

سخن مدیر مسوول:

به نام خداوند جان و خرد
خداوند نام و خداوند جای

کزین برتر اندیشه بر نگذرد
خداوند روزی ده رهنمای

- انتشار مستمر خبرنامه به منظور انعکاس اخبار، رویدادها و همچنین معرفی نرم افزارها، کتب، ژورنالها و مقالات برتر در حوزههای مختلف صنعت تاسیسات در ایران و جهان و همچنین معرفی و نقد تکنولوژیها و فن آوریهای نوین در عرصههای مختلف صنایع حرارتی و برودتی در راستای شناساندن محصولات و تکنیکهای اجرایی کارآمد
 - راه اندازی تارنمای مختص به خود به آدرس <http://www.irshrae.ir> به منظور بهره برداری از پتانسیل های فضای مجازی جهت دستیابی به اهداف خویش
- در گامی دیگر، انجمن جهت توسعه فعالیت های خویش در راستای بهبود وضعیت آموزش و معرفی تکنولوژی ها و فن آوری های نوین به منظور افزایش بهره وری انرژی در عرصه های مختلف صنایع حرارتی و برودتی و در راستای شناساندن محصولات و تکنیک های اجرایی کارآمد، اقدام به انتشار دوفصلنامه علمی-تخصصی با عنوان "انرژی های تجدیدپذیر و نو" نموده است. مطمئناً استمرار فعالیت های انجمن و افزایش کمی و کیفی آن، نیازمند حمایت های همه جانبه تمامی فعالان حوزه صنعت حرارت و برودت کشور است. لذا خواهشمند است ضمن ارسال نقطه نظرات و پیشنهادات ارزشمند خویش نسبت به فعالیت های هدف گذاری شده انجمن، علی الخصوص دوفصلنامه "انرژی های تجدیدپذیر و نو"، مطالب و یادداشت های تخصصی خویش را در حوزه بهره وری انرژی در صنعت حرارت و برودت به منظور انتشار - تا زمان راه اندازی سایت الکترونیکی مجله- در دو قالب "مقاله کامل" و "یادداشت فنی" به آدرس الکترونیکی irshrae@gmail.com ارسال نمایید. لازم به ذکر است تمامی مطالب دریافتی، بررسی و داوری شده و نگارندگان مقالات ملزم به اعمال اصلاحات پیشنهادی از سوی داوران خواهند بود.



پی نوشت:

1. Iranian Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers

امروزه، با سرعت روزافزون توسعه علم و فن آوری در تمامی عرصه های صنعتی، ضرورت بررسی، نقد و تحلیل پدیده های نوظهور مهندسی در حوزه های مختلف، اجتناب ناپذیر است. سهم بالای ساختمان ها در مصرف انرژی و بار مسوولیتی که مهندسين تاسیسات در مقوله بهره وری انرژی بر دوش دارند، دسترسی به مراجع و منابع تخصصی معتبر را بیش از پیش نمایان می سازد. در راستای پاسخگویی به نیازهای علمی و فنی جامعه مهندسی در حوزه حرارت و برودت، انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران (IRSHRAE¹) در سال 87 با همت و تلاش جمعی از اساتید دانشگاه، مدیران و دست اندکاران این صنایع به منظور گسترش، پیشبرد و ارتقای علمی و فن آوری صنعت حرارتی و برودتی کشور پا به عرصه گذاشت و بر آن است که به سهم خود، گام های موثری را در ترویج و توسعه کمی و کیفی نیروهای متخصص و بهبود وضعیت آموزش و تحقیقات در زمینه های مختلف صنعت کشور بردارد. اعضای هیات مدیره از همان روزهای آغازین تاسیس انجمن تلاش نموده اند که ضمن فراهم آوردن فضایی مناسب جهت تعامل بین متخصصان و محققان، با کاهش فاصله ها بین تحقیقات آکادمیک و فن آوری های نوظهور، با آنچه که در حال حاضر در صنعت کشور حاکم است، گام های موثری را در اعتلای صنعت حرارت و برودت در کشور بردارد. اهم فعالیت های انجمن از زمان تاسیس تا کنون عبارتند از:

- همکاری با نهادهای اجرایی، علمی و پژوهشی داخل کشور در زمینه ارزیابی، بازنگری و اجرای طرح ها
- توسعه همکاری ها با صنایع مختلف به منظور تامین نیازهای تحقیقاتی آنان
- توسعه همکاری های علمی با نهادهای معتبر بین المللی نظیر انجمن مهندسان تهویه مطبوع آمریکا، کنگره انرژی های تجدیدپذیر و ...
- ارائه خدمات آموزشی در قالب عقد تفاهم نامه با آموزشگاهی فنی و تخصصی
- انجام پروژه "میزی علم تهویه مطبوع در کشور"
- تشکیل شاخه های دانشجویی در دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی به جهت معرفی مناسب بازار کار و اقتصاد صنعت حرارت و برودت و همچنین ترغیب و تشویق دانشجویان به فعالیت و تحصیل در این حوزه
- برگزاری و حمایت از گردهمایی های علمی در سطح ملی، منطقه ای و بین المللی
- حمایت از تالیف و انتشار کتاب در حوزه های مرتبط با صنعت حرارت و برودت





دو فصلنامه علمی - تخصصی ارزشیابی تجدیدپذیر و نو ... / شماره اول ... / بهار ۱۳۹۳



مقالات کامل

تولید آب شیرین با استفاده از سرمایه‌های زیرزمینی هوای مرطوب و انرژی خورشید

مجید بازگان^۱، مریم احمدی علی بیگلویی^۲

۱- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران،

bazargan@kntu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران،

mahmadi@mail.kntu.ac.ir

چکیده

با توجه به منابع آب موجود در جهان، تامین آب شیرین یکی از مهم‌ترین مسایل پیش روی دولتمردان کشورهای خشک و کم‌آب است. متداول‌ترین روش‌های موجود برای شیرین‌سازی، روش‌های حرارتی و غشایی هستند که مناسب برای تولید آب در ظرفیت‌های بالا هستند. یکی دیگر از روش‌های تولید آب شیرین، استفاده از رطوبت هوا است که برای مناطق گرم و مرطوب و ظرفیت‌های پایین پیشنهاد شده‌اند. این سیستم‌ها که از انرژی خورشیدی برای تبخیر آب و افزایش رطوبت هوا و از سرمایه‌های زمین برای رطوبت‌زدایی آن استفاده می‌کنند، به سیستم‌های تولید آب چگالشی معروف هستند و در کشورهای آفریقای شمالی توجه زیادی را به خود جلب کرده است و هم‌اکنون نمونه‌های کوچک آن در تونس و الجزیره استفاده می‌شوند. در این سیستم‌ها هوای گرم و مرطوب به داخل لوله‌های مدفون در زمین هدایت می‌شود و در آنجا به دلیل انتقال حرارت با زمین خنک می‌گردد و بخار موجود در هوا به صورت آب در می‌آید. با استفاده از لوله‌های سوراخ‌دار می‌توان از این سیستم‌ها برای مصارف کشاورزی و هوادهی خاک استفاده نمود. همچنین برای مصارف خوراکی می‌توان آب را در انتهای لوله جمع‌آوری نمود. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در مناطق گرم و مرطوب می‌توان با استفاده از سیستم تولید آب چگالشی به طور میانگین 1.8 کیلوگرم آب در روز در یک متر (90 کیلوگرم آب در لوله 50 متری) استحصال نمود.

کلید واژگان: آب شیرین‌کن، دستگاه تقطیرکن خورشیدی، آب خوراکی و کشاورزی، هوای مرطوب، سیستم تولید آب چگالشی



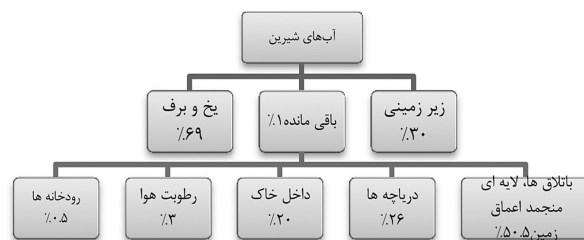
1. مقدمه

آب ماده حیاتی است که به طور یکنواخت در سطح کره زمین موجود نیست و نقاط مختلف کره زمین با کمبود آب مواجه هستند. آب از دو بعد اقتصادی و بهداشتی حائز اهمیت است زیرا به حرکت درآورندهی چرخ صنعت و رونق بخش فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد و همچنین آب سالم تضمین‌کننده سلامت انسان است.

با توجه به رشد روزافزون جمعیت جهان و ثابت بودن منابع آبی می‌توان نتیجه گرفت که معضل کمبود آب به مشکل بزرگی در آینده تبدیل خواهد شد. باید راهکارهای جدید و مطمئنی برای حفظ منابع آبی در دسترس و همچنین تولید و تصفیه آب شیرین در پیش گرفته شود. بر اساس گزارش منتشر شده از موسسه پاسیفیک اوکلند کالیفرنیا در صورت عدم اتخاذ تصمیمی پیشگیرانه، بیش از 76 میلیون نفر در سال 2020 در اثر بیماری‌های ناشی از آب‌های آلوده جان خود را از دست خواهند داد و بیماری‌های ناشی از آب‌های آلوده بیشتر از ایدز سلامت جامعه جهانی را تهدید می‌نماید. لذا استفاده از فن‌آوری‌ها و راهکارهای نوین جهت تهیه آب شیرین امری ضروری محسوب می‌گردد [1].

2. وضعیت آب در جهان

حجم آب‌های زمین در حدود 1.386 میلیارد متر مکعب است که حدود 70 درصد از کره زمین را پوشانده است، ولی سهم کمی از آب‌های موجود برای مصارف بهداشتی و کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. آب اقیانوس‌ها، دریاها و اغلب دریاچه‌ها به علت شوری بیش از حد و داشتن املاح معدنی، برای مقاصد بهداشتی، کشاورزی و صنعتی غیر قابل استفاده است. تنها 2.5 درصد از این آب‌ها، شیرین می‌باشد که توزیع آن در حوزه‌های مختلف در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل (1): توزیع آب در حوزه‌های مختلف

در حال حاضر بیش از 25 کشور در جهان با بحران کمبود آب مواجه هستند و حدود 1.5 میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم

دسترسی ندارند و 1.7 میلیارد نیز در آستانه شرایط بحرانی کمبود آب قرار دارند و تا سال 2025 میلادی حدس زده می‌شود که 2/3 از جمعیت کل جهان با کمبود آب مواجه شوند [2].

