پژوهشگاه نیرو

امکان‌سنجی طراحی و توسعه مدل‌های هیبریدی برنامه‌ریزی انرژی



مدیر پروژه: زهره سلیمیان

واحد مجری: گروه مدیریت انرژی

NRI-ER-1002-PENPN15-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.285


بسم الله الرحمن الرحيم

امکان‌سنجی طراحی و توسعه مدل‌های هیبریدی برنامه‌ریزی انرژی

مدیر پروژه: زهره سلیمیان

گروه پژوهشی پشتیبان: مدیریت انرژی

همکاران پروژه: --

واحد مجری: گروه مدیریت انرژی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

شهریور ۱۴۰۱

کد ثبت گزارش: NRI-ER-1002-PENPN15-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.285

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی مدیریت انرژی

امکان سنجی طراحی و توسعه مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی/ مدیر پروژه: سلیمیان، زهره.. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۷۲ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. مکاری زاده، وهاب، مدیر واحد مجری. ۲. گروه مدیریت انرژی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی مدیریت انرژی

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به نام پژوهشگاه نیرو و نشر مطالب در حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: *www.nri.ac.ir*

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب زهره سلیمیان، مدیر پروژه امکان سنجی طراحی و توسعه مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی و همکاران به شرح زیر است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

■ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

□ گزارش حاصل انجام ..... مرحله از ..... مرحله پروژه است.

همکاران :

۱.

۲.

۳.

۴.

پیش گفتار

گزارش حاضر بصورت جمعبندی از پروژه « امکان سنجی طراحی و توسعه مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی» تهیه شده و بر سه فعالیت اصلی متمرکز می باشد:

- مروری بر مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی با تاکید بر متدلوژی لینک سخت
- شناسایی محیط *MESSAGE-ix* از حیث امکانات و ابزارها، متدلوژی، محدودیتها و بررسی امکان پیاده سازی یک مدل نمونه در آن
- تدوین چارچوب مفهومی مدل هیبریدی لینک سخت حاوی مشخصات و ویژگیهای مدل اقتصاد کلان و مدل پایین به بالا، و تدوین مدل در محیط *MESSAGE-ix*

از آنجا که مدل *MESSAGE-ix* بصورت متن باز[1] از طریق سازمان یاسا[2] در اختیار قرار گرفته و از قابلیت تغییر و ویرایش توسط کاربر برخوردار می باشد، لذا چارچوب انعطاف پذیری را در اختیار کاربر قرار می دهد تا از طریق آن بتواند جزئیات سیستم مرجع انرژی را مدلسازی نماید. در این گزارش در ابتدا مدلهای هیبریدی بررسی شده و سپس امکانات نسخه جدید مدل مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه سعی می شود تا بر اساس آن یک سیستم مرجع نمونه تعریف و جواب بهینه برای آن توسط مدل تعیین گردد. کار با مدل *MESSAGE-ix* از دو طریق امکان پذیر می باشد که در این گزارش هر دو روش استفاده شده و نتایج آن ارائه می گردد:

- کارکردن با نسخه پایتون[3] مدل: نسخه پایتون مدل در واقع رابط کاربری مدل می باشد که کاربر امکان تعریف انواع تکنولوژیها، منابع و سایر مولفه های مرتبط با سیستم مرجع انرژی (*RES*) را دارد. در واقع در این روش صرفا پارامترهای ورودی مدل توسط کاربر وارد می شود و کاربر دسترسی به متن معادلات ندارد. مزیت این روش این است که امکان استخراج نتایج در قالبهای گرافیکی را فراهم می آورد.
- کارکردن با نسخه گمز[4]: در برخی موارد لازم است که کد نرم افزار توسط کاربر ویرایش گردد، لذا استفاده از این روش نیز در دستور کار قرار گرفته است.

[1] *Open Source*

[2] *IIASA*

[3] *Python*

[4] *GAMS*

در ادامه گزارش نیز معادلات برقرار کننده لینک معرفی و نحوه قراردادن آنها در مدل ارائه می گردد. سعی شده در این بخش از الگوی رادرفورد– بورینگر برای سادگی کار استفاده گردد. همچنین به نتایج مدلها بعد از برقراری لینک بین دو مدل اشاره می شود.

این گزارش، خلاصه گزارش نهایی از پروژه امکان سنجی طراحی و توسعه مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی است که پشتیبانی آن، بر عهده گروه پژوهشی مدیریت انرژی و نظارت بر/داوری آن، بر عهده سرکار خانم/جناب آقای دکتر مهدی صادقی شاهدانی بوده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

فهرست مطالب

پیش گفتار ۶

فصل اول: مروری بر مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی با تاکید بر متدلوژی لینک سخت ۸

۱-۱- مقدمه ۹

۱-۲- مروری بر مدلهای برنامه ریزی انرژی ۹

۱-۲-۱- مدلهای پایین به بالا ۹

۱-۲-۲- روش بالا به پایین در مقابل روش پایین به بالا ۹

۱-۲-۳- مدلهای ترکیبی (هیبریدی) انرژی ۱۲

۱-۳-۲-۱- مدلهای هیبریدی لینک نرم ۱۴

۱-۱-۳-۲-۱- انواع مدلهای لینک نرم ۱۵

۱-۲-۳-۲-۱- مطالعات انجام شده با مدلهای لینک نرم ۱۷

۲-۳-۲-۱- مدلهای هیبریدی لینک سخت ۱۹

۱-۲-۳-۲-۱- مدل لینک سخت بوئر ۱۹

۲-۲-۳-۲-۱- مدل لینک سخت بورینگر و رادرفورد ۲۰

۳-۲-۳-۲-۱- نمونه مدلهای هیبریدی ۲۱

فصل دوم: شناسایی محیط *MESSAGE-ix* از حیث امکانات و ابزارها، متدلوژی، محدودیتها و بررسی امکان پیاده سازی یک مدل نمونه در آن ۳۰

۲-۱-مقدمه ۳۱

۲-۲- معرفی اجمالی مدل *MESSAGE-ix* و تفاوتهای آن با نسخه های قبلی ۳۱

۲-۳- مشخصات کلی مدل *MESSAGE-ix* ۳۲

۲-۴- شناسایی محیط *MESSAGE-ix* از حیث امکانات و ابزارها، متدلوژی و محدودیتها ۳۴

۲-۵-تفاوتها و قابلیتهای اضافه شده در بخشهای تعریف مسئله، قیود، تابع هدف، قابلیتهای جدید و تنوع گزارشهای تولیدی ۳۶

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۲-۶- مراجع و منابع فصل دوم ۳۸

فصل سوم: تدوین چارچوب مفهومی مدل هیبریدی لینک سخت حاوی مشخصات و ویژگیهای مدل اقتصاد کلان و مدل پایین به بالا، و تدوین مدل در محیط *MESSAGE-ix* ۴۱

۳-۱- مقدمه ۴۲

۳-۲- سیستم مرجع انرژی نمونه ۴۲

۳-۳- نتایج حاصل از اجرای مثال ایران در مدل *MESSAGE-ix* بدون لینک ۴۳

۳-۴-مدل استاتیک رادرفورد- بورینگر ۴۶

۳-۵- روش برقراری لینک در مدل مربوط به مثال حاضر ۴۷

۳-۵-۱- اجرای مدل پایین- بالا و تدقیق ماتریس داده های خرد بر اساس اجرای آن ۴۷

۳-۵-۱-۱- بروز رسانی ستون برق در ماتریس داده های خرد بر مبنای اطلاعات مدل پایین به بالا ۴۷

۳-۵-۱-۱-۱- تفکیک سلول برق- برق با توجه به تولید نیروگاههای مختلف ۴۸

۳-۵-۱-۲- تفکیک سطرهای انرژی- ستون برق با توجه به مصرف سوخت نیروگاههای مختلف ۴۹

۳-۵-۱-۳- تفکیک سطرهای غیر انرژی – ستون برق با توجه به تولید نیروگاهها ۴۹

۳-۵-۱-۴- تبیین تکنولوژیهای نوین در جدول *ntelec* و تعریف پتانسیل منابع آن ۵۰

۳-۵-۱-۵- بروز زسانی معادلات در مدل بالا به پایین و برقرار کردن لینک بین دو مدل با توجه به نتایج مدل پایین – بالا ۵۰

۳-۵-۲- نتایج اجرای لینک در گام اول ۵۸

۳-۵-۳- نتایج اجرای لینک در گام دوم ۶۱

۳-۵-۴- نتایج اجرای لینک در گام سوم ۶۵

۳-۵-۵- شرط همگرایی ۶۶

۳-۶- منابع ومراجع فصل سوم ۶۸

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

فهرست جداول

جدول ۱- مقایسه رویکردهای تحلیلی حاکم بر مدلسازی انرژی ۱۰

جدول ۲- مطالعات انجام شده با انواع مدلهای لینک نرم ۱۷

جدول ۳ -مقایسه ای از مدلهای هیبریدی ۲۱

جدول ۴- مشخصات کلی مدل *MESSAGE* ۳۱

جدول ۵- مقادیر متغیرهای ظرفیت جدید در هر سال و کل ظرفیت برای مثال ایران در مدل *MESSAGE-ix* ... ۴۳

جدول ۶- مقادیر تولید در هر سال برای مثال ایران در مدل *MESSAGE-ix* ۴۴

جدول ۷- پاسخهای حاصل از کد گمز پس از بهینه سازی برای مثال ایران در مدل *MESSAGE-ix* برای استخراج منابع ۴۵

جدول ۸- نمونه ای از مجموعه داده های سال پایه ۴۶

جدول ۹- مقادیر گاز مصرفی نیروگاههای مختلف در سال ۲۰۱۰ ..... ۴۸

جدول ۱۰- هزینه های احداث و بهره برداری از نیروگاهها ۵۲

جدول ۱۱- شاخص قیمت و قیمت برق در افق ۲۰۴۰ تولید شده توسط مدل بالا به پایین ۵۹

جدول ۱۲- تقاضای برق در افق ۲۰۴۰ تولید شده توسط مدل پایین به بالا ۶۰

جدول ۱۳- تقاضای برق در افق ۲۰۴۰ تولید شده توسط مدل بالا به پایین ۶۰

جدول ۱۴- مقادیر متغیر کل ظرفیت برای مثال ایران در مدل *MESSAGE-ix* در راند دوم اجرای مدل ۶۲

جدول ۱۵- مقادیر تولید در هر سال برای مثال ایران در مدل *MESSAGE-ix* در راند دوم اجرای مدل..... ۶۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

فهرست شکلها

شکل ۱- مدلهای پایین به بالا و مدلهای بالا به پایین و ارتباط آنها ۱۲

شکل ۲- دسته بندی مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی ۱۳

شکل ۳- دسته بندی جزئی مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی ۱۶

شکل ۴- نمایش شماتیک لینک سخت مدل بوئر ۲۰

شکل ۵- الگوریتم تجزیه رفت و برگشتی پیشنهاد شده توسط مدل بورینگر و رادرفورد (۲۰۰۹) ۲۱

شکل ۶- مولفه ها و ارتباط بین آنها در پلتفرم *MESSAGE-ix* مشتمل بر رابط کاربری تحت وب ، رابط برنامه ریزی علمی، پلتفرم مدلسازی، پایگاه داده و اجرای فرمولاسیون ریاضی مدل *MESSAGE-ix* ۳۳

شکل ۷- سیستم مرجع نمونه مدل شده در مطالعه حاضر ۴۳

شکل ۸- نحوه تغییرات شروط تسویه بازار پس از اعمال لینک ۵۲

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

فصل اول

مروری بر مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی با تاکید بر متدلوژی لینک سخت

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۱-۱- مقدمه

بطور کلی دو رویکرد بالا به پایین[۵] و پایین به بالا[۶] را برای مدلهای انرژی می توان در نظر گرفت. دو مدل با رویکرد تحلیلی متفاوت برای یک مساله واحد ممکن است به نتایج مختلفی دست پیدا کنند و گاها اختلاف نتایج چشمگیر است. مدل‌های با رویکرد بالا به پایین بیشتر با فرض‌های اقتصادی و مدلهای مبتنی بر رویکرد پایین به بالا بیشتر با فرضهای مهندسی در ارتباط هستند. دو نوع روش بالا به پایین و پایین به بالا هریک دارای مزیتها و محدودیتها مخصوص به خود هستند. مدلهای پایین به بالا معمولاً بوسیله مهندسین، دانشمندان علوم طبیعی و شرکتهای عرضه‌کننده انرژی ایجاد و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالی که مدلهای بالا به پایین توسط اقتصاددانان و نهادهای عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گسترش این دو روش طی دهه گذشته به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. در طی دهه گذشته، تلاشهایی نیز برای ترکیب این دو روش در یک مدل انرژی ترکیبی صورت گرفته است. در ادامه این بخش مدلهای منتخب بالا به پایین و مدلهای پایین به بالا تشریح می‌گردد و مزایا و محدودیتهای خاص هر کدام از این روش‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد و در پایان در مورد مدل‌های ترکیبی توضیحاتی داده می‌شود و لزوم تدوین مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۱- مروری بر مدلهای برنامه ریزی انرژی

۱-۲-۱- مدلهای پایین به بالا

ویژگی اصلی مدلها پایین به بالای مرسوم، درجه بالای جزئیات فنی این مدلها (در مقایسه با مدلهای انرژی بالا به پایین) است که برای ارزیابی عرضه و تقاضای انرژی در آینده استفاده می‌شود. این مدلها معمولاً نمی‌تواند اثرات اقتصادکلان انرژی یا سیاست‌های اقلیمی یا مسائل مرتبط با سرمایه‌گذاری‌ها را در نظر بگیرند. در خصوص فرم ریاضی، مدلهای پایین به بالای انرژی بصورت مدلهای شبیه‌سازی و بهینه‌یابی و اخیرا مدلهای چند عامله[۷] توسعه یافته اند.*[۱]*.

۲-۲-۱- روش بالا به پایین در مقابل روش پایین به بالا

مدلهای انرژی بالا به پایین تلاش در تشریح اقتصاد در سطح ملی یا منطقه‌ای دارند و این مدلها اثرات تجمعی سیاست‌های انرژی یا تغییرات آب و هوا را در قالب یک واحد پولی مورد بررسی قرار می‌دهد. برخلاف مدلسازی پایین به

[5] *Top down*

[6] *Bottom-Up*

[7] *Multi-agent models*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

بالا، این مدل‌های معادله محور، یک نگاه کلی به بخش‌های انرژی و اقتصاد دارند. با برونزا در نظر گرفتن نرخ رشد اقتصادی، تغییرات ساختاری درون صنعتی، توسعه جمعیتی و روندهای قیمتی، مدلهای اقتصاد کلان تلاش در به تعادل رساندن بازار از طریق حداکثر کردن رفاه مصرف کننده با در نظر گرفتن عوامل تولید مختلف (نیروی کار، سرمایه و غیره) و اعمال یک حلقه بازخوردی بین رفاه، اشتغال و رشد اقتصادی دارند. در حال حاضر، مدلهای اقتصاد کلان انرژی بیشتر برای ارزیابی هزینه‌های اقتصادی و اثرات زیست محیطی سیاست‌گذاری اقلیمی مانند مالیات بر CO_2، طرحهای تجارت آلودگی، سوبسید به انرژی‌های تجدید پذیر و غیره به کار گرفته می‌شود [۱].

انواع مدلهای بالا به پایین مشتمل بر

- مدلهای داده– ستانده
- مدلهای اقتصاد سنجی
- مدلهای تعادل عمومی محاسبه پذیر
- سیستم پویا

معرفی می‌گردد [۱].

در جدول ۱ مشخصات مربوط به هر یک از رویکردهای تحلیلی آورده شده است. متدولوژیهای شبیه سازی و بهینه سازی در مدل های با رویکرد پایین به بالا وجود دارند، در حالیکه متدولوژی های مانند اقتصاد سنجی عموماً در مدلهای با رویکرد بالا به پایین بکار رفته اند.

جدول ۱- مقایسه رویکردهای تحلیلی حاکم بر مدلسازی انرژی[۱ و ۲]

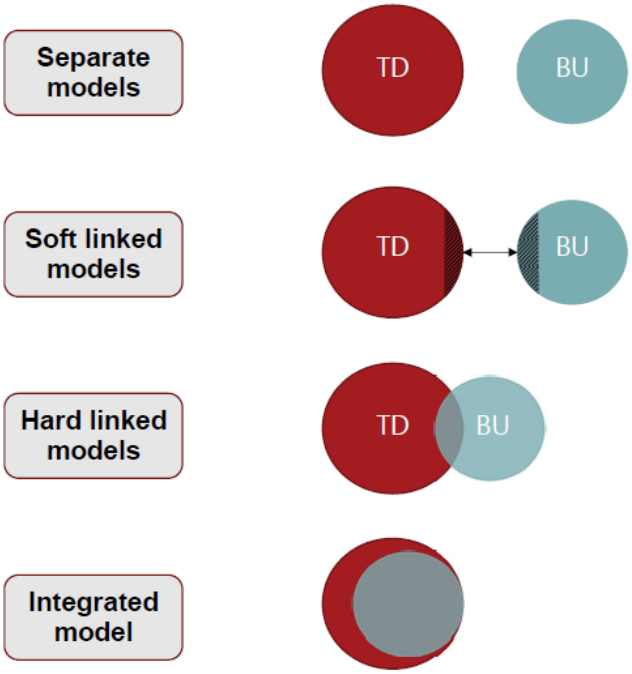
بالا به پایین	پایین به بالا
۱- بیشتر با فروض اقتصادی در ارتباط است.	۱- بیشتر با فروض مهندسی در ارتباط است.
۲- توصیف تکنولوژی ها با ذکر جزییات امکان‌پذیر نیست	۲- توصیف تکنولوژیها با ذکر جزئیات امکان پذیر است
۳- برای پیش بینی اهداف از داده های کلان استفاده می‌کند	۳- پیشرفت تکنولوژی ها را نیز در نظر می گیرد.
۴- بر مبنای رفتار مشاهده شده بازار است	۴- برای پیش بینی اهداف از داده های جزئی استفاده می کند
۵- کارآمدترین تکنولوژی های موجود را از لحاظ فنی نادیده می گیرد، بنابراین پتانسیل آنها را برای بهبود کارایی را در نظرنمی گیرد	۵- مستقل از رفتار مشاهده شده بازار است.
۶- تقاضای انرژی را از طریق شاخصهای اقتصادی نظیر GNP و کشش قیمت تعیین می کند	۶- از رویکرد اقتصاد مهندسی برای محاسبه‌ی اقتصادی تکنولوژی‌های استفاده می گردد.
۷- روابط رفتاری را درون‌زا در نظر می گیرد.	۷- معمولا تاثیر اقتصادکلان انرژی، سیاست‌های جوی یا سرمایه‌های وابسته را در نظر نمی‌گیرند.
۸- هنگام شبیه‌سازی توسعه اقتصادی، تقاضا و عرضه انرژی و اشتغال، نمای کلی از بخش انرژی و اقتصاد می‌دهند.	۸- با توجه به فرم ریاضی، این مدل‌ها به شکل مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه سازی توسعه یافته‌اند.
۹- در مدل‌های امروزه‌ی بالا به پایین، تلاش می‌شود مدل‌های موجود پیش‌بینی تقاضای انرژی، توسعه داده شوند تا بازخوردهای تکنولوژیکی و اقتصادی را در بر گیرند.	۹- بهترین تکنولوژی‌ها را با در نظر گرفتن تاثیر سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری، هزینه‌ها و بازده انرژی مد نظر قرار می دهند.
۱۰-این مدل‌ها بر سطح تجمعی تجزیه و تحلیل، تمرکز می‌کنند.	

