد افزایش داده است. هسته‌های سرویس پله و آسانسور نیز از مدول‌های پیش ساخته تشکیل شده و به نوعی استاندارد شده اند که به بالاترین میزان بهره وری برسند. همچنین طراحی دیواره‌های هر مدول به نوعی می‌باشد که که پس از نصب به راحتی عایق بودن صدا و آتش تامین گردد.

برای پروژه‌هایی تا ۵۰۰۰۰ فوت مربع (۱۰۰ مدول) از پیش ساختن همه مدول‌ها امکان پذیر می‌باشد اما برای این پروژه که مجموعه از ۹۳۰ مدول تشکیل شده است، از پیش ساختن همه مدول‌ها و یا حتی تعداد زیادی از آنها از نظر فضای مورد نیاز برای انبار امکان پذیر نمی‌باشد. هرچند که در این پروژه از روش‌هایی برای افزایش قابل توجه نرخ تولید مدول استفاده شد اما زمان بندی بهره برداری از پروژه به شدت تحت تاثیر این مشکل قرار گرفت و تاخیر بسیار زیادی در پروژه حاصل شد. این عامل همچنین باعث شد که برخی از مدول‌هایی که از مدل ساخت آنها زمان زیادی گذشته بود نیاز به نوسازی داشته و در نتیجه هم کیفیت ساخت را تحت تاثیر قرار داده است و هم از نظر مقرون به صرفه بودن به پروژه هزینه‌های زیادی را تحمیل نموده است. از جمله موارد دیگری

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

که باعث ایجاد تاخیرات پیش بینی نشده در روند ساخت شده است؛ محاسبه نکردن مدت زمان مورد نیاز برای توسعه کارخانه ساخت مدول و زمان مورد نیاز برای آموزش نیروهای کارگری بوده است.



شکل (۲- ۷۵) برج ۴۶۱ خیابان دین، نیویورک

۲-۴-۳ ساخت و ساز به روش چاپ سه بعدی [۱]

۲-۴-۳-۱ مقدمه

بتن در صنعت ساخت و ساز با تولیدی در حدود ۳۰ میلیارد تن [۱۱۱] در سال رایج ترین ماده در بین مصالح ساختمانی می‌باشد. هرچند که بتن به تنهایی فقط بخشی از هزینه‌های تحمیلی به سازه را شامل می‌شود، قالب بندی سازه‌های بتنی چیزی در حدود ۳۵ تا ۶۰ درصد کل هزینه‌های ساخت را در بر می‌گیرد [۱۱۲]. به صورت سنتی قالب‌های بتن از چوب و فلز ساخته می‌شود که منجر به تولید مقدار قابل توجهی ضایعات ناشی از استهلاک سریع این قالب‌ها می‌شود. براساس مطالعات صورت گرفته توسط للتاس در سال ۲۰۱۱ [۱۱۳]، ۸۰ درصد کل ضایعات تولید شده در دنیا در صنعت ساخت و ساز تولید می‌شود که مشارکت ضایعات ناشی از قالب-های چوبی به دلیل محدودیت‌های استفاده مجدد آن‌ها بسیار قابل توجه می‌باشد. همچنین محدودیت‌هایی که قالب بندی برای طرح‌های خلاقانه معماران ایجاد می‌کند از جمله مواردی می‌باشد که نیاز به یک تکنولوژی جدید را بیش از پیش مبرهن می‌کند.

روش چاپ سه بعدی بتن [۲]روشی نو ظهور است که علاوه بر علوم مهندسی دیجیتال و کامپیوتر نیازمند دانش قوی در زمینه‌ی مواد و مهندسی مکانیک می‌باشد. روش چاپ سه بعدی بتن که در بخش بعد به تفصیل تعریف خواهد شد، به ساخت سازه‌ها به کمک بتن ریزی لایه-لایه گفته می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های این تکنولوژی ساخت خانه‌هایی بهینه در مدت زمان بسیار کم می‌باشد. این فناوری تمام خصوصیات مورد نیاز برای ساخت خانه اعم از کاهش هزینه و ضایعات، سرعت ساخت سریع‌تر، کاهش تصادفات، اشکال پیچیده معماری و موارد دیگر را در بر می‌گیرد. این کشف نشانه‌ای از آغاز ساخت خانه به روش پرینتر سه بعدی بود. با این حال، این تکنولوژی در بخش‌های خاص مانند طراحی محصول، ساخت قطعات و ابزار، الکترونیک مصرفی، پلاستیک، فلزکاری، مهندسی هوافضا، برنامه های دندانپزشکی و پزشکی نیز کاربرد دارد. در حال حاضر، چاپگر سه بعدی ممکن است برای ساخت ویلاهای بزرگ لوکس، عمارت‌ها یا هتل‌ها مناسب نباشد، اما برای خانه‌های متوسط و سایر سازه‌ها با

---

[۱] 3D Printing in Construction

[۲] 3D Concrete Printing

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

قیمت پایین و سرعت ساخت بالا مناسب است. این مهم در زمان وقوع رخدادهای طبیعی که نیاز به اسکان سریع جمعیت خسارت دیده وجود دارد، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

۲-۳-۴-۲ معرفی تکنولوژی چاپ سه بعدی در صنعت ساخت و ساز

چاپ سه بعدی ساخت، به تکنولوژی‌های مختلفی گفته می‌شود که در آنها از چاپ سه بعدی به عنوان روش اصلی برای ساخت سازه‌ها یا اعضای سازه‌های مختلف استفاده می‌شود. این روش با نام‌های دیگری نیز در پیشینه پژوهش یافت می‌شود از جمله؛ ساخت و ساز افزون [1]، سیستم ساخت رباتیک خودکار [۲] (ARCS)، ساخت افزون بزرگ مقیاس[۳](LSAM) و روش ساخت بی قاعده [۴]. همچنین در بعضی مراجع از این روش با عنوان بتن سه بعدی نیز یاد شده است، که اشاره به اکستروژن بتن از طریق نازل‌هایی برای ایجاد لایه‌های مصالح دارد. بصورت کلی روش‌های زیادی برای چاپ سه بعدی وجود دارد از جمله روش اکستروژن(خروج مصالحی چون بتن سیمانی، واکس، فوم یا پلیمرها از نازل)، پیوند دهندگی پودری (شامل پیوند پلیمری، پیوندهای واکنشی و پخت پودری) و جوشکاری‌های افزون. بصورت کلی دو روش اصلی برای ساخت سازه‌ها به روش چاپ سه بعدی؛روش مبتنی بر اکستروژن [۵] و روش مبتنی بر پایه پودری[۶].

۱-۲-۳-۴-۲ روش چاپ سه بعدی بتن مبتنی بر اکستروژن

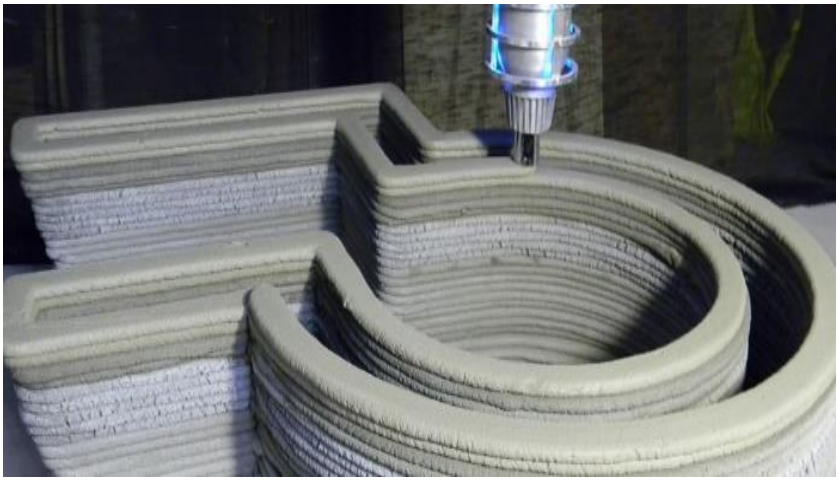
روش چاپ سه بعدی بتن، مبتنی بر اکستروژن بسیار شبیه به روش رسوب ذوب شده [۷] در پلیمرها می‌باشد که در آن مواد سیمانی از طریق نازل‌های سوار شده برروی جرثقیل‌های دروازه‌ای، سقفی و یا ربات‌های ۶ محوره بصورت لایه لایه خارج می‌شود (شکل (۲- ۷۶) و شکل (۲- ۷۷) وشکل (۲- ۷۸)). این روش که تقریبا در حدود ۱۵ سال است که در حال توسعه می‌باشد به سه صورت می‌تواند انجام شود، یا به عبارتی سه روش وجود دارد که مبتنی بر اکستروژن عمل می‌شود. اجرای در محل، ویژگی دیگر این روش‌ها می‌باشد که مزایا و معایب خود را دارد، همچنین می‌توان به کمک این روش‌ها ساختمان‌هایی با پیچیدگی‌های معماری و ابعاد به نسبت بزرگ را ساخت.



[1] Additive construction
[۲] Autonomous Robotic Construction System
[۳] Large-Scale Additive Manufacturing
[۴] Freeform Construction
[۵] Extrusion-Based
[۶] Powder-Bed-Based
[۷] Fussed Deposition Modelling

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شکل (۲- ۷۶) از جرثقیل دروازه‌ای در چاپ سه بعدی



شکل (۲- ۷۷) چاپ سه بعدی بتن به روش اسکتروژن

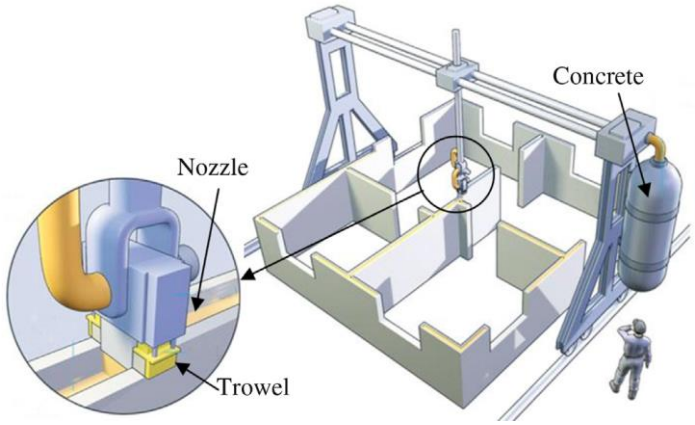


شکل (۲- ۷۸) خروج بتن از نازل چاپگر سه بعدی

الف- روش Contour Crafting

این روش که بر پایه ساخت لایه-لایه می‌باشد، ابتدا توسط ژانگ و خوشنویس [۱۱۴] در دانشگاه کالورینای جنوبی ابداع گردید و در حدود ۱۷ سال است که در حال توسعه می‌باشد. در این روش، براساس اکسترود کردن لایه-لایه ماده‌ای چسبنده (معمولا از خانواده سیمان‌ها) در بین دو ماله ساختمانی توسط جرثقیل‌های دروازه‌ای یا ربات‌های بازویی ۶ محوره می‌توان ساخت و ساز را انجام داد (شکل (۲- ۷۹)). همچنین برای دستیابی به پایداری خمشی و برشی بیشتر و ساخت دیوارهایی با ارتفاع بلند تر می‌توان بصورت دستی یا اتوماتیک از مسلح کننده‌های میلگردی یا پلیمری استفاده نمود. علاوه بر کاربردهای ساختمانی، روش Contour Crafting توسط سازمان فضایی آمریکا (ناسا) برای توسعه ساخت و ساز پایگاه‌های این سازمان برروی سطح ماه و مریخ در حال مطالعه می‌باشد[۱۱۵].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۷۹) شماتیک روش Contour Crafting

- **برخی ویژگی‌های شاخص**

سطح تمام شده مناسب و زیبا، آزادی عمل معماران برای طرح‌های خلاقانه، هم‌خوانی با دیگر روش‌های ساخت رباتیکی (نصب تاسیسات برقی مکانیکی)، قابلیت حمل راحت و تجهیز کارگاه کوچک، زمان بسیار کم برای ساخت سازه‌ها نسبت به دیگر روش‌ها، به صرفه و کم هزینه بودن نسبت به دیگر روش‌ها و سازگاری با مصالح جدید از جمله مزایای روش Contour Crafting می‌باشد [۱۱۶].

- **معایب روش Contour Crafting**

این تکنولوژی محدود به به اکستروژن قائم می‌باشد و در برابر توپولوژی‌های ۲/۵ بعدی ناتوان می‌باشد. ساخت ماشین آلات این تکنولوژی نیاز به تخصص ویژه‌ای داشته و بستگی زیادی به ساز پروژه و نازل مورد استفاده دارد. ضعف در سطح تماس لایه‌ها به یکدیگر به دلیل منقطع شدن روند بتن ریزی و فشارهای هیدرواستاتیک.

ب- روش چاپ بتنی [۱]

فناوری چاپ بتنی توسط تیمی در دانشگاه Loughborough در انگلستان توسعه یافته است. این فناوری همچنین از تکنیک مبتنی بر اکستروژن استفاده می کند و تا حدی شبیه به Contour Crafting است. با این حال ، فناوری چاپ بتنی برای حفظ آزادی معماری سه بعدی توسعه یافته است و از وضوح رسوبی کمتری برخوردار است، که امکان کنترل بیشتر هندسه های داخلی و خارجی را فراهم می کند. علاوه بر این، مواد استفاده شده در چاپ بتن مصالح مسلح شده با فایبر و بسیار ریز دانه با عملکرد بالا می‌باشد که نسبت به مصالح بکار رفته در روش Contour Crafting از کیفیت و عملکرد بالاتری برخوردار می‌باشد.

چاپ بتنی برای ایجاد برآمدگی و سایر ویژگی های شکل معماری آزاد نیاز به پشتیبانی بیشتری دارد که توسط یک ماده دیگر انجام می‌گیرد که شبیه به روش FDM عمل می‌کند. عیب این فرآیند این است که برای ماده دوم به یک دستگاه رسوب اضافی نیاز دارد که منجر به دستورالعمل های بیشتر برای نگهداری ، تمیز کردن و کنترل می شود و سازه ثانویه باید در یک عملیات پس از پردازش تمیز شود. معایب موجود در روش چاپ بتنی:

- تلاش‌های لازم برای حفظ دقت ابعادی، روند را با توجه به کاربردهای صنعتی پیش بینی شده بسیار کند می کند.

[۱] Concrete Printing

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

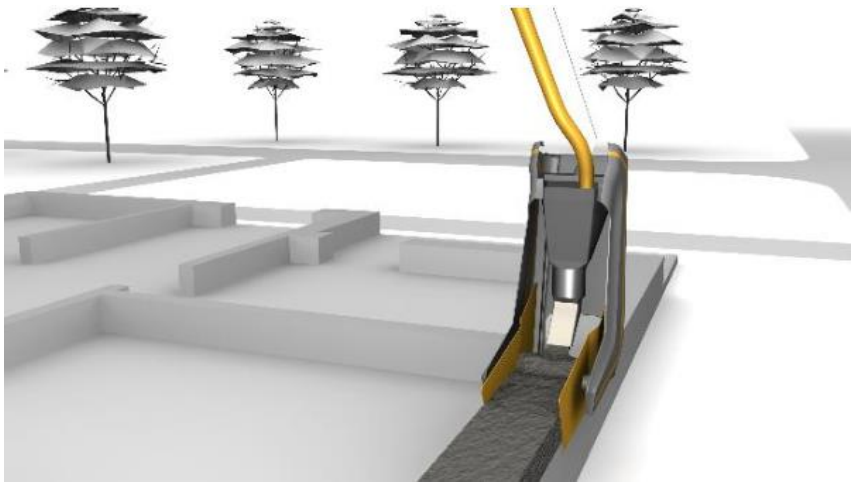
- اگرچه این فناوری در ابتدا توپولوژی های سه بعدی را به جای ۲/۵ بعدی هدف قرار داد، اما استفاده از ماده دوم برای حمایت از برآمدگی ها، ضمن افزایش هزینه مواد، کارایی و انعطاف پذیری فرآیند را کاهش می دهد.
- ابعاد و احتمالات از نظر طراحی به ابعاد قاب چاپ محدود می شوند.

ج- روش CONPrint 3D

روش‌های Contour Crafting و چاپ بتنی گرچه بسیاری از مزایای تکنولوژی را در بر می‌گیرند، اما محدودیت های ذاتی از جمله ضرورت استفاده از ماشین آلات جدید و پیشرفته، مواد معدنی ریز در برخی از اندازه های سنگدانه (ملات ریزدانه به جای بتن) و اندازه محدود المان‌های چاپ شده (اندازه چاپگر سه بعدی باید بزرگتر از اندازه عنصری باشد که باید چاپ شود) را دارند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، در حال حاضر رویکرد جدیدی برای تکنولوژی چاپ سه بعدی بتن با نام CONPrint 3D، در دانشگاه فنی درستن آلمان که قصد انتقال چاپ سه بعدی به محل پروژه را دارد، توسعه یافته است[۱۱۷]. از مزایای اصلی فناوری CONPrint 3D انعطاف پذیری بالای هندسی، استفاده از ماشین آلات ساختمانی مرسوم و وابستگی کم به نیروی کار ماهر می‌باشد. در شکل (۲-۸۰) و شکل (۲- ۸۱) شماتیک این روش نشان داده شده است [۱۱۸].



شکل (۲- ۸۰) نمای دور و شماتیک روی CONPrint 3D



شکل (۲- ۸۱) نمای نزدیک شامل نازل روش CONPrint 3D

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۳-۴-۲ روش چاپ سه بعدی بتن مبتنی بر بستر پودری [۱]

براساس این روش، ابتدا یک لایه نازک پودر برروی بستر پودر پخش می‌شود. پس از تکمیل یک لایه، قطرات چسب مخصوص برروی لایه پودری ریخته شده و باعث می‌شود که ذرات پودر به یکدیگر بچسبند. بعد از چندین بار تکرار این فرایند، قطعه ساخته شده تکمیل شده و پس از مدت زمان خاصی جدا می‌شود. پودر نچسبیده سپس توسط دمنده هوا جدا می‌شود.

تکنولوژی ساخت و ساز چاپ سه بعدی D-شکل اولین بار توسط انریکو دینی در ایتالیا در سال ۲۰۱۴ [۱۱۹] معرفی گردید. در این روش، رسوبات پودری هر لایه از مصالح ساختمان به ضخامت مورد نظر ریخته شده و متراکم می‌شود و نازل روی جرثقیل دروازه‌ای چسب را روی آن می‌ریزد. چسب‌ها فقط در ناحیه‌هایی ریخته می‌شوند که قرار است مصالح ساختمانی سفت شوند و مابقی بعد از دمیدن هوا برچیده خواهند شد. بعد از این که یک قسمت کامل شد، از بستر پودری کنده می‌شود. این روند برای ساخت یک قطعه معماری به ارتفاع ۱/۶ متر به نام Radiolaria استفاده شده است. این اثر در شکل (۲- ۸۲) نشان داده شده است.



شکل (۲- ۸۲) نمایی از Radiolaria

دینگ و همکاران [۱۲۰] عدم وجود زیربانی مناسب برای توسعه تکنولوژی‌های مصالح بتن را مانعی برای رشد این تکنولوژی دانسته اند. همچنین، چهار ویژگی اصلی بتن تازه مرتبط با چاپ سه بعدی توسط له و همکاران بدین شرح می‌باشد [۱۲۱]: (۱) قابلیت پمپ شوندگی. (۲) قابلیت چاپ: سهولت و قابلیت اطمینان رسوب مواد از طریق دستگاه رسوب. (۳) قابلیت ساخت: مقاومت مواد مرطوب رسوب شده در برابر تغییر شکل تحت بار و (۴) طول عمر: دوره ای که این خصوصیات در حد تحمل قابل قبول سازگار باشند.

۲-۲-۳-۴-۳ مزایا روش چاپ سه بعدی

- **کاهش هزینه ساخت**

[۱] POWDER-BED-BASED 3D CONCRETE PRINTING

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ساختمان‌های چاپی سه بعدی نسبت به ساختمان‌هایی که با روش‌های سنتی ساخته شده‌اند، به دلیل کاهش مواد اولیه و از همه مهم‌تر نیروی کار، هزینه ساخت بسیار کمتری دارند. هزینه ساخت، در پروژه های معماری با انجام بیشتر ساخت‌وسازها توسط چاپگرهای سه بعدی می‌تواند تا ۸۰٪ کاهش یابد. هزینه‌های تولید نیز با از بین بردن انبار و حمل روزانه مصالح ساختمانی نیز کاهش خواهد یافت.

- **کاهش ضایعات ساختمانی**

استفاده از پرینتر سه بعدی ساخت خانه برای پروژه‌های معماری، سازگار با محیط زیست است. در حالی که از انرژی بسیار کمی استفاده می‌شود، استفاده از فناوری سه بعدی حدود ۳۰٪ از ضایعات تولید شده توسط یک پروژه عادی را کاهش می‌دهد. قطعات در صورت تقاضا چاپ می‌شوند و هر ماده‌ای که استفاده نمی‌شود به راحتی قابل بازیافت و یا ذخیره برای استفاده است. مخلوط سیمانی مورد استفاده در پرینترهای سه بعدی از پلاستیک بازیافت شده و سایر مواد غیر قابل نفوذ تولید می‌شود.

- **افزایش اشکال طراحی**

چاپگر سه بعدی می‌تواند اشکال طراحی و سفارشی‌سازی را ایجاد کند که اجرای آن‌ها امکان‌پذیر نبوده و یا بسیار گران است. پرینترها می‌توانند مقادیر کمی از بتن را دقیقاً در جایی که برای شکل‌های پیچیده مورد نیاز است و تا حد زیادی امکانات طراحی معماری را افزایش دهند را اجرا کنند.

- **کاهش زمان ساخت**

استفاده از پرینتر سه بعدی برای تکمیل یک پروژه ساختمان می‌تواند بازه زمانی ساخت را به شدت کاهش دهد. تهیه خانه‌ای که با فناوری سه بعدی ساخته شده است در مقایسه با دوره ساخت ۶ ماههِ عادی می‌تواند در حدود یک ماه و نیم به پایان برسد. این می‌تواند در مواقع اضطراری که ساختمان‌ها باید در کمترین زمان ممکن ساخته شوند، بسیار مفید باشد.

۲-۴-۳-۲-۴ معایب روش چاپ سه بعدی

- **قوانین ساختمان**

هیچ قانونی و یا فرآیندی برای تأیید ساختمان‌های ساخته شده توسط پرینتر سه بعدی برای مصارف مسکونی یا تجاری وجود ندارد. ابتدا دولت باید استانداردهای مربوط به برق، لوله‌کشی، یکپارچگی ساختاری و ایمنی عمومی را تدوین و به مراجع و عمومِ دست‌اندرکاران عمرانی ارجاع دهد.

- **انواع مصالح**

موادی که از پرینتر قابل تحویل هستند، تقریباً به بتن و پلاستیک محدود شده است. ساختمان‌هایی که به اجزای چوب یا فولاد احتیاج دارند قادر به استفاده از چاپگر برای تکمیل قسمت‌های مورد نیاز خود نیستند.

- **سازگاری مهندسی**

تعداد بسیار کمی از معماران و مهندسان به این فن‌آوری ساخت علاقه‌مند شده‌اند. سایر قابلیت‌های پرینترسه بعدی که با فناوری جدید همراه هستند در مرحله طراحی استفاده نمی‌شوند. طرح‌های سنتی برای استفاده با چاپگر سه بعدی سازگار نیست، بنابراین کل مراحل طراحی باید به شیوه‌ای متفاوت انجام شود.

- **کاهش نیروی کار**

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

کارهای ساختمانی افراد بسیاری را به ویژه کارگران مشغول می‌کند، به همین دلیل تولید کار از جمله مزایای روش سنتی ساختمان سازی است. در پرینتر سه بعدی این ماشین ها هستند که به طور عمده مسئولیت ساخت بنا را بر عهده دارند، بنابراین، با توسعه این روش باید با موج جدیدی از بیکاری روبرو شد

۲-۴-۳-۲-۵ آینده پیش‌رو و چالش‌های چاپ سه بعدی

امروزه متخصصان صنایع و محققان فراوانی در حال کار و بهبود این روش در سرتاسر جهان هستند. از جمله می-توان به خانه‌های نوین در آینده مانند آنچه در شکل (۲- ۸۳) دیده می‌شود و ساختمان‌های چند طبقه مشابه شکل (۲- ۸۴) اشاره نمود.



شکل (۲- ۸۳) طرح مفهومی روش جدید ساخت منازل مسکونی



شکل (۲- ۸۴) طرح مفهومی ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه به کمک روش چاپ سه بعدی

همچنین چاپ ساختمان ها به عنوان یک فن آوری بسیار مفید برای ساخت زیستگاه های خارج از زمین ، مانند زیستگاه های ماه یا مریخ ، پیشنهاد شده است. از سال ۲۰۱۳، آژانس فضایی اروپا (ESA) در حال کار با Foster + Partners مستقر در لندن برای بررسی پتانسیل چاپ پایگاه های ماه با استفاده از فن آوری چاپ سه بعدی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

بود[۱۲۲]. این شرکت معماری در ژانویه ۲۰۱۳ یک فناوری چاپ سه بعدی ساختمانی را پیشنهاد داده است که می تواند از مواد اولیه سنگ ماه برای تولید سازه های ساختمان برروی ماه استفاده کند در حالی که از زیستگاه های تورم محصور برای اسکان سرنشینان انسان در داخل سازه های قمری چاپ شده با سخت افزار استفاده می کند. به طور کلی، این زیستگاه ها فقط به ده درصد از جرم سازه برای حمل و نقل از زمین نیاز دارند، در حالی که از مواد موجود روی سطح ماه برای ۹۰ درصد دیگر از جرم سازه استفاده می شود [۱۲۳]. ساختارهای گنبدی شکل یک شکل قوسی تحمل کننده وزن است و دارای نگه‌دارنده‌های سازه‌ای است که توسط یک ساختار سلولی بسته ارائه می شود و یادآور استخوان های پرنده است [۱۲۴]. در این مفهوم، خاک چاپ شده ماه هم حفاظت در برابر اشعه و هم عایق بودن دما را برای سرنشینان ماه فراهم می کند. در این ساخت و ساز، مواد قمری با اکسید منیزیم مخلوط می شود که خاک ماه را تبدیل به ماده‌ای قابل اسپری شدن می‌کند و سپس با ترکیب نمک‌های چسبنده به بلوک‌های سنگ شکل تبدیل می‌شود. همچنین برای انی هدف نوعی بتن گوگردی نیز پیش بینی شده است. انواع مختلفی از عناصر زیربنایی ماه برای چاپ سه بعدی ساختاری تصور شده است، از جمله لنت های فرود، دیوارهای محافظ انفجار، جاده ها، آشیانه ها و ذخیره سوخت[۱۲۴]. در اوایل سال ۲۰۱۴، ناسا مطالعه کوچکی را در دانشگاه کالیفرنیای جنوبی برای توسعه بیشتر تکنیک چاپ سه بعدی Contour Crafting تأمین مالی نمود. از کاربردهای بالقوه این فناوری می توان به ساخت سازه‌های قمری اشاره کرد که می تواند تا ۹۰ درصد از مواد ماه موجود در سطح ماه در ساخت آنها ساتفاده نمود و تنها ده درصد از مواد مورد نیاز حمل و نقل از زمین تامین شود [۱۲۵].

۳-۳-۴-۲ تاریخچه ظهور

از نظر کلی برای بررسی تاریخچه توسعه و کاربرد این تکنولوژی می‌توان دسته بندی زیر را ارائه نمود:

۱-۳-۳-۴-۲ تحقیقات پایه‌ای (۱۹۵۰ تا ۱۹۹۵):

طرح مفهومی آجر گذاری رباتیک در اوایل دهه ۱۹۵۰ و توسعه تکنولوژی‌های مرتبط با آن با هدف اتوماتیک کردن ساخت و ساز در اوایل ۱۹۶۰ با توسعه بتن پمپی و فوم‌های ایزو سیانات شروع گردید[۱۲۶]. توسعه ساخت و ساز اتوماتیک یک ساختمان کامل به کمک تکنولوژی‌های قالب لغزنده و جایگذاری به کمک ربات‌ها که وابسته به چاپ سه بعدی می‌باشد، در ژاپن با هدف روشن کردن خطرات ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه توسط شیمیزو و هیتاچی در دهه‌ها ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ آغاز گردید[۱۲۷]. بسیاری از این روش‌ها در ابتدا برای مقابله با مشکلات ناشی از تامین مصالح و معماری‌های پیچیده ارائه گردیده اند.

۲-۳-۳-۴-۲ توسعه‌های اولیه (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰):

توسعه و تحقیقات اولیه چاپ سه بعدی ساخت و ساز از حدود ۱۹۹۵ در دست اقدام می‌باشد. بصورت کلی دو روش در آن زمان ابداع گردید؛

روش اول توسط جوسف پنگا [۱۲۸] برروی شکل دهی ماسه–سیمان به کمک بخار دهی به لایه‌های مصالح صورت می‌پذیرد، ارائه گردید. (قابل ذکر است این روش بصورت عملی هیچگاه مورد استفاده قرار نگرفت).

روش دوم با عنوان Contour Crafting توسط بهروز خوشنویس ارائه گردید. این روش در ابتدا به روشی نوع آورانه از خروج سرامیک و شکل دهی آن به عنوان جایگزینی برای چاپ سه بعدی پلیمرها و فلزات، گفته می‌شد که در سال ۱۹۹۵ ارائه گردید [۱۲۹]. در حدود سال ۲۰۰۰، خوشنویس و تیمش تمرکز خود را برروی ساخت و ساز به روش چاپ سه بعدی خمیرهای سیمانی و سرامیکی همزمان با روشی اتوماتیک در سیم کشی و نصب تاسیسات مکانیکی قرار دادند هرچند در آن زمان این تلاش‌ها به تست‌های آزمایشگاهی محدود ماند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۳-۳-۳ نسل اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰):

در سال ۲۰۰۳، Rupert Soar، با تامین بودجه مورد نیاز، گروه ساخت و ساز بی قاعده (Freeform) را در دانشگاه Loughborough انگلستان، با هدف افزایش پتانسیل تکنولوژی چاپ سه بعدی برای ساخت و ساز تاسیس نمود. کارهای اولیه، چالش‌های پیش‌روی شکست‌های محتمل توسعه این روش به ساخت و سازهای واقعی را مشخص نمود و نشان داد که با افزایش قابل توجه نسبت ارزش طراحی و ساخت یکپارچه، راه‌هایی برای استفاده از آن وجود دارد. در سال ۲۰۰۵، این گروه با تامین بودجه مورد نیاز برای ساخت اولین دستگاه چاپ سه بعدی بزرگ مقیاس (به جهت استفاده در صنعت ساخت و ساز)، میزان پیچیده بودن ساخت اعضای آن را برای این صنعت مورد ارزیابی قرار داد.

همانطور که در بخش‌های قبل گفته شد، در سال ۲۰۰۵، انریکو دینی در ایتالیا تکنولوژی D-Shape را ثبت اختراع نمود که شامل جت کردن و چسباندن میزان قابل توجهی پودر در یک محدوده ۶ در ۶ در ۳ می‌شود [۱۳۰]. این روش اگرچه در ابتدا با سیستم اتصال رزین اپوکسی توسعه یافته بود، بعداً برای استفاده از عوامل پیوند غیر آلی توسعه یافت. این فناوری برای طیف وسیعی از پروژه ها در ساخت و ساز و سایر بخش ها از جمله صخره های مصنوعی به صورت تجاری استفاده شده است [۱۲۸].

در سال ۲۰۰۸، چاپ سه بعدی بتن، در دانشگاه Loughborough انگلستان به محوریت پرفسور ریچارد باسول[۱] و همکاران برای توسعه تحقیقات گذشته با اهداف تجاری و حرکت از روش جرثقیل‌های گنتری به روبات‌های صنعتی شروع گردید که منجر به ثبت رسمی آن در Skansa در سال ۲۰۱۴ گردید.

۲-۴-۳-۳-۴ نسل دوم (از سال ۲۰۱۰ تا اکنون)

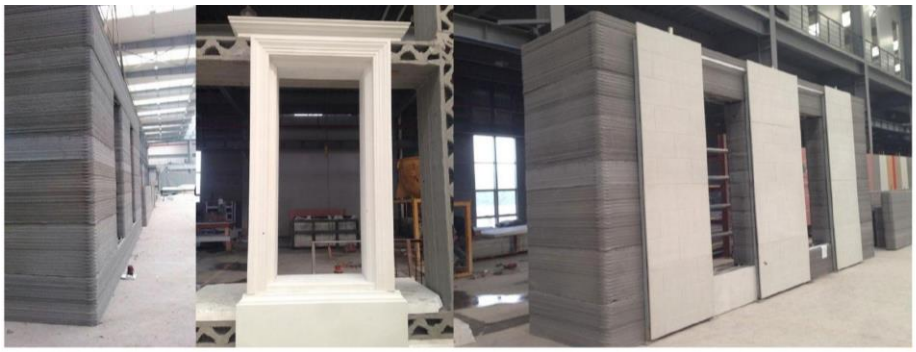
در ژانویه سال ۲۰۱۵، شرکت WinSun با رونمایی از ۲ ساختمان دیگر ، یک ویلا به سبک عمارت (شکل (۲- ۸۵)، شکل (۲- ۸۶) و شکل (۲- ۸۷)) و یک برج ۶ طبقه (شکل (۲- ۸۸)، شکل (۲- ۸۹) و شکل (۲- ۹۰))، با استفاده از المان‌های چاپ سه بعدی شده، مورد توجه بیشتری از خبرگزاری‌ها قرار گرفت. بازرسی دقیق عکاس‌ها نشان می دهد که این ساختمان ها با المان‌های پیش ساخته و المان‌های سه بعدی ساخته شده اند. این ساختمان ها به عنوان اولین سازه های کامل در نوع خود می‌باشند که با استفاده از فن آوری های چاپ سه بعدی ساختمانی ساخته شده اند.



شکل (۲- ۸۵) نمای بیرون عمارت اجرا شده به روش چاپ سه بعدی توسط شرکت WinSun

[۱] Richard Buswell

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۸۶) نمای کلی دیوارهای داخلی عمارت اجرا شده توسط شرکت WinSun



شکل (۲- ۸۷) مسلح کردن دیوارهای عمارت اجرا شده توسط شرکت WinSun



شکل (۲- ۸۸) ساختمان اجرا شده به روش چاپ سه بعدی توسط شرکت WinSun

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۸۹) نمایی از ساختمان اجرا شده به روش چاپ سه بعدی توسط شرکت WinSun

در ماه می سال ۲۰۱۶ یک "ساختمان اداری" جدید در دبی افتتاح شد. مطابق شکل (۲- ۹۰)، فضای ۲۵۰ متر مربعی (۲۷۰۰ فوت مربع) آن همان چیزی است که پروژه موزه آینده دبی از آن به عنوان اولین ساختمان اداری چاپ سه بعدی جهان یاد می کند.



شکل (۲- ۹۰) ساختمان اداری ساخته شده به روش چاپ سه بعدی در شهر دبی

در سال ۲۰۱۷ یک پروژه بلند پروازانه برای ساخت یک آسمان خراش چاپ سه بعدی در امارات متحده عربی اعلام شد. در شکل (۲- ۹۱) خروجی گرافیکی طرح اولیه این برج نشان داده شده است. شرکت Cazza در ساخت

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

این سازه مشارکت خواهد داشت. در حال حاضر جزئیات خاصی مانند ارتفاع ساختمان یا محل دقیق آن وجود ندارد[۱۳۱].



شکل (۲- ۹۱) طرح مفهومی آسمان خراش شرکت Cazza در امارات متحده عربی

FreeFAB Wax توسط جیمز گاردینر و استیون جنسن در شرکت Laing O'Rourke ابداع و ثبت گردید. این تکنولوژی از سال ۲۰۱۳ در حال توسعه می‌باشد و در آن از روش چاپ سه بعدی صنعت ساخت و ساز برای چاپ حجم زیادی از نوعی واکس مهندسی (تا ۴۰۰ لیتر بر ساعت) برای تولید و چاپ سه بعدی نوعی قالب برای بتن-های پیش‌ساخته، بتن‌های الیاف شیشه‌ای(GFRC) و هر نوع مصالح قابل اسپری استفاده گردید. از مزایای این فناوری می توان به سرعت ساخت سریع قالب، افزایش بازده تولید، کاهش نیروی کار و حذف مجازی زباله ها با استفاده مجدد از مواد برای قالب های سفارشی در مقایسه با فناوری های معمولی قالب اشاره کرد[۱۳۲].

نیروی مهندسان ارتش آمریکا، مرکز توسعه تحقیقات مهندسین، به رهبری آزمایشگاه تحقیقات مهندسی ساخت و ساز (ERDC-CERL) در ایالت ایلینوی آمریکا، تحقیقات خود را در زمینه فناوری چاپگر سه بعدی ساخت و ساز از سپتامبر ۲۰۱۵ آغاز کرد. موفقیت در این کار منجر به توسعه یک برنامه ساخت مواد افزودنی در ERDC-CERL گردید. به عنوان پروژه آزمایشی، ساخت اتوماتیک سازه های موقت نظامی(ACES) با تمرکز بر چاپ سه بعدی بتن انجام گردید و طیف گسترده ای از زمینه‌های تحقیقاتی را پوشش داد. این زمینه‌ها شامل سیستمهای چاپ، مواد بتنی قابل چاپ، طراحی و آزمایش سازه و روشهای ساخت می باشد. پروژه ACES به ۳ نقطه قابل بیان منجر گردید: یک نقطه کنترل ورود (دژبانی)، [۱۳۳] اولین پادگان بتنی ساخته شده با افزودنی اضافی، [۱۳۴] و چاپ زیرساخت های عمرانی و نظامی (موانع جرسی، دیوارهای T شکل، آبریزها، سنگرها و موقعیت جنگی) در آزمایش های پشتیبانی، پایداری و حفاظت مانور ارتش ایالات متحده(MSSPIX). در سال ۲۰۱۷ CERL-ERDC کار خود را با نیروی تفنگداران دریایی ایالات متحده آغاز کرد و منجر به اولین نمایش چاپ سه بعدی بتنی، توسط پرسنل نظامی گردید که شامل یک پادگان بتن مسلح چاپ سه بعدی شده (شکل (۲- ۹۲) و شکل (۲- ۹۳))، اولین پل چاپی سه بعدی در قاره آمریکا و اولین نمایش چاپ با یک نازل ۳ اینچی گردید [۱۳۵ و ۱۳۶]. از طریق این کار ERDC و تفنگداران دریایی توانستند عملکرد ساختاری دیواره های بتنی چاپ سه بعدی تقویت شده و شاه تیرهای پل‌ها، چرخه‌های تاب‌آوری و نگهداری سیستم چاپ، عملیات چاپ طولانی، ادعای ساخت ۲۴ ساعته را آزمایش کنند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۹۲) سرباز خانه ارتش ایالات متحده آمریکا، ساخته شده به روش چاپ سه بعدی



شکل (۲- ۹۳) نمونه‌ای از سربازخانه ساخته شده به روش چاپ سه بعدی توسط ارتش ایالات متحده آمریکا

MX3D Metal تاسیس شده توسط لوریس جرمن و تیمش، دو سیستم چاپ سه بعدی رباتیک ۶ محوره ایجاد کرده است که سیستم اول از یک ترموپلاستیک اکسترود شده استفاده می‌کند، به ویژه این سیستم اجازه ساخت مهره های غیر مسطح شکل آزاد را می‌دهد. مورد دوم سیستمی است که به جوشکاری افزون (اساساً جوشکاری نقطه ای روی جوشهای نقطه ای قبلی) متکی است. فناوری جوشکاری افزون در گذشته توسط گروه های مختلفی توسعه یافته است، با این وجود سیستم فلزی MX3D تاکنون بهترین سیستم اجرا شده می‌باشد. در حال حاضر این شرکت برروی ساخت پلی فلزی در شهر آمستردام که در شکل (۲- ۹۴) آورده شده است، به کمک این روش کار می‌کند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۹۴) پل فلزی ساخته شده به روش چاپ سه بعدی در آمستردام هلند

BetAbram یک چاپگر سه بعدی اکستروژن بتن مبتنی بر جرثقیل‌های دروازه‌ای است که در اسلوونی تولید شده است. این سیستم به صورت تجاری در دسترس است و از سال ۲۰۱۳ تاکنون ۳ مدل (P3، P2 و P1) را به مصرف کنندگان ارائه داده است. بزرگترین آن‌ها P1 می تواند اشیایی با بزرگی ۱۶ در ۹ در ۲/۵ متر را چاپ کند.
چاپگر سه بعدی بتنی سفارشی توتال ساخته شده توسط Rudenko یک فن آوری رسوب بتن است که در یک پیکربندی دروازه‌ای نصب شده است ، این سیستم خروجی مشابه WinSun و سایر فن آوری های چاپ سه بعدی بتنی دارد، با این حال از یک دروازه سبک خرپایی استفاده می کند. این فناوری برای ساخت نسخه‌ای از یک قلعه به اندازه یک حیات خلوت (شکل (۲- ۹۵)) و یک اتاق هتل در فیلیپین (شکل (۲- ۹۶)) استفاده شده است.



شکل (۲- ۹۵) پروژه‌های ساخته شده توسط شرکت WinSun

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۹۶) پروژه‌های ساخته شده توسط شرکت WinSun

اولین تولید سری چاپگرهای ساختمانی در جهان توسط شرکت SPECAVIA ، مستقر در یاروسلاول (روسیه) آغاز شد. در ماه می ۲۰۱۵ ، این شرکت اولین مدل چاپگر سه بعدی ساخت را معرفی کرد و شروع فروش آنرا رسما اعلام نمود. از ابتدای سال ۲۰۱۸ گروه شرکت های "AMT-SPECAVIA 7" چاپگر ساخت پورتال را تولید می کند: از چاپگرهای با فرم کوچک (برای چاپ فرم های معماری کوچک) تا مقیاس بزرگ (برای چاپ ساختمان تا ۳ طبقه). امروزه، چاپگرهای سه بعدی ساخت روسیه با علامت تجاری "AMT" در چندین کشور در حال فعالیت هستند ، از جمله ، در آگوست ۲۰۱۷ ، اولین چاپگر ساختمانی - برای 3DPrinthuset (دانمارک) به اروپا تحویل داده شد. این چاپگر برای ساخت اولین ساختمان چاپ سه بعدی در اتحادیه اروپا (دفتر - هتل ۵۰ متر مربع) در کپنهاگ استفاده شد.

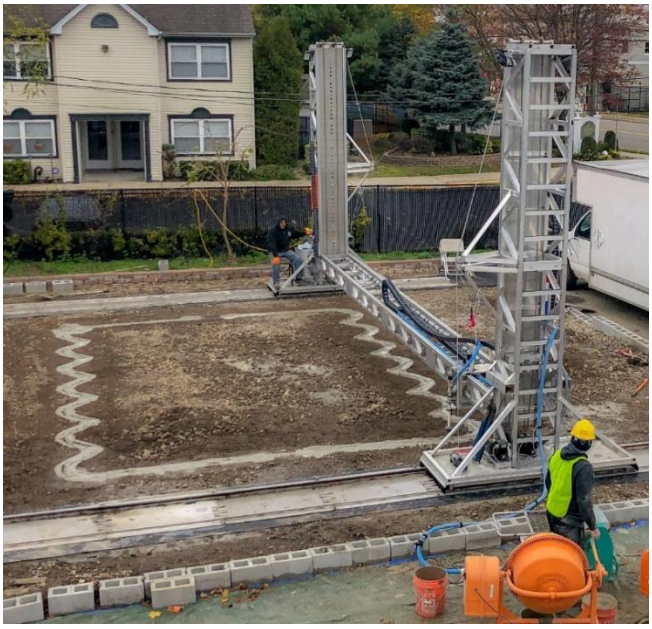
XtreeE یک سیستم چاپ چند جزئی را توسعه داده است که در بالای بازوی رباتیک ۶ محوره نصب شده است. این پروژه در جولای ۲۰۱۵ آغاز شده است و دارای همکاری و سرمایه گذاری از سوی افراد قدرتمند در صنعت ساخت و ساز ، مانند Saint Gobain، Vinci و LafargeHolcim است. 3DPrinthuset، یک شرکت موفق چاپ سه بعدی دانمارکی می‌باشد که با COBOD International با ساخت چاپگر دروازه‌ای خود در اکتبر ۲۰۱۷ وارد صنعت ساخت و ساز سه بعدی گردید. با همکاری نام های قوی در منطقه اسکاندیناوی، مانند NCC و Force Technology ، اسپین آف شرکت با ساخت اولین خانه چاپ سه بعدی شده در اروپا به سرعت مورد توجه قرار گرفت. پروژه Building on Demand (BOD)، یک هتل کوچک اداری در کپنهاگ، در منطقه نوردهاون (شکل (۲- ۹۷)) است که دیوارها و بخشی از فونداسیون آن بصورت کامل چاپ شده است، در حالی که بقیه فعالیت‌ها صورت سنتی انجام شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۹۷) پروژه اجرا شده توسط XtreeE

سیستم ساخت خودکار رباتیک (ARCS) یک چاپگر بتن سازگار با محیط زیست ۲۰ فوت در ۴۰ فوت است که می تواند در ۳۶ ساعت خانه ای به مساحت ۱۴۹۰ فوت مربع را بسازد. این سیستم می تواند خانه ها، ساختمان های تجاری، جاده ها و پل ها را بسازد. ARCS توانایی تکمیل پروژه هایی از ۵۰۰ فوت مربع تا بیش از یک میلیون فوت مربع را دارد (شکل (۲- ۹۸)).



شکل (۲- ۹۸) سیستم ساخت خودکار ARCS

۲-۴-۳-۴ تاب آوری

تحقیقات صورت گرفته برروی تکنولوژی چاپ سه بعدی اکثر برروی کیفیت ساخت، مصالح، سخت افزار و نرم افزارهای آن صورت گرفته است و براساس وو و همکاران [۱۳۷] و یوسف و چن [۱۳۸] مطالعات بسیار کمی برروی تاب آوری این ساختمان‌ها صورت گرفته است. لذا در این بخش سعی شده است که از منظر تاب آوری به این موضوع نگاه ویژه ای شود. آینده صنعت ساخت و ساز با توه به ویژگی‌هایی که از این تکنولوژی ارائه گردید به شدت تحت تاثیر آن قرار خواهد گرفت. بنابراین مطالعه پارامترهای آسایش حرارتی، روشنایی و تهویه هوا از اهمیت زیادی برخوردا خواهد بود بخصوص به دلیل اینکه از این تکنولوژی می‌توان برای مسکن‌های اجتماعی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

استفاده نمود. همانطور که در تعریف ASHRAE[1] عنوان شده است؛ آسایش حرارتی[2] حالتی روانی است که در آن یک فرد از نظر حرارت محیط زندگی علائم آسایش نشان می‌دهد [۱۳۹].

به کمک تحقیقاتی که برروی کاهش انرژی بهره برداری انجام شده است، انرژی نهفته مهم ترین بخش مصرف انرژی در چرخه حیات انرژی یک سازه شده است. بنابراین استفاده از مصالحی با کربن نهفته کمتر مورد نیاز می-باشد. بنابراین و با تمرکز بر تکنولوژی چاپ سه بعدی، پروت و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۱۴۰] مطالعاتی برروی اینکه چه مصالحی قابل چاپ می‌باشند، انجام دادند و در رابطه با اینکه کدام یک از آن‌ها آسایش حرارتی بالاتر و کربن نهفته‌ی کمتری دارند را پیشنهاد دادند. در این زمینه جدای از بتن‌های قابل چاپ مصالح دیگری نیز برای استفاده در چاپگرهای سه بعدی مورد آزمایش قرار گرفت. از جمله می‌توان به اینزمتچو و همکاران، ۲۰۱۹ [۱۴۱]، هاگر و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۱۴۲] و فلیکس و الصامحی در سال ۲۰۱۷ [۱۴۳] اشاره نمود. شرکت WinSun به عنوان یک شرکت پیگام در زمینه استفاده از چاپ سه بعدی در ساخت و ساز، برخی از مصالح را از جنبه‌های مختلف ضایعات و هدر رفت، فیبرهای شیشه‌ای و سخت شوندگی مصالح سیمانی مورد ارزیابی قرار داد[۱۳۷ و ۱۳۸]. به عنوان مشابه مصالح سلولوزی و ژئوپلیمری به عنوان مصالح کم کربن قابل چاپ توسعه یافتند [۱۴۴-۱۴۷]. ژئوپلیمرهای مبتنی بر فلای‌اش (Fly Ash) نیز به عنوان مصالحی که می‌تواند در تکنولوژی چاپ سه بعدی مورد استفاده قرار گیرد توسط سینگ در سال ۲۰۱۸ [۱۴۸] مورد تحقیق قرار گرفتند. لانگ و همکاران (۲۰۱۹) [۱۴۹] کامپوزیت‌های مبتنی بر سیمان که از بلورهای سلولوزی تشکیل شده اند را به عنوان مصالحی با کیفیت معرفی نمودند. همچنین مطالعات آزمایشگاهی زیادی برروی چسب‌های تاب آور مثل بخارهای سیلیکایی و فلای‌اش‌های فوق ریز دانه به عنوان جایگزینی برای سیمان انجام گرفته است از جمله می‌توان به اشاره نمود.

از نظر تاثیرات زیست محیطی، الهمایانی و همکارن در سال ۲۰۲۰ [۱۵۰] یک ارزیابی چرخه حیات با هدف اثرات زیست محیطی بتن و گاب (Gob) برروی ساختمان‌های چاپ سه بعدی کوتاه و میان مرتبه انجام دادند. شرکت ایتالیایی WASP با استفاده از گل خام به عنوان گیرنده مخلوط‌های ضایعاتی یک خانه چاپ سه بعدی اکولوژیک را در سال ۲۰۱۹ احداث نمود[۱۵۱]. خانه کانالی در آمستردام هلند به کمک بتن‌های اکولوژیک و بیوپلاستیک‌ها در سال ۲۰۱۴ ساخته شد [۱۵۲]. بنابراین روند چاپ سه بعدی به خودی خود، به عنوان روشی شناخته می‌شود که به مقدار قابل توجهی کربن دی اکسید را کاهش می‌دهد که این ناشی از کاربرد مصالح موثر در چاپگرهای سه بعدی می‌باشد [۱۵۳].

۲-۴-۴ ساخت و ساز به روش سازه های سبک قابی (LSF)

۲-۴-۴-۱ تعریف

در بسیاری از کشورها صنعت ساختمان از چوب، بلوک، آجر، فولاد نورد گرم و بتن برای هر نوع ساخت و ساز ساختمان استفاده می کند. اما اخیراً مشخص شده است که استفاده از این مصالح ساختمانی تهدید بزرگی برای محیط زیست است. برای جلوگیری از این امر ، متخصصان ساختمان شروع به استفاده از سازه (CFS) تحت سیستم ساختمانی خاصی کردند که به آن (LSF) می گویند. از سال ۱۹۹۰ کشورهای پیشرفته به دلیل مزایای بزرگ استفاده از فولاد در ساخت و ساز ساختمان مانند امکان استفاده مجدد، قابل بازیافت، اقتصاد و تاثیر مثبت

[1] American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning
[2] Thermal Comfort

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

بر محیط زیست شروع به جایگزین نمودن ساخت و ساز و مصالح سنتی با روش‌های نوینی از جمله روش LSF نموده اند. از دیگر مزایای این سیستم تأثیر آن در ساخت و ساز ساختمان برای تغییر از روش های سنتی به ساخت سیستم پیش ساخته و محصولات صنعتی و همچنین اقدام برای سیستم ساختمان تاب‌آور و زیست محیطی است[۱۵۴].

مقدمه ارائه شده در بالا و نیازهای جامعه به مسکن‌های اجتماعی که لازمه اصلی آنها سرعت بالاتر ساخت نسبت به ساخت و ساز سنتی می‌باشد منجر به بالا رفتن اقبال به استفاده از خانه‌های پیش‌ساخته در کشورهای در حال توسعه شده است [۱۵۵]. از این رو تکنولوژی ساختمانی LSF پس از کسب جایگاه ویژه در جامعه مهندسین بریتانیا، آمریکا و ژاپن، رفته رفته به کشورها دیگر انتقال پیدا کرد. از ویژگی‌های بارز این تکنولوژی سرعت در اجرا و بهره وری، افزایش مقاومت و پایداری بالا و سبک تر کردن و کاهش جرم ساختمان و افزایش میزان بازیافت مصالح می باشد [۱۵۶]. قطعات این سازه ها به صورت جداگانه بوده و در محل با اتصال سرد متصل می شوند لذا حمل آن در تعداد انبوه و هزینه کم و انواع وسایل نقلیه امکان پذیر است. LSF ها به طور فزاینده مورد استفاده قرار می گیرند، به ویژه در ساخت و ساز Modular، نه تنها به دلیل سبکی و سرعت بالای مونتاژ، بلکه به دلیل سازگاری آسان آن با اکثر الزامات معماری و ساختاری (هنریکیوسا و همکاران۲۰۱۷). با توجه به خصوصیات سازه ای LSF می توان تطابق این خصوصیات را با ویژگی های مسکن موقت به شکل زیر بررسی نمود سیستم LSFنسبت به سازه های متعارف سبک بوده و می تواند به صورت پیش ساخته تولید شود. در حال حاضر این تکنولوژی در کشور موجود بوده و پروژه های زیادی انجام گرفته است (شهر گلبهار مشهد، بازسازی بم) البته در مواردی نیاز به وارد کردن ورق های LFS از سایر کشورها می باشد [۱۵۵].

سیستم ال اس اف به دلیل مزایای فراوان از جمله سرعت و کیفیت بالای ساخت و عملکرد لرزه ای مناسب در سالهای اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا رواج قابل توجهی یافته است. از این رو می توان به صورت جدی تری از این سازه ها در صنعت کشور از جمله سازه های پست های فوق توزیع و انتقال برق استفاده نمود.

سهم بازار سیستم های (LSF) در دهه های گذشته، به طور عمده در ساختمان‌های مسکونی کم ارتفاع، به دلیل مزایای آن مانند داشتن وزن کم با مقاومت مکانیکی بالا، رشد کرده است. کاهش اختلال در سایت و سرعت ساخت. پتانسیل عالی برای بازیافت و استفاده مجدد. انعطاف پذیری معماری بالا برای اهداف مقاوم سازی پیش ساخته آسان، اجازه ساخت و ساز مدولار، اقتصاد در حمل و نقل و جابجایی، کیفیت بالاتر در خارج از سایت و پایداری عالی در مقابل رطوبت و مقاومت در برابر آسیب حشرات رشد قابل توجهی داشته است. با این حال ، با توجه به هدایت حرارتی بالای فولاد و سبک بودن این نوع سازه، اگر به خوبی طراحی و اجرا نشده باشد ، ممکن است دارای اشکالاتی نیز باشد.

۲-۴-۴-۲ تفاوت‌های روش ساخت و ساز *LSF* با روش‌های سنتی

اجرا، سهولت اجرای تاسیسات برقی و مکانیکی، تطابق با آیین نامه های رایج ساختمانی، محاسبات سازه ای دقیق نیروها، رعایت کلیه مسائل اتلاف انرژی حرارتی و برودتی، تنوع طراحی و تولید بنا با نما های متفاوت به درخواست کارفرما و هماهنگ با معماری محل، استفاده دائم به عنوان ساختمانی با طول عمر بالا و مشابه با ساختمان‌های سنتی، بازگشت سریع سرمایه اولیه، سازگاری با محیط زیست و رعایت اصول ساخت و ساز پایدار، دوام و پایدار سازی سازه و افزایش عمر مفید ساختمان می باشد [۱۵۷]. بررسی کاربرد سیستم سازه ای LSF و نقش آن در سبک سازی سازه ها در قیاس با سیستم های رایج ساخت و ساز در کشور، ارایه شده است. سیستم LSF در سالیان اخیر به شکل گسترده، در تولید صنعتی انواع ساختمان های اداری، تجاری و مسکونی بکار گرفته

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شده است. نتایج این بررسی ها نشان می دهد استفاده از سیستم LSF به دلیل دارا بودن قابلیتهای کاهش تغییر مکان نسبی،کاهش وزن سازه تا حدود ۴۰ در صد نسبت به سیستم فلزی رایج، کاهش مصرف بتن تا حدود ۶۰ در صد نسبت به سازه های بتنی رایج و ۳۰ در صد نسبت به سیستم فلزی رایج، عملکرد مناسب لرزه ای و قابلیت بسیار مناسب و در عین حال ایمن می باشد، که استفاده صحیح همراه با بومی سازی آن و آموزش این سیستم در بخش‌های مختلف مهندسی و تصمیم گیری از جمله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن توصیه می شود [۱۵۸].

به طور سنتی ، مقاطع فولادی سرد نورد شده به عنوان عناصر سازه ثانویه و همچنین اولیه در ساخت و سازهای تجاری استفاده می شود. پانل های فولادی ورق سرد نورد شده عملکرد دوگانه ای دارند زیرا می توانند به عنوان عناصر سازه‌ای و همچنین سطحی مورد استفاده قرار گیرند. مقاومت، سبک بودن، قابلیت انعطاف پذیری، عدم احتراق و سهولت تولید آنها، معماران، مهندسان، سازندگان و تولیدکنندگان محصولات ساختمانی را متقاعد کرده است که ورق فولادی سرد نورد شده می تواند به آنها کمک کند و عملکرد بهتر و زیبایی بیشتر را برای بسیاری از کاربردها با هزینه کم فراهم کنند . تنوع گسترده ای در اشکال و اندازه اجزایCFS ، انعطاف پذیری قابل توجهی در طراحی ایجاد می کند. این می تواند به بهینه سازی استفاده از فولاد در ساختمان کمک کند و از این رو باعث کاهش وزن و در نتیجه مقاومت ساختمان در برابر زلزله می‌شود. LSF با استفاده از مقاطع CFS سیستم ساختمانی است که دارای وزن کم بوده و از نظر لرزه‌ای برای شرایط نامناسب ساختگاه زمین مهم می‌باشد، زیرا وزن کم مزیت منجر به کاهش قابل توجه نیروهای لرزه‌ای می‌شود.