3. طبقه‌بندی میزان آب شیرین

معمولا مصارف آب شیرین را به سه دسته کلی زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

1. مصارف خانگی (نوشیدن، پخت‌وپز و بهداشت): تنها 8 تا 10 درصد از مصرف جهانی را به خود اختصاص می‌دهد.
2. مصارف صنعتی: حدود 20 درصد از مصرف جهانی آب شیرین را به خود اختصاص داده است و از سال 1950 مصرف این حوزه رو به افزایش است.
3. مصارف کشاورزی: بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین دنیا است و از آغاز قرن 20 تا کنون مصرف آب شیرین این حوزه در دنیا به علت افزایش جمعیت جهان تقریبا 7 برابر شده‌است. پیش‌بینی می‌شود تا سال 2025 نیاز آب برای بخش کشاورزی 20 درصد افزایش یابد [3].

4. وضعیت منابع و سرانه آب در ایران

کشور ایران 1.1 درصد از مساحت کل جهان را به خود اختصاص داده است اما فقط 0.34 درصد از آب‌های موجود در جهان را در اختیار دارد. ایران دارای اقلیم آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک است و میزان بارندگی در آن یک‌چهارم بارندگی متوسط در جهان است. با توجه به ارقام بالا ایران یکی از فقیرترین کشورها از لحاظ منابع آبی سرانه در جهان می‌باشد [3].

روش‌های مبارزه با بحران آب در کشور عبارتند از:

1. اصلاح مصرف آب در کشور به گونه‌ای تغییر یابد که سهم مصرف آب کشاورزی از 92 درصد به 87 درصد در بیست سال آتی کاهش دهد.
2. بازدهی آب در بخش کشاورزی به ازای هر متر مکعب آب از وضع فعلی به دو برابر در بیست سال آتی افزایش یابد.
3. اولویت مصرف آب به ترتیب برای شرب، بهداشت، صنعت و کشاورزی اختصاص یابد.
4. رعایت استانداردهای ملی حفاظت کیفی منابع آب توسط مصرف‌کنندگان الزامی شود.
5. استفاده از شیوه نمک‌زدایی و سایر روش‌های نوین برای تولید آب شیرین رایج گردد.





6. آب شرب از سایر آب‌ها تفکیک شود [3].

5. استفاده از شیوه نمک‌زدایی برای تامین آب شیرین در کشور

برای مقابله با مشکل تامین آب شرب ایران، برای مناطقی که نیاز به آب شرب دارند با روش‌های معمول نمی‌توان آب شیرین را از آب‌های سطحی و زیر زمینی تامین کرد، زیرا در بسیاری موارد باید هزینه‌های زیادی صرف کرد.

امروزه برای شیرین کردن آب شور رودخانه، دریا و آب‌های زیرزمینی از آب‌شیرین‌کن‌ها استفاده می‌کنند. بخش‌هایی از جنوب کشور به خصوص استان‌های حاشیه خلیج فارس و دریای عمان از این آب‌شیرین‌کن‌ها به طور کامل استفاده می‌کنند و میزان قابل توجهی از آب مصرفی آن مناطق از این طریق تامین می‌شود. در حال حاضر سیستم‌های بخار، مثل مجموعه‌های چاپهار به شیرین‌سازی آب شور مبادرت می‌کنند و هم‌اکنون روش‌های جدید و پیشرفته‌ای در کشور برای شیرین‌سازی آب‌های شور در حال ساخت و راه‌اندازی است. فن‌آوری آب‌شیرین‌کن‌ها در حال حاضر با سه چالش تخریب محیط زیست، بالا بودن هزینه تمام شده و وابستگی تجهیزات به خارج از کشور مواجه است. تولید هر متر مکعب آب شیرین 50 تا 80 سنت هزینه دارد، که این مقدار به طور مستمر در حال کاهش است [1].

6. انواع روش‌های تولید آب شیرین

روش‌های مختلفی برای تولید آب شیرین وجود دارد که در این بخش به دو روش متداول نمک‌زدایی و استفاده از رطوبت هوا پرداخته می‌شود.

1-6 نمک‌زدایی

تولید آب شیرین از آب شور دریا به روش تبخیری، قدیمی‌ترین روشی است که در قرن 17 میلادی برای تامین آب مورد نیاز کشتی‌ها استفاده می‌شد. تکنولوژی نمک‌زدایی در سطح صنعتی از اواخر قرن 19 میلادی آغاز شد و امروزه به یکی از شیوه‌های اساسی برای تولید آب شیرین در بسیاری از کشورها تبدیل شده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال 2025 بیش از 60 درصد آب مورد نیاز جمعیت کره زمین از طریق فرآیند نمک‌زدایی تامین شود [4].

1-1-6 انواع روش‌های متداول نمک‌زدایی

شیوه‌های بسیار زیادی برای نمک‌زدایی وجود دارد و به روش‌های

مختلف می‌توان آن‌ها را دسته‌بندی کرد. در متداول‌ترین تقسیم‌بندی آب‌شیرین‌کن‌ها را به دو گروه عمده حرارتی (توام با تغییر فاز) و غشایی (بدون تغییر فاز) دسته‌بندی می‌کنند [2].

حرارتی (تبخیری - تقطیری)

نمک‌زدایی بیش از 60 درصد آب‌ها با این روش انجام می‌شود، در این روش همانند چرخه طبیعی آب در طبیعت، به آب شور گرما داده می‌شود و سپس بخار آن به آب خالص تبدیل می‌گردد. در صنعت و آزمایشگاه‌ها، به آب تا نقطه‌ی جوش گرما می‌دهند تا بیشترین بازده را داشته باشد. (نقطه‌ی جوش توسط تنظیم کردن فشار محیطی آب کنترل می‌شود. با توجه به این نکته که با کاهش فشار، دمای جوش آب کاهش می‌یابد). معروف‌ترین روش‌های حرارتی عبارتند از [3]:

تقطیر موثر چندمرحله‌ای¹

این روش برای تولید مقادیر زیاد آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم‌ها مبتنی بر تولید آب در مراحل مختلف هستند. ساده‌ترین نوع آن‌ها، آب‌شیرین‌کن تک‌مرحله‌ای است که برای مصارف صنعتی کاربرد دارد. اصلی‌ترین اجزای این واحد شامل تبخیرکننده، چگالنده و پیش‌گرمکن آب تغذیه است. تبخیرکننده شامل مبدل حرارتی، فضای بخار، حوضچه آب تبخیر نشده، محل خروج گازهای غیرقابل چگالش، سیستم اسپری آب و یک فیلتر می‌باشد [3].

تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای²

پرکاربردترین شیوه نمک‌زدایی است و درصد زیادی از واحدهای تولید آب شیرین را به خود اختصاص داده است. این سیستم‌ها حالت خاصی از آب‌شیرین‌کن‌های موثر چندمرحله‌ای تبخیری هستند که در بخش قبل توضیح داده شد و بر این اساس کار می‌کنند که ابتدا آب دریا وارد پیش‌گرمکن شده و سپس در یک گرمکن توسط بخار افزایش دما می‌یابد (این مقدار دما بر حسب نوع پیش‌تصفیه می‌تواند تا 120 درجه سانتی‌گراد برسد) [3 و 5]. بعد از این مرحله آب تغذیه وارد محفظه‌ای می‌شود که فشاری پایین‌تر از فشار دمای آب تغذیه دارد. آب تغذیه در رویارویی با این افت فشار ناگهانی، مافوق گرم شده و قسمتی از آن تبخیر می‌شود و غلظت باقی مانده آب شور افزایش می‌یابد. بخار تشکیل شده از یک فیلتر عبور کرده و در برخورد با لوله‌های پیش‌گرمکن چگالیده می‌شود [5].

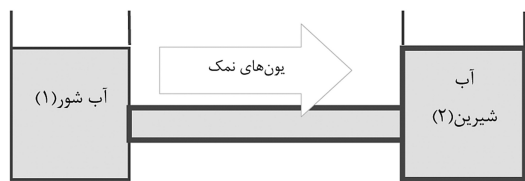
این سیستم‌ها شامل سه بخش ورودی حرارت، دفع حرارت و بازیافت حرارت است، بخش‌های دفع و بازیافت حرارت شامل



استفاده می‌شوند [3].

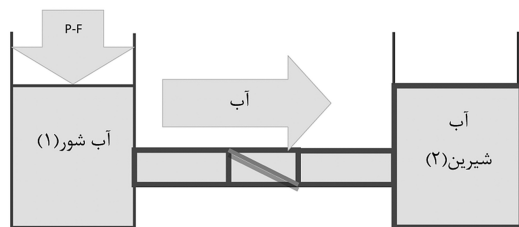
اسمز معکوس⁴

دو ظرف مطابق شکل زیر یکی حاوی آب نمک و دیگری حاوی آب خالص که توسط یک لوله به یکدیگر متصل بوده و هر دو دارای ارتفاع مساوی از آب باشند فرض کنید. برای برقراری تعادل در یون‌های سدیم و کلرید از ظرف آب نمک، یون‌های نمک به صورت نفوذ مولکولی به ظرف آب خالص انتقال یافته تا تعادل غلظت بین هر دو ظرف برقرار گردد. اما اگر بین این دو ظرف و در مسیر جریان آب، یک غشا قرار گیرد که فقط اجازه عبور مولکول‌های آب را دهد، یون‌های نمک اجازه عبور نخواهند داشت. لذا برای برقراری تعادل در غلظت، آب خالص از ظرف شماره دو به ظرف شماره یک انتقال می‌یابد و این عمل تا آنجا ادامه می‌یابد که افزایش ارتفاع حاصله در ظرف آب نمک، فشار مضاعف ایجاد کرده و اجازه انتقال آب از ظرف شماره دو به شماره یک را ندهد، این فشار را فشار اسمزی می‌گویند.