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

همانگونه که در بالا نیز اشاره گردید، نقطه ضعف اصلی مدلهای پایین به بالا (مهندسی) فقدان بازخورد و تعامل بین سیستم انرژی و بخش اقتصاد می باشد. ضمن اینکه در مدلهای اقتصاد کلان جریانهای پولی و دینامیک آنها بخوبی مدل شده ولی محدودیتهای فیزیکی و تکنولوژیکی بسیار ساده سازی شده اند[۱۰]. بین دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۹۰ بحث‌های فراوانی در مورد نقاط ضعف و قوت دو روش بالا به پایین و پایین به بالا صورت گرفت و با افزایش توانایی‌های بین رشته‌ای تیم‌های تحقیقاتی انرژی در دهه گذشته، ترکیب این دو روش و بهره‌گیری از مزایای هر دو روش در دستور کار قرار گرفته است[۱]. درجات مختلفی را می توان برای ترکیب مدلهای بالا به پایین و پایین به بالا مد نظر قرار داد که با توجه به درجات یکپارچگی منجر به ایجاد مدلهای ترکیبی از نوع

- مدلهای با لینک نرم[۸]
- مدلهای با لینک سخت[۹]
- مدلهای یکپارچه کامل[۱۰]

می انجامد که با توجه به تمرکز اصلی این پروژه بر مدلهای با لینک سخت و مدلهای یکپارچه، در ادامه به جزئیات آنها اشاره می گردد.



شکل ۱- مدلهای پایین به بالا و مدلهای بالا به پایین و ارتباط آنها [۱۰ و ۱۱]

[8] *soft link*

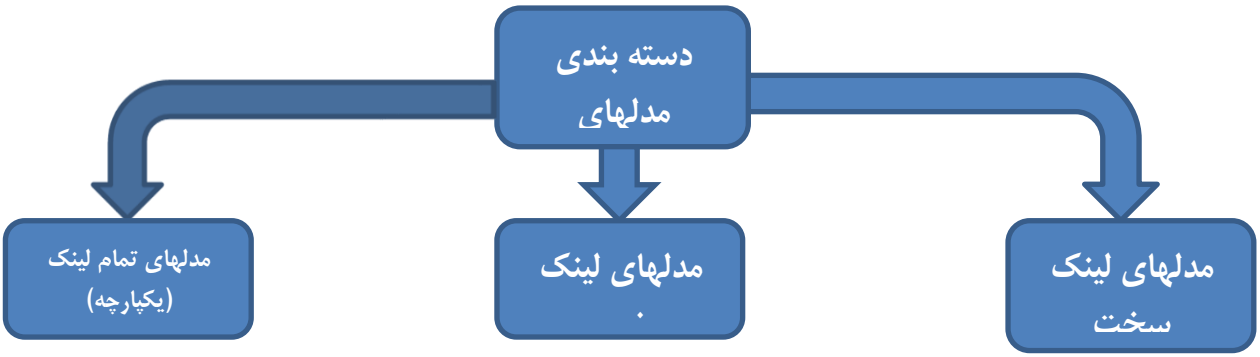
[9] *hard link*

[10] *Integrated Model*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۳-۲-۱- مدلهای ترکیبی (هیبریدی) انرژی

مدلهای بالا به پایین[11] (مثلا از نوع *CGE*)، بدلیل داشتن رویکرد ساده مدلسازی سیستم انرژی، مورد انتقاد قرار گرفته اند. نمایش معمول در مدلهای *CGE* که در آن تولید انرژی بصورت تجمعی و سپس لایه ای در نظر گرفته می شود، بخش انرژی را به درستی تبیین نمی کند و لذا از قابلیت این مدلها برای شبیه سازی سیاستهای انرژی و تغییرات دینامیک تکنولوژی می کاهد. این در حالی است که در مدلهای پایین به بالا[12]، بازخورد بین بخش انرژی و سایر بخشهای اقتصادی مغفول مانده است. لذا توسعه یک قالب مدلسازی که در آن مدلهای بالا به پایین با بازارهای مختلف با نمایش مهندسی تکنولوژیهای تولید برق سازگار شوند، یک چالش درازمدت است که از زمان اولین مدلهای هیبریدی مطالعات *CGE* مان[13] (۱۹۷۷) تا به امروز در تحلیل سیاستهای انرژی به قوه خود باقی مانده است*[۷]*. لذا همانگونه که اشاره گردید، به منظور غلبه بر ضعف‌ها و محدودیتهای مدلهای انرژی بالا به پایین و مدلهای پایین به بالای مرسوم، مدلسازی انرژی اخیراً به سمت مدلسازی سیستم ترکیبی انرژی (از طریق ترکیب حداقل یک مدل اقتصاد کلان با حداقل یک مجموعه از مدلهای پایین به بالا برای هر بخش انرژی نهایی و بخش تبدیل)، حرکت کرده است. این ترکیب و ارتباط بین دو رویکرد بالا به پایین و رویکرد پایین به بالا از دو طریق می‌تواند صورت بگیرد. فرم آسان‌تر ارتباط بین رویکرد بالا به پایین و رویکرد پایین به بالا که ارتباط نرم نامیده می‌شود که به صورت انتقال و ارتباط داده‌ها، پارامترها و ضرایب به صورت دستی و حلقه بازخوردی است. اگر این انتقال و ارتباط بین دو رویکرد به صورت یک روال خودکار و درونزا در سیستم انجام شود این رویکرد را ارتباط سخت می‌نامند*[۱]*. البته در برخی مطالعات روشهای ایجاد لینک بین مدلهای پایین به بالا و بالا به پایین، به سه دسته تقسیم می شوند*[۱۱]*. بر این اساس در شکل ۲ شماتیک دسته بندی مدلهای هیبریدی ارائه شده است.



شکل ۲- دسته بندی مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی

[11] *Top-Down*

[12] *Bottom-Up*

[13] *Manne(1977)*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

- روش لینک نرم: یک روش تجزیه است که در آن مدلهای پایین به بالا و بالا به پایین بصورت مستقل از یکدیگر اجرا می شوند. لذا در این حالت خروجی یک مدل بعنوان ورودی در مدل دیگر مورد استفاده قرار می گیرد و اجراهای متوالی تا زمان برقراری شرط همگرایی ادامه می یابد. لازم به توضیح است که در بخش اقتصاد کلان این مدلها می توان از مدلهای ماکرو و یا مدلهای تعادل عمومی استفاده نمود که بر این اساس به دودسته بصورت زیر تقسیم می شوند:
  - ✓ مدلهایی که مدل اقتصاد کلان آنها در سطح مدلهای ماکرو می باشد و با مدلهای پایین به بالا لینک می شوند نظیر ***MESSAGE-MACRO*** و ،***MARKAL-MACRO***.
  - ✓ مدلهایی که مدل اقتصاد کلان آنها یک مدل تعادل عمومی است و با مدلهای پایین به بالا لینک می شوند که از جمله این مدلهای لینک نرم می توان به ***MARKAL-EPPA***، ***TIMES-EMEC*** و مدل ***TIMES-GEM-E3*** اشاره نمود.

لازم به توضیح است که از آنجا که پارامترهایی که در هنگام ایجاد لینک نرم بین مدل تعادل عمومی با مدل پایین – بالا مورد استفاده قرار می گیرند با پارامترهایی که در هنگام برقراری لینک نرم با ماکرو استفاده می شوند، متفاوت است لذا دسته بندی بصورت فوق ایجاد شده است.

- روش لینک سخت: که شامل لینک سخت بین یک مدل تعادل عمومی و حالت کاهش یافته[۱۴] مدل پایین به بالا و یا لینک سخت مدل تعادل عمومی غنی شده با تکنولوژیها می گردد. از اولین نمونه های این ادغام می توان به مدل بوئر[۱۵] و مدل بورینگر و رادرفورد[۱۶] اشاره نمود. بعنوان نمونه مطالعه بورینگر– رادرفورد، مدل بالا به پایین و پایین به بالا را در یک فرمت *MCP* ادغام می نماید که در آن جزئیات تکنولوژیکی مدلهای پایین به بالا به مدل تعادل عمومی معرفی می شوند. پیچیدگی این مدل و ابعاد گسترده آن، قابلیت تعریف مجموعه گسترده ای از تکنولوژیها را محدود می سازد و امکان تحلیل سیاستهای مبتنی بر توسعه تکنولوژی در آن چندان میسر نیست. اگرچه بعدا رادرفورد و بورینگر با معرفی الگوریتم تجزیه سعی کردند بر مشکل گستردگی ابعاد فائق آیند[۱۹]. در برخی نمونه های مدل لینک سخت تکنولوژیها در مدل تعادل عمومی بصورت درونزا تعریف شده اند که از نمونه های آن می توان به مدل *GEM-E3* و *MIT-EPPA* اشاره نمود. بعبارت دیگر، در برخی از مدلهای هیبریدی لینک از طریق معرفی نمایش پایین به بالای بخش برق به انجام می رسد که در این صورت اطلاعات به مدل بالا به پایین منتقل و قیمتها به

[14] *Reduced form*
[15] *BAUER*
[16] *Rutherford*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

بخش پایین به بالا بازگردانده می شود. این نحوه معرفی بخش پایین به بالا در مدلهای تعادل عمومی امکان تعریف جزئیات تکنولوژیکی و تغییرات ظرفیت را فراهم می سازد ولی برای بسیاری از مدلسازان تعادل عمومی نا آشنا می باشد*[۳۴]*. ذکر این نکته نیز ضروری است که در روش لینک سخت یکی از مدلها بر نتایج کنترل دارد این در حالی است که در نوع تمام- لینک که در ادامه بدان اشاره می گردد، هر دو مدل مستقیم بر یکدیگر تاثیر و تاثر دارند.

- تمام- لینک[۱۷] بین یک مدل تعادل عمومی با جزئیات تکنولوژیکی و یک مدل پایین به بالا: که در آن مدلهای پایین به بالا و بالا به پایین در یک قالب مدلسازی یکپارچه سازگار قرار می گیرند[۱۸] و به آنها مدلهای یکپارچه نیز اطلاق می شود. در واقع مدلهایی هستند که در آنها مدل پایین- بالا با مدل بالا- پایین تعادل عمومی در هم ادغام می شوند. این مدلها بگونه ای تکامل یافته اند که از پیچیدگیهای بیشتری نسبت به مدل اولیه بورینگر- رادرفورد برخوردار می باشند و مشخصات تکنولوژیهای برق بصورت درونزا در بخش بالا به پایین آنها تعریف شده است و با یک مدل پایین به بالا یکپارچه شده اند. بعنوان مثالی از این مدلها می توان به *MIT USREP*[۱۹] اشاره نمود. در نهایت لینک بین این مدلها و مدل پایین به بالا از طریق الگوریتم تجزیه بورینگر- رادرفورد برقرار می شود که در ادامه بدان اشاره خواهد شد*[۱۹]*.

۱-۳-۲-۱- مدلهای هیبریدی لینک نرم

همانگونه که پیشتر نیز اشاره شد، مدلهای لینک نرم با توجه به اینکه مدل اقتصادی آنها ماکرو یا مدل تعادل عمومی باشد به دو دسته قابل تقسیم بندی می باشد که در شکل ۳ بهمراه مثال ارائه شده است.

۱-۱-۳-۲-۱- انواع مدلهای لینک نرم

مسیر توسعه مدلهای هیبریدی لینک نرم از مدلهای مبتنی بر ماکرو اقتصادی آغاز می شود. لذا در ابتدا توصیفی از این مدلها صورت می پذیرد. مدلهای با لینک نرم را (چه مبتنی بر مدل تعادل عمومی و چه مبتنی بر مدل ماکروی اقتصادی باشند) نیز می توان در چهار دسته جدا مورد بررسی قرار داد*[۲۶]*. دسته بندی جزئی تر مدلهای لینک نرم که حالت تکمیل شده از شکل ۲ می باشد در شکل ۳ ارائه شده است.

---

[17] *Full Link*

[۱۸] البته مدلهای برنامه ریزی انرژی از دید برخی مراجع در دو دسته بندی لینک سخت و لینک نرم طبقه بندی شده است ولی همانگونه که پیشتر نیز اشاره شده است، هلگسن (۲۰۱۸) در رویکرد کاملتری، مدلها را به چهار طبقه بندی مدلهای مجزا، مدلهای لینک نرم، مدلهای با لینک سخت و مدلهای کاملا یکپارچه تقسیم بندی نموده است.

[19] *U.S. Regional Energy Policy Model*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

- مدلهای پایین به بالایی که معادلات ماکرو بدانها افزوده شده است که از جمله آنها می توان به *MARKAL-MACRO* و *ETA-MACRO* اشاره نمود.
- لینک نرم بین مدل ماکرو و مدل پایین به بالا که تبادل داده دارند: که در آن دو مدل بالا– پایین و پایین به بالا مجزا با هم داده رد و بدل می نمایند که می توان به مثالهایی نظیر *MESSAGE-MACRO* اشاره نمود.
- لینک نرم بین مدل تعادل عمومی و با مدل پایین به بالا تبادل داده دارند: *GEMINI-E3-TIAM* و لینک بین *EMEC* و *TIMES* در زمره دسته مدلهای لینک نرم با مدل تعادل عمومی قرار می گیرند.

GEMINI-E3-TIAM
GEM-E3

شکل ۳- دسته بندی جزئی مدلهای هیبریدی برنامه ریزی انرژی

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

همانگونه که در شکل ۳ ملاحظه می شود، دسته بندیهای مختلفی برای مدلهای هیبریدی لینک نرم در نظر گرفته شده است. در نخستین نسل مدلهای لینک نرم، مدل هیبریدی از یک مدل یکپارچه تشکیل شده است که در آن معادلات بالا به پایین مربوط به مدل ماکرو – که عمدتا تابع تولید تک بخشی اقتصاد است– به معادلات مدل پایین به بالا افزوده شده است*[۲۷]*. بعبارت دیگر، مدل سیستم انرژی با یک مدل اقتصادی تک بخشی که معرف کل تولید و مصرف اقتصاد است در یک قالب واحد ارائه شده اند. از مثالهایی از نخستین مدلهای لینک نرم می توان به *ETA-Macro* و *MARKAL-Macro* که بترتیب در سالهای ۱۹۷۷ و ۱۹۹۲ توسعه داده شدند، اشاره نمود*[۲۵ و ۲۶]*.

در دسته دوم، لینک نرم بین مدلهای مجزای ماکرو با مدلهای پایین به بالا برقرار می شود که در این مدل هیبریدی، مدل ماکرو یک مدل اقتصادی یک بخشی از کل اقتصاد است که از رشد اقتصادی بلندمدت برخوردار است و سرمایه، نیروی کار و انواع حاملهای انرژی عوامل تولید آن را تشکیل می دهند و در قالب تابع تولید *CES*، جانشینی بین حاملهای انرژی و ارزش افزوده دیده شده است.

اما در ادامه تکامل مدلهای لینک نرم، مدلهای ماکرو با مدلهای تعادل عمومی جایگزین شدند. لذا دسته سوم به مدلهایی اطلاق می شود که در آنها مدل تعادل عمومی و مدل پایین به بالا با هم تبادل داده دارند که بعنوان مثالهایی از این نوع مدلها، می توان به *TIMES-GEM-E3* ، *GEMINI-E3-TIAM* و لینک بین *EMEC* و *TIMES* اشاره نمود.

۲-۱-۳-۲-۱- مطالعات انجام شده با مدلهای لینک نرم

اگرچه مطالعات بسیاری در زمینه تدوین مدلهای لینک نرم و کاربرد آنها صورت گرفته است، در ادامه و بصورت اجمالی به برخی از این مطالعات اشاره می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۲- مطالعات انجام شده با انواع مدلهای لینک نرم

مدلهای لینک نرم با مدل تعادل عمومی				مدلهای لینک نرم با مدل ماکرو			
نام مدل	اجزای مدل	مشخصات توسعه دهنده و هدف از آن	مطالعات انجام شده با آنها	نام مدل	اجزای مدل	مشخصات توسعه دهنده و هدف از آن	مطالعات انجام شده با آنها
TIMES-EMEC	مدل تعادل عمومی ***EMEC***:	توسط موسسه ملی تحقیقات اقتصادی سوئد (*NIER*) تدوین شده است برای تحلیل تعاملات بین بخش اقتصاد و محیط زیست بکار می رود*[۲۰]*.	کروک و همکاران از این مدل برای تحلیل سناریویی که در آن سیاستهای تغییر اقلیم و قیمتهای CO_2 در نظر گرفته شده، استفاده نمودند*[۲۰]*.	***MESSAGE-MACRO***		هم مدل ***MESSAGE*** و هم مدل ***MACRO*** در سال ۲۰۰۰ توسط مسنر[۲۱] و همکاران در یاسا[۲۲] توسعه داده شده است و هدف از آن بررسی اثرات هزینه های سیستم انرژی بر نهاده های تولید در مدل اقتصادی و همچنین تعیین اثرات قیمتهای انرژی بر تقاضای آن است*[۲۱]*.	از مدل *MESSAGE* به تنهایی برای مطالعات برنامه ریزی انرژی در بسیاری از کشورها استفاده شده است ولی بر طبق آنچه در سایت یاسا منتشر شده است، لینک مدل *MESSAGE-MACRO* چندان در مطالعات بکارگرفته نشده و تنها نتایج مطالعه مان و ریچل[۲۰] (۱۹۹۲) بر مبنای آن انجام شده است*[۲۱]*.
	مدل ***TIMES_Sweden***	که توسط موسسه *ETSAP* توسعه داده شده و برای کشور سوئد بومی سازی شده است، لینک شده است. این مهم توسط کروک و همکاران به انجام رسیده است*[۲۰]*.					
TIMES-GEM-E3	مدل تعادل عمومی اقتصاد- انرژی- محیط زیست *GEM-E3*طی یک پروژه مشترک با تامین مالی اتحادیه اروپا و برخی موسسات دیگر و با همکاری دانشگاههای مختلف توسعه یافته است*[۱۵]*.		فورتس و همکاران برای مطالعه سیاستهای کاهش گازهای گلخانه ای، افزایش بکارگیری انرژیهای تجدیدپذیر و بهبود کارایی انرژی در کشور پرتغال از این مدل استفاده نموده اند*[۱۹]*.	***MARKAL-MACRO***		ونه[۲۶] و مان در سال ۱۹۹۲ مدل را با هدف توسعه ابزاری کارا برای تحلیل سیاستها بخصوص در زمینه تغییرات اقلیم توسعه دادند. زیرا که تغییر در ترکیب سیستم انرژی سبب تغییر در قیمتهای نسبی انرژی شده و این موضوع صرفه جویی انرژی را در پی دارد و نیازمند بازتخصیص منابع در بخشهای اقتصادی می باشد*[۲۲]*.	از مدل *MARKALMACRO* برای تحلیل سیاستهای انرژی در چین، ایتالیا و انگلیس بترتیب در مطالعات چن[۲۳] (۲۰۰۵)، کنتالدی[۲۴] و همکاران (۲۰۰۷) و استراچان و کنان[۲۵] (۲۰۰۸و۲۰۰۹) استفاده شده است*[۲۲]*.
	مدل ***TIMES_PT*** : که توسط موسسه *ETSAP* توسعه داده شده و برای کشور پرتغال بومی سازی شده است، لینک شده است. این مهم توسط فورتس و همکاران در دانشگاه لیسبون به انجام رسیده است*[۱۹]*						

[20] *Richels*

[21] *Messner*

[22] *International Institute for Applied System Analysis*

[23] *Chen*

[24] *Contaldi*

[25] *Strachan and Kannan*

[26] *Wene*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۲-۳-۲-۱- مدلهای هیبریدی لینک سخت

به موازات ایجاد لینک نرم بین مدلهای تعادل عمومی و مدلهای پایین- بالا، تحول جدیدی در نحوه ترکیب این مدلها پدید آمد که در آن مدلهای تعادل عمومی و پایین به بالا در قالب یک چارچوب واحد با یکدیگر ترکیب می شوند که بدان لینک سخت گفته می شود. در این مدلها، مجموعه مجزایی از تکنولوژیهای تولید بصورت مستقیم در مدل بالا به پایین در نظر گرفته می شوند که از پیشگامان تدوین این نوع مدلها می توان به بورینگر و رادرفورد (۲۰۰۸) و مطالعات انجام شده در تدوین مدل *MIT EPPA* توسط مک فارلند و همکاران (۲۰۰۴)، پالتسف (۲۰۰۵) و سو وینگ[۲۷] (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) و ... و کای (۲۰۱۵) اشاره نمود. بر طبق اینکه جزئیات تکنولوژیها تا چه اندازه در مدل تعادل عمومی بیان شده است می توان این مدلها را به دو دسته تقسیم نمود:

- مدلهای تعادل عمومی غنی شده با تکنولوژیها: در این نوع مدلها، توابع *CES* لایه ای در مدلهای بالا- پایین یکپارچه بر مبنای خروجیهای مدل پایین- بالا کالیبره می شود. اگرچه در این مدلها ساختار مدل یکپارچه است ولی تعریف تکنولوژیهای جدید در مدل بالا به پایین دارای محدودیت است. کاملترین مثال در این خصوص را می توان مدل *GEM-E3* در نظر گرفت که در ادامه بدان اشاره خواهد شد.
- دسته دوم که شامل لینک بین یک مدل تعادل عمومی و حالت کاهش یافته[۲۸] مدل پایین به بالا می گردد که نمونه های آن نظیر مدل بوئر و رادرفورد در ادامه تشریح خواهند گردید. در این مدلها شکل کاهش یافته ای از یک مدل پایین- بالا با مدل بالا- پایین ترکیب شده و الگوریتم واسطی کار انتقال داده ها بین دو مدل را انجام می دهد. همچنین مدل بالا به پایین در نقش مدل اصلی قرار می گیرد*[۲۳]*.