استاد و جویست‌های فولادی سبک که قبلاً عمدتاً در ساخت و سازهای تجاری استفاده می شد، اکنون هزینه های ساخت و ساز سریع خانه های تک خانواده و ساخت ساختمان های چند طبقه را کاهش می دهد (شکل (۲-۹۹)). سیستم LSF برای ساخت خانه در ۱۰ سال گذشته در برخی از کشورها مانند انگلستان، ایالات متحده، استرالیا و ژاپن به سرعت رشد کرده است. این سیستم اکنون با روشهای مرسوم، به ویژه در کشورهایی که سرعت ساخت در آنها مهم است ، قابل رقابت است. LSF پتانسیل قابل توجهی دارد و مزایای بسیاری از جمله قابلیت پیش‌ساختگی، سازگاری، تولید سبک نسبتاً ساده است و همچنین فقط شامل سه ماده اساسی بودن: فولاد گالوانیزه ، تخته گچ و پشم معدنی. این سیستم سازه ای می تواند شکل پذیری خوبی را ارائه دهد که نشان دهنده عملکرد بالقوه خوب در شرایط زلزله و همه آنها به دلیل استفاده از اجزای سازنده فولاد سرد است[۱۵۴].



شکل (۲- ۹۹) سازه چند طبقه ساخته شده با سیستم LSF

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پدیده حاشیه نشینی یکی از دلایل بی ثباتی سیستم شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه است و یک بازار سکونت غیررسمی است. با این حال، این نوع از سکونت نشانگر فقر منطقه می‌باشد (نشانگر کاستی ها و شکست های سیاست های دولت و بازار رسمی مسکن است). بنابراین حل این مشکل نیاز به سیاست گذاری و اقدامات لازم برای تأمین مسکن با قیمت مناسب و پایدار برای افراد کم درآمد دارد. با توجه به این واقعیت که LSF به تولید خانه های مقرون به صرفه و با ثبات کمک می کند ، بنابراین در مطالعه توکلی و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۱۵۹]، این سیستم به عنوان یک راه حل برای تأمین نیازهای افراد کم درآمد، که به مسکن پایدار و مقرون به صرفه نیاز دارند ، مطابق با شرایط اقتصادی، رویکردهای اجتماعی و زیست محیطی پرداخته شده است.

۲-۴-۴-۳ تاریخچه استفاده از روش ساخت و ساز *LSF*

ساخت و سازهای فلزی بیش از ۱۰۰ سال سابقه در شهرها برای ساخت و سازهای چند طبقه و سایر کاربردها داشته است. بنابراین، قابلیت اطمینان، دوام و سازگاری فولاد به خوبی اثبات شده است. بسیاری از کاربردها شامل سازه های پوسته‌ای مانند نما و اجزای نما هستند. استفاده از فولاد ضد زنگ و گالوانیزه به میزان قابل توجهی افزایش یافته و کاربردهای این ماده در پروژه های مهم ساختمانی اروپا در دهه ۱۹۹۰ متنوع تر شده است.

استفاده از فولا سرد نورد شده(CFS) از دهه ۱۸۵۰ در انگلستان و ایالات متحده آغاز شد و با استفاده از ورق‌های نازک استیل برای لوازم خانگی، بدنه اتومبیل، قفسه های ذخیره سازی و موانع سقوط توسعه یافت.کمتر از صد سال از اختراع آن می گذرد، که امروزه از ویژگی های فولاد ضد زنگ در تمام قطعات ساختمان، از روکش‌ها گرفته تا المان‌های باربر استفاده می شود.

مقاطع CFS در سیستم ساختمانی LSF از قبل ساخته شده و برای نصب آسان و سریع در محل آماده می‌شوند. اعضای قاب را می توان با سوراخ های پانچ شده برای اجرای لوله کشی و سیم کشی برق تولید کرد. بنابراین، نصب تاسیسات در سیستم قاب بندی باعث کاهش زمان ساخت و بهبود کیفیت نهایی می شود. مونتاژ سیستم LSF عامل دیگری است که محبوبیت آن را در این کشورها بخشیده است. ساختمانهای اسکلت LSF را می توان با استفاده از روش‌های مختلف مانند اعضای منفرد، اجزای پیش ساخته (دیوارها ، کف‌ها و سقف) و واحدهای پیش ساخته متشکل از دیوارها ، کفها و سقف (مدولار یا حجمی) مونتاژ کرد. آنها برای جلوگیری از خوردگی با یک پوشش گالوانیزه عرضه می شوند و سوراخ هایی از پیش نصب شده برای تاسیسات مکانیکی و الکتریکی دارند [۱۶۰].

۲-۴-۴-۳-۱ سیستم LSF در انگلستان

بعد از جنگ جهانی اول، سیستم ساختمانی آجر و بلوک رایج در انگلستان به تنهایی نتوانست پاسخگوی نیازهای ساختمان سازی در آن کشور شود. لذا جهت جوابگویئی به این نیازها سازندگان ساختمان اقدام به بکارگیری فلز در ساختمان سازی کردند و در سال ۱۹۴۰ استفاده از فلز در ساختمان سازی افزایش یافت بطوریکه برای جوابگویی به این نیازها مجبور به استفاده از فلز ورقی شکل نازک فرم داده شده در ساختمان‌های غیر مسکونی کرده‌اند. در پی توسعه و گسترش استفاده از این نوع فلز در ساختمان سازی از سال ۱۹۹۰ به بعد نیز اقدام به بکارگیری سیستم ساختمانی LSF برای ساخت واحدهای مسکونی در آن کشور کردند [۱۶۱].

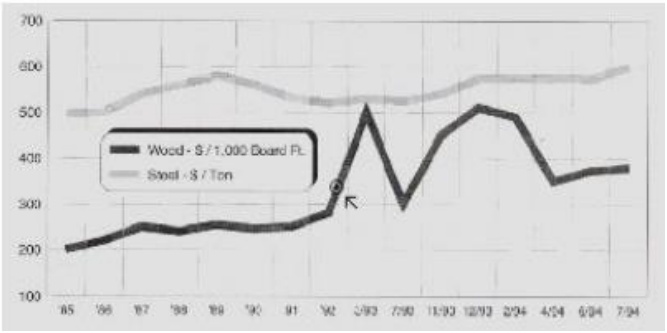
۲-۴-۴-۳-۲ سیستم LSF در آمریکا

چوب به عنوان اصلی‌ترین مصالح ساختمانی در آمریکا بدلیل فراوانی و دسترسی آسان، قیمت پایین نسبت به مصالح دیگر و راحتی اجرا برای مدت‌ها مورد اقبال سازندگان بوده است. آمارهای در سال ۱۹۹۵ نشان می‌دهد ۹۳ درصد از دیوارهای پیرامونی و داخلی ساختمان‌های مسکونی آمریکا از چوب ساخته شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

استفاده از فولاد در صنعت ساختمان سازی همانند کشور انگلستان بعد از جنگ جهانی اول رواج پیدا کرد ولی استفاده از CFS تا سال ۱۹۶۰ بدلیل گرانی آن در ساخت واحدهای مسکونی مورد استفاده قرار نگرفته بود و فقط در ساختمان سازی‌های تجاری رواج داشته است [۱۶۲].

از دهه ۶۰ به بعد وضعیت تغییر کرد به طوریکه کیفیت چوب همزمان با قیمت فولاد افت نمود بخصوص در سال ۱۹۹۲ قیمت چوب نسبت به قیمت خود دوبرابر شد و این در حالی بود که قیمت فلز در همان دوران تقریبا ثابت باقی مانده بود (شکل (۲- ۱۰۰)). لذا بکارگیری سیستم LSF بنابه دلایل اقتصادی برای ساخت واحدهای مسکونی از سال ۱۹۹۰ به بعد در آمریکا، با رشد ۳۰۰ درصدی در هر سال بکار گرفته شد و در حال حاضر هزینه ساخت سیستم فلزی با سیستم چوبی برابری می‌کند تا حدی که ۳۰۰۰ دلار صرفه جوئی در هر واحد مسکونی ۲۰۰ متر مربعی قابل دستیابی می‌باشد.



شکل (۲- ۱۰۰) تغییرات قیمت چوب نسبت به فولاد

۲-۴-۴-۳-۳ سیستم LSF در استرالیا:

استفاده از سیستم LSF در استرالیا از ۱۹۵۰ با وارد کردن آن از آمریکا شروع شد بطوریکه در شروع کار این سیستم با استفاده از فلز غیر گالوانیزه و شش برابر گرانتر از سیستم‌های رایج در آن کشور تمام می‌شد ولی امروزه با استفاده از فلز گالوانیزه و نیز قیمت ساخت آن با سیستم‌های دیگر برابری می‌کند.

۲-۴-۴-۳-۴ سیستم LSF در ژاپن:

کشور ژاپن در سال ۱۹۵۰ از نظر ساختمان سازی در وضعیت بدی قرار داشت بطوریکه فقط ۴/۲ میلیون کمبود واحد مسکونی وجود داشت. برای فعال کردن واحدهای تولیدی مسکن، دولت ژاپن وزارت ساختمان را در این کشور تاسیس نمود. این وزارتخانه از مصالح غیر آتشزا و با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی از سازندگان درخواست طرح‌های ساختمانی می‌گرد و در صورت پذیرفته شدن طرحشان آنها را مورد حمایت قرار می‌داد تا امکان بکارگیری همه جانبه طرح‌های موفق فراهم شود. بنابدلایل فوق استفاده از CFS سریعا مورد قبول صنعت ساختمان سازی ژاپن قرار می‌گیرد و دلیل موفقیت سیستم LSF در این کشور بیشتر پذیرش صنعت ساختمان سازی این کشور می‌دانند.

۲-۴-۴-۳-۵ سیستم LSF در سایر کشورها:

این سیستم در سوئد از سال ۱۹۹۰ با پیروی از آمریکا جایگزین سیستم چوبی رایج در آن کشور شد. در کره تا سال ۱۹۹۶ آجر و بتن مصالح مرسوم ساختتمان سازی بود ولی پس از آن با بکارگیری سیستم LSF برای ساخت آپارتمان‌های تا پنج طبقه تغییراتی در صنعت ساختمان سازی آن صورت پذیرفت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۴-۴-۴ مصالح

سیستم ساخت و ساز خشک LSF معمولاً از سه نوع ماده اصلی زیر استفاده می کند [۱۶۳]: الف) مقاطع فولادی نورد سرد، ب) پانل های غلاف (به عنوان مثال تخته های گچی، تخته های رشته گرا[۱]) و پ) مواد عایق (به عنوان مثال پلی استایرن منبسط شده برای سیستم پوشش عایق حرارتی خارجی [۲]و پشم معدنی مورد استفاده در دیوارها و صفحات). همچنین مصالح مکمل دیگر از جمله پیچ های خود حفاری برای اتصال و بستن، عایق‌های ضد آب و هوا و لایه‌های پوشش نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل یک ساختمان مسکونی LSF کم ارتفاع در حال ساخت را نشان می دهد، یعنی قاب سازه فولادی با شکل سرد (شکل (۲- ۱۰۱-a)) و پس از نصب لایه غلاف OSB (شکل (۲- ۱۰۱-b)). توجه داشته باشید که طبق معمول، برای جلوگیری از مشکلات مربوط به رطوبت زمین، یک دال تحتانی بتن مسلح وجود دارد [۱۶۴].



شکل (۲- ۱۰۱) مثال‌هایی از کاربرد LSF در ساختمان‌های کوتاه مرتبه

۲-۴-۵

۲-۴-۵-۱-۱ مقاطع فولاد سرد نورد شده

مقاطع نورد سرد بسیاری در کاربردهای مهندسی مرسوم می‌باشند که اکثرا با حروف لاتین نمایش داده می‌شوند (U، C و Z). عملکرد سازه‌ای، حرارتی و صوتی اعضا به شکل این مقاطع وابسته می‌باشد. به جهت مقابله با خوردگی و افزایش دوام، مقاطع معمولا از فولاد گالوانیزه شده ساخته می‌شوند. روند گالوانیزه کردن معمولا براساس روش غوطه وری روی داغ انجام می‌پذیرد. از این مقاطع گالوانیزه همچنین می‌توان در تمام المان‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای و همچنین مقاطع بتن مسلح استفاده نمود[۱۶۵].

۲-۴-۵-۱-۲ پانل‌های پوششی

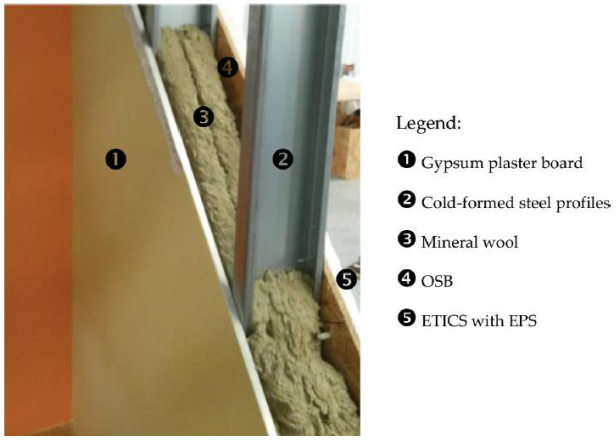
OSB و گچ تخته ها به ترتیب استانداردترین پانل های پوششی برای لایه های خارجی و داخلی عناصر سازه‌ای LSF (به عنوان مثال دیوارها) هستند (شکل (۲- ۱۰۲)). توجه شود که علاوه بر عملکرد پوششی، این پانل ها ممکن است در باربری جانبی مثل باد، نقش سازه‌ای مفیدی ایفا کنند. علاوه بر دیوارها، از پانل های OSB می توان در تخته سنگ ها (به عنوان مثال کف و سقف) استفاده کرد، ضخامت آن معمولاً بیشتر از دیوارها است. علاوه بر این ، برای افزایش اینرسی حرارتی/ جرم و کاهش ارتعاشات کف، استفاده از یک لایه بتنی و ملات نازک تر (به عنوان مثال ۵۰ میلی متر) می تواند سودمند باشد [۱۶۳].

---

[۱] OSB: Oriented strand boards

[۲] ETICS: External thermal insulation coating system

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱۰۲) مصالح بکار رفته در سیستم LSF

۲-۴-۵-۱-۳ اتصال و بستن اتصالات

روشهای مختلفی برای اتصال و بستن عناصر ساختمانی وجود دارد (به عنوان مثال دو پروفیل یا پانل فولادی سازه LSF)، این مسئله برای سرعت نصب و مقاومت مکانیکی ساختار مونتاژ شده بسیار مهم است. استفاده از پیچ های خود حفاری معمول ترین روش بستن است که با توجه به مزایای آن اتصالی قوی تر و با دوام تر نسبت به میخ می‌باشد. پیچ های خود حفاری معمولاً از فولاد کربنی تحت حرارت یا از فولاد ضد زنگ ساخته می شوند. انواع مختلفی از این پیچ‌ها وجود دارد، از جمله برای بستن ورق های نازک به ورق های نازک و ثابت کردن پایه های فولادی با ضخامت بیشتر (بزرگتر از ۲ میلی متر یا بالاتر از ۴ میلی متر) [۱۶۳].

۲-۴-۵-۲ مصالح عایق حرارتی

همانطور که قبلا ذکر شد، پشم معدنی اغلب بین بخش‌های فولادی به عنوان عایق حرارتی و صوتی استفاده می شود. علاوه بر این، این ماده عایق غیر قابل احتراق است و مقاومت در برابر آتش اعضای LSF را بهبود می بخشد. استفاده از پلی استایرن منبسط شده (EPS) یا اکسترود شده (XPS) نیز با توجه به مناسب بودن آن در کاهش پل های حرارتی ناشی از فریم های فولادی، در ETICS بسیار معمول است، زیرا، برخلاف عایق بته پشم معدنی، این یک لایه عایق حرارتی مداوم است (شکل (۲- ۱۰۲)) [۱۶۶].

۲-۴-۵-۳ بررسی ابعاد آئین نامه های طراحی از منظر طرح سازهای، معماری و تاب‌آوری

برخی از انجمن ها با ارائه مشاوره در مورد برنامه ها و نشریات آزمایشی و برنامه جلساتی که به اعضای آن امکان تبادل اطلاعات و ایده ها را می دهد، در حال کار بر روی CFS در ساخت ساختمان هستند. این اعضا با هم همکاری می کنند تا استانداردها و روش های طراحی را توسعه دهند، فرایندی که اطمینان می یابد این تصمیمات بر تولیدکنندگان تأثیر منفی نمی گذارد و می تواند به طور کارآمد در این زمینه اجرا شود. برخی از آنها به شرح زیر است: انجمن مهندسان فولاد سنج سبک در سال ۱۹۹۴ به عنوان یک مرکز تحقیقاتی برای LSF در ایالات متحده با اهداف زیر تشکیل شد:

الف) حل مسائل فنی مربوط به CFS؛

ب) ایجاد شبکه ای از مهندسان که می توانند خانه های ساخته شده از فولاد را به طور کارآمد طراحی کنند.

اتحادیه قاب سازی فولاد آمریکای شمالی سازمانی است که توسط AISI در سال ۱۹۹۸ تأسیس شد. ماموریت NASFA سرعت بخشیدن به استفاده از قاب های فولادی سبک در ساخت و سازهای مسکونی برای تشویق استفاده گسترده، عملی و اقتصادی از آنها بوده است. اسکلت فلزی در ساخت و سازهای مسکونی موسسه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ساختمان فلزی سبک در سال ۱۹۵۵ به ابتکار باشگاه Kozai تأسیس شد. هدف اصلی آن ترویج کاربرد منطقی اشکال فولادی سبک سنج در ساخت مسکن به ویژه، ارائه راهنمای طراحی بود. استفاده از فولاد پیش ساخته، بر اساس بخش‌های CFS ، برای مسکن به سرعت مورد پذیرش قرار گرفت و صنعت فولاد ژاپن شروع به ساخت اشکال فولادی نورد سرد سبک به عنوان جایگزینی برای محصولات چوبی کرد.

۲-۴-۵-۴ بررسی تاب‌آوری

اصل مسکن پایدار دادن آسایش و ایمنی به زندگی انسان ها است. کاربرد این اصل به طور مستقیم و غیرمستقیم توسط مالک تشخیص داده می شود یا خیر. اصولی که در مسکن تاب‌آور اعمال می شود، از جمله نگرانی برای اطمینان از زندگی سالم مردم، مثمر ثمر و هماهنگ با طبیعت بودن این زندگی می‌باشد[۱۶۷]. این اصل نیاز دارد که منافع نسل های آینده را بدون ایجاد خطر در نیازهای نسل حاضر، اولویت قرار دهد [۱۶۸].

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های کلیه اعضای تیم ساختمان، تاب‌آوری است. همچنین در آغاز هزاره جدید بار دیگر توجهات به موضوعات تاب‌آوری معطوف شده است. یک ساختمان از نظر تعداد منابع طبیعی مصرف شده، میزان آلودگی، میزان اتلاف انرژی و میزان زباله تولید شده در ساخت و بهره برداری آن باید پاسخگو باشد. به همین دلیل است که برای این بخش بسیار مهم است که صرفه جویی در مصرف انرژی، استفاده از مواد اولیه تجدید پذیر و به حداقل رساندن آلودگی ایجاد شده را تا آنجا که ممکن است در نظر بگیرد. پیشرفت های فنی در تولید مواد و تولید انبوه آنها، از نظر انتخاب به طراح پتانسیل خارق العاده ای داده است. از سوی دیگر این نیاز دیده شده است که طراح دانش و درک بیشتری از مواد و فن آوری ها داشته باشد. بصورت کلی سه اقدام اصلی برای کاهش بار زیست محیطی و ایجاد فعالیت تاب‌آور، افزایش عمر مفید یک ساختمان است به عبارت دیگر استفاده مجدد یا افزایش عمر مفید قطعات و بازیافت یا افزایش عمر مفید مواد. ار این اساس انتظار می رود که افزایش عمر مفید یک ساختمان به طور مستقیم در کاهش بار محیطی نقش داشته باشد. فولاد در مقایسه با سایر مصالح ساختمان، تأثیر منفی کمتری بر محیط زیست بخصوص در مورد مصرف انرژی، مصرف مواد اولیه و ضایعات مواد ایجاد شده دارد. طبق یک مطالعه، ترکیب زباله های تولید شده در چرخه عمر ساختمان برمبنای درصدی از وزن ماده نشان داده شده و در جدول (۲- ۳۳) ارائه شده است [۱۶۹].

جدول (۲- ۳۳) ترکیب زباله های تولید شده در چرخه عمر ساختمان برمبنای درصدی از وزن ماده

Material	Weight (ton)	Percentage (%)
Concrete (debris)	1970	67.1
Steels	622	21.2
Woods	126	4.3
Aluminum7	7	0.2
Glasses & Ceramics	135	4.6
Metals	23	0.8
Plastics	28	1.0
Oils	16	0.5
Fibers	10	0.3
Total	2937	100.0

طبق جدول (۲- ۳۳) ، بتن استفاده شده (آوار) بیش از ۵۰٪ کل ضایعات و فولاد تقریباً ۲۰٪ آن‌ها را تشکیل می دهد. بنابراین، تاب‌آوری فولاد به عنوان مصالح ساختمانی از شرایط بهتری پیروی می‌کند. وزن اعضای فولادی بازیافت شده تقریبا ۷۰٪ وزن کل اسکلت فولادی را شامل می‌شود. استفاده از فولاد به عنوان جایگزینی برای

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

چوب نیز یک رویکرد زیست محیطی بسیار مثبت و موثر در تخریب درختان و نابودی جنگل‌ها می‌باشد. در حالی که پیش بینی می شود با فعالیت های معدنی امروز، منابع سنگ آهن ۷ میلیون سال دوام داشته باشند، این درحالی است که تجدید جنگل های نابود شده به ویژه در مدت زمان کوتاه بسیار سخت و ناممکن می‌باشد. همچنین برای ارزش‌های زیست محیطی ما مهم است که توجه داشته باشیم؛ انرژی مورد نیاز برای تولید یک تن فولاد ضایعاتی تقریباً یک پنجم فولاد معدنی می‌باشد. از منظر چرخه حیات، مواد ممکن است دارای خاصیت چرخه-زوال باشند که مواد درجه پایین تری تولید می کند. در واقع فولاد تنها ماده با یک حلقه بسته مواد است که در مقایسه با بسیاری از مواد چرخه-زوال مزیت مهم است. فولاد ۱۰۰٪ می تواند با همان محصول، عملکرد و کیفیت قبلی بازیافت شود. همچنین می توان به راحتی بسته به نیازهای صنعت و تقاضای بازار، فولاد بازیافتی را به یک محصول فلزی دیگر تبدیل نمود. از طرف دیگر، صنعت فولاد تلاش زیادی می کند تا سطح انتشار گازهای خطرناک را از حد بالای کنونی پایین بیاورد. بنابراین وقتی اهمیت این واقعیت را در نظر می گیریم، کاملاً واضح است که استفاده ساختمانی از فولاد مزایای بزرگی در مورد ویژگی های نوسازی و استفاده مجدد دارد. بنابراین، ساخت و ساز توسط CFS تأثیرات مثبت زیست محیطی زیادی را در مورد تاب‌آوری، بازسازی، بازیافت و موارد استفاده مجدد آن نشان می دهد که حتی می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر ساخت ساختمان‌های کم مصرف داشته باشد. از نظر عملکرد سازه‌ای مورد نیاز، مقاوم سازی ساختمان‌های آسیب دیده و مدیریت ضایعات، به ویژه در مناطق زلزله زده، اهمیت ویژه ای پیدا می کند.

در مورد تاب‌آوری، انجام تجزیه و تحلیل چرخه حیات ساختمان برای تعیین کمی انرژی نهفته و بهره‌برداری ضروری است. برای بالابردن برچسب تاب‌آوری، کاهش هر دو نوع انرژی بسیار مهم می‌باشد. در ادامه بر روی انرژی بهره برداری مربوط به بهبود رفتار حرارتی در المان‌ها یا اعضای LSF و بهره‌وری انرژی ساختمان‌های LSF پرداخته شده است. با وجود مزایای زیاد سیستم‌های LSF که در بالا به آنها پرداخته شد. در صورت عدم برخورد صحیح در مرحله طراحی، سیستم LSF ممکن است دارای اشکالاتی نیز باشد که می تواند رفتار حرارتی و بازده انرژی آن را تحت تاثیر قرار دهد. پل های حرارتی (TB)، ناشی از گل میخ های فولادی و کاهش اینرسی حرارتی (TI)، دو نمونه مهم از این اشکال احتمالی هستند. در ادامه بصورت خاص به بررسی این دو مورد پرداخته خواهد شد.

۱-۴-۵-۴-۲ رفتار حرارتی المان‌های LSF

این بخش شامل شرح مختصری از رفتار حرارتی المان‌های LSF می‌باشد. طراحی ساختمان LSF (که شامل دیوارها، کف‌ها و سقف ها) با مقادیر بالای مقاومت حرارتی، حتی با استفاده از ضخامت های کم کار به نسبت راحتی می‌باشد که حتی می‌تواند منجر به کاهش فضای اشغال شده در محل ساخت نیز بشود. این هدف با استفاده از مواد عایق حرارتی حاصل می شود [۱۶۳]. با توجه به مشخصات سازه های LSF [۱۷۰]، برای کاهش پل های حرارتی (که از ناودانی های فولادی تشکیل شده اند) و افزایش اینرسی حرارتی (در صورت نیاز) باید به مرحله طراحی توجه ویژه شود. در ادامه به این دو موضوع اصلی پرداخته می شود.

پل های حرارتی[1]

با توجه به رسانایی حرارتی بالای فولاد، طراحی مجموعه اعضای ساختمان باید از ضوابط خاصی پیروی کند تا اثرات پل های حرارتی (TB) به حداقل برسد. برخی از نمونه های این ضوابط طراحی عبارتند از [۱۶۳]: در صورت

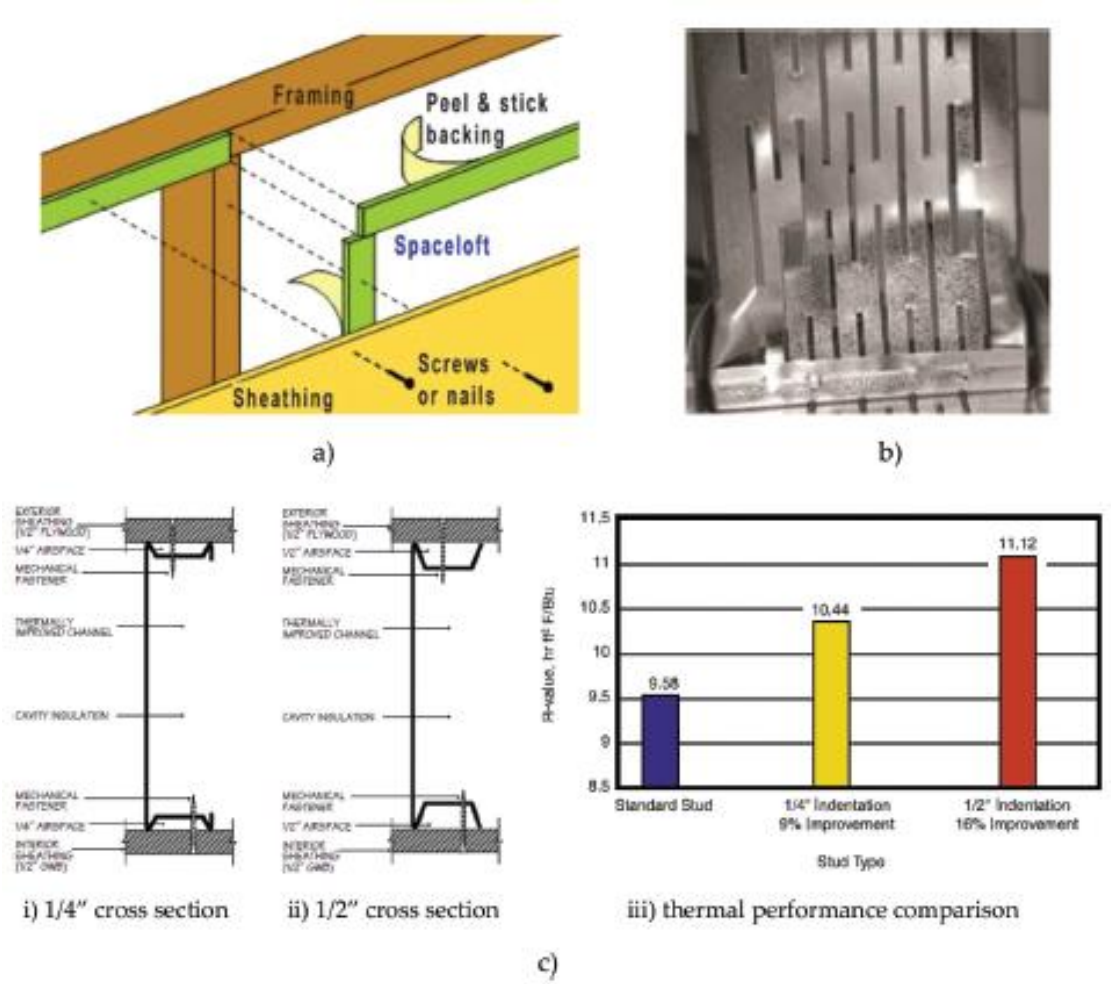
[1] Thermal Bridges

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

امکان ، از هرگونه قطع لایه عایق جلوگیری کنید. حداقل یک سوم از عایق های حرارتی باید همپوشانی داشته باشند (ترجیحاً عایق خارجی). در محل اتصال عناصر ساختمان، لایه‌های عایق باید در عرض کامل به هم متصل شوند. اگر قطع شدن لایه عایق اجتناب ناپذیر است، از ماده ای با کمترین هدایت حرارتی ممکن استفاده شود. هندسه نما را ساده نگه دارید و بازشوها (پنجره ها و درها) باید در تماس (حداقل جزئی) با لایه عایق قرار گیرند. علاوه بر این، برخی از پارامترهای خاص با تأثیر مستقیم در انتقال حرارتی المان‌های LSF وجود دارد از جمله: سطح مقطع و تعداد قاب های فولادی، ضخامت فولاد، فاصله گل میخ های فولادی و طول بال‌ها و جان مقاطع. اضافتا، چندین اقدام اضافی برای کاهش اثرات پل‌های حرارتی وجود دارد که در شکل نشان داده شده است. از آنجا که ممکن است تلفات عمده گرما در سراسر قاب های فولادی رخ دهد، استفاده از نوارهای شکست حرارتی در امتداد گل میخ ها (شکل (۲- ۱۰۳-a)) یک استراتژی مناسب می‌باشد. کارایی این اندازه گیری کاهش پل حرارتی با استفاده از نوارهای عایق حرارتی با کارایی بالا(به عنوان مثال آئروژل) افزایش می یابد. روش دیگر می تواند استفاده از گل میخ های فولادی شکاف دار باشد که در شکل (۲- ۱۰۳-b) نشان داده شده است. این استراتژی عملکرد حرارتی عناصر LSF را افزایش می دهد، اما مقاومت مکانیکی آن را نیز کاهش می دهد، که باید برای گل میخ های تحمل کننده نیز در نظر گرفته شود[۱۷۱]. سومین نمونه ارائه شده در شکل استفاده از تورفتگی گل میخ فلنج است. هندسه فلنج با توجه به شکاف کوچک هوا ایجاد شده، سطح تماس بین پانل های غلاف را ایجاد می کند که باعث ایجاد نوعی شکست حرارتی می‌شود. افزایش اندازه تورفتگی فلنج نیز عملکرد گرمایی را بهبود می بخشد، همانطور که در شکل (۲- ۱۰۳-c) نشان داده شده است. در این مورد و با فرض استفاده از گل میخ‌های استاندارد ، بهبود مقاومت حرارتی دیواره از ۹ و ۱۶ درصد می‌باشد.

پل های حرارتی ممکن است تأثیر بسیار مهمی در بهره وری انرژی ساختمان ها، به ویژه در مناطق سردسیر در مورد انرژی برای گرم کردن فضا داشته باشند. این مسئله در ساختمانهای LSF با توجه به هدایت حرارتی بالای فولاد حتی بیشتر مورد توجه قرار می گیرد [۱۷۲]. بنابراین، در مرحله طراحی باید به کاهش پل های حرارتی توجه ویژه ای شود، و همانطور که در اینجا توضیح داده شده است، امروزه استراتژی‌های متنوعی در دسترس می-باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱۰۳) استراتژی‌هایی برای جلوگیری از پل‌های حرارتی در المان‌های سیستم LSF: (a) نوارهای ترمز حرارتی، (b) مقاطع فولادی سوراخ شده، (c) مقاطع با بال دندانه شده؛ i) مقطع ۱/۴ اینچی ii) مقطع ۱/۲ اینچی iii) مقایسه رفتار حرارتی

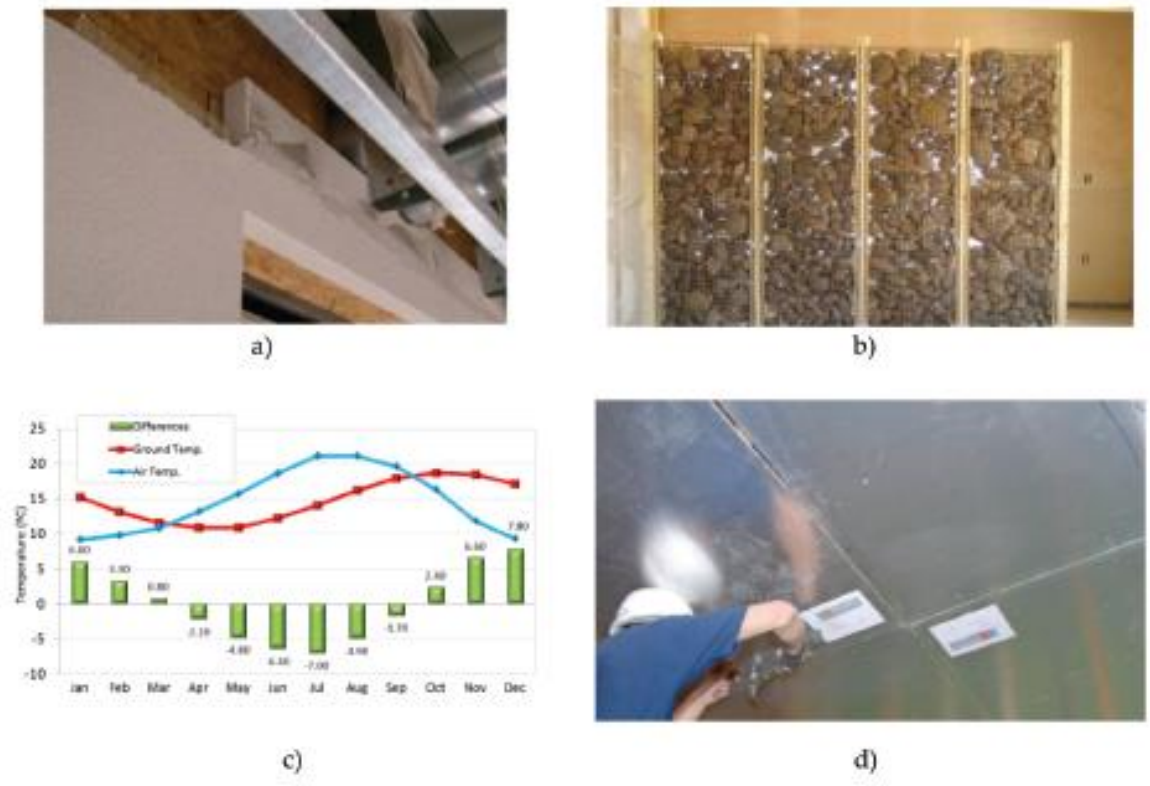
اینرسی حرارتی[1]

ساختمانهای LSF با توجه به کاهش وزن و جرم حرارتی جزئی، در مقایسه با ساختمانهای سنتی بتن آرمه و دیوارهای آجر سفال، اینرسی حرارتی کمتری (TI) از خود نشان می دهند. در عمل، این بدان معنی است که ساختمان های LSF ممکن است دارای نوسانات دمایی داخلی بیشتری باشند. بنابراین، مهم است که در مرحله طراحی، ابعاد، قرار گرفتن در معرض و استراتژی های سایه اندازی دهانه های لعاب را به اندازه کافی مشخص کنیم، با هدف کنترل بهره حرارت خورشیدی بخصوص در فصل‌های گرم سال برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد محیط داخل. با این حال، اگر بخواهیم از گرمایش غیر فعال خورشیدی استفاده کنیم، "مکانیزمی" که انرژی گرمایی خورشید را در طول روز ذخیره کرده و در شب آزاد کند، مورد نیاز خواهد بود. در این شرایط، جرم حرارتی داخل ساختمان بسیار مفید خواهد بود. بنابراین، گاهی اوقات در این شرایط، افزایش جرم حرارتی داخل ساختمان، یعنی TI آن راحت است. شکل چندین استراتژی برای افزایش TI در داخل ساختمان‌های LSF را

[1] Thermal inertia (TI)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نشان می دهد. استفاده از ETICS (شکل (۲- ۱۰۴-a))، یعنی عایق حرارتی خارجی نه تنها باعث افزایش TI بلکه منجربه کاهش پل حرارتی نیز می شود. مثال دوم که در شکل (۲- ۱۰۴-b) نشان داده شده است، استفاده از مواد پرجرم (به عنوان مثال سنگ) به منظور جذب و ذخیره گرما است. در این مثال، دیوار سنگی در جلوی پنجره ای قرار داده شد تا گرمای خورشیدی را به راحتی جذب کند، مانند یک دیوار داخلی Trmobe. شکل (۲- ۱۰۴-c) میانگین دمای ماهانه هوای خارج و زمین (در عمق ۲ متر) و تفاوت بین هر دو دما را برای برای کویمبرا (شهری در کشور پرتغال) (PT) [۱۷۳] نشان می دهد. این اختلاف دما ثابت نیست و در زمستان و تابستان بیشتر قابل توجه است و در ماه دسامبر به مقدار ۷.۸ درجه سانتی‌گراد و در جولای ۷.۰- درجه سانتی‌گراد می رسد. توجه داشته باشید که، زمین در فصل گرم خنک تر و در فصل سرد گرم‌تر است، یعنی در هر دو فصل مطلوب است. روش های مختلفی برای استفاده از این اختلاف درجه حرارت هوا و زمین وجود دارد. استفاده از سیستم مبادله حرارتی منبع زمین (GSHE[۱]) بر اساس جریان هوا [۱۷۴] یا مایع (به عنوان مثال مایع گلیکول) از طریق لوله های مدفون، می‌تواند یک استراتژی احتمالی باشد.



شکل (۲- ۱۰۴) چند روش برای افزایش اینرسی حرارتی در ساختمان‌های LSF a) عایق حرارتی خارجی، b) استفاده از مصالح پرجرم، c) استفاده از جرم‌ها کنترل حرارتی، d) استفاده از PCM ها

برای نتیجه گیری از این نمونه‌ها، شکل (۲- ۱۰۴-d) استفاده از ماده تغییر فاز (PCM[۲]) در سقف (پانل PCM ورقه ورقه شده با آلومینیوم [۱۷۵]) را نشان می دهد. PCM ها می توانند هر زمان که تغییر دما ایجاد شود تغییر فاز (ذوب یا جامد شدن) ایجاد کنند و مقدار قابل توجهی انرژی حرارتی را جذب یا دفع کنند. این گرمای نهان به

[۱] Ground-source heat exchange
[۲] Phase Change Material (PCM)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مواد اجازه می دهد بدون افزایش دمای ماده، گرما را جذب یا آزاد کند، بنابراین منجر به بالا رفتن اینرسی حرارتی اطراف می‌شود. امروزه طیف گسترده ای از مصالح ساختمانی یا اجزای حاوی PCM در بازار یافت می شود [۱۷۶]: تخته های مخصوص ساخت دیوارهای خشک. گچ (به عنوان مثال گچ ، سیمان ، خاک رس)؛ کاشی های سقفی معلق پنجره داخلی؛ مخازن ذخیره گرما و با استفاده از سیستم گرمایش زیر کف و غیره. با توجه به جرم حرارتی عمدتا پایین در ساختمانهای LSF، عملکرد PCM ها در این نوع ساخت و سازها افزایش می یابد. با این حال ، کارایی PCM ها در ساختمان ها به عوامل زیادی بستگی دارد. برخی از جنبه هایی که باید در نظر گرفته شود مانند [۱۶۳]: (الف) موقعیت در ساختمان؛ (ب) حجم و خصوصیات ترموفیزیکی آنها؛ (پ) محدوده دما تغییر فاز؛ (ت) ظرفیت گرمای نهان؛ (ث) شرایط آب و هوایی؛ (ج) افزایش حرارت داخلی و خورشیدی جذب شده؛ (چ) بازتاب و جهت گیری سطوح؛ (ح) نرخ تهویه؛ (خ) کنترل های HVAC؛ و (د) مشخصات معماری. یک مطالعه موردی به طور خلاصه توسط سوارس و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۷۷] در مورد بهینه سازی عملکرد انرژی گرمایش / سرمایش فضای ناشی از اختلاط گچ بری های PCM در ساختمانهای مسکونی LSF برای مناطق مختلف ارائه شده است.

۲-۴-۵-۴-۲ بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های LSF

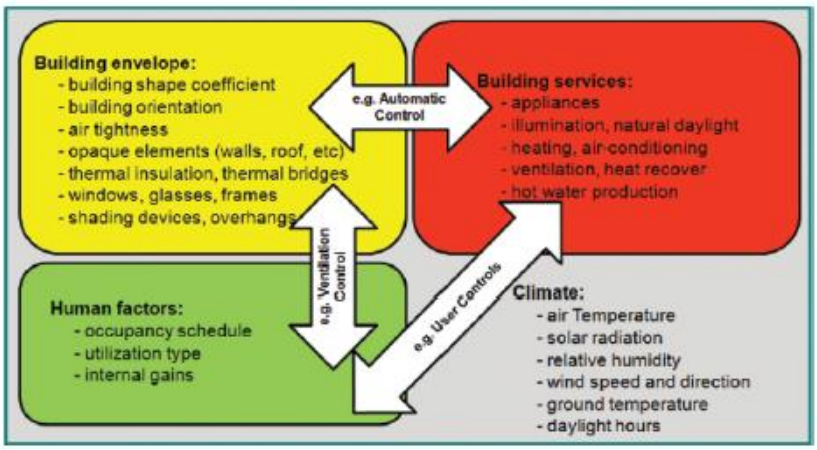
رفتار گرمایی و بازده انرژی ساختمان ها به عوامل زیادی بستگی دارد. علاوه بر این، ارزیابی آن باید به روش جامع انجام شود، ارزیابی یا پیش بینی دقیق آن را بسیار چالش برانگیز می کند. این پارامترها را می توان در مجموعه‌ای از چهار عامل اصلی قرار داد که در شکل (۲- ۱۰۵) نشان داده شده است:

۱) آب و هوا (Climate)

۲) مجموعه ساختمان (Building envelope)

۳) خدمات ساختمانی (Building services)

۴) عوامل انسانی (Human factor)



شکل (۲- ۱۰۵) عوامل اساسی موثر بر مصرف انرژی ساختمان [۱۶۳]

۲-۴-۵-۵ نمونه های موردی از استفاده از این تکنولوژی در کشورها و قاره های مختلف با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ویژگی های خاص هر منطقه

ساختمان اصلی ۱۲ میلیون پوندی Travelodge در لیورپول، که در بهار سال ۲۰۱۲ افتتاح شد، به لطف استفاده از قاب‌های پیش ساخته فولاد سبک، در ۱۲ هفته ساخته شد. دیوید اسمارت ، مدیر ساخت و ساز در Marcus

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

Worthington & Co، می گوید "این سیستم یک سیستم پانل قوی و قوی با کف پر کردن بتن است. مزایای اصلی سیستم برای این سایت کوچک در مرکز شهر سرعت نصب، کارآمدی، حداقل ضایعات، با یک سرویس پشتیبان خوب از شرکت طراحی Kingspan Profiles and Sections و تیم های داخل سایت بود، که هر گونه مشکل را با سرعت و کارآیی برطرف می کرد". برخی از مزایای کلیدی یک راه حل فولاد سبک عبارتند از: سرعت ساخت سریع، دستیابی سریع به پوسته ضد آب، امکان دسترسی به تجارت و همچنین ساختاری پایدار، ایمن و مقرون به صرفه با مدل سه بعدی BIM در شکل (۲- ۱۰۶) ساختمان این هتل نشان داده شده است.



شکل (۲- ۱۰۶) ساختمان اصلی هتل Travelodge در شهر لیورپول

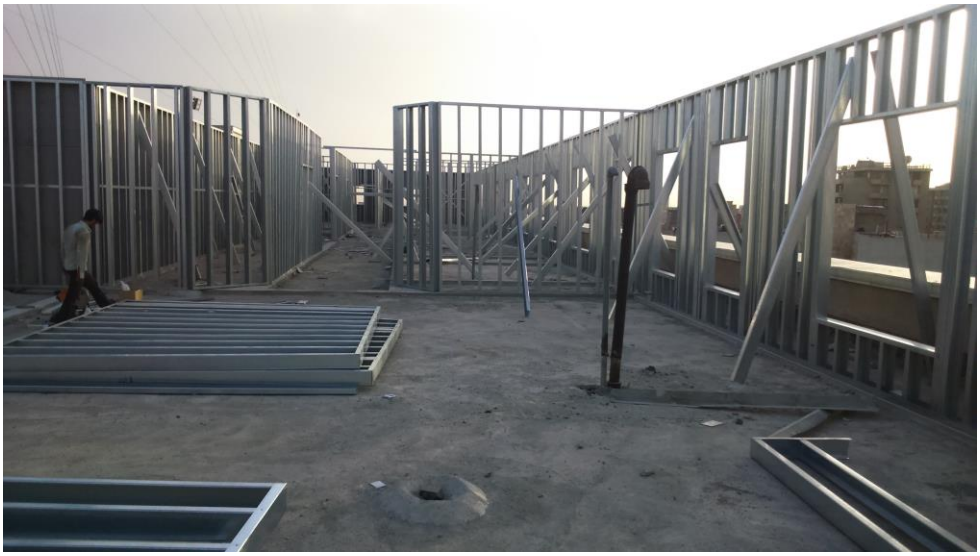
- از قاب‌های سبک فولادی برای ساخت ۵۰،۰۰۰ متر مربع سازه در شش طبقه در بیمارستان St George's لندن استفاده شد. این طرح در چهار مرحله عنوان گردید و شامل سه بلوک محل اقامت دانشجویان و سه بلوک دیگر محل اقامت سرکارگران بود (شکل (۲- ۱۰۷)). طرح Key Worker بزرگترین نوع در انگلستان است. سه بلوک دانشجویی از ابتدا تا انتها در مدت حساس ۱۲ ماهه تحویل داده شدند. ارزش کل این طرح بیش از ۶۰ میلیون پوند بود. Gordon Runcie، مدیر عملیات در ویلموت دیکسون اظهار دارد که: "رابطه کاری فیوژن و ویلموت دیکسون در طول ساخت مثبت بود و به این معنی بود که روبنا قبل از برنامه تکمیل شده بود."



شکل (۲- ۱۰۷) ساختمان شش طبقه بیمارستان St George

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- ساختمان مرکز کنترل ترافیک تهران در ایران. در این پروژه طبقه نهم با کمک قاب‌های سبک فولادی به پروژه اضافه گردید که دارای کاربری اداری و زیر بنای ۱۸۰۰ متر مربع داشت. این پروژه در سال ۱۳۹۴ خورشیدی و به مدت ۵ ماه توسط موسسه سازه‌های فلزی سبک طراحی و توسط شرکت تدبیر و توسعه سبک سازی اجرا گردید. در شکل (۲- ۱۰۸) این پروژه نمایش داده شده است.



شکل (۲- ۱۰۸) ساختمان مرکز ترافیک شهر تهران

۲-۴-۶ ساخت و ساز به روش Tilt-up

۲-۴-۶-۱ مقدمه و تعریف

سیستم Tilt-up از صفحات پیش‌ساخته بتنی نسبتا بزرگ به عنوان اتصال دهنده دائمی کف‌ها و دیوارها به روش‌های مختلف استفاده می‌کند [۱۷۸ و ۱۷۹]. صفحات Tilt-up را به عنوان پنل‌های بزرگ بتنی مسطح که بصورت افقی در محل پروژه یا در کارخانه بتن ریزی می‌شوند به گونه‌ای تعریف می‌کند که در محل پروژه با بالا کشیدن یکی از لبه‌ها با حالت قائم می‌رسند. این پنل‌ها همانطور که در شکل (۲- ۱۰۹) دیده می‌شود ابتدا بصورت موقت به کمک مهارهایی پایدار می‌شوند تا نهایتا یک سازه یکپارچه را تشکیل دهند.



شکل (۲- ۱۰۹) نحوه اجرای پنل ها در روش Tilt-up

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تاریخچه کاربرد این سیستم به حدود ۱۸۹۳ باز می‌گردد که در پروژه‌ای در شمال شهر زیون در ایالت ایلینوی ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفت[۱۸۰]. همچنین بزرگترین سازه ساخته شده به کمک این روش از نظر زیر بنا به یک مرکز تجاری در آفریقای جنوبی باز می‌گرد [۱۸۱].

طبق نظر [۱۸۱] روش Tilt-up یک راهکار با دوام و نسبتا اقتصادی در اختیار سازندگان قرار می‌دهد. همچنین این سیستم یک روش ساخت و ساز همگام با محیط زیست می‌باشد از نظر که مصالح بکار رفته در این روش به مقدار زیادی قابل بازیافت و استفاده جدد می‌باشد.

۲-۶-۴-۲ تاریخچه کاربرد روش *Tilt-up*

بتن ریزی، عمل آوری و انتقال آن به ارتفاع ایده جدیدی نمی‌باشد و مدارک موجود از بازگشت تاریخچه آن به امپراتوری ایران و روم باستان باز می‌گردد[۱۸۲]. اما جدید تر از آن، مهاجران آمریکایی با ساختن پنل‌های چوبی برروی زمین و سپس بلند کردن آن‌ها اقدام به ساخت ساختمان‌های خود در صده ۱۸۰۰ می‌کردند. ایده این کار در قرن ۲۰ ام منجر به ابداع روشی ترکیبی از روش بتن ریزی و بلند کردن پانل‌ها ساخته شده بصورت افقی به نام روش Tilt-up گردید[۱۸۳]. با پیشرفت این روش ساخت و ساز طراحان و سازندگان به این نتیجه رسیدند که با قرار دادن میلگردهایی در پانل‌ها می‌توانند به ساخت سازه‌هایی با ارتفاع بلند تر و ابعاد بزرگ‌تر دست یابند. در طی سالیان، [۱۸۴] مشاهده نمود که متخصصین ساخت و ساز به توسعه این روش ادامه دادند و دست سازندگان، طراحان و سرمای گذاران را برای ساخت و سازی خلاقانه تر و به صرفه تر باز تر نمودند. پیرو این موار اتحادیه ساخت و ساز Tilt-up[۱] با هدف توسعه و تالیف آئین نامه‌های معتبر تاسیس شد تا روند رو به رشد این روش نیز ادامه یابد [۱۸۵].

۲-۶-۴-۳ بررسی روش *Tilt-up* از دیدگاه تاب‌آوری:

سیستم Tilt-up منجر به ارتقا خوب زمان تحویل پروژه می‌شود که به ندرت با دیگر روش‌های موجود قابل مقایسه می‌باشد [۱۸۶]. هرچه مدت زمان تحویل یک پروژه سریع تر باشد، پیمانکار در مدت زمان کمتری می‌تواند پروژه جدیدی را آغاز نماید و درآمد بیشتری در سال داشته باشد بنابراین این روش از نظر اقتصادی هم به سازنده و هم به استفاده کننده منفعت قابل توجهی می‌رساند. روش بتن ریزی افقی در محل کارگاه در این روش به این دلیل که هزینه‌های ناشی از حمل و نقل مصالح و جمع آوری ضایعات را به خداقل می‌رساند، این سیستم را از نظر اقتصادی بسیار قرون به صرفه می‌نماید. همچنین استفاده از روش پنل‌های پیش ساخته در این روش به دلیل عدم نیاز به کار در جهت قائم و نتیجتا کاهش هزینه های قالب بندی بسیار اقتصادی می‌باشد[۱۸۷]. در استفاده از این روش، منافع زیادی مورد نظر قرار می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به هزینه‌ها بهبود یافته، دوام و یکپارچگی سازه‌ای، رضایت بهره‌بردار و نگهداری راحت اشاره نمود. این منافع و ویژگی‌ها همچنین منجر می‌شود که روش Tilt-up نیاز به عایق کاری مناسبی داشته باشد که در نتیجه آن سیستمی مقاوم در برابر تغییرات حرارتی خواهد بود. در نهایت این موارد روش Tilt-up را به روشی تاب‌آور که به دلیل هزینه‌های نگه‌داری به نسبت پایین اقتصادی نیز می‌باشد تبدیل نموده است[۱۸۸].

[۱] Tilt-up Concrete Association (TCA)

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

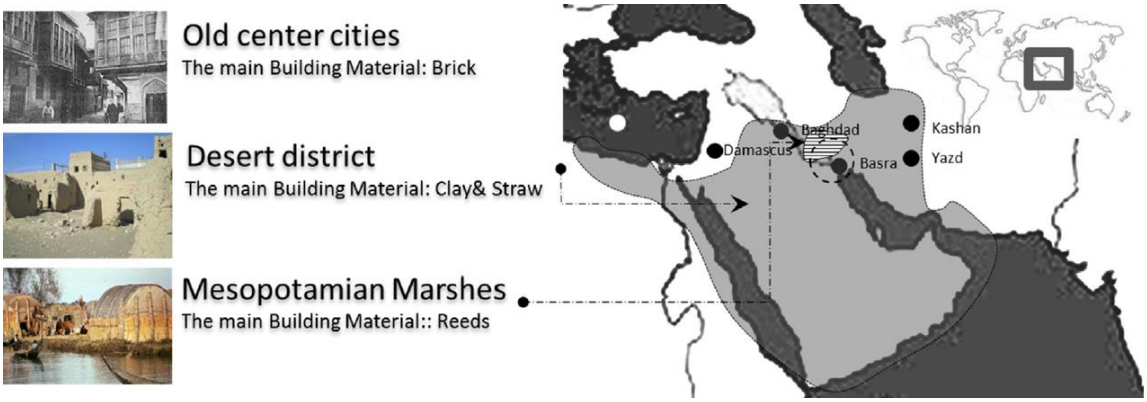
۲-۴-۷ ساخت و ساز با مصالح سنتی

۲-۴-۷-۱ مقدمه

زیستگاه‌های محلی با استفاده از منابع نزدیک و استفاده از آنها برای مقابله با مشکلات ناشی از محیط، فردیت خود را توسعه داده‌اند. اگر باران فصلی ببارد، ساختار سقف نیز باید در فصل خشک عملکرد موثری داشته باشد [۱۸۹]. به وقت گرما، پیوستگی فضای بالای سقف‌های بزرگ با منطقه نشیمن راهکاری عملی است. در مقابله با افزایش دما نیاز به دیوارها و سقف های عایق ضخیم برای حفظ محیط داخلی است [۱۹۰]. مهمترین سوالی که باید به آن پاسخ داده شود این است که رابطه بین شرایط بیرونی، دما، آفتاب، باران و آسایش حرارتی داخلی چیست. برای مناطق مختلف آب و هوایی ، لازم است مساحت، جهت، رنگ و غیره در نظر گرفته شود. اگرچه حل این مسائل از نظر تئوری بسیار پیچیده است، اما می‌توان بین محیط بیرونی و داخلی رابطه تجربی برقرار کرد [۱۹۱]. در طول تاریخ، انسان تلاش کرده است تا پناهگاه‌هایی بسازد که نیازهای اساسی مربوط به بقا را برآورده کند، سرپناهی که محیطی مطلوب برای نیازهای جسمی او فراهم می کند. در طول سال‌ها تلاش او برای دستیابی به چنین محیطی، بسیاری از تغییرات محلی در خانه‌ها را تکامل بخشیده است [۱۹۲]. بر اساس یک گزارش سازمان ملل متحد، هدف از فرایند ساکن شدن، ساختن خانه نیست، بلکه ادامه نسل در یک خانه امن می‌باشد. به عبارت دیگر، خانه باید ایمنی فنی لازم را داشته باشد و از مصالح ارزان قیمت در آن استفاده شده باشد [۱۹۳]. شرایط آب و هوایی، سازندگان را وادار می‌کند تا راه حلی کارآمد برای خدمت به انسان و آسایش او بوجود آورند. مصالح ساختمانی تأثیر مهمی بر عملکرد و راحتی ساکنان خانه دارد. مصالح ساختمانی محلی منجر به ارتقا سطح زندگی انسان شده و تأثیرات منفی استفاده از مصالح غیر اصولی را به شدت کاهش می‌دهد. در آب و هوای غرب آسیا، مصالح محلی با ساختمان‌های سنگین و حیاط‌های سایه دار معمول است. این آب و هواها معمولاً دارای محدوده دمای روزانه زیادی هستند و خانه ها تمایل دارند با ترکیب خاصی که متناسب با ویژگی-های ریز اقلیمی محلی است از این تغییرات استفاده کنند. بنابراین می‌توان گفت، انتخاب و تعیین مصالح ساختمانی محیطی اغلب فرایندهای پیچیده ای خواهد بود [۱۹۴].

سازندگان این مناطق با توجه به سوال فوق الذکر، زیستگاه‌های خود را با شیوه‌ای کارآمد و متناسب با نیازهای انسانی و سازگار با پارامترهای محیطی محلی ایجاد می‌کنند. هر مصالح ساختمانی ویژگی‌های فیزیکی متفاوتی را نشان می‌دهد. بصورت کلی سازه‌ها برای تحمل وزن مرده سقف و دیوارها نیاز به مقاومت قابل قولی دارند. اگر شرایط محیطی طیف وسیعی از مصالح مناسب را پیشنهاد کند، همه آنها با یکدیگر اثر گذار خواهند بود. سرزمین های وسیع غرب آسیا از نظر زمین شناسی و آب و هوا متنوع است [۱۹۵]. این گزارش سعی دارد راه حل‌های مناسبی را ارائه نموده و مصالح ساختمانی مختلف را از منابع مختلف و بر اساس ویژگی‌های بهره وری خانه های محلی مورد مطالعه قرار دهد. درس اصلی که می‌توانیم از این مطالعه بیاموزیم نه تنها حفظ و تصرف مجدد شکل زیستگاه هایی است که در حال حاضر وجود دارد، بلکه تجدید نظر در مورد آنچه می تواند زیستگاه های جدیدی را برای آینده ایجاد کند (شکل (۲- ۱۱۰)).

