بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

سال اول، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

مطالعات تحقیقاتی و طراحی احداث مرکز تست میدانی ماژولهای فتوولتاییک/ احسان لیوانی

بهینه سازی دو هدفه مقاومت مکانیکی و عملکردی تک سل پیل سوختی اکسید جامد با کمک الگوریتم ژنتیک/ شهریار بزرگمهری، محسن حامدی

معرفی فناوری‌های مرتبط در حوزه انرژی زیست‌توده/ مهدی رضایی، مریم عابدی

به‌نام خدا

گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: شهریار بزرگمهری

سردبیر: مهدی رحیمی تاکامی

مدیر اجرایی: مهدی رحیمی تاکامی

گرافیست و صفحه‌آرا: حامد محبی

ویراستار: داور ابراهیمی

عکس روی جلد: حامد محبی

➢ **همکاران این شماره:**

همکاران گروه: دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی تاکامی، مهندس داور ابراهیمی، مهندس مهدی رضایی ، مهندس احسان لیوانی، مهندس حامد محبی

همکاران معاونت پژوهشی: مهندس ثریا رستمی، نوشین فرودی

➢ **ناشر:**

نشانی الکترونیکی: Energy@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۴۶-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۳۶۱۶۰۳-۰۲۱

اعضای هیئت‌تحریریه:

دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی تاکامی، دکتر حمید عبدلی، دکتر خالد آذری، مهندس داور ابراهیمی، مهندس جواد نورعلیئی، مهندس مهدی رضایی، مهندس علی هاشمی، مهندس حامد محبی، مهندس احسان لیوانی، مهندس محمد خلج، مهندس مهدی اخلاقی، مهندس سینا سالمی

اعضای هیئت‌داوران:

دکتر همایون کنعانی، مهندس مصطفی برزگر گردرودباری، دکتر حمید عبدلی، مهندس علی هاشمی، و مهندس احسان لیوانی

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با این بخش در صنعت برق به‌صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج‌شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست

• سخن سردبیر	۱
• برگزاری چهارمین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران	۲
• آشنایی با آزمایشگاه ملی انرژی های تجدیدپذیر آمریکا	۶
• مطالعات تحقیقاتی و طراحی احداث مرکز تست میدانی ماژولهای فتوولتاییک	۱۲
• بهینه سازی دو هدفه مقاومت مکانیکی و عملکردی تک سل پیل سوختی اکسید جامد با کمک الگوریتم ژنتیک	۲۰
• معرفی فناوری‌های مرتبط در حوزه انرژی زیست‌توده	۳۸
• برگزیده‌ای از واژه‌های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر	۵۸
• معرفی کتاب	۶۰

سخن سردبیر

ایران با دارا بودن ۱۱ درصد ذخایر نفتی دنیا و ۱۸ درصد ذخایر گازی دنیا، بزرگترین کشور از نظر دارا بودن سوختهای فسیلی می‌باشد. این عامل در کنار سیاست گذاریهای نادرست اقتصادی و همچنین ارائه یارانه به مصرف سوختهای فسیلی سبب شده است، تا هزینه مصرف انرژی در کشور نسبت به قیمتهای جهانی بسیار پایین باشد و در نتیجه شاهد میزان بالای شدت مصرف انرژی در کشور باشیم.

از طرف دیگر هزینه پایین مصرف انرژی در کشور سبب شده است، تا میل و رغبت کمتری در میان سرمایه‌گذاران، صنعتگران و دانشگاهیان برای فعالیت در بخشهای مختلف انرژی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستمهای با کارایی بالا و مدیریت مصرف انرژی ایجاد شود. به گونه‌ای که علیرغم پتانسیل بالای کشور در زمینه‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، به خصوص انرژی خورشیدی، انرژی بادی و زیست توده، انرژیهای پاک در کشور از جایگاه شایسته‌ای در سطح دنیا برخوردار نیست.

برای یافتن مسیر صحیح برای توسعه این صنعت بهتر است، به مسیر توسعه این صنعت در دنیا نگاهی انداخت. با دقت در این مسیر مشاهده می‌شود، کشورهای مختلف با اجرای سیاست گذاری صحیح اقتصاد انرژی، علاوه بر ایجاد درآمد به توسعه تکنولوژی این صنعت و بهبود قیمتهای تمام شده انرژی تولیدی در این بخش کمک شایانی نموده‌اند.

با توجه به پژوهشهای جدید انجام گرفته شده و با کاهش چشمگیر هزینه‌های تولید انرژیهای تجدیدپذیر با استفاده از فناوریهای نوین امید به توسعه فناوریهای انرژی‌های تجدیدپذیر هر روز بیشتر می‌شود. بنابراین بعد از سیاست‌گذاری‌های صحیح اقتصادی رکن بعدی توسعه این فناوریها، پژوهشهای کاربردی و موثر در جهت اقتصادی‌سازی و رفع موانع بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد.

در این مجله که اولین شماره آن تهیه شده است، برآنیم تا محلی برای تبادل نظر و شناساندن دست اندرکاران و پژوهشگران این صنعت ایجاد گردد و در این راه دست یاری به سوی همه علاقمندان و فعالین و پژوهشگران این صنعت دراز می‌شود. در پایان ضمن تشکر از همه همکاران که اینجانب را در تهیه این مجله یاری رسانده‌اند، به یکی از سخنان وزیر محترم نیرو جناب آقای مهندس چیت‌چیان در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر اشاره می‌شود:

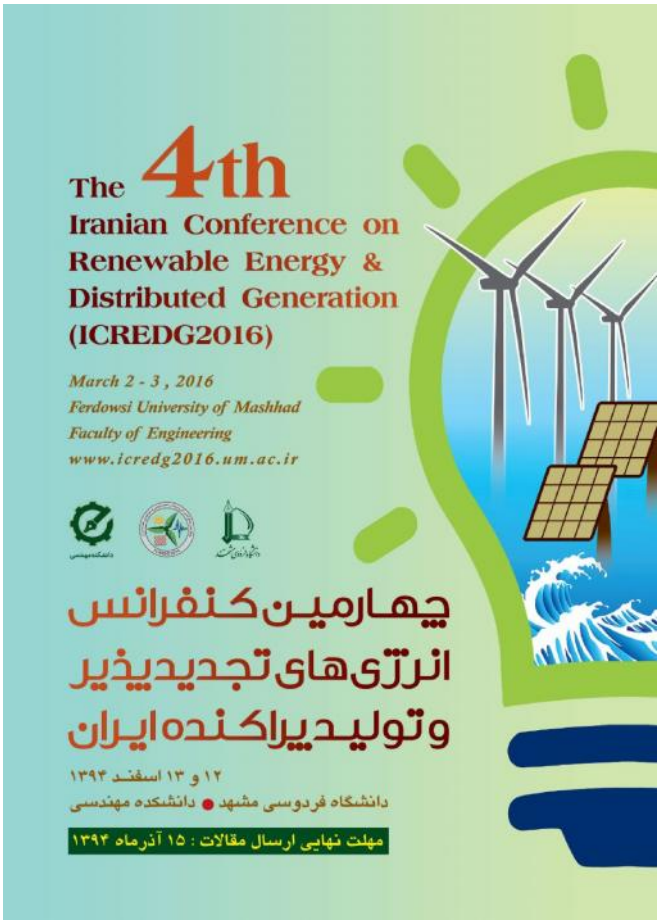
امروز تولید انرژی تجدیدپذیر برای ما یک انتخاب آزاد نیست، بلکه یک اجبار و باید است.

مهدی رحیمی تاکامی

گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

گزارش

برگزاری چهارمین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران



چهارمین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران در روزهای چهارشنبه و پنج شنبه ۱۲ الی ۱۳ اسفندماه ۱۳۹۴ در دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد برگزار گردید .

بنا به اعلام آقای دکتر محمدحسین جاویدی دشت بیاض، استاد دانشگاه فردوسی مشهد و دبیر این کنفرانس، در مجموع تعداد ۲۰۰ مقاله تخصصی در مهلت مقرر به دبیرخانه چهارمین کنفرانس واصل گردید.

کمیته علمی و هیات داوران کنفرانس نیز پس از داوری مقالات، تعداد ۵۰ مقاله را برای ارائه شفاهی و ۵۰ مقاله را برای ارائه به صورت پوستر مورد پذیرش قرار داد .از ۱۰۰ مقاله پذیرفته شده، ۶۸ مقاله به زبان فارسی و ۳۲ مقاله به زبان انگلیسی نگارش یافته اند.

آقای دکتر حبیب رجبی مشهدی، استاد دانشگاه فردوسی مشهد و رئیس این کنفرانس، نیز اعلام نمود، که از میان مقالات پذیرفته شده، مقالاتی که بالاترین امتیازات را کسب کنند، در مجله علمی-پژوهشی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد چاپ خواهند شد.

اعضای کمیته اجرایی این کنفرانس عبارتند از:

رئیس کنفرانس: دکتر حبیب رجبی مشهدی

دبیر کنفرانس: دکتر محمد حسین جاویدی دشت بیاض

دبیر کمیته اجرایی: دکتر حسین ابوترابی زارچی و دکتر مجید علومی بایگی

دبیر کمیته علمی: دکتر رضا قاضی

مسئول کمیته انتشارات: دکتر علی کریم پور

مسئول کمیته ارتباط با صنعت و کارگاه ها: دکتر سید کمال حسینی ثانی

مسئول کمیته انفورماتیک: دکتر محمد منفرد

مسئول کمیته دانشجویی: دکتر جعفر عبادی

مسئول کمیته روابط بین الملل: دکتر علی پیروی

مسئول کمیته مالی: دکتر جواد ساده

مسئول کمیته برگزاری نمایشگاه :دکتر مجید علومی بایگی

دبیرخانه دائمی کنفرانس: دکتر محمدرضا آقاابراهیمی

زمینه های موضوعی این کنفرانس نیز عبارت بود از:

- ✓ انرژی باد: جنبه های مکانیکی
- ✓ انرژی باد: جنبه های الکتریکی
- ✓ انرژی خورشیدی حرارتی
- ✓ فتوولتاییک
- ✓ نیروگاه های آبی
- ✓ استفاده از انرژی جزر و مد
- ✓ پیل سوختی
- ✓ زیست توده و سوخت های بیولوژیکی
- ✓ انرژی زمین گرمایی
- ✓ برداشت انرژی
- ✓ روش های ذخیره سازی انرژی
- ✓ سیستم های اطلاعات مکانی و داده های ماهواره ای با کاربرد انرژی های تجدیدپذیر
- ✓ انرژی در معماری
- ✓ اثرات زیست محیطی منابع انرژی تجدیدپذیر و تولید پراکنده
- ✓ منابع تولید پراکنده در بازار برق
- ✓ امنیت و پایداری سیستم های تولید پراکنده
- ✓ اثرات متقابل سیستم های قدرت و منابع تولید پراکنده
- ✓ جنبه های اقتصادی منابع انرژی تجدیدپذیر

- ✓ قابلیت اطمینان سیستم های قدرت با منابع تولید پراکنده
- ✓ سیاست گذاری انرژی های تجدیدپذیر و توسعه پایدار

لازم به ذکر است، اولین کنفرانس از تاریخ ۱۸ الی ۲۰ اسفند ۱۳۸۸ در محل دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند با حضور بیش از ۲۰۰ نفر از دانشگاهیان، متخصصین و صنعتگران داخلی برگزار و مقالات پذیرفته شده طی دو روز و در پنج نشست موازی توسط نویسندگان ارائه گردید.

دومین کنفرانس نیز از تاریخ ۱۷ الی ۱۸ اسفند ۱۳۹۰ در محل پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران برگزار و طی نشست های آن کنفرانس، ۱۰۰ مقاله به صورت شفاهی و ۴۷ مقاله به صورت پوستر ارائه گردید.

سپس سومین کنفرانس از تاریخ ۲۱ الی ۲۲ فروردین ۱۳۹۲ در پردیس دانشکده مهندسی دانشگاه اصفهان برگزار و طی نشست های آن کنفرانس، ۷۲ مقاله به صورت شفاهی و ۳۲ مقاله به صورت پوستر ارائه گردید.

مقرر گردید پنجمین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران از ۱۸ الی ۱۹ اسفندماه ۱۳۹۵ در دانشگاه گیلان برگزار گردد.

معرفی موسسه

آشنایی با آزمایشگاه ملی انرژی های تجدیدپذیر آمریکا

این آزمایشگاه که در کلرادو آمریکا قرار دارد، اولین آزمایشگاه آمریکا می باشد،که در زمینه انرژی های تجدیدپذیر فعالیت می کند. بودجه این سازمان که یک موسسه دولتی می باشد، توسط وزارت انرژی آمریکا *DOE*[1] تامین می شود.

این آزمایشگاه در سال ۱۹۷۴ تاسیس شد و در سال ۱۹۷۷ با عنوان موسسه تحقیقاتی انرژی خورشیدی شروع به کار کرد. از زمان شروع به کار این سازمان این سازمان تحت نظر *MRI Global* فعالیت می کرد. از سپتامبر ۱۹۹۱ نیز این سازمان به عنوان آزمایشگاه ملی انرژی های تجدیدپذیر سازمان انرژی آمریکا مورد

[1] Department of Energy

استفاده قرار گرفت و نام آن به *NREL*[1] تغییر یافت. در حال حاضر این سازمان توسط دو شرکت *MRI Global* و *Battle* اداره می شود.

این سازمان دارای سه مرکز ملی می باشد، که عبارتند از :

- مرکز ملی فتوولتائیک
- مرکز ملی بیوانرژی
- مرکز ملی تکنولوژی باد

در ادامه به معرفی این سه مرکز پرداخته می شود.

مرکز ملی فتوولتائیک

هدف اصلی این مرکز کاهش وابستگی به سوختهای فسیلی با کاهش قیمت تمام شده برق تولیدی توسط سیستمهای فتوولتائیک و افزایش راندمان ماژولها و سیستمهای فتوولتائیک می باشد. همه فعالیتهای تحقیقاتی در زمینه سلولهای فتوولتائیک در *NREL* در این مرکز انجام می شود.

بعضی از این فعالیتها عبارتند از:

- مشخصات فیزیکی پنلهای فتوولتائیک
- عملکرد و قابلیت اطمینان سیستمهای فتوولتائیک
- ساخت اتصالات[2]
- مواد با کاربردهای فتوالکتروشیمی[3]

[1] National Renewable Energy Laboratory
[2] *Junction Formation*
[3] *Photo Electrochemical Materials*

یکی از مهمترین تحقیقاتی که در این مرکز با همکاری بخشهای مرتبط در صنایع و دانشگاهها انجام شده است، بررسی مشخصات و عملکرد مکانیزم مواد بکار رفته در ساخت سلولها میباشد، که با استفاده از نتایج *NREL* امیدوار است، هزینه تولید برق با استفاده از سیستمهای فتوولتائیک را در ۶ سنت بر کیلووات ساعت برای سیستمهای متصل به شبکه برق برساند.

مرکز ملی بیوانرژی

این مرکز در اکتبر ۲۰۰۰ راه اندازی شد و شامل ۴ گروه می باشد. هدف اصلی این مرکز تحقیق بر روی تبدیل بیوماس به بیوسوخت از طریق فرایندهای بیوشیمیایی و ترموشیمیایی می باشد. بیانیه این مرکز در نوامبر ۲۰۱۳ اعلام می دارد که ماموریت مرکز ملی بیوانرژی، پرورش قابلیتها در راستای تسریع جایگزینی نفت با سوختهای حاصل از زیست توده با ارائه روشهای نوآورانه و اقتصادی می باشد.

فعالیتهای این مرکز در حال حاضر به ۴ بخش زیر تقسیم می شود:

- علوم کاربردی
- علوم مهندسی تجزیه و ترموشیمیایی[1]
- تحقیق و توسعه در زمینه فرایندهای بیوشیمیایی
- تجزیه و تحلیل تصفیه خانه زیستی[2]

موضوع بخشی از پروژه های فعلی این مرکز عبارت است از:

- مشخصه های زیست توده
- تبدیل بیوشیمیایی

[1] Catalysis and thermochemical science and Enginering
[2] *Bio refinery analysis*

- تبدیل ترموشیمیایی
- مواد شیمیایی و کاتالیستها
- ترکیب فرایندهای زیست توده
- بیوسوختهای ریز جلبکی[1]
- فرایندها و آنالیزهای پایداری زیست توده

مرکز ملی تکنولوژی باد

مرکز ملی تکنولوژی باد نخستین مرکز تحقیقات فناوری انرژی بادی آمریکا می باشد. این مرکز سبب پیشرفت در توسعه نوآوری در تکنولوژی های مربوط به انواع مختلف توربین بادی از طریق تحقیقات و امکانات تست شده است. در این مرکز محققین با همکاری صنایع مرتبط در توسعه فناوری های جدید که باعث کاهش هزینه و افزایش قابلیت سیستم می شود و می تواند در بازارهای جهانی رقابت کند، فعالیت می کنند.