۱-۲-۳-۲-۱- مدل لینک سخت بوئر

در مطالعه بوئر، لینک سخت بین مدل رشد اقتصادی (*MGM*[۲۹]) و مدل سیستم انرژی (*ESM*[۳۰]) در نظر گرفته شده است. مدل *MGM* تابع رفاه اجتماعی غیر خطی بین زمانی را ،که به مسیر زمانی مصرف وابسته است، ماکزیمم می نماید. از سوی دیگر، مدل *ESM* هزینه های سیستم انرژی را با توجه به یک مسیر تقاضای انرژی برونزا و مشخصه های تکنولوژیهای انرژی کمینه می نماید. این مدل، ترکیب حداقل کننده هزینه انرژی را با توجه با انتخاب ظرفیت تکنولوژیهای انرژی و تعیین بهره برداری از انرژی اولیه با هدف تامین تقاضای انرژی نهایی مشخص می نماید*.[۶]*.

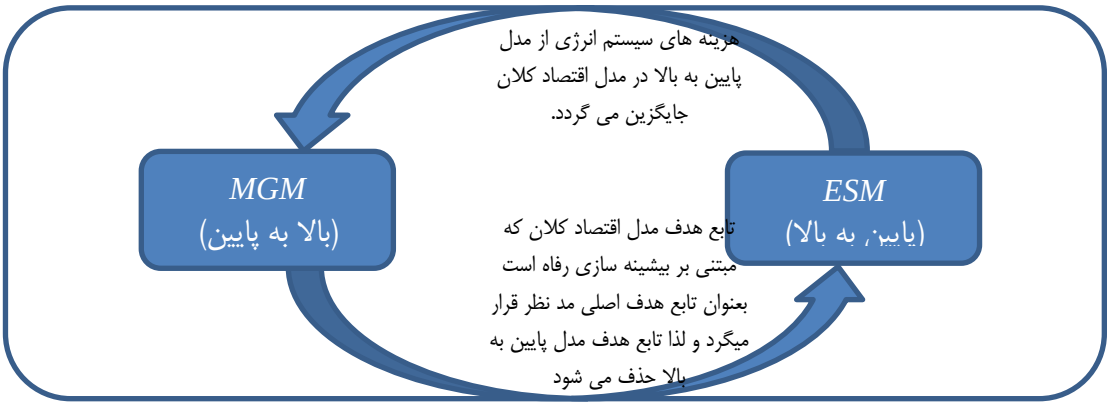
[27] *Sue Win*

[28] *Reduced form*

[29] *The Macroeconomic Growth Model*

[30] *The Energy System Model*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28



شکل ٤- نمایش شماتیک لینک سخت مدل بوئر *[٦]*

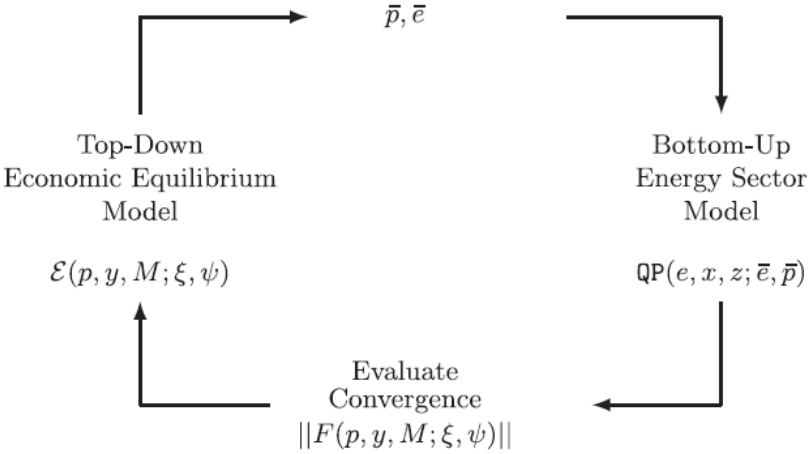
۲-۲-۳-۲-۱- مدل لینک سخت بورینگر و رادرفورد

مدلهای بورینگر[۳۱] (۱۹۹۸)، رادرفورد و بورینگر (۲۰۰۸) و رادرفورد و بورینگر (۲۰۰۹)، را می توان بعنوان یک مثال شاخص از رویکرد دسته اول (مدل لینک سخت) مورد توجه قرار داد. بورینگر و رادرفورد (۲۰۰۹) با بکارگیری مسئله برنامه ریزی مکمل مختلط (*MCP*)[۳۲] نشان دادند که چگونه تحلیل پایین – بالا و بالا – پایین را می توان در هم ادغام نمود. در رویکرد پایین به بالا یک تحلیل جزئی از سیستم انرژی از منابع اولیه انرژی و مراحل تبدیل، انتقال و توزیع انرژی نهایی ارائه می گردد، اما این مدل واکنش و اثر متقابل بخش انرژی با سایر بخشهای اقتصاد را نادیده می‌گیرد. مدل تعادل عمومی بالا – پایین اثر متقابل بازارها را می‌تواند منعکس می کند، اما معمولا از جزئیات تکنولوژیکی برخوردار نمی‌باشد. بورینگر و رادرفورد در واقع روشی را ارائه دادند که امکان ترکیب مدلهای تعادل عمومی بالا – پایین و مدلهای سیستم انرژی پایین – بالا را برای تحلیل سیاست انرژی فراهم می‌کند. این دو، از مدل عرضه درجه دوم انرژی بعنوان مدل پایین – بالا و از روش برنامه ریزی مکمل مختلط برای حل مدل تعادل عمومی اقتصاد کلان استفاده کردند. سپس قیمتها و مقادیر تعادلی طی یک پروسه رفت و برگشتی بین دو مدل جابجا می شود. همگرایی سریع الگوریتم تناوبی در زمانی که بخش انرژی نسبت به کل اقتصاد کوچک باشد از دستاوردهای این مدل است که در شکل ۵ نمایی از آن ارائه شده است. در واقع شکل ۵ نشان می دهد که در مطالعه بورینگر یک مدل یکپارچه چگونه می تواند بصورت متناوب تجزیه و حل شود. در این مطالعه تکنولوژیهای تولید برق به عنوان فعالیت مد نظر قرار می گیرند و لذا بصورت مستقیم در مدل تعادل عمومی وارد می شوند *[۳-۵]*.

[31] *Bohringer*

[32] *- Mixed complementary problem*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28



شکل ۵- الگوریتم تجزیه رفت و برگشتی پیشنهاد شده توسط مدل بورینگر و رادرفورد (۲۰۰۹)*[۵-۳]*

۳-۲-۳-۲-۱- نمونه مدلهای هیبریدی

در ادامه ویژگیهای انواع مدلهای هیبریدی بصورت خلاصه ارائه شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۳ -مقایسه ای از مدلهای هیبریدی

مدل	مشخصات مربوط به زیر مدل بالا به پایین از مدل هیبریدی			مشخصات مربوط به زیر مدل پایین به بالا از مدل هیبریدی			نوع لینک			افق زمانی	پایگاه داده
	رویکرد	**دینامیک/ استاتیک**	**قابلیت مدلسازی عدم قطعیت**			**قابلیت مدلسازی عدم قطعیت**	**لینک نرم**	**لینک سخت**	**تمام- لینک**		
ETA-Macro [۲۵]	مدل رشد اقتصادی نئوکلاسیک	دینامیک	ندارد	بهینه سازی- در زمره مدلهایی است که معادلات مدل بالا به معادلات بخش پایین- بالا افزوده شده است.	دینامیک	ندارد	✓			بلند مدت	پایگاه داده خاصی ندارد و اطلاعات ورودی توسط کاربر به مدل داده می شود
Markal-Macro [۲۵]	مدل رشد اقتصادی نئوکلاسیک	دینامیک	ندارد	بهینه سازی	دینامیک	اطلاعی در دست نیست	✓			بلندمدت	
MERGE [۲۸]	ماژول اقتصادی آن *Global2200* نام دارد که مدل رشد اقتصادی است که تابع مطلوبیت بین زمانی مصرف کننده و تولید کننده را حداکثر می سازد	دینامیک	ندارد	بهینه سازی- در زمره مدلهایی است که معادلات مدل بالا به معادلات بخش پایین- بالا افزوده شده است.	دینامیک	اطلاعی در دست نیست	✓			بلندمدت تا ۲۰۵۰	نسبت به آمار سال ۱۹۹۰ کالیبره شده است و حاوی اطلاعات مناطق مختلف نظیر آمریکا، کشورهای *OECD*، چین و سایر می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

مدل	مشخصات مربوط به زیر مدل بالا به پایین از مدل هیبریدی			مشخصات مربوط به زیر مدل پایین به بالا از مدل هیبریدی			نوع لینک			افق زمانی	پایگاه داده
	رویکرد	دینامیک/ استاتیک	قابلیت مدلسازی عدم قطعیت	رویکرد	دینامیک/ استاتیک	قابلیت مدلسازی عدم قطعیت	لینک نرم	لینک سخت	تمام- لینک		
MESSAGE-Macro [۲۱]	مدل رشد اقتصادی که تابع مطلوبیت بین زمانی مصرف کننده و تولید کننده را حداکثر می سازد	دینامیک	ندارد	بهینه سازی	دینامیک	ندارد	✓			بلندمدت تا صد سال	پایگاه داده خاصی ندارد و اطلاعات ورودی توسط کاربر به مدل داده می شود
GEMINI-E3-Markal و *GEMINI-E3-TIAM*	تعادل عمومی	دینامیک	اطلاعی در دست نیست	بهینه سازی		اطلاعی در دست نیست					بر پایه بانک اطلاعاتی *GTAP* ساخته شده و داده های دیگر نظیر حسابهای ملی، تراز انرژی، قیمتهای انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای و سایر داده های مورد نیاز بدان افزوده شده است.
TIMES-EMEC [۲۰]	تعادل عمومی	دینامیک	اطلاعی در دست نیست	بهینه سازی	دینامیک	✓	✓			مدل تعادل عمومی برای بازه میان مدت تا ۲۰۳۵ و مدل تایمز بلندمدت	ماتریس حسابداری اجتماعی کشور سوئد

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

مدل	مشخصات مربوط به زیر مدل بالا به پایین از مدل هیبریدی			مشخصات مربوط به زیر مدل پایین به بالا از مدل هیبریدی			نوع لینک			افق زمانی	پایگاه داده
	رویکرد	دینامیک/ استاتیک	قابلیت مدلسازی عدم قطعیت	رویکرد	دینامیک/ استاتیک	قابلیت مدلسازی عدم قطعیت	لینک نرم	لینک سخت	تمام- لینک		
TIMES-GEM-E3 [۱۹]	تعادل عمومی	دینامیک	✓	بهینه سازی	دینامیک	✓	✓			بلندمدت تا افق ۲۰۵۰	ماتریس حسابداری اجتماعی کشور پرتغال و سایر داده ها
NEMS [۳۱و ۳۲ و ۳۳]	ماژول فعالیتهای اقتصاد کلان[۳۳] از سه بخش تشکیل شده است: ۱- مدل رشد اقتصادی تعادل عمومی اقتصاد سنجی[۳۴] ۲- مدل تولید و اشتغال بخش صنعت[۳۵] ۳- مدلهای اقتصاد نواحی[۳۶]	دینامیک	✓	سیستم داینامیک	دینامیک	✓		✓		۲۵ سال آینده	بخش زیادی از داده های مورد نیاز این مدل از داده هایی که توسط *EIA*[37] منتشر می شود، تامین شده است.
مدل رادرفورد- بورینگر *[۵-۳]*	تعادل عمومی	استاتیک	ندارد	فرم کاهش یافته یک مدل بهینه سازی	استاتیک	ندارد		✓		اطلاعی در دست نیست	مدل بورینگر و رادرفورد صرفا بر اساس یک ماتریس داده های خرد ساده مورد آزمون قرار گرفته است.

[33] *Macroeconomic Activity Module (MAM)*
[34] *IHS Markit's Model*
[35] IHS Markit's models of industrial output and of employment by industry
[36] U.S. Energy Information Administration's models of the regional economies
[37] *U.S. Energy Information Administration*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

مدل	مشخصات مربوط به زیر مدل بالا به پایین از مدل هیبریدی			مشخصات مربوط به زیر مدل پایین به بالا از مدل هیبریدی			نوع لینک			افق زمانی	پایگاه داده
	رویکرد	دینامیک/ استاتیک	قابلیت مدلسازی عدم قطعیت			قابلیت مدلسازی عدم قطعیت	لینک نرم	لینک سخت	تمام- لینک		
مدل لینک سخت بوئر *[۶]*	مدل رشد رمزی	دینامیک	ندارد	بهینه سازی	دینامیک	ندارد		✓		بلندمدت تا افق ۲۰۵۰	شواهدی در دست نیست
USREP_ EleMod	تعادل عمومی	دینامیک	✓	بهینه سازی	دینامیک	دارد			✓	کوتاه مدت و میان مدت	بانک داده مدل *GTAP*
EPPA [۲۹].	تعادل عمومی	دینامیک	✓(۱)	مدل پایین به بالای مجزایی وجود ندارد و تکنولوژیها در خود مدل تعادل عمومی تعریف شده اند			✓			بلند مدت تا افق ۲۱۰۰	بر پایه بانک اطلاعاتی *GTAP* ساخته شده و اطلاعاتی دیگر در خصوص انتشار گازهای گلخانه ای بدان افزوده شده است.
GEM-E3 [۷ و ۱۵]	تعادل عمومی	دینامیک	✓(۲)					✓		بلند مدت	ماتریس حسابداری اجتماعی این بر پایه بانک اطلاعاتی مدل *GTAP* تدوین شده است

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

[1] Herbst A., Toro F., Reitze F.*,* and Joche E.*,* "Introduction to Energy Systems Modelling", Swiss Journal of Economics and Statistics, 2012, Vol. 148 (2), P. 111-135.

[2] Subhes C. Bhattacharyyaand, Govinda R. Timilsina., "Energy Demand Models for PolicyFormulation: A Comparative Study of Energy Demand Models", Policy Research working paper ; no. WPS 4866

[3] Böhringer, C. & Rutherford, Thomas F.(2009). Integrated assessment of energy policies: Decomposing top-down and bottom-up., Journal of Economic Dynamics & Control33 (2009) 1648–1661

[4] Böhringer, C.(1998). The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling. Energy Economics 20(1998). 233-248

[5] Böhringer, C. & Rutherford, Thomas F.(2008). Combining bottom-up and top-down. Energy Economics 30 (2008) 574–596

[6] Bauer, Nico; Kypreos, Socrates; Edenhofer, Ottmar (2008). Linking energy system and macroeconomic growth models. Computational Management Science. ·

[7] Capros, P., Van Regemorter, D., Paroussos, L., Karkatsoulis, P. (2013). GEM-E3 Model Documentation

[8] Loulou, Richard, Goldstein, Gary, Kanudia, Amit, Lettila, Antti (2016). Documentation for the TIMES Model, Part I-V

[9] Correspondings with Antti Lettila via email

[10] Berg, Rasmus Kehlet; Eskildsen, Janek Bligaard (2019). Modelling the Energy Sector in a Computable General Equilibrium Framework: A new approach to integrated bottom-up and top-down modelling. Master Thesis. Faculty of Social Sciences, Department of Economics, University of Copenhagen

[11] Helgesen, P. I., A. Lind, O. Ivanova, and A. Tomasgard (2018). Using a hybrid hard-linked model to analyze reduced climate gas emissions from transport. Energy, 156:196 – 212.

[12] Lanz, B., Rausch, S. (2011). General equilibrium, electricity generation technologies and the cost of carbon abatement: A structural sensitivity analysis. Energy Economics (33), 1035–1047.

[13] Tapia- Ahumada, Karen, Octaviano, Claudia, Rausch Sebastian, and Ignacio Pérez-Arriaga (2015). Modeling intermittent renewable electricity technologies in general equilibrium models. Economic Modelling 51, 242 – 262.

[14] Lanz, B., Rausch, S. (2011). General Equilibrium, Electricity Generation Technologies and the Cost of Carbon Abatement. Working Paper. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Report No. 194.

[15] Capros, P., Regemorter, D. Van, Paroussos, L., Karkatsoulis, P. (2013). GEM-E3 Model Documentation

[16] C. Jaeger Carlo, Paroussos Leonidas, Mangalagiu Diana, Kupers Roland, Mandel Antoine, Tàbara Joan David, Meißner Frank, Lass Wiebke (2011). A New Growth Path for Europe: Generating Prosperity and Jobs in the Low-Carbon Economy.

[17] Gohin, Alexandre, W. Hertel, Thomas. A Note on the CES Functional Form and Its Use in the GTAP Model
(https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1610.pdf)

[18] Ben-Akiva, Moshe (2008). Theory of the Firm. Transportation Systems Analysis: Demand & Economics (https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-201j-transportation-systems-analysis-demand-and-economics-fall-2008/lecture-notes/MIT1_201JF08_lec09.pdf)

[19] Fortes, Patrícia, Pereira, Rui, Pereira, Alfredo, Seixas, Júlia (2014). Integrated technological-economic modeling platform for energy and climate policy analysis. Energy Journal 73 (2014) 716-730.