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

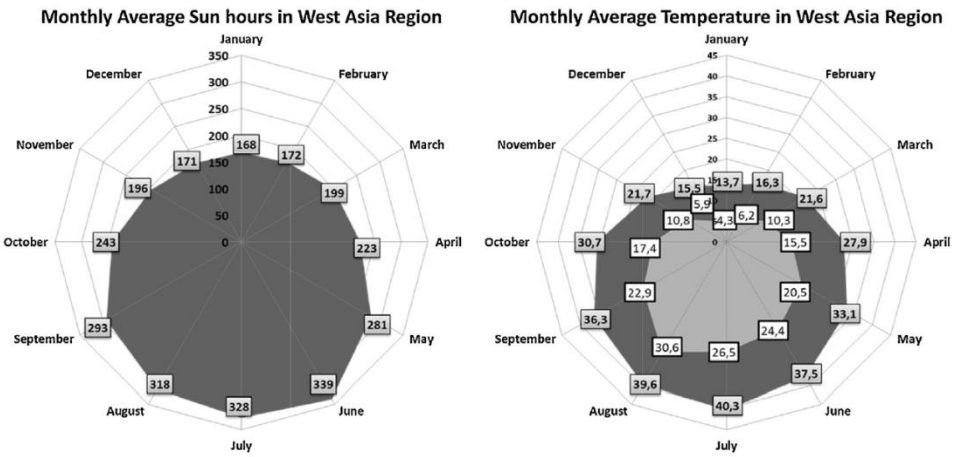


شکل (۲- ۱۱۰) سیستم‌های سنتی ساختمان‌ها در منطقه غرب آسیا

۲-۷-۴-۲ اثرات خاص آب و هوایی بر استفاده بر انتخاب مصالح

آب و هوا عامل اصلی است که به طور مستقیم بر روند ساخت و ساز و انتخاب مصالح ساختمانی در غرب آسیا تأثیر می گذارد. این منطقه در ناحیه آب و هوایی نیمه گرمسیری قرار می‌گیرد که تحت تأثیر کمربند فشار قوی مناطق نیمه گرمسیری قرار دارد که در تابستان به دورترین مناطق شمال نیز می رسد. آسمان در غرب آسیا حتی اگر کمی ابری باشد، روشن و درخشان است. وقتی از خط استوا به بالا حرکت می‌کنیم، تفاوت فصلی آب و هوا با یک فصل مرطوب تر و یک فصل زمستانی خشک تر مشخص می شود [۱۹۶].

عوامل زیادی بر مصالح ساختمانی سنتی آسیای غربی تأثیر می گذارد. تابش خورشیدی با ایجاد واکنش‌های شیمیایی در داخل مواد و ایجاد اکسیداسیون، مواد آلی را خراب می کند. شکل (۲- ۱۱۱) میانگین ماهانه دما و ساعات آفتابی در منطقه غرب آسیا را نشان می دهد. در این منطقه، بناها باید با توجه و اندیشه زیاد و با احترام مناسب به آب و هوا برنامه ریزی شوند. سایه و حفاظت از طوفان و گرد و غبار ممکن است در برخی مناطق دارای بالاترین اولویت باشد، در حالی که در مناطق دیگر، تهویه و به دام انداختن جریان هوا و نسیم اهداف اصلی هستند. تأثیر آب و هوا بر مصالح ساختمانی زیاد است. به عنوان مثال، درجه حرارت بالا می تواند به طور کلی بر همه نوع مواد تأثیر بگذارد. سرعت یک واکنش شیمیایی در هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دما دو برابر می شود [۱۹۷]. علاوه بر این، افزایش سطح رطوبت می تواند وخامت جسمی را افزایش دهد و با ایجاد محیطی برای رشد قارچ های مضر و رشد میکروبی و همچنین حملات حشرات. تغییرات رطوبت نیز باعث از بین رفتن حجم و تنش درون مواد می شود.



شکل (۲- ۱۱۱) آب و هوای متوسط غرب آسیا

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۷-۴-۲ مصالح سنتی مرسوم در مناطق غرب آسیا

یک ساختمان برای اسکان مردم ساخته می‌شود. به این ترتیب، منطقی است که معماران، اعم از کلاسیک، رنسانس، مدرن یا معاصر از بدن انسان به عنوان الهام یا اصل طراحی استفاده کنند [۱۹۸]. پوشش ساختمان مانعی برای مردمان در برابر شرایط جوی خارجی و نوسانات آنها است. سازندگان مناطق غرب آسیا در فرایند انتخاب مصالح ساختمانی سه دسته مختلف را پیش رو دارند؛ مواد معدنی، مواد آلی و مواد مخلوط هستند.

۱-۳-۷-۴-۲ مصالح ساختمانی ساخته شده از مواد ارگانیک یا آلی

این دسته اولین مصالح ساختمانی است که توسط انسان در فرایند ساخت مورد استفاده قرار گرفته است. این منبع از منابع تجدیدپذیر بوده و توسط انسان به راحتی قابل استخراج است. بنابراین، آن‌ها یک ماده اکولوژیکی با ویژگی های خوب بسیاری هستند و بصورت موفقیت آمیز در فرایند ساخت و ساز مورد استفاده قرار گیرند. این مواد، بخش بزرگی از زندگی انسان را تشکیل می‌دهند[۱۹۹]. محبوبیت اصلی این مصالح به دلیل این است که دوستار محیط هستند و بهره وری انرژی به نسبت بالایی دارند. مزایای اصلی این مواد ارزان بودن، رواج و ویژگی های عالی عایق حرارتی و صوتی آن‌ها می‌باشد.

۱-۱-۳-۷-۴-۲ نی

نی یکی از مصالح ساختمانی ارگانیک(آلی) می‌باشد. مقاومت خوبی در برابر آب دارد و حاوی نسبتا بالایی از ماده سیلیکون است که منجر به دوام و انعطاف پذیری آن در عملکرد و ساختارهای فنی می شود. با این حال، این ماده بسیار قابل اشتعال است. غلظت بالای سیلیس در نیزارها این ماده را برای حشرات و دیگر حیوانات جذاب نمی کند. نی برای داشتن عایق کارآمد تمام شرایط را برآورده می کند. فرم ساقه به آن اجازه می دهد تا همه شیوه های ساخت را ممکن سازد [۲۰۰]، همچنین نی یک عایق حرارتی و صوتی عالی بوده و دوام نسبی و انعطاف پذیری در ساخت و ساز یکی از مهمترین ویژگی‌های نی ها است. خواص منحصر به فرد نی برای مدت طولانی در همه مناطق جهان مورد توجه قرار گرفته است [۲۰۱]. تأثیر نی روی باکتری‌های بیماریزا شدید است. نیزارها مناطق باتلاقی شامل چندین نوع گیاه می‌باشند که ساقه آنها از نظر ضخامت، انعطاف پذیری و ترکیب شیمیایی متفاوت است. محبوب ترین نوع نی های مورد استفاده در روند ساخت و ساز "Ihdri" است که بر اساس نام منطقه ای که در آن رشد می‌کند، نامگذاری شده است. ساخت دیوارها با نی نسبت به مصالح دیگر مانند آجر، خشت، یا سنگ نیاز به نیروی کارگری کمتری دارد و به مهارت قابل توجهی نیاز نیست. ساختمان نی باعث انعطاف پذیری و خلاقیت فردی در معماری و شاکل سازه‌ها شده و منجر به سازه هایی می شود که از نظر آب و هوایی سازگار بوده و از نظر انرژی نیز کارآمد هستند. نی دارای معایبی نیز می‌باشد برای مثال ماندگاری طبیعی آن کمتر از چوب است و برای ماندگاری در مکان‌های در معرض دید باید از مواد نگهدارنده استفاده کرد برای حفظ آن استفاده نمود. در شکل (۲- ۱۱۲) نمونه‌ای از پانل ساخته شده از نی برای استفاده به عنوان پوشش ساختمان نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱۱۲) دسته بندی پانل مانند نی‌ها برای استفاده در پوشش خانه‌ها

۲-۱-۳-۷-۴-۲ پوشال (کاه)

پوشال ماده ای با راندمان حرارتی بالا است. ارزش حرارتی بالاتری نسبت به سایر ساختمان‌های سنتی دارد. براساس نوع پوشال، این محصول از ۳۶٪ سلولز، ۲۶٪ پنتوز، ۱۷٪ کتان، موم، پروتئین و خاکستر تشکیل شده است. ترکیبی بسیار شبیه به چوب اما با ویژگی‌هایی متفاوت. پوشال دارای خواص عایق عالی بوده و عملکردهای بیولوژیکی پوشال شامل راستاهای مستقیم آن برای انتقال آب می‌باشد. بنابراین، الیاف پوشال در انتقال رطوبت خوب عمل می کنند و بنابراین رطوبت داخلی را تنظیم می‌توانند تنظیم کنند، به شرطی که نفوذ را از طریق صفحه باز و روکش ها تحمل کنند(ویژگی که در کولرهای آبی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد). نقاط ضعف پوشال عبارتند از خطر آتش سوزی، حمله حشرات و پوسیدگی ناشی از رطوبت طولانی مدت و زیاد [۲۰۲]. پوشال می تواند آسایش بسیار بالایی را به همراه داشته باشد و در مقایسه با سازه های سنتی گران تر، صرفه جویی چشمگیری در مصرف انرژی ایجاد کند، زیرا به دلیل افزایش عایق، سیستم های گرمایش یا سرمایش کوچکتر را در خانه های معمولی امکان پذیر می کند (در شکل (۲- ۱۱۳) نمونه‌ای خانه در حال ساخت به کمک دیوارهای پوشالی نشان داده شده است). ساختمان پوشالی (کاهی) در محیط های شدید که انرژی پرهزینه است از ارزش ویژه ای برخوردار می‌باشند.

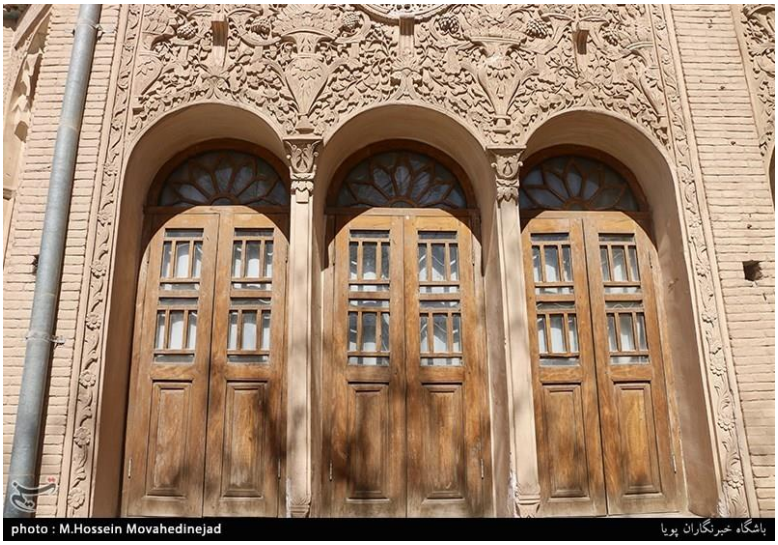
DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱۱۳) خانه در حال ساخت به کمک دیوارهای پوشالی

۳-۱-۳-۷-۴-۲ چوب

چوب یک ماده آلی است، ترکیبی طبیعی از الیاف سلولز (در کشش مقاومت بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند) که در یک ماتریس مقاوم در برابر فشار قرار گرفته است [۲۰۳]. اجزای اصلی چوب عبارتند از سلولز (۴۰ تا ۵۰ درصد) و همی سلولز (۱۵ تا ۲۵ درصد)، با لیگنین (۱۵ تا ۳۰ درصد) و سایر مواد مانند شکر، نشاسته و پروتئین. خواص فنی چوب بستگی زیادی به نوع و میزان رطوبت آن دارد. همچنین شامل عناصر مختلف دیگری بسته به نوع آن است که بو، رنگ و مقاومت آن را در برابر آسیب آفات مشخص می کند. دو نوع چوب وجود دارد، چوب نرم و چوب سخت، که به زیر بخش‌هایی نیز تقسیم می شوند [۲۰۴]. در خانه‌های قدیمی ایران و معماری ایرانی به جهت استفاده از ویژگی‌های بسیار خوب چوب در عایق سازی حرارتی از درها چوبی مشابه شکل (۲- ۱۱۴) به کرات استفاده شده است.



شکل (۲- ۱۱۴) درب‌های چوبی در معماری ایرانی

چوب دارای ارزش کالری بالای بوده (بین ۱۲.۵ MJ/kg و ۲۰.۱ MJ/kg). استفاده مجدد از چوب بدون روکش آسیب ندیده، بدون مشکل است. چوب قدیمی آسیب ندیده به طور معمول می تواند به عنوان ماده اولیه برای تعدادی از کاربردهای مختلف استفاده [۱۸۹]. تبدیل چوب به یک منبع پایدار و تجدیدپذیر برای استفاده به

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

عنوان مصالح ساختمانی اصلی می تواند در مناطق مختلف جهان مفید واقع شود. شکل (۲- ۱۱۵) ساختمانی دو طبقه را نشان می‌دهد که به کل از چوب ساخته شده است.



شکل (۲- ۱۱۵) ساختمان دو طبقه ساخته شده از چوب

۲-۴-۷-۳-۲ مصالح معدنی ساختمانی

مصالح معدنی از منابع تجدید ناپذیر ساخته شده در زمین یا دریا ساخته شده اند. آنها مواد همگن و طبیعی غیر جامد هستند که دارای ساختار بلوری شفاف و ترکیب شیمیایی مشخص هستند [۲۰۵]. سازندگان مناطق غرب آسیا، مصالح ساختمانی خوبی از مناطق محلی پیدا کرده اند. دو مصالح ساختمانی شناخته شده در فرایند ساختمان: خاک رس و آجر که در مقیاس قابل توجه مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۴-۷-۳-۲-۱ رس

امروزه خاک رس تنها چشم انداز عملی را برای ساخت پانصد میلیون خانه که در سال‌های آینده مورد نیاز است، ارائه می دهد[۲۰۶]. توده ای از رس دارای شکل پذیری و استحکام فوق العاده ای بوده و نیروهای چسبندگی و پیوستگی، اصلی‌ترین خواص رس محسوب می شوند.



شکل (۲- ۱۱۶) خانه‌های ساخته از رس سرخ در روستای ابیانه، ایران.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۳-۷-۴-۲ آجر

آجر به عنوان مصالح ساختمانی اصلی در طول تاریخ شناخته شده است. خانه معمولی از دوران سومری‌ها یک ساختمان یک طبقه بود که از آجر گلی پخته یا خشک شده در آفتاب ساخته شده اند. خانه خانوادگی شامل عملکردهای زیر است: اتاق نشیمن، آشپزخانه، حیاط باز، اقامتگاه خدمتکاران و غیره. یک عنصر آجری دارای مقاومت حرارتی عالی می‌باشد [۲۰۷].

این ماده در مصرف انرژی بسیار کارآمد است و می تواند به عنوان یک ماده زیست اکولوژیکی به ویژه در غرب آسیا پذیرفته شود. آجرهای رسی از نظر حرارتی مواد بی اثر تری هستند و واکنش های شیمیایی نسبتاً کمی دارند. بنابراین، آثر گلخانه‌ای آنها محدودتر می‌باشد [۲۰۸]. بازیافت آجرهای گلی یا سفالی به دلیل ملات، گچ و یا چسبی که در ایجاد پیوستگی آنها مورد استفاده قرار گرفته است، می‌تواند فرایندی پیچیده‌ای باشد. با این حال، بازیافت آجر قدیمی آسان تر است زیرا بیشتر آن‌ها از ملات آهک ساخته شده است [۲۰۹].

۲-۴-۷-۳-۳ مخلوط مصالح ساختمانی - رس و پوشال (کاه گل)

این یکی از شیوه های باستانی ساختمان سازی می‌باشد. خاک رس، بی بو، غیر سمی و در ترکیب با پوشال (کاه) خوشایند است و ترکیبی نرم و خمیری از خاک رس و الیاف گیاهی (کاه) ایجاد می کند که می تواند برای پر کردن صفحات در ساختمانهای چوبی با چوب یا فشرده شدن در قالب و یا ساخت آجر و تخته خشت استفاده شود. مخلوط های آماده در حال حاضر در بازار موجود می‌باشند. چگالی مواد ساختمانی مخلوط خاک رس و کاه ۱۷۰۰-۱۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. ترکیبی از خاک رس و کاه یک ماده ناهمگن با خواص حرارتی خوب است [۲۱۰]. شکل (۲- ۱۱۷) نمونه‌ای از خانه‌های کاه گلی در بافت روستایی ایران را نشان می‌دهد.



شکل (۲- ۱۱۷) خانه دو طبقه کاه گلی در روستای قرمزی داش، چالدران، ایران

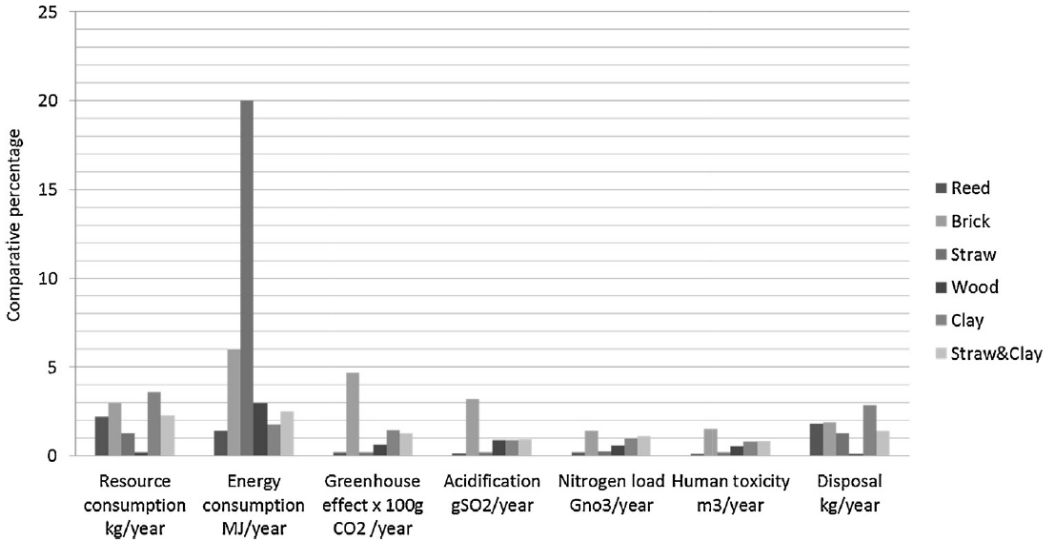
۲-۴-۷-۳-۴ مقایسه مصالح ساختمانی

در شکل (۲- ۱۱۸) تفسیر تحلیلی-مقایسه ای مشخصات پروفایل های زیست محیطی از ۱ متر مربع مصالح مختلف ساختمان را نشان داده شده است. در بحث میزان مصرف منابع سهم تقریبی مصالح ساختمانی محلی یکسان گزارش شده است. هرچند چوب از این قاعده پیروی نمی‌کند. با توجه به نیازهای روز مصرف انرژی در بحث استفاده از مصالح محلی از اهمیت بالایی برخوردا می‌باشد. رتبه اول با اختلاف به پوشال تعلق داشته و دلیل آن را می‌توان روش‌های سنتی تولید آن دانست اما کمترین میزان مصرف انرژی در تهیه یک متر مربع مصالح

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

محلی به نی اختصاص دارد و دلیل آن را میتوان رشد قابل توجه و راحتی کاربرد بدون نیاز به تغییرات چشمگیر در ماهیت آن دانست.

از نظر تولید گازهای گلخانه‌ای، آجر به دلیل پخت در کوره‌های سنتی، بالاترین جایگاه را دارد. تولید یک متر مربع پروفیل آجری تقریبا ۳ و ۶ برابر گاز دی اکسید کربن بیشتری نسبت به رس و کاه تولید می‌کند. اما در مجموع علاوه بر خواص مناسب سازه‌ای که در ادبیات تحقیق برای کاه-گل بسیار ذکر شده است، این ماده براساس نمودارهای مقایسه‌ای-تحلیلی بسیار مناسب می‌باشد.



شکل (۲- ۱۱۸) تفسیر تحلیلی-مقایسه‌ای مصالح ساختمان محلی مورد استفاده در مناطق غرب آسیا

۲-۴-۷-۴ روش های ساخت با مصالح خاک پایه

۲-۴-۷-۴-۱ ساخت و ساز خشتی

آجرهای خشتی از ترکیب خاک پایه رسی، کاه و آب ساخته می شوند. خشت مرطوب به شکل آجر درآمده و سپس چندین روز در آفتاب قرارداده می شود تا خشک شود. از آنها برای ساخت دیوارها استفاده می شود که در این حالت خشت نقش دوغاب را ایفا می کند. روش های ساخت بسته به اقلیم بطور قابل توجهی تغییر می کنند. اکثر خانه ها پوشش نازکی از خشت در سطح خارجی خود دارند تا سطح صافی را که قابل رنگ کردن باشد، ایجاد کنند. خشت را می توان در نواحی روستایی اجرا کرد اما در نواحی شهری، با تراکم های بیشتر استفاده از این مصالح تاب آور معمولاً مناسب نیست [۵]. آجرهای خشتی با ترکیب ماسه (که بعنوان سنگدانه، ۷۵ درصد محتوی حجم را پر می کنند. لای و سنگ نباید استفاده شود)، رس (بعنوان چسباننده، ۲۵ درصد، کل توده را به یکدیگر نگه می دارد) و آب و گاهی اوقات مصالح فیبری معدنی مانند چوب، حصیر یا کود (به منظور افزایش مقدار R) ساخته می شوند. این مصالح بااستفاده از قالب بندی شکل آجر به خود می گیرند که پس از آن قالب را برداشته و برای آجرهای جدید استفاده می شود. پس از آن آجرها زیر نور آفتاب خشک می شوند. گاهی اوقات و زمانی که آجرها نقش پرکنندگی داشته و نقش سازه ای نداشته باشند، می توان در دیوارهای اسکلت از آن ها استفاده کرد. می توان به منظور محافظت آجرها از پلاستر با مصالح زمین استفاده کرد. اندازه ذرات و کیفیت مصالح زمین مورداستفاده برروی کیفیت آجرهای گلی تاثیر خواهد گذاشت [۴].

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

یکی از مصالح پیشنهادی جایگزین خشت سنتی کم دوام و کم مقاومت در روستاها، خشت های تثبیت شده است. این مصالح به ویژه در مورد روش های خودیاری، برنامه های بازسازی و سایر پروژه های مشابه که بر اساس کارگر بسیار ارزان یا مجانی استوار است، بسیار مؤثر می باشد. سیمان به عنوان یک ماده تثبیت کننده برای بسیاری از خاک ها و سنگ دانه ها به طور گسترده ای استفاده می شود. مخلوط های تثبیت شده سیمانی شامل یک سنگ دانه یا خاک آسیاب شده و مقدار معینی سیمان و آب است که با چگالی زیاد متراکم شده و در یک دوره مشخصی کاملاً عمل آوری می شوند. بلوک های خاک- سیمان را تقریبا با هر نوع خاکی که عاری از آشغال، مواد گیاهی و نمک ها باشد می توان ساخت. مناسب ترین خاک ها برای بلوک های خاک – سیمان آنها هستند که دانه بندی خوب داشته و از رس، سیلت و ماسه در نسبت های تقریب مساوی تشکیل شده باشند. آزمایش های انجام شده بر روی خشت های تثبیت شده که با خاک های مناطق مختلف استان های خوزستان، گیلان، زنجان، هرمزگان، سیستان و بلوچستان، آذربایجان شرقی، خراسان و مازندران و آهک، سیمان یا ترکیب سیمان و آهک ساخته شدند ، نشان داد که:

۱-مقاومت خشت ها در برابر عوامل جوی و از جمله پایداری در برابر آب افزایش یافته است

۲- مقاومت فشاری خشت ها افزایش یافته است.

مزایا و چالش های ساخت و ساز خشتی:

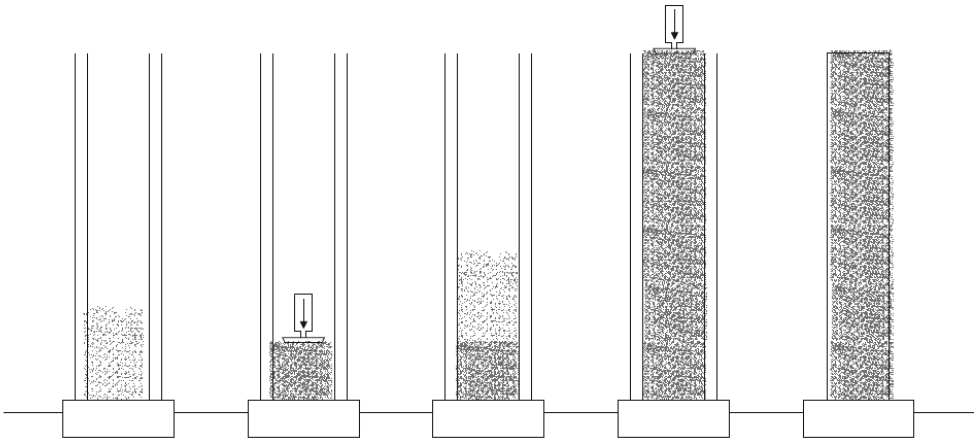
آجرهای خشتی بطور کلی مزایایی مشابه با ساخت و ساز گلی دارند: آجرها قابل بازیافت بوده و تاثیر محیط زیستی و انرژی درونی کمی دارند و همچنین ظرفیت های حرارتی و عایق بندی خوب و مناسبی داشته و ساخت سریع و اقتصادی دارند. خشت تنها ۱ درصد از انرژی مورد نیاز برای تولید آجر یا سیمان پرتلند را لازم دارد، ساختمان سازی با خشت عموماً نیاز به نیروی کارگر زیاد دارد، بنابراین به اقتصاد محلی کمک می کند، انتقال صوتی بسیار کم است، خاک می تواند برقراری تعادل رطوبتی در داخل ساختمان را بهتر از هر مصالح ساختمانی سنتی دیگری انجام دهد، خشت غیر سمی است. یکی از خصوصیات ویژه خشت آن است که می توان آن را در ابعاد مدولار تولید کرد. مزیت دیگر استفاده از خشت آن است که ملات چسباننده آن یعنی گل (به ضخامت ۱/۲ تا ۲/۵ سانتیمتر) به سرعت خشک می شود. سرعت اجرای آن در مقایسه با چینه یا خاک کوبیده که در ادامه معرفی خواهند شد، بیشتر است. خانه های خشتی می توانند در زلزله ها آسیب ببینند که علت اصلی آن تنش های برشی در صفحه دیوار و تنش های خمشی عمود بر دیوار است. اتصالات ضعیف می توانند باعث جداشدگی دیوار در گوشه ها/ افتادن دیوار به سمت خارج و تخریب دیوارها و لبه ها براثر بارهای خارج از صفحه شوند که درنتیجه باعث ریزش بام خواهد شد. دیوارهای خشتی را می توان با قاب ها و المان های چوبی، میله های قائم بامبو که در سوراخ های ۵ سانتیمتری جاگرفته اند در گوشه ها و توسط پشت بندهای میانی یا بتن مسلح در گوشه ها که توسط میلگردهای فولادی تثبیت شده اند، بهسازی کرد. شبکه های سیمی که با ملات پایه آهک پوشیده شده اند و برش های حلقوی از ضایعات لاستیک اتومبیل را نیز می توان برای تسلیح استفاده کرد. سیمان، آسفالت یا روغن موتور ضایعاتی را می توان به منظور پایدارساختن بلوک ها اضافه کرد.

۲-۴-۷-۴-۲ ساخت با مصالح خاک کوبیده شده

خاک کوبیده شده یک سیستم دیوار سازه ای است. خاک کوبیده شده از مخلوط مصالح مرطوب زمین (ماسه، شن و رس و برخی اوقات پایدارساز) ساخته می شود. معمولاً خاک زیرین از نوع ماسه ای انتخاب می شود. مشابه بتن، ماسه و شن بعنوان سنگدانه و لای و رس بعنوان چسباننده عمل می کنند. سیمان را می توان به منظور تثبیت دیوار اضافه کرد که قابلیت دوام را افزایش داده و لذا دیوارها را می توان بدون پلاستر اجرا کرد. ایجاد یک

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

آزمایش کیفیت برای خاک قبل از ساخت دیوار با مصالح متراکم خاک اهمیت دارد. توده خاک با دست یا ابزاری مانند کوبش پنوماتیک در لایه های ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتری درون قابی دارای دو پانل موازی با شکل قالبی یکنواخت با ضخامت ۶۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر و دیواره ای که ارتفاع کمی دارد، فشرده یا کوبیده می شود (شکل (۲-۱۱۹)). پس از فشار به مصالح اجازه داده می شود تا خشک شوند.



شکل (۲- ۱۱۹) دیوار با مصالح کوبیده شده خاک: مخلوط خاک مرطوب لایه به لایه بین دو پانل فشرده می شود و یک دیوار قالبی را شکل می دهد که با مصالح کوبیده شده خاک ساخته شده است [۴].

مزایا و چالش های ساخت با مصالح کوبیده شده خاک: دیوارهای ساخته شده با مصالح کوبیده شده خاک پتانسیل بازیافت؛ طول عمر طولانی؛ ویژگی مناسب مکش که باعث مقاومت زیاد آن ها می شوند؛ و تاب آوری مناسب دربرابر رطوبت و باران های کوتاه دارند. بااین حال، ساخت و ساز با مصالح کوبیده خاک تنها، بدون مقاومت کششی است زیرا مصالح چوبی ندارد. دیوارهای ساخته شده با مصالح کوبیده خاک نسبت به دیوارهای خشتی پایداری بیشتری دارند زیرا شکل یکنواختی دارند. آن ها می توانند تا حدی دربرابر تکان های لرزه ای مقاومت کنند. اما دیوارهای لاغرتری که با این مصالح ساخته شده اند می توانند بااستفاده از شکل های مختلفی که بتوانند نیروهای عمودی را جذب کنند، پایدار شوند. همچنین می توان از چوب قائم یا میله های بامبو که به یک حلقه تیر و فونداسیون ثابت می شوند، در سازه استفاده کرد. عوامل مهم در ساخت خاک فشرده شامل انتخاب خاک، رطوبت خاک در زمان استفاده و میزان فشردن هر لایه می باشد. در روش های سنتی از قالبی با دستک های حجیم چوبی استفاده می کردند که باعث به وجود آمدن نقاط ضعیفی در دیوار می شد و معمولاً ترک هایی افقی در اثر انقباض بین لایه ها ایجاد می شد.

۳-۴-۷-۴-۲ چینه

چینه بطور وسیعی در مناطق استوایی آفریقا استفاده می شود، جایی که خاک های مناسب در مناطق وسیعی قابل دستیابی است. بهترین مخلوط خاک حاوی شن، ماسه، سیلت و رس تقریباً در نسبت های مساوی است. گاهی اوقات علف ریزشده یا کاه نیز به منظور کاهش ترک خوردگی اضافه می شود. درصورتی که محتوی رس زیاد باشد، می توان ماسه را اضافه کرد. خاک سرخ مصالح بسیار خوبی برای دیوار چینه ای است. زمانی که خاک مناسب یافت شود، خاک فوقانی برداشته شده و خاک زیرین خاکبرداری می شود. آب به آرامی به خاک شل اضافه می شود که با لگدمالی آمیخته خواهد شد تا اینکه خاک پیوستگی پلاستیک مرطوبی را بدست آورد. فیبرهای طبیعی درصورت نیاز به منظور تثبیت اضافه می شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

چینه مرطوب بصورت توپ یا تکه با قطر حدود ۲۰ سانتیمتر درآمده تا سپس برروی دیوار چیده می شود تا بخش هایی را با ارتفاع حدود ۶۰ سانتیمتر تشکیل دهد. سمت خارجی دیوار را می توان بصورت صاف درآورد. در آب و هوای خشک و نیمه خشک درصورتی که این دیوار برروی فونداسیون مناسب ساخته شده و توسط پیش آمدگی بام یا ایوان دربرابر باران محافظت شود، ممکن است چندسال دوام آورد.

مزایا و چالش های ساخت با چینه: با داشتن کلاف بندی، بام و پی مناسب و محافظت با اندود خارجی در صورت لزوم، ساختمان چینه ای می تواند عمر طولانی داشته باشد. ترکیب جرم حرارتی زیاد و عایق کاری، آن را برای استفاده در ساختمان های خورشیدی غیرفعال مناسب می سازد. چون چینه درزهای ملات ندارد که در دیوارهای خشتی و آجری وجود دارد، در برابر زلزله مقاوم تر است. چینه کاملاً غیرسمی و قابل بازیافت است. به تولید و مکانیزه بودن به هیچ وجه وابسته نیست و هزینه زیست محیطی فوق العاده پایینی دارد. هزینه اقتصادی آن نیز به همان میزان کم است. کل مخارج دیوارهای یک مسکن کوچک چند صد دلار است. در بخش دون انگلستان حدود ۲۰ هزار خانه چینه ای و بسیاری ساختمان های کنارین وجود دارد که اکثر آنها عمری بین ۲۰۰ و ۵۰۰ سال دارند. بحرانی ترین موضوع طراحی برای ساختمان های چینه ای محافظت از آن در برابر خیس شدگی طولانی است. دیوارهای چینه ای در واقع می توانند مقادیر زیادی آب جذب کنند بدون آن که آسیب ببینند به شرطی که قادر باشند خشک شوند. در ایران دیوارهای چینه ای، شاغولی نبودند. این دیوارها هرچه بلندتر ساخته شوند، ضخامت شان کمتر می شود و این باعث ایستایی دیوار می شود. چینه گلی، خازن حرارت خوبی است چون ضخامت جدار زیاد و جرم حرارتی چینه نیز زیاد است. امتیازات چینه گلی : از نظر ترکیب خاک و جنس آن تا حدود زیادی انعطاف پذیر است. در مواردی که به دلیل جنس خاک و ترک خوردن آن پس از خشک شدن، نمی شود خشت درست کرد، چینه گلی را می توان جایگزین آن نمود. از نظر دانه بندی خاک و شن همراه آن نیز محدودیت خشت را ندارد. خیلی ارزان است. سریع اجرا می شود. اشکال استفاده از چینه های گلی در اتاق ها، ناصاف و غیرقائم بودن این دیوارهاست که به تناسب و زیبایی درون اتاق لطمه می زند. اشکال دیگر دیوارهای چینه ای سنگین بودن آن است که مقاومت کمتری را در برابر نیروهای زلزله فراهم می آورد.

۲-۵ شناسایی الزامات و دستورالعمل‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها

۲-۵-۱ مقدمه

امروزه شواهد قابل توجهی وجود دارد که نشان می دهد تغییرات آب و هوایی در نتیجه فعالیت‌های انسانی در حال رخدادن و تحت تاثیر قرار دادن زندگی بشر است [۲۱۱]. تلاش هایی برای ایجاد تاب‌آوری با استفاده از رویکرد از بالا به پایین [۱] از طریق بخشنامه ها، ابتکارات، دستورات و آئین نامه‌ها صورت گرفته است، علاوه بر رویکرد بالا به پایین، رویکردهای پایین به بالا [۲] نیز توسعه یافته اند و مورد نظر دولت‌ها برای تقویت برنامه تاب-آوری قرار گرفت اند. یکی از نمونه های معمول چنین رویکردهایی، روش‌های ارزیابی می‌باشد که برای اطمینان از کاهش بی وقفه کربن و ساختمان‌های موجود و آینده توسعه یافته اند.

[۱] Top-down approach
[۲] Bottom-up approach

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

BEQUEST[1] ، مبانی درک مشترک اتحادیه اروپا (EU) از توسعه پایدار شهری از طریق یک شبکه بین رشته‌ای از همه عوامل درگیر در تولید، استفاده و نگهداری از فضای ساخته شده را تشکیل می‌دهد.BEQUEST سیاست‌ها، اقدامات و قانون‌گذاری‌های مختلفی را به یکدیگر مرتبط ساخته است که جنبه‌های اقتصادی، اقتصادی-اجتماعی و فنی را بهم پیوند می دهند [۲۱۲]. این برنامه توسط انجمن ساختمان‌های سبز اروپا (EGBF[2]) اتخاذ شده است. استراتژی توسعه پایدار اروپا (ESDS[3]) نیز برای ایجاد تاب‌آوری در اروپا با اهداف کلیدی خود یعنی حفاظت از محیط زیست، برابری و انسجام اجتماعی، اقتصادی و پیشرفت هایی که مسئولیت های بین المللی را برآورده می کنند، ایجاد شده است[۲۱۳]. بعلاوه، برخی از شهرها و شهرهای خاص این ابتکارات را در مراحل بعدی انجام داده اند و برنامه دقیق خود را برای انطباق با تعهدات و مسئولیت های بین المللی برای محیط زیست تهیه کرده اند. فرایبورگ در جنوب غربی آلمان که جایزه "شهر اروپا در سال ۲۰۱۰" را دریافت کرده است، منشور Freiburg (FC) را توسعه داد که شامل چارچوبی برای ترسیم سیاست برنامه ریزی شهری پایدار و تاب‌آور بر اساس ۱۲ اصل می‌باشد. این اصول عواملی مانند اصول مکانی محله هایی که در امتداد خطوط حمل و نقل عمومی توسعه یافته اند و همچنین اصول بنیادی شامل اقتصاد، اشتغال، آموزش، کیفیت طراحی و فرهنگ، اصول رویه ای که امکان دید طولانی مدت، برقراری ارتباط و مشارکت همه ذینفعان را فراهم می آورد را شامل می‌شود [۲۱۴].

لی [۵] پیشنهاد می کند از زمانی که روش BREEAM[۴] برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ راه اندازی شد، تعداد طرح های ارزیابی محیط زیست ساختمان افزایش چشمگیری داشته است. روش های شناخته شده تر شامل رهبری در طراحی انرژی و محیط زیست (LEED[۵]) در ایالات متحده، ستاره سبز در استرالیا، معیارهای ارزیابی عملکرد محیط زیست ساختمان (BEPAC[۶]) در کانادا، استاندارد ارزیابی ساختمان سبز (ESGB[۷]) در چین، طرح مدیریت و حسابرسی محیط زیست (EMAS[۸]) در اتحادیه اروپا، روش ارزیابی محیط زیست ساختمان به علاوه (BEAM Plus[۹]) در هنگ کنگ، طرح ارزیابی جامع برای بهره وری محیط ساخته شده (CASBEE[۱۰]) در ژاپن، معیارهای صدور گواهینامه ساختمان سبز (GBCC[۱۱]) در کره، ابزار ارزیابی ساختمان تاب‌آور (SBAT[۱۲]) در آفریقای جنوبی، سیستم برچسب گذاری ساختمان سبز در تایوان، مارک سبز در سنگاپور، شاخص ساختمان سبز (GBI[۱۳]) در

[1] Building Environmental Quality Evaluation for Sustainability through Time
[2] European Green Building Forum
[3] European Sustainable Development Strategy
[۴] Building Research Establishment Environmental Assessment Method
[۵] Leadership in Energy and Environmental Design
[۶] Building Environmental Performance Assessment Criteria
[۷] Evaluation Standard for Green Building
[۸] Eco-Management and Auditing Scheme
[۹] Building Environmental Assessment Method Plus
[۱۰] Comprehensive Assessment Scheme for Built Environment Efficiency
[۱۱] Green Building Certification Criteria
[۱۲] Sustainable Building Assessment Tool
[۱۳] Green Building Index

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مالزی و روش ارزیابی زیست محیطی استیداما در امارات متحده عربی که رتبه بندی مروارید [۱]را اتخاذ نموده است. همچنین یک چارچوب همکاری بین المللی با عنوان ابزار ساختمان تاب‌آور (SBTool[۲]) وجود دارد.
مکررا مورد بحث قرار گرفته است که بسیاری از روشهای ارزیابی به طور سیستماتیک فاقد معیارهای اختصاصی برای ارزیابی ساختمان فراتر از مرزهای فیزیکی آن هستند [۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸ ،۲۱۹، ۲۲۰]. در نتیجه سوالات جدی در مورد کارآیی ابزارهای ارزیابی محیط زیست مطرح شده است. BREEAM به عنوان قدیمی‌ترین ابزار ارزیابی، بدلیل مزایایی ساده کننده‌ای که ارائه می‌دهد، شناخته شده ترین روش می‌باشد. از طرف دیگر، LEED، عمدتا از BREEAM نشأت گرفته است و در محبوبیت رشد بی سابقه‌ای در سراسر جهان نشان داده است.

CASBEE به عنوان همتای ژاپنی BREEAM با دامنه ارزیابی بسیار گسترده تری، از جمله عوامل بالاتر و فراتر از پوشش ساختمان می باشد. همچنین CASBEE به دلیل منحصر به فرد بودن و جامع بودن، اجازه می دهد مقادیری برابر برای عملکرد تاب آوری کلی داخل و خارج انتخاب شود[۲۲۱]. این امر با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای ۵ سیستم رتبه بندی تاب آوری، انجام شده توسط نگوین و آلتان اثبات شده است[۲۲۲] که نشان دهنده بالاترین امتیاز برابر با ۷۵ برای BREEAM و LEED است و به دنبال آن CASBEE ۶۹.۵، HK BEAM ۶۶ و Green Star ۶۵ می‌باشد. برای انجام تجزیه و تحلیل، BEQUEST، ESDS و FC برای محک زدن معیارهای CSH، LEED و CASBEE ، فراتر از مرزهای فیزیکی ساختمان، در برابر اقدامات توسعه پایدار شهری در اتحادیه اروپا و شهر تاب آور آکادمی شهرسازی در سال مورد استفاده قرار گرفتند.
در ادامه بصورت کلی و به جهت معرفی برخی از دستورالعمل‌ها و آئین نامه‌های مهم در زمینه تاب‌آوری ساختمان‌ها ارائه می‌شود و در آخر مقایسه‌ای کلی در مورد برخی از آنها صورت خواهد گرفت.

۲-۵-۲ آئین نامه خانه‌های تاب آور (CfSH)

۲-۵-۲-۱ معرفی

آئین نامه خانه‌های تاب آور یا CfSH که اولین بار در سال ۲۰۰۶ معرفی گردید، یک روش ارزیابی زیست محیطی برای رتبه بندی و تأیید عملکرد خانه های جدید در انگلستان می‌باشد. CfSH یک استاندارد ملی برای استفاده در طراحی و ساخت خانه های جدید با هدف تشویق به بهبود مستمر در ساخت خانه های تاب آور است. این آئین نامه در دسامبر ۲۰۰۶ رسماً ابلاغ گردید و در سال ۲۰۰۷ به عنوان یک استاندارد داوطلبانه در انگلستان معرفی گردید. این سیستم مکمل سیستم گواهینامه های عملکرد انرژی برای خانه های جدید است که در سال ۲۰۰۸ تحت دستورالعمل عملکرد انرژی ساختمان های اروپا (EEPBD[۳]) معرفی و بر اساس تغییرات اخیر در مقررات ساختمانی در انگلیس و ولز پایه گذاری گردید.
این طرح دولتی، جانشین طرح BRE EcoHomes بود که برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. BRE محتوای فنی این استاندارد را به نمایندگی از اداره جوامع و دولت محلی (DCLG) انجام داد. در نهایت در سال ۲۰۱۵ با انحلال قانون دولتی برای خانه های تاب آور در انگلیس، BRE طرح جدید مصرف کننده را با عنوان مارک کیفیت خانه در انگلستان، ولز، اسکاتلند و ایرلند شمالی راه اندازی کرد [۲۲۳].

---

[۱] Pearl Rating System
[۲] Sustainable Building Tool
[۳] European Energy Performance of Buildings Directive

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۲-۵-۲ توصیفات فنی:

این آئین نامه با اعطای رتبه بندی خانه های نوساز از سطح ۱ تا سطح ۶، بر اساس عملکرد آنها در برابر نه معیار تاب آوری که برای ارزیابی تأثیر کلی زیست محیطی با یکدیگر ادغام نیز شده اند، عمل می‌کند. سطح ۱ سطح ورودی و بالاتر از مقررات ساختمانی بوده و سطح شش بالاترین سطح است که منعکس کننده تحولات مثال زدنی از نظر تاب آوری است.

این معیارها به قرار زیر می‌باشند:

- انرژی و انتشار CO2: انرژی بهره برداری و در نتیجه انتشار دی اکسید کربن به جو (استانداردهای حداقلی مختلفی که باید در هر سطح از آئین نامه رعایت شود).
- آب: اقدامات مربوط به صرفه جویی در مصرف آب داخلی و خارجی.
- مصالح: تأمین منابع و تأثیرات زیست محیطی مصالح مورد استفاده برای ساخت خانه.
- رواناب آب های سطحی: مدیریت رواناب آب های سطحی از منظر خطر سیل.
- پسماند و ضایعات: ذخیره سازی ضایعات و کمپوست قابل بازیافت و مراقبت برای کاهش، استفاده مجدد و بازیافت مصالح ساختمانی.
- آلودگی: استفاده از مواد عایق و سیستم های گرمایشی که به گرم شدن کره زمین کمک نمی کنند.
- سلامتی و رفاه: تأمین کیفیت روشنایی و نور، عایق صدا، فضای خصوصی، قابلیت دسترسی و سازگاری (استانداردهای حداقلی موجود فقط برای کد سطح ۶).
- مدیریت: راهنمای خانگی کاربر، طراحی امنیت و کاهش تأثیرات ساخت و ساز.
- بوم شناسی: حفاظت و ارتقا بوم شناسی منطقه و استفاده بهینه از زمین های ساختمانی.

۲-۲-۵-۳ نگاهی به مزایای آئین نامه خانه های تاب آور:

روش های ساده و ارزان مانند تعبیه سطل های کمپوست و بازیافت و روش های پرهزینه مانند نصب فتوولتائیک خورشیدی برای اعتبار دهی به ساختمان از نظر تاب آوری وجود دارد. پیروی از سطوح بالای این آئین نامه داوطلبانه می‌باشد که دیدی بلند مدت در اختیار مالکان و کارشناسان فروش از نظر افزایش سطح تاب آوری قرار می‌دهد. هزینه اضافی ارتقا تا سطح ۳ حدود ۲۰۰۰-۳۰۰۰ پوند تخمین زده می‌شود. بطور خاص، ارزیابی آئین نامه برروی یک پروژه کوچک، افزایش حدود ۲۰۰۰ پوندی را نشان داده است که کمتر از ۵ درصد کل هزینه های ساخت و بهره برداری می‌باشد [۲۲۴].

سطوح مرتبط با انرژی آئین نامه نیازمند درصد مشخصی از نرخ انتشار سکونتگاهی (DER[۱])، بالاتر از میزان انتشار هدف (TER[۲]) که در قسمت L1A مقررات ساختمان تنظیم شده است، می‌باشد. نسخه اکتبر ۲۰۱۰ با دیدن TER بخش L بصورت معادل به سطح ۳ ارتقا یافته است. به دنبال این تغییر در آئین نامه سطح ۴ به ٪۲۵ بهبود DER نسبت به استاندارد TER بخش L1A مقررات ساختمان و سطح ۵ به ٪۱۰۰ ارتقا آن نیاز دار، یعنی از نظر حرارتی دو برابر کاراتر شده است. همچنین پیش بینی شده بود که مقررات ساختمان و همچنین حداقل سطوح آئین نامه‌های الزامی تا رسیدن به هدف سال ۲۰۱۶ یعنی " انتشار صفر CO2" بهبود یابند.

---

[۱] Dwelling Emission Rate

[۲] Target Emission Rate

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۲ دستورالعمل موسسه تحقیقاتی BRE

۱-۳-۵-۲ معرفی

BREEAM، روش ارزیابی زیست محیطی موسسه تحقیقات ساختمان (BRE) است که برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ در انگلستان راه اندازی شد. این استانداردها بهترین نتایج را برای عملکرد محیطی ساختمان‌ها از طریق طراحی، مشخصات، ساخت و بهره برداری تعیین می کنند.

راهنمای سبز برای مشخصات [۱]، که به آن راهنمای سبز نیز گفته می شود، بخشی از BREEAM است که اولین بار توسط BRE در سال ۱۹۹۶ منتشر شد و یک راهنمای ساده برای تأثیرات زیست محیطی مصالح ساختمانی بر اساس داده های عددی و شامل بیش از ۱۵۰۰ مشخصه برای شش نوع ساختمان عمومی، تجاری، آموزشی، مراقبت های بهداشتی، خرده فروشی، داخلی وصنعتی بود.

رتبه بندی محیطی بر اساس ارزیابی چرخه زندگی[2] (LCA)، با استفاده از روش مشخصات محیط زیست BRE انجام می شود و بر اساس مقدماتی تنظیم شده اند تا کاربران بتوانند مصالح و اجزا را هنگام تهیه مشخصات با یکدیگر مقایسه کنند. از جمله این اجزا می‌توان به دیوارهای خارجی، دیوارها و پارتیشن های داخلی، پشت بام ها، طبقه همکف و بالا، پنجره ها، عایق کاری، محوطه سازی و کفسازی اشاره نمود.

داده ها به عنوان یک سیستم رتبه بندی A+ تا E تنظیم می‌شوند، به طوری که A+ نشان دهنده بهترین عملکرد محیطی و E بدترین عملکرد است. خلاصه ای از رتبه بندی ها توسط رتبه بندی The Green Guide ارائه شده است، که اندازه گیری تأثیرات کلی زیست محیطی را براساس تغییرات اقلیمی، استخراج آب، استخراج منابع معدنی، کاهش اوزن استراتوسفر، سمیت انسانی، مسمومیت با محیط زیست به آب شیرین، زباله های هسته ای (سطح بالاتر)، مسمومیت با طبیعت برای زمین، دفع زباله، کاهش سوخت فسیلی، اوتروفیکاسیون، ایجاد ازن فتوشیمیایی و اسیدی شدن پوشش می‌دهد. این موارد دست ارزیاب ها را برای انتخاب هریک از موارد براساس اولویت و نیاز پروژه خود باز می‌گذارد.

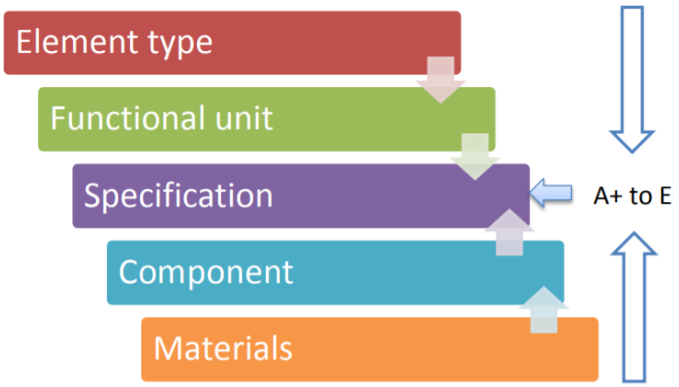
مشخصات بیان شده در دستورالعمل سبز استفاده از مراحل چرخه زندگی در یک دوره مطالعه ۶۰ ساله ارزیابی می شود که شامل مراحل ساخت، نصب و راه اندازی، بهره برداری (شامل تعمیر و نگهداری)، دفع نهایی در هنگام تخریب (صرف نظر از هر زمان بیش از دوره مطالعه ۶۰ ساله، تخریب اتفاق می افتد) می‌باشد.

۲-۳-۵-۲ کلیاتی در رابطه با رتبه بندی *A+* تا *E* دستورالعمل سبز:

شکل زیر چگونگی جریان اطلاعات برای تولید رتبه بندی راهنمای سبز را برای هر دسته مقدماتی بیان می کند: نوع عضو، واحد عملکردی را که مشخصات برمبنای آن طراحی می‌شود را تعیین می کند. سپس مشخصات با استفاده از داده های LCA مربوط به مصالح (در جایی که مصالح بهم پیوند خورده اند، به عنوان مثال تخته گچ و رنگ، سپس به عنوان یک عضو واحد قابل استفاده در تمام مشخصات مربوطه) مدل می شوند (شکل (۲- ۱۲۰)) [۲۲۵].

[1] Green Guide for specification
[2] Life-Cycle assessment

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۲- ۱۲۰) جریان اطلاعات رتبه بندی دستورالعمل سبز [۲۲۵]

۲-۵-۴ دستور العمل LEED

۲-۵-۴-۱ معرفی

رهبری در طراحی انرژی و محیط زیست (LEED) یک برنامه صدور گواهینامه ساختمان سبز است که در سراسر جهان مورد استفاده قرار می گیرد[۲۲۶] و توسط شورای غیرانتفاعی ساختمان سبز ایالات متحده (USGBC[۱]) توسعه یافته است و شامل مجموعه ای از سیستم های رتبه بندی برای طراحی، ساخت، بهره برداری و نگهداری ساختمان های سبز، خانه ها و محله ها است که هدف آن کمک به مالکان و تصمیم گیران صنعت ساختمان در محیط زیست می‌باشد. تا سال ۲۰۱۵، بیش از ۸۰،۰۰۰ ساختمان دارای گواهینامه LEED و بیش از ۱۰۰،۰۰۰ متخصص LEED معتبر وجود داشت. بیشتر ساختمان‌های دارای گواهینامه LEED در کلانشهرهای بزرگ ایالات متحده واقع شده اند. LEED کانادا یک سیستم رتبه بندی جداگانه برای مقررات و آب و هوای آن کشور ایجاد کرده است.

برخی از آژانس های فدرال ایالات متحده، ایالت ها و دولت های محلی، گواهینامه LEED را الزامی نموده اند و یا به آن پاداش می دهند. این می تواند شامل اعتبارات مالیاتی، کمک هزینه منطقه بندی، هزینه های کاهش یافته و مجوزهای سریع باشد. مطالعات نشان داده است که فضاهای اداری LEED که بصورت موقت و اجاره ای واگذار می‌شوند، عموماً سطح تصرف بالاتر و نرخ سرمایه کمتری دارند.

LEED به جای استفاده از ابزار اندازه گیری عملکرد، یک ابزار طراحی است و بیشتر بر روی مدل سازی انرژی تمرکز دارد تا مصرف واقعی آن و فاقد خواص اقلیمی است و به دلیل سیستم نقطه ای مورد انتقاد قرار گرفته است که می تواند انتخاب های نامناسب طراحی را در اختیار قرار دهد و صرفه جویی در انرژی را به ضعیف ترین قسمت ارزیابی تبدیل کند. همچنین به دلیل پدیده "مغز LEED" که در آن ارزش روابط عمومی گواهینامه LEED باعث پیشرفت ساختمان ها می شود مورد انتقاد قرار گرفته است.

روند گواهی نمودن ساختمان به کمک LEED به این شرح می‌باشد که گواهینامه LEED توسط موسسه صدور گواهینامه ساختمان سبز (GBCI[۲]) اعطا می شود، که تأیید شخص ثالث را در مورد انطباق پروژه با الزامات LEED ترتیب می دهد. مراحل صدور گواهینامه برای تیم های طراحی شامل برنامه طراحی، تحت نظر معمار و

---

[۱] U.S. Green Building Council

[۲] Green Building Certification Institute

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مهندس و مستند در نقشه های رسمی ساخت و ساز و برنامه ساخت تحت اختیار پیمانکار ساختمان و مستند شده در هنگام ساخت و راه اندازی ساختمان می‌باشد.
برای ثبت ساختمان و ارائه برنامه های طراحی و ساخت، هزینه‌هایی لازم است. کل هزینه ها بر اساس مساحت ساختمان ارزیابی می شود و از حداقل ۲۹۰۰ دلار تا بیش از ۱ میلیون دلار تغییر می‌کند[۲۲۷]. هزینه های "نرم" (هزینه های اضافه شده به پروژه ساختمان برای واجد شرایط بودن گواهینامه LEED) ممکن است از ۱٪ تا ۶٪ کل هزینه پروژه باشد. متوسط افزایش هزینه حدود ۲٪ یا ۳ تا ۵ دلار اضافی برای هر فوت مربع بوده است [۲۲۸].

۲-۴-۵-۲ مدلسازی انرژی به کمک *LEED*:

متقاضیان این گزینه را دارند که با ساختن مدل‌های انرژی امتیازات اعتبار سنجی را بدست آورند. پیوست G دستورالعمل ASHRAE 90.1 یک مدل ساختمان را همانطور که طراحی شده نشان می دهد و مدل دوم نمایانگر ساختمان پایه در همان مکان با هندسه و سطح تصرف یکسان می‌باشد. بسته به مکان (آب و هوا) و اندازه ساختمان، استاندارد، الزامات مربوط به نوع سیستم گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) و تعاریف دیوار و پنجره را ارائه می دهد. این امکان مقایسه با تأکید بر عواملی می باشد که به شدت بر مصرف انرژی تأثیر می-گذارند. تعداد امتیازات کسب شده در این سیستم اعتبار سنجی متناسب با ذخیره انرژی پیش بینی شده می‌باشد. این روش به دلیل پیش بینی نادرست مصرف واقعی انرژی مورد انتقاد قرار گرفته است. USGBC اذعان می کند که "اطلاعات فعلی نشان می دهد که اکثر ساختمان ها عملکرد مطلوبی را آنطور که معیارهای طراحی نشان می دهد، ندارند. در نتیجه، ممکن است صاحبان ساختمان مزایایی که به آنها وعده داده شده را کسب نکنند" [۲۲۹].
روند سیستم رتبه بندی LEED برای خانه های ایالات متحده آمریکا، کانادا و سوئد، تفاوت قابل توجهی با سیستم رتبه بندی LEED NC دارد. پروژه های LEED for Homes غالبا ساختمان‌های کوتاه مرتبه مسکونی هستند و ملزم به همکاری با یک سازمان ارائه دهنده آمریکایی یا کانادایی و یک رتبه دهنده سبز می‌باشند. سازمان ارائه دهنده، ضمن نظارت بر رأی دهندگان سبز، با کمک افرادی که دو مورد بازرسی اجباری از محل پروژه انجام می دهند به پروژه کمک می کند. این بازرسی‌ها شامل بازرسی بای پس حرارتی و بازرسی نهایی می-باشد. اگرچه صنعت ساخت و ساز به طور معمول LEED برای خانه ها را ساده تر از LEED NC تلقی می کند، اما مورد دوم نیازی به بازرسی در محل ندارد.