تحقیقات این مرکز شامل زمینه های زیر می شود:

- بررسی و آنالیز طراحی
- انتقال برق و اتصال به شبکه
- مدلسازی، شبیه سازی و توسعه نرم افزار
- ارزیابی منابع باد
- توسعه و تست سیستمهای کنترل پیشرفته

[1] *Microalgal Biofuel*

- تست ارزیابی طراحی و تاییدیه ها
- تست عمر با شتاب زیاد[1]

بودجه این سازمان با توجه به دیدگاه دولتمردان آمریکا تاکنون دچار تغییرات فراوانی شده‌است. بطوری که در زمان ریاست کارتر بودجه این شرکت به میزان قابل توجهی افزایش یافت و باعث شد این سازمان فعالیتهای خود را به شدت گسترش دهد. اما در زمان ریاست جمهوری ریگان بودجه این سازمان به میزان ۹۰ درصد کاهش یافت و باعث شد، تعداد زیادی از کارکنان این سازمان اخراج شوند. اما در سالهای بعد به دلیل مشکلات بوجود آمده در زمینه انرژی و منافع ناشی از استفاده از این انرژی جایگاه این موسسه ارتقاء یافت، اما بودجه این سازمان همچنان در نوسان بود، بطوریکه در سال ۲۰۱۱ کاهش بودجه این سازمان منجر به خروج داوطلبانه ۱۰۰ تا ۱۵۰ نفر از کارکنان این سازمان شد. در ادامه جدول بودجه این سازمان برای سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ آورده شده است.

[1] Highly Accelerated Life Testing

بودجه (میلیون دلار)	سال مالی
۲۱۵/۸	۲۰۰۲
۲۲۹/۸	۲۰۰۳
۲۱۱/۹	۲۰۰۴
۲۰۱/۹	۲۰۰۵
۲۰۹/۶	۲۰۰۶
۳۷۸/۴	۲۰۰۷
۳۲۸/۳	۲۰۰۸
۵۲۱/۱	۲۰۰۹
۵۳۶/۵	۲۰۱۰
۳۸۸/۶	۲۰۱۱
۳۵۲/۰	۲۰۱۲
۳۷۱/۶	۲۰۱۳
۳۶۰/۳	۲۰۱۴

مقاله

بررسی تحقیقاتی و طراحی احداث مرکز تست میدانی ماژولهای فتوولتاییک

نویسنده: احسان لیوانی[۱]

چکیده: با توجه به گسترش روزافزون استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در کشور به‌خصوص حضور پررنگ برندهای خارجی، بحث نظارت بر کیفیت محصولات آن‌ها مبنی بر عملکرد محصولشان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. آزمایشگاه تست میدانی یکی از روش‌های صحت‌سنجی و همچنین بررسی عملکرد ماژولهای خورشیدی در شرایط عملکرد واقعی در منطقه نصب‌شده است. هدف این است که سیستمهای خورشیدی فتولتائیک پیمانکاران داخل و خارج در برندها و تکنولوژی مختلف در این مرکز مورد ارزیابی در بازه زمانی مشخص قرار گیرند، تا اینکه راهنمایی برای توسعه نیروگاهی و خانگی این تکنولوژی در آینده کشور باشند. این ارزیابی‌ها شامل اندازه‌گیری و پایش توان خروجی، منحنی‌های I-V، دمای ماژول، دمای هوا، سرعت باد، میزان تابش کلی و مستقیم است. در این مقاله تجهیزات مورد نیاز برای راه اندازی این مرکز تست میدانی معرفی شده و روش کار برای آن معرفی می‌شود. در انتها نتایج گزارش شده از یک مرکز تست میدانی فتوولتاییک مشابه آورده شده است.

کلیدواژه: مرکز تست میدانی، ماژول فتوولتائیک، پیرانومتر.

۱- مقدمه

امروزه دامنه استفاده از ماژول‌های فتوولتائیک متصل به شبکه به سرعت در حال رشد می‌باشد به نحوی که سالانه حدود ۵۰ درصد به ظرفیت نصب این سیستمها در سراسر جهان اضافه می‌شود. با وجود اینکه از نظر شرایط دریافت تابش خورشیدی، کشور ما ایران بر روی کمربند خورشیدی قرار دارد و بیشتر مناطق مرکزی و کویری آن سرشار از منابع انرژی خورشیدی هستند و در عین حال در کویرهای ایران از هر سه

۱- کارشناس پژوهشی گروه انرژی های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: elivani@nri.ac.ir

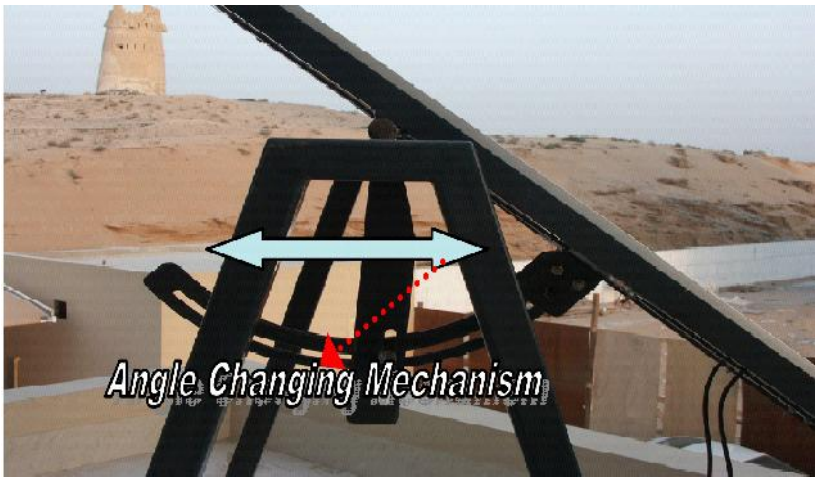
هکتار زمین، در هر ساعت می‌توان یک مگاوات‌ساعت انرژی خورشیدی تولید کرد. اما طی سالهای گذشته کمتر از این مزیت خدادادی استفاده شده است. به طوری که براساس ترازنامه انرژی سال ۹۲ میزان برق خورشیدی متصل به شبکه چیزی کمتر از ۱۰۰ کیلووات بوده است. البته پس از رویکردهای اخیر در راستای استفاده هرچه بیشتر از انرژیهای تجدیدپذیر و به ویژه انرژی خورشیدی، پیش بینی می‌شود که استفاده از این سیستمها با اقبال روبه رو شود و با رفع مشکلات مالی و تصویب قوانین و مقرارت تشویقی، صنعت برق خورشیدی کشور توسعه چشمگیری یابد. یکی از مسائلی که در توسعه صنعت برق فتوولتائیک وجود دارد این است که برندها و تکنولوژی‌های مختلفی شامل چند کریستالی/ تک کریستالی/ فیلم نازک در بازار داخلی و جهانی وجود دارند و این پرسش را در ذهن ایجاد می‌شود که در شرایط اقلیمی و تابش مناطق مختلف کشور کدام یک از انواع تکنولوژی یا برند برای استفاده و یا توسعه ساخت داخل مناسب‌تر است. برای مثال تحت شرایط آفتابی، بارانی، برفی و گرد و خاک در ماههای مختلف سال تکنولوژی‌ها و برندهای مختلف می‌توانند عملکرد متفاوتی داشته باشند. شناخت عملکرد و دوام ماژول‌های خورشیدی در شرایط واقعی میدانی می‌تواند ما را در انتخاب برندهای مختلف و طبقه‌بندی آنها و توسعه آینده بسیار مفید واقع شود. یک تخمین به عمل آمده از بانک اطلاعاتی نرم افزار PV*SOL نشان می‌دهد، که در حال حاضر بیش از ۳۰۰ شرکت در سطح بین الملل در زمینه ساخت ماژولهای خورشیدی فعالیت دارند که عمدتا از کشورهای چین، آمریکا، تایوان، آلمان، ژاپن، کره جنوبی و اسپانیا می‌باشند. از آنجایی که برای مثال در شهری مانند تهران شرایط آب و هوایی در طول یکسال بسیار متفاوت است، لازم است تا ماژول‌هایی مناسبی برای بهترین عملکرد در این شرایط آب و هوایی یافت و لذا این مرکز تست برای توسعه برق خورشیدی فتوولتائیک در مناطق شهری مانند تهران بسیار ضروری است.

هدف این است که ماژول‌های خورشیدی فتولتائیک ساخت سازندگان داخل و خارج در برندها و تکنولوژی مختلف در این مرکز مورد ارزیابی حداقل شش‌ماهه قرار گیرند تا اینکه راهنمایی برای توسعه نیروگاهی و خانگی این تکنولوژی در آینده کشور باشند. این ارزیابی‌ها شامل اندازه‌گیری و پایش توان خروجی ماژول، منحنی‌های I-V، دمای ماژول، دمای هوا، سرعت باد، میزان تابش کلی و مستقیم است[۱].

تسهیلات تست ماژول خورشیدی در فضای باز برای ردیابی عملکرد و قابلیت اطمینان سلول‌های فتولتائیک، ماژول ها، و سیستم های کوچک مورد استفاده واقع می‌شود. همچنین این آزمایشگاه یک بستر برای طراحی مناسب ماژول و یا سیستم PV فراهم می‌آورد.

۲- شرح اجزاء مرکز تست

ماژول های فتوولتائیک بر روی پایه‌هایی با قابلیت چرخش حول یک محور سوار می‌شوند. جهت تمامی ماژول‌ها به سمت جنوب می‌باشد. زاویه‌ی صفحات، نسبت به افق می‌تواند بین ۰ تا ۹۰ درجه تغییر نماید. مکانیزم به‌کار رفته برای دوران صفحات، در شکل آورده شده است. برای اندازه‌گیری میزان نور تابیده شده بر روی سطوح فتوولتائیک، یک پیرانومتر در کنار صفحات، نصب می‌شود. برای اندازه‌گیری دمای ماژول‌ها سنسورهای دمایی نیز در پشت صفحات، نصب شده است. سه پارامتر مهم که برای طراحی یک سیستم انرژی خورشیدی مورد نیاز است عبارتند از: تابش مستقیم، تابش پراکنده و تابش کل. ماژول‌هایی که با تکنولوژی‌های گوناگونی ساخته شده‌اند با تغییرات میزان تابش و همچنین تغییر دما، از خود رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهند. اطلاعات بدست آمده از سنسورها با استفاده به سیستم مانیتورینگ و ذخیره و پردازش اطلاعات منتقل شده که اطلاعات را در یک کامپیوتر ذخیره کرده و پارامترها را پردازش می-نماید[۲].



شکل(۱): مکانیزم تغییر زاویه‌ی صفحات نسبت به افق

۳- تجهیزات اندازه گیری

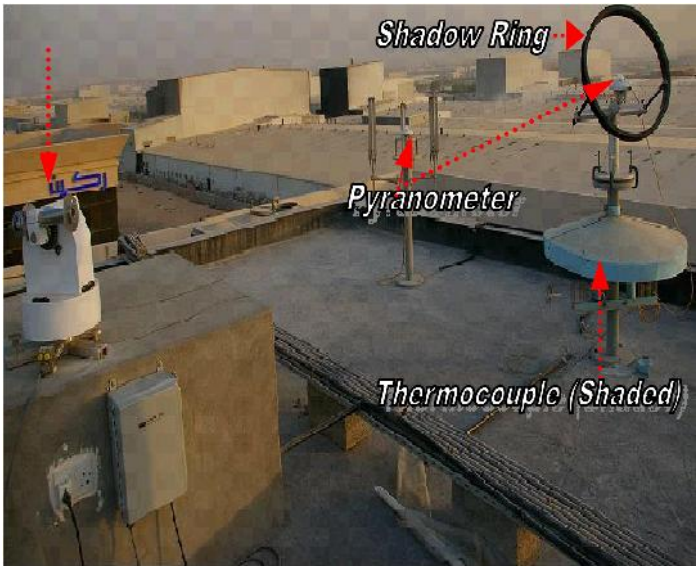
نمایی از تجهیزات مورد نیاز در مرکز، در شکل(۲): ارائه شده است[۳].

پیرانومتر: این دستگاه برای اندازه‌گیری تابش کل خورشید به کار می‌رود. این دستگاه دارای کیفیت بالایی بوده و برای اندازه‌گیری تابش‌های با طول موج کم نیز مناسب می‌باشد.

حلقه‌ی سایه: دستگاه مورد استفاده در امتداد پیرانومتر برای اندازه‌گیری انرژی تابش پراکنده به کار می‌رود.

پیرهلیومتر: از این دستگاه برای اندازه‌گیری میزان تابش مستقیم نور خورشید استفاده می‌شود. این دستگاه با استفاده از یک دنبال‌کننده‌ی خودکار که می تواند حول دو محور گردش نماید (*Eppley SMT two axis tracker*) به صورت مستقیم در برابر نور خورشید قرار می گیرد.

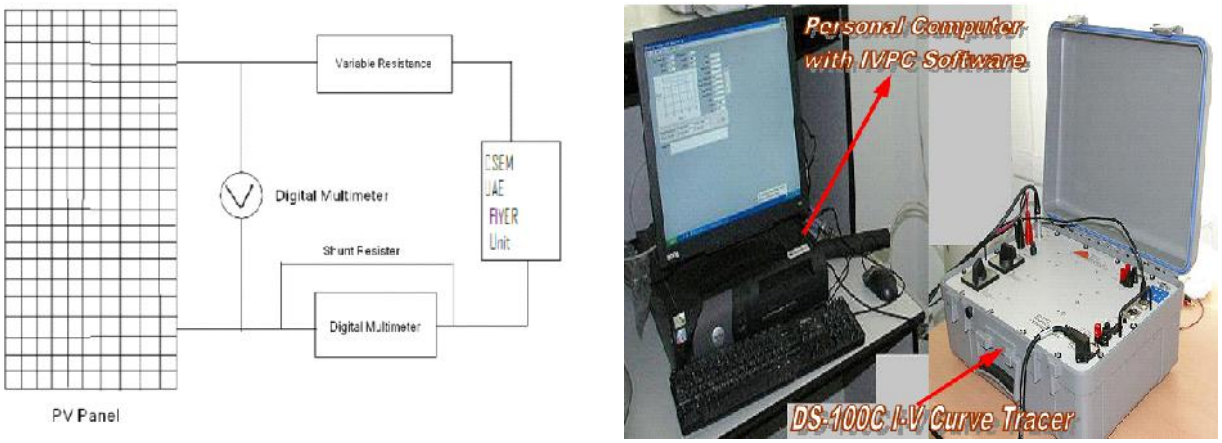
دنبال‌کننده‌ی منحنی آمپر–ولتاژ (*Daystar I-V curve tracer*): این دستگاه منحنی آمپر–ولتاژ را در مقادیر مختلف از تابش خورشید در شرایط تست میدانی ارائه می‌دهد.



شکل(۲): نمایی از تجهیزات به کار رفته در مرکز تست میدانی

۴- روش های اندازه‌گیری

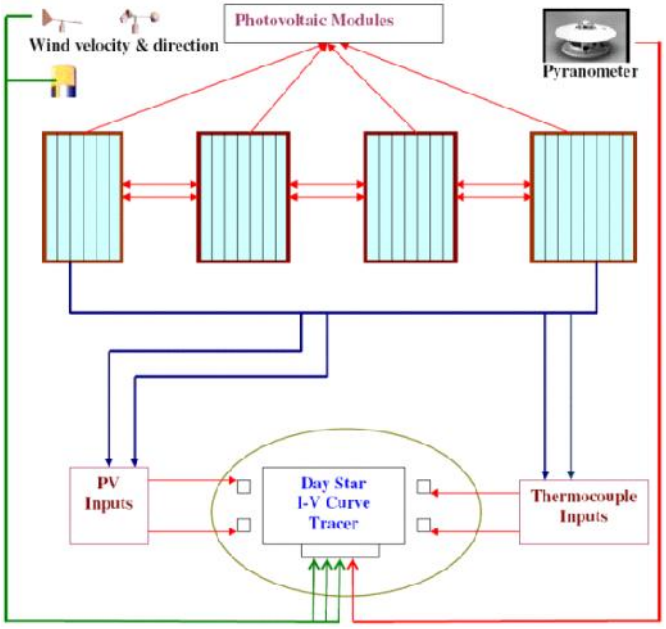
پارامتر های اندازه‌گیری شده شامل میزان تابش کل بر روی سطح زاویه دار، ولتاژ و جریان صفحات فتوولتائیک می‌باشند. برای اندازه‌گیری میزان کل تابش، یک پیرانومتر در مکانی شبیه به محلی که ماژول‌ها قرار دارند، نصب می‌شود. اطلاعات مربوط به تابش کل بر روی یک صفحه‌ی زاویه‌دار نسبت به افق، طی مدت مشخصی به منظور پردازش‌های بیشتر، صورت می‌گیرد. این روش توسط محققان برای به‌دست آوردن عملکرد واقعی سلول‌های خورشیدی، ماژول‌ها و آرایه‌های فتوولتائیک با استفاده از دسته‌بندی منحنی‌های آمپر–ولتاژ انجام می‌شود. دمای محیط و ماژول‌ها با استفاده از سنسورهای مناسب اندازه‌گیری می‌شود. نمایی از تجهیزات مورد نیاز برای استخراج منحنی جریان–ولتاژ، در شکل(۳): نمایش داده شده است.



شکل(۳): نمایی از دستگاه استفاده شده برای استخراج منحنی های آمپر–ولتاژ

۵- استخراج منحنی‌های آمپر–ولتاژ

این مرکز مجهز به یک *Daystar 100C I-V curve tracer* می باشد. این دستگاه قابل حمل بوده و می‌توان با استفاده از آن منحنی آمپر–ولتاژ را به دست آورد. این دستگاه برای به دست آوردن منحنی آمپر–ولتاژ، اَمپدانس الکتریکی که به ماژول‌ها متصل می‌باشد را تغییر می دهد.