[20] Krook-Riekkola, Anna, Berg, Charlotte, Ahlgren, Erik O., Soderholm, Patrik (2017). Challenges in top-down and bottom-up soft-linking: Lessons from linking a Swedish energy system model with a CGE model. Energy 141 (2017) 803-817

[21] Messner, Sabine, Schrattenholzer, Leo (2000). MESSAGE–MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively. Energy 25 (3) 267-282

[22] Wene, Clas-Otto (1992). MARKAL-MACRO: a linked model for energy-economy analysis (https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/23/055/23055026.pdf?r=1)

[23] Helgesen, Per Ivar (2013). Top-down and Bottom-up: Combining energy system models and macroeconomic general equilibrium models Project: Regional Effects of Energy Policy, working paper (https://www.ntnu.no/documents/7414984/202064323/2013-12-11+Linking+models_444.pdf/4252b320-d68d-43df-81b8-e8c72ea1bfe1)

[24] Yuan, Mei, Tapia-Ahumada, Karen, Paltsev, Sergey (2020). Challenges and Opportunities Economy-Wide Decarbonization Pathways in California, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

[25] Manne AS, Wene C-O. MARKAL-MACRO: a linked model for energy-economy analysis. 1992. New York.

[26] Manne AS. ETA-MACRO: a model of energy-economy interactions/. Palo Alto, Calif.: Electric Power Research Institute; 1977.

[27] Maryse, Labriet, Drouet, Vielle, Marc, Laurent, Loulou, Richard, Kanudia, Amit, Haurie, Alain (2015). Assessment of the Effectiveness of Global Climate

Policies Using Coupled Bottom-up and Top-down Models. (https://ideas.repec.org/p/ags/feemcl/199946.html).

[28] Manne Alan, Mendelsohn, Robert, Richels, Richard (1995). MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. Energy Policy(23) pp. ,7-34.

[29] Paltsev Sergey, Reilly, John M., Jacoby, Henry D., Eckaus, Richard S., McFarland, James (2005).The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4

[30] Kypreos S, Van Regemorter D.(2006). Key drivers for energy trends in EU: specification of the baseline and policy scenarios. Working paper RS2, WP2.3, NEEDS (new energy Externalities developments for sustainability) project.

[31] US Energy Information Adminstration (2018). Macroeconomic Activity Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2018.

[32] Baghelai, Cyrus, Moumen, Fouad, Cohen, Michael, Kydes, Andres (1995).Uncertainty in the National Energy Modeling System. I: Method Development
(https://trid.trb.org/view/452399)

[33] US Energy Information Adminstration (2019). The National Energy Modeling System: An Overview 2018 (https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/overview/pdf/0581(2018).pdf)

[34] PETERS, JEFFREY C. GTAP-E-Power: An Electricity-detailed Extension of the GTAP-E model, 19th Annual Conference on Global Economic Analysis, Washington DC, USA
(https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/8346.pdf *)*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

فصل دوم

شناسایی محیط MESSAGE-ix از حیث امکانات و ابزارها، متدلوژی، محدودیتها و بررسی امکان پیاده سازی یک مدل نمونه در آن

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۱-۲-مقدمه

در این فصل از گزارش مدل *MESSAGE-ix* از حیث امکانات، روشها، متدلوژی و ابزارها مورد بررسی قرار می گیرد. در ابتدا معرفی اجمالی از مدل *MESSAGE-ix* صورت می پذیرد و سپس مشخصات مربوط به موارد زیر تبیین خواهد گردید:

- ✓ تعریف مجموعه ها و نگاشتها
- ✓ تعریف سال، دوره ها و بازه های زمانی
- ✓ تعریف پارامترها
- ✓ تعریف متغیرها
- ✓ تابع هدف
- ✓ تابع محاسبه هزینه سیستم در سطح ناحیه
- ✓ معادلات مربوط به منابع و کالاها
- ✓ معادلات مربوط به تکنولوژی
- ✓ نیازمندیهای قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری سیستم
- ✓ محدودیتهای مربوط به سهم تکنولوژیها و کالاها
- ✓ بخش انتشار
- ✓ شبیه ساز مدل استفاده از زمین
- ✓ روابط کلی (محدودیتهای خطی)
- ✓ ذخیره ساز

۲-۲- معرفی اجمالی مدل MESSAGE-ix و تفاوتهای آن با نسخه های قبلی

مدل *MESSAGE* قالبی است که از آن برای توسعه و اجرای مدلهای مختلف استفاده می شود. در ادامه مشخصات کلی مدل *MESSAGE* در جدول ۴ ارائه می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ٤- مشخصات کلی مدل MESSAGE [۱۷]

عنوان	شرح
زمینه	مدل *MESSAGE* که در موسسه *IIASA* توسعه داده شده و توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی پذیرفته شده و بعنوان یک مدل برنامه ریزی انرژی بین کشورهای عضو آژانس توزیع و آموزش داده شده است.
هدف	تحلیل سیاستها، توسعه ظرفیت بخش برق، استخراج ترکیب بهینه عرضه انرژی، توسعه سناریوها، تحلیل اقتصاد- انرژی- محیط زیست در بازه های میان مدت، کوتاه مدت و بلند مدت و ...
قلمرو جغرافیایی	توسط کاربر تعیین می شود
قلمرو زمانی	توسط کاربر تعیین می شود
بخشها	تمامی بخشهای اقتصادی (عرضه و تقاضا)
متدلوژی/ ساختار راه حل	ترکیبی از برنامه ریزی خطی پویا و مدلهای انرژی مهندسی (صحیح مختلط)
سطح آینده نگری	آینده نگری کامل/ ناقص[۳۸]
پیچیدگی	انعطاف پذیر- وابسته به فرمولاسیون مساله
آموزش	توسط *IAEA* و سایر سازمانها نظیر *IIASA, IRENA, ADB*

۳-۲- مشخصات کلی مدل MESSAGE-ix

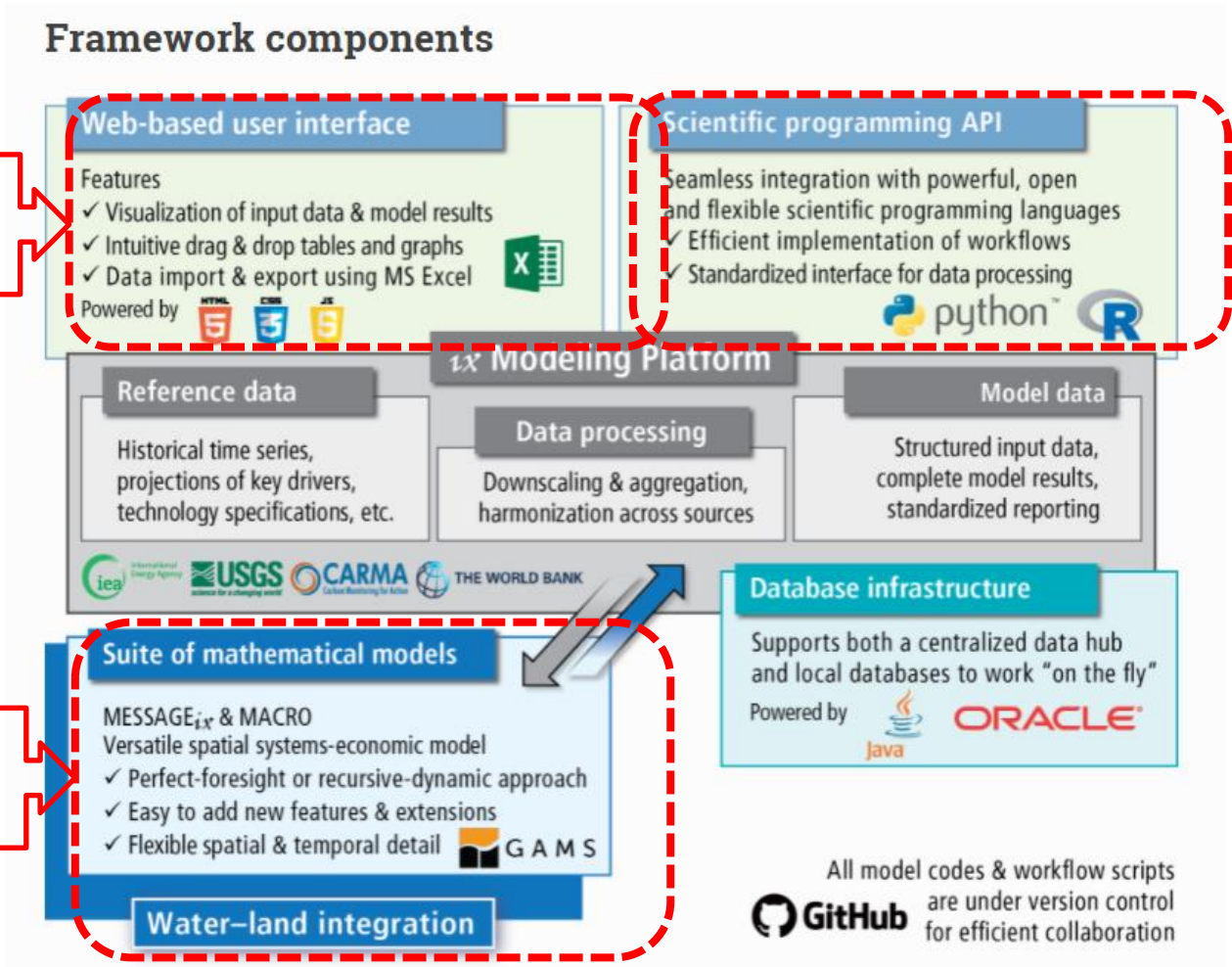
در واقع می توان از این مدل برای تحلیل سناریوهای تبدیل و تحول سیستم انرژی تحت محدودیتهای فنی- مهندسی و ملزومات سیاسی اجتماعی استفاده نمود. فرمولاسیون ریاضی مدل *MESSAGE* برای توسعه برنامه ریزی انرژی استرتژیک و سیستمهای یکپارچه انرژی- مهندسی- اقتصاد- محیط زیست (*E4*) مورد استفاده قرار می گیرد. در واقع فرمولاسیون مدل *MESSAGE-ix* اجرای دوباره و توسعه مجدد مدل *MESSAGE V* می باشد که نسخه های اولیه آن در سال ۱۹۸۰ توسط *IIASA* منتشر شده است *[۱]*.

رابط کاربری مربوط به برنامه ریزی مدل *MESSAGE-ix* با یک اپلیکیشن تحت وب که یک رابط کاربری گرافیکی[۳۹] است و از طریق هر مرورگر اینترنتی قابل دسترسی می باشد، تکمیل می گردد. این رابط موانع استفاده از این مدل را برطرف می سازد و چارچوب *ixmp* را برای کاربران قابل دسترسی می سازد. نسخه تحت وب این اپلیکیشن هنوز در حال توسعه و تکمیل می باشد و در آینده از قابلیت تحلیل و گرافیکی کردن داده های ورودی مدل، بهینه سازی نتایج و پردازش سریهای زمانی در سناریوهای مختلف برخوردار می باشد *[۲۰]*.

[38] *myopic mode possible*

[39] *Graphical user interface (GUI)*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28



شکل ٦- مولفه ها و ارتباط بین آنها در پلتفرم *MESSAGE-ix* مشتمل بر رابط کاربری تحت وب ، رابط برنامه ریزی علمی، پلتفرم مدلسازی، پایگاه داده و اجرای فرمولاسیون ریاضی مدل *MESSAGE-ix* [۱].

همانگونه که در شکل ۶ نیز مشاهده می شود، پلت فرم بر اساس چهار عنصر کلیدی ساخته شده است. هدف نهایی از این چارچوب توسعه قالبی برای بهبود شفافیت و تاثیر مدلسازی های سیاستی است. بلوکهای این پلتفرم به قرار زیر می باشند [۲۰]:

- مدل ریاضی *MESSAGEix-MACRO* که یک مدل ریاضی بهینه سازی حداقل کننده هزینه است که با مدل اقتصاد کلان، که در گمز ایجاد شده، یکپارچه می شود (بخش ۱ در شکل ۶).
- رابط کاربری برای برنامه ریزی علمی در زبانهای پایتون و *R* برای پردازش داده و اجرای مدل یکپارچه (بخش ۲ در شکل ۶).
- بکند[۴۰] جاوا که به معماری یک بانک اطلاعاتی برای مدیریت داده های سناریو لینک می شود.

[40] *A Java back-end*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

- *API* برای استاندارد سازی تبادل داده با استفاده از سرویسهای وب
- رابط کاربری که از طریق مرورگر وب برای مدیریت مدل/ سناریو و تحلیل داده/ نتایج در دسترس می باشد. این رابط کاربری خصوصیتهایی نظیر بصری سازی جداول پاشنه ای[41] و امکان دسترسی آسان به نسخه کامل داده ویژگیهای کنترلی را فراهم می آورد (بخش ۳ در شکل ۶).

همچنین مدل بهینه ساز از قابلیت لینک شدن به مدل تعادل عمومی *MACRO* برای ایجاد بازخورد بین قیمتها و تقاضای انرژی و کالاها برخوردار می باشد. پکیج *MESSAGE-ix* شامل کدهای مربوط به *MESSAGE*، *MACRO* و لینک بین *MESSAGE-MACRO* می باشد که با زبان برنامه نویسی *GAMS* نوشته شده و از آن برای محاسبه حل عددی استفاده می نماید. قالب جدید مدل *MESSAGE* امکان نمایش موارد زیر را فراهم می سازد *[۱]*:

- تکنولوژیهای انرژی با ورودیها و خروجیهای دلخواه که می توان از آن برای توصیف سیستم مرجع انرژی شامل زنجیره تامین سوخت، تکنولوژیهای تبدیل انرژی از فرم انرژی اولیه تا ثانویه، انتقال و توزیع و تقاضای نهایی برای خدمات انرژی.
- در نظر گرفتن ظرفیتهای موجود، بازنشستگی آنها و هزینه جمع کردن و برچیدن آنها پس از بازنشستگی
- سیستم یکپارچه شامل منابع متغیر انرژیهای تجدیدپذیر
- آزادسازی نرم[42] محدودیتهای پویای مربوط به ظرفیتها و فعالیتهای جدید
- آینده نگری کامل و الگوریتم حل رفت و برگشتی داینامیک

.

٤-۲- شناسایی محیط MESSAGE-ix از حیث امکانات و ابزارها، متدلوژی و محدودیتها

یکی از نکات قابل توجه در مطالعه امکانات مدل *MESSAGE-ix* این است که برای کاربران واسط کاربری در محیط زبان برنامه نویسی پایتون در نظر گرفته شده است و کاربر ورود اطلاعات را در آن محیط انجام می دهد. این در حالی است که از آنجا که هدف از این پروژه، ایجاد لینک بین مدل تعادل عمومی و مدل *MESSAGE-ix* است، لازم است در برخی بخشها تغییراتی در ساختار مدل ایجاد شود و صرف استفاده از محیط پایتون پاسخگوی این نیاز نمی باشد. بهمین منظور، برای شناسایی امکانات و معادلات و محدودیتهای این مدل مستقیما از کدهای گمز آن استفاده شده است و *RES* نمونه نیز در همان محیط تعریف شده است. لذا در این بخش سعی می شود که مشخصات مدل بر اساس آنچه در محیط گمز تعریف شده است، تعریف گردد. تبیین مشخصات مدل در قالب موارد زیر قابل انجام می باشد *[۲]*:

- تعریف مجموعه ها[43] شامل:

[41] *Pivot table*
[42] *Soft relaxation*
[43] *Sets and mappings*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

- ✓ مجموعه ها در اجرای ***MESSAGE*ix**
- ✓ انواع طبقه بندی ها و نگاشتها[۴۴]
- ✓ مجموعه های نگاشت[۴۵]
- ✓ مجموعه های نگاشت برای محدودیتها[۴۶]
- ✓ مجموعه های نگاشت برای متغیرهای ثابت[۴۷]

- تعریف سال، دوره ها و بازه های زمانی شامل:
  - ✓ سالها و دوره ها
  - ✓ بازه های زمانی
  - ✓ تنزیل
- تعریف پارامترها شامل:
  - ✓ پارامترهای عمومی و کلی برای اجرای ***MESSAGE*ix**
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش منابع
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش تقاضا
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش تکنولوژی
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده ها
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش شبیه ساز استفاده از زمین[۴۸]
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش محدودیتهای سهم[۴۹]
  - ✓ پارامترهای مربوط به بخش رابطه ها
  - ✓ مقادیر متغیرهای ثابت
  - ✓ پارامترهای کمکی[۵۰]
- فرمولاسیون مدل مشتمل بر:
  - ✓ تعریف متغیرها
  - ✓ تابع هدف

[44] *Mappings*
[45] *Mapping sets*
[46] *Mapping sets (flags) for bounds*
[47] *Mapping sets (flags) for fixed variables*
[48] *Land-Use model emulator section*
[49] *Share Constraints*
[50] *Auxiliary reporting parameters*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

- ✓ تابع محاسبه هزینه سیستم در سطح ناحیه
- ✓ معادلات مربوط به منابع و کالاها
- ✓ معادلات مربوط به تکنولوژی
- ✓ نیازمندیهای قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری سیستم
- ✓ محدودیتهای مربوط به سهم تکنولوژیها و کالاها
- ✓ بخش انتشار
- ✓ شبیه ساز مدل استفاده از زمین
- ✓ روابط کلی (محدودیتهای خطی)
- ✓ ذخیره ساز

۵-۲-تفاوتها و قابلیتهای اضافه شده در بخشهای تعریف مسئله، قیود، تابع هدف، قابلیتهای جدید و تنوع گزارشهای تولیدی

در ادامه می توان به مهمترین قابلیتهای اضافه شده در مدل بصورت زیر اشاره نمود:

- **قابلیت کد نویسی بصورت متن باز:** این مدل به دو صورت کد پایتون و گمز قابل استفاده می باشد. در صورتی که این مدل بصورت کد گمز مورد استفاده قرار گیرد، متن باز بوده و از قابلیت ویرایش برخوردار می باشد. لذا اغلب معادلات، محدودیتها و حتی تابع هدف در نسخه پایتون کما فی السابق برقرار می باشد و تفاوت اصلی آن با نسخه قبلی و قابلیت افزوده آن مربوط به نسخه گمز مدل است.
- **شبیه ساز مدل استفاده از زمین:** برای مدل *MESSAGE* سناریوهای استفاده از زمین تعریف شده است که این سناریوها در قالب هزینه های استفاده از زمین به تابع هدف اضافه خواهند شد. دلیل این موضوع نیز یکپارچه شدن مدل *MESSAGE* با سایر مدلها در قالب یکپارچه *AIM* می باشد.
- **امکان لحاظ نمودن تکنولوژیهای افزونه:** همانگونه که پیشتر نیز در این گزارش بدان اشاره شده است، برای مدل *MESSAGE* تکنولوژیهای افزونه مد نظر قرار گرفته است. تکنولوژیهای افزونه مربوط به حالتی هستند که رابطه ای بین دو تکنولوژی در نظر گرفته می شود که در آن یک تکنولوژی بعنوان والد تکنولوژی دیگر مد نظر قرار می گیرد. از این خاصیت مدل برای برای مدلسازی تکنولوژیهایی نظیر *CCS* و *passout-turbines* استفاده می شود. تکنولوژی های افزونه بعنوان تکنولوژیهای مجزایی مدل می شوند که فعالیت آنها به فعالیت تکنولوژی والد مرتبط می گردد. البته در ویرایشهای قبلی مدل *MESSAGE* امکان تعریف

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

این قابلیت از طریق *relation* وجود داشت ولی در این نسخه بصورت مشخص چنین قابلیتی در نظر گرفته شده است.