۲-۴-۵-۳ نگاهی به معایب و مزایای آیئن نامه *LEED*:

در نظر می‌باشد که ساختمان های دارای گواهینامه LEED در مقایسه با سازه های معمولی که فقط با آئین نامه-های الزامی ساختمان بازرسی می شوند، از منابع به طور کارآمدتری استفاده کنند. با این حال، تجزیه و تحلیل داده های استفاده از انرژی و آب از شهر نیویورک نشان می دهد که صدور گواهینامه LEED لزوماً ساختمان را در این موارد کارا تر نمی کند [۲۳۰].
غالباً ، وقتی رتبه بندی LEED دنبال می شود، هزینه طراحی و ساخت اولیه افزایش می یابد. ممکن است اجزای ساختمانی تولید شده متناسب با مشخصات LEED در دسترس نباشد. همچنین هزینه های بیشتری در مکاتبات USGBC، مشاوران طراحی LEED و استخدام مرجع راه اندازی مورد نیاز وجود دارد که به تنهایی برای یک پروژه با مسئولیت محیط زیست ضروری نیست.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

طرفداران این آئین نامه، استدلال می کنند که این هزینه های اولیه بالاتر می تواند با صرفه جویی در طول زمان نسبت به هزینه های پایین ساخت و بهره برداری صنعت مرسوم ساختمان خنثی شود. هزینه یابی چرخه عمر[1] روشی است برای ارزیابی کل هزینه ی مالکیت، با در نظر گرفتن تمام هزینه های تملک، بهره برداری و دور ریز یک ساختمان. بازپرداخت اضافی همچنین ممکن است به صورت افزایش بهره وری کارکنان در نتیجه کار در یک محیط سالم باشد. مطالعات نشان می دهد که یک سرمایه گذاری اضافی اولیه ۲٪ بیش از ده برابر سرمایه اولیه در طول چرخه عمر ساختمان تولید می کند [۲۳۱].

USGBC پشتیبانی خود را از طرح معماری ۲۰۳۰ اعلام کرده است، تلاشی که هدف آن ساختن یک ساختمان بدون انرژی ساطع کننده گازهای گلخانه ای تا سال ۲۰۳۰ است. در حال پیشرفت به این سمت، بخشی از گواهینامه های موجود LEED، Living Building Challenge (LBC) در حال حاضر سخت ترین پروتکل طراحی پایدار است و دارای ۲۰ ضرورت [۲۳۲] می‌باشد که مالکان ساختمان، طراحان، اپراتورها و مستاجران را فراتر از سطح فعلی رتبه بندی LEED الزام می کند.

LEED یک ابزار طراحی است و نه یک ابزار اندازه گیری عملکرد، همچنین هنوز مختص آب و هوا نبوده است؛ اگرچه سعی شده است در جدیدترین نسخه‌های آن به این موارد پرداخته شود. به همین دلیل، ممکن است طراحان برای انتخاب طرح برای بدست آوردن امتیاز LEED ترغیب گردند، حتی اگر این انتخاب برای پروژه خاص مطلوب نباشد. علاوه بر این، LEED خاص انرژی نیست که فقط عملکرد کلی را اندازه گیری می کند، بلکه به سازندگان اجازه می دهد تا نحوه دستیابی به امتیازات را در دسته های مختلف انتخاب کنند. بررسی USA Today نشان داد که ۷۱۰۰ پروژه تجاری تجاری دارای مجوز، اهداف سبز ارزان مانند ایجاد فضاهای سالم و ایجاد نمایشگرهای آموزشی در ساختمان را هدف قرار داده اند. تعداد کمی از سازندگان به دلیل وجود هزینه اولیه زیاد، انرژی های تجدیدپذیر را پذیرفته اند.

۲-۵-۵ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران

مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در سال ۱۳۷۰ به تصویب هیات وزیران رسید و اجرای آن در ساختمان‌های کشور الزامی شد. لیکن با گذشت قریب سه دهه از لازم الاجرا شدن آن، بدلایلی از جمله عدم انتفاع سازندگان ساختمان از کاهش هزینه های انرژی هنگام بهره برداری از ساختمان این مبحث تاکنون به میزان اندکی در کشور اجرایی شده است. این مبحث چندین بار بازنگری شده که نسخه نهایی مصوب آن در سال ۱۳۹۸ تهیه شده است. این نسخه بعد از چاپ به کلیه ارگان‌های کشوری ابلاغ شده است. موارد مورد توجه در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان عبارتند از:

- عایق کاری پوسته خارجی ساختمان (عایق‌کاری کف، پیلوت، سقف نهایی و دیوارهایی که از یک طرف با فضای خارج و یا فضای کنترل نشده و از طرف دیگر با فضای کنترل شده داخل ساختمان در ارتباط هستند)
- نصب پنجره های دو جداره با قابهای ترمال برک، چوبی یا UPVC
- عایق کاری کانالهای هوا، لوله های تأسیسات و سیستم تولید آب گرم، منبع و...
- نصب سیستم های کنترل کننده موضعی نظیر شیرهای ترموستاتیک بر روی رادیاتورها
- نصب سیستم های کنترل مرکزی هوشمند و مجهز به سنسور اندازه گیری دمای محیط

[1] Life-Cycle costing

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- نصب سیستم های روشنایی و انرژی الکتریکی با راندمان بالا

میزان عایق کاری حرارتی ساختمان ها، در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، با محاسبه ضریب انتقال حرارت پوسته خارجی ساختمان و مقایسه آن با حداکثر میزان مجاز آن (ضریب انتقال حرارت مرجع) تعیین می شود.

حداکثر میزان مجاز ضریب انتقال حرارت مصالح در اقلیم های مختلف متفاوت بوده و در سه گروه نیاز انرژی زیاد، متوسط و کم تعیین شده است. در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان برای محاسبه ضرایب انتقال حرارت، ملاحظات مربوط به اینرسی حرارتی، نوع فضای خارجی مجاور جدار، شاخص خورشیدی، پل های حرارتی و ... نیز منظور می شود. اکثر مردم بر این تفکرند که اجرای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان سبب افزایش هزینه‌های ساختمان می‌شود. این در حالی است که چنانچه این مبحث در ساختمان بدرستی اجرا شود، علاوه براینکه هزینه‌های اولیه ساخت را کاهش می‌دهد، با توجه به صرفه‌جویی انجام شده در هزینه‌های بهره‌برداری و مصرف انرژی ساختمان، برای مصرف‌کننده سودآور نیز خواهد بود. با اجرای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان شامل عایق‌کاری سیستم تاسیسات و لوله‌ها، عایق‌کاری جداره خارجی ساختمان و نصب پنجره‌های دوجداره استاندارد در ساختمان کمتر از ۵٪ سبب افزایش هزینه‌های ساختمان در این قسمت می‌شود، ولی ازطرف دیگر ظرفیت سیستم گرمایش و سرمایش مورد نیاز ساختمان را می‌توان تا ۴۰٪ نسبت به شرایطی که این مبحث اجرا نمی‌شود، کوچک‌تر انتخاب کرد که به نوبه خودکاهش زیاد هزینه‌ها را در این قسمت شامل می‌شود. بنابراین چنانچه در طراحی و ساخت ساختمان اصول اولیه مهندسی رعایت شود علاوه بر ایجاد فضای مناسب برای زندگی ساکنین و افزایش سطح رفاه جامعه، سبب کاهش هزینه‌های اولیه نیز می‌شود. بطورکلی می‌توان از مزایای اجرای مبحث ۱۹ مقررات ملی در ساختمان موارد زیر را نام برد:

- کمک به اقتصاد خانواده
- افزایش رفاه نسبی در نتیجه مصرف صحیح انرژی
- کمک به اقتصاد ملی
- کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش آلودگی‌های ناشی از آن
- امکان برقراری دمای ثابت
- تنظیم دمای دلخواه در اتاق به منظور تامین شرایط آسایش
- کاهش ظرفیت اولیه سیستم گرمایش و سرمایش تا ۴۰%
- کاهش استهلاک سیستم گرمایش و سرمایش
- توزیع متعادل حرارت و امکان برقراری دماهای متفاوت در هر اتاق
- کاهش حداقل ۵۰٪ مصرف سوخت و هزینه‌های مربوطه

در ویرایش جدید مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، برای رعایت ضوابط آیین نامه ماده ۱۸ قانون اصلاح الگوی مصرف سه رده انرژی تعریف شده است:

ساختمان های منطبق با مبحث ۱۹(EC)

ساختمان کم انرژی (EC+)

ساختمان بسیار کم انرژی (EC++)

بطوری که طبق این دسته بندی ساختمان های منطبق با مبحث ۱۹ (EC) دارای پائین ترین رده ساختمان بوده و دستیابی به این رده در ساختمان ها و رعایت الزامات آن اجباری است. مقایسه رویکرد طراحی مبحث ۱۹ در ویرایش سال ۱۳۸۹ با ویرایش جدید به شرح جدول (۲- ۳۴) می باشد:

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

جدول (۲- ۳۴) مقایسه رویکرد ویرایش جدید مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان با ویرایش سال ۱۳۸۹

رویکرد ویرایش جدید	رویکرد ویرایش مصوب سال ۱۳۸۹
پوسته خارجی تاسیسات مکانیکی تاسیسات برقی و روشنایی سیستم تجدیدپذیر (اختصاصی ویرایش جدید) ضوابط اجباری	پوسته خارجی ساختمان
روش تجویزی	روش کارکردی
روش موازنه (کارکردی)	روش تجویزی
روش نیاز انرژی (اختصاصی ویرایش جدید)	تاسیسات مکانیکی
روش کارایی انرژی (اختصاصی ویرایش جدید)	سیستم روشنایی و تجهیزات الکتریکی

۲-۵-۶ مقایسه برخی از این دستورالعمل‌ها

۲-۵-۶-۱ شباهت‌ها و تفاوت‌های *CfSH* و *LEED*

CfSH و LEED برای خانه ها از سال ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفته اند و اکنون بسیاری از ساختمان‌ها در سراسر جهان براساس این روش‌های ارزیابی رتبه بندی می شوند [۲۱۵ ، ۲۲۲]. LEED در ابتدا بر اساس BREEAM ساخته شد [۲۳۳]. بنابراین هر دو روش دارای پارامترهای ارزیابی مشابهی با هدف افزایش بهره وری انرژی [۲۱۶ ، ۲۳۳] و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای هستند [۲۱۵]. هر دو روش ارزیابی همچنین از یک قالب چک لیست تشکیل می شود که اهداف عملکردی بر اساس آن تعیین می شود و به آن اعتبار اختصاص می یابد. تفاوت اصلی این دو در روند صدور گواهینامه است.

CfSH ارزیابان را آموزش داده است که برای BRE کار کنند، شواهد ارائه شده را بر خلاف شرایط لازم بررسی می کنند و سپس گزارشی را به BRE ارائه می دهند، و نهایتا گواهی را به سازنده اعطا می کنند. با توجه به LEED برای خانه ها، لازم نیست که یک ارزیابی کننده وجود داشته باشد. با این حال با استفاده از ارزیاب اعتبار اضافی در نظر گرفته می شود. از نظر معیارهای ارزیابی نیز تفاوت های جزئی بین دو روش وجود دارد، به عنوان مثال CfSH شامل یک معیار منحصر به فرد در مورد "اکولوژی" است در حالی که LEED اینگونه نمی‌باشد. از طرف دیگر، LEED دارای یک پارامتر ارزیابی به طور خاص برای بهبود کیفیت محیط داخلی است در حالی که CfSH فاقد چنین پارامتر مشابه است.

۲-۵-۶-۲ شباهت‌ها و تفاوت‌های *CfSH* و *CASBEE*

این دو روش ارزیابی از نظر پارامترهای ارزیابی شباهت های زیادی دارند که CASBEE شامل "صرفه جویی در مصرف انرژی و آب" و CSH شامل "انتشار انرژی و CO2" و "آب" است. با این حال CASBEE و CfSH برای آب و هوای مختلف، در زمینه های فرهنگی و صنعتی مجزا طراحی شده اند. بنابراین این دو تفاوت زیادی در پارامترهای و روش ارزیابی دارند. CfSH متشکل از یک قالب چک لیست است در حالی که CASBEE یک ساختار "متکبرانه" را اتخاذ می کند. از نظر فرمول مورد استفاده هیچ قرابتی بین این دو روش وجود ندارد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

CASBEE's Building Environment Efficiency (BEE) یک نرم افزار آنلاین خود ارزیابی است، این برنامه در حالی که قالب چک لیست CfSH تجویزی دارد اما براساس خواست ارزیاب می‌تواند تغییراتی داشته باشد. سرانجام معیارهای ارزیابی CfSH در درجه اول سطح تاب‌آوری ساختمان را از داخل کل ساختمان مورد هدف قرار می دهد تا انرژی و کاهش CO2 را مورد بررسی قرار دهد، در حالی که CASBEE وزنی برابر برای تعیین کمیت بارهای محیطی داخلی و خارجی تعیین می کند. در نتیجه ، CASBEE برای خانه ها تجزیه و تحلیل جامع تری از تاب آوری ساختمان ایجاد می کند [۲۳۴]، زیرا به طور ویژه بر معیارهای خاصی تمرکز نمی کند. اما اگر ساختمان از نظر چندین عامل تاب‌آوری متعادل باشد، امتیاز بالایی را ارائه می دهد. این نتیجه با آنچه برخی از محققان مانند بنتیگنا و همکاران ارائه نموده اند، مطابقت دارد.

۲-۶ مراجع

[۱] مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ، صرفه جویی در مصرف انرژی. تهران: دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹

[2] T. Hoye, "Community Green : Sustainable Energy for Affordable Housing," Milwaukee, Wisconsin, 2013.

[3] J. Kim and B. Rigdon, "Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials", College of Architecture and Urban Planning, The University of Michigan, 1998.

[4] E.-L. Hannula, "Go Green: A Handbook of Sustainable Housing Practices", United Nations, 2012.

[5] J. Bredenoord, "Sustainable Housing and Building Materials for Low-income Households," *J. Archit. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 01, pp. 1–9, 2016.

[6] The Getty Conservation Institute, "Earth as building material.", www.getty.edu/conservation, 2011.

[7] A. B. Poole and R. Hughes, "Materials for construction in deserts,", *Geological Society London Engineering Geology Special Publications,* vol. 25, pp. 301–346, 2012.

[8] "Global Overview of Construction Technology Trends: Energy Efficiency in Construction," *HABITAT*, http://digicollection.org/eebea/en/d/Jh1661e/, 1995.

[9] J. A. Noël, S. Kahwaji, L. Desgrosseilliers, D. Groulx, and M. A. White, "Phase change materials," in Storing Energy With Special Reference to Renewable Energy Sources, Nova Scotia: Elsevier Inc., 2016.

[10] E. M. Alawadhi, "The design, properties, and performance of concrete masonry blocks with phase change materials," *in Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks, Design, Properties and Durability*, Woodhead Publishing, pp. 231–248, 2014.

[11] J. Kosny, N. Shukla, and A. Fallahi, "Cost Analysis of Simple Phase Change Material-Enhanced Building Envelopes", Cambridge, 2013.

[12] D. K.Biswas, "9 - Nano-based phase change materials for building energy efficiency," *in Start-Up Creation The Smart Eco-Efficient Built Environment,* Woodhead Publishing, pp. 183–211, 2016.

[13] A. Pasupathy, R. Velraj, and R. V. Seeniraj, "Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 1, pp. 39–64, 2008.

[14] C. Norvell, D. J. Sailor, and P. Dusicka, “The Effect of Microencapsulated Phase-Change Material on the Compressive Strength of Structural Concrete,” *Green Build.*, vol. 8, no. 3, pp. 116–124, 2013.

[۱۵] ش. منصوری, ج. پیرکندی and ا. افشاری, "بررسی نقش مواد تغییر فاز دهنده در مدیریت مصرف انرژی ساختمانها," انرژیهای تجدیدپذیر و نو، ۲۸-۳۸، ۱۳۹۴.

[16] A. Bland, M. Khzouz, T. Statheros, and E. I. Gkanas, “PCMs for Residential Building Applications: A Short Review Focused on Disadvantages and Proposals for Future Development,” *Buildings*, vol. 7, no. 78, pp. 70–78, 2018.

[17] Zeybek, O, “Energy Savings of Primary School Buildings in Turkey Through Energy Efficient Renovation Strategies in Building Envelope,” Istanbul Technical University, 2009.

[18] Ozdemir, BB, “Energy efficient building design as passive systems for a sustainable environment,” Istanbul Technical University, 2005.

[19] Yilmaz, AZ, “Smart Buildings and Renewable Energy,” in 7th Ulusal Tesisat, 23–26 Kasım, pp. 1–8, 2005.

[20] Olgyay, V, “Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism”, Princeton, New Jerse: Princeton Unievrsity Press, 1969.

[21] Lechner, N, “Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects”, Canada: John Wiley Sons, 1991.

[22] Lam, JC, Wan, KKW, Tsang CL and Yang, L, “Building energy efficiency in different climates*”, Energy conservation and management*, 49 (8): 2354-2366, 2008.

[23] Soyal, S, “Relation Between Design Parameters and Energy Consumption in Housing Buildings,” Gazi University, 2008.

[24] Mohsen, MS, Akash, BA, “Some prospects of energy savings in buildings Amman”, *Energy Conservation and Management*, 42(11): 1307-1315, 2001.

[25] Chance, T, “Towards sustainable residential communities,” *Environ. Urban.*, vol. 21, no. 2, pp. 527–544, 2009.

[26] Goksal, T, Ozbalta, N, “Low Energy Building Designs in Energy Conservation,” Mühendis ve Makine, vol. 43, no. 506, pp. 26–32, 2002.

[27] Daniels, K, “The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures, Examples and Ideas”, Basel Boston: brikhauser Verlag, 1979.

[28] Yuksek I, Esin, T, “Analysis of traditional rural houses in Turkey in terms of energy efficiency,” *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 32, no. 6, pp. 643–658, 2013.

[29] Briefing note 33: The impacts of construction and the built environment,” Willmott Dixon Re-Thinking Ltd., URL: www.willmottdixon.co.uk/asset/download/9462, 2010.

[30] Donnelly, J, “Energy Efficiency in Traditional Buildings”, Dublin, Ireland: Stationary Office, 2011.

[31] Lenzen M, Treloar GJ, “Embodied energy in buildings: wood versus concrete- reply to Borjesson and Gustavsson,” Energy Policy, 30:244-249, 2002.

[32] Olgyay, V., “Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism”, Princeton, New Jersey, 1969.

[33] Naidj JS, “A Comparative Study of Passive Solar Building Simulation Using Hot2000, TRN-SYS14, NETSPEC,” Trent University, Peterborough, Ontario, Canada, 1998.

[34] Anonymous, Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future, Inter Academy Council,

URL: http://www.interacademycouncil.net/File.aspx?id=24548, 2007.

[35] Lam JC, Wan KKW, Tsang CL, Yang L, "Building energy efficiency in different climates," *Energy Conversion and Management*, 49(8): 2354-2366, 2008.

[36] Esin, T, "Appropriate material selection for sustainable building," *Build. Mag.,* vol. 291, pp. 83–86, 2006.

[37] Berge, B, "The Ecology of Building Materials". Oxford: Architectural Press, 2009.

[38] Huberman, N, Pearlmutter, AD, "Life cycle energy analysis of building materials in the Negev desert," *Energy Build.,* vol. 40, no. 5, pp. 837–848, 2008.

[39] Yuksek, İ, "The Evaluation of Building Materials in Terms of Energy Efficiency," *Period. Polytech. Eng.,* vol. 59, no. 1, pp. 45–58, 2015.

[40] Esin, T, "Effective Energy Use in Buildings," *in Proposals for Sustainable Convergence*, pp. 393–404, 2001.

[41] Haque, MT, Tai, L, Ham, D, "Landscaping design for energy efficiency". USA: Clemson University Digital Press, 2014.

[42] USAF, "Passive Solar Handbook, Introduction to Passive Solar Concepts". Colorado,USA: United States Air Force, 2015.

[43] Moore, F, "Environmental Control Systems, Heating Cooling Lighting". New York, USA: McGraw - Hill, Inc, 1993.

[44] Low-Energy Building Design Guidelines, Energy-efficient design for new Federal facilities. New Technology Demonstration Program, 2001.

[45] Cook, J, "Passive Cooling". Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1990.

[46] Cooling Your Home with Fans and Ventilation. US Department of Energy, 2001.

[47] http://www.cce.ufl.edu/current/green_building/passive.html [Accessed: 2016-04-05].

[48] http://www.oorja.in/what-is-radiant-cooling/ [Accessed: 2016-05-07].

[49] Slessor, C, "Critical mass - use of principles of natural heating, cooling and ventilation for building in Harare, Zimbabwe," *Archit. Rev.,* 2011.

[50] Tetri E, Daylight linked dimming: effect on fluorescent lamp performance," *Lighting research and Technology*, 34(1):3-10, 2002.

[51] Abdelatia B, Marenne C, Semidor C, "Daylighting strategy for sustainable schools: case study of prototype classrooms in Libya," Journal of Sustainable Development, 3(3):60-67, 2010.

[52] http://www.dyerenvironmental.co.uk/natural_vent_systems.htm [Accessed: 2016-05-07].

[53] Yuksek, I, Esin, T, "Usage Opportunities of Renewable Energy Resource in Buildings," *in 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09),* 2009, pp. 1848–1853.

[54] http://www.baulinks.com/webplugin/2005/i/1022- rehau.jpg [Accessed: 2008-11-11].

[55] "Advantages and challenges of wind energy, http://energy.gov/eere/wind/advantagesand-challenges-wind-energy, [Accessed: 2016-05-07]."

[56] Frechette, R, Gilcgrist, R, "Towards Zero Energy: A Case Study of Pearl River Tower," Guangzhou, China, CTBUH 8th World Congress, 2008.

[57] "http://farm3.static.flickr.com/2359/2139274930_5c7be 4866d.jpg [Accessed: 2008-11-11]." .

[58] "[http://www.earthenergysystems.com/for_architects [Accessed: 2008-11-11]." .

[59] "http://www.kcpl.com/residential/images/geoheatpump.jpg [Accessed: 2008-11-11]." .

[60] Illuminating Engineering Society of North America, IESNA lighting handbook, Reference and Application 9th edition. New York, IESNA, 2000.

[61] Yuksek I, Gorgulu S, Kocabey S, Tuna M, Dursun B, "Assessment of daylighting performances of the classrooms: a case study in Kirklareli University," *Light Eng.*, vol. 23, no. 1, pp. 32–38, 2015.

[62] O'Connor J, Lee E, Rubinstein F, Selkowitz S, "Tips for daylighting with windows", Berkeley: Building Technologies Program. Energy & Environment Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley, National Laboratory, University of California, 1997.

[63] Alrubaih MS, Zain MM, Alghoul MA, Ibrahim NN, Shameri MA, Elayeb O, "Research and Development on Aspects of Daylighting Fundamentals," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 21, pp. 494–505, 2013.

[64] "http://d-lite.org/ [Accessed: 2016-05-24]." .

[65] Hozatli B, Gunerhan H, "Life cycle assessment of buildings constructed with reinforced concrete and wood material in terms of Mugla province," *Eng. Mach.*, vol. 56, no. 660, pp. 52–60, 2015.

[66] Mjos T, Larsen P, "Indoor Lighting-energy Friendly Installations," *Light and Engineering*, 20(2):27-38, 2012.

[67] "World Business Council for Sustainable Development, Energy Efficiency in Buildings, Business realities and opportunities, Full Report," Geneva, 2007.

[68] Cantin F, Dubois MC, "Daylighting metrics based on illuminance, distributaion, glare and directivity," *lighting Research and Technology*, 43 (3):291-307, 2011.

[69] Laustsen J, "IEA (International Energy Agency) Energy Efficiency Requirements in Building Codes", Energy Efficiency Policies for New Buildings IEA Information paper, International Energy Agency, 2008.

[70] S. Tsenkova & K. Youssef, "Green and Affordable Housing in Canada : Investment Strategies of Social Housing Organisations," in 23rd Enhr Conference, 2011, February.

[71] Torento and Region Conservation Authority, "Review of Effectiveness of Investments in Renewable Energy for Social and Affordable Housing,", 2017.

[72] "Tokyo Green Building Report," Tokyo Metropolitan Government, 2015.

[73] Sekisui House Group, "Sustainability Report Focused on Creating Shared Value," 2018.

[74] J. Ayoub, L. Dignard-Bailey & A. Filion, "Photovoltaics for buildings: Opportunities for Canada," Quebec, 2001.

[75] B. Petrovic, J. Are Myhren, X. Zhang, M. Wallhagen & O. Eriksson, "Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family house in Sweden," *in ICAE2018*, pp. 3547–3552, 2019. 18

[76] H. Islam, M. Jollands & S. Setunge, "Life cycle assessment and life cycle implication of residential buildings-A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 42, pp. 129–140, 2014. 19

[77] A. Carre, "A comparative life cycle assessment of alternative constructions of a typical Australian house design," Prepared for Forest & Wood Products Australia, 2011.

[78] U. Lyer-Raniga and J. Pow Chew Wong, "Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia," *Build. Environ.*, vol. 47, pp. 138–149, 2012.

[79] "Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidlines; IS/ISO 14044." Environmental Management Sectional Committee, 2006.

[80] "Life cycle inventory methodology report for steel products." World Steel Association, 2017.

[81] J. Ochsendorf, "Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle." Concrete Sustainability Hub, Massachusetts Institute of Technology, 2011.

[82] "Environmental management- Life cycle assessment- Principles and framework, BS EN ISO 14040." European Committee for Standardization, 2006.

[83] "Life Cycle Assessment-Complete beginner's Guide," Echochain. https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-lca-guide/.

[84] "openLCA manual." GreenDelta, 2020.

[85] O'Brien M, Wakefield, R., and Beliveau, Y. "Industrial the residential construction site", U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, 2000.

[86] http://www.modular.org

[87] Gann, D. M., "Construction as a manufacturing process", *Construction Management & Economics*, 14(6) 437-450, 1996.

[88] Hsish, T. Y. , "The economic implication of subcontracting practice on building prefabrications", Automation in Construction, 1997.

[89] Gibb, A. G. F., "Offsite fabrication: prefabrication, preassembly and modularization". Whittles Publishing, UK, 2001.

[90] Edge, M, "Overcoming client and market resistance to prefabrication and standardization in housing", Research report of department of trade and industry, UK, 2002.

[91] Vebables, T., "Modern methods of construction in Germany". Report of a DTI global watch mission, 2004.

[92] Lu, N., "Investigation of the designers' and general contractors' perceptions of offsite construction techniques in the United States construction industry", Doctoral Dissertation, Clemson University, Clemson, SC, May 2007.

[93] Mullen, M.A., "Factory design for modular home building". Constructability Press, Winter Park, FL, 2001.

[94] Lawson, R.M., Grubb, P.J., Prewer, J., and Trebilcock, P.J., "Modular construction using light steel framing: An architect's guide". Steel Construction Institute P272, 1999.

[95] Gorgolewski, M., Grubb, P.J., and Lawson, R.M., "Modular construction using light steel framing: Residential buildings". Steel Construction Institute P302, 2001.

[96] Lawson, R.M., "Building design using modular construction". Steel Construction Institute P348, 2007.

[97] British Standards Institution, 2009

[98] Lawson, R.M., Way, A., and Popo-ola, S.O., "Durability of light steel framing in residential buildings". Steel Construction Institute P262, 2009.

[99] Code for Sustainable Homes (CfSH): Technical Guide., 2010.

[100] Buildoffsite, "Offsite construction: Sustainability characteristics". London, UK. http://www.buildoffsite.com, 2013.

[101] Building Research Establishment, "Green guide to specification". www.bre.co.uk/greenguide, 2009.

[102] WRAP., "Woolwich single living accommodation modernization (SLAM) regeneration". www.wrap.org.uk, 2008.

[103] Jaillon, L., and Poon, C.S., "Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study". Construction Management and Economics, 26(9), 953–966, 2008.

[104] Cartwright, P., Moulinier, E., Saran, T., Novakovic, O., and Fletcher, K., "Smart life—Lessons learned: Building research establishment". BR 500, 2008.

[105] Lawson, R.M., Ogden, R.G., and Bergin, R., "Application of modular construction in high-rise buildings". *American Society of Civil Engineers. Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 148–154, 2012.

[106] Birgersson, B., "The Open House 3D modulus system. SBI Report 229:3". Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm, 2004.

[107] Lessing, J., "Industrial production of apartments with steel frame. A study of the Open House System". SBI Report 229:4. Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm, 2004.

[108] Widman, J., "Sustainability of modulus construction. Environmental study of the Open House steel system", 2004.

[109] Hammond, G.P., and Jones, C.I., "Inventory of carbon and energy (ICE)". Version 1.6. University of Bath, UK, 2008.

[110] Building Services Research and Information Association, "Embodied carbon—The inventory of carbon and energy (ICE)", 2011.

[111] CEMBUREAU Activity Report, The European Cement Association, 44, 2013.

[112] D.W. Johnston, "Design and construction of concrete formwork", in: G. Nawy Edward (Ed.), Concrete Construction Engineering Handbook, CRC Press, New Jersey, Boca Raton, pp. 7.1_7.49, 2008.

[113] C. Llatas, "A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list", *Waste Manage.* 31 (6), 1083_1426, 2011.

[114] J. Zhang, B. Khoshnevis, "Optimal machine operation planning for construction by contour crafting", *Autom. Constr.* 29, 50_67, 2013.

[115] B. Khoshnevis, A. Carlson, N. Leach, M. Thanavelu, "Contour crafting simulation plan for lunar settlement infrastructure build up", Earth and Space 2012 Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, ASCE, Pasadena, CA, pp. 1458_1467, 2012.

[116]https://engineeringbrother.com/concrete-3d-printer-introduction-working-types-applications-advantages disadvantages.html#_Requirements_of_Concrete_for_3D_printing

[117]https://www.3ders.org/articles/20160414-conprint3d-conceptual-system-for-3d-printing-concrete-structures-recognized-at-bauma-2016.html

[118]https://www.3ders.org/articles/20160414-conprint3d-conceptual-system-for-3d-printing-concrete-structures-recognized-at-bauma-2016.html

[119] http://www.d-shape.com., 2014.

[120] L. Ding, R. Wei, H. Che, "Development of a BIM-based automated construction system", *Procedia Eng.*, 85 (C), 123_131, 2014.

[121] T.T. Le, S.A. Austin, S. Lim, R.A. Buswell, A.G.F. Gibb, T. Thorpe, "Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete", *Mater. Struct.* 45 (8), 1221_1232, 2012.

[122] "Building a lunar base with 3D printing / Technology / Our Activities / ESA". Esa.int, 2014-03-13.

[123] Diaz, Jesus (2013-01-31). "This Is What the First Lunar Base Could Really Look

Like". Gizmodo. Retrieved 2013-02-01.

[124]] "3D Printing of a lunar base using lunar soil will print buildings 3.5 meters per hour". Newt Big Future. 2013-09-19. Archived from the original on 2013-09-23. Retrieved 2013-09-23

[125] "NASA's plan to build homes on the Moon: Space agency backs 3D print technology which could build base". TechFlesh. 2014-01-15. Retrieved 2014-01-16.

[126] Papanek (1971). Design for the Real World. ISBN 978-0897331531.

[127] Architectural Design, Versatility and Vicissitude. ISBN 9780470516874, 2008.

[128] J.B. Gardiner, "Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing", PhD Thesis, RMIT University, 2011.

[129] Khoshnevis, Original Contour Crafting Patent US5529471 A.

[130] E. Dini, "Method and Device for Building Automatically Conglomerate Structures". Patent number US20080148683 A1" web cited 2016-07-18.

[131] "Cazza to build world's first 3D printed skyscraper", https://www.constructionweekonline.com/article-43436-cazza-to-build-worlds-first-3d-printed-skyscraper.

[132] "Freefab: Development of a construction-scale robotic formwork 3D printer", Vimeo 2014".

[133] USACE ERDC, Entry Control Point (ECP), 2016, https://www.youtube.com/watch?v=BodasNDLYzU

[134] ERDC, first 3D printed Concrete Barracks, 2017, https://www.youtube.com/watch?v=-qmqN1G5x4w

[135] Engineer News Record, Army Researchers Refine 3D-Printed Concrete Barracks, https://www.enr.com/articles/45002-army-researchers-refine-3d-printed-concrete-barracks

[136] Fox News, Marine Corps 3D print 500-square-foot concrete barrack, 2018, https://video.foxnews.com/v/5828338937001

[137] P. Wu , J. Wang , X. Wang , "A critical review of the use of 3D printing in the construction industry , Autom. ConStruct., https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04 005, 2016.

[138] M. Yossef , A. Chen , "Applicability and limitations of 3D printing for civil structures", *Conf. Auton. Robot. Constr. Infrastruct.* (2015).

[139] S. C. Liason , G. Turner , B. M. Paliaga , E. A. Lynch , K. W. Arens , B. S. Cooper , "Setty thermal environmental conditions for human occupancy", ASHRAE STANDARD, 55, 2010.

[140] A. Perrot, D. Rangeard, E. Courteille , "3D printing of earth - based materials: processing aspects", Construct. Build. Mater., 172 670 – 676, 2018, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.017.

[141] A. Inozemtcev , E. Korolev , D. T. Qui , "Study of mineral additives for cement materials for 3D - printing in construction", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, https://doi. org/ 10. 1088/ 1757 - 899X/ 365/ 3/032009, 2018.

[142] I. Hager, A. Golonka, R. Putanowicz, "3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction", *Procedia Eng.*, https://doi. org/10. 1016/ j.proeng.2016.07.357, 2016.

[143] M. Felix, E. Elsamahy, "The efficiency of using different outer wall construction materials to achieve thermal comfort in various climatic zones", *Energy Procedia* 115, 321 – 331, https:// doi. org/ 10. 1016/j.egypro. 2017. 05 029, 2017.

[144] Q. Wang, J. Sun, Q. Yao, C. Ji, J. Liu, Q. Zhu, "3D printing with cellulosematerials", *Cellulose,* 8, 4275 – 4301 , https:// doi. org/ 10. 1007/ s10570 - 018 -1888 – y, 2018.

[145] S. Muthukrishnan, H. W. Kua, L. N. Yu, J. K. H. Chung, "Fresh properties of cementitious materials containing rice husk ash for construction 3D printing", *J. Mater. Civ. Eng.,* 8, https:// doi. org/ 10. 1061/ (asce) mt. 1943 -5533. 0003230, 2020.

[146] B. Panda, M. J. Tan, "Experimental study on mix proportion and fresh properties of fly ash based geopolymer for 3D concrete printing", *Ceram. Int.,* 9, 10258 –10265, https://doi.org/10.1016/j.ceramint. 2018. 03. 031, 2018.

[147] S. H. Bong, B. Nematollahi, A. Nazari, M. Xia, J. Sanjayan, "Method of optimization for ambient temperature cured sustainable geopolymers for 3D printing", Materials, 11(12): 2352, 2018.

[148] N. B. Singh, "Fly ash - based geopolymer binder: a future construction material", *Minerals,* 8, 299, https://doi.org/10.3390/min8070299, 2018.

[149] W. J. Long, J. L. Tao, C. Lin, Y. cun Gu, L. Mei, H. B. Duan, F. Xing, "Rheology and buildability of sustainable cement - based composites containing micro – crystalline cellulose for 3D – printing", *J. Clean. Prod.,* 239, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118054, 2019.

[150] H. Alhumayani , M. Gomaa , V. Soebarto , W. Jabi, "Environmental assessment of large - scale 3D printing in construction: a comparative study between cob and concrete", J. Clean. Prod., https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122463, 2020.

[151] WASP, Accessed on May 2020, https://www.3dwasp. com/en/3d-printed-house-gaia.

[152] D. U. S. Architects ,3D print canal house, Accessed on April 21 2020, https://vimeo.com/80355705.

[153] Y. Chen, F. Veer, O. Copuroglu, "A Critical Review of 3D Concrete Printing as a Low CO2 Concrete", vol. 3, Approach - Delft University of Technology Faculty, Heron, pp. 167 – 194, https:// doi. org/ 10. 13140/ RG. 2. 2. 12323. 71205, 2017.

[154] Fallah, MH, "Sustainable building construction", *The 2005 world sustainable building conference,* Tokyo, Japan, 27-29 September 2005.

[۱۵۵] سید شرفی, م, و حاتمی , ش, "امکان سنجی کاربرد سازه های سبک فولادی ال اس اف به منظور اسکان موقت در مناطق حادثه دیده" *چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین*، آبان ۱۳۹۴.

[۱۵۶] نیکونژاد، ر، و جواهری تفتی، م، ر، "بررسی رفتار چرخه ای دیوار برشی بتن سبک با قاب فولادی سرد نورد شده با استفاده از تستهای آزمایشگاهی "؛ *کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران و معماری و شهرسازی*، ۱۳۹۴.

[۱۵۷] یگانه، ع و شریعتمدار، ه، "شناسایی ریسکهای مراحل طراحی ، اجرا و ساخت در سازه های ال اس اف" ؛ *نشریه علمی- پژوهشی مهندسی سازه و ساخت*؛ انجمن مهندسی سازه ایران، ۱۳۹۶.

[۱۵۸] امیدی نسب ،ف و سهرابی ،س،"بررسی سازه های ال اس اف از نظر کیفیت و زمان و هزینه" *چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش در مهندسی علوم و تکنوژی*، ۱۳۹۵.

[159] Tavakoli D., Bareshadat N., Tafrishi M., Abbaspour E., "Investigation of LSF Structure Effect on Economy and Sustainable Housing in Iran. Case Study: 50m2 Units", *Review of European Studies*, Vol. 9, No 3, 2017.

[160] Heydari, A. "Light steel frame", *In Forums Civil Engineering and Architecture,* 2013.

[161] Trebilcock, P, "Building design using cold formed steel section: An architect's guide", The

Steel Construction Institute, 1994.

[162] AISI (Ameican Iron and Steel Institute), Residential steel framing manual, Publications (RG-930),1998.

[163] Santos P, Simões da Silva L, Ungureanu V. "Energy efficiency of light-weight steel-framed buildings", In: 1st ed. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 14—Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, ISBN 978-92-9147-105-8, p. 129; 2012.

[164] Ferreira M., "The construction system with lightweight steel structure (in Portuguese)", Master Thesis in Civil Engineering, University of Coimbra; 2014.

[165] LSK. European lightweight steel-framed construction. Luxemburg: European Lightweight Steel-framed Association (LSK) and Arcelor; 2005.

[166] Martins C, Santos P, da Silva LS. "Lightweight steel-framed thermal bridges mitigation strategies: a parametric study", *J Build Phys*.39(4):342–72, 2016.

[167] Nazirah, Z. A. P. "Delivering sustainability through value management: The concept and performance overview", *Engineering Construction and Architectural Management*, 168-180, 2005.

[168] Abd, R., & Arkam Che Munaaim, M. " Sustainable House in Iran's Desert", 2013.

[169] IWATA, M., "Sustainable architecture with stainless steel, IISI, Steel in Sustainable Construction", *Conference proceeding*, 2002.

[170] Santos P, Martins C, Simões da Silva L. "Thermal performance of lightweight steel-framed construction systems", *Metall Res Technol,* 111(6):329–38, 2014.

[171] Veljkovic M, Johansson B., "Light steel framing for residential buildings", *Thin-Walled Struct, 4*4(12):1272–9, 2006.

[172] Martins C, Santos P, da Silva LS. "Lightweight steel-framed thermal bridges mitigation strategies: a parametric study", *J Build Phys,* 39(4):342–72, 2016.

[173] DOE-EnergyPlus. Website "DOE—EnergyPlus weather data base": www.energyplus. net/weather (last assessed: June 2016).

[174] Santos P, Sousa MA, Costa JJ. "Modelling and performance analysis of an earth to air heat exchanger", In: Tadeu A, Ural D, Ural O, Abrantes V, editors. Proceedings of the 40th IAHS World Congress on Housing: Sustainable Housing Construction. Coimbra: ITeCons—Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção; p. 1–10, 2014.

[175] DuPont-Energain. Website "DuPont Energain—Thermal mass solution for drywalls": www.dupont.com (last assessed: December 2010).

[176] Soares N, Costa JJ, Gaspar AR, Santos P. "Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency", *Energy Build,* 59:82–103, 2013.

[177] Soares N, Gaspar AR, Santos P, Costa JJ. "Multi dimensional optimization of the incorporation of PCM drywalls in lightweight steel framed residential buildings in different climates", *Energy and Buildings*, 70, 2014.

[178] Foundation for safety. Precast and Tilt-up concrete for buildings, www.workcover.vic.gov.au/construction, 2015.

[179] Standards Australian International. AS 3850-2003, Tilt-up Constructions, http://tilt-up.org., 2003.

[180] Harris, A.H. Tilt-up engineering. http://tilt-up.org., 2013.

[181] Tilt-up Concrete Association. TCA safety guideline specification for site-cast tilt-up concrete construction, http://tilt-up.org., 2015.

[182] Hanscomb M. P., "Design and build becoming a revolution", *International Construction Intelligence,* 16(6), 1-6, 2004.

[183] Hallinan, P. and Guan H., "Layered finite element analysis of one-way and two-way concrete walls with openings", *Advances in Structural Engineering – An International Journal.* 10, 55-72, 2006.

[184] Tilt-up Concrete Association. TCA safety guideline for Tilt-up concrete construction, Safety committee of the Tilt-up Concrete Association, 13(1), 2013.

[185] Tilt-up Concrete Association. The construction of Tilt-up, http://tilt-up.org/, 2011.

[186] Kitching, D., "Tilt-up construction. Bedrock concrete construction specialist", www.bedrockgroup.co.za, 2014.

[187] Harris, C., "Concrete Tilt-up construction for Sustainable World", http://vrmca.com/, 2012.

[188] Hagerstown, M. D., "Pre-engineered steel structure vs tilt-up concrete construction", FedEx Ground Distribution Hub, 49-58, http://www.engr.psu.edu/, 2012.

[189] Woolley T., "Natural building, a guide to materials and techniques". Malaysia: The Crowood Press; 43, 2006.

[190] Almusaed A., "Intelligent sustainable strategies upon passive bioclimatic houses, a school of architecture in Aarhus", Denmark. (Postdoctoral research), 168, 2004.

[191] Ginvoni Man B., "Climate and architecture". London: Applied Science Publication Ltd.; 1976.

[192] Wenzel H., "Miljøvurdering a product. UMIP Udvikling a miljøvenlige industriprodukter". København: Miljø- og Energiministeriet; 1996: 18.

[193] Stulz R., " Appropriate building materials". London, England: Intermediate Technology Publications; 1981: 23.

[194] Jester TC., "Twentieth-century building materials: history and conservation". McGraw-Hill Publisher; 1995: 117.

[195] Almusaed A., "The functional roles of the patio in the warm dry zone (eg Iraq)", vol. 2. Bucharest: A.D. Review; 1997. p. 53–5.

[196] Kukreja CP., "Tropical architecture". Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited; 1978: 5.

[197] Nielsen S. Bjerg Vind I uderum, Klimalaboratoriet. Aarhus: Indvendigt anvendelse; 2010: 21.

[198] Korydon S., "Introducing architectural theory, debating a discipline". Routledge, Taylor & Francis; 2012: 13.

[199] Brown LR., "State of the world". Washington: World Watch Institute; 1990: 56.

[200] Elias P. Le Bilan energetique de quelques parois de batiment. In: Cahier du Centre Scientifique et Technique du Batiment. 1980: 213.

[201] Lauren F., "Green building materials", City of Santa Monico. 2000;34.

[202] Gilly D., "Beschreibung seiner vorteilhaften Bart it getrockneten Lehmziegeln". Berlin; 1970: 176–80.

[203] Janssen JJA., "Building with bamboo. Basic guidelines for building with bamboo". London, England: Intermediate Technology Publications; 1988: 69.

[204] Edward A, Joseph I., “Fundamentals of building construction: materials and methods”. Wiley Publisher; 2011: 10.

[205] Damon A., “Mineral structural materials. AGID guide to mineral resources”. 1983;16.

[206] Anil A. Mud, mud. London: An Earthscan Publication, International Institute for Environment and Development; 1981: 12.

[207] Barry R., “The construction of buildings”. Granada Ltd.; 1988: 21–2.

[208] Manand har R. Mudbrick dome and vault construction. In: Proceedings of the first international earth sheltered buildings conference. August 1–6, Sydney; 1983;367–70.

[209] Manfred H, Volker A-S, Matthias F, Thorsten R., “Construction materials manual”. Munich: Institute for International Architecture; 2006.

[210] Easton D., “The rammed earth house”. USA: White River Junction; 1996: 23–9.

[211] Stern N., “review on the economics of climate change”, [online]. Available at http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.hmtreasury.gov.uk/media/3/6/Chapter_1_The_Science_of_Climate_Change.pdf, 2007.

[212] Bentivegna V, “A vision and methodology for integrated sustainable urban development: BEQUEST”. *Build Res Inf*; 30:2,83-94, 2002.

[213] Council of The European Union. “Renewed EU sustainable development strategy”. Brussels: The EU; 2006.

[214] Freiburg Charter. Requirements on Urban Development and Planning for the Future. Freiburg: The Academy of Urbanism; 2010.

[215] Lee WL, “Benchmarking energy use of building environmental assessment schemes”. *Energ Buildings*,45:326–334, 2012.

[216] Lee WL, Burnett J. “Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED”, *Build Environ*, 43:1882–1891, 2008.

[217] Pilkington B, “Relative benefits of technology and occupant behaviour in moving towards a more energy efficient, sustainable housing paradigm”, *Energ Policy*, 39:4962–4970, 2011.

[218] Vare R. JETRO green building report vol. 3, comparative analysis of United States and Japanese green building policy [online]. Tokyo: JETRO. Available at http://www.jetro.org/documents/green_innov/Comparative_Analysis_of_US_and_Japanese_Green_Building_Policy.pdf, 2011.

[219] Maliene V, Malys N., “High-quality housing - A key issue in delivering sustainable communities”, *Build Environ*, 44(2):426–430, 2009.

[220] Bergman N, “Assessing transitions to sustainable housing and communities in the UK.”, In: Proceedings of International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment 27th July. Glasgow; 2007.

[221] CASBEE, “The Assessment Method Employed by CASBEE, Two Categories of Assessment: Q and L”, [online]. Available at http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm, 2006.

[222] Nguyen B K, Altan H., “Comparative review of five sustainable rating systems”, *International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities. Procedia Eng*; 21:376-386, 2011.

[223] "BRE Group: Housing Standards Review". www.bre.co.uk.

[224] Code for Sustainable Homes: A Cost Review - Planning, building and the environment - Department for Communities and Local Government, 12 March 2010.

[225] The Green Guide Explained, BRE Centre for Sustainable Products, March 2015.

[226] "Green Building Facts | U.S. Green Building Council". www.usgbc.org. Archived from the original on 2015-11-28.

[227] Hughes, Timothy. (2011-01-01) The True Cost of LEED-Certified Green Buildings | Archive content from HPAC Engineering Archived 2014-03-02 at the Wayback Machine. Hpac.com.

[228] Mapp C., Nobe M. and Dunbar B., "The Cost of LEED—An Analysis of the Construction Costs of LEED and Non-LEED Banks", *Journal of Sustainable Real Estate*, Volume 3, 2011.

[229] National Green Building Research Agenda" 2013.

[230] "Green Building LEED Certification". USA Today, 2012-10-24. https://www.usatoday.com/story/news/nation/2012/10/24/green-building-leed-certification/1650517

[231] Kats, G, Alevantis, L, Berman, A, Mills, E, Perlman, J, "The Costs and Financial Benefits of Green Buildings: A Report to California's Sustainable Building Task Force", 2003.

[232] Living Building Challenge - The Living Future Institute". living-future.org. March 2018.

[233] Poston A, "Developing holistic frameworks for the next generation of sustainability assessment methods for the built environment", In: Proceedings of 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010, Leeds, UK. Leeds: Leeds Met University; 2:1131–9, 2010.

[234] Mofatt S, Kohler N. "Conceptualizing the built environment as a social ecological system", *Build Res Inf* , 36(3):248–268, 2008.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فصل سوم

3 بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست–محیطی توسعه مسکن اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی در کشور







DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۱ مقدمه

چالش انرژی و تغییرات آب و هوایی، دولت‌ها و موسسات محلی، منطقه‌ای و جهانی را متقاعد ساخته است که توسعه سیستم‌های بهینه انرژی را یکی از اولویت‌های مهم خود قرار دهند [۱]. براساس آمار آژانس بین المللی انرژی، شهرها عامل مصرف ۷۵ درصد انرژی اولیه و تولید ۸۰ درصد گاز گلخانه‌ای جهان هستند. در این میان، ساختمان‌ها بزرگ ترین مصرف کنندگان انرژی شهری هستند و با توسعه بهره‌وری می توان این مصرف را به مقدار قابل توجهی کاهش داد [۲]. بخش خانگی که مسکن های اجتماعی نیز در این دسته بندی قرار می گیرد، به عنوان مصرف کننده یک چهارم انرژی جهان و تولید کننده یک ششم گاز دی اکسید کربن جهان از مهم ترین بخش های مصرف کننده است و تاثیر بسزایی بر محیط دارد [۳]. با توجه به مقدمه ای که ذکر گردید، این پژوهش به بررسی راهکارها و روش‌های توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی به منظور کاهش مصرف انرژی بخش خانگی و نیز کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده ها می پردازد. در بخش اول پژوهش، اهمیت توسعه مسکن‌های اجتماعی و جایگاه آن در سیاست های کلان کشور مورد بررسی قرار گرفت. سپس مطالعه جامعی در مورد تحقیقات و نمونه های اجرا شده مسکن اجتماعی در سراسر دنیا و نیز کشور ایران انجام گردید. هم چنین دستورالعمل های موجود در این زمینه مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله دوم پژوهش نیز ابتدا جایگاه و اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در اسناد بالادستی مورد بررسی قرار گرفت تا ضرورت تحقیق در این زمینه از دیدگاه کلان تبیین گردد. سپس مطالعات جامعی در مورد مصالح، طرح‌های سازه‌ای و معماری و نیز روش‌های اجرایی مرتبط با کاهش مصرف انرژی در پروسه تولید، ساخت و بهره‌برداری ساختمان‌ها انجام شد. با توجه به گستردگی موضوع در این زمینه، تمرکز پروژه بیش‌تر بر روی روش‌ها و تکنیک‌هایی متمرکز گردید که قابل استفاده در ساختمان‌های ارزان قیمت باشد. هم چنین در این مرحله، الزامات مرتبط با صرفه جویی و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها شناسایی شد. در مرحله سوم پژوهش که گزارش حاضر می باشد ابعاد مختلف توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی شامل بعدهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست محیطی و پارامترهای موثر بر آن‌ها مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. سپس با توجه به مطالعات انجام شده در گام-های قبل و نیز بررسی ابعاد مختلف موضوع، به بررسی مزایا و معایب ساخت این گونه مسکن‌ها و نیز بررسی مطالعات محققان برای توسعه توابع اولویت بندی و انتخاب جهت الگوبرداری برای پژوهش‌های داخلی پرداخته خواهد شد. در انتهای پروژه نیز به منظور نیل به اهداف پروژه در زمینه توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی و نیز تعیین مسیر تحقیق برای پژوهشگران این زمینه، فهرستی از طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با موضوع پژوهش پیشنهاد خواهد شد.

۳-۲ بررسی ابعاد فنی و اقتصادی

۳-۲-۱ بررسی ابعاد فنی

۳-۲-۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر هزینه انرژی در بسیاری از کشورها خصوصا کشورهای توسعه یافته افزایش پیدا کرده است. به عنوان نمونه در کشور استرالیا در یک بازه زمانی ۱۰ ساله منتهی به سال ۲۰۱۳ هزینه برق مصرفی به طور میانگین ۷۲ درصد و هزینه گاز مصرفی به طور میانگین ۵۴ درصد افزایش یافته است [۴]. اقشار کم درآمد و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

ساکنین مسکن‌های اجتماعی، آسیب پذیرترین افراد در اثر افزایش هزینه های انرژی می باشند [۵-۷]. برای این آسیب پذیری سه دلیل زیر وجود دارد:

الف- تحقیقات نشان می دهد که ساکنین مسکن اجتماعی که عموما اقشار کم درآمد می باشند، مشکل دارترین قشر برای پرداخت قبض ها می باشند که ممکن است منجربه قطع اجباری برق یا گاز آن ها به دلیل تاخیر در پرداخت قبض ها گردد [۶].

ب- برخی دیگر از ساکنین مسکن های اجتماعی، برای این‌که قادر به پرداخت قبض های انرژی باشند، دمای محل سکونت خود را خارج از حد استاندارد سالم تنظیم می کنند. برای مثال ممکن است از وسایل گرمایشی یا سرمایشی به میزان بسیار محدود استفاده کنند که سبب اثرات منفی جسمی و ذهنی در شرایط حاد آب و هوایی می‌گردد [۸].

ج- برخی دیگر از ساکنین مسکن های اجتماعی، از برخی نیازها و هزینه های ضروری زندگی چشم پوشی می‌کنند تا قادر به پرداخت قبوض باشند. برای مثال ممکن است مواردی مانند غذای سالم، مراقبت های بهداشتی و یا هزینه های تحصیل را فدای پرداخت هزینه های انرژی نمایند.

اثر افزایش هزینه های انرژی بر اقشار کم درآمد به دلیل اینکه آن ها عموما در خانه های قدیمی و باکیفیت پایین ساکن هستند و به علاوه وسایل سرمایشی و گرمایشی کم بازده تر و وسایل قدیمی (مانند یخچال، تلویزیون و ...) را داشته و قادر به ارتقای آن ها نمی باشند، دوچندان می گردد. ارتقای بهره وری انرژی برای خانه های این افراد، تکیه آن ها به وسایل مکانیکی گرمایشی و سرماشی را کاهی داده و سبب بهبود وضعیت مالی و سلامتی آن ها می گردد [۹]. گرچه باید توجه داشت که هزینه های اولیه مورد نیاز برای ارتقای بهره وری انرژی مسکن های اجتماعی معمولا خارج از حد توان مالی این اقشار می باشد.

برای بررسی مزایای فنی توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی تا کنون مطالعات و تحقیقات متعددی انجام شده است که در ادامه به یک نمونه از این مطالعات و نتایج به دست آمده به صورت جزئی‌تر اشاره می‌گردد. در این مطالعه [۴] هزینه‌ها و مزایای فنی توسعه مسکن‌های اجتماعی با در نظر گرفتن بهره وری انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور چهار مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی در سال ۲۰۱۲ ساخته شده و با شش ساختمان شاهد که بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ ساخته شده بودند و دارای استانداردهای پایین تری بودند، مقایسه شدند. هر دو تیپ ساختمان در یک منطقه آب و هوایی که دارای زمستان های بسیار سرد و تابستان های بسیار گرم است ساخته شدند. برخی نکات شاخص ساختمان‌های اجتماعی دارای بهره‌وری انرژی در پژوهش مورد نظر به شرح زیر می باشد:

- به کارگیری سیستم خورشیدی و طرای جهت بهینه آن
- طراحی پیشرفته بام و استفاده از مصالح جدید
- ارتقای عایق بندی سقف‌ها، کف‌ها و دیوارها
- سایه اندازی مناسب پنجره های خارجی
- به کارگیری تهویه طبیعی
- افزایش جرم حرارتی
- به کارگیری منبع ذخیره آب باران که به سرویس بهداشتی و رختشورخانه ارتباط دارد
- به کارگیری سیستم خورشیدی برای آب گرم

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

هم چنین آموزش های لازم به ساکنین مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی به منظور نحوه سکونت و استفاده از امکانات با هدف حداکثر بهره وری داده شد و راهنمای مکتوب نیز در اختیار آن ها قرار گرفت.

۲-۱-۲-۳ بررسی مزایای فنی توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی

۱-۲-۱-۲-۳ بهبود عملکرد فنی

مسکن‌های اجتماعی دارای بهره وری انرژی به مراتب عملکرد بهتری از نظر مصرف انرژی تجهیزات منزل در مقایسه با مسکن‌های اجتماعی معمولی دارند. به عنوان نمونه در تحقیق انجام شده [۴] مشاهده گردید که مصرف برق ساکنین مسکن های اجتماعی دارای بهره وری انرژی ۴۵ درصد کم تر از ساکنین مسکن های اجتماعی معمولی (ساختمان‌های شاهد) بوده است. به علاوه سیستم خورشیدی مورد استفاده، بین ۴۶ تا ۵۶ درصد از کل برق مصرفی ساختمان های دارای بهره وری انرژی را تامین نموده است. بنابراین دو عامل ارتقای بهره وری انرژی و استفاده از تکنیک انرژی تجدید پذیر، سبب کاهش مصرف برق و هزینه‌های آن گردیده است. هم چنین در این ساختمان‌ها اثرات منفی زیست محیطی (CO_2-e) در مقایسه با ساختمان‌های شاهد ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

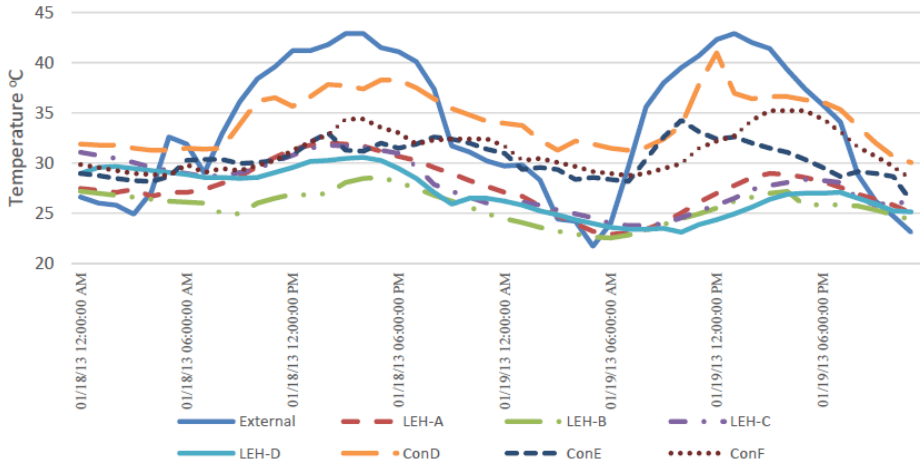
کاهش مصرف انرژی به طور مستقیم سبب کاهش هزینه های انرژی که از سوی ساکنین مسکن های اجتماعی پرداخته می شود و یا کمک های مالی و سوبسیدهایی که از طرف دولت وجود دارد می‌گردد. بنابریان استطاعت اقشار کم درآمد را برای سکونت در مسکن های دارای بهره وری انرژی بهبود می بخشد. البته باید توجه داشت که چالش‌هایی نیز در خصوص عدم استفاده بهینه ساکنین مسکن‌های اجتماعی دارای بهره وری انرژی وجود دارد. به عنوان نمونه، خانه ها با نوع خاصی از پنجره طراحی شده بودند که به صورت الکترونیکی امکان باز شدن را داشته تا در تابستان موجب تهویه هوای گرم با کمک پنکه های سقفی گردد. ولی ساکنین یکی از مسکن های اجتماعی با بهره وری انژی اصرار داشتند که این یک اشتباه طراحی بوده و با استفاده ناصحیح موجب بیش گرم شدن ساختمان در تابستان شده بودند. این ساکنین به هیچ عنوان راهنمایی ها و توضیحات تیم تحقیقاتی و طراح معمار را نیز نمی‌پذیرفتند. هم چنین چالش‌های دیگری نیز در هر دو تیپ ساختمان مانند باز گذاشتن درب برای ورود و خروج حیوانات خانگی حتی در زمانی که وسایل گرمایشی و سرمایشی مشغول به کار بود وجود داشت که در کل این جمع بندی حاصل می‌شود که ساختمان ها همیشه در حالت بهینه‌ای که طراح سازه انتظار دارد، مورد استفاده قرار نمی گیرند.