شکل(۴): دیاگرام شماتیک برای دسته بندی منحنی آمپر–ولتاژ در ماژول‌های فتوولتائیک

تغییر امپدانس از صفر تا بینهایت، باعث می‌شود که نقطه‌ی کارکرد سیستم فتوولتائیک از I_{sc} (شدت جریان اتصال کوتاه) تا V_{oc} (ولتاژ مدار–باز) تغییر نماید. سیستم مورد استفاده می تواند منحنی‌های مربوط به سیستم‌های فتوولتائیک با توان $50kW$ را نیز استخراج نماید. انواع اطلاعات ذخیره شده و دیاگرام به‌کار رفته، در شکل(۴): نمایش داده شده است.

۶- نمونه ای از نتایج گزارش شده مراکز تست میدانی موجود

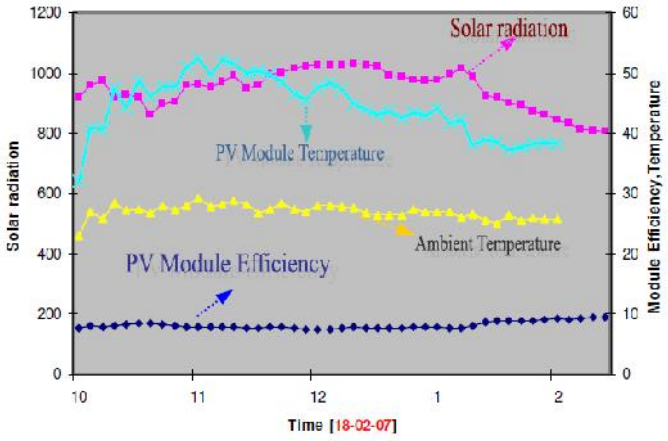
در دنیا مراکز تست میدانی بسیاری برای تست میدانی ماژولهای فتوولتائیک وجود دارد. در این بخش نتایج گزارش شده از مرکز تست میدانی ماژولهای فتوولتائیک واقع در دانشگاه مصدر امارات متحده آورده شده است. در اغلب ماژول‌های فتوولتائیک، به ازای یک درجه افزایش دما تقریباً ۰/۵ درصد بازده ماژول‌ها کاهش می‌یابد. دمای ماژول‌های Sharp از $60^{o}C$ در روزهای صاف، فراتر نرفته است. تاکنون رویه‌ای مناسب برای اندازه‌گیری ضریب دمای ماژول‌ها، ارائه نشده است. در جدول(۱) پارامترهای گزارش شده برای ماژول شرکت Sharp آورده شده است.

جدول(۱): پارامترهای گزارش شده برای ماژول تهیه شده از شرکت Sharp

Sharp Ne-Q5E2E		
Parameters	**Unit**	**Value**
Open Circuit voltage (V_{oc})	V	43.1
Maximum Power voltage (V_{pm})	V	34.6
Short Circuit current (I_{sc})	A	5.46
Maximum power current (I_{pm})	A	4.77
Maximum power (P_m)	W	165
Encapsulated solar cell efficiency (η_c)	-- -	14.6
Module efficiency	----	12.7

بازده‌ی ماژول ها نیز در هر روز، گزارش شده اند. در شکل(۶) نمونه‌ای از اطلاعات گزارش شده برای یک ماژول در طی یک روز ارائه شده است. مقدار بازده‌ی ماژول‌ها بین ۸ تا ۱۰ درصد می باشد که با مقادیر

گزارش شده برای شرایط استاندارد، بین ۳ تا ۴ درصد متفاوت می باشد. این کاهش بازدهی به دلیل دمای بالا در مناطق اندازه گیری، وجود غبار زیاد در هوا و نشستن آنها بر روی صفحات می باشد. این مرکز، در حال بررسی تأثیر نشست غبار بر روی صفحات می باشد. برای به دست آوردن نمودار های شدت جریان-ولتاژ، در مراجع مختلفی از دستگاه *Day Star* استفاده شده است.



شکل(۵): اطلاعات گزارش شده برای یک ماژول در طی یک روز

تمامی آزمایشات صورت گرفته در این مرکز برای یافتن بازدهی واقعی ماژول های فتوولتاییک در شرایط نامناسب، صورت پذیرفته است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که در شرایطی که دمای هوا بین ۵۰ تا ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد بازدهی ماژول ها به اندازه ۳ الی ۴ درصد کاهش می‌یابد.

۷- مراجع

[1]International standard IEC 61724, Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for monitoring, data exchange and analisys, First edition, 1998
[2] http://renknownet2.iwes.fraunhofer.de/pages_en/kontakt_en.htm
[3]Andrew Rosenthal, Field Test and Evaluation Report Five Photovoltaic Power Systems for the City of Tucson, New Mexico State University , April 14, 2008

مقاله

بهینه سازی دو هدفه مقاومت مکانیکی و عملکردی تک سل پیل سوختی اکسید جامد با کمک الگوریتم ژنتیک

نویسندگان: شهریار بزرگمهری[۱]، محسن حامدی[۲]

چکیده: در این مقاله، الگوریتم ژنتیک با کمک مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی جهت بهینه سازی مقاومت مکانیکی و عملکرد تک سل پیل سوختی اکسید جامد بعنوان روش‌های محاسباتی هوش مصنوعی به کار رفته است. مدلسازی بر روی متغیرهای مختلف تک سل براساس نتایج تجربی موجود با کمک شبکه عصبی روبه جلو با کمک الگوریتم پس گسترش خطا با شش ورودی، یک لایه نهانی شامل چهار نرون و یک خروجی نتایج رضایت بخشی بدست می دهد. شبیه سازی رفتار عملکردی نمودار جریان–ولتاژ در مشخصات مختلف تک سل با تغییر ضخامت و تخلخل لایه آند تکیه تک سل، ضخامت لایه الکترولیت، ضخامت لایه کاتد فعال و همچنین دماهای مختلف با نتایج تجربی بصورت کامل مقایسه و ارائه شده است. با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک انتخاب مشخصات مناسب تک سل جهت عملکرد مناسب و مقاومت مصالحی تک سل پیل سوختی اکسید جامد انجام یافته است.

کلیدواژه: پیل سوختی اکسید جامد، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، عملکرد، مقاومت مکانیکی، شبکه عصبی مصنوعی.

۱– مقدمه

با توجه به نیاز روز افزون به سامانه های تولید توان پاک در جهان پیل‌های سوختی اکسید جامد[۳] در جایگاه ویژه‌ای پژوهشی و توسعه‌ای قرار گرفته است. بعلت مزایای زیاد این مولدهای انرژی از جمله

۱– استادیار پژوهشی گروه انرژی های تجدید پذیر، پژوهشگاه نیرو، تهران ، پست الکترونیک: sbozorgmehri@nri.ac.ir

۲– استاد مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران.

[3] - Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs)

بالاترین بازده تولید توان، قابلیت استفاده از سوخت‌های متنوع و با کمترین آلایندگی زیست محیطی بعنوان امید بخش‌ترین فناوری پاک تولید توان الکتریکی و همچنین تولید همزمان برق و حرارت و تولید پراکنده انرژی می‌باشند[۱]. مهمترین چالش پیشروی گسترش پیل های سوختی اکسید جامد هزینه های بالا آن می-باشد[۱و۲]. از روشهای مختلف مدلسازی و بهینه سازی کمک گرفته شده است تا تولید اقتصادی این پیل‌ها امکان پذیر شوند.

روش‌های مختلف جهت بررسی عوامل موثر بر عملکرد پیل سوختی اکسید جامد مورد استفاده قرار گرفته است، از آن جمله روشهای تجربی و ریاضی نیز انواع مدلسازی های عددی فرآیند چند گانه فیزیکی و الکتروشیمیایی، انتقال حرارت و جرم و بار الکتریکی می توان اشاره نمود. مدلسازی بعنوان ابزار مهمی در دسترس پژوهشگران می‌باشد که عملکرد این سیستمها را شبیه سازی نمایند[۳و۴]. روشهای ریاضی بطور کلی از معادله نرنست[1]، معادلات قطبش فعالسازی، اهمی و غلظتی استفاده می‌کنند. لذا به داده‌های فراوانی از جمله خصوصیات ریزساختاری و خصوصیات الکتروشیمیایی مواد به استفاده شده در پیل سوختی، شرایط کارکرد، شناخت دقیق فرآیندهای چندگانه شیمی-فیزیک و حل عددی معادلات نیاز دارد و همچنین یک مساله پیچیده بدست می‌آید.

روشهای پیشرفته مانند شبکه عصبی مصنوعی[2] نیز جهت مدلسازی پیل های سوختی اکسید جامد بکار رفته است[۵ -۱۳]. این روش مانند یک ابزار جعبه سیاه به شبیه سازی سیستمها بدون حل معادلات فیزیکی مساله فقط با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی سیستم که حاصل از نتایج تجربی و یا یک مدل است، می‌پردازد.

[1] - Nernst equation
[2] - Artificial Neural Network (ANN)

تک سل‌های پیل سوختی اکسید جامد آند پایه[1] رایج‌ترین تک سل‌های مورد استفاده در سامانه‌های پیل سوختی اکسید جامد می‌باشند. این تک سل‌ها معمولا از پنج لایه تشکیل شده‌اند، که عبارتند از: یک لایه آند تکیه[2] (ASL)، یک لایه آند فعال[3] (AFL)، یک لایه الکترولیت، یک لایه کاتد فعال[4] (CFL) و یک لایه جمع کننده جریان کاتد[5] (CCCL). لایه آند بطور گسترده از مواد مرکب نیکل و زیرکنیای پایدار شده توسط ایتریا (Ni/YSZ) و الکترولیت از زیرکنیای پایدار شده توسط ایتریا (YSZ) و کاتد از مواد مرکب منگنات لانتانیم دوپ شده با استرانسیم و YSZ (LSM/YSZ) ساخته می‌شود.

با بررسی مراجع موجود [۵-۱۳] این نتیجه را می توان یافت که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بهمراه الگوریتم ژنتیک جهت مدلسازی و بهینه سازی دو هدفه پارامترهای تک سل با یک پیکره بندی جامع و ثابت با استفاده از داده‌های تجربی ارائه نشده است که در این مقاله به حل این مساله پرداخته شده است.

۲- روش مدلسازی و بهینه سازی

روش مدلسازی و بهینه سازی شامل دو روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک می‌باشد که در دو بخش ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- مدلسازی با کمک شبکه عصبی مصنوعی

مدلسازی عملکرد تک سل پیل سوختی اکسید جامد با کمک شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از داده-های تجربی مرجع [۱۴] انجام یافته است. شبکه عصبی مصنوعی بکار گرفته شده بر اساس شبکه عصبی رو

[1] - Anode-supported SOFCs
[2] - Anode Support Layer: ASL
[3] - Anode Functional Layer: AFL
[4] - Cathode Functional Layer: CFL
[5] - Cathode Current Collector Layer: CCCL

به جلو[1] با استفاده از الگوریتم پس گسترش لونبرگ-مارکوردت[2] و فرآیند آموزش با تنظیم بیسین[3] انجام یافته است. جزئیات روش شناسی شبکه عصبی مصنوعی در مراجع [۱۵-۱۷] تشریح شده است. به مشخصات داده‌های ورودی جهت تربیت شبکه عصبی مصنوعی بخش بعدی مقاله اشاره شده است.

معماری شبکه دارای شش ورودی، یک لایه نهانی و یک خروجی می باشد. مدل شبکه عصبی مصنوعی برای این سل پیل سوختی شامل شش پارامتر ورودی می باشد، شامل:

۱- چگالی جریان برحسب آمپر بر سانتیمتر مربع.

۲- ضخامت لایه آند تکیه بر حسب میلیمتر.

۳- تخلخل لایه آند تکیه.

۴-ضخامت لایه الکترولیت بر حسب میکرومتر.

۵- ضخامت لایه کاتد فعال برحسب میکرومتر.

۶- دمای تک سل برحسب سانتیگراد.

پارامتر خروجی این مدل ولتاژ تک سل می‌باشد. به منظور بدست آوردن معماری مناسب پیکره بندیهای مختلف مورد آزمون قرار گرفته است و پیکره بندی با لایه نهانی همراه با شش نرون انتخاب شده است. توابع انتقال سیگموئید تانژانت هیپربولیک و خطی به ترتیب برای لایه های نهانی و خروجی برگزیده شده است. ۶۳۲ نقطه تجربی بصورت اتفاقی با نسبت ۶۰ درصد برای آموزش، ۲۰ درصد برای آزمون، ۲۰ درصد جهت اعتبارسنجی استفاده شده است. خطای میانگین مربعات[4] بهترین عملکرد اعتبارسنجی به ۰٫۰۸۶۳ در

[1] - Feed-forward neural network
[2] - Levenberg-Marquardt
[3] - Bayesian regulation
[4] - Mean Square Error: MSE

ایپاک[1] ۳۲ می رسد و آموزش متوقف می‌شود. مقادیر رگرسیون آموزش، آزمون و اعتبارسنجی به ترتیب عبارتند از ۰٫۹۹۷۷۲ ، ۰٫۹۹۶۵۶ و ۰٫۹۹۶۵ محاسبه می‌شوند.

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه سازی عملکردی تک سل پیل سوختی اکسید جامد با بررسی تغییر در پارامترهای آن ارائه می‌شود. نتایج حاصل از مدلسازی نمودار جریان– ولتاژ در اشکال(۱) الی (۶) آورده شده است. همانگونه که در اشکال عملکرد تک سل دیده می‌شود در مقایسه با نتایج تجربی مدلسازی مطابقت خوبی بین مدلسازی و نتایج تجربی نشان می‌دهد. همچنین خطا بین داده‌های تجربی و شبیه سازی، جذر خطای میانگین مربعات[2] و خطای استاندارد پیشبینی[3] محاسبه شده است که در جدول(۱) ارائه شده است.

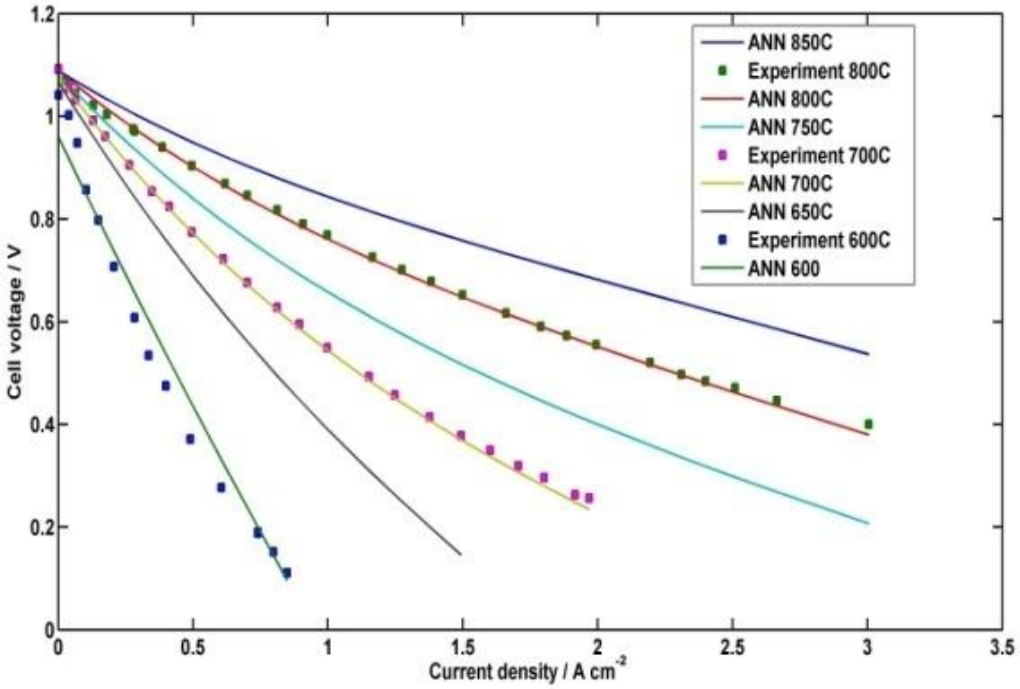
جدول (۱): محاسبه **RMSE** و **SEP**

تغییر در پارامتر	*RMSE*	*SEP(%)*
ضخامت لایه آند تکیه	۰٫۰۱۸۸	۲٫۹۴۴۷
تخلخل لایه آند تکیه	۰٫۰۱۵۹	۲٫۳۹۴۷
ضخامت الکترولیت (C °800	۰٫۰۰۷۵	۱٫۱۷۳۳
ضخامت الکترولیت (C °700	۰٫۰۱۹۲	۱٫۳۰۱۷
ضخامت لایه کاتد فعال	۰٫۰۱۶۶	۲٫۶۷۶۷
تک سل بهینه	۰٫۰۱۰۸	۱٫۵۸۴۱
تک سل استاندارد	۰٫۰۲۳۱	۳٫۸۰۷۰
کل	۰٫۰۱۰۸	۱٫۷۰۵۴

[1] - epoch
[2] - Root Mean Squares Errors: RMSE
[3] - Standard Error of Prediction