- **قابلیت اطمینان سیستم:** یکی از مواردی که در نسخه جدید مورد توجه قرار گرفته است، بررسی قابلیت اطمینان سیستم می باشد. قابلیت اطمینان معرف حد بالای مشارکت هر نوع تکنولوژی در محدودیتهای قابلیت اطمینان سیستم (*Reliability of installed capacity*) می باشد. برای تعریف قابلیت اطمینان ابتدا مفهوم ظرفیت قابل برنامه ریزی یا ظرفیت قابل اطمینان که برای حفظ قابلیت اطمینان سیستم در هنگام تغییرات منطقی یا پیشامدهای غیرمترقبه نوسانات بار در دسترس می باشد، تعریف شده است که چنین چیزی در نسخ قبلی مدل وجود نداشت. مدل برای هر تکنولوژی نیاز به ضریب قابلیت اطمینان دارد. همچنین ضریب دیگری که در مدل مد نظر قرار می گیرد، ضریب بار پیک است که بعنوان مثال در سیستم قدرت در آمریکا، منحنی های تداوم بار بیانگر آن است که بار پیک بصورت متوسط ۱/۷ متوسط بار می باشد (ضریب بار ۵۹ درصد).
- **قابلیت انعطاف پذیری سیستم:** پارامتر انعطاف پذیری بخش برق به معنای توانایی سیستم برق در تطابق با عرضه و تقاضا در هر مقطع زمانی می باشد. این خاصیت بدین صورت است که به هر تکنولوژی تولید یک ضریب بین ۱- و ۱ تخصیص داده می شود که در صورت مثبت بودن به معنای کسری از تولید یک تکنولوژی است که انعطاف پذیر در نظر گرفته می شود و در صورت منفی بودن به معنای تولید انعطاف پذیر اضافی لازم برای هر واحد از تکنولوژی تولید می باشد. ضریب منفی بر بار به معنای مقدار انرژی انعطاف پذیر لازم برای تامین تغییرات و عدم قطعیتها در تامین بار می باشد. این موضوع در نسخه های قبلی مدل *MESSAGE* وجود نداشت.
- **امکان در نظر گرفتن کششهای قیمتی در مدل *MACRO*:** یکی از مواردی که در نسخه جدید *MESSAGE* مورد توجه قرار گرفته است، امکان لحاظ کششهای قیمتی، پارامتر قیمت و تعیین تقاضا بر اساس متغیرهای کلان اقتصادی می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۲-٦- مراجع و منابع فصل دوم

[۱] https://docs.messageix.org/en/stable/framework.html

[۲] https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/sets_maps_def.html

[۳] https://docs.messageix.org/en/stable/time.html

[۴] https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/parameter_def.html

[۵]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#variable-definitions

[۶]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#objective-function

[۷]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#regional-system-cost-accounting-function

[۸]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#resource-and-commodity-section

[۹]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#technology-section

[۱۰]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#system-reliability-and-flexibility-requirements

[۱۱]https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#constraints-on-shares-of-technologies-and-commodities

[۱۲] Patrick Sullivan, Volker Krey, and Keywan Riahi. Impacts of considering electric sector variability and reliability in the MESSAGE model. **Energy Strategy Reviews**, 1(3):157 – 163, 2013.

[۱۳] https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#emission-section

[۱۴] https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#land-use-model-emulator-section

[۱۵]

https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#section-of-generic-relations-linear-constraints

[۱۶]

https://docs.messageix.org/en/stable/model/MESSAGE/model_core.html#storage-section

[۱۷] Rogner, H-Holger. IIASA's Integrated Assessment Framework and its application for the Pathways Project: Modelling approach (https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/CSE/PATHWAYS/2019/ws_Consult_14_15.May.2019/supp_doc/IIASA-IntegratedAssesm.PDF)

[۱۸] https://www.iamcdocumentation.eu/index.php/Model_scope_and_methods_-_MESSAGE-GLOBIOM

[۱۹] IIASA Energy, Climate, and Environment (ECE) Program (2021). MESSAGEix-GLOBIOM Release 2020

[۲۰] Huppmanny, Daniel. Gidden, Matthew, Fricko, Oliver, Kolp, Peter (2019). The MESSAGEix Integrated Assessment Model and the ix modeling platform (ixmp): An open framework for integrated and cross-cutting analysis of energy, climate, the environment, and sustainable development. Environmental Modelling & Software 112:143-156, 2019

[۲۱] Herreras Martínez, Sara, Koberle, Alexandre, Rochedo, Pedro, Schaeffer, Roberto, Lucena, Andre, Szklo, Alexandre, Ashina, Shuichi, Vuuren, Detlef P. van (2015). Possible energy futures for Brazil and Latin America in conservative and stringent mitigation pathways up to 2050. Technological Forecasting & Social Change 98 (2015) 186–210

[۲۲] Thambi, S., Bhatacharya, A., & Fricko, O.(2018). India's Energy and Emissions Outlook: Results from India Energy Model. NITI Aayog (National Institution for Transforming India) (http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15536/)

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

[۲۳] Xin TAN, Zijian, ZHAO, Changyi, LIU, Shining, Zhang (2019). Energy Demand Prediction of the Building Sector Based on Induced Kernel Method and MESSAGEix Model. Chinese Journal of Urban and Environmental Studies Vol. 7, No. 4 (2019)

[۲۴] https://gains.iiasa.ac.at/models/gains_models4.html

[۲۵] IIASA Energy Research Group (2016). Message Documentation Release 0.1 July 26, 2016

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

فصل سوم

تدوین چارچوب مفهومی مدل هیبریدی لینک سخت حاوی مشخصات و ویژگیهای مدل اقتصاد کلان و مدل پایین به بالا، و تدوین مدل در محیط *MESSAGE-ix*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۳-۱- مقدمه

پس از شناسایی امکانات، محدودیتها، پارامترها، متغیرها و معادلات مدل *MESSAGE-ix*، در ادامه یک مثال نمونه در محیط *GAMS* و پایتون پیاده سازی، اجرا و نحوه مدلسازی آن در اینجا ارائه می گردد. در نهایت نیز نتایج حاصل از اجرای مدل در قالب گرافیکی در گزارش ارائه خواهد شد. لذا گزارش این فصل شامل موارد زیر می باشد:

- معرفی سیستم مرجع انرژی نمونه که بعنوان مثال ساده در مدل *MESSAGE-ix* مدلسازی می گردد. در ابتدا مدلسازی برای یک مثال ساده به انجام می رسد و سپس قابلیتهای جدید نظیر انعطاف پذیری، قابلیت اطمینان، امکان تقسیم بندی روز به بازه های مختلف، ذخیره سازها و ... به مدل اضافه شده و خروجیها برای هر دو مدل در فصل سوم ارائه می گردد.
- نحوه مدلسازی یک مدل نمونه پایین به بالا بر مبنای *RES* ساده در محیط *MESSAGE-ix* با کد گمز و اجرای آن
- ارائه خروجیها بصورت نتایج عددی و خروجیهای گرافیکی

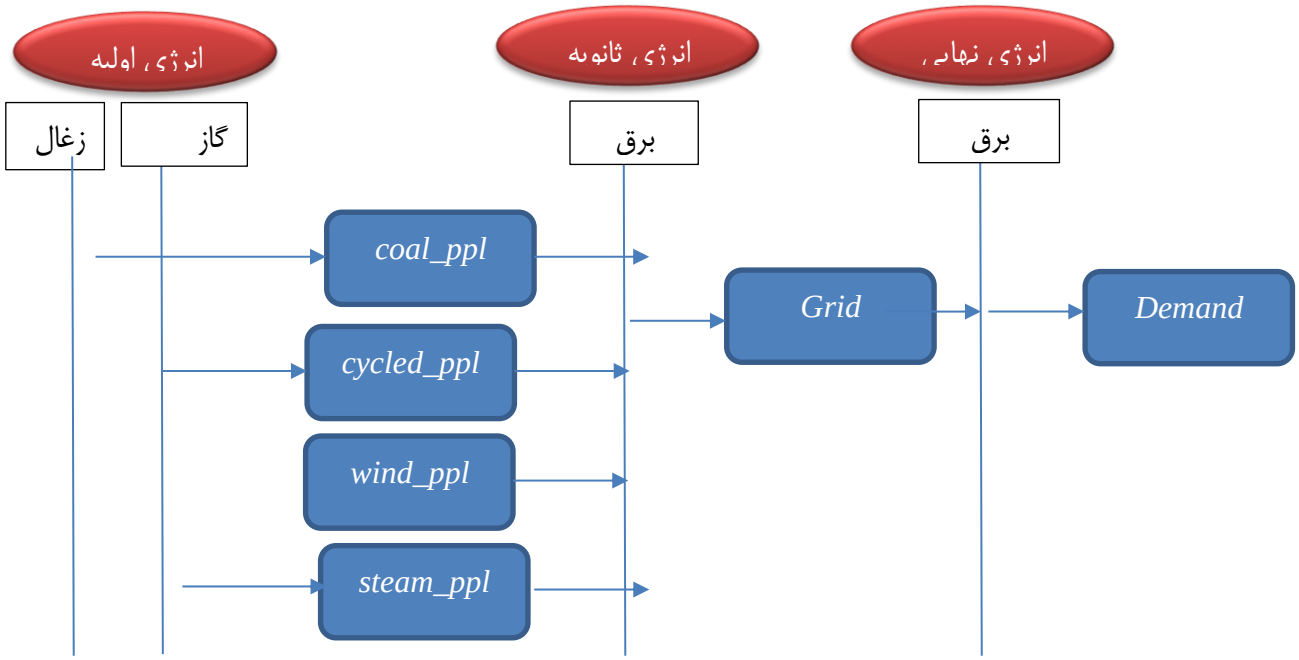
۳-۲- سیستم مرجع انرژی نمونه

در ادامه سعی می شود که یک مدل نمونه پایین به بالا مبتنی بر مدل *MESSAGE-ix* تدوین گردد. برای این کار نیاز است که ابتدا جزئیات سیستم مرجع انرژی نمونه مشخص گردد و سپس بر اساس آن مجموعه ها، پارامترها، نگاشتها و معادلات در مدل و مقادیر آنها تعریف شوند. برای مدلسازی انرژی در مدل *MESSAGE-ix* یک مثال ساده در نظر گرفته شده که فرض می شود سیستم مرجع انرژی مذکور دارای مشخصات زیر باشد:

- این مثال از پنج تکنولوژی تشکیل شده است که شامل نیروگاه حرارتی سیکل ترکیبی، نیروگاه بخاری، نیروگاه زغالسنگ، نیروگاه تجدیدپذیر بادی و شبکه انتقال می باشد
- منابع تولید برق نیز مشتمل بر گازطبیعی، زغالسنگ و باد می باشند.
- برای مدلسازی نیز سه لایه انرژی اولیه، انرژی ثانویه و انرژی نهایی در نظر گرفته شده است.
- مقدار تقاضای انرژی نهایی بصورت برونزا به مدل داده می شود
- در کل مدل حاوی سه کالا (زغال، برق و گازطبیعی) و یک گره (*World*) می باشد

سیستم مرجع نمونه که در اینجا مدل شده و مورد بررسی قرار می گرد به شکل ۷ می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28



شکل ۷- سیستم مرجع نمونه مدل شده در مطالعه حاضر

۳-۳- نتایج حاصل از اجرای مثال ایران در مدل ***MESSAGE-ix*** بدون لینک

برای اجرای این مدل از کد گمز زیر استفاده می شود:

Include Time-Period-3$

Include BUModel-iteration0-0$

نتایج حاصل از اجرای *MESSAGE-ix* برای مثال ایران، قبل از برقراری لینک، بشرح جدول ۵ تا جدول ۷ است. توجه شود که مثال مدلسازی ساده است و جوابها در قالب ساده حاصل شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۵- مقادیر متغیرهای ظرفیت جدید در هر سال و کل ظرفیت برای مثال ایران در مدل MESSAGE-ix

مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر	مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر
۱۷۳/۹	۲۰۲۰	بادی	ظرفیت جدید در هر سال	*CAP_NEW*	--	۲۰۲۰	سیکل ترکیبی	ظرفیت جدید در هر سال	*CAP_NEW*
۴۵۹/۲	۲۰۲۰	خورشیدی			۷۰۱۰/۱	۲۰۲۱			
۲۰۵۳۶	۲۰۳۴				۱۴۰۶/۸	۲۰۲۲			
۲۴۷۷۱	۲۰۳۵				۱۵۶۷/۱۴	۲۰۲۳			
۲۸۱۷۹	۲۰۳۶				۱۸۲۴/۱۸	۲۰۲۴			
۹۱۸	۲۰۲۰	اتمی			۱۹۷۸/۰۷	۲۰۲۵			
۵۳۹۵۱	۲۰۲۰	گازی			۱۸۹۹/۸	۲۰۲۶			
۱۱۲۸۱	۲۰۲۰	برقابی			۱۹۴۱/۶۹	۲۰۲۷			
					۲۰۴۳/۹	۲۰۲۸			
					۲۱۶۸/۳	۲۰۲۹			
					۲۲۴۸/۵	۲۰۳۰			
					۷۲۷۹/۲	۲۰۳۱			
					۱۶۷۷۷	۲۰۳۲			
					۲۲۸۶۰	۲۰۳۳			
					۱۱۳۹	۲۰۳۴			
۴۶۴/۳	۲۰۲۰	خورشیدی	ظرفیت	*CAP*	۳۱۹۷۰	۲۰۲۰	سیکل ترکیبی	کل ظرفیت	*CAP*
۴۵۹/۲	۲۰۲۱ تا ۲۰۳۳				۳۸۹۸۰	۲۰۲۱			
۲۰۹۹۵/۵	۲۰۳۴				۴۰۳۸۷	۲۰۲۲			
۴۵۷۶۶/۵	۲۰۳۵				۴۱۹۵۵	۲۰۲۳			
۷۳۹۴۶/۲	۲۰۳۶				۴۳۷۷۹	۲۰۲۴			
۱۰۲۰	۲۰۲۰	اتمی			۴۵۷۵۷	۲۰۲۵			
۲۷۵۵۱	از ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰	گازی			۴۷۶۵۷	۲۰۲۶			
۱۸۲۶۴	۲۰۳۱				۴۹۵۹۸	۲۰۲۷			
۱۹۷۶۷	۲۰۲۰	برقابی			۵۱۶۴۲	۲۰۲۸			
۲۰۴۹	۲۰۲۱ تا۲۰۳۶				۵۳۸۱۰	۲۰۲۹			
۲۶۳/۷	۲۰۲۰	بادی			۵۶۰۵۹	۲۰۳۰			
۱۵۷۰۴	از ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۱	بخاری			۶۳۳۳۸	۲۰۳۱			
۱۳۷۵۶/۳	۲۰۳۲				۸۰۱۱۵	۲۰۳۲			
۴۴۳/۲	۲۰۳۳				۱۰۲۹۷۶	۲۰۳۳			
۴۴۳/۲	۲۰۳۴				۱۰۴۱۱۴	۲۰۳۴			
۴۴۳/۲	۲۰۳۵				۱۰۴۱۱۴	۲۰۳۵			
					۱۰۴۰۸۷	۲۰۳۶			

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ٦- مقادیر تولید در هر سال برای مثال ایران در مدل MESSAGE-ix

مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر	مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر
۷۳	۲۰۲۰				۱۷۹۵۰	۲۰۲۰			
۷۳	۲۰۲۱				۲۱۸۸۶	۲۰۲۱			
۷۳	۲۰۲۲				۲۲۶۷۶	۲۰۲۲			
۷۳	۲۰۲۳				۲۳۵۵۶	۲۰۲۳			
۷۳	۲۰۲۴				۲۴۵۸۰	۲۰۲۴			
۷۳	۲۰۲۵				۲۵۶۹۱	۲۰۲۵			
۷۳	۲۰۲۶				۲۶۷۵۷	۲۰۲۶			
۷۳	۲۰۲۷				۲۷۸۴۸	۲۰۲۷			
۷۳	۲۰۲۸	خورشیدی			۲۸۹۹۵	۲۰۲۸	سیکل ترکیبی		
۷۳	۲۰۲۹				۳۰۲۱۳	۲۰۲۹			
۷۳	۲۰۳۰				۳۱۴۷۵	۲۰۳۰			
۷۳	۲۰۳۱				۳۵۵۶۳	۲۰۳۱			
۷۳	۲۰۳۲				۴۴۹۸۳	۲۰۳۲			
۷۳	۲۰۳۳				۵۷۸۱۷	۲۰۳۳			
۳۳۷۷	۲۰۳۴				۵۸۴۵۶	۲۰۳۴			
۷۱۴۳	۲۰۳۵				۵۸۴۵۶	۲۰۳۵			
۱۱۵۴۱	۲۰۳۶				۵۸۴۴۱	۲۰۳۶			
۸۱۵۴	۲۰۲۰		تولید	*ACT*	۶۹	۲۰۲۰	بادی	تولید	*ACT*
۸۱۵۴	۲۰۲۱				۶۲۴	۲۰۲۰	اتمی		
۸۱۵۴	۲۰۲۲				۲۵۳۲	۲۰۲۰			
۸۱۵۴	۲۰۲۳				۲۶۲	۲۰۲۱			
۸۱۵۴	۲۰۲۴				۲۶۲	۲۰۲۲			
۸۱۵۴	۲۰۲۵				۲۶۲	۲۰۲۳			
۸۱۵۴	۲۰۲۶				۲۶۲	۲۰۲۴			
۸۱۵۴	۲۰۲۷				۲۶۲	۲۰۲۵			
۸۱۵۴	۲۰۲۸				۲۶۲	۲۰۲۶			
۸۱۵۴	۲۰۲۹				۲۶۲	۲۰۲۷			
۸۱۵۴	۲۰۳۰				۲۶۲	۲۰۲۸	برقابی		
۵۴۰۵	۲۰۳۱				۲۶۲	۲۰۲۹			
=	۲۰۳۲				۲۶۲	۲۰۳۰			
=	۲۰۳۳				۲۶۲	۲۰۳۱			
	۲۰۳۴				۲۶۲	۲۰۳۲			
	۲۰۳۵				۲۶۲	۲۰۳۳			
	۲۰۳۶				۲۶۲	۲۰۳۴			
					۲۶۲	۲۰۳۵			
					۲۶۲	۲۰۳۶			

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۷- پاسخهای حاصل از کد گمز پس از بهینه سازی برای مثال ایران در مدل MESSAGE-ix برای استخراج منابع

مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر	مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر
۹۹۵۹۳/۸	۲۰۳۲	گازطبیعی	میزان استخراج گازطبیعی یا زغال	*EXT*	۷۵۳۶۳/۰۴	۲۰۲۰	گازطبیعی	میزان استخراج گازطبیعی یا زغال	*EXT*
۹۵۹۷۹/۰۲	۲۰۳۳				۸۴۷۱۴/۲	۲۰۲۱			
۹۶۲۰۷/۵۷	۲۰۳۴				۸۶۰۱۴/۱	۲۰۲۲			
۹۷۰۳۱/۱۶	۲۰۳۵				۸۷۴۶۲/۲۴	۲۰۲۳			
۹۶۱۸۲/۵۸	۲۰۳۶				۸۹۱۴۷/۹	۲۰۲۴			
					۹۰۹۷۵/۷	۲۰۲۵			
۱۷۷۶/۵	۲۰۲۰	اورانیوم(اتمی)	استخراج اورانیوم	*EXT*	۹۲۷۳۱/۳	۲۰۲۶			
					۹۴۵۲۵/۵	۲۰۲۷			
					۹۶۴۱۴/۲	۲۰۲۸			
					۹۸۴۱۷/۹	۲۰۲۹			
					۱۰۰۰۰۰	۲۰۳۰			
					۱۰۰۶۴۰	۲۰۳۱			