شکل (2): تعادل یون‌های نمک و آب

چنانچه جریان را برعکس کرده یعنی از ظرف شماره یک به ظرف شماره دو انتقال دهیم لازم است فشاری بیشتر از فشار اسمزی به محلول آب نمک اعمال کنیم که این فشار را فشار عملیاتی می‌گویند و آنرا با P نمایش می‌دهند. لذا مقدار فشار خالص که باعث می‌گردد آب از ظرف آب نمک به ظرف آب خالص انتقال یابد برابر با $P-F$ است و فشار محرکه نامیده می‌شود.



شکل (3): اسمز معکوس

در مثال مذکور فرآیند اسمز معکوس تشریح شد، اما در صنعت لازم است تصفیه آب به صورت پیوسته انجام شود و اگر بخواهیم

تعدادی محفظه است که به هم مرتبط می‌باشند. آب دریا قبل از ورود به گرمکن از کویل‌های اتافک خلأ می‌گذرد که این عمل به دو منظور انجام می‌شود:

1. پیش‌گرمایش آب سرد دریا قبل از ورود به گرمکن

2. چگالش بخار در اتافک‌ها برای تهیه آب شیرین

انرژی مورد نیاز در این روش شامل انرژی الکتریکی برای پمپ کردن آب شور و انرژی حرارتی برای گرم کردن آب شور می‌باشد. لازم به ذکر است که تبخیر ناگهانی آب بر روی لوله‌های چگالنده ایجاد رسوب می‌کند، در نتیجه این قسمت نیاز به تعویض و تمیز کردن مکرر دارد [3].

متراکم‌سازی بخار³

این روش عموماً برای واحدهای نمک‌زدایی کوچک و یا متوسط کاربرد دارد. در این روش بر خلاف روش تقطیری چندمرحله‌ای، گرمای لازم برای تبخیر از مبادله مستقیم گرما با بخار آب تولیدی بویلر به دست نمی‌آید بلکه از طریق فشرده‌سازی بخار به دست می‌آید. از کمپرسورهای مکانیکی و حرارتی برای استفاده از گرمای حاصل از چگالش برای تبخیر آب شور استفاده می‌شود.

در سیستم‌های متراکم‌ساز با کمپرسورهای مکانیکی ابتدا کمپرسور، خلأیی را در محفظه اصلی ایجاد می‌کند و بخار را از محفظه به داخل مکیده و سپس آن را فشرده می‌کند، در نتیجه دمای بخار بالا می‌رود و بعد به داخل دسته لوله‌هایی که در داخل همین محفظه تعبیه شده است هدایت می‌شود که باعث داغ شدن سطح لوله‌ها می‌گردد، آنگاه آب دریا بر روی این دسته لوله‌های داغ اسپری می‌شود که در نتیجه قسمتی از آب دریا تبخیر می‌گردد و بخار آب حاصل به آب خالص تبدیل می‌شود.

در سیستم‌های متراکم‌ساز با کمپرسورهای حرارتی ابتدا بخار ورودی از طریق نازل وارد کمپرسور می‌شود و انبساط آن باعث می‌شود تا در لوله اصلی فشار پایین آید و بخار از محفظه به داخل کمپرسور مکیده شود. حال این دو بخار با هم ترکیب شده و سپس فشرده می‌شوند و بعد وارد دسته لوله‌ها می‌شوند که در اثر تقطیر گرمای لازم برای تبخیر آب دریا که با سطح لوله‌ها در تماس است ایجاد می‌کنند [3] و [5].

غشایی

در طبیعت، غشاها نقش مهمی در جداسازی یون‌های نمک از آب ایفا می‌کنند و در دو روش تجاری به نام الکترودیالیز و اسمز

مطابق با این مثال عمل تصفیه را انجام دهیم، افزایش غلظت نمک در ظرف یک باعث ازدیاد فشار اسمز معکوس می‌شود، لذا بایستی دائما فشار عملیاتی را زیاد کرده و برای جلوگیری از این مشکل همواره جریانی از قسمت محلول غلیظ از دستگاه خارج می‌کنیم تا غلظت ثابت بماند [6].

الکترودیالیز

در روش الکترودیالیز از پتانسیل الکتریکی برای جداسازی آب و نمک استفاده می‌شود به طوری که نمک را از یک غشا عبور داده و آب در پشت غشا باقی بماند. درحالی‌که در روش اسمز همان‌طور که گفته شد به جای پتانسیل الکتریکی از فشار استفاده می‌شود.

در این روش از ورقه‌های فلزی استفاده می‌گردد که نقش رزین‌های تبادل‌کننده‌های یونی را بازی می‌کنند؛ یعنی ورقه‌هایی نقش آنیون و ورقه‌هایی نقش کاتیون را به عهده دارند. اصل اساسی در این فرآیند، انتخاب یون‌های موجود در آب است و با پیل‌های راه‌انداز جریان الکتریسته مستقیم کار می‌کنند. بدین صورت که اگر آب نمک از بین دو ورقه آنیون و کاتیون عبور کند و جریان الکتریسته مستقیمی از محلول عبور داده‌شود، کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب شور جذب ورقه‌ها شده و آب مابین دو ورقه نمک‌زدایی می‌گردد [7].

استفاده از روش اسمز معکوس نسبت به روش‌های دیگر دارای مزایایی است که عبارتند از:

- اقتصادی بودن نسبت به روش‌های دیگر
 - مصرف انرژی کم نسبت به روش تقطیری
 - امکان کار مداوم بدون نیاز به توقف دوره‌ای
 - بهره‌برداری آسان، کنترل کاملا اتوماتیک و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری
 - میزان بازدهی بالا در کل سیستم
 - حذف باکتری و ویروس‌ها
 - عدم استفاده از مواد شیمیایی مضر برای انسان
 - تولید آب با کیفیت مطابق استانداردها
- یکی از معایب استفاده از روش اسمز معکوس این است که معمولا برای خروج ذرات بسیار ریز آب ورودی باید از پیش تصفیه استفاده شود [3].

روش‌های ترکیبی

در روش‌های ترکیبی روش اسمز معکوس و روش تقطیری با هم ترکیب می‌شوند تا مجموعه‌ای را بهینه کنند که به آن تاسیسات

هیبریدی می‌گویند. روش‌های ترکیبی تولید آب شیرین، در راستای بهینه کردن هزینه‌ها می‌باشد.

علاوه بر دسته‌بندی‌های فوق سیستم‌های تولید آب شیرین را می‌توان بر مبنای منبع انرژی نیز دسته‌بندی کرد که عبارتند از نمک‌زدایی با انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، تبادل یونی، غشایی، انجمادی و ... [3].

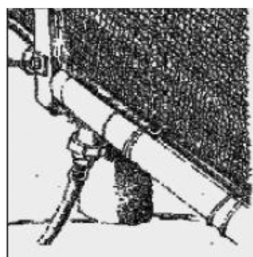
6-2 تولید آب شیرین از رطوبت هوا

یکی دیگر از راه‌های تولید آب شیرین استفاده از رطوبت هوا است که در قسمت‌های بعد به بررسی این موضوع پرداخته می‌شود.

6-2-1 شناسایی و بررسی اولیه تولید آب شیرین از رطوبت هوا

در دهه‌های اخیر، دانشمندان برای پاسخگویی به نیازهای آبی ناشی از رشد جمعیت همواره در فکر بهبود استفاده از منابع موجود و بهره‌برداری از آن‌ها بوده‌اند. بارش‌های جوی هر ساله میلیون‌ها مترمکعب آب منابع سطحی و زیرزمینی کره زمین را تغذیه می‌کنند، اما بهره‌برداری به صورت کامل از این منابع به دلیل پراکندگی زمانی و مکانی نامناسب، ممکن نیست.

به ندرت به این موضوع توجه می‌شود که در دنیا مخازن طبیعی آب زیادی به شکل بخار آب وجود دارد. در چرخه هیدرولوژیکی تمام بخار آب ناشی از تابش انرژی خورشید، به باران تبدیل نمی‌شود بلکه بخشی از بخار آب به دلیل پایین بودن تراکم به بارش تبدیل نگردیده و به صورت مرئی یا نامرئی در فضا پراکنده می‌شود. حال مسئله مهم این است که چگونه می‌توان بخار آب موجود در هوا را به آب شیرین تبدیل کرد. در سال‌های اخیر پژوهشگران با استفاده از قوانین ساده فیزیکی موفق به جمع‌آوری مه و رطوبت بالای هوا و تبدیل آن‌ها به آب شیرین شده‌اند.



شکل (3): نمونه‌ای از دستگاه تولید آب از رطوبت هوا [3]

ایده تولید آب از رطوبت موجود در هوا از قرن‌ها پیش، شاید از آغاز زراعت و کشاورزی ذهن بشر را به خود مشغول کرده است.

مشاهده گیاهانی که به طور طبیعی، رطوبت هوا را به صورت شبنم بر روی برگ‌های خود ظاهر می‌کردند و یا در زمان مه‌های غلیظ، باریکه‌ای از جریان آب بر روی تنه آن‌ها قابل مشاهده بود، امکان تهیه آب از هوای مرطوب را در اذهان قوت می‌بخشد. جمع‌آوری مه توسط گیاهان و انجام آزمایشات علمی و تجربی بر پوشش گیاهی از اواخر قرن هجدهم شروع شده است. از طرف دیگر جمع‌آوری مه‌های وزشی توسط جمع‌کننده‌های مصنوعی ساخت بشر یک زمینه نسبتاً جدید تحقیقات را ایجاد کرده است. در جاهایی که تهیه آب به مقادیر کم، حتی با هزینه زیاد توجیه‌پذیر است، طراحی و ساخت دستگاه‌هایی که با مصرف انرژی، یک سیستم خنک‌کننده ایجاد و با استخراج رطوبت از هوا و تراکم آن به آب، مقادیری آب شیرین تولید می‌کند، عملاً رایج گردیده است.

در شرایط آب و هوایی ایران علی‌رغم وجود مکان‌هایی که آن را در بعضی از ماه‌ها قطب رطوبتی کره زمین دانسته‌اند تا کنون در خصوص تولید آب از رطوبت هوا به جز کوشش‌های فردی و پراکنده‌ای که بعضی افراد با انگیزه شخصی انجام داده‌اند، فعالیتی سازمان‌یافته و برنامه‌ریزی شده که نهادی مسئول و پیگیر آن باشد، صورت نگرفته است.