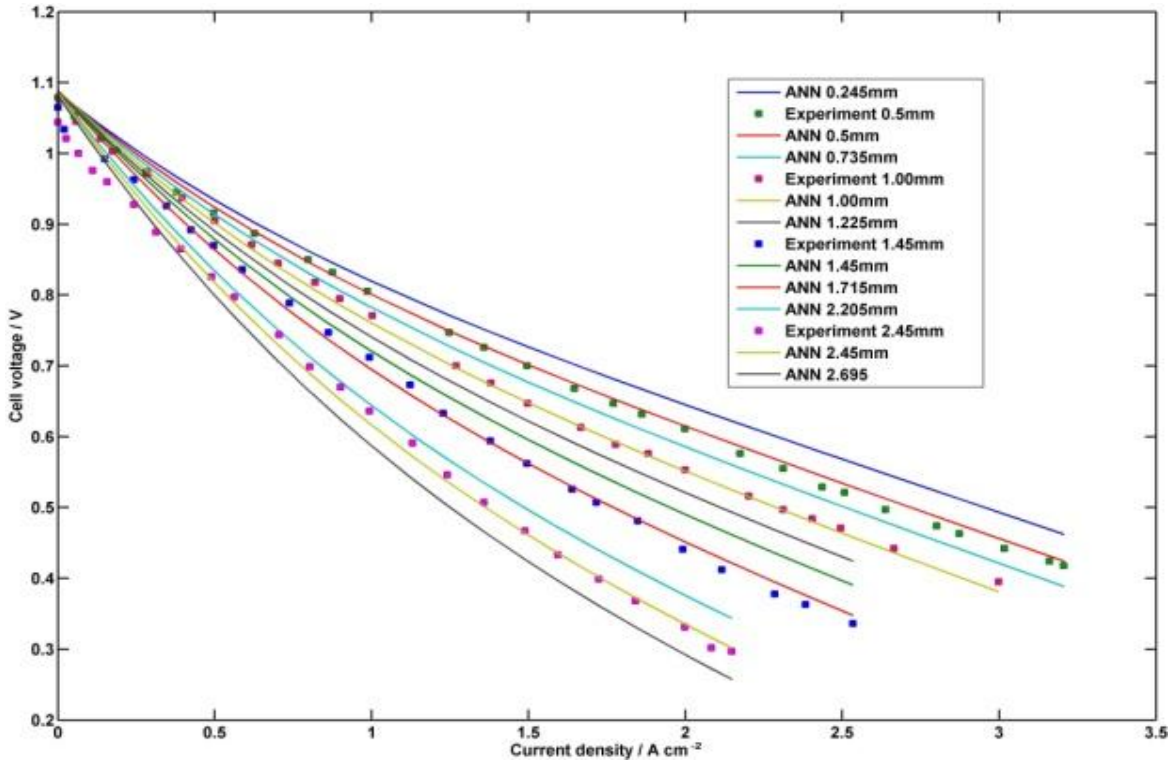
همانطوریکه در جدول (۱) ملاحظه می شود، بیشترین خطا در پیشبینی عملکرد تک سل استاندارد و کمترین خطا در پیشبینی عملکرد تغییرات ضخامت الکترولیت در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد بدست می آید و همچنین مقادیر خطای کل و سایر خطاها مقادیر قابل قبولی می باشند.

شکل (۱) نمودار عملکرد تک سل استاندارد (یا نمودار جریان و ولتاژ) در دماهای مختلف عملکردی و همچنین پشبینی عملکرد در دماهایی که در داده های تجربی وجود ندارند (۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سانتیگراد) عملکرد مناسب مدلسازی را نشان می‌دهد. همانطوریکه مشاهده می‌شود عملکرد تک سل در دماهای بالاتر بهبود می یابد.



شکل (۱): نمودار جریان– ولتاژ تک سل استاندارد

شکل(۲) نمودار جریان و ولتاژ تک سل در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد با تغییر ضخامت لایه آند تکیه را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود با کاهش ضخامت لایه آند تکیه عملکرد سل بهبود می‌یابد.

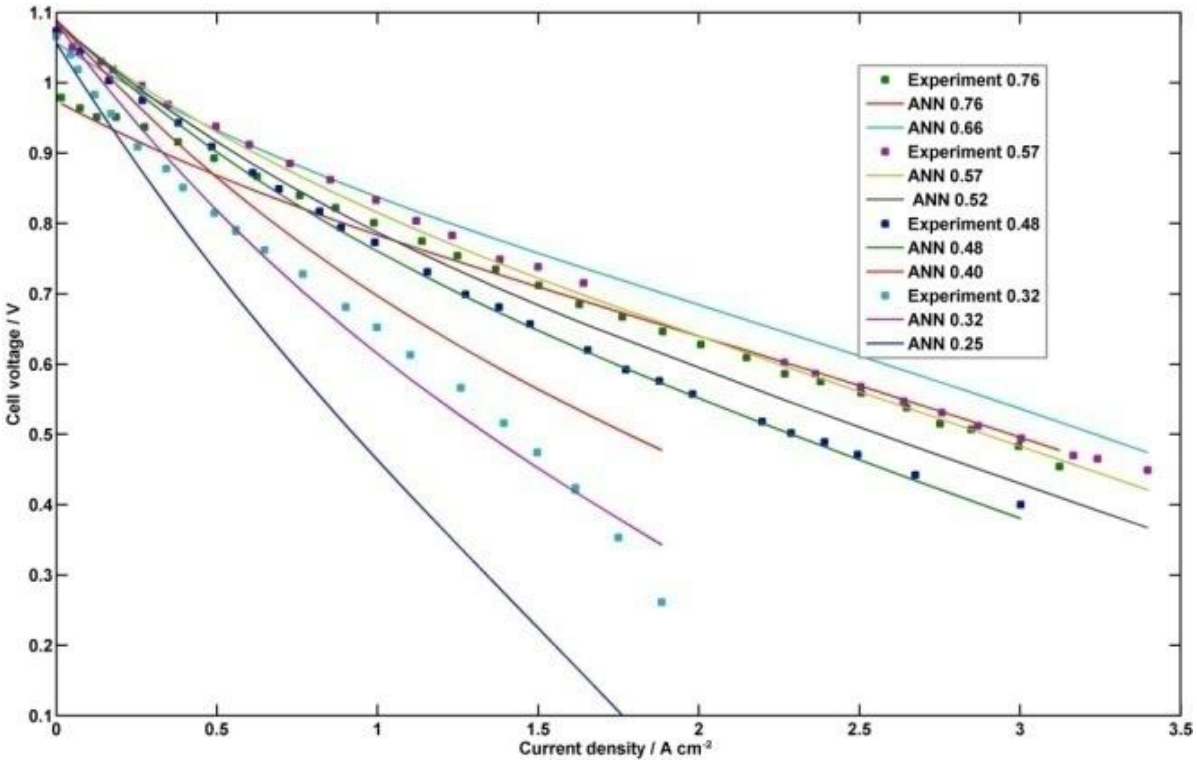


شکل (۲): نمودار جریان- ولتاژ تک سل با ضخامت های مختلف لایه آند تکیه

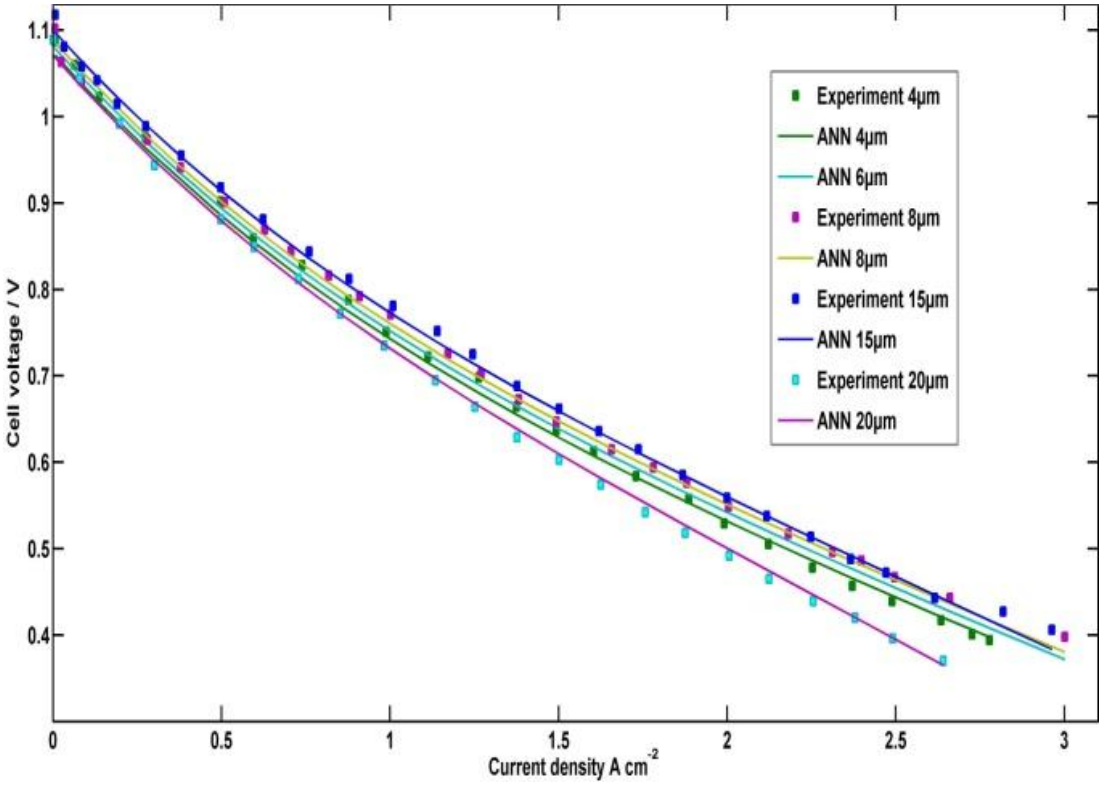
همانگونه که واضح است عملکرد تک سل با کاهش ضخامت لایه آند تکیه بهتر می شود و همچنین قابلیت تطبیق مدل با نتایج تجربی و پیشبینی مقادیر خارج از داده های تجربی قابل مشاهده می باشد.

شکل(۳) نمودار جریان و ولتاژ تک سل با تغییرات تخلخل لایه آند تکیه حاصل از مقادیر تجربی و شبیه سازی ارائه شده است.

در شکل(۴) نمودار جریان و ولتاژ تک سل با تغییر ضخامت لایه الکترولیت در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد داده های تجربی و مدلسازی دیده می شود.

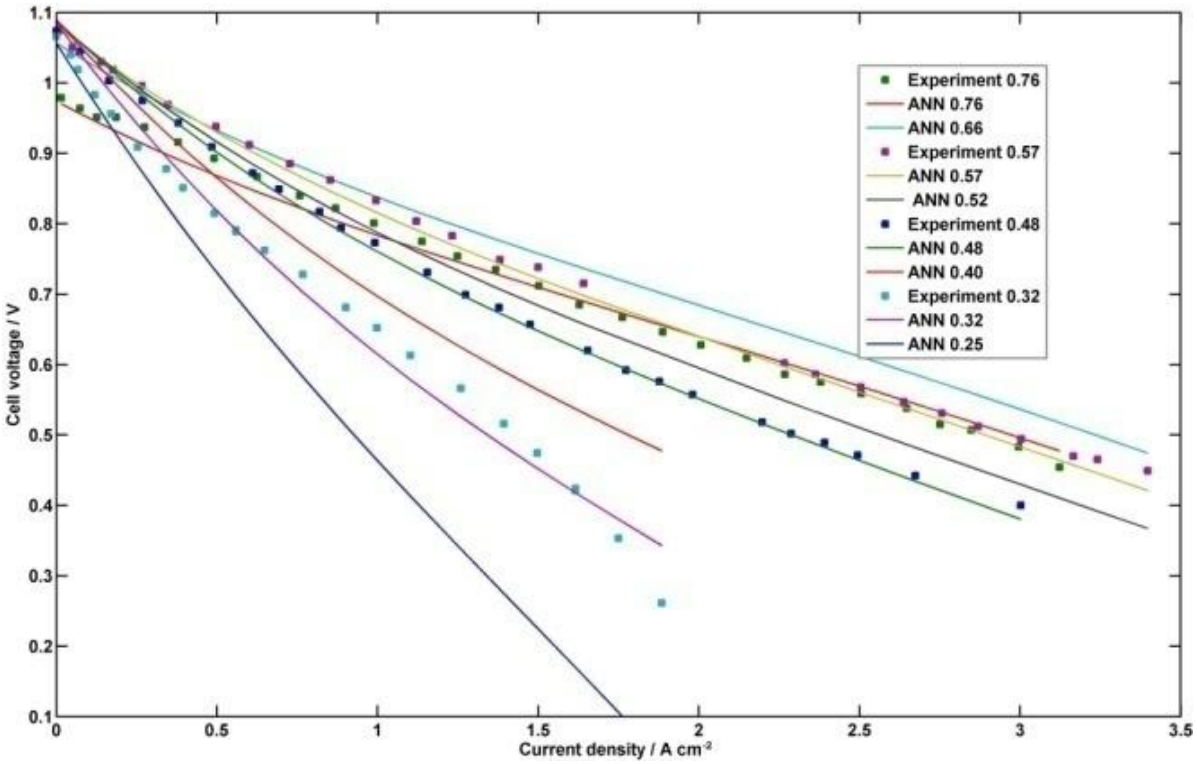


شکل (۳): نمودار جریان- ولتاژ تک سل با تخلخل های مختلف لایه آند تکیه



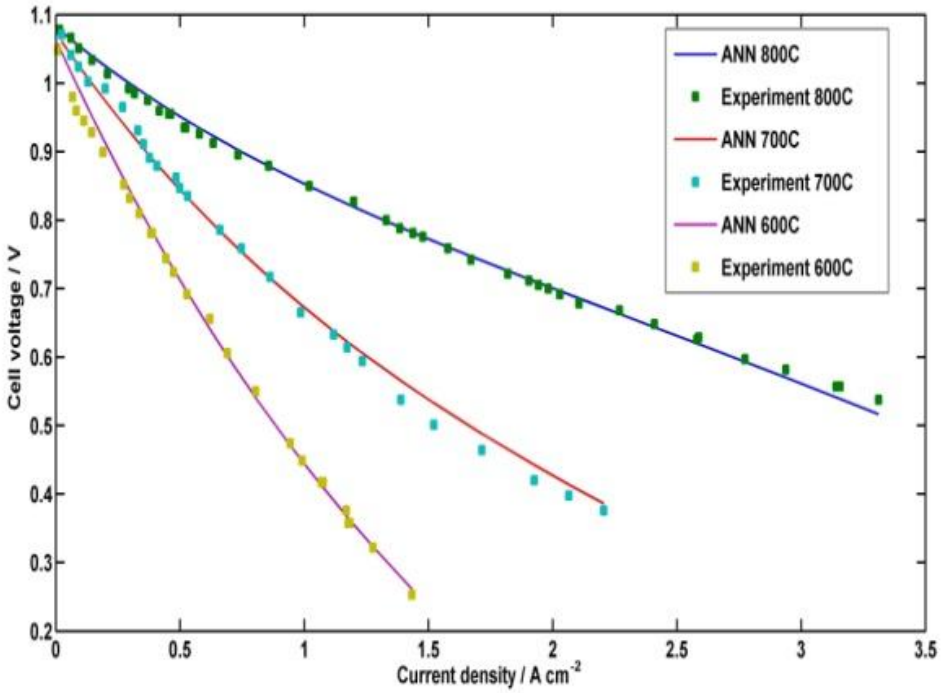
شکل (۴): نمودار جریان- ولتاژ تک سل با ضخامت های الکترولیت مختلف

شکل(۵) نمودار جریان و ولتاژ تک سل با تغییر ضخامت لایه کاتد فعال حاصل از نتایج تجربی و پیشبینی مدل مقاله در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد با کمک مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی و داده های تجربی [۱۴]، شبیه سازی در ضخامت های ۴، ۱۳، ۳۸ و ۱۱۵ میکرومتر بدون وجود نتایج تجربی را ارائه می دهد.



شکل (۵): نمودار جریان- ولتاژ تک سل با ضخامت های مختلف لایه کاتد فعال

شکل۶ نمودار جریان و ولتاژ تک سل بهینه پیشنهاد شده توسط مرجع [۱۴] و شبیه سازی آن توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی در دماهای مختلف را نشان می دهد.



شکل (۶): نمودار جریان- ولتاژ تک سل بهینه با کمک مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی و داده های تجربی [۱۴].

با توجه به محاسبات انجام شده، می توان نتیجه گرفت که استفاده از روش مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی به صورت مناسبی می توان عملکرد تک سل پیل سوختی اکسید جامد را با تغییر پارامترهای مختلف آن نظیر: تغییر ضخامت و تخلخل لایه آند تکیه تک سل، ضخامت لایه الکترولیت، ضخامت لایه کاتد فعال و همچنین دماهای مختلف در دامنه‌های مختلف جریان و ولتاژ شبیه سازی نماید. همچنین محاسبه خطا مقادیر پیشبینی شده مدل نسبت به مقادیر تجربی صحت اعتبار مدلسازی را نشان می‌دهد. این قابلیت مدلسازی همراه با معماری نسبتاً ساده شبکه عصبی مصنوعی (تعداد کم نرون های استفاده شده) و سرعت محاسبات قابل توجه است. همچنین این مدل در مطالعات آینده بهینه سازی و تحلیل پارامترها تک سل قابلیت بهره برداری دارد که در بخش‌های آتی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- تابع مقاومت مکانیکی

علاوه بر تابع عملکرد تک سل یا بیشینه چگالی توان که در بخش قبلی آورده شد، تابع مقاومت مکانیکی نیز جهت بهینه سازی دو هدفه در این بخش در نظر گرفته شده است.