۲-۲-۱-۲-۳ آسایش حرارتی

در پژوهش مورد بررسی [۴]، مسکن‌های اجتماعی با بهره وری انرژی بدون سیستم تهویه مطبوع ساخته شده بودند. ولی این ساختمان‌ها آسایش حرارتی بیش‌تری در مقایسه با ساختمان‌ای شاهد در طول سال خصوصا در شرایط حاد جوی داشتند. براساس ارزیابی‌های انجام شده برمبنای ضوابط آسایش انطباقی [۹]، ساختمان‌های دارای بهره وری انرژی، به ترتیب ۱۰ درصد زمانی و ۷ درصد زمانی بیش‌تر در اتاق نشمین و اتاق‌های خواب، راحت‌تر از ساختمان‌های شاهد بودند. بزرگ‌ترین مزیت آسایش حرارتی این ساختمان‌ها در شرایط حاد جوی مانند ورود موج گرما قابل مشاهده می‌باشد که بسیار سردتر از ساختمان‌های شاهد (که سیستم تهویه مطبوع نیز داشتند) بودند که نشان دهنده ارتقای طراحی و عملکرد حرارتی این ساختمان‌ها می باشد. شکل (۳- ۱) مقایسه دمای ساختمان‌های مونیتور شده را به علاوه دمای محیط بیرون (External) نشان می‌دهد. ملاحظه می گردد که بهترین سازه با بهره وری انرژی (ساختمان‌ها با لیبل LEH) حدود 16.6ºC سردتر از بدترین سازه شاهد

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

(ساختمان‌ها با لیبل Con) در دومین روز موج گرما می‌باشد. هم چنین این موج گرما تا حدی سبب عدم آسایش حرارتی برای یکی از سازه های شاهد شده بود که ساکنین این ساختمان به دنبال جای دیگر برای زندگی در طول دوره گرما بودند.



شکل (۳- ۱) دما در اتاق نشیمن ساختمان‌های مونیتور شده به همراه دمای خارجی (LEH-A: مسکن اجتماعی دارای بهره وری انرژی A، ConD: مسکن اجتماعی معمولی (شاهد)) [۴]

۳-۲-۱-۲-۳ سلامتی، تندرستی و نتایج اجتماعی

ساکنین مسکن‌های اجتماعی دارای بهره‌وری انرژی همگی در مورد ارتقای وضعیت سلامت، تندرستی و جنبه های اجتماعی توافق نظر داشتند [۴]. برخی نمونه های سلامتی و تندرستی شامل استرس کم تر در اثر کاهش هزینه های انرژی و نیز بیماری های کم تر که در گذشته در شرایط حاد آب و هوایی مبتلا می شدند می‌باشد. ساکنین این مسکن‌ها، وضعیت زندگی بهتری را به دلیل کاهش هزینه های انرژی پیدا کرده و برخی جنبه های زندگی آن ها مانند سفرهای کوتاه، خرید هدیه و وضعیت غذایی نسبت به گذشته ارتقا پیدا کرده است. این درحالی است که ساکنین مسکن‌های اجتماعی معمولی مشکلات مالی بیش تری را گزارش کرده و قادر به پرداخت برای موارد اشاره شده در بالا نبوده اند. دو نفر از ساکنین این مسکن ها حتی برای پرداخت قبوض انرژی نیز در زمان مقرر مشکل داشته اند و در گذشته نیز دچار قطعی اجباری برق شده بودند. هم چنین ساکنین مسکن‌های اجتماعی دارای بهره وری انرژی تعداد دفعات مراجعه کم‌تری به پزشک و بیمارستان در مقایسه با زمانی که در خانه‌های معمولی ساکن بودند داشته اند.

۳-۲-۱-۲-۴ تحلیل هزینه-فایده

در تحلیل هزینه-فایده ای که در [۴] برای چهار مسکن اجتماعی نمونه با بهره‌وری انرژی و بر اساس اطلاعات سه سال اول بهره برداری انجام پذیرفت، این نتیجه حاصل شد که این مسکن‌ها نمی توانند در یک بازه زمانی ۴۰ ساله به نقطه صفر-صفر برسند. گرچه نتایج محاسبات تکمیلی همین پژوهش نشان می‌دهد که هزینه اولیه ساخت این خانه ها در صورت انبوه سازی می تواند تا ۵۰ درصد کاهش یابد؛ چراکه هزینه های طراحی، تامین مصالح، تکنولوژی و نیز پروسه بهینه می‌گردد. این امر سبب کاهش دوره بازگشت اضافه سرمایه اولیه شده و ساخت مسکن‌های اجتماعی با بهره‌وری انرژی را از نظر اقتصادی نیز توجیه پذیر می سازد. بنابراین تعداد بیش-

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تری از اقشار کم درآمد امکان سکونت در این مسکن‌ها را که مزایای اجتماعی و فنی و سلامتی زیادی را تامین می کند خواهند داشت.

۳-۲-۲ بررسی ابعاد اقتصادی

۳-۲-۲-۱ اهمیت بعد اقتصادی توسعه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی

در بخش‌های مختلف پروژه بیان شد که درصد بالایی از مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان و به خصوص ساختمان‌های مسکونی می باشد. به عنوان نمونه در ایران بین ۲۴ تا ۲۶ درصد و در اروپا نیز تقریبا ۲۷ درصد مصرف کل انرژی مربوط به بخش ساختمان‌های مسکونی می باشد [۱۱]. در سال ۲۰۱۰، این میزان مصرف انرژی معادل ۲۲۵ بیلیون یورو قبض انرژی و ۶۳۰ تن انتشار گاز CO_2 فقط از بخش ساختمان‌های مسکونی اروپا بوده است. این اعداد نشان دهنده اهمیت اقتصادی مصرف انرژی در بخش ساختمان بوده و اتحادیه اروپا شدیدا موضوع بهینه سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان را تشویق و دنبال می کند و تا کنون برنامه های مختلفی را برای این منظور سرمایه گذاری و پیاده سازی نموده است.

هدف از این بخش، بررسی اثرات اقتصادی بهره وری انرژی در بخشی مهم و نسبتا مغفول مانده از بخش ساختمان در سیاست گذاری‌های انرژی می باشد: مسکن های اجتماعی. مسکن های اجتماعی یا مسکن‌های عمومی در هر کشور درصد قابل ملاحظه ای از بخش ساختمان را به خود اختصاص می‌دهند. به عنوان نمونه در اروپا مسکن‌های اجتماعی ۱۷ درصد کل ساختمان‌ها را شامل می‌شود. در اتریش ۲۵ درصد و در سوئد و انگلستان ۲۰ و ۱۸ درصد کل مسکن‌های آن کشورها اختصاص به مسکن‌های اجتماعی دارد. در بسیاری از کشورها نیز درصد غالب مسکن-های اجاره ای مربوط به مسکن‌های اجتماعی می‌باشد [۱۲]. با وجود اهمیت این بخش از ساختمان‌ها، تا کنون مطالعات بسیار اندکی در خصوص اثرات اقتصادی بهره وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی انجام شده است. درصد مصرف انرژی این بخش به قدری بزرگ است که اهمیت بررسی اقتصادی بهره وری انرژی درآن‌ها را روشن می-نماید. در خصوص مسکن‌های عادی (به جز مسکن‌های اجتماعی و عمومی) و ساختمان‌های تجاری تا کنون مطالعاتی برای بررسی اثرات اقتصادی بهره وری انرژی انجام شده است و به صورت کلی این نتیجه گیری حاصل شده است که لحاظ نمودن بهره وری انرژی و ملاحظات زیست محیطی در این ساختمان‌ها سبب افزایش بهای ساختمان و نیز قیمت اجاره در مقایسه با ساختمان های معمولی شده است و به علاوه سکونت پایدارتر و سکونت اقشار بالاتر اجتماعی را موجب گردیده است [۱۳ و ۱۴]. گرچه بیش تر این مطالعات بر روی ساختمان‌های غیر اجاره ای (سکونت مالک) انجام شده است که تنها بخشی از بازار مسکن را شامل می شود.

سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط با ساخت مسکن‌های اجتماعی با محدودیت های فراوانی در خصوص نحوه تامین هزینه اضافه برای لحاظ نمودن بهره وری انرژی در این ساختمان‌ها روبرو هستند؛ چراکه برگشت این سرمایه گذاری اولیه اضافی ممکن است زمان بر باشد یا به صورت مستقیم قابل مشاهده نبوده و در محاسبات اقتصادی منظور نگردد. دلیل مهم دیگر عدم توجیه اقتصادی بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی، مشکل شکاف-مشوق ها می باشد؛ به این معنی که برای بهره وری انرژی، سازندگان مسکن‌های اجتماعی هزینه بیش تری را متحمل می شوند، ولی این مصرف کنندگان هستند که از قبض های هزینه انرژی پایین تر بهره مند می گردند. در بسیاری از کشورها محدودیت‌هایی برای افزایش قیمت فروش یا اجاره مسکن‌های اجتماعی وجود دارد و این امر سبب می شود که بازگشت سرمایه گذاری اولیه برای بهره وری انرژی از طریق افزایش قیمت ملک یا اجاره آن

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

بسیار مشکل یا غیرعملی گردد. به عنوان نمونه در کشور هلند که مسکن‌های اجتماعی ۳۱ درصد مسکن‌های کشور را به خود اختصاص می دهد، افزایش اجاره این مسکن‌ها به شدت کنترل می گردد.

۲-۲-۲-۳ روش بررسی

برای بررسی اثرات اقتصادی بهره وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی تا کنون مطالعات بسیار کمی انجام شده است. یکی از جامع ترین این مطالعات [۱۵]، به بررسی معاملات مرتبط با ۱۷۸۳۵ مسکن اجتماعی در هلند با در نظر گرفتن ارزش اقتصادی ایجاد شده در مسکن های اجتماعی بهره ور انرژی می پردازد که به عنوان یک الگوی مناسب، در این بخش از پروژه، روش کار این محققین با جزئیات بیش‌تر ارائه می گردد. در تحقیق مورد نظر، اثر بهره وری انرژی بر ارزش قیمت معامله هر متر مربع مسکن اجتماعی به دو روش محاسبه گردیده است. در روش اول، اثر ساختمان‌های دارای برچسب انرژی در مقایسه با ساختمان‌هایی که برچسب انرژی ندارند به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفته است. در جامعه آماری مورد مطالعه حدود ۴۲ درصد ساختمان‌ها دارای برچسب انرژی بودند و بقیه به عنوان نمونه های کنترلی (عدم دارا بودن برچسب انرژی) در نظر گرفته شدند. در روش دوم، ساختمان‌های دارای برچسب انرژی به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند. به این ترتیب می‌توان ارزش قیمت معامله ساختمان‌های دارای بهره‌وری انرژی بالا (دارای برچسب A یا B انرژی) را با ساختمان‌های دارای بهره‌وری انرژی کم‌تر (دارای برچسب C یا G انرژی) مقایسه کرد. در نتیجه می توان به صورت مستقیم رابطه بین اندیس بهره‌وری انرژی و قیمت مسکن‌های اجتماعی را به دست آورد. برای هریک از این روش‌ها، ارتباط بین بهره‌وری انرژی و قیمت ساختمان با استفاده از یک تابع استاندارد قیمت گذاری سنجیده می‌شود. به این ترتیب می‌توان اثر عواملی مانند کیفیت ساختمان، محل قرارگیری ساختمان، شرایط بازار خرید و فروش ملک و نیز خصوصیات حرارتی ساختمان مانند کیفیت عایق بندی را در آنالیزها تحت کنترل داشت.

مدارک مرتبط با معاملات مسکن‌های اجتماعی مورد مطالعه نشان می‌دهد که ساختمان های با برچسب های انرژی بالاتر (برچسب انرژی A یا B)، دارای ارزش معاملاتی بالاتری در مقایسه با ساختمان‌های دیگر هستند. به عنوان نمونه ساختمان دارای برچسب انرژی A به میزان ۶/۳ درصد و ساختمان دارای برچسب انرژی B به میزان ۲ درصد گران تر از ساختمان مشابه دارای برچسب انرژی C معامله شدند. بنابراین در مسکن های اجتماعی مورد مطالعه، ارتقای یک ساختمان از رده انرژی C به رده انرژی A یا B به ترتیب موجب افزایش قیمت آن ساختمان به مقدار ۹۷۰۰ یورو و ۳۰۰۰ یورو می گردد. این امر نشان می دهد که گرچه سرمایه گذاران مسکن اجتماعی ممکن است نتوانند هزینه اولیه ای که برای ارتقای بهره وری انرژی صرف کرده اند را به طور مستقیم از افزایش اجاره بها یا کاهش هزینه های انرژی به دست آورند، ولی حداقل قسمتی از آن در زمان فروش مسکن جبران می گردد.

۳-۲-۲-۳ ارزش اقتصادی بهره وری انرژی بر بازار مسکن

مروری بر ادبیات تحقیقاتی در زمینه اثرات اقتصادی بهره‌وری انرژی بر بازار مسکن در اروپا، آسیا و ایالات متحده آمریکا نشان می دهد که خانه ها و آپارتمان‌هایی که برای بهره‌وری انرژی طراحی و ساخته شده اند دارای ارزش قیمتی و یا اجاره ای بالاتری نسبت به خانه های معمولی هستند. گرچه در هر یک از این تحقیقات پارامترهای متفاوتی از نظر نوع تاییدیه انرژی، نحوه درنظر گرفتن عملکرد زیست محیطی در ارتباط با تاییدیه و نیز میزان پاداش برای بهره‌وری انرژی در نظر گرفته شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

اولین مطالعات که توسط لاکوترا [۱۶] انجام گرفته است به بررسی پیامدهای اقتصادی ساختمان های بهره‌ور انرژی ایالت مینوستا آمریکا می‌پردازد. لاکوترا نتیجه می گیرد که بهره‌وری انرژی، که توسط آسایش حرارتی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

سنجیده می شد، بر ارزش معاملاتی ساختمان می افزاید. دینان و میرانوسکی [۱۷] نیز تعدادی خانه نمونه را در ایالت آیووا مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که هر راهکار بهره‌وری انرژی ای که سبب ۱ دلار کاهش هزینه برای حفظ دمای ۶۵ درجه فارنهایت گردد، به طور تقریبی سبب ۱۲ دلار افزایش ارزش معاملاتی آن ساختمان می گردد.

دنگ و همکاران [۱۸]، اثر تاییدیه بازار سبز[۱] را بر قیمت ساختمان‌های مسکونی در سنگاپور مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که ساختمان هایی دارای تاییدیه به طور متوسط بین ۴ تا ۶ درصد گران تر از ساختمان های بدون تاییدیه مورد معامله قرار گرفته اند. آن ها دریافتند که این افزایش قیمت بسیار تحت تاثیر دسته بندی تاییدیه انرژی می باشد به طوری که ساختمان هایی که در دسته بندی پلاتین قرار می گرفتند بالاترین ارزش قیمتی (۱۴ درصد بیش تر) را داشتند.

در کشور چین، سیستم رتبه بندی برای عملکرد زیست محیطی ساختمان‌ها به صورت رسمی وجود ندارد. بنابراین در مطالعه ای که توسط ژنگ و همکاران [۱۹] انجام گرفت، اثر سبز بودن بازار[۲] بر قیمت ساختمان در شهر بیجینگ چین مورد بررسی قرار گرفت. این محققین یک اندیس سبز به نام Google Green Index توسعه دادند که برمبنای رتبه سرچ ساختمان ها در گوگل با درنظر گرفتن خصوصیات سبز آن‌ها (سازگاری با محیط زیست) در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ می باشد و بر این اساس ارتباطی بین قیمت ساختمان و میزان سبز بودن آن‌ها برقرار کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که ساختمان‌های دارای خصوصیات سبز بیش تر ۱۷/۷ درصد گران‌تر نسبت به ساختمان‌های دارای کمترین خصوصیات سبز فروش رفتند.

کان و کوک [۲۰] اثر داشتن تاییدیه سبز برای خانه ها را بر ارزش معمالاتی آن ها در ایالت کالیفرنیای آمریکا مورد بررسی قرار دادند. این محققین مطالعات خود را بر اساس جامعه آماری ساختمان هایی که بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ معامله شده بودند انجام دادند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که خانه های با تاییدیه سبز دارای ارزش معاملاتی بین ۲ تا ۴ درصد بیش‌تر از ساختمان های معمولی مشابه خود هستند؛ این موضوع به خصوص برای خانه هایی که در مناطق آب و هوایی گرم یا مناطقی که هزینه های برق در آن ها بالاتر است مشهود بوده است.

۳-۲-۳ بررسی اثرات مسکن اجتماعی بر اقتصاد با نگاهی بر دیگر کشورها

مونک و همکاران [۲۱] مروری دقیق بر تأثیرات اقتصادی مسکن در دولت اسکاتلند در سطح وسیع ارائه کردند:

- ساخت و ساز، سهم نسبتا زیادی در اقتصاد اسکاتلند در مقایسه با سایر صنایع دارد.
- برنامه‌های تأمین کننده رکود اقتصادی و همچنین کار تعمیر و نگهداری و مرمت مرتبط با استاندارد کیفیت مسکن اجتماعی، سرمایه گذاری مسکن را افزایش داده و از اشتغال و حفظ مهارت‌های ساختمانی حمایت می‌کند.
- سرمایه گذاری در سرپرستی مسکن تأثیرات متفاوتی دارد، اما واضح است که سرمایه گذاری در مسکن اجتماعی می تواند زندگی مستاجران را بهبود بخشد.

[۱] Green Market Certificate
[۲] Marketing Greenness

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- خانه سازی جدید و خانه سازی مقرون به صرفه تاحدی از رقابت شهری حمایت می‌کند و به حفظ نیروی کار مولد خود کمک می‌کند. با این حال، مسکن اجتماعی از تحرک نیروی کار نسبتاً پایینی برخوردار است.

در سال ۲۰۱۲، برای بریتانیای کبیر، ارنست و یانگ مطالعه ای در مورد تاثیر اقتصادی خانه های برکلی انجام دادند [۲۲]. این مطالعه نشان داد که در سال ۲۰۰۸، خانه سازی ۱/۵ درصد از تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص داده است و ۳۳۵،۰۰۰ شغل ایجاد کرده است و در سال ۲۰۱۱ ، ۲۲ میلیارد پوند فعالیت اقتصادی ایجاد کرده است. از آنجا که هر شغل در بخش ساخت و ساز ۱/۶۵۳ شغل دیگر در بقیه اقتصاد ایجاد می کند، برآورد شد که این بخش در مجموع مسئول ۸۵۰،۰۰۰ شغل مستقیم و غیر مستقیم است. هر خانه ساخته شده حدود ۴.۵ شغل غیر مستقیم ایجاد می کند و عوارض تمبر و مالیات شورا مجموعاً ۲۹ میلیارد پوند درآمد مالیاتی در سال را افزایش می دهد.

همه گیری و قرنطینه COVID-19 منجر به تمرکز دولت اسکاتلند بر بهبود اقتصادی و ایده "بازسازی بهتر" شده است، که سرمایه گذاری مسکن در ساختمان‌های جدید و موجود می‌تواند با توجه به روایت مثبتی که از آن ناشی می‌شود، نقش عمده ای در آن ایفا کند. شواهد نشان داده شده در این بخش در ژوئن ۲۰۲۰، دولت اسکاتلند گزارش مستقل خود را از گروه مشورتی بهبود اقتصادی منتشر کرد [۲۳]. توصیه های آن‌ها برای بهبودی مبتنی بر اقتصاد خوب و رفاه بالا شامل توصیه خاصی بود که بر مردم، مکان و اجتماع با اشاره به مکان سازی، ارائه مکانیسم‌های جدید برای تأمین سرمایه گذاری مسکن مقرون به صرفه و مقابله با بی‌خانمانی متمرکز بود. آنها استدلال می‌کنند که مسکن در اقتصاد اسکاتلند و رفاه اهمیت بسیار بالایی دارد. بخش ساختمان منبع اصلی اشتغال است و سهم مهمی در تولید ناخالص داخلی اسکاتلند دارد. در زمان عادی، سرمایه گذاری در بخش مسکن اجتماعی توسط بخش دولتی و خصوصی بیش از ۳ میلیارد پوند در سال است. اما مهم‌تر از تأثیر مستقیم آن بر مشاغل و امور مالی خواهد بود و حمایت از مسکن برای کمک به محروم ترین جوامع و ایجاد مکان‌های پایدار و جذاب بسیار حیاتی است. " تاثیر گزارش تحقیقات مسکن اجتماعی در سال‌های اخیر همچنین به طرق مختلف تأثیرات اقتصادی مسکن در ولز، ایرلند شمالی، اسکاتلند و انگلستان را تعیین کرده است. مجموعه‌ای از مطالعات سالانه در ولز برای مسکن اجتماعی Cymru، در زمینه توسعه ۱۸۷۶ خانه جدید در سال ۲۰۱۸، نشان داد که انجمن های مسکن ولز ۱.۲ میلیارد پوند برای تمام فعالیت‌های خود در سال ۱۸-۲۰۱۷ هزینه کردند. این امر منجر به تأثیرات مستقیم، غیر مستقیم و اقتصادی ناشی از ۲.۲۶ میلیارد پوند در تولید اضافی، ارزش افزوده ناخالص ۸۸۶ میلیون پوند و ۲۳۱۵۱ مشاغل غیرمستقیم در سراسر اقتصاد ولز شد. در این مورد، تأثیرات مستقیم مربوط به هزینه‌های فوری واقعی در مسکن جدید است، در حالی که هزینه های غیرمستقیم از زنجیره تامین پیروی می‌کند. هزینه‌های القایی مربوط به هزینه‌های کارکنان و سایر افراد مرتبط با کار مستقیم و غیرمستقیم است که به اقتصاد محلی باز می‌گردد. این مورد ممکن است شامل هزینه در مغازه‌های محلی و مصرف بیشتر باشد که درآمد کسانی را که از این درآمد اضافی در اقتصاد وسیع تر فروش می کنند، افزایش می دهد.

گروه مسکن هاید [۲۲] تلاش کرد تا تأثیر اجتماعی و اقتصادی برنامه توسعه پیشنهادی خود را برای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ تخمین بزند. بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ هاید برنامه‌ای برای ساخت ۶۱۰۰ خانه جدید داشت که برآورد می‌شد ۲.۲ میلیارد پوند برای اقتصاد انگلیس (۴۵۰ میلیون پوند در سال) تولید اقتصادی داشته باشد. ۱،۳۰۰ شغل FTE با مشارکت ۳۰٪ در بازارهای کار محلی، ۷۰۰ کارآموزی و ۱۵۸ کارآموز وجود خواهد داشت که حدود ۱۰۰ نفر از آنها بیش از ۶ ماه حفظ خواهند شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

فودن و همکاران تأثیر اقتصادی سازمان‌های مسکن اجتماعی ایرلند شمالی را ارزیابی کردند. با استفاده از داده های سال‌های ۱۳-۲۰۱۲، با نزدیک به ۱۳۶۰۰۰ خانوار در مسکن اجتماعی و در سالی که این بخش ۱۱۲۰ ساختمان اجتماعی جدید را آغاز کرده بود، فعالیت اقتصادی تولید شده (مستقیم و غیر مستقیم) ارزش ۱.۱۵ میلیارد پوند برای کل اقتصاد و ۴۶۰ میلیون پوند ارزش افزوده ناخالص و ۱۵،۴۳۶ شغل FTE را بوجود آورد.
یک مساله مهم در مورد تاثیر اقتصادی مسکن مربوط به قواعدی است که توسط آن ادارات دولتی ارزیابی می شوند. در حالی که روش‌های کتاب سبز بریتانیا و تصمیم گیری شده در حال حاضر تمایل بیشتری به پذیرش مفاهیم ارزش گذاری رفاه، رشد فراگیر و نرخ بازده اجتماعی دارند. درک این موضوع که چگونه مسکن در کنار سایر سرمایه گذاری‌های رقیب بخش دولتی مورد ارزیابی قرار می گیرد، واضح است. به عنوان مثال، این ارزیابی‌ها باید هزینه فرصت‌های شکست بازار مانند هزینه‌های اجتماعی ناشی از عوامل خارجی را که باید با مداخله دست بالایی برطرف شوند، در نظر بگیرند. سایر مزایای سرمایه گذاری مسکن مانند افزایش ارزش زمین مسکونی مرتبط، که در غیر این صورت به عنوان افزایش ارزش زمین شناخته می‌شوند، نیز باید مورد توجه قرار گیرند. این موضوع اکنون بیشتری دارد و دولت انگلستان پیشنهاد می‌کند مفروضات کتاب سبز را برای کمک به حمایت از زیرساخت‌های اقتصادی و سرمایه گذاری غیر کلان‌شهری شمال انگلستان تجدید نظر کنند. تین مورد در بودجه مارس ۲۰۲۰ انگلستان منعکس شده است که برای ایجاد بخش‌های خزانه داری شمالی و واگذار شده برنامه ریزی شده است. با این حال، با این تجزیه و تحلیل های اقتصادی ارتقا دهندگان هشدارهای مهمی وجود خواهد داشت. تجزیه و تحلیل اقتصادی بر هزینه فرصت متمرکز است – ارزش بهترین جایگزینی که از بین رفته است زیرا تصمیم برای هزینه کردن منابع به روش خاصی گرفته می‌شود. هزینه برنامه‌ای مربوط به برنامه مسکن نیز وجود دارد – یعنی به دلیل تزریق بودجه عمومی به مسکن چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا این برنامه سرمایه گذاری در جاهای دیگر است که ضرر می‌کند؟ اگر از طریق استقراض تأمین می شود – چه کسی در نهایت هزینه آن را می‌پردازد و این منبع دیگر برای تأمین هزینه‌های قبلی چه چیز دیگری می‌تواند به دست آورد؟ به نقطه هزینه فرصت این واقعیت مرتبط است که اثرات چندگانه‌ای نیز به دلیل تزریق مسکن از بین رفته است. اگر این کاهش به عنوان مثال در هزینه‌های جاری دولت بود، ضرب از دست رفته در مجموع منابع تعهد شده در واقع بزرگتر از ضرب ساختمان است. به عبارت دیگر، در حالی که ما استدلال کرده‌ایم که ساخت و ساز مسکن دارای ضرب نسبتاً بالایی است و از این رو تأثیر اقتصادی بیشتری دارد – بزرگترین ضرب را ندارد. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که این فرضیات وجود دارد که مورد استفاده قرار نگرفته است. اقتصاددانان بین تجزیه و تحلیل تعادل جزئی و عمومی تمایز قائل می‌شوند. مورد اول تنها بر بخش مورد نظر تمرکز می‌کند، اما دومی بیشتر ابعاد وسیع‌تر یک محرک اقتصادی جدید را در نظر می‌گیرند، از جمله این که می‌دانیم اغلب در تصمیم گیری با منابع محدود چیزی پیش بینی شده وجود دارد. پول جدید باید یا یک اتفاق ناگهانی یا رشد باشد. به همین دلیل است که باید آثار اجتماعی قوی و آثار اقتصادی آن را با دقت بررسی کنیم.

۳-۳ بررسی ابعاد اجتماعی و فرهنگی

۳-۳-۱ مفهوم بعد اجتماعی مسکن و ضرورت توجه به آن

منظور از مسکن به عنوان یکی از اصلی ترین و ابتدایی ترین نیازهای انسان صرفا یک سرپناه نیست. مفهوم سکونت فراتر از استقرار در یک چهار دیواری است. مسکن از ابعاد گوناگونی برخوردار است که از آن جمله

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

اقتصادی، کالبدی، روانشناختی و غیره را می توان نام برد. روند رو به رشد جمعیت در کشور (به خصوص در سال های اخیر) و افزایش پدیده مهاجرت به شهرها و نیز سیاست های اتخاذ شده در زمینه مسکن مشکلاتی را در این راستا به وجود آورده است. اگرچه در سال های اخیر به احداث واحدهای مسکن اجتماعی در سراسر دنیا توجه زیادی شده است اما عدم توجه به بعد کیفی مسکن باعث شده است تا این ساخت و سازها چندان با اقبال و امید مواجه نباشد.

۲-۳-۳ ملاحظات اجتماعی و فرهنگی در طراحی مسکن اجتماعی در ایران و جهان

مسکن مقرون به صرفه مخصوصا با منظور نمودن بهره وری انرژی می‌تواند به ساکنان در دستیابی به ثبات، سلامت و رفاه بیشتر کمک کند و رشد اقتصادی را در جوامعی که در آن زندگی می‌کنند، تسهیل کند. به رسمیت شناختن تأثیرات وسیع مسکن ارزان قیمت پایدار یک گام مهم در ارتباط با نیاز به توسعه مسکن مقرون به صرفه است.

۱-۲-۳-۳ پیامدهای آموزشی

ثبات مسکن یکی از عوامل تعیین کننده پیشرفت تحصیلی می‌باشد. مسکن پایدار برای دانش آموزان کم درآمد بسیار مهم است تا بتوانند درس بخوانند و برای مدرسه آماده شوند [۲۴]. کودکانی که از محله‌های کم درآمد به مناطق با نرخ فقر کمتر نقل مکان می کنند، شانس موفقیت بیشتری در مدرسه دارند. افزودن مسکن مقرون به صرفه در محله‌های با درآمد متوسط به کودکان خانواده‌های کم درآمد اجازه می‌دهد تا در مدارس مناطق با مدارس بالاتر تحصیل کنند. کودکان ۸ ساله و کوچک‌تر که به محله فقیرنشین نقل مکان می‌کنند، در طول زندگی خود ۳۰۲۰۰۰ دلار بیشتر از دیگر کودکان، هزینه‌های تحصیلی آنها می‌شود [۲۵]. اگرچه نتایج مالی بهبودیافته با آموزش ارتباط دارد، اما با بهبود بازار کار و شبکه‌های اجتماعی موجود در محله‌های فقیرنشین نیز مرتبط است. حدود ۲۷ درصد از واحدهای Movin ’Out (پروژه‌ی مسکن اجتماعی در گلاسکو) توسط خانواده-های دارای فرزند اشغال شده است. اگر این کودکان به سیستم های مدارس با کیفیت بالاتر از موارد دیگر دسترسی داشته باشند، می‌توانند نتایج آموزشی به مراتب بهتری نشان دهند و درآمد بیشتری در طول عمر کسب نمایند.

۲-۲-۳-۳ هزینه های پیشگیرانه

یک موضوع کلیدی در بسیاری از ادبیات تحقیق، تاثیر گسترده توسعه مسکن های اجتماعی بر هزینه های پیشگیرانه است، به این معنی که سرمایه گذاری در مسکن اجتماعی منجر به اجتناب از نتایج مضر می‌شود و بنابراین می‌تواند به عنوان یک نوع مداخله مثبت در مقابل هزینه برای تقاضای مالی ناشی از شکست در نظر گرفته شود. هزینه‌های پیشگیرانه، که گاهی اوقات به عنوان مداخله اولیه یا بالادستی تصور می‌شود، از نظر مفهومی رایج است. اما به طور قابل ملاحظه‌ای اگر در مقیاس وسیع یا در خدمات عمومی به طور کلی ارائه شود، دشوار می‌باشد. هرچند موفقیت‌های قابل توجهی در سراسر بریتانیا و جاهای دیگر وجود داشته باشد دولت اسکاتلند متعهد شد که در پیشگیری یا مداخله زودهنگام تغییر قاطعی انجام دهد، اما دستیابی به این پیشرف بسیار مشکل پیش بینی شده بود [۲۶]. اگرچه تأکید بر سایر مزایا و تأثیرات ناشی از مداخله بسیار مهم است، اما در نظر گرفتن مزایای مداخله به عنوان هزینه‌های احتمالی که توسط سایر بخش‌های مخارج اجتناب می شود (مانند مراقبت های بهداشتی، عدالت، تامین اجتماعی، اسکان موقت، و غیره) قابل توجه می‌باشد. برای بسیاری که در تجزیه و تحلیل هزینه‌های پیشگیرانه کار می‌کنند، شواهد قوی از رفاه بیشتر و ارزش اجتماعی در این زمینه-

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

های دیگر، که می‌تواند برای حمایت از فعالیت‌های پیشگیرانه بیشتر مورد استفاده قرار گیرد، مشتاقانه جستجو می شود. با این حال ، موانع قابل توجهی برای اثبات هزینه های پیشگیرانه بین بخشی وجود دارد:

• یک مشکل پیچیده، بودجه‌های سالانه، افق‌های زمانی کوتاه (و متفاوت) و اهداف مختلف در شرکای احتمالی پروژه پیشگیری است. به دست آوردن سود یا بازپرداخت در حوزه سیاست دیگر ممکن است زمان زیادی بطول بکشد (حتی یک نسل) که منجر به قطع تخفیف ارزش پیشگیری می‌شود. همچنین ممکن است پروژه‌های خلاقانه‌ای که در ابتدا موفقیت پیشگیرانه ای را نشان می‌دهند، جریان اصلی داشته باشند و برتری خود را از دست بدهند. محققان پیشنهاد می‌کنند که مشوق های مالی ایجاد شود که به نهادهای عمومی برای پیشگیری و همچنین خلاقانه تر در مورد بودجه بندی فکر کند:

• در فراسوی مرزهای سازمانی، شرکای مختلف در واقع ممکن است با ارزش‌ها، اهداف و پیچیدگی‌های عملیاتی متفاوت عمل کنند که ایجاد راه حلهای پیشگیرانه وسیع را دشوار می کند.

• غالباً پاداش یا انگیزه بسیار کمی برای جذب، ترویج یا تشویق پیشگیری وجود دارد.

• ایجاد پس اندازهای قابل جابجایی دشوار است و ممکن است به منبع پس انداز در مشارکت سرازیر نشود؛ که یک عامل ضد انگیزه قوی می‌باشد. در همان زمان که هیچ گونه پس انداز قابل جبران وجود ندارد و مداخله تقاضای خدمات عمومی را کاهش می دهد (یعنی موفقیت پیشگیرانه)، این امر ممکن است به سادگی باعث کاهش هزینه‌های یک بخش شود.

۳-۲-۳-۳ عدالت کیفری

افرادی که به مسکن پایدار دسترسی دارند، کمتر درگیر فعالیت‌های مجرمانه خواهند بود. این تأثیر به ویژه برای افرادی که قبلاً بی خانمان بودند بسیار قوی است. حبس، یک حکم سنگین برای زندانیان و همچنین سیستم قضایی است، بنابراین جلوگیری از این هزینه‌ها به نفع دولت‌ها است [۲۷]. افرادی که فاقد مسکن امن هستند به احتمال زیاد درگیر فعالیت‌های جنایی مانند فروش مواد مخدر، فحشا، سرقت یا بررسی کلاهبرداری برای بدست آوردن بودجه لازم برای تامین مایحتاج ضروری خواهند شد. افراد دارای معلولیت جسمی و روانی ۲۴ درصد از افرادی را که بی سرپناهی را تجربه می‌کنند، بیشتر با سیستم عدالت کیفری در تعامل هستند. افراد دارای معلولیت ممکن است برای به دست آوردن و حفظ شغل ثابت مشکلاتی داشته باشند، که می‌تواند منجر به بی-خانمانی مکرر آن‌ها شود. افرادی که دارای معلولیت‌های روانی هستند و بی‌خانمانی را تجربه می‌کنند، بیشتر به دلیل مزاحمت عمومی، مصرف عمومی الکل، تجاوز جنسی و جرایم سطح پایین مواد مخدر مورد نظر قرار می گیرند. در دنور آمریکا، افراد مبتلا به بیماری‌های روانی یا اختلالات مصرف مواد که به طور مزمن بی‌خانمان هستند، به طور متوسط سالانه ۵۶ روز در زندان می گذراندند. با کاهش تعداد افراد دارای معلولیت که به طور مزمن بی‌خانمان هستند، شهرداری‌ها و ایالت‌ها می‌توانند هزینه‌های ایمنی عمومی را کاهش دهند.

۳-۳-۳ اثرات مسکن اجتماعی بر سلامت افراد

تامسون و توماس [۲۸] مسائلی را پیشنهاد می‌کنند که مداخلات مسکن‌های اجتماعی با بهره وری انرژی بر پیامدهای سلامت و آثار اقتصادی و اجتماعی تأثیر مثبت می گذارد. آن‌ها در نتایج خود بیان می کنند که شواهد موجود نشان می‌دهد مسکنی که از نظر اندازه برای خانواده مناسب بوده و از نظر هزینه گرمایش مقرون به صرفه باشد، با بهبود سلامت مرتبط است. به علاوه می تواند باعث بهبود روابط اجتماعی در داخل و خارج از خانه شود. علاوه بر این، برخی پیشنهادات وجود دارد که ارائه گرمای مناسب و مقرون به صرفه ممکن است غیبت از مدرسه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

یا محل کار را کاهش دهد. پیامدهای کلیدی تحت تأثیر بهبود مسکن طراحی و فضای زندگی می‌باشد؛ راحتی حرارتی، هزینه های مسکن و میل به خانه از جمله این بهبودها می‌باشند.

تامسون و همکاران [۲۹] تأثیر بهبود نتایج مسکن بر پیامدهای سلامتی را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس ۴۵ مطالعه مرتبط، آنها دریافتند که پارامترهای تنفسی و روانی افراد بدنبال بهبود گرما به میزان قابل توجهی بهبود یافته است. بازآفرینی محله‌ای مسکن، نتایج بهداشتی مثبتی از جمله بر عوامل اجتماعی و اقتصادی و سلامت خواهد داشت. آن‌ها بر ضرورت مداخلات هدفمند تأکید کردند و عنوان نمودند که به منظور ارزیابی تأثیرات بلندمدت بر سلامت، درک بهتری از تأثیرات اجتماعی-اقتصادی بهبود مسکن مورد نیاز است.

مطالعه اخیر مرکز Ageing better [۳۰]، به برآورد هزینه خانه‌های غیر مناسب در انگلستان در سال می پردازد. گزارش Ageing Better نشان می‌دهد که NHS[1] ۵۱۳ میلیون پوند را تنها برای هزینه های درمان سال اول ۵۵ سالگی افراد که در فقیرترین مسکن زندگی می کنند، هزینه می‌کند. سرمایه گذاری ۴.۳ میلیارد پوند می‌تواند همه این خانه ها را تعمیر کند (هزینه ای که در مدت حدود هشت سال بازپرداخت می‌شود و کیفیت زندگی را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد). نویسندگان استدلال می‌کنند که هزینه رسیدگی به وضعیت بد مسکن انگلستان نسبتاً مقرون به صرفه است: یک سوم تمام خانه‌های غیرمعمول را می‌توان با هر واحد ۱۰۰۰ پوند تعمیر نمود.

هیگینز و همکاران [۳۱] ارزیابی تأثیر برنامه بهداشتی ۵۰،۰۰۰ خانه مقرون به صرفه را ارائه کردند. از آنجا که مسکن با کیفیت خوب دارای مزایای بهداشتی مهمی است و می‌تواند بر نابرابری‌های سلامت تأثیر مثبت بگذارد جای تعجب نیست که مسکن ایمن از مزایای قابل توجهی از بهره وری انرژی، عایق حرارتی، فضای مناسب و سرپناه ایمن برخوردار است. آنها همچنین عنوان می‌کنند که ممکن است اثرات ثانویه جابجایی نیز وجود داشته باشد، زیرا مسکن اجتماعی جدید ارزش سهام مسکن اجتماعی قدیمی را کاهش می دهد. هم چنین محققین جندین بعد مختلف از مرگ و میر، عوارض و هزینه‌های فرصت‌های سلامتی ناشی از بی‌خانمانی را نسبت به گروه-های کنترل خانه دار نشان دادند. نویسندگان مزایای پیشگیرانه ناشی از کاهش بی‌خانمانی را از طریق مداخلات، بصورت خاص برای مسکن‌های اقتصادی، نشان دادند.

۴-۳-۳ بررسی اثرات کوتاه مدت بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی بر سلامت افراد و شاخص‌های اجتماعی آن‌ها

در طی سال های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵، دولت انگلستان بیش از ۴۵ میلیون یورو برای ارتقای بهره وری انرژی ۴۸۰۰ واحد مسکونی اقشار کم درآمد سرمایه گذاری کرد. ارتقای بهره وری این سازه ها با تکنیک هایی مانند عایق سازی دیوارهای خارجی، تعویض درب ها و پنجره های ساختمان، ارتقای سیستم گرمایشی، و اتصال به شبکه گاز تامین گردید. سپس اثرات این سرمایه گذاری بر روی سلامت افراد و اثرات اجتماعی آن در یک بازه زمانی کوتاه مورد سنجش قرار گرفت [۳۲].

در این بررسی مطالعات میدانی از ۳۶۴ نفر ساکنین خانه های ارتقا یافته (مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی) و ۴۱۸ نفر از ساکنین خانه های ارتقا نیافته (مسکن های اجتماعی معمولی) انجام پذیرفت. برای این منظور پرسشنامه هایی تهیه گردید و در ماه های سرد سال (دسامبر تا فوریه) جمع آوری گردید. پارامترهای سلامت افراد شامل سلامت روانی، سلامت جسمی و وضعیت سلامت عمومی فرد، و پارامترهای اثرات اجتماعی

[1] National Health Servise

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شامل مشکلات مادی و استرس های مرتبط، امنیت تامین غذا، آسایش حرارتی، شرایط خانه و جداشدگی از اجتماع در نظر گرفته شد. بعد از دسته بندی افراد براساس سن، جنس، شرایط درامدی، و نیز شرایط سیگاری بودن فرد نتایج به دست آمده از پرسشنامه ها نشان داد که ارتقای بهره وری انرژی در ساختمان های مورد مطالعه تاثیر خاصی بر سلامت جسمی و سلامت روانی افراد در کوتاه مدت نداشته است، ولی سبب بهبود وضعیت سلامت عمومی فرد در مقایسه با مسکن های اجتماعی معمولی گردیده است. هم چنین نتایج نشان می دهد که بهره وری انرژی سبب کاهش مشکلات مادی، افزایش آسایش حرارتی، افزایش رضایتمندی ساکنین از شرایط خانه و افزایش تمایل افراد مسکن های اجتماعی ارتقا یافته برای دعوت دوستان و خانواده به خانه های خود گردیده است. البته باید توجه داشت که نتایج این مطالعه برای یک دوره ارزیابی کوتاه مدت بوده و احتمالا در دوره های ارزیابی بلند مدت تاثیر مثبت بهره وری انرژی مسکن های اجتماعی بر سلامت جسمی و روان افراد نیز علاوه بر ارتقای وضعیت اجتماعی ساکنین قابل مشاهده خواهد بود.

۳-۳-۵ اثرات و ملاحظات اجتماعی توسعه مسکن برای اقشار کم درآمد

۳-۳-۵-۱ افزایش سطح سلامت در مسکن های اجتماعی با کیفیت

وقتی خانواده‌ها گزینه‌های مسکن مقرون به صرفه‌ای ندارند، ممکن است مجبور به زندگی در خانه‌های نامرغوب شوند که ساکنان را در خطر مسمومیت با سرب، آسم و صدمات تصادفی قرار می‌دهد. شرایط ناامن در خانه می‌تواند رفاه ساکنان را تهدید کرده و خطر سوختگی و جراحات تصادفی را افزایش دهد. شواهد نشان می‌دهد که اقدامات ساده مانند نصب آشکارسازهای دود و محافظ پنجره‌ها می‌تواند تأثیر عمده ای بر ایمنی و سلامت ساکنان داشته باشد. اجرای مقررات همچنین می‌تواند یک ابزار موثر برای رفع خطرات بهداشتی مسکونی در داخل خانه باشد [۳۳]. علیرغم تلاش‌های عمده بهداشت عمومی، خانواده‌های کم درآمد بیشتر از خانواده‌هایی با درآمد بالا در خانه‌هایی زندگی می‌کنند که خطرات ناشی از رنگ سرب را تجربه می‌کنند. به طور کلی، پیشرفت‌هایی در کاهش قرار گرفتن کودکان در معرض سرب انجام شده است. داده های جمع آوری شده از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ نشان داده است که تعداد کودکانی با میزان سرب ۱۰ میکروگرم در دسی لیتر خون از ۶۳ کودک در هر ۱۰۰۰ نفر به ۲۰ کودک در هر ۱۰۰۰ نفر کاهش یافته است. منابع اصلی سرب خانگی گرد و غبار پنجره، خاک و رنگ است. تخمین زده شده است که ۳۵ درصد از ۱۰۶ میلیون واحد مسکونی با رنگ سرب در ساختمان و ۲۲ درصد خانه‌ها حاوی یک یا چند مورد مخاطرات رنگ ناشی از سرب هستند [۳۴]. آسم توسط تعدادی از عوامل محیطی، به ویژه کیفیت هوا که تحت تأثیر منابع گرمایش مسکونی و آلرژن های داخلی قرار دارد، ایجاد می‌شود. کیفیت پایین یا محل نگهداری ضعیف ممکن است از کپک، کنه‌های گرد و غبار، سوسک‌ها یا جوندگان پوشیده شود - که همه آن‌ها منابع آلرژن‌هایی هستند که باعث آسم و سایر بیماری‌های تنفسی می‌شوند. حذف سرب و تسکین آلرژن ممکن است نیاز به مداخلات گسترده‌ای مانند تعویض پنجره و فرش و مدیریت یکپارچه آفات داشته باشد. در حالی که این اقدامات ممکن است دارای برچسب قیمت بالاتری باشند، تحقیقات نشان داده است که آنها در طول زمان هم موثر و هم مقرون به صرفه تر از نگهداری معمولی هستند که منجر به کاهش چشمگیر در بروز جدی آسم می‌شود. علاوه بر این، پروژه‌هایی که نوسازی مسکن سالم مانند تهویه، گرمایش، عایق بندی و تغییرات دسترسی را انجام داده اند، میزان بستری شدن حاد در کودکان و بزرگسالان را کاهش داده است.

گروهی از تحقیقات نشان می‌دهد که مسکن پایدار و مقرون به صرفه ممکن است به افرادی که با بیماری های مزمن مانند HIV/AIDS، دیابت و فشار خون بالا زندگی می‌کنند، کمک شایان توجهی کند تا میزان مراقبت‌های

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

پزشکی خود را افزایش دهند، رژیم‌های درمانی خود را حفظ کرده و نتایج بهداشتی بهتری را به دست آورند. بیماران بی‌خانمان به ویژه ممکن است در ذخیره سازی صحیح داروها و سرنگ، رعایت رژیم غذایی توصیه شده و قرار ملاقات‌های بعدی در صورت مواجهه با خواسته‌های فوری رقابتی مانند یافتن مکانی برای ماندن در شب دچار مشکل شوند. چالش‌های ناشی از بی‌خانمانی نیز ممکن است این احتمال را افزایش دهد که افرادی که با سوء مصرف مواد مخدر و اعتیاد دست به گریبان هستند، رفتارهای خطرناکی از قبیل به اشتراک گذاشتن سوزن یا به اشتراک گذاشتن تمایلات جنسی برای بدست آوردن سرپناه داشته باشند، که سلامت آن‌ها را بیشتر به خطر می‌اندازد. دسترسی به خدمات اجتماعی در مسکن پایدار آسان‌تر است، زیرا اغلب برای جستجوی کار و حفظ تداوم مراقبت‌های پزشکی به آدرس نیاز است. زنانی که از بی ثباتی مسکن رنج می برند، به دلیل این اعتقاد که برای حفظ حضانت فرزندان خود باید وضعیت مسکن خود را پنهان کنند، کمتر از خدمات اجتماعی بهره مند می‌شوند.

۲-۵-۳-۳ کاهش استرس و فشارهای روانی

بی‌ثباتی مسکونی تأثیرات نامطلوبی بر سلامتی روان دارد. به عنوان مثال، مطالعات به طور مداوم نشان می‌دهد که کودکان بی‌سرپناه نسبت به کودکانی که در خانه مستقر هستند بیشتر در معرض مشکلات بهداشت روان، تاخیر در رشد، پیامدهای شناختی ضعیف و افسردگی قرار دارند و این مسکن پایدار به شدت با بهبود پیامدهای سلامت روان این افراد ارتباط دارد بطوری که تعداد روزهای بستری در میان بزرگسالانی که سابقا بی‌خانمان بوده اند، بسیار کمتر می‌باشد [۳۵]. کم اثرترین ناپایداری‌ها، از جمله نقل و انتقالات مکرر، زندگی در خانه های مشترک، اخراج و محرومیت، با افزایش سطح استرس، افسردگی و ناامیدی مرتبط است. در میان نوجوانان و سالمندان، محققان شواهدی مبنی بر ارتباط بین مدت زمان ساکن شدگی در یک ساختمان مسکونی و احتمال گزارش ساکنان از نظرهای رفتاری و روانی یافته اند. از جمله می‌توان به دوره های طولانی مدت با سطوح پایین‌تر افسردگی در میان سالمندان و کاهش رفتارهای دورن گرایانه و برون گرایانه، مانند اضطراب و پرخاشگری در بین نوجوانان در خانواده‌هایی که پیوندهای اجتماعی قوی ندارند یا سایر عوامل واسطه‌ای وجود ندارد، اشاره نمود. همچنین می‌توان به این مورد نیز اشاره کرد که انتقال جوانان از سیستم مراقبت ویژه بخصوص در شرایطی که در معرض بی‌ثباتی مسکن و پیامدهای منفی سلامتی، از جمله مشکل در دسترسی به مراقبت و تداوم مراقبت به دلیل عدم وجود ارائه دهنده مراقبت‌های بهداشتی منظم، کودکان بدون مسکن پایدار بیشتر از خدمات بخش اورژانس استفاده می کردند. مشخص شده است که کودکان زیر سه سال که در سال قبل دو یا چند بار تغییر مسکن داده اند، در مقایسه با کودکانی که در خانه های ثابت زندگی می‌کرده اند، وزن کمتری نسبت به سن خود دارند و در معرض بیشترین مشکلات رشد قرار خواهند گرفت [۳۶]. بین نوجوانان، ارتباط قابل توجهی بین استفاده اولیه از داروهای غیرقانونی و جابجایی چهار بار یا بیشتر قبل از سن شانزده سالگی مشاهده شده است. مجموعه ای از شواهد نشان می‌دهد که حتی تظاهرات شدیدتر بی‌ثباتی مسکن، مانند مشکل در قبض‌های آب و برق، پرداخت وام مسکن یا تعمیرات خانه، ممکن است با سطوح پایین‌تر بهزیستی روانشناختی و استفاده بیشتر از خدمات پزشکی مرتبط باشد.

۳-۵-۳-۳ افزایش رفاه اجتماعی

خانواده‌هایی که مقدار زیادی از درآمد خود را برای مسکن پرداخت می‌کنند، اغلب منابع کافی برای سایر نیازهای ضروری از جمله غذا، بیمه درمانی و مراقبت‌های بهداشتی ندارند. این مبادلات می‌تواند سلامت همه اعضای خانواده، به ویژه کودکان را تهدید نماید. تجزیه و تحلیل هزینه‌های خانوارهای سال ۲۰۱۲ نشان داد که خانوارهای کم درآمد که بیش از نیمی از درآمد خود را صرف هزینه‌های مسکن کرده‌اند و بنابراین هزینه‌های

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مسکن آنها به شدت سنگین است (در مقایسه با خانوارهای مشابه کمتر از ۳۰ درصد از درآمد خود) هزینه کمتری برای غذا و مراقبت‌های بهداشتی هزینه کرده‌اند. در مورد مسکن، این تفاوت در هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی و تغذیه به ویژه در مناطق روستایی زیاد بوده است. مطالعه دیگری نشان داد که افزایش متوسط اجاره بها در سراسر ایالتی در آمریکا با افزایش میزان ناامنی غذایی در خانواده‌های دارای فرزند مرتبط است [۳۷]. هزینه‌های آب و برق نیز بخش مهمی از کل هزینه‌های مسکن را تشکیل می‌دهند. برنامه‌هایی که هزینه‌های مصرفی و انرژی خانه را کاهش می‌دهند (توسعه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی) تا هزینه‌های کل مسکن را کاهش دهند، بر توانایی خانواده‌ها برای خرید مقادیر کافی غذا تأثیر می‌گذارد. یک مطالعه نشان داد که مشارکت در یک برنامه فدرال آب و هوا و کمک به انرژی که می‌تواند هزینه‌های کل مسکن را کاهش دهد، احتمال ناامنی غذایی و شرایط ناپایدار مسکن را کاهش می‌دهد. بنابراین دسترسی به مسکن مقرون به صرفه می‌تواند خانواده‌ها را قادر سازد تا هزینه بیشتری را در زمینه غذا و مراقبت‌های بهداشتی هزینه کنند، که می‌تواند نتایج بهداشتی را بهبود بخشد. محققان دریافتند که کودکان خانواده‌های کم درآمد که از یارانه مسکن استفاده می‌کنند، به احتمال زیاد به مقدار کافی به غذای مغذی دسترسی خواهند داشت و معیارهای "کودک خوب" را رعایت می کنند-از جمله عدم نگرانی در مورد رشد، حفظ وزن سالم، و از نظر سلامت، عالی، نسبت به کودکان خانواده‌های مشابه که در لیست انتظار مسکن به سر می‌برند. ارتباط بین مسکن غیرقابل تحمل، بودجه ناچیز و پیامدهای بهداشتی به کودکان محدود نمی‌شود. به عنوان مثال، بزرگسالانی که در مسکن غیرقابل تحمل زندگی می‌کنند در مقایسه با افراد مشابهی که در مسکن مقرون به صرفه زندگی می‌کنند، خود را در شرایط ناعادلانه یا ضعیف توصیف می-کنند [۳۸].

۴-۵-۳-۳ اثرات اجتماعی محله های توسعه مسکن اجتماعی

خانواده‌هایی که فقط در مناطقی با فقر بسیار بالا می‌توانند مسکن مقرون به صرفه پیدا کنند، ممکن است مستعد پریشانی روانی و مواجهه با رویدادهای خشونت آمیز شوند. تجمع آسیب های اجتماعی متمرکز، از جمله بی نظمی مسکونی و محدودیت منابع محله، استرس را تشدید می کند، که می تواند بر سلامت جسمانی ساکنان تأثیر بگذارد [۳۹]. ساکنانی که در محله‌های خود احساس ناامنی می‌کنند نیز ممکن است کمتر قدم بزنند و به انجام سایر فعالیت‌های بدنی بپردازند، هرچند یافته ها در این زمینه متفاوت است و قوی ترین شواهد از بهبود سلامت مربوط به مداخلات مسکن در سطح محله حکایت می‌کند. در میان شرکت کنندگانی که کوپن‌های مسکن دریافت کرده‌اند که فقط در مناطق فقیرنشین (گروه "تجربی") قابل استفاده بود، چاقی بزرگسالان ۱۱ درصد کاهش یافت. زنان بزرگسال و دختران نوجوان در گروه آزمایشی نیز کاهش قابل توجهی در مشکلات بهداشت روانی از جمله ناراحتی روانی، افسردگی و اختلال اضطراب عمومی داشتند و میزان مصرف سیگار و ماری جوانا در آنها کمتر از سایر شرکت کنندگان در مطالعه بود. برنامه HOPE VI که توسط دولت فدرال تأمین شده است، فرصت دیگری را برای ارزیابی مداخلات مسکن در سطح محله و تأثیر آنها بر سلامتی فراهم می‌کند. HOPE VI از توسعه مجدد مسکن‌های عمومی مشکل‌دار به عنوان سرپناه جوامع کم درآمد و درآمد مخلوط حمایت می‌کند. برخی از ساکنان اصلی به املاک بازسازی شده باز می گردند، در حالی که برخی دیگر به خانه های عمومی دیگر نقل مکان می‌کنند یا از کوپن برای انتقال به واحدهای خصوصی استفاده می‌کنند. بر اساس یک مطالعه پانل دقیق در مورد ساکنان متاثر از فعالیت‌های احیاء در دو سایت شیکاگو، HOPE VI (کسانی که به خانه‌های عمومی یا خصوصی رفتند و همچنین کسانی که در یک منطقه با درآمد مختلط اقامت داشتند)، محققان دریافتند که ۸ مورد سال‌ها پس از جمع آوری داده‌های اولیه، هم پاسخ دهندگانی که به مسکن بازسازی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

شده بازگشتند و هم کسانی که از کوپن برای انتقال به محله‌های جدید استفاده کردند در محله‌های امن تر و خانه‌های با کیفیت بالاتر زندگی می‌کردند. در حالی که اکثر مشکلات سلامتی بهبود نیافته و در بسیاری از موارد از رتبه های ضعیف همچنان بدتر می شوند، شرکت کنندگان در مطالعه پانل کاهش قابل توجهی در سطح اضطراب گزارش کردند. ساکنان HOPE VI همچنین از احساس امنیت و کاهش ترس از جنایت در محله‌های جدید خود خبر داده اند که هر دو می‌توانند باعث ایجاد استرس و انزوای اجتماعی شوند. همانطور که سایر محققان نیز دریافته‌اند، شرایط محله و محل سکونت ممکن است تأثیر بیشتری نسبت به کیفیت واحد مسکونی، بر اضطراب و افسردگی داشته باشد. نشان داده شده است که انسجام اجتماعی در محله‌ها با بهزیستی ذهنی در ارتباط است. بزرگسالانی که در محله‌هایی زندگی می‌کنند که احساس می‌کنند انسجام قوی دارند از استرس‌های روزانه رنج نمی‌برند و از سلامت جسمی بهتری برخوردار هستند. مطالعات نشان می‌دهد که انسجام اجتماعی یک جامعه به کیفیت یک محله بستگی دارد، که می‌تواند تعاملات اجتماعی را از طریق فضاها و امکانات عمومی ارتقا دهد. جوامع دارای اختلال اجتماعی با میزان بالاتری از اضطراب و افسردگی در بین ساکنان در ارتباط هستند.