یکی از اولین کارهایی که در زمینه گرفتن آب از رطوبت هوا استفاده شده است، در روسیه انجام شد. این سیستم شامل کانال‌های قائم و شیب‌دار در زمین برای جمع‌آوری آب از هوای اتمسفر توسط خنک‌کاری هوای مرطوب تا دمایی پایین‌تر از دمای نقطه شبنم در زیر خاک بود. این سیستم‌ها به سیستم‌های تولید آب چگالشی⁵ معروف هستند [1].

2-2-6 سیستم‌های تولید آب چگالشی

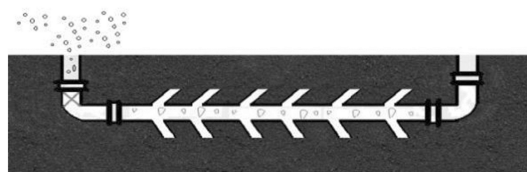
طرح کلی این سیستم‌ها به گونه‌ای است که به وسیله انتقال هوای مرطوب در سطح زمین، به لوله‌هایی که در زیر خاک مدفون می‌باشند، هوا چگالش می‌یابد (به علت خنک‌تر بودن زیر زمین نسبت به سطح آن، زمین همانند چگالنده عمل می‌کند) و آب شیرین تولید می‌شود، آب حاصل برای مصارف خوراکی و آبیاری زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مصارف خوراکی از لوله‌های بدون سوراخ استفاده می‌شود و در انتهای این لوله‌ها، مکانی برای جمع‌آوری آب چگالیده شده وجود دارد، اما برای آبیاری زمین‌های کشاورزی از لوله‌های سوراخ‌داری استفاده می‌شود که به طور مستقیم به وسیله سوراخ‌های مدفون

در زیر زمین آن‌ها، آب شیرین تولیدی به اطراف زمین تغذیه می‌شود و این عمل همانند آبیاری قطره‌ای است و مصرف آب را حداقل و اتلافات حاصل از تبخیر آب را حذف می‌کند [8].



شکل (4): سیستم تولید آب چگالشی برای مصارف خوراکی



شکل (5): سیستم تولید آب چگالشی برای مصارف کشاورزی

آب شیرین تولیدشده در مصارف خوراکی باید دربرگیرنده‌ی املاح و عناصر معدنی برای بدن باشد که کمبود برخی از آن‌ها باعث ایجاد بیماری‌های مختلف می‌شود. بنابراین باید قبل از مصرف، مواد معدنی لازم به آن‌ها اضافه گردد، بدین‌گونه که آب را از یک فیلتر خاک و شن عبور می‌دهند، این روش اغلب برای آب‌های معدنی تجاری نیز استفاده می‌شود. در ضمن آب تولیدی اسیدی می‌باشد و باید تصفیه گردد که این عمل با اضافه کردن قرص‌هایی به آب انجام می‌شود [1].

برای افزایش بازدهی سیستم‌های تولید آب چگالشی از دستگاه تقطیرکن خورشیدی⁶ استفاده می‌شود. در این دستگاه با تبخیر آب شور دریا به وسیله انرژی خورشیدی، هوا با رطوبت کم یا خشک وارد آن می‌شود و به وسیله بخار آب موجود در آن، رطوبت‌زایی و گرم می‌گردد و سپس توسط فن وارد لوله‌های مدفون در زیر خاک می‌شود. دستگاه‌های تقطیرکن خورشیدی به وسیله افزایش رطوبت موجود در هوا و افزایش دمای هوای ورودی به لوله (افزایش اختلاف دمای هوا و زیر زمین) نرخ چگالش و در نتیجه مقدار آب تولیدی را افزایش می‌دهد [8].

از آنجایی که دمای سطح زمین در طول روز از دمای زیر زمین کمتر است، از این سیستم در طول روز برای سرمایش هوای مرطوب استفاده می‌کنند. ولی در طول شب، دمای زیر زمین، به علت



انجمن مهندسی کشاورزی و مهندسی آب

گرمایش خاک در طول روز و سرد شدن هوای محیط در شب، بیشتر از دمای سطح زمین است بنابراین از هوای محیط برای سرمایش خاک استفاده می‌کنند [8].

سیستم‌های تولید آب چگالشی در کشورهای شمال آفریقا و نمونه‌های آزمایشگاهی آن در تونس و الجزایر (نزدیک دریای مدیترانه) توجه زیادی را به خود جذب کرده است [9].

7. منابع رطوبت در ایران

در کشور ما دو منطقه اقلیمی مرطوب وجود دارد:

1. منطقه گرم و مرطوب سواحل و جزایر جنوب کشور
2. منطقه معتدل و مرطوب شمالی

منطقه اول، خشک و کم‌باران و منطقه دوم پر باران می‌باشد. نوار ساحلی جنوب ایران که از دماغه گواتر در سرحد پاکستان شروع شده و تا اروند ادامه دارد، از منطقه رطوبتی نوع اول می‌باشد. این نوار مسافتی برابر با 2000 کیلومتر را دربر می‌گیرد که به دو بخش سواحل خلیج فارس و دریای عمان قابل تفکیک است.

مهم‌ترین ویژگی‌های این منطقه عبارت‌اند از:

- میزان کم ریزش‌های جوی سالیانه
- عدم جریان‌های سطحی دائمی (رودخانه‌ها)
- سیلاب‌های فصلی و غیر قابل کنترل در اثر رگباری بودن بارش در کوتاه‌مدت، که حجم بسیار زیادی از آب‌های روان را به وجود آورده و در نتیجه از دسترس خارج شده و به دریا منتقل می‌گردد.
- در هنگام آبیاری زمین‌های کشاورزی، حجم بالایی از آب‌ها در اثر تبخیر تلف می‌شود.

از دیگر ویژگی‌های اقلیمی این منطقه وجود رطوبت نسبی بالای هوا به خصوص نزدیک به ساحل است که در دماهای زیر نقطه شبنم باعث تغذیه خاک از رطوبت هوا می‌شود. این مقدار رطوبت به باران جن (پنهان) موسوم است و تا حدی جبران کمبود باران می‌نماید. در نواحی ساحلی، رطوبت نسبی هوا بالا بوده و با توجه به اینکه جهت بادهای غالب جنوبی است و دامنه نوسان آن نیز زیاد نمی‌باشد، چنانچه منابع آبی این مناطق برای مصارف کشاورزی و شرب کفایت نکند، می‌توان از رطوبت هوا به خصوص در فصل تابستان که به آب بیشتری نیاز بوده آب قابل توجهی جمع‌آوری کرد و مورد استفاده قرار داد. در فصل گرما، رطوبت نسبی هوا در این منطقه به ویژه با تاثیر جریان‌های موسمی هندوستان به حدود 80% می‌رسد و می‌توان از این موقعیت استفاده نمود [1].

ماهیت و رفتار بخار آب

همان‌طور که می‌دانیم هوای بدون بخار آب را هوای خشک می‌گویند. این نوع هوا حتا در جو بیابان‌ها و عرض‌های بالای جغرافیایی هم وجود ندارد. بخار آب نقش بسیار مهمی در بیان گرما و پدیده‌های مختلف جوی زمین به عهده دارد. زیرا بخار آب، امواج تشعشعی با طول موج بلند جو را جذب می‌کند و اگر مقدار آن کم باشد، اختلاف دما بسیار زیاد می‌شود.

منبع عمده رطوبت جو، اقیانوس‌ها هستند که تقریباً سطح زمین را پوشانده‌اند. بخار آب تبخیر شده از سطح اقیانوس‌ها به وسیله بادهای داخل قاره‌ها حمل می‌شود. سایر منابع رطوبت جوی به ترتیب عبارتند از منابع آب کوچک‌تر از اقیانوس، پوشش‌های گیاهی و سطوح مرطوب زمین، که نسبت به اقیانوس‌ها از اهمیت کمتری برخوردار بوده ولی قابل توجه‌اند.

بخار آب جو، همواره در حال تبدیل و تغییر است، با تبخیر آب در حالت‌های جامد و مایع به مقدار بخار آب افزوده می‌شود. در حالی که از طریق تراکم و ریزش جوی از مقدار بخار آب کاسته می‌شود. همچنان که بادهای رطوبت را به شکل گاز از اقیانوس‌ها به خشکی حمل می‌کنند، به همین ترتیب بادهای رودخانه‌ها و یخچال‌ها آن را دوباره به شکل گاز، مایع یا جامد به دریاها رها می‌کنند.

ظرفیت هوا در نگهداری بخار آب به شدت به دمای آن بستگی دارد، هرچه هوا گرم‌تر باشد، بخار آب بیشتری می‌تواند در هوا ذخیره شود. اما ذخیره بخار آب در هوا نیز محدود بوده و زمانی فرا می‌رسد که اگر بخار آب وارد هوا شود، به صورت ذرات ریز آب (بخار آب اشباع) ظاهر می‌شود [1].

مفاهیم اولیه ترکیبات جو

ترکیب هوای خشک و بخار آب با تغییر حالت خود به مایع و جامد در فرآیندهای ترمودینامیکی نقش عمده‌ای را در آب و هوا ایفا می‌نماید. به همین منظور در این قسمت به شناخت ترکیبات جو و متغیرهایی که در تعیین وضعیت هوا تاثیر دارند می‌پردازیم.

جو زمین لایه‌ای از گازها است که زمین را احاطه کرده است. اگرچه جو زمین ظاهراً به دلیل ماهیت گازی شکل خود بی‌وزن به نظر می‌رسد، ولی دارای جرم هستند. این گازها به وسیله نیروی ثقل یا جاذبه زمین نگه‌داشته شده‌اند. ترکیبات تشکیل دهنده جو هوای خشک و بخار آب می‌باشد [1].

هوای خشک: جو زمین مخلوطی از گازها است. حدود 99

درصد حجم هوای زمین را دو گاز عمده ازت و اکسیژن تشکیل می‌دهد که ازت با 78 درصد، پیکره اصلی جو زمین می‌باشد، بعد از آن اکسیژن قرار دارد و سایر گازها فقط یک درصد حجم آن را شامل می‌شوند. گازهای تشکیل دهنده جو در هوای خشک (بدون بخار آب و آلاینده‌ها) به صورت حجمی در سطح دریا در جدول زیر نشان داده شده است [1].