با استفاده از خصوصیات مکانیکی تک سل تابع مقاومت مکانیکی آن تعیین می‌شود. تک سل های صفحه‌ای باید تنش های خمشی ناشی از انبساط حرارتی بین اجزاء استک و گرادیان دمایی را تحمل کنند. بنابراین مقاومت خمشی تک سل بعنوان یکی از توابع بهینه سازی انتخاب شده است.

براساس استاندارد ASTM C-1499، مقاومت خمشی نمونه های سرامیکی با انجام تست حلقه بر روی حلقه[1] با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود [۱۹ و ۲۰]:

$$\pm_f = \frac{3F_L}{2\pi h^2}\left[(1-\nu)\frac{D_S^2 - D_L^2}{2D^2} + (1+\nu)\ln\frac{D_S}{D_L}\right] \qquad (۱)$$

که σ_f مقاومت خمشی، F_L ، h و υ به ترتیب نیروی اعمالی شکست، ضخامت نمونه و ضریب پواسون می‌باشند. همچنین D و D_s و D_L به ترتیب قطر نمونه، قطر حلقه نگهدارنده و قطر حلقه اعمال نیرو می باشند. مقادیر پارامترهای مذکور در جدول ۴ ارائه شده است.

مقاومت خمشیσ، سرامیک های متخلخل مانند Ni/YSZ وابسته به مقدار تخلخل، p و خصوصیات مکانیکی می‌باشد [۱۹-۲۱] و با فرمول زیر می توان ارائه شود:

$$\pm = \pm_0 \exp(-bp) \qquad (۲)$$

که $\sigma 0$ مقاومت مکانیکی ماده بدون تخلخل و b ضریب وابستگی به تخلخل است.

مقاومت مشخصه، σ_C آند Ni/YSZ تابعی از ضخامت لایه براساس نتایج تجربی رادویچ و لارا-کورزیو [۱۹] نیز می باشد، بنابراین معادله زیر را می توان ارائه نمود:

[1] Ring on ring

$$\pm_C = -21.155(h-1) + \pm \qquad (۳)$$

که h ضخامت لایه آند تکیه می‌باشد. به این ترتیب مقاومت مشخصه با کاهش میزان تخلخل افزایش می‌یابد. این معادله (۳) بعنوان تابع هدف در الگوریتم بهینه سازی دو هدفه مورد استفاده قرار گرفته شده است.

ضریب پواسون، ν، از معادله زیر برحسب مقدار تخلخل ماده بدست می‌آید:

$$\neg = \frac{E}{2G} - 1 = (\frac{E_0}{2G_0}) \exp[-(b_E - b_G)p] - 1 \qquad (۴)$$

که E مدول یانگ و G مدول برشی ماده متخلخل می‌باشند و همچنین E_0 و G_0 مدول یانگ و مدول برشی ماده بدون تخلخل می‌باشند و b_E و b_G ضرایب وابسته به تخلخل می‌باشند که در جدول (۲) مقادیر عددی آنها آورده شده است.

جدول (۲): **مقادیر اصلی پارامترهای مقاومت خمشی تک سل**

پارامتر	واحد	مقدار
D	*mm*	۲۵
D_s	*mm*	۲۰
D_L	*mm*	۵٫۵
σ_0	*MPa*	۴۷۳٫۴
b	-	۵٫۱۲
E_0	*MPa*	۲۱۲٫۱
b_E	-	۳٫۱۶
G_0	*MPa*	۷۹٫۵

از تاثیر مقاومت مکانیکی لایه فعال آند و الکترولیت بعلت مقادیر کوچک ضخامت آنها در برابر ضخامت لایه آند تکیه صرف نظر می‌شود وهمچنین لایه کاتد نیز نقشی در مقاومت مکانیکی تک سل ندارد[۱۹].

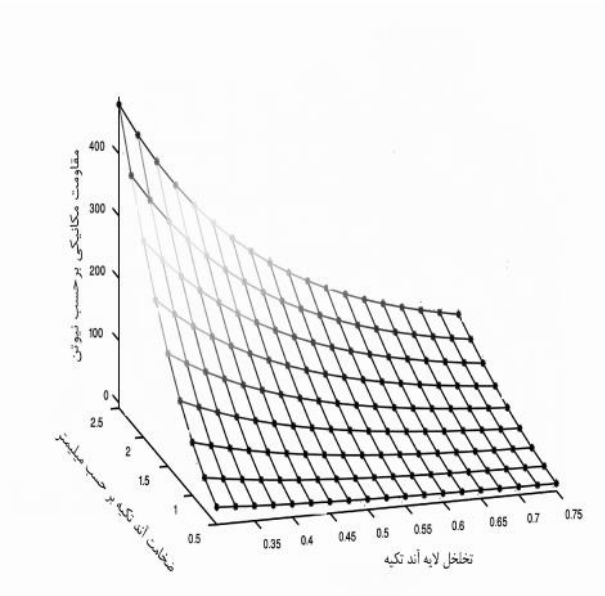
ضریب K بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$K = \left(2 - \left(\frac{E_0}{2G_0}\right) \exp[-(b_E - b_G) p] \right) \frac{D_S^2 - D_L^2}{2D^2} + \left(\left(\frac{E_0}{2G_0}\right) \exp[-(b_E - b_G) p] + 1\right) \ln \frac{D_S}{D_L} \quad (۵)$$

نیروی شکست، FL، از معادلات شماره (۴-۲) الی (۴-۶) بدست می‌آید:

$$F_L = \frac{2\circledR h^2}{3K}(-21.155(h-1) + \pm_0 \exp(-bp)) \quad (۶)$$

در شکل(۷)، نیرو مقاومت براساس تابع مقاومت مکانیکی نشان داده شده است.



شکل (۷): نیرو مقاومت آند *Ni/YSZ*

۲-۳- بهینه سازی با کمک الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی پارامترهای تک سل با استفاده از مدل شبیه سازی عملکرد آن توسط شبکه عصبی بکار گرفته شده است. خلاصه‌ای از فلوچارت این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد[۲۲و۲۱]:

گام یک: تولید اتفاقی جمعیت اولیه (کروموزوم ها).

گام دو: ارزیابی کردن برازش هر کروموزوم، این گام شامل تعیین مقادیر برازش برای هر حل بالقوه و رده بندی آنها می‌باشد.

گام سه: اعمال انتخاب متناسب با مقادیر برازش و تعیین جمعیت والدین و رده بندی مجدد جمعیت جدید.

گام چهار: تزویج جمعیت و اعمال محدودیت های مساله.

گام پنج: اعمال انتخاب بر اساس برازش با عملگرهای دیگر نظیر جهش و تولید نسل بعدی.

گام شش: بررسی شرایط توقف الگوریتم و در صورت عدم حصول شرایط تکرار گام های یک تا پنج.

بیشینه چگالی توان[1] بعنوان تابع هدف جهت الگوریتم ژنتیک بصورت معادله (۷) در نظر گرفته شده است. از نرم افزار تجاری مطلب[2] جهت بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. اندازه جمعیت ۲۰ و نرخ تزویج ۰٫۸ و نرخ جهش ۰٫۰۱ و بیشینه تعداد نسل ها ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

$$MPD = Max(I.V) \qquad (۷)$$

که MPD بیشینه چگالی توان برحسب W/cm^2 می باشد، I چگالی جریان بر حسب A/cm^2 و ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی است و V ولتاژ سل بر حسب ولت است که توسط مدل محاسبه می‌شود.

محدوده پارامترهای سل در فرآیند بهینه سازی در دامنه زیر می‌باشد:

ضخامت لایه آند تکیه، [۰٫۵ ۲٫۴۵]، mm.

درصد تخلخل لایه آند تکیه، [۳۲ ۷۶]، ٪.

ضخامت الکترولیت، [۴ ۲۰]، µm.

ضخامت لایه کاتد فعال، [۶ ۱۰۵]، µm.

[1] - Maximum Power Density (MPD)
[2] - MATLAB

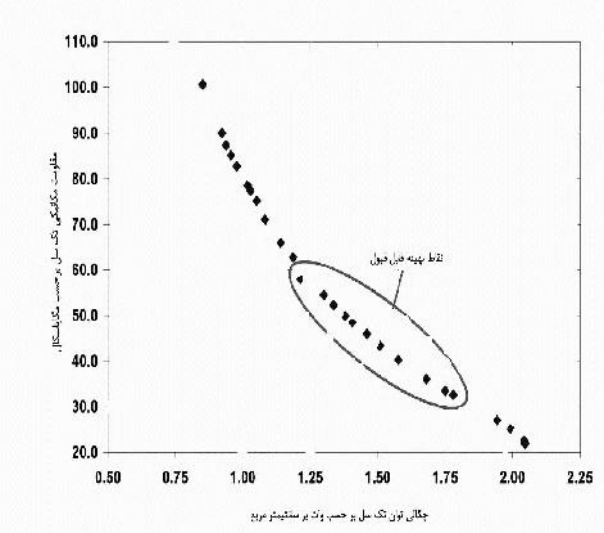
قیودی جهت محدودیت ضخامت لایه آند تکیه و مقدار تخلخل آن و ضخامت الکترولیت به جهت یافتن مقادیر بهینه با شرایط ساخت و عملکرد واقعی به الگوریتم بهینه سازی اعمال شده است که در بخش نتایج آورده می‌شوند.

الگوریتم ژنتیک به جهت بهینه سازی دو هدفه پارامترهای سل با کمک روشNSGA II [1] انجام یافته است بر اساس مراجع [۲۲و۲۱] و شرایط جستجوی مشابه الگوریتم بهینه سازی دو هدفه اعمال شده است.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از این روش در شکل ۸ نشان داده شده است. ۱۱ نقطه بهینه انتخابی پارتو در جدول ۳ آورده شده است. بالاترین مقدار بیشینه چگالی توان به Wcm^{-2} ۲ر۴۰۸ می‌رسد و در این شرایط ضخامت، تخلخل لایه آند تکیه، ضخامت الکترولیت و لایه کاتد فعال، مقاومت مشخصه و نیروی شکست به ترتیب عبارتند از: mm ۰ر۵۰۸، ۶ر۷۲٪، ۴ میکرومتر ، ۳ر۲۰ میکرومتر، MPa ۹ر۲۱ و N ۱,۱۷۹. بیشترین مقاومت مشخصه MPa ۱۰۰ بدست آمده است که با مشخصات تک سل؛ ضخامت، تخلخل لایه آند تکیه، ضخامت الکترولیت و لایه کاتد فعال و بیشینه چگالی توان و نیروی شکست به ترتیب عبارتند از: mm ۰ر۵۱۴ ، ۳ر۳۲٪ ، و ۱۸,۸۰ میکرومتر و ۲۲ میکرومتر، Wcm^{-2} ۰ر۸۵۱ و N ۱,۱۷۹. نمودار جبهه پارتو شکل ۸ نشان داده شده است و نقاط انتخابی با انتخاب مقادیر مشخصه بالاتر از MPa ۳۰ بر اساس آستانه شکست پیشنهادی توسط مالزبندرو اشتنبرنچ [2] با احتمال شکست یک در میلیون در مرجع [۲۳] و مقادیر بیشینه چگالی توان بیش از Wcm^{-2} ۱ر۲ بر مبنای سل استاندارد مرجع[۱۴] در نظر گرفته شده است.

[1] - non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA II)
[2] - Malzbender & Steinbrench



شکل(۸): نمودار جبهه پارتو

جدول(۳): نقاط بهینه پارتو.

شماره	عملکرد MPD/Wcm-2	مقاومت مکانیکی مشخصه /MPa	نیرو شکست/N	ضخامت ASL/mm	تخلخل ASL/%	ضخامت الکترولیت /μm	ضخامت CFL/ μm
۱	۱٫۴۶	۴۵٫۹۹	۸٫۲	۰٫۵۱۲	۵۰٫۵	۱۰٫۵	۲۰٫۸
۲	۱٫۷۸	۳۲٫۶۳	۵٫۸	۰٫۵۰۸	۵۹٫۷	۵٫۱	۲۰٫۸
۳	۱٫۴۰	۴۸٫۵۱	۸٫۶	۰٫۵۱۰	۴۹٫۲	۹٫۴	۲۱٫۲
۴	۱٫۳۸	۴۹٫۸۹	۸٫۸	۰٫۵۰۹	۴۸٫۵	۹٫۱	۲۰٫۸
۵	۱٫۳۳	۵۲٫۲۹	۹٫۲	۰٫۵۱۰	۴۷٫۳	۱۰٫۰	۲۱٫۱
۶	۱٫۷۵	۳۳٫۵۳	۶٫۰	۰٫۵۱۰	۵۸٫۹	۴٫۱	۲۰٫۵
۷	۱٫۵۷	۴۰٫۳۳	۷٫۲	۰٫۵۱۱	۵۳٫۹	۶٫۵	۲۰٫۳
۸	۱٫۲۱	۵۸٫۰۹	۱۲٫۴	۰٫۵۶۰	۴۴٫۴	۱۲٫۷	۲۱٫۱
۹	۱٫۵۰	۴۳٫۴۴	۷٫۷	۰٫۵۱۱	۵۲٫۰	۷٫۵	۲۰٫۳
۱	۱٫۳۰	۵۴٫۴۷	۹٫۷	۰٫۵۱۳	۴۶٫۳	۱۲٫۶	۲۱٫۶
۲	۱٫۶۸	۳۶٫۱۳	۶٫۵	۰٫۵۱۲	۵۶٫۸	۷٫۸	۲۰٫۷
۳	۱٫۴۶	۴۵٫۹۹	۸٫۲	۰٫۵۱۲	۵۰٫۵	۱۰٫۵	۲۰٫۸

۴- نتیجه گیری

در این مقاله با کمک روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک با موفقیت عملکرد تک سل پیل سوختی اکسید جامد شبیه سازی و بهینه سازی شد. روش شبکه عصبی مصنوعی توانست در دامنه وسیعی از تغییر پارامترهای تک سل پیل سوختی عملکرد آن را پیشبینی کند. همچنین تابع مقاومت مکانیکی بعنوان

یک تابع هدف دیگر علاوه بر تابع هدف عملکرد بر حسب ضخامت و تخلخل لایه آند تکیه بدست آمد. بهینه سازی الگوریتم ژنتیک ۲۷ نقطه حل بهینه پاراتو را برای بیشترین عملکرد و بالاترین مقاومت مکانیکی را ارائه نمود. در نهایتاً نقاط برگزیده برای بهینه سازی دو هدفه تک سل پیل سوختی اکسید جامد انتخاب شد. نتایج بصورت آشکار توانایی روش شبیه سازی شبکه عصبی مصنوعی و بهینه سازی الگوریتم بعنوان یک روش محاسباتی سریع جهت بهینه سازی دو هدفه تک سل پیل سوختی اکسید جامد نشان می‌دهد.

۵- مراجع

[1] Minh NQ, Takahashi T. Science and technology of ceramic fuel cells. Amsterdam: Elsevier; 1995.

[2] Singhal SC, Kendall K, editors. High temperature solid oxide fuel cells: fundamentals, design and applications. Elsevier; 2003.

[3] Kakac S, Pramuanjaroenkij A, Zhou XY. A review of numerical modeling of solid oxide fuel cells. Int J Hydrogen Energy 2007;32:761-86.

[4] Andersson M, Yuan JL, Sunden B. Review on modeling development for multiscale chemical reactions coupled transport phenomena in solid oxide fuel cells. Appl Energy 2010;87:1461-76.

[5] Arriagada J, Olausson P, Selimovic A. Artificial neural network simulator for SOFC performance prediction. J Power Sources 2002;112:54-60.

[6] Ogaji S.O.T, Singh R., Pilidis P., Diacakis M. Modelling fuel cell performance using artificial intelligence. J Power Sources 2006; 154:192-7.

[7] Entchev E, Yang L, Application of adaptive neuro-fuzzy inference system techniques and artificial neural networks to predict solid oxide fuel cell performance in residential microgeneration installation. J Power Sources 2007; 170:122–9.

[8] Wu XJ, Zhu XJ, Cao GY, Tu HY. Nonlinear modelling of a SOFC stack by improved neural networks identification. J Zhejiang Univ-SCI A 2007;8:1505-9.

[9] Wu XJ, Zhu XJ, Cao GY, Tu HY. Modeling a SOFC stack based on GA-RBF neural networks identification. J Power Sources. 2007;167:145-50.

[10] Wu XJ, Zhu XJ, Cao GY, Tu HY, Hu WQ. A Hybrid Experimental Model of a Solid Oxide Fuel Cell Stack. J Fuel Cell Sci Technol. 2009;6(1).

[11] Milewski J, Swirski K. Modelling the SOFC behaviours by artificial neural network. Int J Hydrogen Energy. 2009; 34:5546-53.

[12] Zhao D, Dong W, Xue D. A hybrid model for optimal concurrent design of solid oxide fuel cell system considering functional performance and production cost. Concurrent engineering: research and applications 2008;16:161-72.