استراتژی‌های توسعه جامعه که امکانات محله را بهبود می‌بخشند (از جمله ایجاد مسیرهای پیاده روی و مسیرهای دوچرخه سواری برای تسهیل ورزش و جذب مراکز خرده فروشی مثل فروشگاه‌های مواد غذایی و بازارهای کشاورزان) می‌تواند به افزایش فعالیت بدنی و تغذیه سالم کمک کند [۴۰]. مناطق نزدیک ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی فعلی یا برنامه ریزی شده، فرصت مطلوبی برای ادغام این ویژگی‌ها با افزایش تقاضا برای توسعه حمل و نقل عمومی ایجاد می‌کنند. جوامع جدید یا در حال توسعه مجدد در این مناطق می‌توانند طوری طراحی شوند که دسترسی به مجموعه‌ای از مراکز خرده فروشی، مدارس و سایر خدمات را در فاصله کمی که با پیاده‌روی قابل دسترسی باشد، ایجاد کنند، که ممکن است وابستگی ساکنان به وسایل نقلیه شخصی را کاهش داده و بسیاری از مزایای سلامتی مرتبط با پیاده روی را افزایش دهد. سطح کلسترول و فشار خون، بهبود سلامت روان، تقویت روابط اجتماعی و کاهش خطر چاقی، حوادث قلبی عروقی و دیابت نوع ۲ از جمله این مزایای سلامتی هستند.

۵-۵-۳-۳ اثرات مالک بودن ساکنین مسکن اجتماعی در مقایسه با اجاره نشینی

بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که صاحبان خانه به طور کلی نتایج جسمی و روحی بهتری نسبت به اجاره دهندگان دارند [۴۱]. محققان انواع مختلفی از توضیحات احتمالی را برای این پدیده ارائه کرده‌اند و پیشنهاد می-کنند که صاحبان خانه سطح بالاتری از عزت نفس و احساس کنترل بیشتری را تجربه می‌کنند که ممکن است با بهبود سلامت مرتبط باشد. صاحبان خانه به احتمال زیاد در خانه‌هایی با کیفیت بالاتر زندگی می‌کنند و آزادی بیشتری برای سازگاری محیط اطراف با نیازهای خود دارند، این امر باعث کاهش استرس و افزایش رضایت می-شود. این تحقیق در مورد اینکه آیا صاحبان خانه بیش از ۳۰ درصد درآمد خود را صرف خرید مسکن می کنند و از همه مزایای سلامتی مالکیت خانه برخوردار نیستند، اجماع ندارد. اگرچه تحقیقات اخیر این ایده را تأیید می-کند که حتی مالکیت غیرقابل تحمل خانه ممکن است تأثیرات مثبت بیشتری بر سلامتی نسبت به اجاره داشته باشد. یک مطالعه نشان داده است که برخلاف اجاره دهندگان، نمرات سلامت روانی صاحبان خانه بدون در نظر گرفتن اینکه بیش از ۳۰ درصد درآمد خود را برای مسکن خود هزینه می کنند یا خیر، یکسان است. مطالعه دیگری نشان داده است، مالکانی که پرداخت وام مسکن را از دست داده‌اند یا بیش از ۳۰ درصد از درآمد خود را صرف خرید مسکن کرده اند، هنوز از سلامت بیشتری نسبت به اجاره دهندگان برخوردارند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تحقیقات اخیر شواهدی قوی از رابطه مثبت مشابه بین مالکیت خانه و سلامت کودکان نشان نمی‌دهد، اگرچه هیچ نشانه‌ای از ارتباط منفی بین آن‌ها مشاهده نگردید. یک مطالعه اخیر که فرزندان صاحبان خانه و مستأجران کم درآمد را با هم مقایسه کرده است، هیچ تفاوتی در مشکلات بهداشتی یا رفتاری که توسط مراقب اصلی کودک رتبه بندی شده است، پیدا نکرده است. تحقیقات قبلی سطوح کمی پایین‌تری از مشکلات رفتاری را در خانواده-های صاحب خانه در مقایسه با اجاره دهندگان نشان داده است. با این حال، محققان به طور معمول نتوانسته اند تشخیص دهند که مالکیت خانه به دلیل متغیرهای زیاد بر سلامت کودکان تأثیر بسزایی دارد یا خیر. به عنوان مثال، افرادی که تصمیم می‌گیرند صاحب خانه شوند، می‌توانند مجموعه‌ای از ویژگی‌های مشترک را داشته باشند که صرف نظر از اجاره، بر والدین و سلامت آن‌ها تأثیر می‌گذارد و حداقل تا حدی نتایج مختلف اجاره و مالکان را توضیح داد [۴۲]. تا آنجا که مزایای مالکیت خانه با افزایش ثبات یا کیفیت مسکن مرتبط است، برنامه‌های اجاره-ای مقرون به صرفه که ثبات مسکونی طولانی مدت و کیفیت بالای مسکن را افزایش می‌دهد، ممکن است مزایایی مشابه مالکیت خانه داشته باشند. با این حال، وام مسکن ناپایدار می‌تواند بسیاری از مزایای سلامتی مرتبط با مالکیت خانه را جبران کند. تحقیقات اخیر به ارتباط بین سلب منزل و مجموعه‌ای از مشکلات منفی جسمی و روانی از جمله فشار خون، بیماری قلبی، اضطراب و افسردگی اشاره می کند. این مشکلات ممکن است با تمایل بسیاری از افراد برای رویارویی با رفتارهای ناسالم در مواجهه با رویدادهای استرس زای زندگی تشدید شود. در یک نظرسنجی از صاحبان خانه و مستاجران آمریکایی در چهار ایالت با بالاترین نرخ سلب حق مالکیت در سال ۲۰۰۸، صرف نظر از اینکه مستاجران بیش از ۳۰ درصد درآمد خود را برای مسکن خود هزینه کرده اند، صاحبان خانه در سلب مالکیت وضعیت بدتری نسبت به اجاره دهندگان گزارش دادند. علاوه بر این، صاحبان خانه در سلب مالکیت بیشتر از صاحبان خانه‌هایی که در وام مسکن خود هستند و می‌توانند اقساط ماهانه خود را پرداخت کنند، سیزده بار بیشتر دچار مشکلات روحی-روانی می شوند.

۳-۵-۳-۶ اثرات کاهش تراکم خانوار در مسکن های اجتماعی

هنگامی که مسکن مقرون به صرفه نیست، ممکن است خانواده‌ها مجبور شوند با دیگر خانواده‌ها همخانه شوند یا در شرایطی شلوغ زندگی کنند. افرادی که در محیط شلوغ زندگی می‌کنند ممکن است توانایی محدودی در مدیریت استرس‌های روزانه و حفظ موفقیت آمیز روابط حمایتی داشته باشند که می‌تواند منجر به افزایش سطح پریشانی روانی، احساس درماندگی و حتی افزایش فشار خون شود [۴۳]. مطالعات همچنین نشان داده است که ازدحام جمعیت می‌تواند بر سلامت جسمی از طریق افزایش مواجهه با بیماری‌های عفونی تأثیر منفی بگذارد. مشکلات بهداشتی و رفتاری کودکان نیز با افزایش شلوغی در محیط خانه افزایش می‌یابد. برنامه‌های مسکن مقرون به صرفه با ارائه جایگزینی برای ازدحام جمعیت بر پیامدهای سلامتی تأثیر مثبت می‌گذارند. به عنوان مثال، یک مطالعه تصادفی نشان داده است که دریافت کوپن مسکن برای یارانه هزینه‌های اجاره احتمال شلوغی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

۳-۵-۳-۷ اثرات توسعه مسکن اجتماعی بر کاهش خشونت خانگی

خشونت خانگی یکی از عوامل اصلی بی‌خانمانی زنان و کودکان در ایالات متحده است. به نظر می‌رسد میزان سوء استفاده‌های خانگی در دوره‌های رکود اقتصادی بیشتر می‌شود. بسیاری از زنان که نمی‌توانند شرایط مسکن جایگزین مقرون به صرفه را پیدا کنند، ترجیح می‌دهند در خانه بمانند یا به وضعیت بدی برگردند تا اینکه بی-خانمان شوند [۴۴]. یک مطالعه اخیر نشان داده است که میزان بازگشت زنان به سوء استفاده کنندگان در زمان کاهش دسترسی به مسکن مقرون به صرفه افزایش می‌یابد. ادامه زندگی با فرد متجاوز هم زن و هم فرزندانش را

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

در معرض خطر قرار می‌دهد. در حالی که برخی از کودکان سطح انعطاف پذیری بالایی از خود نشان می‌دهند، بسیاری از کودکانی که در معرض خشونت هستند علائم ناراحتی جسمی و روانی و ضربه را نشان می‌دهند. خشونت خانگی معمولاً همراه با کودک آزاری اتفاق می‌افتد، به این معنی که کودکان به همراه مادران خود ممکن است در معرض آسیب جسمی باشند. اگر زن نتواند مسکن مقرون به صرفه و ثابتی پیدا کند، تنها خروج از وضعیت بدرفتاری خانگی ممکن است کافی نباشد. زنانی که بارها به دلیل خشونت خانگی نقل مکان کرده‌اند، بیشتر از آنکه در معرض خشونت خانگی قرار گیرند، فشار روانی ناشی از مشکلات مسکن را گزارش می‌دهند. خشونت خانگی می‌تواند با محدود کردن دسترسی زنان به منابع مالی و ایجاد سابقه کار نامنظم و ارجاعات ضعیف صاحب خانه در ارتباط با اختلالات و خسارت‌های مالی، توانایی زنان برای یافتن مسکن جایگزین را مختل کند. در حقیقت، محققان دریافته‌اند که برخی از مالکان تمایلی به اجاره دادن خانه به زنان فرار کرده از خشونت خانگی ندارند (علیرغم قوانینی که چنین تبعیضی را ممنوع کرده است) زیرا آن‌ها توانایی اجاره نشین در پرداخت اجاره را زیر سوال می‌برند و از خطر احتمالی شریک سوء استفاده کننده، می‌ترسند. زنانی که به دنبال مسکن هستند غالباً با وجود فاکتورهای خطرساز بی‌ثباتی مسکن، با تعریف فدرال از بی‌خانمانی مطابقت ندارند و آن‌ها را برای برخی خدمات واجد شرایط نمی‌دانند و از در نظر گرفتن آنان در برآورد جمعیت بی‌خانمانان خارج می‌گردانند. نیاز به راه حل‌های مسکن برای زنان، وسیع‌تر از سرپناه‌های کوتاه مدت است. مسکن دائمی، ایمن و مقرون به صرفه باید برای زنانی که خشونت شریک خود را تجربه می‌کنند در دسترس قرار گیرد. مسکن ارزان قیمت، همراه با اجرای قوانین مسکن عادلانه، می‌تواند به بازماندگان خشونت خانگی کمک کند تا از آسیب‌های جسمی و روحی ناشی از سوء استفاده، فرار کنند و از خطرات سلامتی ناشی از بی‌خانمانی جلوگیری کنند.

۸-۵-۳-۳ ملاحظات مرتبط با سالمندان در توسعه مسکن های اجتماعی

با افزایش سن، افراد اغلب دچار اختلالات حرکتی می‌شوند که زندگی راحت آن‌ها در خانه را مشکل می‌کند. توانایی افراد مسن و افراد دارای معلولیت برای ماندن در خانه‌های خود تا حد زیادی به وجود ویژگی‌های دسترسی مسکونی بستگی دارد. توانایی پیر شدن در محل با بهزیستی جسمی و روحی بهتر همراه است [۴۵]. از ویژگی‌هایی که خانه را در دسترس قرار می‌دهد، می‌توان به درهای بازتر یا میزهای پیشخوان پایین‌تر اشاره نمود. محققان مستند کرده‌اند که مسکن موجود برای تسهیل سهم فزاینده خانوارهای مسن و دارای معلولیت نا مجهز است، که نشان دهنده نیاز فزاینده به اصلاح خانه است، که با افزایش سن صاحبان خانه، حداکثر تحرک مسکونی را امکان پذیر می‌کند. بسیاری از افراد مسن نیاز فزاینده‌ای به خدمات حمایتی مرتبط با سلامت دارند که می‌توانند از طریق برنامه‌هایی که مسکن مقرون به صرفه را با دسترسی به خدمات مراقبتی و حمایتی مرتبط می‌کند، ارائه شود. یافته‌های حاصل از یک برنامه آزمایشی قدیمی برای افراد مسن کم درآمد و معلول نشان داد که ارائه یک سری ملاقات‌های خانگی با تمرکز بر انجام اصلاحات در خانه، ایمن سازی وسایل کمکی و آموزش راهکارهای ایمنی منجر به افزایش سهولت فعالیت‌های روزمره می‌شود. سقوط کمتر و بهبود کیفیت زندگی ارزیابی برنامه سالمندی برای افراد مسن با درآمد کم که آموزش بهداشت در محل، هماهنگی مراقبت‌های پزشکی، نظارت بر سلامت و برنامه ریزی ترخیص را ارائه می‌داد و دریافت که دریافت خدمات در محل باعث می شود ساکنان احساس امنیت و اطمینان کنند که می‌توانند در خانه‌های خود بمانند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۴ بررسی ملاحظات زیست محیطی

۳-۴-۱ ابعاد زیست محیطی توسعه پایدار

بی تردید انرژی یکی از مهم ترین عوامل در پیشرفت و توسعه پایدار جوامع بشری است. تولید، انتقال و مصرف انواع گوناگون انرژی بزرگ ترین عامل انهدام و آلودگی محیط زیست در میان عوامل انسان ساخت می باشد. عدم تجدید پذیری، افزایش قیمت و اثرات مخرب و شدید زیست محیطی مصرف سوخت های فسیلی از عوامل مهمی است که لزوم استفاده از انرژی‌های پاک و توجه به محیط زیست و ساکنان آن را ضروری می نماید. از آنجا که فضاهای باز و سبز شهری، اغلب فاقد ارزش‌های مستقیم اقتصادی به نظر می رسند، گسترش ساخت و سازهایی که در کوتاه مدت سود بیشتری را در سرمایه گذاری حکومت های محلی و بخش دولتی خواهد داشت، موجب بالا رفتن میزان استفاده از زمین در خدمت منافع اقتصادی کوتاه مدت شده است و گسترش فضاهای سبز شهری در مقایسه با سایر سرمایه گذاری ها، از حمایت مالی کمتری برخوردار است [۴۶]. این معضل در کشورهای توسعه یافته و در کشورهای در حال توسعه، بویژه در مراکز شهرها وجود دارد؛ اما در کشورهای در حال توسعه، به دلیل توجه ویژه گردانندگان شهری به منافع اقتصادی در کوتاه مدت، حضور پررنگ‌تری دارد. تعهدات کشورهای توسعه یافته به موافقت نامه ها و منشورهای زیست محیطی، همچنین فشار افکار عمومی که دید آگاهانه تری به مسائل زیست محیطی دارند، ایجاد انگیزه ای برای شناسایی راه حل‌های نو در راستای توسعه فضای سبز شهری شده است. توسعه دهندگان بخش خصوصی در ساخت و ساز برای کاهش هزینه ها و به دست آوردن سود بیشتر در ساخت بناها، درصد اختصاصی به انرژی های سبز و در نهایت فضاهای سبز را به شیوه های مختلف به زیر بنای کل بنا می افزاید و در این میان احداث پارک ها و بناهای مسکونی با منظر طبیعی سبز در مقیاس وسیع با این روند توسعه پر شتاب شهرهای بزرگ غیر ممکن به نظر می‌رسد [۴۷].

با توجه به محدودیت‌های اکولوژیکی و آثار زیست محیطی، هر مرحله از توسعه شهرها و هر جنبه از طراحی شهری، از صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان‌ها گرفته تا شبکه حمل و نقل منطقه ای و نحوه عملکرد بخش های تجاری و صنعتی در شهر باید مد نظر قرار گیرد [۴۸]. یک جامعه پایدار، محدودیت های اکولوژیکی عمده را مد نظر قرار می دهد، در جستجوی پایداری اجتماعی و کیفیت بالای زندگی می باشد، راهکارهای فراگیر و جامع را به کار می گیرد، متکی بر عدالت و برابری است، بر اهمیت زندگی جمعی تکیه دارد و نیازمند و مشوق حسابداری کلیه هزینه های اجتماعی و زیست محیطی ناشی از تصمیمات خصوصی و دولتی است.

به منظور دستیابی به اهداف محیط زیستی توسعه پایدار راهبردهای چهارگانه زیر باید رعایت شوند:

۱. به کارگیری و پایدار ساختن مصرف منابع تجدید پذیر و یا آنهایی که قابلیت تجدیدپذیری دارند.
۲. بهینه سازی و ممیزی استفاده از منابع تجدیدناپذیر و به حداقل رساندن مصرف منابع طبیعی با توجه به رشد طبیعی آنها
۳. حداقل تولید ضایعات و آلودگی ها که قابل جذب در مقیاس و ظرفیت محیط محلی و جهانی را داشته باشند
۴. ایجاد محیطی سالم برای نسل های آینده و تامین نیازهای اساسی انسان و جامعه

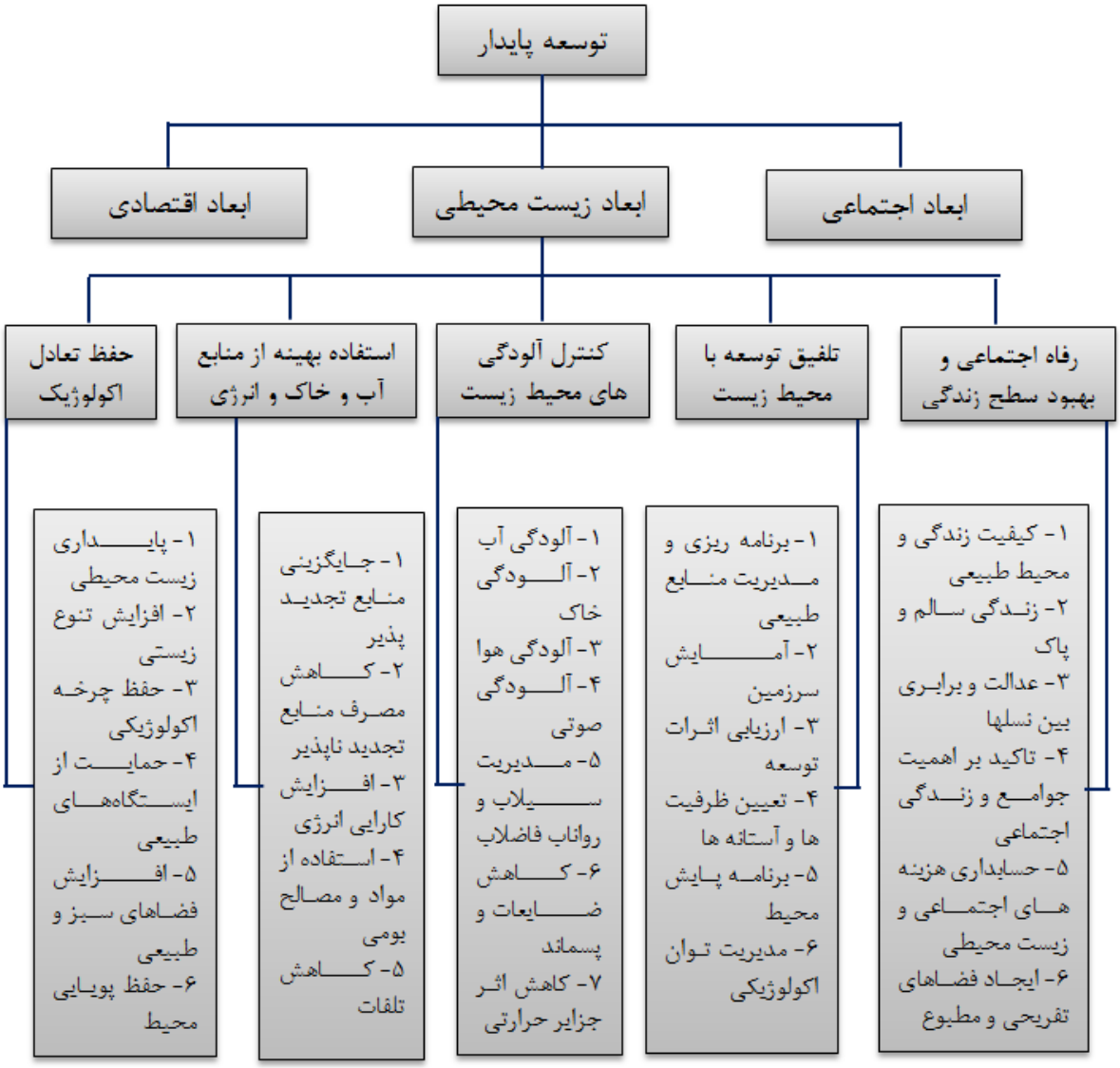
طی مطالعه ای ابعاد محیط زیستی توسعه پایدار را به صورت زیر برمی شمارند [۴۶]:

۱. حفظ تعادل اکوسیستم طبیعی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲. تلفیق امور توسعه با محیط زیست
۳. برنامه ریزی و مدیریت طبیعی
۴. استفاده بهینه از منابع آب و خاک و انرژی
۵. جایگزینی منابع تجدید پذیر
۶. برنامه ریزی و مدیریت حوادث غیر مترقبه
۷. کنترل آلودگی های محیط زیستی

با توجه به مطالعات و بررسی های انجام شده ابعاد محیط زیستی توسعه پایدار در یک نمونه مدل تحلیلی پیشنهادی در پنج شاخه اصلی تقسیم بندی شده است [۴۶] (شکل (۳- ۲)).



شکل (۳- ۲) مدل تحلیلی از ابعاد محیط زیستی توسعه پایدار [۴۶]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۴-۲ تاثیرات معماری سبز برای توسعه مسکن اجتماعی بر بهبود اثرات زیست محیطی

۳-۴-۲-۱ معماری سبز

معماری سبز بیش‌تر با اصلاح "معماری پایدار" شناخته می‌شود. اصطلاحی کلان که به شرح تکنیک‌هایی در طراحی معماری می‌پردازد که همسو با نگرش‌های زیست محیطی بوده و با ایده احترام به طبیعت شکل گرفته است. امروزه در پی پیامدهای منفی جهان صنعتی، نظیر آلودگی روز افزون هوا و محیط زیست، کاهش منابع طبیعی و بحران انرژی، حفظ منابع طبیعی جهان به یکی از مهم ترین دغدغه‌های انسان عصر حاضر تبدیل شده است. اما معماری سبز با جستجوی راهی برای به حداقل رساندن اثرات منفی ساختمان‌ها بر محیط زیست در حقیقت تلاشی است برای هم آوایی و همسویی با طبیعت از طریق افزایش کارایی و بهینه‌سازی در مصرف مصالح، انرژی و گسترش فضا با مهار انرژی خورشید و به کارگیری عناصر ساختمانی مقاوم در برابر حرارت.

در آلمان بطور تخمینی ده درصد از خانه‌ها بطور مستقیم از فضای سبزی چون بام های سبز بهره‌مندند. در شهر توکیو، برنامه توکیو ۲۰۰۰ درآوریل ۲۰۰۱ وارد عمل شد. در این برنامه، فضای قابل استفاده ساختمان‌های جدید با متراژ بیش از ۱۰۰۰ متر مربع باید دارای بیست درصد فضای سبز باشند. بام سبز در برنامه ریز شهری شمال آمریکا در ایالاتی مانند شیکاگو، پرتلند، اورگان و تورنتوی کانادا موثر بوده و در نظر گرفته میشود. در ونکوور ناپایداری در دو زمینه مصرف انرژی و فاضلاب مطرح است و متخصصین تشخیص داده اند که تکنولوژی بام سبز به حل این دو موضوع کمک خواهد نمود. با توجه به اثرات زیست محیطی و تنوع گونه های جاندار بام سبز موجب تاثیرات مثبت نسبت به محیط می‌شود. کاهش آلودگی ناشی از فاضلاب و افزایش میزان اکسیژن لازم برای انسان از دیگر اثرات مثبت فضای سبز ساختمان‌ها محسوب می‌شود. از آنجا که پیشینیان در طول زمان از ویژگی‌های این پتانسیل بهره جسته اند، استفاده از آن در محیط شهری ضمن جذب سر و صدا و خنک سازی با کاهش مصرف انرژی همراه است. ساکنین ساختمان هایی با بام سبز با تولید مواد غذایی گیاهی و با تثبیت خاک یک سیستم پایدار را ایجاد می‌نمایند. جستجو و سرمایه گذاری در تکنولوژی معماری سبز برای توسعه مسکن-های اجتماعی که اغلب در شهرک‌های جدید اطراف شهرهای اصلی احداث می‌شوند، مهم‌ترین روشی است که به شهرهای ما اجازه رشد و توسعه با اطمینان از حفظ و ادامه حیات بشر و محیط را می‌دهد.

۳-۴-۲-۲ راهکارهای استفاده از معماری سبز در توسعه مسکن‌های اجتماعی

بناهایی که برای ایجاد سرپناه برای انسان ساخته می شوند، بایستی از بهترین نوع تطابق با محیط بهره مند باشند. شهرها به عنوان کانون های تمرکز فعالیت و زندگی انسان‌ها برای اینکه بتوانند پایداری خود را تنظیم کنند چاره‌ای جز پذیرش ساختار و کارکردی متاثر از سیستم های طبیعی ندارند. به منظور تطابق ساختمان‌ها با محیط اطراف و کاهش اثرات منفی زیست محیطی ناشی از بخش ساختمان از جمله مسکن‌های اجتماعی، از منظر معماری سبز راه حل‌های مانند احداث بام سبز، احداث دیوار سبز و استفاده از فضای سبز در طبقات وجود دارد که در ادامه به دلیل پرکاربردتر بودن و اثرات زیست محیطی قابل ملاحظه بام‌های سبز، این راه کار با جزئیات بیش تری ارائه می‌گردد.

۳-۴-۲-۳ بام سبز، راهکاری موثر برای بهبود اثرات زیست محیطی ساختمان‌ها

نقش ابزاری باغ بام توانایی کاهش حرارت اطراف شهرها است. دمای کم در ماه های تابستان موجب کاهش تقاضای الکتریسیته می‌شود. در طی ماه‌های زمستان باغ بام میتواند عامل مهمی باشد و کاهش تقاضای انرژی گرمایی را فراهم نماید. بام سبز در واقع بامی است که بر روی سطح آن گیاهان رشد می‌کنند. دتایل های اجرائی

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

چنین بامی تفاوت چندانی با بام‌های معمول نداشته و شامل عایق رطوبتی، عایق حرارتی، پوشش ضد آب، ماسه و درز پوش می‌باشند و در کنار آن شامل مصالح و عناصری هستند که بتوانند عمل نگهداری زهکشی رطوبت و اسباب نگهداری گیاهان (مطابق استاندارد) را در ساختمان سازی فراهم آورند. مزایای بهره گیری از بام سبز در دستیابی به ابعاد زیست محیطی به شرح جدول (۳- ۱) می‌باشد [۴۶ و ۴۹]:

جدول (۳- ۱) مزایای بهره گیری از بام سبز در دستیابی به ابعاد زیست محیطی [۴۶]

ابعاد محیط زیستی	مزیت های بام سبز
حفظ تعادل اکولوژیکی	▪ حفظ گوناگونی زیستی و خلق زیستگاه ▪ بهبود کیفیت بوم شناختی ▪ حفظ چرخه اکولوژیک ▪ پایداری زیست محیطی
کنترل آلودگی محیط زیست	▪ بهبود کیفیت هوا (پایش ذرات معلق در هوا) ▪ تعدیل اثر جزایر حرارتی شهر ▪ تبادل اکسیژن و دی اکسید کربن ▪ کاهش سر و صدا (عایق صدا) ▪ کاهش حجم رواناب و بار سیستم های مجاری فاضلاب ▪ جلوگیری از طغیان و کاهش پتانسیل سایشی فرود آب ▪ افزایش کیفیت آب و ممانعت از آلودگی آن ▪ افزایش طول عمر بهره برداری از عایق ساختمان
رفاه اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی	▪ کاهش هزینه تهویه مصنوعی (خنک کنندگی در تابستان) ▪ ایجاد فضاهای مطبوع و تفریحی ▪ ایجاد مکان برای تعاملات اجتماعی ▪ عایق حرارتی و بهبود کیفیت زندگی ▪ افزایش پویایی محیط و خلق فضای سبز مضاعف ▪ ایجاد جاذبه های زیبا شناختی
تلفیق توسعه با محیط زیست	▪ صرفه جویی در انرژی ▪ کاهش میزان آلودگی ▪ کاهش اثرات گرمایش و تغییرات آب و هوای شهری ▪ افزایش طول عمر بهره برداری از عایق ساختمان
استفاده بهینه از منابع آب و خاک و انرژی	▪ استفاده از مواد بازیافتی ▪ کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی ▪ جلوگیری از طغیان و کاهش آلودگی آب ▪ عایق حرارتی و صرفه جویی در مصرف انرژی

برخی معایب و ملاحظات مرتبط با بام سبز نیز شامل نیاز به تقویت سازه سقف بام، ملاحظات مرتبط با تطبیق طراحی این بام‌ها با شرایط اقلیمی و نیازمندی به معیارهای سازه ای قابل قبول می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۴-۳ چاپگرهای سه بعدی، روش ساخت سازگار با محیط زیست برای مسکن های اجتماعی

متخصصان محیط زیست سه قانون اساسی پایداری را می آموزند: کاهش ضایعات، استفاده مجدد و بازیافت. با نگاهی به آینده، کارشناسان و رهبران فکری از چاپگر سه بعدی به عنوان راه حلی برای بهبود و ساده سازی تولید و روشی سبزتر و سازگار با محیط زیست یاد می کنند. مزارع و کارخانه‌ها به خروجی زیاد انتشار دی اکسید کربن و مصارف انرژی زیادی نیاز دارند. از طرف دیگر، سیستم های چاپگر سه بعدی، سوخت رسانی ساده ای دارند. از بسیاری جهات، ساخت افزودنی نسبت به روش‌های سنتی تولید به طور قابل توجهی برای محیط زیست و زمین پایدارتر و منطقی تر است.

چاپگر سه بعدی ضایعات را کاهش می دهد: استفاده از چاپگر سه بعدی، تولید زباله های ضایعاتی را به طرز چشم گیری کاهش می دهد. گاهی اوقات این تکنولوژی تا ۹۰ درصد در مقایسه با تولید معمولی کاهش ضایعات دارد. تولید مواد افزودنی برعکس روش‌های سنتی عمل می کند: به جای اینکه یک قطعه عظیم از مواد برداشته شود و مانند یک مجسمه ساز، برای جدا کردن شکل مورد نظر کنده کاری گردد، تولید مواد افزودنی یک ماده را لایه به لایه ظریف با دقت یک جراح یا یک سفالگر ماهر می چیند و تولید می‌کند. وقتی نوبت به چاپگر سه بعدی چند ماده ای می رسد، مانند الکترونیک پرینت شده سه بعدی، در حالی که عملکردهای الکتریکی و مکانیکی با هم ترکیب می شوند، تعداد قطعات کاهش می یابد و روند تولید کارآمدتر و پایدارتری ایجاد می کند.

چاپگر سه بعدی میزان انتشار دی اکسید کربن را کاهش می دهد: یک مطالعه پیشگامانه در سال ۲۰۱۴ تأییدیه‌ای را ارائه داد که بسیاری از صنعتگران تولید مواد افزودنی و دانشگاهی بیش از یک دهه است که به آن‌ها استناد می‌کنند: چاپگر سه بعدی به کاهش انتشار CO2 در آینده کمک می کند. در این مطالعه پیش بینی می شود به اندازه ۵ درصد تا سال ۲۰۲۵ کاهش دی اکسید کربن ایجاد شود. دلایل مختلفی برای این امر وجود دارد. فرآیند تولید نه تنها خود در چاپگر سه بعدی کارآمد است بلکه به دلیل ماهیت آن، ساخت افزودنی، نیاز به حمل و نقل، انبار داری و سفرهای گسترده مورد نیاز تولید سنتی را از بین می برد.

در سال ۲۰۱۷، زیمنس اولین قطعات جایگزین فلز چاپگر سه بعدی را برای یک توربین بخار صنعتی تولید کرد و ۴۰ درصد از زمان تولید آنها کاهش یافت. برای جابجایی قطعات خاص و حمل آنها نیاز به رانندگی مستمر در بزرگراهای شلوغ نمی باشد. می توان آنها را خود در سایت تولید کرد. نیازی به سفارش و حمل تجهیزات تولید از یک کارخانه به کارخانه دیگر نیست. با چاپگر سه بعدی، پیچیدگی آسان است، و حتی با اپلیکیشن موبایل هم می‌توان آن را پیگیری کرد. به هر کارخانه ای که دارای چاپگر سه بعدی است پیچیده ترین فایل های پرینت را می توان به صورت دیجیتال به اشتراک گذاشت و می تواند به یک مرکز تولید فوری تبدیل شود، بدون نیاز به حمل و نقل، کامیون یا حرکت با سوخت کربن.

ماسیمو مورتی، بنیانگذار شرکت ایتالیاییWASP ، که در زمینه چاپ سه بعدی تخصص دارد، توضیح می‌دهد که چگونه شرکت وی توانسته فناوری چاپ سه بعدی را برای ساخت خانه‌ها با یک کلیک، در هر مکان، هر زمان و هر کسی توسعه دهد. جمعیت کره زمین در سال ۲۰۴۹ به حدود ده میلیارد نفر خواهد رسید و همه حق داشتن خانه را دارند. اما مشکل کمبود مسکن جهانی است و به همین دلیل شرکت ایتالیاییWASP یک راه حل سازگار با محیط زیست برای ساخت خانه با هزینه کمتر ایجاد کرده است. همانطور که در شکل (۳- ۳) مشاهده می شود، شرکت WASP از خاک رس خانه‌ای ساخته است (Takla) که پایدار و سازگار با محیط زیست می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۳- ۳) نمونه خانه رسی ساخته شده با چاپگر سه بعدی با مفهوم سازگاری با محیط زیست

فناوری چاپ سه بعدی رویکردی متفاوت در ساخت را فراهم نموده است. Takla یک خانه رسی است. شرکت WASP توانایی‌های فنی یک ماده متوسط مانند خاک رس را به حد نهایی رسانده و توانسته است با استفاده از فناوری ساختمانی رسی بسازد. شکل ساخت و ساز مربوط به پتانسیل زمین و خاک است که بر روی آن انجام می‌شود. مهمتر از همه، معمار باید با مواد کار کند و در اینجا با تکنولوژی کار می‌کند؛ بنابراین باید درباره آن شناخت داشته باشد. البته نمی‌توان با این مواد آسمان خراش ساخت. اما می‌توان ساختمان‌های کم ارتفاع، با دیوارهای وسیع‌تر و در اندازه‌ها و اشکالی ایجاد کرد که عایق حرارتی را بهبود می‌بخشد و البته می‌توان دیوارهای بسیار بزرگی را نیز ساخت، زیرا خاک رس تقریباً هیچ هزینه‌ای ندارد و در همه جا وجود دارد. با استفاده از این روش، کیفیت هوا، رطوبت و درجه حرارت ثابت بسیار خوبی تامین شده است. این به دلیل جرم زیاد دیوارها است که باعث ایجاد عایق حرارتی برای حدود ۱۲ ساعت می‌شود؛ بنابراین متوسط دما در طول روز ثابت است و از آنجا که گل رطوبت را به خود جذب می‌کند، این امر منجر به میانگین رطوبت ثابت می‌شود. روش شرکت WASP مبتنی بر این واقعیت است که در ۳۰ سال آینده، حدود ۳ میلیارد نفر به خانه‌های جدید احتیاج خواهند داشت. این افراد به خانه‌ای نیاز دارند که هزینه کم و تاثیر منفی کمی بر محیط زیست داشته باشد. در بسیاری از نقاط دنیا هیچ زیرساختی برای تولید سیمان با کیفیت بالا وجود ندارد (یک تن سیمان یک تن دی اکسید کربن تولید می‌کند). بنابراین، روش چاپگر سه بعدی به عنوان روشی نوین و کارامد جهت توسعه مسکن‌های اجتماعی سازگار با محیط زیست، در کنار مزایای دیگر از جمله سرعت ساخت و قیمت کم برای انبوه سازی، مورد توجه ویژه قرار گرفته است.

۳-۴-۴ پیشنهادها و راهکارهای اجرایی برای سازگاری بیش‌تر مسکن‌های اجتماعی با محـیط زیست

- یکی از کارمدترین روش ها و زمینه های موثر در کلیه زمینه های بهره وری انرژی، ویژگی های معماری ساختمان می باشد که این ویژگی ها در دو دسته اصلی سیستم فعال (active) و سیستم غیرفعال (passive) قابل طبقه بندی می باشند. در سیستم فعال از راهکارهایی مانند جایگزین کردن انرژی مناسب مانند انرژی های تجدید پذیر به جای انرژی های فسیلی استفاده می شود. در سیستم غیرفعال از طریق مکانیزم های طبیعی مانند انتخاب مناسب محل بازشوها،خصوصیات حرارتی مصالح ساختمانی،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

عایق کاری، سایه اندازی، جهت گیری مناسب ساختمان و موارد مشابه برای حصول بهینه سازی مصرف انرژی استفاده می گردد.

- یکی از مناسب ترین روش های طبیعی برای خنک کردن داخل ساختمان روش غیرفعال کوران برای سرمایش (Passive Connective Cooling) می باشد که با فراهم نمودن امکان کوران و تهویه در ساعات شب، به تهویه طبیعی و کاهش مصرف انرژی و تبعات زیست محیطی آن کمک می کند. استفاده از این روش در مناطقی ممکن است که اختلاف درجه حرارت شب و روز حداقل ۱۵ درجه کلوین باشد. فرایند کار به این صورت است که در طول شب، سرمای محیط وارد ساختمان شده و در مصالح ساختمانی ذخیره گردیده و در طول روز در محیط داخل منتشر می گردد. برای افزایش کارایی این روش، عایق بودن جداره ها و پیش گیری از کوران هوا در طول روز ضرورت دارد. هم چنین نکته ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که تمهیدات کوران و تهویه باید قابل کنترل باشند تا از اتلاف گرما و سرما و یا ورود گرما (در ماه های گرم سال) و از ورود سرما (در ماه های سرد سال) جلوگیری شود.
- استفاده از سیستم های تامین انرژی متنوع در مسکن های اجتماعی، به ویژه در مواردی که به انرژی های گرمایشی نیاز است، به طور همزمان زمینه ای برای تقلیل تدریجی مصرف انرژی فسیلی و کاهش آلودگی های زیست محیط ناشی از آن است. این روش می تواند به دو صورت فعال و غیرفعال انجام پذیرد. روش فعال آن است که در عین استفاده از نوع خاص و مناسب تری از انواع انرژی های فسیلی مانند گاز طبیعی از سلول های خورشیدی و انرژی باد نیز استفاده شود. روش غیر فعال نیز آن است به همراه استفاده از انرژی فسیلی تمیز (گاز طبیعی یا برق) برای تامین انرژی مورد نیاز ساختمان با استفاده از جزئیات معماری و مصالح مناسب اولا میزان انرژی فسیلی مورد نیاز برای تنظیم شرایط محیطی کاهش یابد و ثانیا از اتلاف انرژی جلوگیری شود.
- توجه به شناسایی و معرفی آن نوع معماری که با استفاده حداقلی از انرژی فسیلی و بهره گیری حداکثر از انرژی های تجدید پذیر (به ویژه انرژی خورشیدی)، مناسب ترین شرایط محیطی برای کار و زندگی در آن فراهم گردد، بسیار ضروری به نظر می رسد.
- با توجه به این نکته که میزان اتلاف انرژی به واسطه انتقال، تشعشع و جابجایی هوا از طریق جداره خارجی ساختمان با سطح جداره خارجی نسبت مستقیم دارد، توجه به کاهش و به حداقل رساندن جدار خارجی ساختمان توصیه می شود. ایجاد بافت های فشرده تجربه ای است که در بسیاری از بافت های تاریخی و فرهنگی شهرهای ایران به ویژه در اقلیم های گرم و خشک و کوهستانی کارایی خود را در زمینه تقلیل انرژی مورد نیاز برای تنظیم شرایط محیطی مناسب زندگی انسان طی سال های متمادی نشان داده است.
- از جمله موارد مهمی که در تولید مصالح و ساخت آن ها معمولا از دید طراحان و سازندگان مورد غفلت قرار گرفته است آن است که به مقایسه هزینه تولید با مبالغ صرفه جویی شده انرژی، به فواید سالم سازی محیط زندگی انسان، به منافع حفاظت از محیط زیست، به فراهم آمدن امکان استفاده بیش تر و طولانی تر از سوخت های فسیلی و به بیان کلی، به تبعات آتی طرح های خود نمی پردازند و توجه زیادی به این نکته ندارند. راهکارهایی مانند ایجاد آگاهی، ارائه سیاست های تشویقی مناسب به گونه ای که سازندگان نیز از منافع مالی بهینه سازی انرژی و حفظ محیط زیست بهره مند گردند می تواند برای حل این موضوع موث رواقع گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- در استفاده از انواع مصالح ساختمانی توجه به نکاتی از جمله انواع آلودگی های زیست محیطی حاصله و روند بازیافت آن ها در طبیعت پس از طی عمر مفید و یا تخریب آن ها، ضرورتی است که بی توجهی به آن خسارات جبران ناپذیری برای محیط زیست و در نتیجه بشریت به همراه خواهد داشت. برای نمونه تولید یک متر مکعب بتن، مقدار زیادی گاز دی اکسید کربن تولید می کند، عملیات جوشکاری مقدار زیادی گازهای گلخانه ای را وارد جو می نماید، انواع پلاستیک ها و بتن نیاز به قرن ها زمان دارند تا در چرخه ای طبیعی بازیافت گردند.
- مواردی مانند تعبیه نورشکن در بالای پنجره ها (به ویژه نورشکن های قابل تنظیم)، نصب شبکه های تنظیم و کنترل میزان نور و گرمای تابشی بر روی پنجره ها، انتخاب فرم های مناسب برای ساختمان به گونه ای که در تابستان سایه انداز بوده و در زمستان نیز بتواند از حداکثر تابش آفتاب استفاده کند (مانند فرم های موازی، عمود برهم و سه طرفه) و دیگر روش های موثر با توجه به منطقه اقلیمی سبب کاهش مصرف سوخت های فسیلی و به تبع آن حفظ محیط زیست می گردد.

۳-۵ بررسی مزایا، معایب و چالش های پیش‌رو برای توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی در کشور با ارائه یک تابع اولویت‌بندی و انتخاب

۳-۵-۱ مزایای توسعه مسکن‌های اجتماعی با بهره وری انرژی

همان طور که در بخش های مختلف این پژوهش به آن پرداخته شد، توسعه مسکن‌های اجتماعی با بهره وری انرژی مزایای فراوانی از نظر فنی، اقتصادی، اجتماعی، سلامت ذهن و جسم افراد و نیز جنبه های زیست محیطی دارد. اثرات مثبت توسعه مسکن‌های اجتماعی با بهره وری انرژی نه تنها شامل حال خود ساکنین این خانه ها می گردد بلکه کل جامعه و دولت نیز از این اثرات مثبت بهره‌مند می‌گردند. برای نمونه، دولت‌ها می‌توانند اقشار کم درآمد شادتر، سلامت‌تر و تواناتر از نظر مالی (به دلیل کاهش هزینه های انرژی) داشته باشند که در نتیجه سبب کاهش زمان، هزینه و انرژی صرف شده برای حل مسائل این افراد می‌گردد. به علاوه عملکرد فنی بهتر این خانه‌ها سبب آسایش حرارتی بیش‌تر و نیز کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش تولید گازهای گلخانه ای شده و به اهداف دولت‌ها برای رسیدن به کاهش گازهای گلخانه ای و کنترل نمودن تغییرات آب و هوایی کمک می‌کنند. اگر مفاهیم بهره‌وری انرژی به کلیه مسکن‌های اجتماعی (مسکن‌های اجتماعی جدید و بهسازی مسکن‌های اجتماعی قبلی) توسعه یابد، اثر تجمعی آن‌ها در بهبود مواردی که به آن اشاره شد قابل ملاحظه خواهد بود. به علاوه تحقیقات [۴] نشان می‌دهد که ساکنین مسکن‌های اجتماعی دارای بهره‌وری انرژی در مقایسه با ساکنین مسکن‌های اجتماعی معمولی احساس تعلق بیش‌تری به محیط زندگی خود داشته و خانه خود را در وضعیت بهتر و تمیزتری نگهداری می‌کنند. این امر موجب می‌شود که هزینه تعمیر و نگهداری این خانه ها کاهش یابد و در مقیاس بزرگ می‌تواند سبب صرفه‌جویی قابل ملاحظه برای دولت‌ها گردد.

در ادامه به دسته بندی مزایای بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی پرداخته می‌شود [۵۰].

۳-۵-۱-۱ کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و دیگر آثار مخرب زیست محیطی

ارتقای بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی می تواند نقش قابل توجهی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و شاخص های مرتبط با آلودگی هوا در نتیجه کاهش مصرف انرژی های بر پایه سوخت فسیلی داشته باشد. احتراق سوخت های فسیلی به منظور تولید برق سبب ۴۰ درصد از تولید گاز دی اکسید کربن (CO_2) کشورها،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۶۷ درصد از تولید گاز دی اکسید سولفور کشورها (SO_2)، ۲۳ درصد از تولید گاز اکسید نیتروژن (NO_x) و بخش اصلی تولید گازهای گلخانه ای (GHG) می گردد که می تواند پیامدهایی نظیر مه دود، باران اسیدی و نیز انتقال ریزگردها توسط هوا را در پی داشته باشد که مشکلات تنفسی عمده ای را برای افراد زیادی ایجاد می کند. براساس U.S. EPA, 2008، در صورتی که خانه های جدید دارای برچسب انرژی ستاره ای باشند، انتشار گازهای گلخانه ای به ازای هر خانه می تواند تا ۲ تن در سال کاهش یابد.

از پروژه های انجام شده در این زمینه می توان به پروژه سازمان مسکن شهر دنور (DHA) در ایالت کلرادوی آمریکا اشاره کرد که با یک شرکت خدمات انرژی به منظور تامین بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی قرارداد بسته است. طبق برآورد DHA انتظار می رود که با اجرای این پروژه مصرف انرژی سالانه به میزان ۲۵ درصد و انتشار گاز CO_2 به میزان تقریبا ۲۵۴۰ تن کاهش یابد [۵۱].

هم چنین کاهش مصرف انرژی می تواند به دیگر اهداف زیست محیطی دولت ها از جمله حفظ منابع انرژی و جلوگیری از آلودگی کمک کند. به عنوان نمونه خرید یک واشر آب دارای برچسب انرژی ستاره ای، علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، موجب کاهش قبض های برق و هم چنین کاهش مصرف آب و در نتیجه کاهش فاضلاب ورودی به سیستم می گردد.

۳-۵-۱-۲ کاهش هزینه های انرژی

براساس گزارشی در کشور آمریکا [50]، حدود ۱۹ درصد درآمد افراد مجرد، مسن، فیر و نیز ناتوان که در مسکن-های اجتماعی سکونت دارند، صرف هزینه انرژی می گردد. کاهش هزینه های انرژی یک روش موثر برای تضمین اینکه این افراد قادر به ادامه زندگی در مسکن های خود باشند، می‌باشد. براساس [۵۲]، تخمین زده می شود که با ارتقای بهره وری انرژی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد هزینه های انرژی صاحبان خانه می تواند کاهش پیدا کند. در مسکن های اجتماعی اجاره ای، هم مالک خانه و هم مستاجر هر دو از کاهش هزینه های انرژی بهره مند می شوند. در برخی مسکن های اجتماعی، هزینه قبض‌های انرژی بخشی از مبلغ اجاره بوده و بنابراین مالک خانه به صورت مستقیم از مزایای بهره وری انرژی برخوردارد می گردد. هم چنین مستاجر نیز ریسک کم تری در خصوص افزایش بهای محل سکونت خود را متحمل می شود. البته در چنین حالتی ساکنین خانه ممکن است انگیزه کمی برای کاهش مصرف انرژی داشته باشند که آموزش آن ها در این خصوص ضروری می باشد. اما در حالتی که مستاجران مسکن های اجتماعی خودشان قبض های انرژی را پرداخت می کنند، به صورت مستقیم از مزایای کاهش هزینه انرژی در مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی بهره مند می شوند. مالکین نیز به صورت غیر مستقیم مزایایی از جمله کاهش برنامه های کمکی و کمک هزینه های انرژی مورد نیاز از سوی دولت را خواهند داشت.

۳-۵-۱-۳ افزایش مزایای اقتصادی با تولید شغل‌های مرتبط با بهره وری انرژی و توسعه بازار

سرمایه گذاری برای بهره وری انرژی از جمله بهینه سازی مصرف انرژی در مسکن های اجتماعی، موجب تحریک اقتصاد محلی و تشویق برای توسعه بازارهای مرتبط با سرویس های بهره وری انرژی می شود. به عنوان نمونه، در کشور آمریکا، تکنولوژی های بهره وری انرژی موجب ایجاد ۸/۵ میلیون شغل در سال ۲۰۰۶ گردیده است [۵۰]. به علاوه، افزایش تقاضای توسعه دهندگان مسکن های اجتماعی برای ارتقای بهره وری انرژی در این ساختمان‌ها، موجب تشویق مالکان شغل های مرتبط برای نقل مکان کردن به محل های مسکن های اجتماعی و افزایش درآمد مالیاتی و درآمد شغلی آن‌ها می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۱-۴ نشان دادن لیدرشیپ

ارتقای بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی می تواند سبب افزایش آگاهی عمومی در خصوص صرفه جویی در مصرف انرژی و نیز آگاهی آن ها از مزایای زیست محیطی، سلامتی، اقتصادی و دیگر مزایای بهره وری انرژی با محسوس کردن این مزایا برای ساکنین مسکن های اجتماعی گردد. این افزایش آگاهی سبب مقبولیت وسیع تر جامعه در زمینه بهره وری انرژی و فعالیت های سبز به منظور حفظ محیط زیست می گردد. موسسه مسکن فیلادلفیا در ایالت پنسیلوانیای آمریکا، در سال ۲۰۰۶ کمپینی را برای تعویض لامپ های حبابی با لامپ های فلورسنت فشرده کم مصرف (CFLs) آغاز نمد. هدف این موسسه تشویق دیگر دولت ها و نیز عموم جامعه برای الگو قراردادن این حرکت بوده است [۵۰].

۳-۵-۱-۵ بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان

ارتقای بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی، به صورت غیرمستقیم سبب بهبود کیفیت هوای داخلی در نتیجه استفاده از تهویه مطبوع مناسب می شود. برای بهبود بهره وری انرژی عموما از عایق بندی مناسب و درزگیری دقیق محل های نفوذ هوا استفاده می شود تا سبب کاهش هزینه های گرمایش و سرمایش گردد که این اقدامات هم چنین موجب ارتقای کیفیت هوای داخل ساختمان با کنترل وجود مقدار کافی هوای تازه، کم شدن ورود گرد و غبار و ذرات از پشت بام و زیرزمین به محوطه سکونت، و نیز کاهش سر و صدا و بوی محیط بیرون به داخل ساختمان می گردد. این مزایا خصوصا برای سالمندان و نیز افرادی که در معرض هوای با کیفیت نامناسب قرار دارند بسیار مهم می باشد. نتایج مطالعه ای در خصوص عملکرد ساختمان نشان داد که بهبود کیفیت هوا می تواند به طور میانگین تا ۵۱ درصد سبب کاهش ابتلای ساکنین خانه به سرماخوردگی و آنفولانزا گردد [۵۳].

۳-۵-۱-۶ افزایش آسایش ساکنین

ارتقای بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی موجب افزایش آسایش ساکنین این خانه ها با رفع مواردی مانند زیر (که بعضا در مسکن های اجتماعی وجود داشته و سبب نارضایتی و عدم آسایش ساکنین آن‌ها می گردد)، می‌شود:

مرطوب بودن طبقه زیرزمین: که در اثر نفوذ رطوبت از زمین و فونداسیون به داخل ساختمان به دلیل عایق بندی نامناسب می گردد. مرطوب بودن طبقه زیر زمین می تواند موجب ایجاد آسیب های سازه ای، افزایش رطوبت فضای داخلی ساختمان , و نیز تکثیر کپک قارچی شود. ارتقای بهره وری انرژی با بهره گیری از عایق بندی مناسب، درزگیری صحیح داکت‌ها و دیگر تکنیک های موثر موجب کنترل رطوبت و هوای داخل ساختمان شده و شرایط بهتری را برای ساکنین فراهم می آورد.

کف های سرد و اتاق های خنک و بادگیر: که می توانند در اثر عایق بندی ناکافی یا نامناسب، نفوذ ناخواسته هوا به داخل ساختمان یا عملکرد ضعیف داکت باشد که سبب عدم آسایش برای ساکنین می گردد.

رطوبت بر روی پنجره: که می تواند بر اثر داشتن پنجره های نامناسب یا بالا بودن رطوبت هوای داخلی به وجود آید. به علاه، وجود رطوبت بر روی پنجره می تواند سبب رشد کپک های قارچی و ایجاد آسیب به درزهای پنجره گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۱-۷ افزایش قیمت مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی

به کارگیری تکنیک های بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی می تواند موجب افزایش قیمت و ارزش این ساختمان ها شود. به طور معمول ساختمان هایی که برچسب انرژی داشته و یا تاییدیه بهره ور بودن انرژی را دارند، قیمت معاملاتی بالاتری را به دلیل کاهش هزینه های انرژی در مدت بهره برداری دارند. به علاوه معمولا تکنیک های بهره وری انرژی موجب کاهش آسیب های سازه ای در طول مدت بهره برداری شده و سبب حفظ ارزش قیمت خانه می گردد.

۳-۵-۱-۸ کاهش تکیه بر برنامه های حمایتی دولت در زمینه انرژی

ارتقای بهره وری انرژی در مسکن های اجتماعی به صورت غیرمستقیم موجب کاهش نیاز ساکنین این خانه‌ها به حمایت‌های دولت‌ها و سوبسیدهای انرژی می‌گردد. بنابراین آسیب پذیری این افراد در اثر تغییر سیاست‌های برنامه‌های حمایتی کاهش یافته و به علاوه این امکان را نیز برای دولت‌ها فراهم می‌آورد که از صرفه جویی ایجاد شده در این زمینه، در بخش‌های دیگر سرمایه گذاری کنند. به عنوان نمونه، در اثر کاهش هزینه های انرژی در مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی، هزینه صرفه جویی شده را می‌توان برای ساخت مسکن‌های جدید بیش-تر سرمایه‌گذاری نمود.

۳-۵-۱-۹ کاهش ریسک تخلیه اجباری

کاهش هزینه انرژی برای ساکنین مسکن‌های اجتماعی دارای بهره وری انرژی، ریسک تخلیه اجباری را کاهش می دهد. به عنوان نمونه، در سال ۱۹۹۷، ۲۶ درصد تخلیه‌های اجباری ساکنین مسکن‌های اجتماعی به دلیل عدم توانایی آن‌ها در پرداخت هزینه‌های برق و گاز بوده است.

۳-۵-۱-۱۰ حفظ قابل استطاعت بودن مسکن اجتماعی برای ساکنین آن ها

در اکثر نقاط جهان، اجاره بها و هزینه قبوض مهم‌ترین عوامل تامین قابل استطاعت بودن یک خانه برای اقشار کم درآمد می‌باشد. این بدان معنی است که خانه ارزان قیمت لزوما به معنای خانه قابل استطاعت نمی باشد. کاهش هزینه های انرژی می تواند در زمینه حفظ قابل استطاعت بودن خانه های ارزان (مالکیتی یا استیجاری) کمک کننده باشد. براساس گزارشی در کشور آمریکا [۵۰]، ۲۵ درصد کاهش هزینه انرژی می تواند به صورت میانگین سبب ۸ درصد کاهش مجموه هزینه انرژی و اجاره بها گردد. این کاهش موجب می شود که حدود ۱/۲ میلیون خانه بیش‌تر را در حد استانداردهای ملی کشور آمریکا از نظر قابل استطاعت بودن قرار دهد.