بخار آب: به طور میانگین 1 درصد حجم جو زمین را بخار آب تشکیل می‌دهد. اما عملاً ممکن است در یک مکان، هوا فاقد بخار آب و در نقطه دیگر (مناطق ساحلی) تا 4 درصد بخار آب وجود داشته باشد. گرچه وزن مولکولی بخار آب از وزن سایر عناصر تشکیل دهنده جو کمتر است، با این وجود بخار آب عمدتاً در لایه‌های پایین جو متمرکز می‌باشد. بیشترین مقدار بخار آب در لایه مجاور سطح زمین بوده و با افزایش ارتفاع، به شدت از میزان آن کاسته می‌شود. بالا بودن مقدار بخار آب در نزدیکی سطح زمین دارای دو علت اصلی بوده که عبارتند از:

1. وجود دریا و اقیانوس‌ها که منبع اصلی تامین بخار آب است.
2. سرد بودن لایه‌های فوقانی جو که مانع از نفوذ و نگاه داشتن بخار آب می‌شوند [1].

توزیع زمانی و مکانی رطوبت هوا

توزیع رطوبت در جو به توزیع دمای هوا بستگی دارد. به همین دلیل مقدار بخار آب موجود جو، در استوا به مراتب بیشتر از مقدار آن در قطبین زمین است. توزیع بخار آب با توجه به گرادین مدار دمای هوا در دو نیمکره صورت می‌گیرد.

همچنین توزیع افقی رطوبت با توجه به جنس و وضعیت سطحی که هوا روی آن قرار می‌گیرد، متغیر است. به همین دلیل هوای روی دریاها معمولاً تا 80 درصد رطوبت را به خود می‌گیرند، در حالی که هوای روی قاره‌ها، مثل نواحی کویری، ممکن است فقط تا 20 درصد رطوبت داشته باشند. همچنین به این علت که دما در فصل‌های سال و مکان‌های مختلف متغیر می‌باشد، رطوبت نیز در فصل‌ها و محل‌های مختلف متغیر است. مسئله فوق با توجه به روزهای گرم و مرطوب تابستان و هوای سرد و خشک زمستان قابل درک می‌باشد. اگر چه بخار آب بسیار سبک‌تر از هوا می‌باشد ولی چنانکه قبلاً نیز بیان شد، چون دمای هوا در نزدیک زمین و سطح اقیانوس‌ها بیشتر است، رطوبت در سطح پایین زمین و نزدیک سطح دریا دیده می‌شود.

توزیع زمانی و مکانی دمای خاک:

درجه حرارت زمین تحت تاثیر دمای اطراف و تابش خورشید می‌باشد. بر همین اساس، درجه حرارت زمین در سال تغییر می‌کند. تغییر دمای سطح زمین می‌تواند بر اساس تابع سینوسی محاسبه شود:

$$T(0, t) = \bar{T}_G + A_{GS} \cos\left(\frac{2\pi}{365}(t - t_0)\right) \quad (1)$$

اساس و پایه فرمول بالا از حل معادله انرژی گذرا با زمان، در یک جسم نیمه‌بی‌نهایت یک‌بعدی به دست آمده است که به شرح زیر است:

$$T(y, t) = \bar{T}_G + A_{GS} e^{-y\left(\sqrt{\frac{365}{\pi K_s}}\right)} \cos\left(\frac{2\pi}{365}(t - t_0) - \frac{y}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi K_s}}\right) \quad (2)$$

که در $T(y, t)$ آن توزیع دما خاک بر اساس زمان و عمق است و \bar{T}_G دمای میانگین زمین، A_{GS} دامنه سالانه دمای سطح زمین، t_0 تاخیر زمانی از تاریخ شروع دلخواه (روز) و K_s میانگین ضریب هدایت گرمایی خاک است. تقریباً از عمق 10 متر به بعد دمای خاک ثابت در نظر گرفته می‌شود [10].

8. پژوهش‌های پیشین در این زمینه

سیستم‌های تولید آب چگاشی در قالب پایان‌نامه‌هایی در مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه لولی سوئیس⁷ مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفت و نتایج تئوری و عملی آن‌ها در سال 2006 و 2007 در قالب مقاله ارائه شده است که خلاصه‌ای از آن‌ها به شرح زیر است:

ویدگرن⁸ سال 1986: مطالعات اولیه در زمینه‌ی سیستم‌های تولید آب چگالشی (CI) را انجام داد. این سیستم دارای 200 لوله به قطر 10 سانتی‌متر و طول 50 متر بود. هوای مرطوب توسط یک فن با توان 3-10 کیلو وات به لوله‌های مدفون سوراخ‌دار، به زیر زمین هدایت شد [8].

نوردل⁹ سال 1987: یک نمونه کوچک آزمایشگاهی، در کشور سوئد برای آبیاری گلخانه ساخت. این سیستم براساس اختلاف دمای شب و روز کار می‌کرد.

در طول روز، دمای هوای مرطوب از زیر زمین بالاتر است در نتیجه به وسیله‌ی انتقال حرارت، زیرزمین گرم شده و هوای مرطوب خنک و چگالیده می‌شود.

اما در طول شب هوای گلخانه سردتر از زیرزمین است، زیرا



زیرزمین به وسیله‌ی هوای مرطوب در طول روز گرم شده است. در نتیجه در شب با به گردش درآوردن هوای سرد محیط در زیر زمین، باعث سرمایش آن شده و بدین ترتیب خاک برای انجام سرمایش زیر زمینی هوا در روز بعد آماده می‌گردد. این سیستم بعد از سال 1987 نیز با موفقیت کار کرد.

شرکت سوئسی اینجینیربرو¹⁰ سال 1993: در این مطالعه سیستم‌هایی مورد بررسی قرار گرفت که در آن آب دریا توسط لوله‌های پلاستیکی به وسیله انرژی خورشید تبخیر و هوای جو در اثر گذر از این بخار مرطوب می‌شد. آب تولیدی در این سیستم برای پرورش گوجه فرنگی مورد استفاده قرار گرفت.

گولامان¹¹ سال 1986: انتقال حرارت در لوله‌های صاف (تولید آب شیرین خوراکی) و لوله‌های سوراخ‌دار (تولید آب کشاورزی) را مقایسه کرد. نتایج نشان داد که در لوله‌های سوراخ‌دار انتقال گرما 50 درصد بیشتر از لوله‌های صاف است و در نتیجه سرعت چگالش (تولید آب شیرین)، در این لوله‌ها بیشتر از لوله‌های صاف است. گاستاف¹² و همکارش سال 1999: مطالعه تئوری و آزمایشگاهی بر روی این سیستم‌ها برای سیستم‌های کشاورزی ادامه دادند.

جنی لیندبلاد¹³ و همکارش سال 2006: مطالعه تئوری بر روی سیستم‌های تولید آب چگالشی خوراکی را انجام دادند و آب تولیدی را در انتهای لوله جمع‌آوری کردند. با مدل‌سازی عددی معادلات انتقال حرارت در نرم‌افزار متلب مقدار $1.8 \text{ kg}/(\text{day} \cdot \text{m})$ آب تولیدی را با استفاده از حل عددی به دست آوردند.

جنی لیندبلاد و همکارش در سال 2007، برای رطوبت‌زنی هوا از دستگاه تقطیرکن خورشیدی استفاده کردند. در مصارف کشاورزی معادلات انتقال حرمت و در مصارف خوراکی فقط معادلات انتقال حرمت، برای به دست آوردن مقدار آب تولیدی در مدل‌سازی عددی مورد توجه قرار گرفت. در ادامه‌ی مطالعه‌ی قبل با حل عددی برای مصارف کشاورزی $3.1 \text{ kg} / (\text{day} \cdot \text{m})$ به دست آوردند. در این مطالعه نمونه آزمایشگاهی برای مصارف کشاورزی و خوراکی نیز ساخته شد[8].

9. نکاتی درباره‌ی سیستم‌های تولید آب کشاورزی

در این سیستم‌ها گرمای محسوس و نهان از هوای مرطوب به لوله انتقال داده می‌شود و از دیواره‌ی لوله‌ها این گرما در محیط خاک انباشته می‌شود. سرعت چگالش در طول لوله به جنس خاک، خواص ورودی هوای مرطوب، جنس و شکل لوله وابسته است.

طراحی و عملکرد این سیستم‌ها با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه و محصولات خاص کشاورزی انجام می‌شود.

افزایش دمای خاک تا 45 درجه سانتی‌گراد برای اغلب محصولات کشاورزی و تحریک ریشه آن‌ها برای رشد مناسب است. درحالی‌که دمای بالاتر از این مقدار می‌تواند به محصولات آسیب برساند، که با کنترل خواص ورودی هوا، می‌توان از افزایش آن از مقدار بحرانی جلوگیری کرد. بنابراین باید طوری طراحی شوند که در پایان هر روز دمای آن‌ها حداکثر 45 درجه سانتی‌گراد شود.

فضای بین لوله‌ها بر اساس نرخ آبیاری محصولات مختلف و دمای خاک طراحی می‌شود. لوله‌ها باید در فاصله‌ی مناسبی از گیاهان قرار بگیرند تا آب نفوذی در خاک، بتواند توسط ریشه‌ی آن‌ها مکیده شود. علاوه‌براین باید مکانیزم مناسبی برای این سیستم‌ها طراحی شود تا بر نیروی جاذبه غلبه کند [9].

10. نکاتی درباره‌ی سیستم‌های تولید آب خوراکی

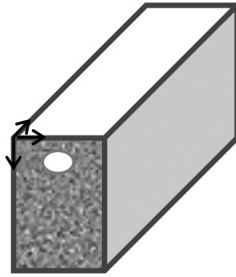
در این سیستم‌ها انتقال حرارت کمتری نسبت به سیستم‌های تولید آب کشاورزی صورت می‌گیرد زیرا انتقال جرم نداریم، در نتیجه سرعت چگالش و مقدار آب تولیدی کمتر است.