[13] Zhao D, Xue DY. Parametric design with neural network relationships and fuzzy relationships considering uncertainties. Comput. Ind. 2010;61:287-96.

[14] Zhao F, Virkar AV. Dependence of polarization in anode-supported solid oxide fuel cells on various cell parameters. J Power Sources 2005;141:79-95.

[15] Haykin S. Neural Networks - A comprehensive foundation. Prentice Hall; 1999 .

[16] Hagan MT, Demuth HB, Beale M. Neural Network Design. PWS publishing; 1996.

[17] Foresee FD, Hagan MT. Gauss–Newton approximation to Bayesian regularization. In: Proceedings of the 1997 International Joint Conference on Neural Networks.1997.

مقاله

معرفی فناوری‌های مرتبط در حوزه انرژی زیست‌توده

نویسنده: مهدی رضایی، مریم عابدی[1]

چکیده: فناپذیری سوخت‌های فسیلی، مشکلات زیست محیطی ناشی از مصارف انرژی فسیلی، تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار، ایجاد امنیت انرژی باعث توجه جدی جهانیان به توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. استفاده از زیست‌توده به عنوان یک منبع انرژی نه تنها به دلایل اقتصادی بلکه به دلیل توسعه زیست محیطی و اجتماعی نیز جذاب است. انرژی زیست‌توده به دلیل اینکه یکی از منابع عمده در میان انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد و قابلیت تولید برق، حرارت، سوخت‌های مایع (اتانول و بیودیزل)، سوخت‌های گازی (متان) و انواع کاربردهای مفید شیمیایی را دارا است و می‌تواند انرژی را به اشکال جامد، مایع و گاز تحویل نماید، حائز اهمیت است. در این گزارش سیستم انرژی زیست‌توده (شامل منابع، فناوری‌های تولید انرژی و ...) به طور کلی معرفی شده است تا بتوان مسیری برای کاربرد موثر این منبع انرژی را تدوین نمود.

کلیدواژه: امنیت انرژی، انرژی تجدیدپذیر، فناوری‌های انرژی زیست‌توده

۱- مقدمه

فناپذیری سوخت‌های فسیلی، تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار، ایجاد امنیت انرژی، مشکلات زیست محیطی ناشی از مصارف انرژی فسیلی از یک طرف و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی مانند انرژی

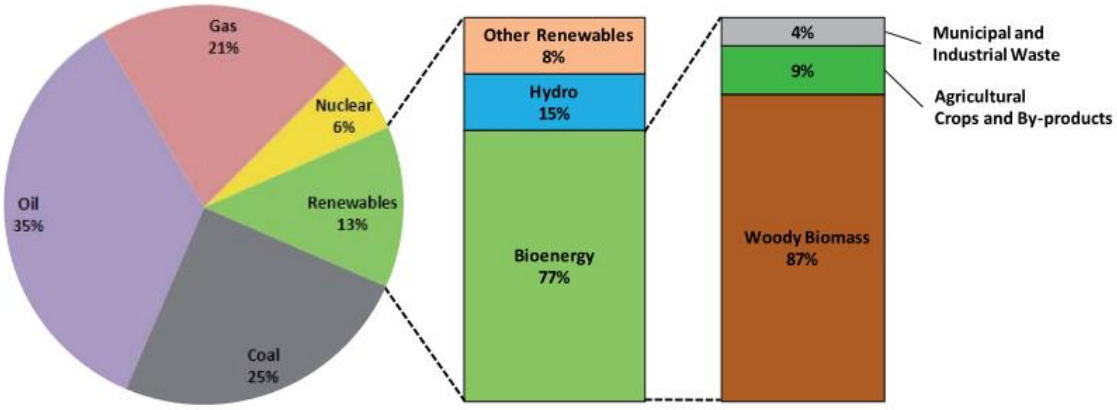
۱- کارشناس پژوهشي گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیك : mahdirezaei@nri.ac.ir

خورشید، باد، زیست‌توده و غیره از طرف دیگر، باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است و تقاضای بین‌المللی برای مصرف سوخت‌های پاک و به ویژه زیست‌توده برای مصارفی چون حمل و نقل، برق و حرارت افزایش یافته است. امروزه فعالیت‌ها و بودجه دولت‌ها و شرکت‌ها در امر تحقیق، توسعه و عرضه سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش چشمگیر داشته است. استفاده از زیست‌توده به عنوان یک منبع انرژی نه تنها به دلایل اقتصادی بلکه به دلیل توسعه زیست محیطی و اجتماعی نیز جذاب است و از طرفی عاملی جهت تسریع در رسیدن به توسعه پایدار می‌باشد. سیستم‌هایی که زیست‌توده را به انرژی قابل مصرف تبدیل می‌کنند، می‌توانند در ظرفیت‌های کوچک، متوسط و بزرگ به کار روند. در این گزارش سیستم زیست‌توده (شامل منابع، فناوری‌های تولید انرژی و ...) به طور کلی معرفی شده است تا بتوان مسیری برای کاربرد موثر این منبع انرژی را تدوین نمود.

زیست‌توده یکی از منابع عمده در میان انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. تعاریف متعدد و گوناگونی از آن ارائه شده است. تعریف اتحادیه اروپا از زیست‌توده که در راهنمای EC/77/2001 به تاریخ ۲۷ سپتامبر ۲۰۰۱ میلادی عنوان شده، بدین شرح است:"زیست‌توده عبارت است از اجزاء قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگل‌ها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه".

بنا به تازه‌ترین تعریف ارائه شده از زیست توده در استاندارد ISO/CD13065-2014، زیست توده به مواد خامی اطلاق می‌شود که خاستگاه زیستی داشته باشند به استثنای آنها که در زمین ساختارها (لایه-های زمین) دفن شده و یا به مواد سنگواره‌ای دگردیسی یافته باشند.

زیست‌توده قابلیت تولید برق، حرارت، سوخت‌های مایع (اتانول و بیودیزل)، سوخت‌های گازی (متان) و انواع کاربردهای مفید شیمیایی را دارا است و می‌تواند انرژی را به اشکال جامد، مایع و گاز تحویل نماید. به طوریکه پس از ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی، چهارمین منبع بزرگ انرژی در دنیا می‌باشد. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌گردد، بنا بر آمار سال ۲۰۰۶ آژانس بین‌المللی انرژی و ۲۰۰۷ هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوایی[1]، منابع زیست توده با مجموع عرضه انرژی اولیه EJ ۵۴/۹، سالانه حدود ۱۰ درصد از انرژی اولیه جهان (EJ ۵۵۲) را تأمین می‌نماید [۱ و ۲]. در پایان سال ۲۰۱۰ حدود ۶۲,۰۰۰ مگاوات نیروگاه تولید برق (با انواع فناوری‌ها) و ۲۲۵,۰۰۰ مگاوات حرارتی نیروگاه مدرن تولید حرارت با منبع زیست‌توده احداث شده است که حدود ۱۰,۰۰۰ مگاوات آن فقط در ایالات متحده بوده است (حدود ۵۸ درصد از بازار تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در امریکا). همچنین بیش از ۵۰ میلیارد لیتر سوخت تجدیدپذیر از منابع زیست‌توده تولید و مصرفمی‌گردد[۳].



شکل(۱): سهم بیوانرژی در تأمین انرژی اولیه در جهان.

[1] *IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change*

۲- منابع زیست توده

زیست‌توده‌ای که می‌تواند به منظور تولید انرژی به کار رود طیف گسترده‌ای از مواد را شامل می‌شود. همه این اشکال می‌توانند با هدف تولید انرژی استفاده شوند، اما همه انواع فناوری‌های تبدیل انرژی برای همه شکل‌های زیست‌توده مناسب نیستند. منابع زیست‌توده به هشت دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

- چوب خام (مواد چوبی)
- گیاهان انرژی‌زا (منظور گیاهانی است که به منظور تولید انرژی کشت می‌شوند)
- زائدات کشاورزی
- ضایعات مواد غذایی
- ضایعات صنعتی و فرآورده‌های جانبی
- فضولات دامی
- فاضلاب‌های شهری و صنایع مواد غذایی
- پسماند جامد شهری

۳- معرفی فناوری‌های زیست توده

منابع زیست‌توده را می‌توان به روش‌های گوناگون به انرژی تبدیل نمود. در حال حاضر فناوری‌های موجود در زمینه تبدیل زیست‌توده به انرژی را می‌توان به سه گروه طبقه‌بندی نمود که هر گروه برای نوع خاصی از زیست‌توده مناسب است و محصولات انرژی مختص خود را دارد:

۱- تبدیل ترموشیمیایی: شامل استفاده از حرارت و فرایندهای شیمیایی برای تولید محصولات انرژی از زیست‌توده می‌باشد. تبدیل ترموشیمیایی شامل فناوری‌های ذیل می‌گردد:

- ✓ احتراق مستقیم
- ✓ آتشکافت (پیرولیز)
- ✓ گازی‌ساز
- ✓ کربنیزاسیون

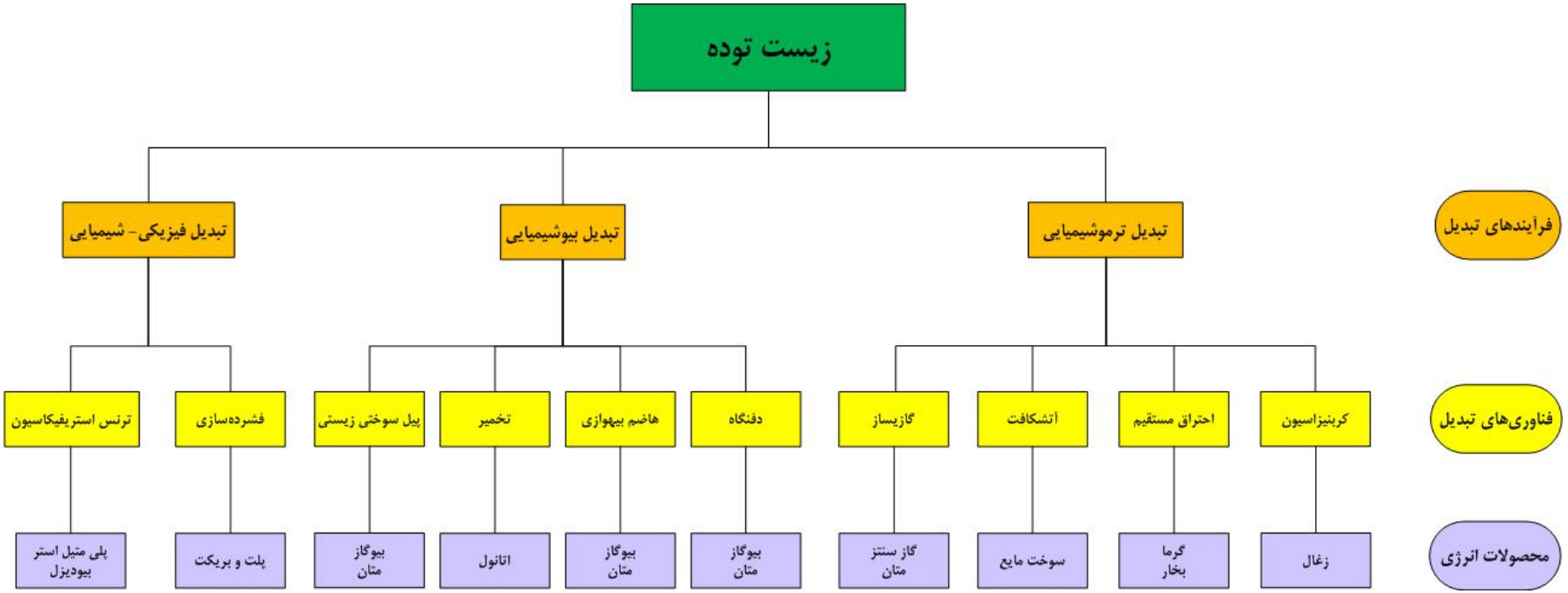
۲- تبدیل فیزیکی‌شیمیایی: شامل اعمال روش‌های مکانیکی روی زیست‌توده و استفاده از عوامل شیمیایی برای تبدیل زیست‌توده به سوخت‌های مایع و جامد می‌باشد. تبدیل فیزیکی- شیمیایی شامل موارد ذیل می‌شود:

- ✓ فشرده‌سازی
- ✓ ترنس‌استریفیکاسیون

۳- تبدیل بیوشیمیایی: شامل استفاده از آنزیم‌ها، باکتری‌ها یا سایر میکروارگانیسم‌ها برای تبدیل زیست‌توده به دیگر شکل‌های انرژی است و مشتمل بر فناوری‌های ذیل می‌باشد:

- ✓ هاضم بی هوازی
- ✓ دفنگاه
- ✓ تخمیر
- ✓ پیل سوختی زیستی

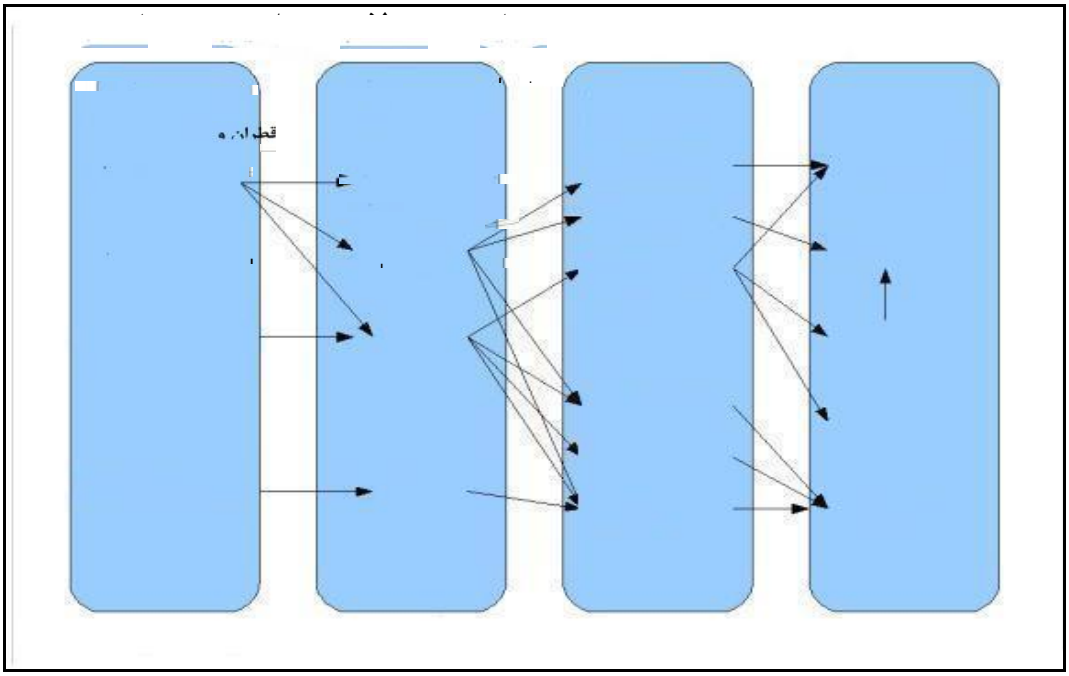
شکل (۲) دسته‌بندی فناوری‌های تبدیل زیست‌توده را نمایش می‌دهد.



شکل(۲): فرآیندها و فناوری‌های تبدیل زیست‌توده به محصولات انرژی

۳- فناوری‌های تبدیل ترموشیمیایی

این فناوری‌ها با گرما دادن به مواد زیستی در حضور یا عدم حضور عوامل کمکی، انرژی تولید می‌کنند. در این فرایندها گرما حاکم بر مکانیسم تبدیل زیست‌توده به شکل‌های شیمیایی دیگر می‌باشد. انرژی تولید شده می‌تواند به صورت انرژی گرمایی یا انرژی ثانویه باشد که از فرآورده‌های انرژی‌زا مانند سوخت‌های جامد، مایع و گاز به دست می‌آید و می‌توانند به انرژی جنبشی یا الکتریسیته تبدیل شوند. محصول دیگر این فناوری ترکیبات شیمیایی ویژه است که برای کاربری‌های متنوع همچون داروسازی، رنگ‌سازی، نساجی و غیره استفاده می‌شود. عوامل کمکی در این فناوری‌ها می‌تواند بخار، هوا، اکسیژن، هیدروژن و مواد جامد باشند. فناوری‌های تبدیل گرمایی به چند دسته تقسیم می‌شوند. تفاوت هر یک از این فناوری‌ها در شرایط عملیاتی (دما، فشار و نوع مواد ورودی به راکتور) و فرآورده‌های خروجی از آنها می‌باشد. نمای کلی فرآورده‌های تبدیل گرمایی در شکل (۳) نشان داده شده است.