٤-۳-مدل استاتیک رادرفورد- بورینگر

در ابتدا مدل ساده با یک کالای غیر انرژی که با بکارگیری عوامل تولید نظیر نیروی کار، سرمایه و انرژی تحت بازدهی ثابت به مقیاس تولید می شود، در نظر گرفته می شود. اقتصاد بسته است. سه کالای انرژی مشتمل بر فرآورده های نفتی، زغال و گازطبیعی با در نظرگرفتن بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس تولید می شوند. تقاضای نهایی نیز شامل کالاهای غیر انرژی، برق و انرژی غیر الکتریکی می باشد. برای سادگی کار در ابتدا فرض می شود که مالیات بر کالاهای عمومی وجود ندارد. تعریف مدل استاتیک در قالب مراحل زیر به انجام رسیده است:

- تعریف ماتریس حسابداری اجتماعی مدل و کد گمز آن
- تعریف جزئی تر ماتریس حسابداری اجتماعی، تفکیک ستون برق و کد گمز آن
- تعریف مجموعه ها در مدل و کد گمز آن
- معرفی پارامترهای مدل اعم از مقادیر کششها، کالیبراسیون ضرایب و ... و تعریف آن در کد گمز
- تعریف متغیرها و کد گمز آن
- تعریف معادلات اعم از شروط سود صفر، تسویه بازار و محدودیتهای درآمدی
- کالیبراسیون ضرایب
- تعریف مقادیر پایه متغیرها

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۵-۳- روش برقراری لینک در مدل مربوط به مثال حاضر

مراحل برقراری لینک بین مدل پایین- بالای *MESSAGE-ix* و مدل بالا به پایین اقتصادی در گامهای مختلف انجام می شود عبارتند از:

- اجرای مدل پایین- بالا و تدقیق ماتریس داده های خرد بر اساس اجرای آن، تبیین مقدار منابع لازم برای تولید و در نظر گرفتن هزینه های سرمایه ای و سوخت در مدل بالا به پایین
- اجرای مدل بالا- پایین و تبادل قیمتها و تقاضای انرژی با مدل پایین به بالا
- اجرای مدل پایین به بالا و تبادل عرضه انرژی با مدل بالا به پایین
- چک کردن شرط همگرایی در هر مرحله

۱-۵-۳- اجرای مدل پایین- بالا و تدقیق ماتریس داده های خرد بر اساس اجرای آن

مرحله اول در برقراری لینک بین مدل تدقیق ماتریس داده های خرد در مدل بالا- پایین می باشد. برای این مثال ساده فرض می شود که ماتریس زیر همان ماتریس حسابداری اجتماعی ایران باشد و لذا ساختار آن با توجه به اجرای مدل *MESSAGE-ix* تغییر می یابد. ماتریس حسابداری اجتماعی مدل بالا- پایین بصورت جدول ۸ می باشد:

جدول ۸- نمونه ای از مجموعه داده های سال پایه[1]

	Y	گاز	فرآورده های نفتی و سوخت هسته ای	برق	خانوار
Y	۳۰۸۶۴	-۷۱	-۲۵۲	-۲۶۷	-۳۰۲۷۴
گاز	-۸۳	۲۴۹	-۳۳	-۸۶	-۴۷
فرآورده های نفتی و سوخت هسته ای	-۷۳۳	-۲	۱۲۴۱	-۱۳۹	-۳۶۷
برق	-۷۴۶	-۴	-۲۹	۱۱۲۶	-۳۴۷
نیروی کار	-۱۷۰۸۸	-۳۵	-۱۶۱	-۱۸۰	۱۷۴۶۴
سرمایه	-۱۲۲۱۴	-۹۹	-۴۵۱	-۴۵۴	۱۳۲۱۸
اجاره		-۳۸	-۳۱۵		۳۵۳

۱-۱-۵-۳- بروز رسانی ستون برق در ماتریس داده های خرد بر مبنای اطلاعات مدل پایین به بالا

مواردی که در ماتریس جدول ۸ بر مبنای نتایج مدل پایین – بالا تغییر می یابند عبارتند از:

- تفکیک سلول برق- برق با توجه به تولید نیروگاههای مختلف
- تفکیک ستون برق در رابطه با سطرهای گاز و زغالسنگ و فرآورده های نفتی و سایر
- عوامل تولید نظیر نیروی کار و سرمایه و کالاهای غیر انرژی باید به تفکیک نیروگاهها محاسبه شوند

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۱-۱-۱-۵-۳- تفکیک سلول برق- برق با توجه به تولید نیروگاههای مختلف

از آنجا که سال پایه مدل سال ۲۰۱۰ انتخاب شده است، لذا سلول برق- برق بر مبنای تولید تکنولوژیهای مختلف تفکیک می گردد. پیشتر پارامتر *elecgen* برای تولید تکنولوژیهای مختلف تعریف شده که پس از برقراری لینک لازم است مجدد در کد گمز لینک تعریف گردد.

```
parameter     elecgen /
              cycled        70786
              wind          19.06
              PV            20.1
              steam_ppl     94073
              nuclear_ppl   172.86
              gas_ppl       58400
              hydro_ppl     9523
;/
```

لازم به توضیح است که برای این منظور باید مجموعه تکنولوژیهای تولید برق نیز در کد گمز لینک تعریف شوند. لذا داریم:

```
set   kg    Specific capital stocks in non-fossil fuel production (dynamic version)
/           y,cycled,gas,steam,nuclear,hydro,wind,solar,biomass,grid;/

set   t(kg) Electricity technologies (current and future)
/           cycled,gas,steam,nuclear,hydro,wind,solar,biomass,grid;/

set   xt(t) Existing technologies / cycled,gas,steam,nuclear,hydro, wind,solar,/
set   nt(t) New vintage technologies / biomass;/
set   ff    Fossil fuel inputs / gas, nuclear;/
set   n     Natural resources /wind, sun, trees, water;/
set   res(t) Renewable energy sources /hydro, wind, solar, biomass;/
```

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

لذا ورودیهای لازم جهت تشکیل سطر افقی *xtelec("ele",xt)*[1] آماده شده است.

۲-۱-۵-۳- تفکیک سطرهای انرژی- ستون برق با توجه به مصرف سوخت نیروگاههای مختلف

از آنجا که تنها تقاضای بخش برق از گاز مربوط به نیروگاههای سیکل ترکیبی، گازی و بخاری است، لذا سوخت هسته ای برای نیروگاه اتمی و مقدار گاز مصرفی نیروگاهها نیز با توجه به راندمان آنها و مقادیر سوخت آمار تفصیلی تفکیک می گردد. سایر نیروگاهها نظیر بیومس، بادی و خورشیدی نیز فاقد سوخت مصرفی می باشند و لذا سلول تقاطع آنها با سوخت مصرفی صفر است.

با توجه به اینکه ماتریس مربوط به سال پایه ۲۰۱۰ است، لذا مقادیر سوخت مصرفی با توجه به ضرایب محاسبه شده در جدول ۹ به تفکیک برای نیروگاههای گازی؛ بخاری و سیکل ترکیبی محاسبه می گردد.

جدول ۹- مقادیر گاز مصرفی نیروگاههای مختلف در سال ۲۰۱۰

	گاز مصرفی(میلیون مترمکعب)	سهم گاز مصرفی (درصد)
در نیروگاههای بخاری	۱۵۹۱۲	۳۵/۴۵
در نیروگاههای گازی	۱۵۶۴۲	۳۴/۸۵
در نیروگاههای چرخه ترکیبی	۱۳۳۳۶	۲۹/۷۱
مجموع	۴۴۸۹۰	۱۰۰

لذا همانگونه که در جدول ۹ نیز محاسبه شده است، سهم گاز مصرفی در سال ۲۰۱۰ برای نیروگاههای مختلف ارائه شده که از آن برای تدوین کدهای زیر استفاده می گردد.

```
xtelec("gas","gas_ppl")  = sam("gas","ele")*0.3485;
xtelec("gas","cycled_ppl")  = sam("gas","ele")*0.2971;
xtelec("gas","steam_ppl")  = sam("gas","ele")*0.3545;
xtelec("oil","nuclear") = sam("oil","ele");
```

۳-۱-۵-۳- تفکیک سطرهای غیر انرژی – ستون برق با توجه به تولید نیروگاهها

از آنجا که سال پایه مدل سال ۲۰۱۰ انتخاب شده است، لذا تلاقی سطرهای کالای غیر انرژی (Y)، نیروی کار و سرمایه با ستون برق بر مبنای تولید تکنولوژیهای مختلف تفکیک می گردد. پیشتر پارامتر *elecgen* برای تولید تکنولوژیهای مختلف تعریف شده و از همان روند برای تغییرات کد گمز مدل بالا به پایین استفاده می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

```
xtelec("other",xt)   = xtelec("ele",xt) + xtelec("oil",xt) + xtelec("gas",xt);
set nfuel /y,capital,labor;/
elecgen("nonfuel") = sum(nfuel,sam(nfuel,"ele"));
xtelec(nfuel,xt)   = - xtelec("other",xt) * sam(nfuel,"ele")/elecgen("nonfuel");
xtelec("other",xt) = 0;
```

٤-١-٥-٣- تبیین تکنولوژیهای نوین در جدول ntelec و تعریف پتانسیل منابع آن

در این مدل تکنولوژی زیست توده به عنوان تکنولوژی نوین مد نظر قرار می گیرد. با توجه به خروجیهای مدل *MESSAGE*، هزینه برق تمام شده زیست توده حدود ۴ برابر تکنولوژیهای گازسوز مرسوم می باشد[۱]. مقدار مشخصی از نسبت هزینه های سرمایه، نیروی کار و مواد واسطه ای در اختیار نیست. لذا چنانچه نسبتهای مثال اولیه حفظ شود داریم:

```
         biomass
ele        1.0
Y         -1.54
capital    -1.54
labor      -0.92
trees      -1;
```

٥-١-٥-٣- بروز زسانی معادلات در مدل بالا به پایین و برقرار کردن لینک بین دو مدل با توجه به نتایج مدل پایین – بالا

برای اینکه مدل یکپارچه تدوین گردد، لازم است که با توجه به متدلوژی رادرفورد- بورینگر شرط سود صفر برای برق حذف و به جای آن متغیر *ele* که معرف تولید برق توسط هر تکنولوژی است، با نتایج مدل پایین به بالا جایگزین گردد. برای مکانیزم جایگزینی از روش لنز و راش استفاده می گردد. لنز و راش[۵۱] (۲۰۱۱) در مقاله خود پیشنهاد کرده اند که شروط سود صفر مربوط به تکنولوژیهای تولید حذف و شرط تسویه بازار بصورت زیر مورد بازبینی قرار گیرد:

- حدف شرط سود صفر مربوط به برق: لذا معادله زیر از مدل حذف می گردد. پیشتر سود هر واحد برق تولیدی در فصل اول بصورت زیر تعریف شده بود:

[51] *Lanz Bruno, Rausch Sebastian(2011). General Equilibrium,Electricity Generation Technologies and the Cost of Carbon Abatement. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

$$\prod_t^{Ele} = p_{ELE} - \theta_t^Y p_y - \theta_t^K r_K - \theta_t^L p_L - \sum_f \theta_{ft}{}^F p_f - \mu_t$$

θ_t^Y: بیانگر ضریب نهاده کالای اقتصادی برای تکنولوژی t می باشد

θ_t^K بیانگر ضریب نهاده سرمایه می باشد

θ_t^L بیانگر ضریب نهاده نیروی کار می باشد

θ_{ft}^F بیانگر ضریب نهاده انرژی می باشد

Ele_t : متغیر مکمل مربوطه است

μ_t :معرف قیمت سایه ای ظرفیتهای تولید می باشد[۵۲]

- شرط تسویه بازار مربوط به برق: شرط تسویه بازار پیشتر در مدل بصورت زیر تعریف شده بود[۵۳].عرضه کالا از تقاضای آن بیشتر و لذا شرط تسویه بازار به شکل زیر تعریف شده بود:

```
mkt_pele..
     sum(t, ele(t))  =G=
     (-sam("ele","ra"))*c*(pc/ (theta_ele_c*pele**(1-esubc_ele(
+     (۱-theta_ele_c)*(prod(ff, pf(ff)**theta_ff_nele_c(ff)))**(1-esubc_ele)(
**     (۱/(۱-esubc_ele)))**esubc* (((theta_ele_c*pele**(1-esubc_ele(
+     (۱-theta_ele_c)*(prod(ff, pf(ff)**theta_ff_nele_c(ff)))**(1-esubc_ele)(
**     (۱/(۱-esubc_ele)))/pele )**esubc_ele + sum(ff, (-sam("ele",ff))*x(ff * (
)))theta_r_ff(ff)*pq(ff)**(1-esub_ff(ff)) + (1-theta_r_ff(ff))*( theta_l_ff(ff)*pl
+theta_k_ff(ff)*pk + theta_y_ff(ff)*py + theta_ele_ff(ff)*pele + sum(f$(not
sameas(f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f)))**(1-esub_ff(ff)))**(1/(1-esub_ff(ff (((
))/theta_l_ff(ff)*pl + theta_k_ff(ff)*pk + theta_y_ff(ff)*py +
```

[۵۲] لازم به توضیح است که در کد گمز حد بالایی تعریف شده است که اگر تولید بالاتر از آن انجام شود جریمه تولید یا قیمت سایه ای آن به هزینه های تولید برق اضافه می شود. بهمین دلیل عبارت *plim(t)$limit(t)}$xt(t)* به هزینه ها اضافه شده است.

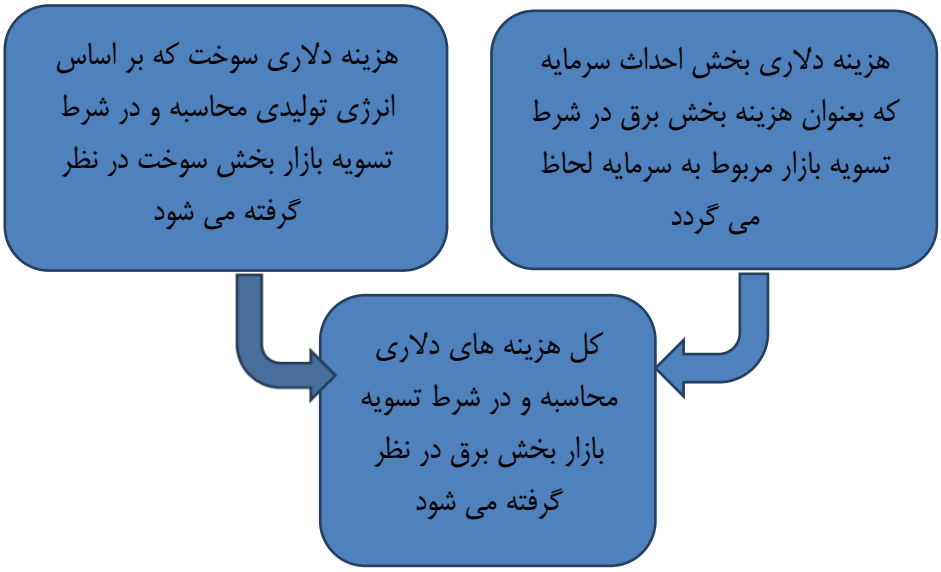
[۵۳] در مقاله لنز و راش (۲۰۱۱)، شرط تسویه بازار بصورت عبارت زیر نوشته شده است:

$$\sum_{g,z,t}^{\square} ele^{g,z(n-1)} = D^{ELE(n)} \perp P^{ELE(n)}$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

*theta_ele_ff(ff)*pele + sum(f$(not sameas(f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f)))**esub_ff(ff + ((((-sam("ele","y"))*y*(py/(pele**(theta_ele_e)* (sum(ff, theta_ff_nele(ff)*pf(ff)**(1-esub_nele))**(1/(1-esub_nele))** ((۱-theta_ele_e)))**esub*((pele**(theta_ele_e)* (sum(ff, theta_ff_nele(ff)*pf(ff)**(1-esub_nele))**(1/(1-esub_nele))(
** (۱-theta_ele_e))/pele;(*

پس از برقراری لینک در شرط تسویه بازار در بالا عبارت *sum(t, ele(t))* در سمت چپ، بصورت برونزا می باشد. در واقع *sum(t, ele(t))* همان نتایج تولید برق است که از مدل پایین به بالا بصورت برونزا به مدل بالا به پایین وارد شده است. نکته اساسی این است که هزینه های سالانه باید بصورت دلاری برای بخش برق وارد گردد. لذا در ابتدا هزینه ها به تفکیک دو بخش هزینه های انرژی و هزینه های سرمایه گذاری و تعمیرات و نگهداری در جدول ۱۰ محاسبه می گردد. جانمایی هزینه های دلاری بخش برق در مدل بالا به پایین پس از اعمال لینک در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸- نحوه تغییرات شروط تسویه بازار پس از اعمال لینک

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۱۰- هزینه های احداث و بهره برداری از نیروگاهها

	هزینه سرمایه گذاری (دلار)	هزینه ثابت (دلار/ کیلووات)	هزینه های عملیاتی متغیر به جز هزینه سوخت (دلار بر کیلواتسال)	هزینه سوخت[۵۴] گاز (دلار/ مگاواتسال)
سیکل ترکیبی	۵۶۵	۱۰/۳۲		۱۳۷۷۵۷/۹۵
گازی	۴۰۴	۱۱/۶۴		۲۲۷۴۵۳/۷۹
بخاری	۱۰۰۰	۷/۲		۲۰۰۲۹۳/۶۷
اتمی	۴۵۰۰	۵۷/۷	۵۷/۸۱	۵۷/۸۱
برقابی	۶۰۰	۱۲		--
بادی	۸۰۰ (در سالهای مختلف متفاوت است)	۳۹ دلار بر کیلووات (در انتهای دوره)		--
خورشیدی	۵۰۰ (در سالهای مختلف متفاوت است)	۹/۵۵ دلار بر کیلووات (در انتهای دوره)		--

لذا شرط تسویه بازار بصورت زیر مورد باز بینی قرار می گیرد:

```
mkt_pele..
     sum(t, energy_cost(t,year)+capital_cost(t,year)) =G=
     (-sam("ele","ra"))*c*(pc/ (theta_ele_c*pele**(1-esubc_ele(
+    (۱-theta_ele_c)*(prod(ff, pf(ff)**theta_ff_nele_c(ff)))**(1-esubc_ele)(
**   (۱/(۱-esubc_ele)))**esubc* (((theta_ele_c*pele**(1-esubc_ele(
+    (۱-theta_ele_c)*(prod(ff, pf(ff)**theta_ff_nele_c(ff)))**(1-esubc_ele)(
**   (۱/(۱-esubc_ele)))/pele )**esubc_ele + sum(ff, (-sam("ele",ff))*x(ff *  (
)))theta_r_ff(ff)*pq(ff)**(1-esub_ff(ff)) + (1-theta_r_ff(ff))*( theta_l_ff(ff)*pl
+theta_k_ff(ff)*pk + theta_y_ff(ff)*py + theta_ele_ff(ff)*pele + sum(f$(not
sameas(f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f)))**(1-esub_ff(ff)))**(1/(1-esub_ff(ff  (((
```

[۵۴] برای هزینه سوخت گاز از محاسبات پیشین مدل *MESSAGE* در دوره های قبلی استفاده شده است. چنانچه هزینه هر مترمکعب گاز ۱۰ سنت در نظر گرفته شود،لذا با در نظر گرفتن ارزش حرارتی هر مترمکعب معادل با ۳۷/۶۸ مگاژول و هر کیلوواتساعت معادل با ۳۶۰۰۰۰۰ ژول می توان معادل هر مترمکعب گاز طبیعی را بصورت زیر محاسبه کرد:

$$1m^3 \rightarrow \frac{37.68 * 1000000}{3600000} kwh = 10.46kwh \Rightarrow Cost = 10\ cent$$

با توجه به اینکه راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی معادل با ۶۰ درصد می باشد، لذا برای تولید هر مگاواتسال برق به حدود ۱.۶۴۵۸ مگاواتسال گاز طبیعی نیاز می باشد. با در نظر گرفتن هزینه ۱۰ سنت برای ۱۰.۴۶کیلوواتساعت برق، هزینه تولید هر مگاواتسال برق معادل با با ۱۳۷۷۵۸ دلار خواهد بود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

*)/theta_l_ff(ff)*pl + theta_k_ff(ff)*pk + theta_y_ff(ff)*py + theta_ele_ff(ff)*pele + sum(f$(not sameas(f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f)))**esub_ff(ff + ((((-sam("ele","y"))*y*(py/(pele**(theta_ele_e)* (sum(ff, theta_ff_nele(ff)*pf(ff)**(1-esub_nele))**(1/(1-esub_nele))** ((۱-theta_ele_e)))**esub*((pele**(theta_ele_e)* (sum(ff, theta_ff_nele(ff)*pf(ff)**(1-esub_nele))**(1/(1-esub_nele))(*

** (۱-theta_ele_e))/pele;(

- شرط تسویه بازار مربوط به سوختهای فسیلی و سایر بخشهای اقتصادی: در بخشی از شرط تسویه بازار مربوط به سوختهای فسیلی (یا مواد اولیه)، هزینه سوختهای فسیلی (یا مواد اولیه) برای بخش برق در نظر گرفته شده است. پس از برقراری لینک در شرط تسویه بازار در بالا عبارت *sum(xt, (-xtelec(ff,xt)/xtelec("ele",xt))*ele(xt,year))* که معرف هزینه های بخش برق مربوط به سوخت می باشد حذف شده و هزینه های انرژی بخش برق بصورت برونزا از مدل پایین به بالا به مدل بالا به پایین وارد خواهد گردید. با جایگزینی عبارت اولیه با هزینه سوخت بخش برق، شرط تسویه بازار در بخش سوختهای فسیلی به شکل زیر تغییر می یابد[۵۵]:

mkt_pf(ff,year)..