نرخ چگالش به طول و قطر لوله وابسته است. جاگذاری لوله‌ها با توجه به مصارف منطقه و مساحت زمین در دسترس انجام می‌شود. نرخ چگالش با عمق خاک رابطه مستقیم دارد (در عمق‌های خیلی کم، نرخ چگالش کاهش می‌یابد)، علاوه بر این در عمق‌های کم، نیروهای سطحی باعث از بین رفتن لوله‌ها می‌شود. از طرفی با افزایش عمق لوله‌ها هزینه جاگذاری لوله‌ها و فن (برای مکش هوا به داخل لوله‌های مدفون) افزایش می‌یابد. بنابراین باید عمق بهینه با توجه به نکات ذکر شده انتخاب شود.

ماکزیمم دمای خاک در این سیستم‌ها مطرح نیست اما اختلاف دمای بین هوای در حال جریان و خاک، نرخ چگالش را تعیین می‌کند، افزایش بیش از اندازه دمای خاک باعث می‌شود نرخ چگالش کاهش یابد [8].

11. مدل‌سازی انتقال حرمت در خاک و مقدار آب تولیدی در سیستم‌های تولید آب خوراکی

در این قسمت با توجه به شکل زیر معادلات حاکم برای سیستم‌های تولید آب خوراکی به دست آورده می‌شود.



شکل (7): مدل سه‌بعدی لوله مدفون در خاک

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

حل معادله بالا با استفاده از روش‌های عددی (حجم کنترل یا تفاضل محدود) با شش شرط مکانی و یک شرط زمانی به شکل زیر به دست آید:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad @ \quad x = 0, L_x \quad (8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad @ \quad z = 0, L_z$$

$$Y = Cte \quad @ \quad y = L_y$$

دمای سطح زمین طبق معادله (1) با زمان تغییر می‌کند و حول لوله شار ثابتی مطابق زیر برقرار است:

$$q_{conv} + q_{cond} = m_c C (T_{in} - T_{out}) \quad (9)$$

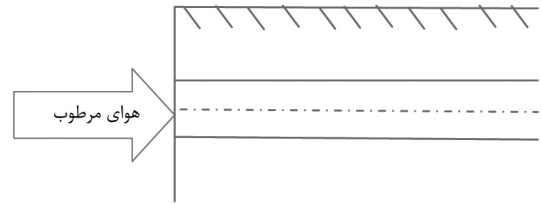
در یک حجم کنترل در طول لوله مقدار گرمای مبادله شده برابر است با:

$$q = \dot{m}_i \cdot \left[T_{a,i} \cdot c_{v,i} + \frac{L_i \cdot w_i}{1 + w_i} + \frac{p_i}{\rho_i} + \frac{c_{i+1}^2}{2} \right] + \dot{m}_{w,i} \cdot c_p \cdot T_i - \dot{m}_{i+1} \cdot \left[T_{a,i+1} \cdot c_{v,i+1} + \frac{L_{i+1} \cdot w_{i+1}}{1 + w_{i+1}} + \frac{p_{i+1}}{\rho_{i+1}} + \frac{c_{i+1}^2}{2} \right] - \dot{m}_{w,i+1} \cdot c_p \cdot T_{i+1} \quad (10)$$

و در نهایت در طول یک حجم کنترل، نرخ تغییرات دبی جرمی بخار برابر است با:

$$\dot{m}_w = \pi \cdot D \cdot \Delta z \cdot \frac{q}{L} \quad (11)$$

لازم به ذکر است از انتقال جرم در این مساله می‌توان صرف نظر کرد زیرا مقدار آب تولیدی در مقایسه با هوای مرطوب ورودی قابل صرف نظر کردن است.



شکل (6): لوله مدفون در خاک

در این مدل‌سازی فرض می‌شود:

- شرایط هوای ورودی به لوله همانند سرعت، فشار، دما، رطوبت هوا معلوم در نظر گرفته می‌شود.
- بخار آب و هوا گاز ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود.

انتقال حرارت از دیواره‌های لوله به خاک به دو صورت انتقال حرارت جابه‌جایی (q_{conv}) و گرمای نهان برای چگالش بخار آب موجود در هوای مرطوب (q_{cond}) صورت می‌گیرد:

$$q_{conv} = h_a \cdot (T_a - T_p) \quad (3)$$

که در آن ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی هوای مرطوب است که تابع خواص هوا می‌باشد. T_a دمای هوا و T_p دمای دیواره لوله است.

$$q_{cond} = L \cdot h_m \cdot (\phi \cdot \rho(T_a) - \rho(T_p)) \quad (4)$$

که در آن L گرمای نهان بخار آب، h_m ضریب جابه‌جایی جرمی، ϕ رطوبت نسبی، $\rho(T_a)$ و $\rho(T_p)$ به ترتیب چگالی بخار اشباع در دمای هوای در حال جریان و دمای دیواره لوله است.

h_m را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$h_m = \frac{h \cdot \alpha^{1/3} \cdot D_{as}^{2/3}}{k_a} \quad (5)$$

α ضریب پخش گرمایی خاک و D_{as} ضریب پخش هوا - آب و K_a ضریب هدایت هوا است.

انتقال حرارت از دیواره لوله به خاک از طریق موازنه انرژی برابر است با:

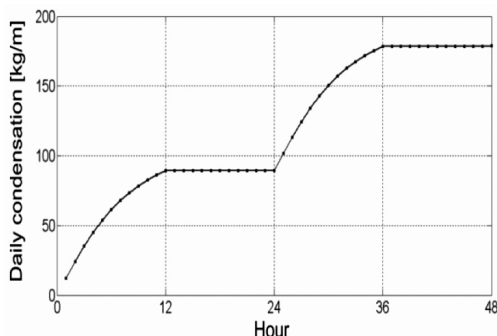
$$q_{conv} + q_{cond} = -k_s \nabla T \cdot \hat{n} \quad (6)$$

که در آن K_s ضریب رسانندگی خاک و $\nabla T \cdot \hat{n}$ تغییرات دما در جهت عمود بر دیواره‌های لوله است.

دما در معادلات بالا مجهول است که با حل معادله انرژی می‌توان توزیع آن را به دست آورد. با فرض خواص حرارتی ثابت برای خاک، معادله انتقال حرارت گذرا به صورت زیر می‌باشد:

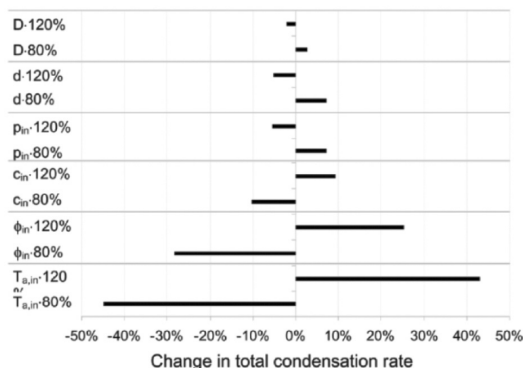


و همان‌طور که ذکر شده در شب آبی تولید نمی‌شود و زمین خنک می‌شود.



شکل (9): مقدار دبی آب تولیدی در حالت پایدار

در نمودار شکل (10)، آنالیز حساسیت نسبت به شرایط هوای ورودی مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار آب تولیدی بیشتر تحت تاثیر دما و رطوبت ورودی است.



شکل (10): آنالیز حساسیت

13. پیشنهاد برای تحقیقات آتی

- مدل‌سازی و ساخت سیستمی با شرایط آب و هوایی مناطق جنوبی ایران در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که لحاظ نمودن مراحل زیر در آن، توصیه می‌گردد:
- حل معادله انرژی، یافتن مقدار انتقال حرارت و به دست آوردن مقدار آب تولیدی با استفاده از روش‌های عددی
 - بهینه‌سازی سیستم چگالشی با شرایط اقلیمی ایران
 - ساخت نمونه آزمایشگاهی
 - آنالیز فنی و اقتصادی استحصال آب شیرین با روش چگالشی و مقایسه آن با سایر سیستم‌های آب‌شیرین‌کن موجود در بازار

معادلات حاکم بر سیستم‌های کشاورزی به دلیل اضافه شدن معادلات انتقال جرم خاک در طول لوله، پیچیده‌تر است [8].

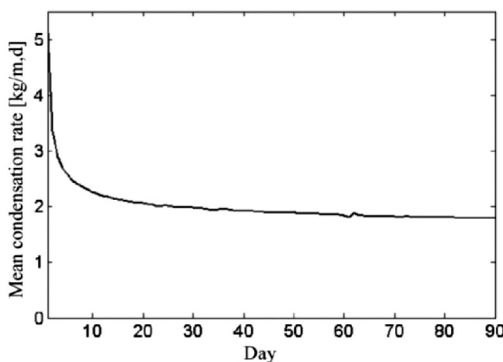
12. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده در مجموعه پژوهش‌های ذکر شده برای سیستم‌های تولید آب چگالشی خوراکی، با شرایط آب و هوایی مطابق جدول زیر بیانگر این موضوع است که به ازای هر متر لوله، تقریباً 2 لیتر آب در شبانه روز تولید می‌گردد. در مناطق کم‌آب و دورافتاده، این مقدار آب تولیدی، قابل توجه می‌باشد.

جدول (1): شرایط هوای مرطوب ورودی

مقادیر	خصوصیات
60 درجه سانتی‌گراد	دمای ورودی به لوله
70 درصد	رطوبت نسبی
3.5 متر بر ثانیه	سرعت
1 اتمسفر	فشار اولیه
20 سانتی‌متر	قطر لوله
50 متر	طول لوله
50 سانتی‌متر	عمق خاک

در نمودار شکل (8) میانگین مقدار آب تولید شده در طی 90 روز بر متر لوله در هر روز نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید در روزهای اولیه مقدار آب تولیدی بیشتری داریم زیرا بر اساس گذشت زمان دمای خاک افزایش می‌یابد و بعد از 90 روز به یک حالت پایدار در مقدار دبی آب تولیدی می‌رسیم.