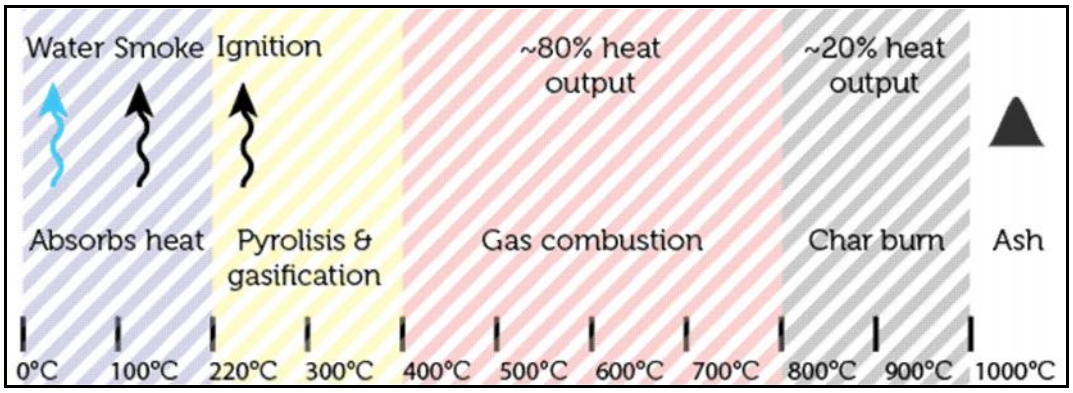
شکل(۳): نمای کلی فرآورده‌های تبدیل ترموشیمیایی زیست‌توده

احتراق مستقیم

در این فناوری، منابع زیست‌توده جامد نظیر زائدات جنگلی- کشاورزی، زائدات صنایع غذائی و زباله-های شهری مستقیماً در بویلرهای خاصی در حضور اکسیژن سوزانده شده و انرژی پیوندی موجود در ترکیبات آلی به صورت انرژی گرمایی آزاد می‌شود و فرآورده‌های نهایی فرآیند که شامل دی‌اکسیدکربن، آب، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد به همراه برخی ناخالصی‌های دیگر همچون دوده، ترکیبات هالوژن‌دار و برخی ترکیبات آلی سوخته نشده یا جدید هستند، تشکیل می‌گردد. از این فناوری برای تولید برق، حرارت و یا تولید همزمان برق و حرارت استفاده می‌شود. در فرآیند احتراق برای هر ذره از زیست‌توده در مجموع پنج گام رخ می‌دهد (شکل۴)، که به ترتیب عبارتند از:

- خشک شدن[1]
- آتشکافت
- گازیسازی[2]
- اکسیداسیون گازها[3] و
- اکسیداسیون زغال[4]

[1] Drying
[2] Gasification
[3] Gas Oxidation
[4] Char Oxidation



شکل(۴): نمودار نمادین پیشرفت فرآیند احتراق یک ذره زیست‌توده

فناوری احتراق زیست‌توده رایج‌ترین روش تبدیل انرژی است و تجاری شده است. اما هنوز هم نگرانی-های قابل توجهی جهت توسعه این فناوری وجود دارد. مشکل حمل و نقل زیست‌توده به علت تراکم پایین مانعی برای ساخت نیروگاه‌های بزرگ می‌باشد. چالش‌های دیگر در زمینه احتراق شامل میزان انرژی پایین، اندازه ذرات، چگالی، رطوبت، ترکیب سوخت، خاکستر شدن فلز قلیایی، انتشار آلاینده‌ها و رسوب کردن می‌باشد. یکی دیگر از نگرانی‌ها در این زمینه طراحی کوره و بهره‌برداری آن است زیرا برای هر سوخت، کوره باید به صورت اختصاصی طراحی شود. فناوری‌های احتراق در ظرفیت‌های ۲ kW تا ۵۰۰ MW وجود دارد [۴ و ۵]. کاربرد فناوری احتراق مستقیم در شامل موارد ذیل می‌شود:

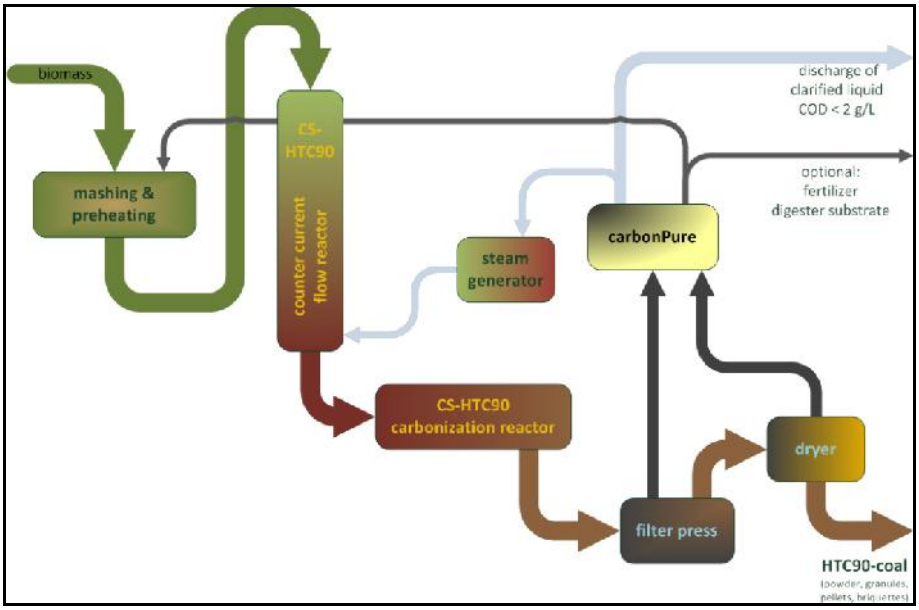
زباله‌سوز

- همسوزی[1] (که شامل استفاده از زیست‌توده در نیروگاه‌های زغال سنگی می‌باشد)
- بخاری و بویلرهای زیست‌توده سوز

[1] Co-firing

کربنیزه کردن

این روش جزو قدیمی‌ترین فناوری‌ها می‌باشد و محصول نهائی آن ذغال چوب، برق و حرارت می‌باشد. اخیراً نمونه‌های موفقی از آن در کانادا جهت تولید برق یا ذغال (قابل استفاده در صنایعی نظیر سیمان) راه‌اندازی شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در شکل (۵) فرآیندهای یک واحد کربنیزه کردن نشان داده شده است.



شکل(۵): شماتیک فرآیند کربنیزه کردن

گازیسازی

تبدیل ترموشیمیایی زیست‌توده به گاز، گازیسازی نامیده می‌شود. اساس این فرآیند تجزیه به کمک گرما می‌باشد و عمل گرمادهی تا تخریب و تجزیه حداکثر مواد خام ادامه می‌یابد. در فرآیند گازیسازی، زیست‌توده تحت شرایط کمبود اکسیژن گرما داده می‌شود و همزمان سیالی به محیط واکنش (راکتور) وارد می‌شود که به آن عامل گازیساز می‌گویند. عامل گازیساز باعث سوختن بیشتر یا شناورسازی مواد اولیه ورودی می‌باشد. این عامل می‌تواند اکسیژن، هوا، بخار، هیدورژن یا متان باشد.

کلیه موادی که ساختمان کربنی یا لیگنوسلولزی یا آلی داشته و درصد رطوبت آن‌ها پایین باشد(کمتر از ۲۰٪) برای فرآیند گازیسازی مناسب هستند. مواد خام مناسب را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم نمود:

- زائدات چوبی و جنگلی
- زائدات کشاورزی
- زباله شهری
- لجن فاضلاب

فناوری آتشکافت (پیرولیز)

آتشکافت فرآیندی است که در آن منابع زیست‌توده به وسیله گرما در غیاب اکسیژن تجزیه می‌شوند و محصولات نهائی پیرولیز به فرم جامد (ذغال)، مایع (روغن‌های اکسیژنه و قطران) و گاز (متان، مونواکسید کربن و دی اکسید کربن) بوجود می‌آید. به این فرآیند، تقطیر تخریبی نیز می‌گویند. هر چند که آتشکافت پیش‌درآمد فرآیندهای دیگر از جمله احتراق و گازی‌سازی است اما در فناوری آتشکافت سریع برای تولید انرژی، تلاش بر آن است که حداکثر مقدار ممکن ترکیبات مایع از زیست‌توده استخراج شود حال آنکه در فناوری گازی‌سازی، تمایل به سوی استخراج حداکثر گاز از زیست‌توده است.

۴- فناوری‌های تبدیل فیزیکی- شیمیایی

طیف گسترده‌ای از فرایندهای شیمیایی را می‌توان برای تبدیل زیست‌توده به سوخت به کار برد. سوخت تولیدی قابلیت مصرف، حمل و ذخیره‌سازی آسان را دارا است.

فشرده‌سازی

با فشرده‌سازی ضایعات چوبی و علفی، می‌توان سوخت جامد قابل احتراق تولید نمود که معمول‌ترین آنها پلت و بریکت هستند. پلت‌ها با فشرده‌سازی مواد چوبی که پس از عبور از آسیاب چکشی به صورت خمیر یکنواختی درمی‌آید تولید می‌شود [۶]. این توده خمیری به یک پرس وارد می‌شود که در آن با عبور از یک قالب سوراخ‌دار به اندازه‌های مورد نیاز (معمولاً قطر ۶ میلی‌متر، گاهی ۸ میلی‌متر یا بزرگتر) فشرده می‌شود. فشار بالای پرس باعث می‌شود درجه حرارت چوب تا حد زیادی افزایش یابد. این افزایش دما سبب می‌شود لیگنین به آرامی به یک چسب طبیعی تبدیل شده و پلت را به محض سرد شدن نگه دارد. پلت‌ها را می‌توان از مواد علفی و غیرچوبی نیز تهیه نمود که به آن پلت علفی گفته می‌شود. از آن جایی که مواد غیرچوبی لیگنین ندارند به منظور ایجاد دوام می‌توان به آن غلات خشک شده اضافه کرد. پلت‌ها در انواع و درجه‌های مختلف برای سوخت نیروگاه‌ها، منازل و کاربردهای بینابین دیگر تولید می‌شوند. پلت‌ها متراکم هستند و میزان رطوبت پایینی (زیر ۱۰٪) دارند، به همین دلیل راندمان احتراق بسیار بالایی دارند [۷].

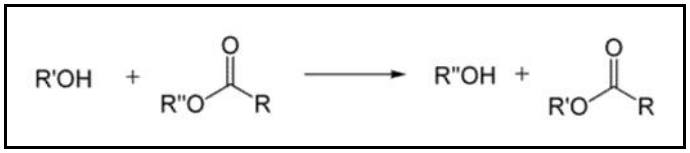
بریکت‌ها از فشرده‌سازی زیست‌توده که اغلب ترکیبات علفی هستند تولید می‌شوند و معمولاً برای تولید برق و حرارت و تأمین سوخت مورد نیاز برای پخت و پز استفاده می‌شوند. مواد تشکیل دهنده بریکت‌ها در هر محل بسته به زیست‌توده‌ای که در دسترس است تفاوت می‌کند [۸]. یکی از پارامترهای اثرگذار در فرآیند تولید بریکت‌ها روشی است که برای خشک کردن زیست‌توده به کار می‌رود. فشرده کردن فاکتور دیگری است که در تولید تأثیرگذار می‌باشد. برخی از مواد مانند غلاف ذرت اگر در فشار پایین فشرده شوند راندمان احتراق بهتری دارند. مواد دیگر از قبیل کاه و کلش گندم و یونجه برای تولید حرارت نیاز به فشار بالا دارند [۹ و ۱۰].

ترانس‌استریفیکاسیون

استرها گروهی از ترکیبات آلی هستند که در ساختمان آن‌ها دو بنیان هیدروکربنی به وسیله عامل کربوکسیل به هم پیوسته‌اند. دسته‌ای از فرآیندهای شیمیایی که در آن‌ها یکی از بنیان‌های یک استر با یکی از بنیان‌های یک الکل جایگزین می‌شود، به نام ترانس‌استریفیکاسیون خوانده می‌شوند. از این دسته فرآیندها در پالایش و بهسازی روغن‌های خام به دست آمده از زیست‌توده و تولید بیودیزل استفاده می‌شود. این واکنش‌ها اغلب به کمک کاتالیزور انجام می‌پذیرند. سه روش عمده برای تولید الکیل‌استرها از چربی‌ها و روغن‌ها عبارتند از:

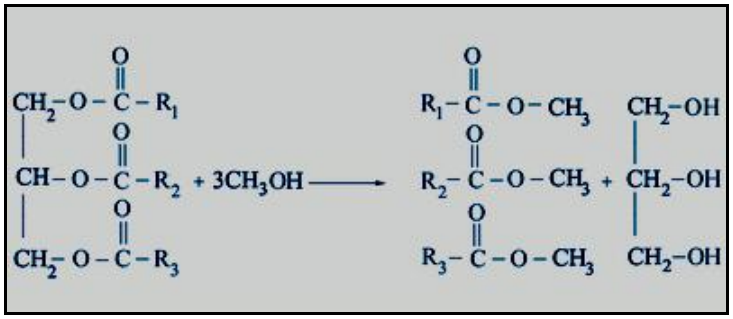
- واکنش کاتالیزوری قلیایی روغن با الکل
- واکنش کاتالیزوری اسیدی مستقیم روغن با متانول
- تبدیل روغن به اسیدهای چرب و آنگاه به الکیل‌استرها به کمک کاتالیزور اسیدی

بخش اعظم الکیل‌استرهایی که امروزه تولید می‌شوند از واکنش‌های کاتالیزور قلیایی بهره می‌برند، زیرا اقتصادی‌ترین روش است. شکل کلی این واکنش‌ها به صورت زیر است (شکل ۶):



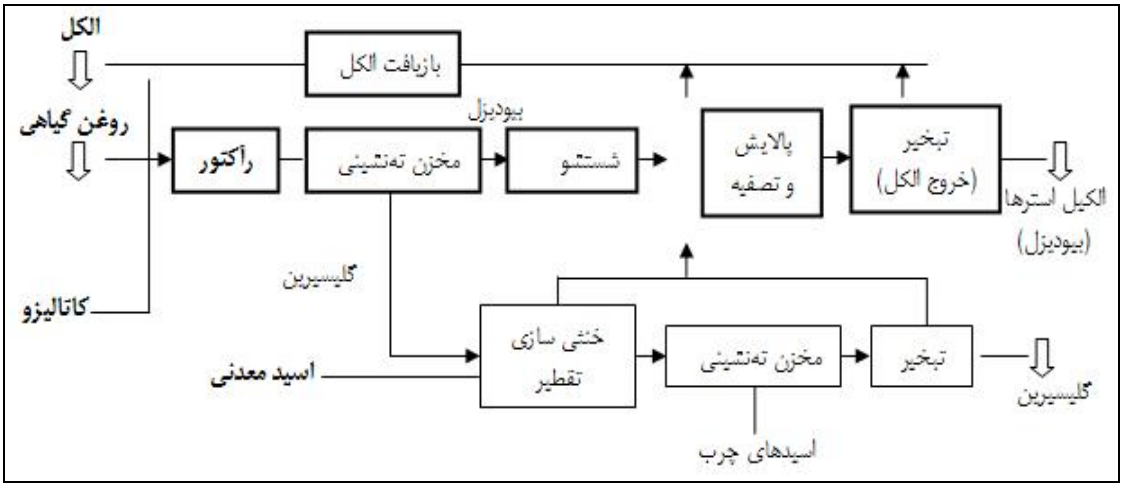
شکل(۶): شکل کلی واکنش ترانس‌استریفیکاسیون

مثال روشن‌تری از این فرآیند، واکنش استریفیکاسیون تری‌گلیسیرید به کمک متانول است که مطابق شکل (۷) از آن گلیسیرین و بیودیزل به دست می‌آید:



شکل(۷): واکنش ترانس‌استریفیکاسیون روغن برای تولید بیودیزل

کاتالیست متداول برای واکنش بالا، محلول قلیا با استفاده از هیدروکسید سدیم یا هیدروکسید پتاسیم است. به صورت مرسوم با مخلوط کردن ۱۰۰ کیلوگرم روغن خام با ۱۲ کیلوگرم الکل متیلیک در حضور ۱ کیلوگرم محلول کاتالیست قلیایی، ۹۵ کیلوگرم بیودیزل و ۱۱ کیلوگرم گلیسیرین به دست می‌آید. حالت کلی فرآیند مذکور در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل(۸): فرآیند تولید الکیل‌استر (بیودیزل) از روغن‌های گیاهی

۵- فناوری‌های تبدیل بیوشیمیایی

چون زیست‌توده یک ماده طبیعی است، فرایندهای بیوشیمیایی زیادی با بهره‌وری بالا در طبیعت برای شکستن مولکول‌های تشکیل‌دهنده زیست‌توده وجود دارد. بسیاری از این فرایندهای تبدیل بیوشیمیایی را می‌توان تحت کنترل درآورد. در این فرایندها از آنزیم و دیگر میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه زیست‌توده

استفاده می‌شود. در اغلب موارد از میکروارگانیسم‌ها برای انجام فرایند تبدیل استفاده می‌شود. در این فناوری‌ها، تولیدکننده انرژی، فرآورده‌هایی هستند که به وسیله عمل سوخت و ساز موجودات زنده پدید آمده و به خاطر داشتن ارزش گرمایی بالا به عنوان سوخت به کار می‌روند. گاز متان و اتانول از مهم‌ترین این فرآورده‌ها می‌باشند. گاز متان به وسیله فرآیند هضم بیهوازی و اتانول به وسیله فرآیند تخمیر الکلی تولید می‌شود. مهم‌ترین فناوری‌های تبدیل بیوشیمیایی عبارتند از:

- هضم بی هوازی[1]
- تخمیر[2]
- پیل سوختی زیستی[3]

هضم بیهوازی

فرآیند هضم بی هوازی تجزیه منابع زیست‌توده توسط باکتری‌ها در عدم حضور هوا بوده (میکروارگانیسم بی هوازی) و محصول این فرآیند گازی است قابل اشتعال که بیوگاز نام دارد. به بیوگاز، گاز مرداب نیز گفته می‌شود. این گاز حاوی دو جزء عمده متان (و اندکی سایر هیدروکربورها) و دی-اکسیدکربن به همراه مقادیر جزئی ناخالصی نظیر سولفید هیدروژن (H_2S)، بخارآب، نیتروژن (N_2) و ... می‌باشد. محصولات دیگر این فرآیند، باقیمانده جامد است که می‌تواند به عنوان کود استفاده شود. این مخلوط گازی دارای ارزش حرارتی متوسط (۱۵–۲۵MJ/m^3) بوده (۴۰ تا ۷۰ درصد ارزش حرارتی گاز طبیعی) و در صورت تبدیل به برق با استفاده از موتورهای بیوگازسوز موجود می‌توان ۲/۲–۱/۵ کیلووات ساعت برق از هر متر مکعب آن به دست آورد (از هر متر مکعب گاز طبیعی ۳ کیلووات ساعت برق حاصل

[1] Anaerobic Digestion (AD)
[2] Fermentation
[3] Bio Fuel Cell

می‌شود). در واحدهای کوچک هاضم از گاز تولیدی برای گرمایش و پخت و پز استفاده می‌گردد. در واحدهای بزرگتر آن از گاز تولیدی برای سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (*CHP*) استفاده می‌شود. دو فناوری تولید انرژی از زیست‌توده که در آنها فرایند هضم بی هوازی روی می‌دهد عبارتند از:

- هاضم بی هوازی
- دفنگاه

عمل هضم بی هوازی در محدوده دمایی نسبتاً وسیع ۶۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. مناسب-ترین درجه حرارت برای تولید بیوگاز از نظر فنی و اقتصادی حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به کمک فرآیند هضم بی هوازی می‌توان گاز مورد نیاز برای کاربردهای مختلف را تأمین نمود. قابلیت این روش در بازیافت زائدات بیولوژیکی به اثبات رسیده است. از این فرآیند در تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی، مراکز دفن زباله و مراکز تبدیل زائدات بیولوژکی و پسماندهای کشاورزی به کودهای آلی استفاده می‌شود. کاربرد فرآیند هضم بی هوازی برای تجزیه آلاینده‌های آلی سنگین (ترکیبات آلی کلرینه) و نیز تجزیه مواد مقاوم در برابر هضم هوازی رو به افزایش است.