*sam(ff,ff)*x(ff,year) =G =sum(xt, energy_cost(xt,year))-)} + sam(ff,"ra"))*c(year)*(pc(year)/((theta_ele_c*pele(year)**(1-esubc_ele+ ((۱-theta_ele_c)*(prod(f, pf(f,year)**theta_ff_nele_c(f)))** (۱-esubc_ele))**(1/(1-esubc_ele))))**esubc))* theta_ele_c*pele(year)**(1-esubc_ele+ ((۱-theta_ele_c)*(prod(f, pf(f,year)**theta_ff_nele_c(f)))** (۱-esubc_ele))**(1/(1-esubc_ele))/prod(f, pf(f,year)**theta_ff_nele_c(f)))**esubc_ele * prod(f, pf(f,year)**theta_ff_nele_c(f))/pf(ff,year)}$(-sam(ff,"ra + (("(-*

---

[۵۵] در مقاله راش و لنز (۲۰۱۱)، شرط تسویه بازار برای سوختهای فسیلی پس از اعمال لینک بصورت زیر تعریف شده است:

$$S^{j(n)} = D^{j(n)} + \sum_{g,z,t} \emptyset_g^j \, C^g ele_t^{g,z(n-1)} \perp P^{j(n)}, \forall_j \qquad (**)$$

که در آن، C^g معرف هزینه های متغیر تعمیرات و نگهداری و $\emptyset_g^j$ سهم هزینه های سوختهای فسیلی می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

*sam(ff,"y"))*y(year)*(py(year)/(pele(year)**(theta_ele_e)*(sum(f, theta_ff_nele(f)*pf(f,year** ((۱-esub_nele))**(1/(1-esub_nele)))**(1-theta_ele_e)))**esub)*pele(year)**(theta_ele_e)*(sum(f,theta_ff_nele(f)*pf(f,year** ((۱-esub_nele))**(1/(1-esub_nele)))**(1-theta_ele_e))/(sum(f, theta_ff_nele(f)*pf(f,year** ((۱-esub_nele))**(1/(1-esub_nele))* (((sum(f, theta_ff_nele(f)*pf(f,year** ((۱-esub_nele))**(1/(1-esub_nele)))/pf(ff,year))**esub_nele + sum(f$(not sameas(ff,f)), (-sam(ff,f))*x(f,year))) * (theta_r_ff(f)*pq(f,year)**(1-esub_ff(f)) + (1-theta_r_ff(f))*(theta_l_ff(f)*pl(year + (theta_y_ff(f)*py(year) + theta_ele_ff(f)*pele(year) + sum(fff$(not sameas(fff,f)), theta_f_ff(fff,f)*pf(fff,year)))**(1-esub_ff(f))**(1/(1-esub_ff(f (((*

*)/theta_l_ff(f)*pl(year) + theta_y_ff(f)*py(year) + theta_ele_ff(f)*pele(year + (sum(fff$(not sameas(fff,f)), theta_f_ff(fff,f)*pf(fff,year))))**esub_ff(f;(((*

هزینه های سوخت بخش برق پیشتر برای هر کیلواتسال برق در جدول ۱۰ محاسبه شده است.

- شرط تسویه بازار مربوط به سرمایه: مشابه با شرط تسویه بازار سوختهای فسیلی، در بخشی از شرط تسویه بازار سرمایه، هزینه سرمایه بخش برق در نظر گرفته شده است. با حذف این بخش و جایگزینی هزینه سرمایه بخش برق بر اساس مدل پایین به بالا، شرط تسویه بازار سرمایه به شکل زیر تغییر می یابد:

mkt_rk(kg,year)..

k(kg,year)(r+depr)= G=*

-))

*sam("capital","y"))*y(year)*(py(year)/(pl(year)**(theta_l_kl)*rk("Y",year)**(1-theta_l_kl)))**esub* (pl(year)**(theta_l_kl)*rk("Y",year)**(1-theta_l_kl))/rk("Y",year))$y_kg(kg + (sum(xt$map(xt,kg), capital_cost(xt,year)) + sum(nt$map(nt,kg),(-ntelec("capital",nt))*ele(nt,year));*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

هزینه های احداث نیروگاهها پیشتر برای هر کیلوات ظرفیت برق در جدول ۱۰ محاسبه شده است[۵۶].

- شرط تسویه بازار مربوط به نیروی کار: مشابه با شرط تسویه بازار سوختهای فسیلی، در بخشی از شرط تسویه بازار نیروی کار، تقاضای نیروی کار برای بخش برق در نظر گرفته شده است. با حذف این بخش و جایگزینی هزینه نیروی کار بخش برق بر اساس مدل پایین به بالا، شرط تسویه بازار در بخش بازار نیروی کار به شکل زیر تغییر می یابد[۵۷].

```
mkt_pl(year)..
     sam("labor","ra")*lsp(year) =G=
(sam("labor","y"))*y(year)*(py(year)/(  (year)**(theta_l_kl)*rk("y",year)**(1-
theta_l_kl)))**esub*                    pl(year)**(theta_l_kl)*rk("y",year)**(1-
theta_l_kl))/pl(year)
  +    sum(ff,  (-sam("labor",ff)  (ff,year)))  *  (theta_r_ff(ff)*pq(ff,year)**(1-
esub_ff(ff)) + (1-theta_r_ff(ff))  theta_l_ff(ff)*pl(year + (theta_y_ff(ff)*py(year)
+      theta_ele_ff(ff)*pele  ear)  +  sum(f$(not  sameas(f,ff)),
theta_f_ff(f,ff)*pf(f,year)))  (1-esub_ff(ff)))**(1/(1-esub_ff(ff (((
)/theta_l_ff(ff)*pl(year) +  heta_y_ff(ff)*py(year) + theta_ele_ff(ff)*pele(year(
+     sum(f$(not same  (f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f,year))) )**esub_ff(ff(((
+     sum(t, 0.5*labor_cost(t,year));
```

هزینه های نیروی کار در بخش برق بر اساس هزینه ثابت به ازای ظرفیت نیروگاهی مورد محاسبه قرار می گیرد و از آنجا که تفکیک آن به بخش نیروی کار و مواد اولیه مشخص نیست، ۵۰ درصد هزینه های ثابت نیروگاهی به نیروی کار و ۵۰ درصد از هزینه های آن به مواد اولیه اختصاص می یابد.

---

[۵۶] در مقاله راش و لنز (۲۰۱۱)، شرط تسویه بازار برای سوختهای فسیلی پس از اعمال لینک بصورت زیر تعریف شده است:

$$\sum_r^{\square} K_r^{(n)} = \sum_r^{\square} \left(D_r^{K(n)} + \sum_{g,z,t}^{\square} \emptyset_g^K \, C^g ele_t^{g,z(n-1)} \right) \perp P^{K(n)} \quad (***)$$

که در آن، C^g معرف هزینه های متغیر تعمیرات و نگهداری و $\emptyset_g^j$ سهم هزینه های سوختهای فسیلی می باشد.

[۵۷] در مقاله راش و لنز (۲۰۱۱)، شرط تسویه بازار نیروی کار پس از اعمال لینک بصورت زیر تعریف شده است:

$$L^{(n)} = D^{L(n)} + \sum_{g,z,t}^{\square} \emptyset_g^L \, C^g ele_t^{g,z(n-1)} \perp P^{L(n)} \quad (****)$$

که در آن، C^g معرف هزینه های متغیر تعمیرات و نگهداری و $\emptyset_g^j$ سهم هزینه های نیروی کار می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

- شرط تسویه بازار مربوط به مواد اولیه: مشابه با شرط تسویه بازار سوختهای فسیلی، در بخشی از شرط تسویه بازار مواد اولیه، تقاضای مواد اولیه برای بخش برق در نظر گرفته شده است. با حذف این بخش و جایگزینی هزینه مواد اولیه بخش برق بر اساس مدل پایین به بالا، شرط تسویه بازار در بخش مواد اولیه به شکل زیر تغییر می‌یابد.

mkt_py(year)..

*y(year)*sam("y","y") =G =sum(t, 0.5*labor_cost(t,year)) + sum(ff, (-sam("y",ff))*x(ff,year))) * (theta_r_ff(ff)*pq(ff,year)**(1-esub_ff(ff)) + (1-theta_r_ff(ff))*(theta_l_ff(ff)*pl(year + (theta_y_ff(ff)*py(year) + theta_ele_ff(ff)*pele(year) + sum(f$(not sameas(f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f,year)))**(1-esub_ff(ff)))**(1/(1-esub_ff(ff)/theta_l_ff(ff)*pl(year) + theta_y_ff(ff)*py(year) + theta_ele_ff(ff)*pele(year(+ sum(f$(not sameas(f,ff)), theta_f_ff(f,ff)*pf(f,year))))**esub_ff(ff + (((-sam("y","ra")/(1+tc0$dd))*c(year)*((pc(year)/(py(year)*(1+(tc0*phi_tc)$dd))) *(1+tc0$dd))**esubc + sum(kg, i(kg,year))$year(year) + ((g0*qref(year))*g)$dd;*

- شرط تسویه برای محدودیت درآمدی مربوط به خانوارها: در این شرط محدودیت درآمدی خانوارها و مخارج آنها مد نظر قرار گرفته است. مخارج برق خانوار با عبارت زیر مشخص شده است.

inc_ra..

*sum(year$tau0(year), sum(kg, pk(kg,year)*(max(k0(kg),1e-6)))) + sum(year, pls(year)*(qref(year)*(sam("labor","ra")/(1+tl0$dd)+ld0 + ((sum(ff, pq(ff,year)*eq(ff,year)) + sum(n, pn(n,year)*en(n,year)) + sum(t$limit(t,year), plim(t,year)*limit(t,year)) - (pc(year)*qref(year)*phi_ls)$dd - sum(t$quota(t), ele(t,year)*psi(year)*pele(year))) - pkt*kt= G= ra;*

مواردی که در بالا بدانها اشاره گردید پیشتر در مطالعه رادرفورد- بورینگر نیز اشاره شده بود. در مطالعه رادرفورد- بورینگر به این مطلب اشاره شده است که برای ایجاد لینک مدل یکپارچه به دو بخش بالا به پایین و پایین به بالا تقسیم می

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

شود. در مدل بالا به پایین، بخش پایین به بالا بصورت برونزا مد نظر قرار می گیرد. لذا شروط سود صفر برای بخش انرژی حذف می گردد. سپس مقادیر انرژی مورد نیاز سیستم انرژی (نظیر هزینه های سوخت فسیلی) و ورودیهای غیر انرژی (نظیر هزینه نیروی کار و سرمایه) از سیستم پایین به بالا به پایین تزریق می گردد (نظیر این موضوع پیشتر در معادلات لینک در رابطه های (*) تا (***) انجام شده است).

۲-۵-۳- نتایج اجرای لینک در گام اول

در ابتدای کد لینک، باید مدل پایین به بالا اجرا گردد و لذا کد آن بصورت زیر نوشته می شود:

```
$Include Time-Period-3
```

بصورت زیر و برای تعریف دوره های زمانی در مدل است:*Time_Period*که در آن

```
set    year_all          Time periods including post-terminal /2010*2037/
       year(year_all)      Time periods /2010*2036/
       tau0(year_all)     First time period
       tauL(year_all)     Last time period
       tauPT(year_all)    Post-terminal time period;
tau0(year)      = yes$(ord(year) = 1);
tauL(year)      = yes$(ord(year) = card(year));
tauPT(year_all)    = yes$(ord(year_all) = card(year_all));
alias(year,ttau);
$Include BUModel-iteration1
```

همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، مقادیر هزینه های سوخت، نیروی کار، سرمایه و همچنین برق تولیدی باید در مدل بالا- پایین مورد استفاده قرار گیرند. لذا این پارامترها در کد لینک تعریف شده و در ادامه برق تولید شده (نتایج حاصل از *ACT.l*) از مدل پایین به بالا به مدل وارد می شوند.

```
Parameter
elec0
energy_cost
capital_cost
labor_cost;
```

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

elec0(tec,year_all)=sum((vintage,time),ACT.l('World',tec,vintage,year_all,'standard',time));

پس از اینکه مقادیر تولید برق از مدل پایین به بالا لود شد، بر اساس مقادیر آن هزینه های سوخت، نیروی کار و سرمایه مورد نیاز بخش برق تولید می شود تا در مدل بالا به پایین مورد استفاده قرار گیرد.

*energy_cost(tec,year)=elec0('gas_ppl',year)*200293.6743/1000000000000;*
energy_cost('hydro_ppl',year)=0;
energy_cost('wind',year)=0;
energy_cost('solar',year)=0;
*capital_cost(tec,year_all)=sum(vintage,CAP.l('World',tec,vintage,year_all)*1000*inv_cost('World',tec,year_all))/1000000000000;*
*labor_cost(tec,year_all)=sum(vintage,CAP.l('World',tec,vintage,year_all)*1000*fix_cost('World',tec,vintage,year_all))/1000000000000;*

حال وقت آن است که مدل بالا به پایین که معادلات آن بروز شده است، اجرا گردد:

$Include TDModel-Iterartion1

پس از اجرای مدل بالا به پایین نیاز است که مقادیر قیمتها و تقاضای برق از آن استخراج و پس از تعدیل تقاضا به وسیله قیمتها به مدل پایین به بالا وارد شود. قیمت برق بر مبنای شاخص قیمت برق در مدل بالا به پایین بصورت زیر بروز رسانی می گردد:

$$\bar{p}^{ele^{(n)}} = \bar{p}^{ele^{(0)}} P^{ELE(n)}$$

در این قسمت تعرفه برق برای مصرف کنندگان خانگی مد نظر قرار می گیرد. طبق آمار ارائه شده[۵۸]، کمترین تعرفه خانگی در حدود ۶۰۰ ریال بر کیلواتساعت می باشد. لذا برای محاسبه تغییر در تعرفه از شاخص قیمت برق تولید شده توسط مدل بالا به پایین استفاده می شود. شاخص قیمت برق در مدل بالا به پایین بصورت جدول ۱۱ تولید شده است.

[۵۸] مربوط به قبض برق مشترکین خانگی

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۱۱- شاخص قیمت و قیمت برق در افق ۲۰۴۰ تولید شده توسط مدل بالا به پایین

سال	واحد	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
شاخص قیمت برق	--	۱	۰/۹۵۲	۰/۹۰۷	۰/۸۶۴	۰/۸۲۳	۰/۷۸۴	۰/۷۴۶
قیمت برق	ریال بر کیلواتساعت	۶۰۰	۵۷۱/۲	۵۴۴/۲	۵۱۸/۴	۴۹۳/۸	۴۷۰/۴	۴۴۷/۶
سال		۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳
شاخص قیمت برق	--	۰/۷۱۱	۰/۶۷۷	۰/۶۴۵	۰/۶۱۴	۰/۵۸۵	۰/۵۵۷	۰/۵۳
قیمت برق	ریال بر کیلواتساعت	۴۲۶/۶	۴۰۶/۲	۳۸۷	۳۶۸/۴	۳۵۱	۳۳۴/۲	۳۱۸
سال		۲۰۲۴	۲۰۲۵	۲۰۲۶	۲۰۲۷	۲۰۲۸	۲۰۲۹	۲۰۳۰
شاخص قیمت برق	--	۰/۵۰۵	۰/۴۸۱	۰/۴۵۸	۰/۴۳۶	۰/۴۱۶	۰/۳۹۶	۰/۳۷۷
قیمت برق	ریال بر کیلواتساعت	۳۰۳	۲۸۸/۶	۲۷۴/۸	۲۶۱/۶	۲۴۹/۶	۲۳۷/۶	۲۲۶/۲
سال		۲۰۳۱	۲۰۳۲	۲۰۳۳	۲۰۳۴	۲۰۳۵	۲۰۳۶	۲۰۳۷
شاخص قیمت برق	--	۰/۳۵۹	۰/۳۴۲	۰/۳۲۶	۰/۳۱۰	۰/۲۹۵	۰/۲۸۱	۰/۲۶۸
قیمت برق	ریال بر کیلواتساعت	۲۱۵/۴	۲۰۵/۲	۱۹۵/۶	۱۸۶	۱۷۷	۱۶۸/۶	۱۶۰/۸
سال		۲۰۳۸	۲۰۳۹	۲۰۴۰				
شاخص قیمت برق	--	۰/۲۵۵	۰/۲۴۳	۰/۲۳۱				
قیمت برق	ریال بر کیلواتساعت	۱۵۳	۱۴۵/۸	۱۳۸/۶				

برای بروزرسانی تقاضای برق نیز از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$d^{ele^{(n)}} = \bar{d}^{ele^{(n)}}(1+\in [\frac{p^{ele^{(n)}}}{\bar{p}^{ele^{(n)}}} - 1])$$

برای بروزرسانی تقاضای برق لازم است تا بجای $\bar{d}^{ele^{(n)}}$ از مقادیر پایه در مدل پایین به بالا بدون اجرای تعدیل قیمت استفاده شود. نکته قابل توجه این است که مقادیر تغییرات قیمت و کشش تقاضا به تقاضای پایه محاسبه شده توسط مدل بالا به پایین اعمال می شود. لذا ابتدا مقادیر تقاضای ورودی به مدل پایین به بالا در جدول ۱۲ ارائه شده است. توجه شود با توجه به اینکه مقادیر تولید و تقاضا در مدل بالا به پایین بالانس هستند، لذا تولید برق با تقاضای سالیانه پس از اعمال تلفات برابری می کند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۱۲- تقاضای برق در افق ۲۰۴۰ تولید شده توسط مدل پایین به بالا