۳-۵-۲ چالش های توسعه مسکن اجتماعی با بهره وری انرژی

گرچه توسعه مسکن‌های اجتماعی دارای بهره‌وری انرژی هم برای ساکنین این خانه ها و هم برای سازندگان آن‌ها دارای مزایای عمده‌ای می‌باشد، ولی این موضوع دارای چالش‌هایی نیز می‌باشد. یکی از مهم ترین چالش‌هایی که در تحقیقات به آن اشاره شده است [۴] این است که ساکنین این خانه‌ها به درستی از امکاناتی و مفاهیم طراحی که برای ارتقای بهره وری انرژی تعبیه شده است، استفاده نمی‌کنند. بنابراین این سوال مطرح می‌شود که آیا در مسکن‌های اجتماعی ای که برای بهره‌وری انرژی طراحی و ساخته می‌شوند فقط باید از امکانات اتوماتیک استفاده کرد و از امکاناتی که ساکنین را به صورت فعال در بهره‌وری انرژی مشارکت می دهد نباید استفاده گردد؟

چالش مهم دیگری که برای سازندگان مسکن‌های اجتماعی دارای بهره‌وری انرژی مطرح می‌شود، هزینه اولیه بالاتر این خانه ها نسبت به مسکن‌های اجتماعی معمولی می‌باشد. دولت‌ها و سازندگان مسکن‌های اجتماعی معمولا این هدف را دنبال می کنند که تعداد بیش‌تری خانه احداث کنند و هرگونه هزینه اضافی بالاتر از حداقل-

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

های مورد نیاز از قبیل وارد نمودن بهره‌وری انرژی در طراحی و ساخت این موضوع را تحت تاثیر قرار داده و با یک بودجه ثابت تعداد خانه کم‌تری احداث می گردد. گرچه همان طور که در بخش‌های مختلف این پژوهش ارائه گردید، مزایای بسیاری در اثر بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی حاصل می‌گردد که از دیدگاه کلان می‌تواند در کل باعث کاهش هزینه ها گردد و اثرات مثبتی را نیز به جامعه برگرداند.

مواردی که در بالا به آن ها اشاره گردید برخی چالش‌های کلی توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی می‌باشد که در بسیاری از تحقیقات به صورت مشترک به آن‌ها اشاره شده است. ولی به صورت خاص در کشور ایران نیز باوجود اینکه سیاست گذاری برای بهبود بهره وری انرژی در سال های اخیر روند رو به رشدی را داشته است، اما هنوز از مقدار مطلوب فاصله زیادی دارد. چالش ها و موانعی پیش روی سیاست گذاری انرژی بخش ساختمان و به خصوص مسکن های اجتماعی وجود دارد که در این زمینه می توان به موارد زیر اشاره کرد [۵۴]:

۳-۵-۲-۱ چالش ها و موانع قانونی

وضع قوانین محیط زیستی در هر کشوری نشان دهنده جدیت آن کشور در بهینه سازی مصرف انرژی است. هم-چنین اولویت بندی های مسائل از سوی دولت ها، نشان می دهد که تا چه حد به بهینه سازی مصرف انرژی بها می دهند. در ایران، باوجود اینکه اقداماتی صورت گرفته، همچنان ضعف قوانین یکی از موانع جدی برای بهره وری انرژی است:

- در ایران، سیاست گذاری یکپارچه در خصوص بهینه سازی مصرف انرژی وجود ندارد. بیشتر فعالیت ها در وزارتخانه های نفت و نیرو متمرکز است. وجود دو مرکز برنامه ریزی و تصمیم گیری منجر به موازی کاری‌ها و عدم امکان برنامه ریزی جامع شده است. برای حل این مشکل، شورای عالی انرژی بیش از بیست سال قبل پیش بینی شده است، ولی تاکنون نقش چندانی ایفا نکرده و همچنان عدم سیاست گذاری متمرکز در بخش بهینه سازی مصرف انرژی مشهود است.
- قوانین بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان ها هنوز کامل نیست و عمدتا به ساختمان های در حال ساخت مربوط می شود (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران). درحالی که ساختمان های موجود بیش‌تر به بهبود بهینه سازی مصرف انرژی نیاز دارند. اگر این قانون به درستی اجرا می شد تاکنون بخش قابل توجهی از ساختمان ها را دربر می گرفت. هم‌چنین قوانین به سازگاری بیشتری با اقلیم آب وهوایی که ساختمان ها در آن ساخته می شوند نیاز دارند.

۳-۵-۲-۲ چالش ها و موانع اداری

مشکلات اجرایی یکی از معضلات بزرگ ایران است. باوجود این که جریمه هایی برای تخلفات مقررات انرژی تعیین شده است، ولی در عمل قوانین به گونه ای اجرا می شود که بازدارنده نیستند. تجربه عملکرد شهرداری تهران نشان دهنده این است که نقص های زیادی در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان موجود است که نحوه اجرای آن را در شهرداری ها با مشکل مواجه ساخته است. این مشکلات را می توان از مرحله ترسیم نقشه ها تا مرحله اجرا مشاهده کرد. نتایج بررسی اولیه تا آبان ۱۳۸۴ نشان دهنده اجرای ۱۷ درصدی این مبحث در سطح تهران بوده است. روند اجرای قوانین در بخش ساختمان به این صورت است که سازنده ساختمان مسئولیت صحت انجام همه عملیات اجرایی ساختمان را برعهده دارد و در اجرای این عملیات باید مقررات ملی ساختمان و نیز ضوابط و مقررات شهرسازی را رعایت کند و همچنین مکلف است پس از پایان کار، به تهیه نقشه ها به همان صورتی که اجراشده، اعم از معماری، سازه ای، تأسیساتی و مانند آن، اقدام کند و پس از امضا و اخذ تأیید ناظران، یک نسخه از آن ها را به مالک و یک نسخه را هم به شهرداری مربوط تحویل دهد. مطابق قانون، برای ساختمان

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

هایی که طبق تشخیص ناظران و تأیید سازمان نظام مهندسی ساختمان استان، مقررات ملی ساختمان در آن ها رعایت نشده باشد تا زمان رفع نقص، پایانکار صادر نخواهد شد. وزارت مسکن و شهرسازی به عنوان ناظر عالی در زمینه ساخت وساز، بر عملکرد سازمان های عهده دار کنترل و اجرا در زمینه رعایت دقیق مقررات ملی ساختمان و ضوابط شهرسازی نظارت می کند و در صورت مشاهده هرگونه تخلف، موارد را به مراجع صدور پروانه ساختمان و سازمان نظام مهندسی ساختمان استان اعلام و تا رفع تخلف، موضوع را از مراجع قانونی و در صورت لزوم مراجع قضایی پیگیری می کند. در عمل، چرخه بالا در جریان نیست. شهرداری ها پس از اتمام ساخت بنا به ساختمان مراجعه می کنند و ساختمانی که مقررات ساختمان در آن رعایت نشده باشد، جریمه می شود؛ در واقع از این قانون به عنوان منبع تأمین بودجه استفاده می شود [۵۵].

۳-۲-۵-۳ چالش ها و موانع مالی

حمایت های محلی، مشوق های مالی و صندوق های حمایت از سرمایه گذاری، نقش مهمی در پیاده سازی بهینه سازی مصرف انرژی ایفا می کنند. موانع مالی مقابل بهبود بهینه سازی مصرف انرژی در ایران را می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

- به طورکلی، مصرف کنندگان کم درآمد، به دلیل بضاعت مالی پایین تر، توانایی هزینه برای بهینه سازی مصرف انرژی را ندارند. لذا آنها نسبت به خرید خانه ها و تجهیزاتی که ارزان تر است، باوجود اینکه هزینه بهره برداری بالاتری دارد، اقدام می کنند.
- بازگشت سرمایه در کوتاه مدت یکی از عوامل بازدارنده در انتخاب سیستم های کارآمد انرژی است و اغلب، دوره بازگشت سرمایه برای معیارهای صرفه جویی در هزینه، با توجه به قیمت های حامل های انرژی، به بالای ده سال می رسد.
- ارائه یارانه از سوی دولت برای حامل های انرژی سبب کاهش سرمایه گذاری در بهبود بهره وری انرژی می شود.
- مالیات ها اغلب به گونه ای است که خود مانع انگیزه برای صرفه جویی انرژی می شوند. برای مثال، هزینه مالیات بر سیستم با راندمان بیشتر به دلیل قیمت بالاتر نسبت به سیستم کم بازده بیشتر است، ولی بر مصرف بیشتر انرژی سیستم ها مالیات بیشتری تعلق نمی گیرد.
- تجربه بعضی از کشورهای اروپایی نشان می دهد که کمک های مالی نقش مهمی در بهینه سازی مصرف انرژی ایفا می کنند؛ درحالی که در ایران تسهیلات مالی کم است. همچنین، بخش بزرگی از ساختمان سازان و مالکان خانه ها از تسهیلات اطلاع ندارند.

۳-۲-۵-۴ چالش ها و موانع مربوط به بازار

بازار سنجش و ارزیابی صرفه جویی مصرف انرژی در ایران بسیار ضعیف است، درحالی که مشوق مهمی در پیاده سازی بهبود مصرف انرژی برای شرکت هاست. باید توجه کرد که در کشورهای توسعه یافته، سیستم ارزیابی مشخصی برای این کار وجود دارد، اما بازار ابزار سنجش و ارزیابی در ایران به صورت کامل شکل نگرفته است. در کشورهای اروپایی شرکت های خدمات انرژی از سال ۱۹۷۰ میلادی شکل گرفته اند و تا کنون بازار مناسبی برای ارائه خدمات دارند. در ایران، شرکت های خدمات انرژی، به دلیل عدم سازمان دهی مناسب ساز و کار بازار مربوط به فعالیتشان و وجود نداشتن سیاست گذاری مناسب، با مشکلاتی در تامین مالی پروژه ها، مالیات ها و ریسک سرمایه گذاری مواجه اند [۵۴]. خریداران به ندرت محصولاتی با مصرف انرژی بهینه را خریداری می کنند. دلیل اصلی آن عدم آگاهی از مزایای آشکار و پنهان تجهیزات با مصرف بهینه مانند یک ساختمان است. همچنین،

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

تفاوت قیمتی زیاد بین محصولات جایگزین باعث می شود آن ها را انتخاب نکنند. بنابراین، عدم شفافیت بازار مانعی دیگر در بهبود بهینه سازی مصرف انرژی است.

۳-۵-۲-۵ چالش ها و موانع اجتماعی

موانع اجتماعی به صورت کلی به تاثیر اطلاعات عمومی، آگاهی، فرهنگ، سبک زندگی و رفتارها مربوط می شود. عمده این عوامل به شرح زیر است:

عموما به مصرف کنندگان انرژی، اطالعات چندانی درباره پس انداز پول از طریق صرفه جویی انرژی با استفاده از تجهیزات کارآمد نسبت به تجهیزات پرمصرف ارائه نمی شود

هزینه های مربوط به انرژی مصرفی تجهیزات برای مصرف کننده کالا به وضوح مشخص نیست و مشخص کردن هزینه گاز و برق مصرفی دستگاه بسیار دشوار است.

مباحث مربوط به بهینه سازی انرژی معمولا پیچیده است. در نتیجه مصرف کنندگان عموما به دولت مراجعه می کنند و یا به اطلاعات تولیدکنندگان اکتفا می کنند و بنابراین، مصرف کننده آگاهی چندانی در این زمینه ندارد [۵۶].

۳-۵-۳ انتخاب سیستم ساختمانی مناسب برای توسعه مسکن های اجتماعی با در نظر گــرفتن بهره وری انرژی براساس توابع اولویت بندی

۳-۵-۳-۱ مقدمه و بیان مساله

تسریع در ساخت مسکن به دلیل نرخ رشد جمعیت نسبت به نرخ رشد ساخت و ساز در کشور خصوصا مسکن های اجتماعی، بهره گیری از روش های نوین ساخت و ساز و مصالح جدید را دوچندان و یکی از ضرورت های اساسی جهت ارتقای کیفی صنعت ساختمان و مسکن در کشور با توجه به نیاز حدودا یک و نیم میلیون واحد مسکونی سالیانه درکشور می نماید. بنابراین آشنایی متولیان امر ساخت مسکن در کشور با مزایا و امکانات این گونه مناطق جدید شهری و انبوه سازی بسیار ضرورت داشته و در کنار سایر شاخص های موثر میتواند در ارتقای کمی و کیفی ساخت مسکن اثر بخش باشد. بدون تردید برای استحکا م بخشی ساخت و سازها، دستیابی به توسعه پایدار و بهبود محیط زندگی و نهایتاً ارتقای شاخص بهسازی مسکن، گذر از روش های متداول ساختمان سازی و توجه به فناوری های نوین ساختمان امری اجتناب ناپذیر است. نیاز گسترده و روزافزون جامعه به احداث مسکن مقاوم و یا بهسازی ساختمان‌های موجود، مستلزم شناخت جامع و کامل رو شهای جدید ساختمان‌سازی است که علاوه بر افزایش ایمنی، دوام و سرعت ساخت، کاهش هزینه ساخت را نیز به همراه دارد. اهمیت بهینه شدن فرآیند سرمایه گذاری در ساخت واحدهای مسکونی و بهره برداری مناسب از سرمایه های عظیم ملی وقتی نمایان می شود که بدانیم حدود ۴۰ درصد سرمایه گذاری صنعت کشور در بخش ساختمان است. طولانی بودن مدت اجرای پروژه ها (کاهش سرعت اجرا)، افت کیفی، کاهش عمر مفید و دوام ساختمان‌ها (کاهش ایمنی و پایداری) و همچنین هزینه بر بودن و غیراقتصادی شدن پروژه ها (افزایش هزینه) از اهم مشکلاتی است که امروز صنعت ساختمان کشور با آن روبه رو است. زمانی که در برنامه های توسعه به مفاهیمی چون انبوه سازی، ساده سازی، ارزا نسازی، مقاوم سازی و ساخت و ساز صنعتی اشاره می شود، گذر از رو شهای متداول و توسعه رو ش‌های نوین به ذهن خطور می کند. کاهش وزن سازه، افزایش سرعت ساخت، توجیه فنی و اقتصادی، صرفه جوئی در مصرف انرژی، قابلیت بازیافت در چرخه صنعت، واجد شاخص های تولید صنعتی (سبک سازی، سریع سازی، سری سازی)، مقاومت در برابر آتش سوزی و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

عایق صدا و حرارت، انطباق با معماری، انطباق با شرایط اقلیمی و زیست محیطی و قابلیت اجرا از ویژگی های سیستم های ساختمانی نوین است.

انتخاب سیستم ساختمانی مناسب سازه ای اولین گام از فرآیند طراحی سازه در ساخت و سازها بخصوص در پروژه‌های انبوه سازی است که به دلایل زیر برای توسعه مسکن های اجتماعی دارای اهمیت می باشد:

- آگاهی متولیان ساخت و ساز از کاهش هزینه های ساخت در مسکن اجتماعی در قالب سیستم های نوین سازه ای
- آگاهی سازندگان از معایب هر سیستم ساختمانی با توجه به معیارهای مختلف زندگی شهری
- ضرورت انجام طراحی های اولیه دقیق و انتخاب مناسب سیستم‌های ساختمانی با توجه به مناطق مختلف اقلیمی

در این زمینه مطالعات مختلفی که عمدتا از نوع آماری هستند توسط محققان انجام شده است. عسگرزاده [۵۷] به آسیب شناسی مسکن مهر با تاکید بر کیفیت ساخت در شهر جدید هشتگرد پرداخته و نتایج حاصله بیانگر نقاط ضعف و قوت استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان بوده و نشان میدهد که استفاده از فناوری‌های نوین ساخت به صورت صنعتی موجب ارتقای کیفیت ورضایت کاربران و در صورت عدم اجرای مناسب و غیرصنعتی علاوه بر عدم رضایتمندی، ایجاد خسارت نیز خواهد نمود. خانه زر [۵۸] در تحقیقی دیگر انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره SAW را بررسی و نتیجه گیری کرده است که سازه های LSF به علت سبک بودن سیستم باعث کاهش نیرو های وارده هنگام زلزله و در نتیجه آسیب پذیری ناشی از آن در زلزله را کاهش خواهد داد . لذا کاهش وزن اجزای ساختمان و استفاده از مصالح سبک به عنوان راه حلی که می تواند سبب افزایش سرعت ساخت و کاهش هزینه اجرای ساختمان ها شود و باید مورد توجه خاص قرار گیرد. بلالی [۵۹] در تحقیقی تحت عنوان انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره گروهیAHP، به این نتیجه رسیده است که کاهش وزن اجزای ساختمان و استفاده از مصالح سبک به عنوان راه حلی که میتوانند سبب افزایش سرعت ساخت و کاهش هزینه اجرای ساختما نها شود باید مورد توجه خاص قرار گیرد. میرزایی [۶۰] به ارزیابی و رتبه بندی سیستم های صنعتی اجرا شده در شهر جدید پرند پرداخته و نتیجه گیری نموده است که ساختمان های ساخته شده با مصالح بتنی درجا مانند دیوارهای دولایه ، قالب تونلی و پیچ ومهره ای از دید ساکنین بر ساختمان های چوبی ، سبک فولادی و سیستم قالب عایق ماندگار برتری قابل ملاحظه ای داشته و میزان تمایل به سکونت در این نوع ساختمان ها بسیار بیشتر می باشد. از طرفی با توجه به اقلیم گرم و خشک شهر پرند و همچنین وابستگی این نوع سازه ها به واردا ، ساخت این نوع سازه ها مقرون به صرفه نبوده وکمتر با فرهنگ منطقه همخوانی دارد . همچنین با توجه به نیاز این نوع سازه ها به انجام تمهیدات خاص عایق کاری صوتی وحرارتی این مهم در ساختمان ها ی در حال بهره برداری در پرند به نحو مناسبی اجرا نگردیده است و باعث اتلاف مصرف انرژی گردیده است. در فاز بهره برداری و نگهداری نیز تعمیرکاران کافی جهت انجام امورات جاری این ساختمان ها در دسترس نمی‌باشد. ژوبینگ [۶۱] در پژوهشی کاربردی بر کنترل سرمایه در پروژه عمرانی با استفاده از مهندسی ارزش در مرحله طراحی نشان می دهد که تاثیر مرحله طراحی پروژه برای کنترل سرمایه % 75 کل سرمایه تخصیصی بوده و خیلی بیشتر از تاثیر مرحله ساخت و تکمیل برای صرف سرمایه است. عباسی [۵۷] با استفاده از یک تابع اولویت بندی به انتخاب بهترین سیستم ساختمانی که رضایتمندی ساکنین و سازندگان را تامین کند پرداخته است که این پژوهش به عنوان یک نمونه در ادامه با جزئیات بیش تر ارائه می-شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲-۳-۵-۳ سیستم های سازه ای مورد بررسی

در پژوهش مورد بررسی [۵۷]، هفت سیستم ساختمانی به شرح زیر برای ساخت مسکن های اجتماعی در شهرهای جدید نزدیک تهران (پرند، پردیس، اندیشه و هشتگرد) مورد بررسی قرار گرفته اند:

۱- سیستم قاب خمشی بتنی با قالب تونلی

۲- سیستم قاب خمشی بتنی با سقف در جا (کرمیت ، پلی استایرن)

۳- سیستم قاب خمشی فولادی با سقف در جا (کرمیت ، عرشه فولادی)

۴- سیستم قاب مهاربندی فولادی بتنی با سقف در جا (کرمیت ، عرشه فولادی ، پلی استایرن)

۵- سیستم پانل پیش ساخته سبک سه بعدی (3D-Panel)

۶- سیستم سازه های فولادی سرد نورد شده (LSF)

۷- سیستم ساختمانی قالب عایق ماندگار (ICF)

۳-۳-۵-۳ معیارها

برای انتخاب مناسب ترین سیستم، معیارهای زیر مد نظر قرار گرفته اند:

۱- هزینه ها

- تامین مالی
- هزینه ساخت
- مصرف انرژی

۲- کیفیت ساخت

- دوام و پایداری
- سهولت در اجرا
- نظارت بر ساخت
- تعداد طبقات
- بار مرده ساخت
- تعمیر و نگهداری

۳- معماری ساخت

- دسترسی ها: حمل و نقل، خدمات درمانی و بهداشتی، خدمات آموزشی، خدمات رفاهی
- معماری ایرانی و اسلامی: احساس امنیت، حرمت حریم خصوصی، حرمت جهت قبله
- فضای مفید: پذیرایی، اتاق ها، آشپزخانه، سرویس ها، پارکینگ و انباری
- نور: پذیرایی، اتاق ها، آشپزخانه، سرویس ها
- آکوستیک: دیوارهای جانبی، دیوارهای داخلی، سقف، پنجره ها

۴- تاسیسات برقی

- امکانات برقی
- روشنایی پذیرایی، اتاق ها، آشپزخانه و سرویس ها

۵- تاسیسات مکانیکی

- آب و فاضلاب: خروج آب از سینک و کف شوها، فشار آب، نشت آب، عایق رطوبتی
- تهویه: آشپزخانه، سرویس ها و راه پله

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

- سرمایش در فصول گرم سال
- گرمایش در فصول سرد سال

۴-۳-۵-۳ روش تحقیق

برای انتخاب بهترین سیستم سازه ای از روش های مجموع ساده وزین (SAW) و دلفی DELPHI استفاده شده است. روش SAW یکی از قدیمی ترین روش های به کارگیری شده در مدل های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) می باشد که می تواند تاثیر متقابل و مشارکت افراد متخصص در تصمیم گیری را افزایش داده و برای آن ها مناسب ترین گزینه را محاسبه نماید. در این روش نیاز به مقیاس های مشابه و یا اندازه گیری بی مقیاس است که بتوان آنها را با یکدیگر مقایسه کرد. به همین دلیل در این روش پس از تعیین ماتریس بی مقیاس خطی، ماتریس در ماتریس شاخص ها ضرب می گردد تا وزن هر گزینه به دست آید. پس از آنکه ارزش هر یک از شاخص ها با توجه به معیار های انتخاب شده تعیین گردید به دلیل آنکه واحد های اندازه گیری شاخص ها متفاوت می باشد بنابراین بایستی آنها را بی مقیاس کرد. نکات مهمی که در استفاده از روش SAW باید در نظر گرفت عبارتند از:

۱- استقلال ارجحیت و مجزا بودن آثار شاخص ها از یکدیگر فرض اولیه در به کارگیری روش فوق است.

۲- استفاده از مدل جمع پذیری با فرض مطلوبیت کلی از شاخص های قابل تفکیک به مطلوبیت موجود از هر یک از شاخص ها امکان پذیر خواهد بود

۳- چنانچه شاخص ها از نظر ارجحیت مستقل از یکدیگر نبوده و آثار مکمل یا جایگزینی بر روی یکدیگر داشته باشند، آنگاه مشکل بتوان از فرم جمع پذیری و تفکیک پذیری استفاده نمود، بلکه حداقل باید از فرم ترکیبات خطی چند گانه بهره مند شد.

۴- به شرط جمع پذیری می توان توابع مطلوبیت جمع پذیر را جایگزین مجموع وزین ساده نمود.

دیگر روش مورد استفاده در این تحقیق ، روش DELPHI می باشد. تکنیک دلفی برای شناسایی و غربال مهم ترین شاخص های تصمیم گیری قابل استفاده است. بنابراین با وجود این که تکنیک دلفی یک روش تصمیم گیری چند معیاره نیست اما در بسیاری موارد قبل از بکارگیری تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره از این تکنیک برای غربال شاخص ها یا رسیدن به یک توافق در زمینه اهمیت شاخص های تصمیم گیری استفاده می شود. دلفی در واقع یک روش و تکنیک گروهی برای حصول قابل قبول ترین نظر گروه کارشناسان به روش توزیع مکرر پرسشنامه می باشد. روش دلفی ویژگی های زیر را دارد:

- روش دلفی متشکل از مشارکت کنندگانی است که به دلیل تخصص شان در موضوع موردنظر انتخاب شده‌اند.
- در این روش از یک سری پرسش نامه های ترتیبی در دو یا چند دور استفاده می شود
- در دور اول، مشارکت کنندگان ایده ها و موضوعات اصلی را تعیین می کنند.
- ایده های مطرح شده در دور اول، تلفیق می شوند تا پرسشنامه ای برای دورهای بعدی طراحی شود.
- در مرحله ارزیابی (دور سوم به بعد)، پاسخ ها در اختیار اعضا قرار می گیرد و از آنها خواسته می شود تا پاسخ های اولیه خود را ارزیابی کنند.
- روش دلفی به دنبال ایجاد توافق و اتفاق نظر مشارکت کنندگان در خصوص موارد ذکرشده در پرسشنامه-هاست.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۳-۵ فرآیند جمع آوری نظرات گروهی

نظرات در روش SAW با استفاده از پرسشنامه ای که با کمک متخصصین، افراد و سازمان هایی که در فرایند تصمیم گیری دخالت دارند تنظیم و تکمیل‌شده و اتخاذ تصمیم نهایی بر اساس آن انجام می پذیرد. بدیهی‌ست میزان اعتبار تصمیم اتخاذی در این روش از نظر کیفی و کمی به تعداد و نو ع سوالات پرسشنامه وابسته است. این پرسشنامه در فرآیند دلفی چندین مرتبه تنظیم و دوباره به کارشناسان بازگردانده می شود و طی چندین مرحله ماتریس های مورد نظر تنظیم می گردند. در پژوهش مورد نظر [۵۷] به منظور جمع آوری اطلاعات لازم در خصوص انتخاب گزینه برتر پرسشنامه هایی تدوین گردیده و نظرات متخصصین جمع آوری شده است. جامعه آماری مربوطه متشکل است از 80 واحد مسکونی و 12 شرکت پیمانکاری و 10 شرکت مشاور و 21 مهندس ناظر شده است. با بررسی اطلاعات به دست آمده از پرسشنامه ها روشن گردید که برای ساکنین واحدهای مسکونی معیارهایی نظیر دسترسی ها، فضای مفید، نور، آکوستیک صدا، روشنایی، گرمایش و سرمایش، تهویه و ... و برای پیمانکاران معیارهایی چون سهولت اجرا، تامین مالی، هزینه ساخت و برای مشاوران معیار های فنی شامل بار مرده، تعداد طبقات، مصرف انرژی و برای ناظران نظارت بر اجرا، دوام و پایداری، کیفیت و تعمیر و نگهداری پر اهمیت تر می‌باشد.

۳-۵-۳-۶ وزن دهی به معیارها جهت حل مساله به روش*SAW*

در مورد معیارهای به کار رفته در مسائل بطور کلی سه کار باید انجام گیرد:

- تبدیل معیارهای کیفی به کمی
- بی مقیاس کردن معیارها
- تعیین وزن های نسبی معیارها

بدین ترتیب پس از بررسی و تحقیقات لازم و جمع آوری نظرات کارشناسان و متخصصین مربوطه، اوزان لازم برای پروژه با استفاده از روش دلفی برآوردگشته و با توجه به اینکه معیارهای مد نظر جامعه آماری مقیاسهای یکسانی نداشتند از روش فوق برای بی مقیاس کردن معیارها جهت قابلیت اندازه گیری همسان استفاده گردید. نتایج حاصل در جدول (۳-۲) نشان داده شده است.

جدول (۳- ۲) وزن معیارها [۵۷]

معیارها	رتبه اولویت	نمره وزن معیار در پروژه	نمره بی مقیاس شده
تامین مالی	۱	۱۰۰	۰/۰۵۹
هزینه ساخت	۲	۹۵	۰/۰۵۶
دوام و پایداری	۳	۹۰	۰/۰۵۳
احساس امنیت	۴	۸۵	۰/۰۵۰
مصرف انرژی	۵	۸۵	۰/۰۵۰
سهولت در اجرا	۶	۸۰	۰/۰۴۷
نظارت بر ساخت	۷	۸۰	۰/۰۴۷
تعداد طبقات	۸	۷۵	۰/۰۴۴
بار مرده ساخت	۹	۷۰	۰/۰۴۱
تعمیر و نگهداری	۱۰	۶۰	۰/۰۳۵
خروج آب از سینک	۱۱	۵۰	۰/۰۲۹

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

خروج آب کفشوها	۱۲	۵۰	۰/۰۲۹
فشار آب	۱۳	۵۰	۰/۰۲۹
نشت آب	۱۴	۵۰	۰/۰۲۹
عایق رطوبتی	۱۵	۵۰	۰/۰۲۹
سرمایش	۱۶	۵۰	۰/۰۲۹
گرمایش	۱۷	۵۰	۰/۰۲۹
دسترسی حمل و نقل	۱۸	۴۵	۰/۰۲۶
دسترسی خدمات درمانی و بهداشتی	۱۹	۴۰	۰/۰۲۳
دسترسی خدمات آموزشی	۲۰	۴۰	۰/۰۲۳
دسترسی خدمات رفاهی	۲۱	۳۵	۰/۰۲۰
آکوستیک دیوارهای جانبی	۲۲	۳۵	۰/۰۲۰
آکوستیک دیوارهای داخلی	۲۳	۳۵	۰/۰۲۰
آکوستیک سقف	۲۴	۳۵	۰/۰۲۰
آکوستیک پنجره ها	۲۵	۳۰	۰/۰۱۸
فضای مفید پذیرایی	۲۶	۳۰	۰/۰۱۸
فضای مفید اتاق ها	۲۷	۳۰	۰/۰۱۸
فضای مفید آشپزخانه	۲۸	۳۰	۰/۰۱۸
فضای مفید سویس ها	۲۹	۳۰	۰/۰۱۸
فضای مفید پارکینگ	۳۰	۳۰	۰/۰۱۸
فضای مفید انباری	۳۱	۳۰	۰/۰۱۸
امکانات برقی	۳۲	۲۵	۰/۰۱۵
نور پذیرایی	۳۳	۲۵	۰/۰۱۵
نور اتاق ها	۳۴	۲۵	۰/۰۱۵
نور آشپزخانه	۳۵	۲۵	۰/۰۱۵
نور سرویس ها	۳۶	۲۵	۰/۰۱۵
روشنایی پذیرایی	۳۷	۲۵	۰/۰۱۵
روشنایی اتاق ها	۳۸	۲۵	۰/۰۱۵
روشنایی آشپزخانه	۳۹	۲۵	۰/۰۱۵
روشنایی سرویس ها	۴۰	۲۵	۰/۰۱۵
تهویه آشپزخانه	۴۱	۲۰	۰/۰۱۲
تهویه سرویس ها	۴۲	۲۰	۰/۰۱۲
تهویه راه پله	۴۳	۲۰	۰/۰۱۲
حرمت حریم خصوصی	۴۴	۱۵	۰/۰۰۹
حرمت جهت قبله	۴۵	۱۰	۰/۰۰۶

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۳-۷ نتایج و یافته های تحقیق در خصوص سیستم ساختمانی مناسب برای مسکن های اجتماعی شهرهای جدید اطراف تهران

با توجه به این که در روش SAW، علاوه بر داشتن معیارها باید امتیاز هر روش اجرا در ارتباط با معیارهای مربوطه نیز مشخص گردد ، به همین دلیل از طریق فرم های نظر خواهی از افراد مد نظر خواسته شده بود نسبت دادن امتیاز به هر یک از معیارهای اجرایی در هر یک از سیستمهای اجرایی اقدام نمایند. بدین صورت که 1 کم ترین امتیاز تناسب مطلوبیت و 10 بیشترین امتیاز تناسب مطلوبیت در نظر گرفته شده است.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم گیری و سپس ماتریس انتخاب، کارایی هفت سیستم ساختمانی مورد بررسی در رابطه با مهم ترین معیارهای سازندگان و استفاده کنندگان به شرح جدول (۳- ۳) به دست آمده است:

جدول (۳- ۳) امتیازدهی به سیستم های ساختمانی مورد بررسی برای مسکن های اجتماعی [۵۷]

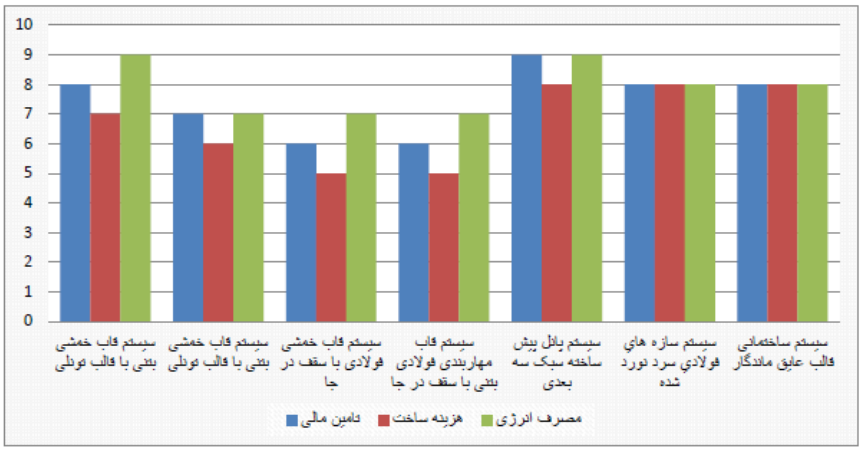
رتبه بندی	سیستم ساختمانی مورد بررسی	امتیاز مجموع رضایتمندی براساس معیارهای سنجش
۱	سیستم سازه های فولادی سرد نورد شده	۸/۵۶۴
۲	سیستم پانل پیش ساخته سبک سه بعدی	۸/۳۸۸
۳	سیستم ساختمانی قالب عایق ماندگار	۷/۹۴۵
۴	سیستم قاب خمشی بتنی با قالب تونلی	۷/۷۱۶
۵	سیستم قاب مهاربندی فولادی بتنی با سقف درجا	۷/۴۵۵
۶	سیستم قاب خمشی فولادی با سقف درجا	۷/۳۱۶
۷	سیستم قاب خمشی بتنی با سقف درجا	۷/۲۵۷

همانطور که در جدول (۳- ۳) ملاحظه می‌شود، با در نظر داشت تمام معیارهای مورد سنجش، ساختمان‌هایی که با سیستم سازه ای فولادی سرد نورد شده (LSF) ساخته شده اند با امتیاز ۸/۵۶۴ نسبت به سایر سیستم ها در رتبه اول قرارگرفته است. دلایلی چون سهولت اجرا، سبکی سازه، تعمیر و نگهداری راحت تر، رعایت حریم فضاها، فضای پارکینگ بهتر، تابش نور آفتاب مستقیم در فضاها، رعایت مناسب استانداردهای تاسیساتی از جمله لوله کشی و سیم کشی مناسب فضاها و کاربردی بودن آنها و بخصوص سیستم تهویه و در نهایت عملکرد بسیار مناسب آکوستیک پنجره ها و نیز سرمایش و گرمایش خوب، رضایتمندی بالای ساکنین و سازندگان را جلب نموده است. در مقابل بالا بودن هزینه ساخت، تعداد کم ساخت طبقات، احساس امنیت کمتر ساکنین و نیز پایین بودن ضریب آکوستیک دیوارهای پیرامونی از مهمترین نارضایتی های سازندگان و ساکنین برای این سیستم بیان شده است.

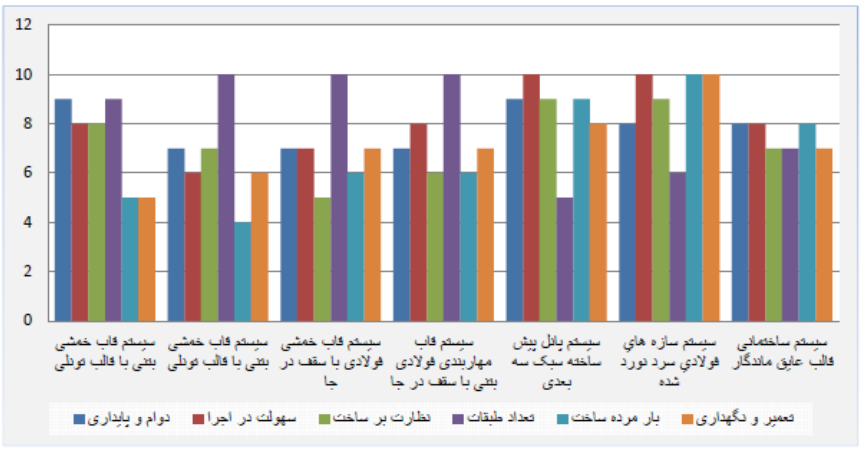
در شکل (۳- ۴) تا شکل (۳- ۱۱) سایر نتایج آماری رضایت‌مندی سازندگان و ساکنین مسکن های اجتماعی برای هفت سیستم سازه ای مورد بررسی به صورت مقایسه ای ارائه گردیده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۵-۳-۷-۱ رضایتمندی سازندگان

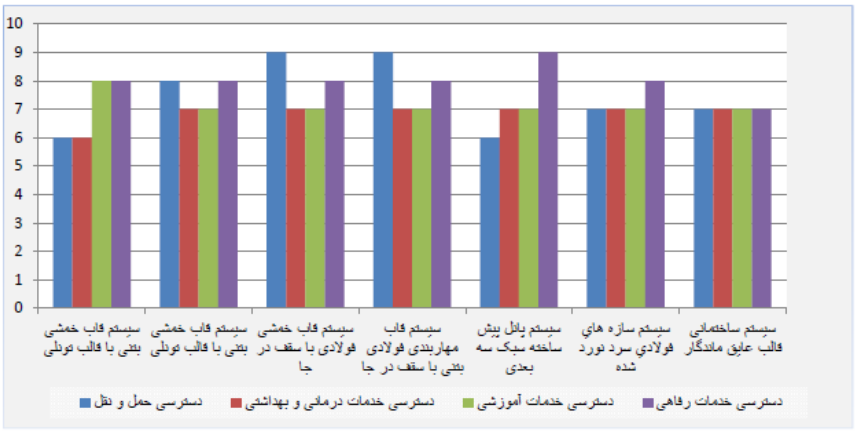


شکل (۳- ۴) میزان رضایتمندی از بخش هزینه ها [۵۷]



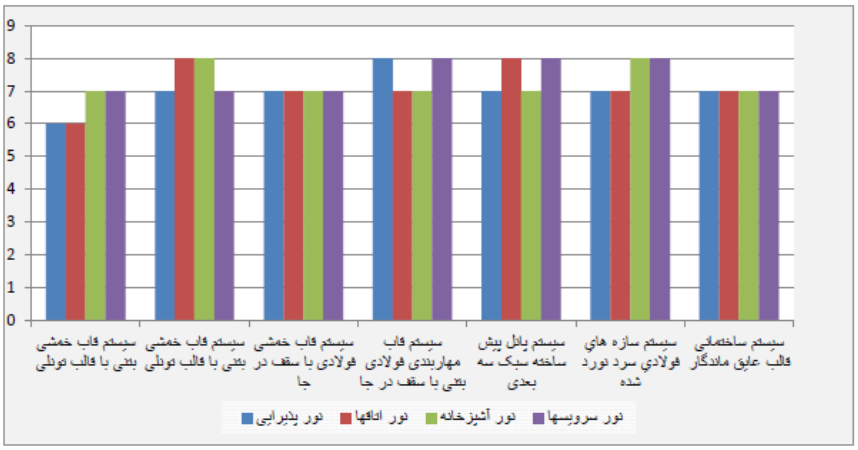
شکل (۳- ۵) میزان رضایتمندی از بخش کیفیت ساخت [۵۷]

۳-۵-۳-۷-۲ رضایتمندی ساکنین

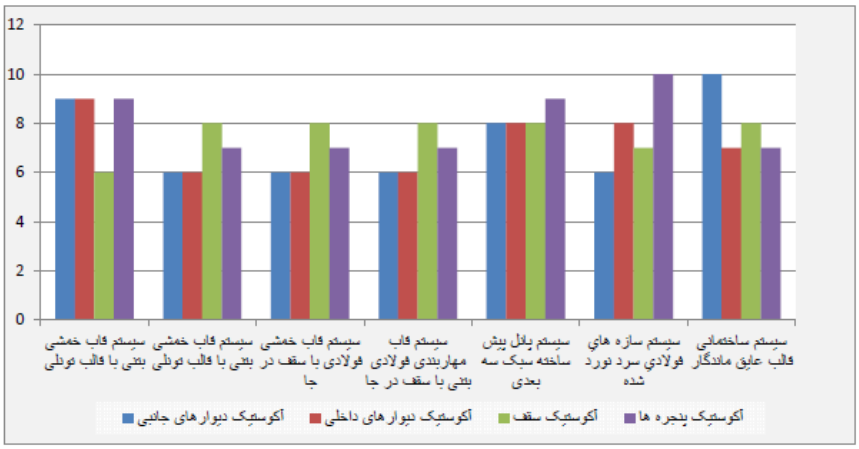


شکل (۳- ۶) میزان رضایتمندی از بخش معماری ساخت، الف- دسترسی ها [۵۷]

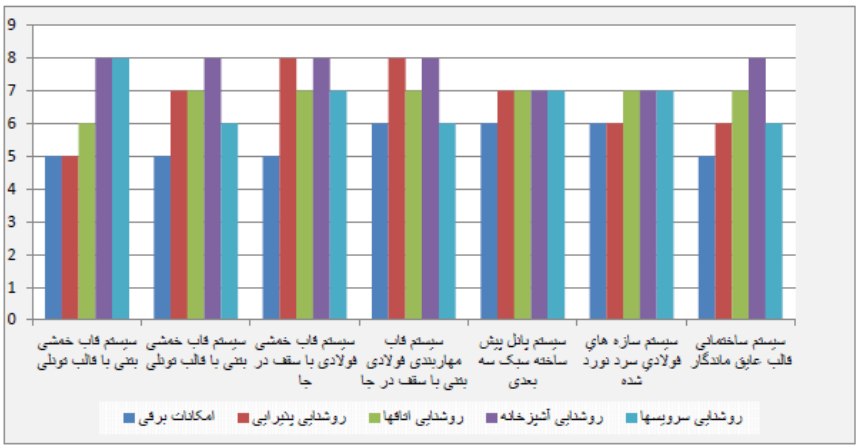
DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۳- ۷) میزان رضایتمندی از بخش معماری ساخت، ب- نور فضاها [۵۷]

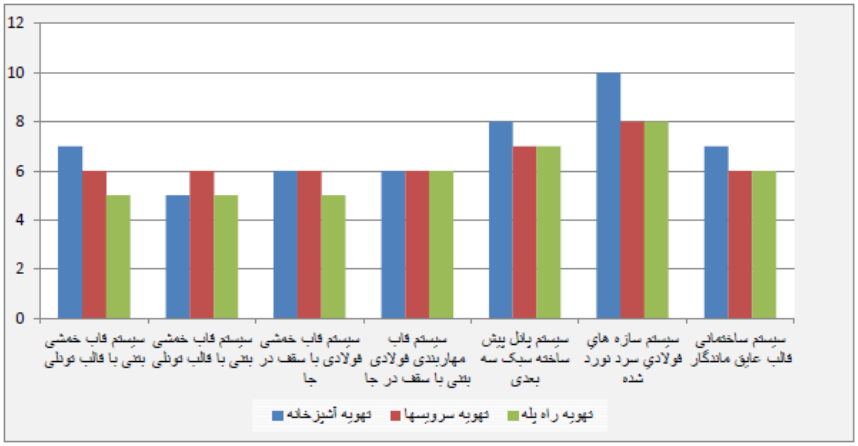


شکل (۳- ۸) میزان رضایتمندی از بخش معماری ساخت، پ- آکوستیک [۵۷]

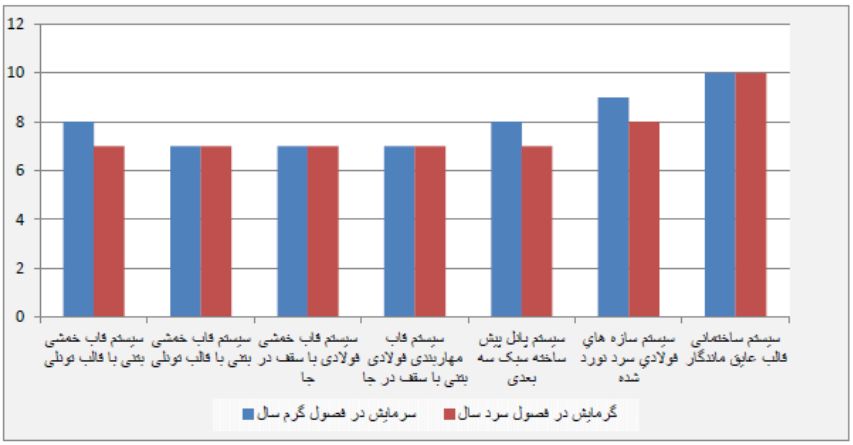


شکل (۳- ۹) میزان رضایتمندی از بخش تاسیسات برقی [۵۷]

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۳- ۱۰) میزان رضایتمندی از بخش تاسیسات مکانیکی، الف- تهویه [۵۷]



شکل (۳- ۱۱) میزان رضایتمندی از بخش تاسیسات مکانیکی، ب- سرمایش و گرمایش [۵۷]

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضروری به نظر می‌رسد که پیش از توسعه مسکن‌های اجتماعی برای هر منطقه، این گونه مطالعات آماری انجام گردد و نتایج آن جهت تامل و به کارگیری متولیان در امر ساخت و ساز چه در مرحله تصمیم گیری و طراحی و چه در مرحله ساخت و بهره برداری به کار گرفته شود تا با انتخاب بهینه ترین سیستم رضایت ساکنین در طول مدت بهره برداری تامین گردد.

۳-۵-۴ بررسی مزایا و معایب ساخت مسکن های اجتماعی با مصالح محلی- نمونه موردی کشور غنا

در این بخش به بررسی یک پژوهش آماری و تجربی در کشور غنا که در آن مزایا و معایب ساخت مسکن‌های اجتماعی با مصالح محلی مورد بررسی قرار گرفته است، پرداخته می‌شود. این پروژه به عنوان نمونه ای جهت الگوبرداری برای انجام زیرپروژه های مرتبط در کشورمان (که در بخش ۳-۶ به آن‌ها پرداخته می‌شود) ارائه شده است.

افزایش قیمت ساخت و ساز در بسیاری از کشورها خصوصا کشورهای در حال توسعه به چالشی جدی برای تامین مسکن اقشار کم درآمد تبدیل شده است. یکی از دلایل اصلی قیمت ساخت مسکن، افزایش قیمت مصالح ساخت می باشد که معمولا درصد بالایی از قیمت تمام شده را به خود اختصاص می‌دهد [۶۲]. به عنوان نمونه در اکثر کشورهای قاره آفریقا، کمبود شدید مسکن اجتماعی به دلیل گرانی مصالح مرسوم ساختمانی مانند فولاد و

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

سیمان وجود دارد. یک راه حل مناسب که توسط متخصصان صنعت ساخت و نیز محیط زیست کشور غنا به دولت این کشور پیشنهاد شده است، تحقیق و پژوهش در زمینه استفاده از مصالح محلی برای ساخت مسکن های اجتماعی با در نظر گرفتن مواردی مانند فراوانی مصالح در محل، دوام آن‌ها، سازگاری با محیط زیست و از همه مهم تر قابل استطاعت بودن آن‌ها می باشد [۶۳]. علاوه براین ساخت مسکن با مصالح محلی سازگاری بیش تری با میراث فرهنگی ساکنین داشته و بازتابی از اصول، سنت ها و ارزش های فرهنگی ساکنین خانه ها می‌باشد [۶۴]. مشکلات زیادی در صنعت ساخت و ساز کشورهای قاره آفریقا و بسیاری از کشورهای در حال توسعه از نظر تامین مسکن در برابر رشد جمعیت وجود دارد. هزینه بالای حمل و نقل مصالح ساختمانی به محل ساختمان های مسکن اجتماعی و یا تولید مصالح ساختمانی با کیفیت در نزدیکی پروژه، یکی از موارد اصلی محدود کننده توسعه مسکن های قابل استطاعت می باشد. به صورت کلی، استفاده از مصالح محلی نیز با چالش هایی از جمله قابلیت تولید مقدار کافی از این مصالح با کیفیت مناسب که در شرایط حاد آب و هوایی دارای دوام باشد مواجه است. بنابراین در ادامه به ارائه نتایج تجربی استفاده از مصالح محلی برای ساخت مسکن‌های اجتماعی پرداخته شده است. برای این منظور، از یک جامعه آماری در کشور غنا استفاده شده است که در هر دو نمونه مسکن‌های اجتماعی با مصالح ساختمانی مرسوم و نیز مصالح محلی سکونت داشته اند (شکل (۳- ۱۲)) و در مورد جنبه های مختلف مزایا و مشکلات سکونت در خانه‌های با مصالح محلی اظهار نظر نموده اند. از روش نمونه گیری گلوله برفی برای شناسایی افرادی که در هر دو تیپ خانه سکونت داشته اند به منظور مصاحبه با آن ها استفاده شده است. لازم به ذکر است که نمونه گیری گلوله برفی یک روش نمونه گیری غیر احتمالی برای مواقعی است که واحدهای مورد مطالعه به راحتی قابل شناسایی نباشند. به ویژه هنگامی که این واحدها بسیار کمیاب یا بخش کوچکی از یک جامعه خیلی بزرگ را تشکیل می دهند. در این روش آمارگیری، پس از شناسایی یا انتخاب اولین واحد نمونه گیری از آن برای شناسایی و انتخاب دومین واحد نمونه گیری استفاده یا کمک می گیرد. به همین ترتیب واحدهای دیگر نمونه شناسایی و انتخاب می شوند. انتخاب جمعیت نمونه از این طریق و به صورت زنجیر وار ادامه می یابند تا زمانی که دیگر نمونه ای پیدا نشود. نکته دیگر این که در این شیوه نمونه گیری، در انتخاب اعضای جمعیت نمونه، پژوهشگر می تواند به صورت ترجیحی به انتخاب نمونه هایی بپردازد که از نظر متغیرهای زمینه ای و نیز طبقه اجتماعی متعلق به حوزه های اجتماعی متفاوت باشند. برای مثال برای دستیابی به افرادی که به یک بیماری بسیار نادر مبتلا هستند می توان از این روش استفاده کرد. از مزایای استفاده از این روش می توان ارزانی، سادگی و عدم نیاز به برنامه ریزی و کار فیزیکی گسترده در مقایسه با دیگر روش‌های نمونه گیری دانست. از معایب این روش می توان به اریبی این نمونه گیری اشاره کرد. همچنین واحدهای اولیه نمونه گیری ممکن است واحدهای معروف‌تر و یا مشابه خود را معرفی کنند. در تحقیقات جامعه شناسی و آمار، نمونه گیری " گلوله برفی" به تکنیکی اطلاق می شود که در آن افراد موجود در مطالعه افراد بعدی را معرفی می کنند. بنابراین گروه نمونه به نظر شبیه به یک گلوله برفی غلتان رشد می کند. همچنان که نمونه ساخته می شود اطلاعات کافی برای استفاده در تحقیق جمع آوری می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341



شکل (۳- ۱۲) نمونه خانه های ساخته شده با مصالح محلی و مصالح مرسوم در کشور غنا [۶۵]

۳-۵-۴-۱ ویژگی های جمعیتی جامعه آماری پاسخ دهندگان

ویژگی های جامعه آماری پاسخ دهندگان به پرسشنامه های طراحی شده در مورد مزایا و مشکلات مسکن‌های اجتماعی ساخته شده با مصالح محلی در جدول (۳- ۴) ارائه شده است.

جدول (۳- ۴) ویژگی های جمعیتی پاسخ دهندگان به پرسشنامه [۶۵]

دسته بندی		تعداد پاسخ دهندگان	درصد پاسخ دهندگان (٪)
جنسیت	مرد	۳۵	۷۰
	زن	۱۵	۳۰
سن	کم تر از ۳۰ سال	۵	۱۰
	بین ۳۰ تا ۳۹ سال	۹	۱۸
	بین ۴۰ تا ۴۹ سال	۱۷	۳۴
	بین ۵۰ تا ۵۹ سال	۱۲	۲۴
	بزرگ تر از ۶۰ سال	۷	۱۴
ترجیح در مورد نوع مصالح محلی	خاک	۳۱	۶۲
	ضایعات کشاورزی	۱۱	۲۲
	ضایعات صنعتی	۸	۱۶

۳-۵-۴-۲ روش جمع آوری داده ها

برای بررسی مزایا و مشکلات سکونت در خانه های ساخته شده با مصالح محلی در مقابل خانه های با مصالح معمولی، از پاسخ دهندگان خواسته شد که موافقت یا مخالفت خود را در خصوص مسکن‌های اجتماعی با مصالح محلی براساس مقیاس لیکرت ۵ درجه ای بیان کنند.

مقیاس لیکرت، پرکاربردترین روش برای اندازه گیری نگرش می باشد که یک روان‌شناس به نام لیکرت معرفی کرده است. در این روش درجه موافقت فرد با یک عبارت نگرشی سنجیده می‌شود.. به عنوان نمونه، نگرش خود را درباره یک عبارت به صورت "کاملا موافق، موافق، بی‌نظر، مخالف، کاملا مخالف" با گذاشتن علامت در کنار گزینه مربوط به آن مشخص می‌کند. در اینجا هدف تعیین توزیع پاسخ دهندگان با نگرش های مختلف است. گزینه ها

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

معمولاً از پنج درجه از موافقت تا مخالفت، تشکیل شده اند. اما بعضی از پژوهشگران ممکن است با توجه به متغیر مورد اندازه گیری از هفت درجه استفاده کنند. یعنی تا حدودی موافق و تا حدودی مخالف را بر پنج درجه قبلی اضافه کنند. مهم فرد بودن تعداد گزینه هاست. پس از سنجش، در عبارت های مثبت پاسخ‌های موافق بالاترین نمره و در عبارت های منفی پاسخ های مخالف بالاترین نمره را می گیرند. یعنی در عبارت های مثبت مقیاس پنج درجه ای لیکرت، امتیاز ۵ به کاملاً موافق و در عبارت های منفی امتیاز ۵ به کاملاً مخالف (و امتیاز ۱ به کاملاً موافق) داده می شود. کسانی که در مجموع بالاترین امتیاز را می آورند، موافق‌ترین نگرش را نسبت به موضوع اندازه گیری شده دارند و برعکس.

پرسشنامه ها قبل از شروع تحقیق توسط یک جامعه آماری ده نفره ارزیابی اولیه شدند تا اگر ابهام یا نارسایی در خصوص پرسشنامه ها وجود دارد، برطرف شود. پرسشنامه ها نیز توسط کمک پژوهشگران تعلیم داده شده، پر شدند. سپس با استفاده از اصول آمار توصیفی، مهم ترین مزایا و مشکلات مسکن‌های اجتماعی با مصالح محلی شناسایی و اولویت بندی شدند.

۳-۴-۵-۳ مزایای مسکن های اجتماعی با مصالح محلی

براساس نظرسنجی های به عمل آمده از جامعه آماری، مهم ترین مزایای سکونت در مسکن های اجتماعی ساخته شده با مصالح محلی به شرح جدول (۳-۵) به دست آمده است:

جدول (۳- ۵) مزایای سکونت در مسکن های اجتماعی با مصالح محلی [۶۵]

مزیت مورد بررسی	میانگین	انحراف معیار	رتبه
ارتقای میراث فرهنگی منطقه	4.76	0.476	**1**
فراوانی مصالح در محل	4.34	1.154	**2**
تامین دمای مطلوب اتاق	4.22	1.016	**3**
ارزان و قابل استطاعت بودن مصالح محلی	4.2	1.069	**4**
سازگاری بیش تر با محیط زیست در مصالح محلی	2.72	1.107	**5**
مقاوم در برابر آتش بودن مصالح محلی	2.42	1.089	**6**

همان طور که با توجه به جدول (۳-۵) ملاحظه می شود، از نظر پاسخ دهندگان، ارتقای میراث فرهنگی منطقه بالاترین مزیت استفاده از مصالح محلی در ساخت مسکن اجتماعی می باشد. این امر احتمالا به دلیل امکان استفاده از افراد سنتی برای طراحی و ساخت این گونه خانه ها می باشد که در آن راحت تر می توانند عقاید و ارزش‌های فرهنگی خود را پیاده نمایند. فراوانی مصالح محلی نیز به عنوان دومین مزیت خانه‌های با مصالح محلی ذکر شده است. دلیل این امر آن است که از نظر پاسخ دهندگان، آن ها مصالحی را برای ساخت خانه مناسب می دانند که هم در نزدیکی آن ها موجود باشد و هم اینکه این موجود بودن به میزان زیاد باشد. این نتیجه گیری با نتایج پژوهش سرکر [۶۶] تطابق دارد که در آن گزارش شده است که گل و لای مصالحی هست که در همه جا به فراوانی و رایگان وجود دارد و قرن‌هاست که برای ساخت خانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سومین مزیتی که پاسخ دهندگان به آن اعتقاد داشتند، تامین دمای مطلوب اتاق می باشد. این مزیت مخصوصا در مناطق گرمی که خانه ها با مصالح خاک پایه ساخته شده باشند بسیار قابل توجه خواهد بود، چراکه مصالح خاک پایه به راحتی اجازه عبور گرما به داخل ساختمان را نمی دهند. در تحقیق مشابهی نیز این نتیجه حاصل شده است که خانه

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

های ساخته شده با گل و لای، علاوه براینکه با محیط زیست سازگار هستند، در تابستان خنک و در زمستان گرم هستند [۶۶]. چهارمین مزیت استفاده از مصالح محلی، ارزان و قابل استطاعت بودن آن است که با نتایج تحقیق [۶۷] نیز تطابق دارد. دلیل این امر آن است که معمولا هزینه ای برای خود مصالح محلی پرداخت نمی شود و فقط هزینه های جانبی تامین این مصالح مانند حفر زمین و برداشت خاک، بریدن بامبو، بریدن چوب و ... را شامل می شود.