تخمیر

تخمیر فرایندی است که در آن مواد با منشأ قندی توسط میکروارگانسیم‌ها مانند مخمر و باکتری به الکل، اسیدها، گازها و محلول‌های ارزشمند دیگر تبدیل می‌شود. فرآورده‌های مفید و متداول حاصل از تخمیر در حوزه سوخت‌های زیستی، اتانول و بوتانول هستند که هر دو می‌توانند به عنوان سوخت مایع حمل و نقل استفاده شوند. نمونه‌های معمول محصولات تخمیر نیز اتانول، اسیدلاکتیک، دی اکسید کربن و گاز هیدروژن هستند. برای استحصال بیواتانول خالص که قابلیت استفاده به عنوان سوخت وسایل نقلیه را داشته باشد، پس از فرایند تخمیر عمل تقطیر و آبگیری انجام می‌شود. در فرآیند تخمیر می‌توان مواد اولیه گسترده‌ای

شامل زائدات و ضایعات کشاورزی، جنگلی، معادن و صنایع را مورد استفاده قرار داد. تخمیر در غیاب اکسیژن اتفاق می‌افتد اما ضروری نیست که حتما در محیط بی هوازی انجام گیرد. برای مثال، در حضور اکسیژن فراوان، سلول‌های مخمر تا زمانی که قند برای مصرف وجود داشته باشند، غالباً تخمیر با تنفس هوازی را ترجیح می‌دهند [۱۱].

واکنش شیمیایی زیر تخمیر الکلی گلوکز را نشان می‌دهد [۱۲] که در آن یک مولکول گلوکز به دو مولکول اتانول و دو مولکول دی اکسید کربن تبدیل می‌شود.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

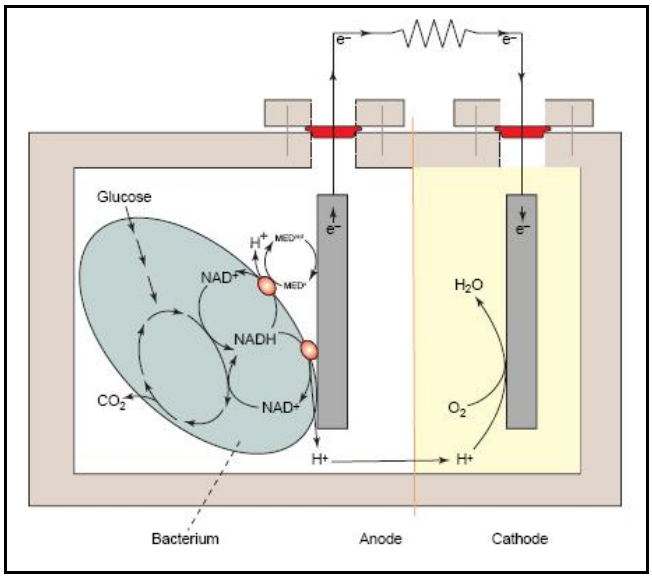
به طور معمول برای تولید بیواتانول توسط تخمیر از ترکیبات قندی و نشاسته‌ای مانند گیاهان قندی و غلات استفاده می‌شود که نسل اول سوخت است. در بیواتانول نسل دوم از زیست‌توده سلولزی استفاده می‌شود که با هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی به قندهای قابل تخمیر تبدیل و سپس تخمیر می‌شود. در نسل سوم هم بیواتانول از جلبک تولید می‌شود.

پیل سوختی زیستی

پیل‌های سوختی دستگاه‌هایی هستند که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نمایند. پیل‌های سوختی زیستی زیرمجموعه‌ای از پیل‌های سوختی هستند که از کاتالیزورهای زیستی استفاده می‌نمایند و انواع آن نیز بر اساس نوع کاتالیزور زیستی مورد استفاده تعیین شده و به دو دسته میکروبی و آنزیمی تقسیم می‌گردد. پیل‌های سوختی میکروبی از میکروارگانیسم‌ها به منظور کاتالیز نمودن فرایند اکسیداسیون سوخت استفاده نموده، در حالی که پیل‌های سوختی آنزیمی از آنزیم‌ها استفاده می‌نماید. طول عمر بالای پیل‌های سوختی میکروبی (حداکثر ۵ سال) و قابلیت اکسید نمودن قندهای ساده به دی‌اکسیدکربن از فواید پیل‌های

سوختی میکروبی بوده و چگالی پایین برق تولیدی (معمولاً برق تولیدی در واحد سطح الکترود به اندازه چند وات بر سانتی‌متر مربع می‌باشد) به دلیل سرعت پایین انتقال از غشاء از معایب این نوع پیل سوختی است. پیل‌های سوختی آنزیمی در مقایسه با پیل‌های سوختی میکروبی چگالی توان بالاتری داشته ولی طول عمر محدود به دلیل طبیعت شکننده آنزیم‌ها دارند (معمولاً ۷ تا ۱۰ روز). آنزیم‌ها یک مزیت دیگر را نیز ایجاد می‌نمایند و آن عدم نیاز به غشاء جدا کننده می‌باشد [۱۳]. امروزه پیل‌های سوختی زیستی بسیار مورد توجه هستند، زیرا پتانسیل تأمین بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز را دارا بوده و یک منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر هستند. پیل سوختی زیستی انرژی موجود در مواد قابل تبدیل زیستی را به طور مستقیم به الکتریسیته تبدیل می‌کند.

در پیل سوختی میکروبی در گام نخست مواد آلی توسط باکتری‌ها تحت شرایط بی هوازی اکسید و الکترون‌ها از آن برداشت می‌شوند (اکسیداسیون) و در مرحله دوم این الکترون‌ها به یک پذیرنده طبیعی الکترون مانند اکسیژن یا نیترات انتقال می‌یابند (احیاء). این فرایند با انتقال باکتری‌ها از پذیرنده طبیعی الکترون به پذیرنده غیرقابل حل (مانند آند پیل سوختی میکروبی) انجام می‌شود (شکل ۹). این انتقال می‌تواند به طور مستقیم از طریق اجزاء مرتبط با غشاء و یا از طریق شاتل الکترون محلول صورت پذیرد. سپس الکترون‌ها از طریق یک مقاومت به سمت کاتد جریان می‌یابند که در آنجا با پروتون و اکسیژن ترکیب شده (احیاء) و آب را تشکیل می‌دهند. با حرکت الکترون از آند به کاتد جریان و ولتاژی به وجود می‌آید که الکتریسیته تولید می‌کند. در مقایسه با هضم بی هوازی، پیل سوختی میکروبی جریان الکتریکی ایجاد می‌کند و گاز خروجی عمدتاً شامل دی اکسید کربن می‌باشد [۱۴].



شکل(۹): اصول عملکرد یک پیل سوختی میکروبی

تقریباً هر ماده آلی زیست تخریب‌پذیری مانند پساب صنعتی، انسانی و حیوانی دارای مواد قندی، نشاسته‌ای و سلولزی می‌تواند در این سیستم مورد استفاده قرار بگیرد. در سیستم‌های پیل سوختی فتوبیولوژیک که از باکتری‌های فتوسنتزی، اسیدهای آمینه و پروتئین استفاده می‌کنند نور نیز یک منبع بالقوه مهم می‌باشد. توان قابل تولید در یک پیل سوختی میکروبی به هر دو فرایند زیستی و الکتروشیمیایی بستگی دارد.

مراجع

[1] World Energy Resources: Bioenergy World Energy Council 2013. based on IEA, 2006; IPCC, 2007.
[2] Venkata B K, WBA Global Bioenergy Statistics 2014, World Bioenergy Association, Sweden.
[3] SUNA. (2014) c. bioenergy, by Provider. Accessed June 21, 2014: http://www.suna.org.ir/fa/aboutorganization/ationoffice/zisttoodehoffice/zisttoudehenergy.
[4] F Preto, 2010, Review of Biomass Conversion Technologies, Canmet ENERGY, Natural Resources Canada.BIOENERGY: Solutions for Community Sustainability, Prince George, 4.03.2010
[5] Higman C, van der Burgt M. Gasification. Oxord: Elsevier Science, 2003.
[6] Fuller, Ron. "Pelleting Process". University of Illinois. Retrieved 8 December 2011.
[7] Biomass Sustainability and Carbon Policy Study: Report to the Commonwealth of Massachusetts Department of Energy Resources". In Walker, T. Natural Capital

Initiative Report NCI-2010-03. Brunswick, Maine.:Manomet Center for Conservation Sciences. Retrieved 2014-03-14.
[8] Steelhammer, Rick. "A penchant for pellets". The Charleston Gazette. Retrieved 11 February 2012.
[9] Chohfi, Cortez, Luengo, Rocha, and Juan Miguel. "Technology to Produce High Energy Biomass Briquettes." Techtp.com. Web. 30 Nov. 2010
[10] Mani, Sokhansanj, and L.G. Tabil. "Evaluation of compaction equations applied to four biomass species." University of Saskatchewan College of Engineering. Web. 30 Nov. 2010.
[11] Dickinson, J. R. (1999). "Carbon metabolism". In J. R. Dickinson and M. Schweizer. The metabolism and molecular physiology of Saccharomyces cerevisiae. Philadelphia, PA: Taylor & Francis. ISBN 978-0-7484-0731-6.
[12] Life, the science of biology. Purves, William Kirkwood. Sadava, David. Orians, Gordon H. 7th Edition. Macmillan Publishers. 2004. ISBN 978-0-7167-9856-9. pp. 139–140.
[13] Enzyme-based biofuel cells, Shelley D Minteer, BorYannLiaw and Michael J Cooney, 2006.
[14] K, Rabaey and W, Verstraete. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. Trends in Biotechnology Vol. 23 No. 6 June 2005.

آموزش

برگزیده‌ای از واژه‌های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر

گردآورنده: مهدی رحیمی تاکامی[۱]

با توجه به اهمیت رشد فرهنگی جامعه، در رشد و توسعه کشور تقویت بنیان‌های فرهنگی جامعه از الزامات توسعه کشور می‌باشد. در همین راستا تقویت و گسترش زبان فارسی که بر اساس اصل پانزدهم قانون اساسی زبان رسمی و مشترک ملت ایران می‌باشد، دارای اهمیت خاصی می‌باشد. به همین منظور و با هدف حفظ قوّت و اصالت زبان فارسی، به‌عنوان یکی از ارکان هویت ملی ایران و زبان دوم عالم اسلام و حامل معارف و فرهنگ اسلامی، پروردن زبانی مهذّب و رسا برای بیان اندیشه‌های علمی و ادبی و ایجاد انس با مآثر معارف تاریخی در نسل کنونی و نسل‌های آینده و رواج زبان و ادب فارسی و گسترش حوزه و قلمرو آن در داخل و خارج از کشور، شورای عالی انقلاب فرهنگی اساس‌نامه فرهنگستان زبان و ادب فارسی را به تصویب رساند. که بخشی از وظایف آن تأسیس واحدهای واژه‌سازی و واژه‌گزینی و سازمان دادن واحدهای مشابه در مراکز دانشگاهی و دیگر سازمان‌های علمی و فرهنگی و هماهنگ ساختن فعالیت‌های آنان از راه تبادل تجارب، نظارت بر واژه‌سازی و معادل‌یابی در ترجمه از زبان‌های دیگر به زبان فارسی و تعیین معیارهای لازم برای حفظ و تقویت بنیهٔ زبان فارسی در برخورد با مفاهیم و اصطلاحات جدید می‌باشد. در همین راستا در این مجله سعی می‌شود، در هر شماره تعدادی از واژگان مصوب فرهنگستان زبان و ادب پارسی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، اشاره شود. به همین منظور در این شماره تعدادی از واژگان مربوط به بخش زمین‌گرمایی از شاخه‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی می‌شود.

۱- کارشناس پژوهشی گروه انرژی های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Mrezaei@nri. nri.ac.ir

نام مصوب	واژه بیگانه	تعریف
انرژی زمین‌گرمایی	*Geothermal Energy*	گرمای حاصل از درون زمین
شیب زمین‌گرمایی	*Geothermal Gradient*	آهنگ تغییر دما در سنگ و خاک از سطح زمین به داخل آن
شوراب زمین‌گرمایی	*Geothermal Brine*	آب شوری که به علت وجود منبع گرمایی نابهنجار بیش از حد متعارف گرم شده باشد
بی‌هنجاری زمین‌گرمایی	*Geothermal Anomaly*	ناحیه محدود زمین‌شناختی که در آن بخارِ درحال‌چرخش یا آب داغ، بخشی از جریان گرم داخلی را به سطح زمین می‌راند
مخزن زمین‌گرمایی	*Geothermal Reservoir*	انبارش زیرزمینی آبِ به دام افتاده در سنگ‌های متخلخلی که دارای منبع‌های گرمابی هستند
اکتشاف زمین گرمایی	*Geothermal Exploration*	اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی. کاوش زمین‌گرمایی

معرفی کتاب

Title: EUROPE RENEWABLE ENERGY POLICY HANDBOOK 2015

عنوان فارسی: کتاب راهنمای خط مشی انرژی‌های تجدیدپذیر در اروپا

سال انتشار: ۲۰۱۵

این کتاب که شامل۲۷۵ صفحه می باشد و در ژوئیه ۲۰۱۵ به چاپ رسیده است. یک تجزیه و تحلیل عمیق از خط مشی انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای مهم اروپا که شامل آلمان، فرانسه، ایتالیا ، انگلستان ، اسپانیا، اتریش، هلند، نروژ، لهستان ، سوئد و ترکیه می شود ارائه می دهد. این کتاب وضعیت فعلی این کشورها در بخش انرژی های تجدیدپذیر و همچنین هدفها و برنامه های آتی آنها با توجه به سیاستهای فعلی آنها را مشخص می کند تا یک واقع بینانه از پتانسیل رشد کلی صنعت انرژی های تجدیدپذیر آنها بدست آید.

این کتاب همچنین سیاستها و مشوقهای ایجاد شده برای فناوریهای اساسی در هریک از کشورها را ارائه می کند و یک دیدگاه برای سیاستهای اساسی نوآورانه برای توسعه بازار انرژی های تجدیدپذیر همچون باد، خوشید، زمین گرمایی و زیست توده ایجاد می کند.

این کتاب براساس اطلاعات و داده های انجمن های مربوط به صنایع، وبسایت های دولتی، نهادهای قانونی و مجله های مربوطه تهیه شده است.

اهداف این کتاب عبارت است از:

- خط مشی ها و مشوقهای استفاده شده در کشورهای مورد مطالعه
- تشریح سیاستهای تشویقی در کشورهای مورد مطالعه برای انرژی های تجدیدپذیر و نقشهای مختلف آن
- برجسته کردن تفاوتهای مربوط به خط مشی های کشورهای مورد مطالعه و تمرکز برآنها
- ایجاد یک ساختار برای مقایسه خط مشی کشورهای مورد مطالعه