سال	واحد	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
تقاضا		۱۸۴۱۸۲	۱۸۳۹۰۵	۱۹۴۱۴۸	۲۰۳۰۸۷	۲۱۹۸۱۴	۲۲۷۳۱۱	۲۳۷۴۳۵
سال		۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳
تقاضا		۲۵۵۰۲۶	۲۵۹۷۲۳	۲۷۳۷۵۰	۲۹۰۸۴۷	۳۰۵۹۵۸	۳۱۱۸۳۶	۳۱۸۳۸۴
سال	گیگاواتساعت	۲۰۲۴	۲۰۲۵	۲۰۲۶	۲۰۲۷	۲۰۲۸	۲۰۲۹	۲۰۳۰
تقاضا		۳۲۶۰۰۶	۳۳۴۲۷۱	۳۴۲۲۰۹	۳۵۰۳۲۲	۳۵۸۸۶۲	۳۶۷۹۲۲	۳۷۷۳۱۷
سال		۲۰۳۱	۲۰۳۲	۲۰۳۳	۲۰۳۴	۲۰۳۵	۲۰۳۶	
تقاضا		۳۸۷۲۷۶	۴۰۷۲۳۹	۴۳۵۰۰۷	۴۶۱۳۶۱	۴۹۲۳۸۷	۵۲۲۷۴۸	

لذا طبق جدول ۱۲ مثلا سال برای ۲۰۱۱ تقاضا معادل با ۱۸۳۹۰۵ گیگاواتساعت برای $\bar{d}_t^{Ele}$ مد نظر قرار می گیرد، که با در نظر گرفتن این قیمتها و کشش قیمتی معادل با ۰/۰۵- می توان مقادیر d_t^{Ele} را محاسبه نمود که نتایج آن در جدول ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۱۳- تقاضای برق در افق ۲۰۴۰ تولید شده توسط مدل بالا به پایین

سال	واحد	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
تقاضا		۱۸۴۱۸۲	۱۸۴۳۴۳	۱۹۵۰۵۱	۲۰۴۴۷۰	۲۲۱۷۶۳	۲۲۹۷۷۱	۲۴۰۴۴۸
سال		۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳
تقاضا		۲۵۸۷۱۵	۲۶۳۹۲۰	۲۷۸۶۱۴	۲۹۶۴۶۱	۳۱۲۳۱۱	۳۱۸۷۴۵	۳۲۵۸۶۰
سال	گیگاواتساعت	۲۰۲۴	۲۰۲۵	۲۰۲۶	۲۰۲۷	۲۰۲۸	۲۰۲۹	۲۰۳۰
تقاضا		۳۳۴۰۷۳	۳۴۲۹۴۵	۳۵۱۴۸۱	۳۶۰۱۹۵	۳۶۹۳۴۹	۳۷۹۰۳۸	۳۸۹۰۷۲
سال		۲۰۳۱	۲۰۳۲	۲۰۳۳	۲۰۳۴	۲۰۳۵	۲۰۳۶	
تقاضا		۳۹۹۶۸۹	۴۲۰۶۴۰	۴۴۹۶۷۶	۴۷۷۲۷۶	۵۰۹۷۳۶	۵۴۱۵۳۴	

۳-۵-۳- نتایج اجرای لینک در گام دوم

همانند لینک در گام اول، در گام دوم نیز ابتدا مدل پایین به بالا اجرا می شود. لذا در ابتدای کد لینک، باید مدل پایین به بالا اجرا گردد و لذا کد آن بصورت زیر نوشته می شود:

```
$Include Time-Period-3
Parameters
   demand_fixed
;
demand_fixed('World','electricity','final',year,'year')=21043.752;
demand_fixed('World','electricity','final','2012','year')=22266.096;
```

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

demand_fixed('World','electricity','final','2013','year')=23341.387;
demand_fixed('World','electricity','final','2014','year')=25315.414;
demand_fixed('World','electricity','final','2015','year')=26229.663;
demand_fixed('World','electricity','final','2016','year')=27448.479;
demand_fixed('World','electricity','final','2017','year')=29533.732;
demand_fixed('World','electricity','final','2018','year')=30127.868;
demand_fixed('World','electricity','final','2019','year')=31805.299;
demand_fixed('World','electricity','final','2020','year')=33201.7;
demand_fixed('World','electricity','final','2021','year')=35652.002;
demand_fixed('World','electricity','final','2022','year')=36386.496;
demand_fixed('World','electricity','final','2023','year')=37198.734;
demand_fixed('World','electricity','final','2024','year')=38136.249;
demand_fixed('World','electricity','final','2025','year')=39148.978;
demand_fixed('World','electricity','final','2026','year')=40123.397;
demand_fixed('World','electricity','final','2027','year')=41118.252;
demand_fixed('World','electricity','final','2028','year')=42163.170;
demand_fixed('World','electricity','final','2029','year')=43269.194;
demand_fixed('World','electricity','final','2030','year')=44414.670;
demand_fixed('World','electricity','final','2031','year')=45626.634;
demand_fixed('World','electricity','final','2032','year')=48018.290;
demand_fixed('World','electricity','final','2033','year')=51332.884;
demand_fixed('World','electricity','final','2034','year')=54483.606;
demand_fixed('World','electricity','final','2035','year')=58189.063;
demand_fixed('World','electricity','final','2036','year')=61819.007;

demand_fixed('World','electricity','final',year,'spring')=
*demand_fixed('World','electricity','final',year,'year')*0.24409;*

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

demand_fixed('World','electricity','final',year,'summer')=
*demand_fixed('World','electricity','final',year,'year')*0.318517;*
demand_fixed('World','electricity','final',year,'autumn')=
*demand_fixed('World','electricity','final',year,'year')*0.223694;*
demand_fixed('World','electricity','final',year,'winter')=
*demand_fixed('World','electricity','final',year,'year')*0.213699;*

$Include BUModel-iteration2

با توجه به کد بالا، مدل پایین به بالا اجرا می گردد و تولید هر یک از تکنولوژیها استخراج می گردد که تولید استخراج شده مبنایی برای محاسبه هزینه های انرژی، سوخت و نیروی کار و سرمایه خواهد بود. در ادامه تولید تکنولوژیها که توسط مدل پایین به بالا محاسبه شده، ارائه می گردد.

جدول ١٤- مقادیر متغیر کل ظرفیت برای مثال ایران در مدل MESSAGE-ix در راند دوم اجرای مدل

مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر	مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر
۴۶۴/۳	۲۰۲۰				۳۱۹۷۰	۲۰۲۰			
۴۵۹/۲	۲۰۲۱ تا ۲۰۳۳				۳۶۹۹۰	۲۰۲۱			
۲۲۰۶۹	۲۰۳۴	خورشیدی			۳۸۵۳۰	۲۰۲۲			
۴۸۰۷۴	۲۰۳۵				۴۰۲۳۳	۲۰۲۳			
۷۷۴۹۱	۲۰۳۶				۴۲۱۹۹	۲۰۲۴			
۱۰۲۰	۲۰۲۰	اتمی			۴۴۳۲۲	۲۰۲۵			
۲۷۵۵۱	از ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰	گازی			۴۶۳۶۵	۲۰۲۶			
۲۰۵۲۰	۲۰۳۱				۴۸۴۵۱	۲۰۲۷			
۱۹۷۶۷	۲۰۲۰	برقابی			۵۰۶۴۱	۲۰۲۸	سیکل ترکیبی	کل ظرفیت	*CAP*
۱۷۴۳۶	۲۰۲۱ تا۲۰۳۶				۵۲۹۶۰	۲۰۲۹			
۲۶۳/۷	۲۰۲۰	بادی			۵۵۳۶۱	۲۰۳۰			
۱۵۷۰۴	از ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۱				۶۱۶۰۹	۲۰۳۱			
۱۴۱۳۹	۲۰۳۲				۷۹۳۴۶	۲۰۳۲			
۴۴۳/۲	۲۰۳۳	بخاری			۱۰۲۹۷۶	۲۰۳۳			
۴۴۳/۲	۲۰۳۴				۱۰۴۱۱۴	۲۰۳۴			
۴۴۳/۲	۲۰۳۵				۱۰۴۱۱۴	۲۰۳۵			
					۱۰۴۰۸۷	۲۰۳۶			

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

جدول ۱۵- مقادیر تولید در هر سال برای مثال ایران در مدل MESSAGE-ix در راند دوم اجرای مدل

مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر	مقدار	سال	حامل انرژی/ تکنولوژی	شرح متغیر	عنوان متغیر
۷۳	۲۰۲۰				۱۷۹۵۰	۲۰۲۰			
۷۳	۲۰۲۱				۲۰۷۶۸	۲۰۲۱			
۷۳	۲۰۲۲				۲۱۶۳۳	۲۰۲۲			
۷۳	۲۰۲۳				۲۲۵۸۹	۲۰۲۳			
۷۳	۲۰۲۴				۲۳۶۹۳	۲۰۲۴			
۷۳	۲۰۲۵				۲۴۸۸۵	۲۰۲۵			
۷۳	۲۰۲۶				۲۶۰۳۲	۲۰۲۶			
۷۳	۲۰۲۷				۲۶۰۳۲	۲۰۲۷	سیکل ترکیبی		
۷۳	۲۰۲۸	خورشیدی			۲۸۴۳۳	۲۰۲۸			
۷۳	۲۰۲۹				۲۹۷۳۵	۲۰۲۹			
۷۳	۲۰۳۰				۳۱۰۸۳	۲۰۳۰			
۷۳	۲۰۳۱				۳۴۵۹۱	۲۰۳۱			
۷۳	۲۰۳۲				۴۴۵۴۹	۲۰۳۲			
۷۳	۲۰۳۳				۵۷۸۱۷	۲۰۳۳			
۳۴۴۴	۲۰۳۴				۵۸۴۵۶	۲۰۳۴			
۷۵۰۳	۲۰۳۵				۵۸۴۵۶	۲۰۳۵			
۱۲۰۹۴	۲۰۳۶				۵۸۴۴۱	۲۰۳۶			
۸۱۵۴	۲۰۲۰		تولید	*ACT*	۶۹	۲۰۲۰	بادی	تولید	*ACT*
۸۱۵۴	۲۰۲۱				۶۲۴	۲۰۲۰	اتمی		
۸۱۵۴	۲۰۲۲				۲۵۳۲	۲۰۲۰			
۸۱۵۴	۲۰۲۳				۲۲۳۴	۲۰۲۱			
۸۱۵۴	۲۰۲۴				۲۲۳۴	۲۰۲۲			
۸۱۵۴	۲۰۲۵				۲۲۳۴	۲۰۲۳			
۸۱۵۴	۲۰۲۶				۲۲۳۴	۲۰۲۴			
۸۱۵۴	۲۰۲۷				۲۲۳۴	۲۰۲۵			
۸۱۵۴	۲۰۲۸	گازی			۲۲۳۴	۲۰۲۶			
۸۱۵۴	۲۰۲۹				۲۲۳۴	۲۰۲۷			
۸۱۵۴	۲۰۳۰				۲۲۳۴	۲۰۲۸	برقابی		
۶۰۷۳	۲۰۳۱				۲۲۳۴	۲۰۲۹			
=	۲۰۳۲				۲۲۳۴	۲۰۳۰			
=	۲۰۳۳				۲۲۳۴	۲۰۳۱			
	۲۰۳۴				۲۲۳۴	۲۰۳۲			
	۲۰۳۵				۲۲۳۴	۲۰۳۳			
	۲۰۳۶				۲۲۳۴	۲۰۳۴			
۹۶۸۱	۲۰۲۰	بخاری			۲۲۳۴	۲۰۳۵			
۱۰۷۳۹	۲۰۲۱ تا ۲۰۳۱				۲۲۳۴	۲۰۳۶			

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

٤-٥-٣- نتایج اجرای لینک در گام سوم

همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، مقادیر هزینه های سوخت، نیروی کار، سرمایه و همچنین برق تولیدی در راند دوم باید در مدل بالا- پایین مورد استفاده قرار گیرند. لذا این پارامترها در کد لینک تعریف شده و در ادامه برق تولید شده (نتایج حاصل از $ACT.l$) از مدل پایین به بالا به مدل وارد می شوند.

```
Parameter
elec0
energy_cost
capital_cost
labor_cost;
elec0(tec,year_all)=sum((vintage,time),ACT.l('World',tec,vintage,year_all,'stan
dard',time));
```

پس از اینکه مقادیر تولید برق از مدل پایین به بالا لود شد، بر اساس مقادیر آن هزینه های سوخت، نیروی کار و سرمایه مورد نیاز بخش برق تولید می شود تا در مدل بالا به پایین مورد استفاده قرار گیرد.

```
energy_cost(tec,year)=elec0('gas_ppl',year)*200293.6743/1000000000000;
energy_cost('hydro_ppl',year)=0;
energy_cost('wind',year)=0;
energy_cost('solar',year)=0;
capital_cost(tec,year_all)=sum(vintage,CAP.l('World',tec,vintage,year_all)*100
0*inv_cost('World',tec,year_all))/1000000000000;
labor_cost(tec,year_all)=sum(vintage,CAP.l('World',tec,vintage,year_all)*1000
*fix_cost('World',tec,vintage,year_all))/1000000000000;
```

حال وقت آن است که مدل بالا به پایین که معادلات آن بروز شده است، اجرا گردد:

```
$Include TDModel-Iterartion1
```

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

۵-۵-۳- شرط همگرایی

برای شرط همگرایی در مدل این مطالعه نیز رویکردی که در لینک ایجاد شده در مدل *USREP* و *ELEMod* استفاده شده مورد توجه قرار می گیرد. همگرایی در این مدل بصورت زیر انجام می شود:

- قیمتهای تاریخی سوخت ($p_{r,n}^{fuel(0)}$) و تقاضا ($q_r^{ele(0)}$) در سناریوی مرجع و نیز قیمتهای متغیر تعمیرات و بهره برداری ($p_r^{vom(0)}$) بعنوان ورودی در مدل پایین – بالا مد نظر قرار می گیرند و مدل پایین به بالا توسعه ظرفیت نیروگاهها در بخشهای مختلف را بعنوان خروجی حاصل می نماید. بصورت مشابه چنین امری در مدل *MESSAGE-ix* نیز به انجام رسیده که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. یکی از خروجیهایی که از این مدل تولید می شود، قیمت وزنی متوسط بار الکتریکی در سال است ($p_{t,r}^{elemod(0)}$) که بر مبنای قیمتهای عمده برق در هر ساعت و تولید تجمعی برق ($q_{t,r}^{elemod(0)}$) که با $q_r^{ele(0)}$ برابر است، حاصل می گردد. لازم به توضیح است که در مدل *MESSAGE-ix* قیمتهای تولید برق بر اساس پارامتر هزینه یکنواخت (یا*Levelized Cost*) مورد محاسبه قرار می گیرد که در مدل نمونه این پروژه با توجه به عدم تغییر قیمتهای سوخت و ثابت بودن هزینه های متغیر تعمیرات و نگهداری تولید برق هزینه های ساعتی تولید برق با هزینه های سالانه آن تفاوتی ندارد.
- مرحله بعدی به تعدیل ماتریس حسابداری اجتماعی و تعدیل آن با توجه به تکنولوژیها اختصاص دارد که این مهم در بخش مربوط به جدول ۸ به انجام رسیده و در ادامه بروزرسانی معادلات در مدل بالا به پایین انجام شده است. سپس مقادیر هزینه های سرمایه ای، هزینه های سوخت و هزینه های تعمیرات و نگهداری از مدل بالا به پایین به مدل پایین به بالا وارد می شود. با اجرای مدل بالا به پایین مقادیر شاخص قیمتهای سوخت ($pi_{t,r,n}^{fuel(m)}$) ، هزینه های متغیر تعمیرات و نگهداری ($pi_{t,r}^{vom(m)}$) ، قیمت برق ($p_{t,r}^{usrep(m)}$) و تقاضای انرژی الکتریکی ($q_{t,r}^{usrep(m)}$) حاصل می شود. نتایج مربوط به قیمت برق و تقاضای آن در جدول ۱۱ و جدول ۱۳ ارائه شده است. در اینجا ذکر یک نکته ضروری می باشد. در مدل *usrep* اینطور فرض شده است که چنانچه بین قیمت تمام شده برق و قیمت فروش به مصرف کننده تفاوتی وجود داشته باشد، تقاضای برق که به مدل پایین به بالا وارد می شود، با تقاضای برق خروجی از مدل *usrep* تفاوت دارد. میزان این تفاوت نیز توسط کشش قیمتی تقاضا با رابطه زیر تعیین می شود.

$$p_{t,r}^{ele(m)} = p_{t,r}^{usrep(m)} + \varepsilon_{r,n}^{usrep(m)}(q_{t,r}^{ele(m)} - q_{t,r}^{usrep(m)})$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

در رابطه فوق $p_{t,r}^{ele(m)}$ بر اساس هزینه های یکنواخت شده، $p_{t,r}^{usrep(m)}$ بر اساس خروجی مدل بالا به پایین و $q_{t,r}^{ele(m)}$ خروجی مدل پایین به بالا می باشد. لذا بر مبنای رابطه فوق مقادیر $q_{t,r}^{usrep(m)}$ که باید در مدل پایین به بالا بعنوان تقاضا وارد شود، حاصل می گردد.

بدلیل تفاوت زیاد هزینه های یکنواخت تولید برق با هزینه های ریالی آن، در این پروژه کشش قیمتی بگونه دیگری در مدل وارد شده است که نتایج حاصل از آن در جدول ۱۳ ارائه گردیده است[۵۹]. نتایج حاصل از اجرای بعدی مدل پایین به بالا در جدول ۱۴ و

جدول ۱۵ ارائه شده است. این چرخه همچنان ادامه می یابد تا شرط همگرایی برقرار شود.

لازم به توضیح است که در مدل $usrep$ شرط اصلی همگرایی به مقایسه قیمتهای برق در اجرای m ام و اجرای $m+1$ باز می گردد. در مدل فعلی قیمتهای برق در اجراهای مختلف در بازه دقت 10^{-4} تغییری ندارد، لذا مدل در این راند اجرا همگرا شده و نیازی به انجام فرآیند اضافی نیست.

[۵۹] فاصله بین هزینه های یکنواخت برق در مدل پایین به بالا و قیمتهای برق در مدل بالا به پایین زیاد است و در نتیجه اعمال سیاست پاسخگویی بار، تقاضاهای برق را در فاصله بیشتری با سناریوی مرجع قرار می دهد. برای اینکه از انحراف بیش از حد جلوگیری شود، تقاضای ورودی مدل پایین به بالا بر اساس نسبت قیمتهای برق با مقادیر مرجع تغییر یافته است که مشابه آن در مقاله لنز و راش (۲۰۱۱) نیز انجام شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.28

٦-٣- منابع ومراجع فصل سوم

[1] https://github.com/iiasa/message_ix/blob/main/tutorial/westeros/westeros_firm_capacity.ipynb

[2] https://github.com/iiasa/message_ix/blob/main/tutorial/westeros/westeros_seasonality.ipynb

[3] https://github.com/iiasa/message_ix/blob/main/tutorial/westeros/westeros_flexible_generation.ipynb

[4] https://github.com/iiasa/message_ix/blob/main/tutorial/westeros/westeros_baseline.ipynb

[5] https://github.com/iiasa/message_ix/discussions/534