شکل (8): مقدار دبی آب تولیدی در 90 روز

در نمودار شکل (9) مقدار آب تولیدی در روزهای 90 و 91 که پایدار است ملاحظه می‌شود. نرخ آب تولیدی با گذشت زمان، کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده آن است که دمای خاک افزایش یافته است

14. فهرست علائم

\bar{T}_G	دمای میانگین زمین ($^{\circ}C$)
A_{GS}	دامنه سالانه دمای سطح زمین ($^{\circ}C$)
t	زمان (s)
k	ضریب هدایت ($W/m^2^{\circ}C$)
D_{as}	ضریب پخش هوا - آب (m^2/s)
q	شار W/m^2
C_v	ظرفیت گرمایی ویژه در حجم ثابت ($J/kg^{\circ}C$)
c	سرعت (m/s)
h_m	ضریب جابه‌جایی گرمی (m/s)
h	ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ($W/m^2^{\circ}C$)
m	جرم (kg)
L	طول (m)
D	قطر (m)
w	رطوبت مطلق

علائم یونانی

α	ضریب پخش گرمایی خاک (m^2/s)
ρ	چگالی kg/m^3
ϕ	رطوبت نسبی

زیرنویس‌ها

s	خاک
a	هوا
P	لوله
w	آب
conv	انتقال حرارت جابه‌جایی
cond	انتقال حرارت چگالشی
in	ورودی لوله
out	خروجی لوله
x	محور در جهت افقی
y	محور در راستای عمق زمین

محور در طول لوله z

15. مراجع

- [1] علی محمدی، تولید آب با استفاده از تقطیر هوا در لوله‌های مدفون در زیر زمین، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، 1391
- [2] M.W. Rosegrant X. Cai and S.A. Cline, *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*, International Food Policy Research Institute, 2002.
- [3] علی، فلاح علمداری، بررسی انواع آب‌شیرین‌کن‌های متداول و طراحی یک نمونه آب‌شیرین‌کن خورشیدی، پایان‌نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تابستان 1388
- [4] Soteris A. Kalogirou, *Seawater Desalination using renewable energy sources*. Progress in Energy and Combustion Science 2005.
- [5] محمد مهدی امیرآبادی فراهانی، ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تابستان 1391
- [6] سیدرضا حسینی، بررسی قابلیت اطمینان در کولینگ آب‌شیرین‌کن‌های ترکیبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، زمستان 1389
- [7] حسام، حامدی، شبیه‌سازی و تحلیل آب‌شیرین‌کن خورشیدی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، اسفند 1389
- [8] Jenny Lindblom, Bo Nordell, *Water production by underground condensation of humid air*, Desalination 189 (2006) 248–260
- [9] Jenny Lindblom, Bo Nordell, *Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation*, Desalination 203 (2007) 417–434
- [10] Vahid Khalajzadeh, Moien Farmahini, Ghassem Heidarinejad, *A novel integrated system of ground heat exchanger and indirect evaporative cooler*, Energy and Buildings 49 (2012) 604–610

پی‌نوشت:

1. Multi Effect Distillation(MED)
2. Multi Stage Flash Distillation(MSF)
3. Vapor Compression(VC)
4. Revers Osmosis
5. Condensation Irrigation (CI)
6. Solar Still
7. Luleå(LTU)
8. Widegren
9. Nordell
10. Ingenieurbüro
11. Göhlman
12. Gustafson
13. Jenny Lindlom



ریزجلبک‌ها، منابع آینده تولید انرژی زیستی

امیر امیدوار، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز،
omidvar@sutech.ac.ir

چکیده

با جهش سریع و باورنکردنی به سوی صنعتی شدن و به دنبال آن بالا رفتن سطح استاندارد زندگی و شکوفایی و رونق اقتصادی کشورها در یکصد سال اخیر، نیاز به منابع سوخت پایدار، ارزان و پاک بیش از پیش نمایان شده است. محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از احتراق اینگونه سوخت‌ها و بالا رفتن قیمت حامل‌های انرژی از جمله مهم‌ترین عواملی است که جوامع مدرن و صنعتی را با چالش‌های بزرگی روبه‌رو کرده است. به همین دلیل روزبه‌روز استفاده از سوخت‌های زیستی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. در حال حاضر زیست‌سوخت‌ها اغلب از گیاهان روغنی، پسماند روغن‌های خوراکی و یا چربی‌های حیوانی تولید می‌شوند. محدودیت منابع و مواد خام اولیه برای تولید زیست‌سوخت‌ها یکی از مهم‌ترین مشکلات بر سر راه استفاده از این سوخت‌هاست. منابع جلبکی (جلبک‌ها و ریزجلبک‌ها) به دلیل ظرفیت بالای روغن و سرعت رشد زیاد منابع مناسبی برای تولید زیست‌سوخت به نظر می‌رسند. در سالیان اخیر تحقیقات زیادی در مورد استفاده از ریزجلبک‌ها به عنوان مواد اولیه تولید زیست‌سوخت انجام شده است. هدف اصلی این نوشتار معرفی منابع جلبکی، روش تولید و همچنین بررسی مزایا و معایب آن‌هاست.

کلید واژگان: جلبک، زیست‌سوخت، انرژی

1. نگاهی اجمالی بر زیست انرژی

پژوهش‌های مربوط به بیوانرژی یا زیست انرژی تولید سوخت مایع زیستی برای جایگزینی نفت خام یا سوخت‌های فسیلی مشابه است.

سوخت‌های مایع زیستی اغلب به سه روش ترموشیمی، سنتز و تخمیر تولید می‌شوند [1]. آذرکافت یکی از ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های ترموشیمی و فرآیندسازی سوخت است. آذرکافت اصولاً به فرآیندهایی گفته می‌شود که هدف آن گردآوری مواد فرار و چگال

کردن آن‌ها برای تولید یک سوخت مایع است.

روش دیگر سنتز یا ساخت مصنوعی سوخت‌های مایع است. این روش با گازسازی آغاز می‌شود به طوری که یک سامانه گازساز با استفاده از اکسیژن گازی تولید می‌کند که مقدار زیادی از آن را H_2 ، CO و CO_2 تشکیل می‌دهد. سپس با واکنش جابه‌جایی سعی می‌کنند نسبت H_2 و CO را به مقداری که در تولید نهایی لازم است تنظیم کنند [1]. با روش تخمیر اغلب اتانول تولید می‌شود. تخمیر یک فرآیند بیولوژیک بی‌هوازی است که در آن قند به الکل تبدیل می‌شود. بر





زیست‌سوخت‌ها در واقع، مخلوطی از مونو آکلیل استرهای زنجیره‌های اسیدهای چرب هستند که معمولاً از فرآیند استریفیکاسیون (esterification) روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی و یا پسماند روغن‌های خوراکی به دست می‌آیند. بررسی‌ها نشان داده است که نمی‌توان از روغن‌های گیاهی به طور مستقیم به عنوان جایگزین مناسبی برای سوخت دیزل استفاده نمود. جرم مولکولی زیاد روغن‌های گیاهی و لزجت نسبتاً زیاد آن‌ها استفاده از روغن‌های مذکور را به عنوان سوخت دیزل محدود می‌کند. روش‌ها و فرآیندهای مختلفی برای کاهش لزجت روغن‌های گیاهی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به رقیق‌سازی (dilution)، گرماکافت (pyrolysis) و فرآیند استریفیکاسیون اشاره نمود. در بین روش‌های مذکور فرآیند استریفیکاسیون بیشتر از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیست‌سوخت‌ها ویژگی‌های ارزنده‌ای دارند که آن‌ها را به عنوان جایگزین‌های مناسبی برای سوخت‌های فسیلی مطرح کرده است. سوخت‌های زیستی غیر سمی هستند، در طبیعت به راحتی تجزیه می‌شوند و سازگاری زیادی با محیط زیست دارند. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از سوخت‌های زیستی باعث کاهش آلاینده‌ها از جمله مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، هیدروکربن‌های سوخته نشده و ذرات معلق می‌شود [2-5]. تقریباً ده درصد وزنی سوخت‌های زیستی را اکسیژن تشکیل می‌دهد. وجود چنین سهمی از اکسیژن در ساختار زیست‌سوخت‌ها باعث بهبود فرآیند احتراق و کاهش آلاینده‌هاست [6]. در ترکیب زیست‌سوخت‌ها گوگرد، ترکیبات آروماتیک و ترکیبات فلزی وجود ندارد. نبود گوگرد در ساختار زیست‌سوخت‌ها علاوه بر حذف اسیدهای گوگردی در هوا، از اثرات خوردگی ناشی از ترکیبات گوگردی در داخل موتور نیز می‌کاهد [7]. همچنین زیست‌سوخت‌ها عملیات روغنکاری و روان‌سازی را در موتور بهبود می‌دهند. معمولاً سوخت‌های فسیلی مشکلات روانکاری را به دنبال دارند. این مشکل ریشه در فرآیند گوگردزدایی سوخت دارد. اغلب در طی عملیات گوگردزدایی ترکیبات قطبی هتروسایکلیک نیتروژن که نقش عمده‌ای در بهبود روانکاری دارند همراه با گوگرد حذف می‌شوند. در کنار مزیت‌های بسیار زیاد سوخت‌های زیستی، این سوخت‌ها معایبی نیز دارند. یکی از نقاط ضعف اینگونه سوخت‌ها در زمان شروع به کار موتور در محیط‌های سرد رخ می‌نماید. در چنین شرایطی زیست‌سوخت کمی حالت ژلاتینی به خود گرفته و پمپاژ آن با مشکل روبه‌رو می‌شود. البته این نقص به راحتی با اضافه

خلاف متانول که می‌تواند جان‌شین بنزین شود، اتانول را نمی‌توان جایگزین بنزین نمود. اتانول به عنوان بهبوددهنده می‌تواند به گازوییل استفاده شود و اصطلاحاً سوختی به نام گازول تولید نماید. برای تولید الکل نیاز به منابع قندی است. که این قند می‌تواند از نیشکر استحصال شود. البته نشاسته موجود در سیب‌زمینی، ذرت و گندم را نیز می‌توان به قند تبدیل نمود و برای تولید اتانول استفاده کرد. در حال حاضر برزیل یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های اتانول از بقایای نیشکر است. پروژه تولید اتانول در برزیل در سال 1975 آغاز شد و تا مدت‌ها از اتانول به عنوان سوخت استفاده شد تا اینکه با ورود نفت ارزان قیمت بازار اتانول نیز رو به افول گذاشت [1].