۳-۵-۴-۴ مشکلات مسکن های اجتماعی با مصالح محلی

براساس نظرسنجی‌های به عمل آمده از جامعه آماری، مهم‌ترین مشکلات سکونت در مسکن های اجتماعی ساخته شده با مصالح محلی به شرح جدول (۳- ۶) به دست آمده است:

جدول (۳- ۶) مشکلات سکونت در مسکن های اجتماعی با مصالح محلی [۶۵]

مشکل مورد بررسی	میانگین	انحراف معیار	رتبه
خانه های ساخته شده با مصالح محلی دارای مقاومت پایینی هستند	4.6	0.728	**1**
خانه های ساخته شده با مصالح محلی نیاز به تعمیر و نگهداری بیش تر دارند	4.36	1.174	**2**
برای ساخت خانه های با مصالح محلی نیاز به نیروی انسانی زیادی است	4.2	1.212	**3**
خانه‌های ساخته شده با مصالح محلی به سادگی دچار فرسایش می شوند	4.14	0.729	**4**
خانه‌های ساخته شده با مصالح محلی بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از حیوانات محلی و جوندگان هستند	3.56	0.929	**5**

همان طور که با توجه به جدول (۳- ۶) ملاحظه می‌شود، از نظر پاسخ دهندگان، مقاومت پایین خانه های ساخته شده با مصالح محلی به عنوان بزرگ ترین مشکل این ساختمان‌ها گزارش شده است. دلیل این امر آن است که پاسخ دهندگاه مقاومت مصالح محلی را با مقاومت مصالح مرسوم مانند فولاد، بتن و سیمان مقایسه کرده اند و مصالح محلی انتظار آن‌ها را برای یک خانه مقاوم برآورده نمی کند. مقاومت خانه پارامتر بسیار مهمی جهت تامین دوام و امنیت خانه در برابر حوادث طبیعی می باشد. ریزا و همکاران [۶۸] نیز در پژوهشی کمبود مقاومت، محدودیت ابعادی و نیز دوام اکثر خاک‌ها در حالت طبیعی را به عنوان بزرگ‌ترین نقطه ضعف این مصالح برای ساختمان‌سازی عنوان کردند. دومین مشکلی که از نظر پاسخ دهندگان در خصوص خانه های با مصالح محلی وجود دارد، نیاز به تعمیر و نگهداری بیش تر می باشد. این نتیجه گیری با تحقیقات دیگر [۶۴] نیز همخوانی دارد که در آن مصالح خاک پایه به دلیل پوسته شدن و ریزش نازک کاری ساختمان مخصوصا در فصول دارای رطوبت، نیاز به بازسازی فراوان داشتند. این امر به دلیل مقاومت پایین این مصالح است که به منظور حفظ ساختمان در شرایط خوب بهره برداری، نیاز به تعمیر و نگهداری بیش تر دارد. در صورتی که خانه های ساخته شده با مصالح محلی به صورت منظم تعمیر و نگهداری نشوند، در تعداد سال کمی بعد از ساخت دچار آسیب جدی مخصوصا در مواجهه با شرایط حاد اب و هوایی مانند باران و طوفان می شوند. سومین مشکلی که از نظر پاسخ دهندگان در

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

خصوص خانه های ساخته شده با مصالح محلی وجود دارد، نیاز به تعداد زیاد نیروی انسانی برای ساخت این خانه‌ها و نقش کم‌تر ماشین آلات می باشد. این نتیجه گیری با نتایج تحقیقات گذشته [۶۹] تطابق دارد که در آن گزارش شده است که ساخت خانه های با مصالح گل و لای نیاز به کار کردن نسبتا فشرده و زیاد نیروی انسانی دارد. دلیل این امر آن است که در ساخت خانه با مصالح محلی معمولا تامین و آماده سازی و برش خود مصالح نیز بخشی از کار می باشد. در حالی که در ساخت خانه ها با مصالح مرسوم، ساخت مصالح بتن یا فولاد یا آجر از قبل با تیم دیگری انجام پذیرفته و به عنوان بخشی از کار دیده نمی شود. به علاوه بسیاری از واحدهای ساختمان سازی با مصالح محلی مانند آجرهای سفالی، کاهگل، بامبو و چوب دارای سایز کوچک بوده و بنابراین نیاز به تعداد زیاد نیروی انسانی برای ساخت چنین خانه هایی می باشد. در نهایت، اخرین مشکلی که پاسخ دهندگان در خصوص خانه های ساخته شده با مصالح محلی به آن اشاره کرده اند، فرسایش پذیری این ساختمان ها می باشد که با نتایج تحقیق [۷۰] نیز تطابق دارد. خصوصا مصالح خاک پایه که در اثر بارش مقدار زیادی آب جذب کرده و علاوه بر افزایش وزن، پتانسیل فرسایش در آن‌ها نسبت به مصالح معمولی بسیار بیش‌تر خواهد بود.

با توجه به مزایایی که در خصوص توسعه مسکن‌های اجتماعی با مصالح محلی ارائه شد، لازم است که دولت‌ها در جهت رفع و محدود نمودن مشکلات مرتبط با توسعه این‌گونه ساختمان‌ها در قالب پروژه های تحقیقاتی و سپس اجرایی نمودن آن‌ها اقدام نمایند.

۳-۶ خلاصه و نتیجه‌گیری

در این پژوهش که از نوع آینده پژوهی می‌باشد، به بررسی امکان سنجی ساخت و توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی پرداخته شد. این پژوهش در سه مرحله انجام پذیرفته است که جمع بندی و اهم نتایج به دست آمده از مراحل مختلف پروژه در زیر ارائه می‌گردد:

۱) مسکن اجتماعی (social housing) که مترادف واژه مسکن عمومی می‌باشد به نوع خاصی از عرضه مسکن اطلاق می شود که اساسا توسط دولت‌ها با هدف خانه دارکردن گروه های کم درآمد صورت می‌گیرد. این نوع مسکن براساس حداقل‌های قابل قبول، احیانا پایین تر از استانداردهای الگوی مصرف مسکن تولید می‌شود؛ و معیار سنجش آن بدین گونه است که خانوار نباید بیش از 30 درصد از درآمد سالیانه خود را صرف تامین مسکن نماید و مابقی 70 درصد به سایر نیازهای اساسی زندگی اختصاص یابد.

۲) هر دو مقوله توسعه مسکن اجتماعی برای اقشار کم درآمد و نیز بهینه‌سازی و صرفه جویی در مصرف انرژی از جایگاه ویژه‌ای در اسناد بالادستی و دیدگاه کلان کشور از جمله سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴، سیاست‌های ابلاغی اقتصاد مقاومتی، نقشه راه سیاست‌های کلی علم و فناوری کشور، قانون اساسی کشور و دیگر اسناد برخوردار می‌باشد که جایگاه و اهمیت پژوهش حاضر را روشن می‌نماید.

۳) بیش‌ترین میزان مصرف انرژی در کشور مربوط به بخش ساختمان می شود (بین ۳۶ تا ۴۰ درصد). سهم ساختمان‌ها از مصرف برق نیز بیش‌تر از بخش‌های دیگر می‌باشد (حدود ۴۵٪). از طرفی، امکان بالقوه صرفه-جویی انرژی در بخش ساختمان بیش از بخش‌های حمل و نقل و صنعت است. در این زمینه می‌توان به آلمان و سوئد به عنوان کشورهای پیشرو در زمینه کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد که برای بهینه-سازی مصرف انرژی، بر اصلاح بخش ساختمان تاکید کرده‌اند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۴) توجه به کاهش مصرف انرژی از طریق به کارگیری سیستم‌ها و روش های بهره وری انرژی، از دیدگاه کلان به مراتب هزینه کم‌تری نسبت به هزینه های تولید، انتقال و توزیع انرژی خواهد داشت که منجربه مزایای عمده ای در بخش های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز می گردد. به علاوه، کاهش هزینه‌های انرژی برای اقشار کم درآمد، استطاعت آن ها را برای اجاره یا خرید این نوع مسکن ها بهبود می بخشد. به گونه‌ای که در سطح دنیا از مسکن اجتماعی با مفهوم "خانه قابل استطاعت" و نه صرفا "خانه ارزان قیمت" تعبیر می‌گردد.

۵) بررسی نمونه های مسکن‌های اجتماعی نوین در کشورهای جهان نشان‌دهنده اهمیت آن‌ها به مساله بهره‌وری انرژی در این ساختمان‌ها در سال های اخیر می باشد. در این زمینه می توان به نمونه‌های: به کار بردن خانه‌های غیرفعال برای مسکن اجتماعی در اتریش، ساخت و سازهای صنعتی پایدار با محیط زیست و اجتماع خصوصا روش صنعتی سازی در محل (OSI) در چین، استفاده از سیستم SI (skeleton and infill) housing در کشورهای هلند، ژاپن و چین به منظور توسعه و رشد مسکن‌های اجتماعی پایدار، پروژه بهسازی انرژی مسکن‌های اجتماعی با استفاده از سیستم خورشیدی در ایتالیا با به بکارگیری دیوارهای گلخانه‌ای خورشیدی و دیوار ترومب-میشل، استفاده از پنل های خورشیدی در پشت بام و نیز بام سبز برای مسکن‌های اجتماعی در فرانسه اشاره نمود.

۶) با توجه به وقوع حوادث طبیعی در کشورمان که سبب بی‌خانمان شدن ناگهانی تعداد زیادی از افراد می‌گردد، با توسعه الگوهای مناسب برای ساخت مسکن‌های کم هزینه و بهره‌ور انرژی در سطح کشور، این الگوها می-توانند برای اسکان سریع، دائمی و با کیفیت افراد خسارت دیده پس از حوادث طبیعی مانند زلزله، سیل و ... نیز مورد استفاده قرار گیرند. برنامه ریزی، طراحی و ساخت مسکن موقت پایدار باید با درنظر گرفتن اصولی از جمله درک زمینه‌ای، مشارکت جامعه، استفاده از منابع محلی، برنامه ریزی آینده و نیز طراحی فراتر از سطح واحدها انجام پذیرد.

۷) در ایران از دهه ۱۳۴۰ به بعد تا زمان انقلاب و بعد از انقلاب نیز دولت‌های مختلف سعی نموده اند که با اجرای سیاست‌های گوناگون نسبت به تامین مسکن مورد نیاز مردم اقدام نمایند. با مقایسه سیاست‌ها و روش‌های توسعه مسکن‌های اجتماعی در کشورهای پیشرفته و ایران ملاحظه می‌گردد که مساله بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی در کشورمان مغفول مانده است و محدود به چند مطالعه کتابخانه ای می‌باشد. بنابراین نیاز است با الگوبرداری از تجربه‌ها و مطالعات موفق جهانی و با درنظر گرفتن شرایط فرهنگی، آب و هوایی، اقتصادی، زیست محیطی نسبت به طراحی یا بازسازی مسکن های اجتماعی با در نظر گرفتن بهره-وری انرژی اقدام شود.

۸) استانداردهای مسکن اجتماعی متفاوت است و ممکن است از کشوری به کشور دیگر و حتی از یک دوره زمانی تا دوره زمانی دیگر متفاوت باشد. در خصوص استانداردهای مسکن اجتماعی در ایران تا کنون ضوابط خاصی تدوین نشده است و باید توجه داشت که با توجه به خصوصیت‌های خاص اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایران ضوابط دیگر کشورها برای ایران قابل استفاده نخواهد بود.

۹) با توجه به اهمیت مساله بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان، و با توجه به این که حجم وسیعی از مسکن‌های اجتماعی موجود در ایران و جهان بدون توجه به این مساله طراحی شده‌اند، مطالعات نوینی برای طراحی مجدد این مسکن‌ها به گونه ای که در طول عمر باقی مانده خود که ممکن است ۵۰ سال یا بیش‌تر نیز باشد انجام شده است. یکی از راه حل‌های موفق کاربردی برای مسکن های اجتماعی استفاده از مفهوم "معماری

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

انعطاف پذیر" و استانداردهای مرتبط با ساختمان‌های پسیو بوده است که امکان تنظیم نمودن فضای داخلی براساس تغییرات رفتارهای اجتماعی را ممکن ساخته است و سبب کاهش مصرف انرژی و نیز کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است.

۱۰) عملیات ساخت سازه ها و استفاده از فرآیندهایی که در برابر محیط زیست مسئول بوده و درطول چرخه عمر ساختمان از امکان سنجی تا طراحی، ساخت، کاربری، نگهداری، بازسازی و تخریب، منابع کارآمدی داشته باشند، به عنوان ساخت و ساز تاب آور شناخته می‌شود. برای انتخاب مصالح تاب آور به منظور ساخت مسکن، چرخه عمر مصالح را باید در سه مرحله پیش از ساختمان، درحین بهره برداری از ساختمان و پس از ساختمان بررسی نمود.

۱۱) ویژگی مصالح تاب آور که باید در توسعه مسکن‌های اجتماعی سازگار با محیط زیست مد نظر قرار گیرد، در هریک از مراحل چرخه عمر شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) مرحله پیش از ساخت؛ تولید: کاهش ضایعات، جلوگیری از آلودگی، انرژی درونی مصالح، استفاده از مصالح طبیعی، مصالح منطقه ای

ب) مرحله ساخت؛ بهره برداری: کاهش ضایعات ساخت، بهره وری انرژی، تصفیه/حفاظت از آب، استفاده از مصالح با سموم کمتر، عمر طولانی

ج) مرحله پس از ساخت؛ انهدام مصالح: قابلیت استفاده مجدد، قابلیت بازیافت، زیست تجزیه پذیری

۱۲) یکی از ابزارهای رایج به منظور مطالعه تاثیر مصالح مختلف برروی محیط زیست ارزیابی چرخه عمر (LCA) است. صنعت ساختمان می تواند با بکارگیری ارزیابی های چرخه عمر از نظر انتخاب مصالح مصرفی کارآمدتر شده و تاثیرات محیط زیستی ناشی از ساختمان سازی را در کل چرخه عمر یک ساختمان کاهش دهد. LCA ابزاری است که تاثیر محیط زیستی مصالح از مرحله استخراج، تولید، ساخت و بهره برداری تا فرآوری ضایعات و پایان عمر محصول را ارزیابی می کند. در چرخه عمر یک محصول ۵ مرحله وجود دارد که عبارتند از: استخراج مصالح خام، تولید و پردازش، انتقال، استفاده و بهره برداری، دوراندازی ضایعات.

۱۳) هدف اصلی آنالیز چرخه عمر ارائه مبانی مناسب برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه و بهبود فرایندها می‌باشد. استاندارد ISO14040 چهارچوب انجام LCA را به چهار مرحله تقسیم بندی می کنند که عبارتند از: معرفی هدف و محدوده مطالعه، ارزیابی فهرست داده، ارزیابی تاثیر و تفسیر نتایج و تصمیم گیری

۱۴) مصالح ساختمانی مناسب برای ساخت مسکن های اجتماعی با هدف تامین انرژی شامل مصالح طبیعی مانند چوب، بامبو، خشت و نیز مصالح نوین دارای خصوصیات بهره‌وری انرژی مانند مواد تغییر فازدهنده و یا بتن-های سبز می باشد که با توجه به اهداف هر پروژه و شرایط حاکم می توان نسبت به انتخاب مصالح اقدام نمود.

۱۵) ملاحظات معماری که باید در توسعه مسکن‌های اجتماعی با بهره وری انرژی در نظر گرفته شود شامل پارامترهایی مانند انتخاب مناسب سایت، جهت گیری پلان در سایت، انتخاب فرم ساختمان، سازماندهی مناسب فضاهای داخلی، نمای ساختمان، انتخاب درست مصالح، و در نظر گرفتن استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر می‌باشد.

۱۶) روش‌های ساخت مسکن‌های اجتماعی، یکی از پارامترهای مهمی است که به منظور تامین بهره‌وری انرژی باید به آن توجه ویژه شود. در این پژوهش، روش های ساخت و ساز مدولار، ساخت و ساز به روش چاپ سه بعدی، ساخت و ساز به روش سازه های سبک قابی (LSF)، ساخت و ساز به روش Tilt-up، و ساخت و ساز با

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

مصالح سنتی مورد بررسی قرار گرفته است. هریک از این روش ها دارای مزایا و معایبی می باشد که با توجه به نوع پروژه می توان نسبت به امتیاز دهی و انتخاب مناسب ترین روش اقدام نمود. برای ساخت و ساز انبوه مسکن‌های اجتماعی، تجربیات گذشته نشان می‌دهد که روش ساخت مدولار به صورت کلی مزایای بیش‌تری خصوصا از نظر اقتصادی را تامین می کند؛ در حالی که روش ساخت به روش چاپگر سه بعدی از نظر زیست محیطی و سرعت ساخت معمولا روش مناسب‌تری می‌باشد.

۱۷) یکی از استانداردهای معتبر برای بررسی بهره‌وری انرژی مسکن‌های اجتماعی، آئین نامه خانه‌های تاب آور یا CfSH می باشد که اولین بار در سال ۲۰۰۶ معرفی گردید، و یک روش ارزیابی زیست محیطی برای رتبه-بندی و تایید عملکرد خانه‌های جدید در انگلستان می‌باشد. CfSH یک استاندارد ملی برای استفاده در طراحی و ساخت خانه های جدید با هدف تشویق به بهبود مستمر در ساخت خانه های تاب آور است. این آئین نامه با اعطای رتبه بندی خانه‌های نوساز از سطح ۱ تا سطح ۶، بر اساس عملکرد آن‌ها در برابر نه معیار تاب آوری که برای ارزیابی تاثیر کلی زیست محیطی با یکدیگر ادغام نیز شده‌اند، عمل می‌کند. سطح ۱ سطح ورودی و بالاتر از مقررات ساختمانی بوده و سطح شش بالاترین سطح است که منعکس کننده تحولات مثال زدنی از نظر تاب آوری است. این معیارها به قرار زیر می‌باشند: انرژی و انتشار CO_2، آب، مصالح، رواناب آب-های سطحی، پسماند و ضایعات، آلودگی، سلامتی و رفاه، مدیریت، و بوم شناسی.

۱۸) بررسی اثرات اقتصادی بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی که بخشی مهم از ساختمان‌ها بوده و موثر بر مصرف انرژی کلان می‌باشند، نسبتا مغفول مانده است. تحقیقات نشان می‌دهد که گرچه سرمایه گذاران مسکن اجتماعی ممکن است نتوانند هزینه اولیه ای که برای ارتقای بهره وری انرژی صرف کرده اند را به طور مستقیم از افزایش اجاره بها یا کاهش هزینه‌های انرژی به دست آورند، ولی حداقل قسمتی از آن در زمان فروش مسکن جبران می‌گردد، چراکه بهره‌وری انرژی سبب افزایش بهای معاملاتی این ساختمان ها می‌شود. هم‌چنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که لحاظ نمودن بهره‌وری انرژی و ملاحظات زیست محیطی در این ساختمان‌ها سبب افزایش بهای ساختمان، افزایش قیمت اجاره، سکونت پایدارتر و سکونت اقشار بالاتر اجتماعی شده است.

۱۹) بررسی ابعاد اجتماعی مسکن‌های اجتماعی نشان می‌دهد که ساکنین مسکن‌های اجتماعی که عموما اقشار کم درآمد می‌باشند، مشکل‌دارترین قشر برای پرداخت قبض‌ها بوده که ممکن است منجربه قطع اجباری برق یا گاز آن‌ها گردد. برخی از ساکنین مسکن‌های اجتماعی، برای این‌که قادر به پرداخت قبض‌های انرژی باشند، دمای محل سکونت خود را خارج از حد استاندارد تنظیم می‌کنند که سبب اثرات منفی جسمی و ذهنی در شرایط حاد آب و هوایی می‌گردد. هم‌چنین برخی از ساکنین مسکن‌های اجتماعی، از برخی نیازها و هزینه های ضروری زندگی چشم پوشی می‌کنند تا قادر به پرداخت قبوض باشند. برای مثال ممکن است مواردی مانند غذای سالم، مراقبت های بهداشتی و یا هزینه های تحصیل را فدای پرداخت هزینه‌های انرژی نمایند.

۲۰) شامل نمودن بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی، دارای اثرات مثبت اجتماعی و فرهنگی از جمله افزایش سلامت جسمی افراد در مسکن با کیفیت، کاهش استرس و فشار روانی، افزایش رفاه اجتماعی، احساس تعلق بیش‌تر افراد به محیط زندگی، کاهش تراکم خانوار، و نیز افزایش کیفیت محله‌ها شده و در واقع سرمایه گذاری در این بخش نوعی هزینه پیشگیرانه برای افزایش کیفیت زندگی اجتماعی اقشار کم درآمد و کاهش جرم و خشونت خانگی می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۲۱) تولید، انتقال و مصرف انواع گوناگون انرژی بزرگ ترین عامل انهدام و آلودگی محیط زیست در میان عوامل انسان ساخت می باشد. ابعاد زیست محیطی توسعه پایدار شامل استفاده بهینه از منابع آب و خاک و انرژی، جایگزینی منابع تجدیدپذیر، کنترل آلودگی های محیط زیستی و حفظ تعادل اکوسیستم طبیعی می باشد که برای نیل به این اهداف در زمینه صنعت ساختمان می توان به راهکارهایی مانند استفاده از معماری سبز و یا روش‌های ساخت سازگار با محیط زیست اشاره کرد. معماری سبز با جستجوی راهی برای به حداقل رساندن اثرات منفی ساختمان‌ها بر محیط زیست در حقیقت تلاشی است برای هم آوایی و هم‌سویی با طبیعت از طریق افزایش کارایی و بهینه‌سازی در مصرف مصالح، انرژی و گسترش فضا با مهار انرژی خورشید و به کارگیری عناصر ساختمانی مقاوم در برابر حرارت. استفاده از تکنولوژی چاپگر سه بعدی یکی از روش-های سازگار با محیط زیست برای ساخت مسکن اجتماعی بوده که باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نیز می‌گردد.

۲۲) نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ضروری به نظر می‌رسد که متولیان در امر ساخت و ساز مسکن‌های اجتماعی کشور چه در مرحله تصمیم گیری و طراحی و چه در مرحله ساخت و بهره برداری، مطالعات اصولی جهت حصول بهره وری انژی در کنار دیگر خصوصیات فنی مورد نیاز را انجام دهند. همان طور که در یک نمونه موردی که در پژوهش حاضر ارائه شد، مشاهده گردید با شناسایی پارامترهای موثر فنی و انرژی و سپس توسعه توابع امتیاز دهی و تصمیم گیری، پیش از شروع پروژه ها خصوصا پروژه های انبوه سازی می توان نسبت به انتخاب بهینه ترین سیستم ساختمانی (با توجه به هدف گذاری مورد نظر) و روش ساخت و موارد دیگر اقدام نمود. باید توجه داشت که برای تصمیم گیری و انتخاب در زمینه ساختمان‌های بهره‌ور انرژی و سازگار با محیط زیست، باید دیدگاه کلان مد نظر قرار گیرد و فقط به هزینه‌های مستقیم ساخت و بهره-برداری اکتفا نگردد. به این معنی که باید به هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیمی که در مرحله تولید مصالح و نیز مرحله انهدام و بازیافت آن‌ها صرف می‌شود نیز به همان اندازه مرحله بهره برداری توجه شود. هم چنین سیاست‌گذاران این زمینه باید هزینه‌های انرژی مرتبط به هر مرحله را به صورت واقعی و نه با امتیازات کنونی اعطایی دولت در نظر بگیرند.

۲۳) توسعه مسکن‌های اجتماعی از دیدگاه کلان دارای مزایای عمده ای می‌باشد که برخی از این مزایا شامل کاهش هزینه‌های انرژی در مقیاس کلان، کاهش تکیه بر برنامه های کمکی دولت برای ساکنین مسکن‌های اجتماعی در تامین هزینه های انرژی (تغییر سیاست های دولت برای این گروه آسیب پذیر است)، افزایش توان خرید یا اجاره خانه برای اقشار کم درآمد، کاهش ریسک مربوط به تخلیه اجباری مسکن (بر اساس آمار سال ۱۹۹۷ ایالت مینه سوتا آمریکا، ۲۶٪ تخلیه های اجباری به دلیل به تعلیق درآمدن کنتور برق و گاز، بوده است)، افزایش ارزش ساختمان های اجتماعی (نوید بخش کاهش هزینه های انرژی برای خریداران این خانه ها)، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و دیگر اثرات زیست محیطی، افزایش مزایای اقتصادی، بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان، افزایش آسایش ساکنین (کنترل رطوبت زیرزمین، کنترل کف های سرد و گردش باد، کنترل رطوبت بر روی پنجره ها)، و نیز ارتقای سطح فرهنگی و اجتماعی می‌باشد.

۲۴) یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای توسعه مسکن‌های اجتماعی با بهبود بهره‌وری انرژی، سیستم قانونی و اداری می باشد. بنابراین، تجدیدنظر در مورد قوانین موجود و هم‌چنین سیستم‌های اداری در ارتباط با بهره‌وری انرژی امری ضروری است. به علاوه کمبود مشوق‌های اقتصادی و همچنین رونق نداشتن بازار کارایی انرژی به روند رو به رشد بهبود بهره وری انرژی ضربه می‌زند. دولت باید این دو مقوله را در اولویت سیاست‌گذاری‌های

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان و از جمله مسکن‌های اجتماعی قرار دهد. در این خصوص لازم است پیشنهادهایی در دو دسته کوتاه مدت و بلندمدت مانند تجدیدنظر در مورد قوانین موجود، سیستم اداری، استفاده از رسانه، ابزارهای تبلیغاتی در کنار برنامه‌ریزی بلندمدت، استفاده از ابزارهای اقتصادی و هم‌چنین مکانیزم‌های بازار مورد بررسی قرار گیرد. برنامه‌های تحقیق و توسعه و حمایت اطلاعاتی نیز می تواند نقش مکمل را در کنار بقیه طرح ها ایفا کند.

با توجه به خلاصه و جمع بندی ارائه شده در بالا، مهم‌ترین نتایج این پژوهش به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- توجه به بخش مسکن خصوصا مسکن‌های ارزان قیمت (مسکن اجتماعی) به منظور ارتقای بهره‌وری انرژی در کشور و کاهش گازهای گلخانه‌ای امری ضروری می‌باشد؛ چراکه در مسکن‌های ارزان قیمت توجه به مساله بهره‌وری انرژی بسیار کم رنگ‌تر از مسکن‌های معمولی بوده و از طرفی امکان بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها با سرمایه گذاری اولیه نسبتا کم در مقایسه با دیگر بخش‌های مصرف کننده انرژی بیش‌تر می‌باشد.
- آگاه سازی متولیان امر ساخت و ساز و طراحان مسکن‌های اجتماعی به این موضوع که قیمت واقعی هزینه‌های انرژی و نه با امتیازات کنونی اعطایی دولت در برنامه‌ریزی برای بهینه سازی مصرف انرژی باید مورد توجه قرار گیرد، ضروری می‌باشد.
- آگاه سازی متولیان امر ساخت و ساز و طراحان مسکن‌های اجتماعی به این موضوع که هزینه‌های انرژی باید در چرخه عمر ساختمان (مراحل پیش از ساخت، حین بهره برداری و پس از بهره برداری و انهدام و بازیافت) باید مورد توجه قرار گیرد نیز از موضوعات دارای اهمیت فراوان برای ارتقای بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.
- نیاز است تا با الگوبرداری از نمونه‌های موفق جهانی به همراه مطالعات تکمیلی داخلی، روش‌های ارزان قیمت و کارامد سازه‌ای، معماری و مکانیکی در هر منطقه از کشور برای ارتقای بهره‌وری انرژی در مسکن‌های اجتماعی آن منطقه مورد بررسی قرار گیرد.
- توسعه روش‌ها و استانداردها برای اعطای برچسب انرژی به ساختمان‌ها از جمله مسکن‌های اجتماعی که سبب ارزشمندتر شدن این ساختمان‌ها گردد در کشور ضروری می‌باشد.
- در نظر گرفتن امتیازات ویژه و تخفیفاتی از جمله تخفیف قبوض یا مالیاتی برای سازندگان و ساکنین مسکن‌های اجتماعی دارای برچسب انرژی بالاتر زمینه مساعدی برای توسعه بهره‌وری انرژی در این ساختمان‌ها را به همراه خواهد داشت.
- بررسی دوره بازگشت سرمایه‌گذاری اولیه برای توسعه مسکن‌های اجتماعی با بهره‌وری انرژی برای تکنیک‌های مختلف سازه‌ای و معماری باید انجام شود تا ابزار تصمیم گیری مناسب برای متولیان این امر را در اختیار قرار دهد.
- ابعاد فرهنگی و اجتماعی و میزان موثر بودن تکنیک‌های مورد استفاده بهره‌وری انرژی برای یک بازه زمانی چندساله در مسکن‌های اجتماعی توسعه یافته با دیدگاه بهره‌وری انرژی باید مورد بررسی قرار گیرد تا ابعاد مختلف موضوع برای تصمیم گیری صحیح استخراج گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۷ فهرست پیشنهادی طرحها و پروژه های مرتبط با درنظر گرفتن شرایط کشور

براساس نتایج حاصل شده در بالا، در ادامه پیشنهاداتی در خصوص طرح‌های جامع و زیر پروژه‌های مرتبط با آن‌ها به منظور ایجاد زیربنای مطالعاتی مورد نیاز برای توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی برای هر منطقه از کشور، براساس نتایج حاصل شده از پژوهش حاضر، ارائه می‌گردد. هم‌چنین برای هر طرح، شرح مختصری از طرح و اهداف آن نیز بیان گردیده است.

۳-۷-۱ عنوان طرح: بررسی چرخه عمر انرژی و میزان انتشار دی اکسید کربن مصالح مختلف سازه ای با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی مناسب

شرح مختصر: با توجه به این‌که در تمام نقاط جهان و از جمله ایران، ساختمان‌ها درصد قابل توجهی از مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند (به عوان نمونه حدود ۴۰ درصد برای کل ساختمان‌ها و ۲۶ درصد برای ساختمان‌های مسکونی در ایران)، و در میان ساختمان‌های مسکونی نیز مسکن‌های اجتماعی دارای درصد قابل توجهی می‌باشند، توجه به جنبه‌های مختلف توسعه این ساختمان‌ها به منظور حصول بهره‌وری انرژی دارای اهمیت می‌باشد. یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی که باید مورد توجه و مطالعه قرار گیرد، انتخاب مصالح ساختمانی مناسب برای هر منطقه از کشور می‌باشد. در این طرح، در قالب چندین پروژه، طیف وسیعی از مصالح مرسوم و نیز مصالح جدید که برای ساخت مسکن‌های اجتماعی در هر منطقه اقلیمی مناسب می باشد، شناسایی می گردد. سپس برای هریک از مصالح، چرخه عمر انرژی شامل انرژی مورد نیاز برای مرحله تولید، انرژی مصرف شده در مرحله بهره برداری و نیز انرژی مورد نیاز در مرحله انهدام و بازیافت با نرم افزارهای مناسب مانند OpenLCA محاسبه می‌گردد. هم‌چنین آثار زیست محیطی هریک از مصالح خصوصا میزان انتشار گازهای گلخانه ای نیز برای هریک از مراحل چرخه عمر مصالح مورد مطالعه تخمین زده می شود. علاوه بر بررسی چرخه عمر مصالح مختلف، مزایا و معایب فنی و اقتصادی استفاده از این مصالح از ابعاد مختلف مانند پایداری سازه ای، سهولت اجرا، به-کارگیری نیروهای محلی، تناسب فرهنگی (با استفاده از پرسشنامه)، هزینه تمام شده و موارد مشابه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این ترتیب براساس نتایج به دست آمده، می‌توان نسبت به تصمیم‌گیری در خصوص استفاده از مصالح ساختمانی مناسب برای هر منطقه از کشور اقدام نمود.

نمونه پروژه‌های مرتبط با طرح:

- مقایسه چرخه عمر انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مصالح سنتی در مقایسه با بتن برای ساخت مسکن‌های اجتماعی در مناطق کویری ایران
- مقایسه فنی، اقتصادی و نیز چرخه عمر انرژی مواد تغییرفاز دهنده (PCMها) با مصالح معمول سازه‌ای
- بررسی و انتخاب مصالح سنتی مناسب مناطق شمالی کشور برای بکارگیری در مسکن‌های اجتماعی و مقایسه فنی، اقتصادی و نیز چرخه عمر انرژی این مصالح با مصالح معمول سازه ای
- طراحی و ساخت دو نمونه مسکن اجتماعی با خشت و مصالح فولادی و بررسی مصرف انرژی دو سازه در دوره مشخص بهره برداری

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

۳-۷-۲ عنوان طرح: بررسی فنی-اقتصادی-اجرایی روش های بهسازی مسکن های اجتماعی موجود با هدف تامین بهره وری انرژی

شرح مختصر: با توجه به این که تعداد زیادی مسکن اجتماعی در کشور وجود دارد که هنوز سال های زیادی از عمر مفید آن ها باقی مانده است و یا به دلایلی مانند عدم توانایی مالی صاحب‌خانه برای تخریب و نوسازی، ساختمان نسبتا قدیمی باید چندین سال آتی نیز مورد بهره برداری قرار گیرد، بررسی فنی-اقتصادی-اجرایی بهسازی این ساختمان‌ها به گونه ای که در سال‌های آتی از نظر مصرف انرژی بهره برداری بهبود پیدا کنند، دارای اهمیت ویژه‌ای می باشد. برای این منظور لازم است ابتدا برای منطقه مورد مطالعه در کشور، مسکن‌های اجتماعی شناسایی شده و سپس در بین آن‌ها ساختمان‌هایی که عمر مفید باقی مانده آن‌ها به مقدار قابل قبول باشد (مقدار قابل قبول براساس بررسی های فنی به دست می آید) انتخاب گردد. سپس راهکارهای اجرایی عملی و موثر که می تواند برای بهینه سازی مصرف انرژی این مسکن های اجتماعی مورد استفاده قرار گیرد (مانند استفاده از دیوار ترومب-میشل، استفاده از اصول سایه اندازی مناسب، استفاده از مفاهیم معماری انعطاف پذیر و ...) شناسایی شده و با تحلیل‌های جامع اقتصادی که به خصوص در آن هزینه های انرژی از دیدگاه کلان (و نه هزینه انرژی با سوبسید کنونی) دیده شده باشد، به بررسی اقتصادی بهسازی انرژی این سازه ها و محاسبه دوره بازگشت سرمایه اولیه پرداخته می شود. با توجه به نتایج امکان سنجی های عددی، می توان چند نمونه از مسکن های اجتماعی را براساس راهکارهای موثر شناسایی شده بهسازی نمود و با اندازه گیری مستقیم مصرف انرژی و نیز تولید آلاینده های مخرب زیست محیطی، با قاطعیت بیش‌تری نسبت به توسعه این موضوع برای مناطق دیگر کشور و نیز بررسی و مطالعه ساز و کارهای قانونی مانند جذب سرمایه گذاری از بخش دولتی و خصوصی به منظور اجرایی نمودن پروژه اقدام نمود.

نمونه پروژه‌های مرتبط با طرح:

- شناسایی راهکارهای بهسازی انرژی ساختمان‌های مسکن اجتماعی شرق تهران و اجرای یک نمونه پایلوت و مطالعه مزایای فنی و اقتصادی حاصل شده
- بهسازی انرژی چند نمونه مسکن‌های اجتماعی شمال غرب کشور با استفاده از روش اجرای دیوار ترومب-میشل و مقایسه بهره وری انرژی حاصل شده نسبت به حالت بهسازی نشده
- ارزیابی استفاده از مفهوم معماری انعطاف پذیر برای بهسازی انرژی چند نمونه مسکن اجتماعی و مقایسه با حالت بهسازی نشده با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی

۳-۷-۳ عنوان طرح: اولویت بندی مسکن های اجتماعی موجود به منظور بهسازی برای تامین بهینه سازی مصرف انرژی و بررسی مزایا و چالش ها

شرح مختصر: با توجه به بحران جهانی انرژی و نیز مساله کاهش انتشار گازهای گلخانه ای که همه کشورها تعهداتی در این زمینه متقبل شده اند، شناسایی منابع عمده مصرف انرژی در کشور و ارائه راهکارهای موثر برای کاهش مصرف هر بخش جزو ضروریات می باشد. در این میان، مسکن های اجتماعی به عنوان درصد قابل توجهی از ساختمان های کشور که عمدتا نیز با کیفیت پایین تر نسبت به سازه های معمولی و بدون لحاظ نمودن بهینه سازی انرژی ساخته شده اند، و از طرفی راهکارهای نسبتا ارزان قیمت برای ارتقای بهره وری انرژی آن ها وجود

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

دارد در زمینه ارتقای بهره وری انرژی نسبتا مغفول مانده اند. هدف از این طرح اولویت بندی ساختمان های مسکن اجتماعی موجود برای بهسازی انرژی به منظور استفاده بهینه از بودجه محدود در راستای بهره‌وری انرژی این ساختمان‌ها می باشد. برای این منظور لازم است ابتدا آمار نسبتا جامع از مسکن های اجتماعی کشور از نظر تعداد و نیز میزان مصرف انرژی آن‌ها در مقایسه با کل ساختمان‌های کشور تهیه گردد. سپس این ساختمان ها بر اساس میزان مصرف انرژی دسته بندی شوند (به صورت منطقه ای یا مثلا قرار دادن هر ۵۰۰ واحد در یک دسته). در ادامه، براساس نتایج به دست آمده در طرح پیشین (بررسی فنی-اقتصادی-اجرایی روش های بهسازی مسکن-های اجتماعی موجود با هدف تامین بهره وری انرژی) یا بررسی های فنی، مناسب ترین گزینه بهسازی انرژی برای هر دسته از ساختمان ها شناسایی شده و تخمینی از هزینه‌های مرتبط ارائه می‌گردد. به این ترتیب براساس پارامترهای میزان مصرف انرژی، هزینه بهسازی انرژی، برآورد تاثیر بهسازی انرژی بر کاهش مصرف انرژی، میزان عمر مفید باقی مانده ساختمان، مقبولیت اجتماعی و فرهنگی طرح و دیگر پارامترهای موثر و سپس امتیاز دهی به پارامترها، به اولویت بندی مسکن‌های اجتماعی برای بهسازی ارتقای بهره وری انرژی پرداخته می شود. قبل از اجرایی نمودن طرح، می‌توان نمونه‌هایی را به صورت پایلوت بهسازی نمود و براساس پایش آن‌ها در مدت مشخص، مزایا و چالش‌ها را شناسایی نمود و برآوردهای دقیق‌تری به منظور تصمیم گیری های کلان ارائه داد.

نمونه پروژه‌های مرتبط با طرح:

- شناسایی و دسته بندی مسکن‌های اجتماعی استان یزد از نظر میزان مصرف انرژی، عمر باقی مانده ساختمان و جمعیت تحت اسکان
- شناسایی و بررسی تاثیر روش‌های مختلف بهسازی انرژی مسکن‌های اجتماعی استان یزد در کاهش مصرف انرژی برای دوره مشخص بهره برداری و اجرای یک نمونه پایلوت
- تدوین دستورالعمل اجرایی برای اختصاص برچسب انرژی به ساختمان‌های مسکن اجتماعی به منظور دسته بندی آن‌ها از منظر مصرف انرژی

۳-۷-۴ عنوان طرح: تدوین دستورالعمل فنی و اجرایی برای ملاحظات معماری مرتبط با مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی

شرح مختصر: هدف از این طرح شناسایی راهکارهای موثر و اجرایی معماری برای حصول بهره وری انرژی برای ساخت مسکن‌های اجتماعی جدید می باشد. برای این منظور، لازم است برای اقلیم های مختلف آب و هوایی کشور و در نظر گرفتن مواردی مانند غالب بودن مصرف انرژی گرمایشی یا سرمایشی، خصوصیات فرهنگی منطقه، هزینه (با توجه به اهمیت بعد اقتصادی در توسعه مسکن های اجتماعی)، موثر بودن روش و موارد مشابه نسبت به شناسایی تکنیک های معماری مانند جهت گیری مناسب، اصول سایه اندازی، بام سبز، دیوار سبز، معماری انعطاف پذیر، برخی تکنیک‌های ساختمان‌های انرژی صفر (تکنیک هایی که از نظر قیمت و امکان اجرایی شدن متناسب با مسکن های اجتماعی باشد)، اقدام شود. برای بررسی موثر بودن تکنیک از آنالیزهای عددی در نرم افزارهای شبیه ساز مصرف انرژی به همراه چک لیست های پر شده توسط نخبگان که براساس روش های آماری ارزیابی می گردد می‌توان استفاده نمود. این طرح در قالب چندین پروژه برای مناطق مختلف آب و هوایی و تکنیک های مختلف معماری انجام شده و یافته های آن جهت تدوین دستور العمل فنی و اجرایی که راهنمای سازندگان مسکن‌های اجتماعی از بعد معماری در هر منطقه باشد استفاده می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

نمونه پروژه‌های مرتبط با طرح:

- بررسی و مدلسازی عددی سیستم معماری ساختمان در پناه زمین از نظر بهره‌ور بودن انرژی در مقایسه با ساختمان مشابه روی زمین
- بررسی تاثیر استفاده از بام و دیوار سبز در بهبود بهره وری انرژی مسکن‌های اجتماعی با شبیه سازی-های عددی
- شناسایی و بررسی تکنیک های مورد استفاده در ساختمان‌های انرژی صفر (zero energy) مناسب برای بکارگیری در مسکن‌های اجتماعی

۳-۷-۵ عنوان طرح: بررسی و پیشنهاد روش های ساخت مسکن‌های اجتماعی برای مناطق مختلف کشور و انتخاب بهترین گزینه با روش‌های فنی و آماری با تاکید بر بهره‌ور بودن انرژی روش ساخت

شرح مختصر: در این طرح، روش های اجرایی مناسب برای ساخت مسکن اجتماعی در هر نقطه از کشور (از روش‌های سنتی تا روش‌های مدرن مانند چاپگر سه بعدی) شناسایی و دسته بندی می‌گردد. سپس برای هر منطقه از کشور در قالب چندین پروژه، مهم‌ترین شاخص‌های موثر بر انتخاب روش اجرایی برتر مانند پایداری در برابر زلزله، سرعت ساخت، قیمت و خصوصا بهره‌ور بودن انرژی آن (مواردی مانند نزدیکی مصالح و در نتیجه مصرف انرژی کمتر برای حمل و نقل، پرت مصالح کم‌تر و آلودگی کم‌تر محیط زیست، مصالح دارای خصوصیات ذخیره انرژی در روش مورد نظر، میزان انرژی مصرفی ماشین آلات مورد استفاده و ...) شناسایی می شود. در ادامه، امتیازدهی به پارامترها براساس مطالعات فنی به همراه پرسشنامه‌های تخصصی انجام می‌گردد. سپس برمبنای تجزیه و تحلیل امتیازدهی‌های انجام شده برای هر منطقه از کشور، مناسب ترین روش اجرایی انتخاب می‌گردد و به عنوان پایه مطالعاتی برای ساخت مسکن های اجتماعی جدید در آن منطقه و نیز اسکان دائمی افراد پس از حادثه های ناگهانی مانند سیل و زلزله (در کنار دیگر بررسی های لازم) می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

نمونه پروژه‌های مرتبط با طرح:

- بررسی فنی-اقتصادی و مزایای بهره‌وری انرژی ساخت مسکن اجتماعی با چاپگر سه بعدی در مقایسه با اسکلت بتنی در تهران
- بررسی فنی-اقتصادی و مزایای بهره‌وری انرژی ساخت مسکن اجتماعی با تکنولوژی ساخت LSF در مقایسه با اسکلت فولادی در اصفهان

۳-۷-۶ عنوان طرح: طراحی و ساخت چند نمونه مسکن‌های اجتماعی با درنظر گرفتن بهره وری انرژی و بررسی مزایا و معایب فرهنگی و اجتماعی آن در مقایسه با مسکن‌های اجتماعی معمولی مشابه

شرح مختصر: هدف از این طرح، بررسی ابعاد فرهنگی و اجتماعی توسعه مسکن های اجتماعی با بهره وری انرژی می باشد. برای این منظور، همان طور که در نمونه تحقیقات کشورهای پیشرفته نیز ملاحظه گردید، ابتدا چندین مسکن اجتماعی با دیدگاه بهره وری انرژی ساخته می شود. سپس اثر سکونت در این مسکن های

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

اجتماعی بر سلامت جسمی و روانی افراد، احساس تعلق به محل زندگی، گسترش روابط اجتماعی، کاهش آسیب های اجتماعی و ... در مقایسه با مسکن‌های اجتماعی معمولی سنجیده می شود. هم چنین این موضوع مورد بررسی قرار می گیرد که در بین راهکارهای بهره وری انرژی، کدام راهکارها تناسب بیش تری با ساکنین این خانه ها داشته و موثرتر می باشد. به عنوان نمونه در بررسی تجربیات دیگر کشورها ملاحظه گردیده است که برخی راهکارها که نیاز به مشارکت فعال ساکنین دارد و یا نیاز به دانش فنی مختصر دارد (مانند برخی روش های تهویه مطبوع) ممکن است توسط ساکنین به درستی استفاده نشده و چندان مفید نمی باشد. در حالی که راهکارهای پسیو می توانند موثرتر واقع شوند. این طرح در قالب چندین پروژه برای مناطق مختلف کشور، شیوه های مختلف تامین بهره وری انرژی و برای هر دو دسته مسکن های اجتماعی جدید و مسکن‌های اجتماعی بهسازی شده انرژی انجام می گردد. در هر پروژه، به روش‌های آماری که توسط نظرسنجی از ساکنین این خانه ها تامین می-شود به همراه نظرات خبرگان در تهیه و ارزیابی پرسشنامه ها به تحلیل شرایط فرهنگی و اجتماعی پرداخته می شود.

نمونه پروژه‌های مرتبط با طرح:

- شناسایی و بررسی وضعیت شاخص های اجتماعی افراد ساکن در مسکن های اجتماعی با بهره‌وری انرژی در مقایسه با مسکن‌های اجتماعی معمولی برای مناطق شمالی کشور

۳-۸ مراجع

[1] Mosannenzadeh, F., Bisello, A., Vaccaro, R., D' Alonzo, V., Hunter. G.W., and Vettorato, D., "Smart energy city development: A story told by urban planners", Cities, 64, 54-65, 2017.

[۲] مهدوی، ا.ح.، حسین زاده، م. و کاظمی، ع.، "بررسی روش های افزایش بهره وری انرژی در ساختمان های مسکونی (رویکرد پویایی شناسی سیستم)"، نشریه علمی پژوهش های سیاستگذاری و برنامه ریزی انرژی، سال پنجم، ۱۵، ۵۹-۹۵، ۱۳۹۸.

[3] Pablo-Romero, M.P., Pozo-Barajas, R. and Yniguez, R., "Global changes in residential energy consumption", Energy Policy, 101, 342-352, 2009.

[4] Moore, T., Nicholls, L., Strengers, Y., Maller, C. and Horne, R., "Benefits and challenges of energy efficient social housing", Energy Procedia, 121, 300-307, 2017.

[5] ACOSS, "Energy Efficiency & people on Low Incomes", Australian Council of Social Service: Sydney, 2013.

[6] Chester, L., "The impact and consequences for lowincome Australian households of rising energy prices", University of Sydney: Sydney, 2013.

[7] BCEC, "Energy poverty in Western Australia. A comparative analysis of drivers and effects", Bankwest Curtain Economics Centre: Perth, 2016.

[8] Farbotko, C. and Waitt, G., "Residential air-conditioning and climate change: voices of the vulnerable", Health Promot J Austr, Spec No: p. S13-6, 2011.

[9] Moore, T., Ridley, I., Strengers, Y., Maller, C., and Horne, R., "Dwelling performance and adaptive summer comfort in low-income Australian households", Building Research & Information, 1-14, 2016.

[10] Ridley, I., Clarke, A., Bere, J., Altamirano, H., Lewis, S., Durdev, M., and Farr, A., "The monitored performance of the first new London dwelling certified to the Passive House standard", Energy and Buildings, 63: 67- 78, 2013.

[11] Bertoldi, P., Hirl, B., Labanca,N., "Energy efficiency report status update 2012"; electricity consumption and efficiency trends in the EU-27. European Union, Italy, 2012.

[12] Whitehead, C., Scanlon, K., "Social Housing in Europe", first ed. LSE London, 2007.

[13] Brounen, D., Kok, N., "On the economics of energy labels in the housing market", J. Environ. Econ. Manag., 62(2),166–179, 2011.

[14] Cerin, P., Hassel, L., Semenova, N., "Energy performance and housing prices', Sustain. Dev., 22(6), 404–419, 2014.

[15] Chegut, A., Eichholtz, P. and Holtermans, R., "Energy efficiency and economic value in affordable housing", Energy Policy, 97, 39-49, 2016.

[16] Laquatra, J., "Housing market capitalization of thermal integrity", Energy Econ., 8 (3), 134–138, 1986.

[17] Dinan, T.M., and Miranowski, J.A., "Estimating the implicit price of energy efficiency improvements in the residential housing market:A hedonic approach", J. Urban Econ., 25(1), 52–67, 1989.

[18] Deng, Y., Li, Z., Quigley, J., "Economic returns to energy-efficient investments in the housing market: evidence from Singapore", Reg. Sci. Urban Econ., 42(3), 506–515, 2012.

[19] Zheng, S., Wu, J., Kahn, M., Deng, Y., "The nascent market for "green" real estate in Beijing", Eur. Econ. Rev., 56(5), 974–984, 2012.

[20] Kahn, M., Kok, N., "The capitalization of green labels in the California housing market", Reg. Sci. Urban Econ., 47, 25–34, 2013.

[21] Monk, S., Tang, S. and Whitehead, Ch., 'What does the literature tell us about the social and economic impact of Housing?", Scottish Government Community Analytical Services Social Research Report, 2010.

[22] Hyde Housing Group, "The Value of a Social Tenancy: A socio-economic evaluation based on Hyde's housing portfolio". Hyde Housing Group, 2018.

[23] Scottish Government, "Towards a robust, resilient wellbeing economy for Scotland: Report of the Advisory Group on Economic Recovery.", Edinburgh: Scottish Government, 2020.

[24] Mueller, E. J., & Tighe, J. R., "Making the case for affordable housing: Connecting housing with health and education outcomes", Journal of Planning Literature, 21(4), 371-385, 2007.

[25] Chetty, R., Hendren, N., & Katz, L. F., "The effects of exposure to better neighborhoods on children: New evidence from the Moving to Opportunity experiment", American Economic Review, 106(4), 855-902, 2016.

[26] Retrieved from http://whatworksscotland.ac.uk/events/exploring-evidencetools-and-strategies-to-expand-the-scope-ofprevention-in-public-services/, 2016.

[27] Cho, R., "We Can Break The Cycle Of Homelessness And Criminal Justice System Involvement.", United States Interagency Council on Homelessness (USICH). United States Interagency Council on Homelessness (USICH), 2015.

[28] Thomson, H., and Thomas, S.,"Developing empirically supported theories of change for housing investment and health", Social Science and Medicine, 124, 205-214, 2015.

[29] Thomson, H., Thomas, S., Sellstorm, E. and Petticrew, M., "The health impacts of housing improvement: a systematic review of evidence studies from 1887 to 2007", American Journal of Public Health, Vol99, S3, supplement, 681-692, 2009.

[30] Centre for Ageing Better, "Home and Dry: The Need for Decent Homes in Later Life", Centre for Ageing Better: London, 2020.

[31] Higgins, M., Cain, T., Lowther, M., Mackie, P,. Scarlett, E., Douglas M.J., "50,000 Affordable Homes: A Health Impact Assessment. Edinburgh: Scottish Health and Inequalities Impact", Assessment Network and Scottish Public Health Network (ScotPHN), 2017.

[32] Poortinga W., Grey C., Jiang S., Rodgers S.E., Johnson R.D., Lyons R.A., Winfield T.G., and Anderson P., "Short-term health and social impacts of energy-efficiency investments in low-income communities: a controlled fi eld study", National Institute for Health Research (NIHR) Public Health Research (PHR) programme, 2016.

[33] MacRoy, P., & Farquhar, D., "Creating Healthier Housing Through Building Codes", Briefing paper for the National Healthy Housing Policy Summit, Washington, DC, 2009.

[34] Gaitens, J. M., Dixon, S. L., Jacobs, D. E., Nagaraja, J., Strauss, W., Wilson, J. W., & Ashley, P. J., "Exposure of US children to residential dust lead, 1999–2004: I. Housing and demographic factors", Environmental Health Perspectives, 117(3), 461-467, 2009.

[35] Kyle, T., & Dunn, J. R., "Effects of housing circumstances on health, quality of life and healthcare use for people with severe mental illness: a review", Health & social care in the community, 16(1), 1-15, 2008.

[36] Cutts, D. B., Meyers, A. F., Black, M. M., Casey, P. H., Chilton, M., Cook, J. T. & Frank, D. A., "US housing insecurity and the health of very young children", American journal of public health, 101(8), 1508-1514, 2011.

[37] Fletcher, J. M., Tatiana, A., and Susan, B., "Assessing the Effect of Increasing Housing Costs on Food Insecurity." Social Science Research Network, 2009.

[38] Pollack, C. E., & Lynch, J. "Health status of people undergoing foreclosure in the Philadelphia region", American journal of public health, 99(10), 1833-1839, 2009.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

[39] Roman, C. G., Knight, C. R., Chalfin, A., & Popkin, S. J., “The relation of the perceived environment to fear, physical activity, and health in public housing developments: evidence from Chicago”, Journal of public health policy, 30(1), 286-S308, 2009.

[40] Krieger, J., Rabkin, J., Sharify, D., & Song, L. “High point walking for health: creating built and social environments that support walking in a public housing community”, American Journal of Public Health, 99(S3), 593-599, 2009.

[41] Connolly, S., O’Reilly, D., & Rosato, M., “House value as an indicator of cumulative wealth is strongly related to morbidity and mortality risk in older people: a census-based cross-sectional and longitudinal study”, International Journal of Epidemiology, 39(2), 383-391, 2010.

[42] Barker, D., & Miller, E., “Homeownership and child welfare”, Real Estate Economics, 37(2), 279-303, 2009.

[43] Evans, G. W., Lepore, S. J., Shejwal, B. R., & Palsane, M. N., “Chronic residential crowding and children's well-being: an ecological perspective”, Child development, 69(6), 1514-1523, 1998.

[44] Clough, A., Draughon, J. E., Njie-Carr, V., Rollins, C., & Glass, N. “Having housing made everything else possible: Affordable, safe and stable housing for women survivors of violence”, Qualitative Social Work, 13(5), 671-688, 2014.

[45] Viveiros, J., & Brennan, M., “Aging in every place: Supportive service programs for high and low density communities”, Center for Housing Policy, National Housing Conference, 2014.

[۴۶] رحمتی دهکردی، ا.ح. و رئیسی دهکردی، ا.، "بهره وری انرژی در ساختمان های سبز و نقش آن در توسعه پایدار"، دومین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران،معماری ومدیریت بحران، ۱۳۹۶.

[۴۷] محمودی، م. و پاکاری، ن.، "ارزیابی چگونگی تأثیر گذاری بام های سبز در کاهش دمای محیط .."، مجله علمی-پژوهشی باغ نظر، سال ۹، شماره ۲۰، ۱۲-۲۱، ۱۳۹۱.

[۴۸] شفیعی، م.، فیاض، ر. و حیدری، ش.، "فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶، شماره ۴، ۱۳۹۲.

[49] Radaei, M. “A review of the role of green roof in achieving environmental dimensions of sustainable development”, Cumhuriyet Science Journal, DOI:10.17776/CSJ.57627, 2015.

[50] Local Government Climate and Energy Strategy Series, “Energy efficiency in affordable housing”, U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2011.

[51] Honeywell, Honeywell to Help DHA Reduce Energy Consumption, Costs, and Emissions. Available: https:// buildingsolutions.honeywell.com/Cultures/en-US/ NewsEvents/ NewsReleases/ DenverHousingAuthority. htm. Accessed 10/26/2007.

[52] Energy Savers. Your Home. Available: http://www. energysavers.gov/your_home/. Accessed 12/28/2007.

[53] Carnegie Mellon. University Center for Building Performance. As cited in Greening America’s Schools: Costs and Benefits. October 2006. G. Kats, Capital E. Available: http://www.usgbc.org/ShowFile. aspx?DocumentID=2908. Accessed 5/24/2010.

DOI: 10.30503/nripress.2020.341

[۵۴] احمدی، م.، ملکی ع.، ودادی کلانتر، س. و کریمی، م.ص.، "بررسی اسناد بالادستی و موانع بهره وری انرژی در بخش ساختمان ایران"، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ۷، شماره ۲۲، ۱۳۱-۱۴۲، ۱۳۹۶.

[۵۵] شرکت بهینه سازی مصرف سوخت، "عملکرد شرکت بهینه سازی مصرف سوخت در بخش ساختمان ۱۳۷۹-۱۳۸۷"، ۱۳۸۷.

[۵۶] مهذب ترابی، س.، دودابی نژاد، ا. و وثوقی فرد، م.، "بررسی نقش و الزامات فعالیت شرکت های خدمات انرژی در افزایش بهره وری مصرف انرژی کشور"، هشتمین کنفرانس بین المللی انرژی، ۱۳۸۹.

[۵۷] عباسی، ب.، "واکاوی و بررسی ساختمان های مسکن اجتماعی احداثی به روش سیستم های نوین ساختمانی با تاکید بر انتخاب بهترین سیستم ساختمانی و رضایت مندی ساکنین و سازندگان (نمونه های موردی شهرهای جدید اندیشه، پردیس، پرند و هشتگرد)"، سومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین عمران معماری و صنعت ساختمان ایران، ۱۳۹۷.

[۵۸] خانه زر، ا. "انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره SAW"، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۳.

[۵۹] بلالی ، و.، "انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره گروهی AHP"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه سمنان، ۱۳۹۰.

[۶۰] میرزایی، م.، "ارزیابی و رتبه بندی سیستم های صنعتی اجرا شده در شهر جدید پرند"، دانشگاه امام حسین، ۱۳۹۲.

[61] XU. Bing, “Application Research on the Investment Control of Construction Project with Value Engineering at Design Stage”, International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, China, 2009.

[62] Yalley, P. P., & Kwan, A. S. K., “Use of Waste and Low Energy Materials in Building Block Construction”, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Dublin, 22nd to 24th October 2008.

[63] Tamakloe, W., “Initiate Research to Promote Use of Local Materials in Building”, http://www.newtimes.com.gh/story/initiate-research-to-promote-use-of-local-materials-in-building, 2012.

[64] Rumana, R., “Traditional House of Bangladesh: Typology of House According to Materials and Location”, Virtual Conference on Sustainable Architectural Design and Urban Planning AsiaSustainabilityNet.upc.edu, September 15-24, 2007.

[65] Danso, H., “Building Houses with Locally Available Materials in Ghana: Benefits and Problems”, International Journal of Science and Technology, Volume 2, No. 2, 2013.

[66] Sarkar, R., “Post Earthquake Housing Construction Using Low Cost Building Materials”, 4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan October 12-13, 2006.

[67] Heathcote, K. A., “Durability of Earth Wall Buildings”, Construction Building Materials, 9(3): 185–189, 1995.

[68] Riza, F. V., Rahman, I. A., & Zaidi, A. M. A., "Preliminary Study of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB)", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(9): 6-12, 2011.

[69] Harper, D., "Alternative Methods of Stabilization for Unfired Mud Bricks", Engineers without Borders. Newcastle University, 2011.

[70] Alexander, D., "On the Causes of Landslides: Human Activities, Perception and Natural Processes", Environmental Geology, 20(3): 165-179, 1992.