ایده اصلی و اولیه استفاده از سوخت‌های زیستی به نوعی به سال 1911 بر می‌گردد. در سال 1911 رودولف دیزل بیان کرد که موتور دیزل می‌تواند با روغن‌های نباتی تغذیه شود و موجب توسعه کشاورزی گردد. این روغن‌ها را می‌توان از له کردن دانه برخی از گیاهان استحصال نمود. اگرچه تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شد، اما با ورود نفت خام ارزان قیمت این موضوع تا مدت‌ها به دست فراموشی سپرده شد. در دهه‌های اخیر محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی ناشی از آن‌ها باعث شده است تا دوباره به موضوع سوخت‌های زیستی توجه ویژه شود. به طوری که کمیسیون اروپا اعلام کرد که تا سال 2010 باید 5/75٪ از سوخت مصرفی از منابع زیستی تامین گردد.

در واقع امروزه دو پارامتر نگاه اقتصادی و دلواپسی‌های زیست محیطی مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در سیاست‌های بخش انرژی هستند. در حال حاضر انرژی لازم در بخش حمل و نقل به شدت به سوخت‌های فسیلی وابسته است. در طی فرآیند احتراق اینگونه سوخت‌ها مقدار زیادی گاز دی‌اکسید کربن و آلاینده‌های خطرناک دیگر وارد جو زمین می‌شوند که می‌توانند باعث آلودگی هوا، تشدید اثرات گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین شوند. برای کنترل میزان گازهای گلخانه‌ای در جو زمین لازم است که چرخه کربنی در اتمسفر زمین به گونه‌ای بسته شود. به عبارت دیگر باید گازهای گلخانه‌ای به نوعی بازیافت شوند و به محصولات مفید تبدیل شوند. بهترین راه برای بستن چرخه کربن استفاده از منابع بیولوژیک یا زیستی مانند گیاهان است. منابع زیستی با استفاده از فرآیند فتوسنتز می‌توانند گازهای گلخانه‌ای را بازیافت نمایند. بدین ترتیب ایده اصلی استفاده از سوخت‌های زیستی شکل گرفت.

2. سوخت‌های زیستی

کردن افزودنی‌های خاصی به سوخت برطرف می‌گردد. همچنین به دلیل وجود اکسیژن بیشتر در زیست‌سوخت‌ها، دمای احتراق آن‌ها نیز به مراتب بالاتر از سوخت‌های فسیلی می‌باشد. این امر احتمال وجود اکسیدهای نیتروژن را در آلاینده‌های خروجی آگروز افزایش می‌دهد [6]. این مشکل را نیز می‌توان با تنظیم زمان بندی پاشش سوخت تا حد زیادی مرتفع نمود [3].

زیست‌سوخت‌ها را اغلب از منابع گیاهی مانند دانه‌های روغنی، چربی‌های حیوانی، پساب و یا فاضلاب‌هایی که منبع آلی دارند و یا حتی از پسماند روغن‌های خوراکی [3 و 4] به دست می‌آورند. در آمریکا روغن سویا یکی از مهم‌ترین منابع تولید سوخت سبز (زیست‌سوخت) است. روغن کانولا، خرما، ذرت و نارگیل از جمله دیگر منابع مرسوم تولید زیست‌سوخت در کانادا و اروپا هستند.

3. جلبک‌ها منابع غنی روغن

منابع گیاهی مرسوم برای تولید زیست‌سوخت نمی‌توانند نیاز روزافزون به منابع سوخت را برآورده کنند. برای تولید این مواد زمین‌های قابل کشت زیادی مورد نیاز است. همچنین نرخ رشد این گیاهان و فرکانس محصول دهی آن‌ها کند است. نیاز به انرژی‌های فسیلی نسبتاً زیاد، مصرف آب بالا، اثرات فرسایش خاک، رقابت با غذا و عدم هماهنگی با زیرساخت‌های موجود از جمله مشکلات عمده دیگر بر سر راه استفاده مواد خام نسل اول است. از سوی دیگر نرخ تولید آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای به شدت رو به افزایش است. با توجه به مشکلات مذکور به راحتی می‌توان چنین استنتاج نمود که بستن چرخه کربنی در محیط زیست و کنترل میزان گازهای گلخانه‌ای به وسیله مواد خام نسل اول تقریباً کاری غیر ممکن است. لذا باید به دنبال منابع مناسب‌تری رفت که بازدهی بالاتر و نرخ رشد سریع‌تری داشته باشند.

جلبک‌ها دارای خصوصیات و ویژگی‌های زیستی و فنی زیادی هستند که می‌توانند ما را در جهت غلبه بر این مشکلات یاری دهند. جلبک‌ها در جذب و استفاده از نور خورشید بازدهی بسیار بیشتری نسبت به گیاهان زمینی دارند و آلاینده‌های مضر را مصرف می‌کنند و نیاز به منابع کمتری دارند. جلبک‌ها هیچ‌گونه رقابتی با منابع غذایی نسل بشر ندارند و استفاده از آن‌ها در تولید سوخت هیچ‌گونه محدودیتی را در منابع غذایی به دنبال ندارد. نرخ رشد جلبک‌ها زیاد است و تقریباً در هر روز از هر متر مربع 10 تا 50 گرم جلبک استخراج می‌شود. در مقایسه با منابع نسل اول مانند ذرت و سویا، جلبک‌ها

دوره رشد بسیار کوتاهی دارند به طوری که تقریباً در هر 24 ساعت به حداکثر رشد خود می‌رسند و در هر 3/5 ساعت مقدارشان دو برابر می‌شود [8]. در جدول (1) میزان روغن استخراج شده و مقدار زمین زراعی لازم برای رشد جلبک‌ها و منابع گیاهی مرسوم مانند ذرت و سویا با هم مقایسه شده است:

جدول (1). مقایسه مقدار روغن و میزان زمین لازم برای استحصال جلبک‌ها و مواد خام مرسوم [8]

ماده اولیه	میزان روغن (گالن بر جریب بر سال)	زمین لازم (میلیون جریب)
ذرت	18	2222
سویا	48	833
کانولا	127	315
خرما (پالم)	635	63
ریزجلبک (10٪ روغن)	1200	33
ریزجلبک (50٪ روغن)	10000	4

4. شیوه‌های رشد و تکثیر جلبک‌ها

جلبک‌ها برای رشد و نمو امکانات و منابع خاصی نیاز ندارند و نیازهای آن‌ها در حد نیازهای اولیه مانند آب، دی‌اکسید کربن، نور خورشید و مواد مغذی است. در اغلب مناطق نور خورشید به اندازه کافی وجود دارد. گاز دی‌اکسید کربن لازم برای رشد جلبک‌ها را می‌توان از گازهای خروجی نیروگاه‌ها و یا سایر سازوکارهای صنعتی تامین نمود. جلبک‌ها در آب‌های با PH مختلف قابل رشد هستند از آب شرب گرفته تا آب‌های شور و بدمزه و یا حتی فاضلاب‌ها. نیاز جلبک‌ها به مواد مغذی نسبت به سایر مواد خام نسل اول به مراتب کمتر است. این امر به خاطر ساختار ساده تک‌سلولی آن‌هاست. از جمله مهم‌ترین مواد مغذی مورد نیاز برای رشد جلبک‌ها نیتروژن و فسفر است که می‌توان آن‌ها را از کودهای شیمیایی سنتی تهیه نمود. البته این مواد در فاضلاب‌ها به حد کافی وجود دارد که اگر از فاضلاب برای رشد جلبک‌ها استفاده شود نیاز آن‌ها به مواد مغذی اضافی به شدت کاهش می‌یابد.

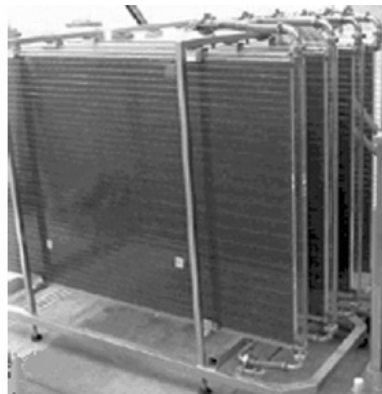
تکثیر و پرورش جلبک‌ها معمولاً به دو صورت زیر انجام می‌گیرد:

- استفاده از استخرهای باز
- استفاده از فتو بیو راکتورهای بسته

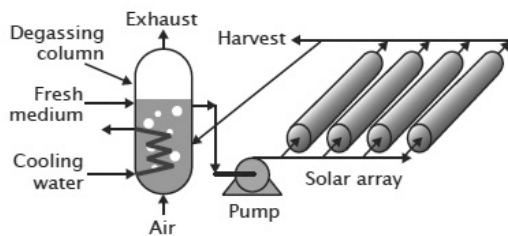
روش استخر باز یک روش ساده و بسیار ارزان قیمت است. حجم این استخرها می‌تواند از 100 لیتر تا 10 میلیارد لیتر متغیر

5. گونه‌های جلبکی مرسوم در تولید زیست‌سوخت

تاکنون گونه‌های مختلفی از ریزجلبک‌ها از جمله کلرلا (Chlorella)، دونالیلا (Dunaliella) و اسپیرولینا (Spirulina) با هدف تولید سوخت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. [9 و 10] این گونه‌های جلبکی در کشور ما نیز قابل رشد و پرورش هستند. به تازگی گونه خاصی از ریزجلبک کلامیدوموناس (Chlomydomonas) با نام MCCS 026 در برخی نواحی جنوبی ایران (استان فارس) شناسایی شد که می‌تواند به عنوان منبع مناسبی برای تولید سوخت سبز مورد استفاده قرار گیرد [11].



Photobioreactors



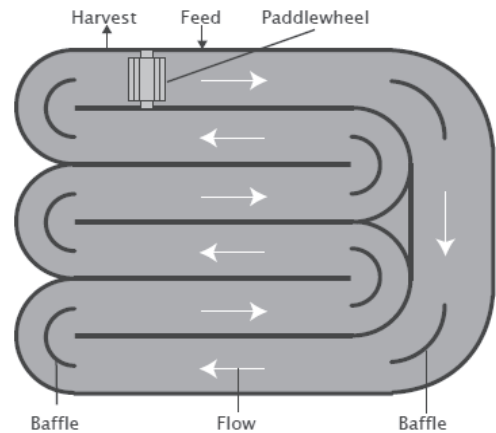
شکل (2): نمایی کلی از روش فتوبیورآکتور بسته [8]

بر طبق تحقیقات انجام شده این گونه خاص جلبکی علاوه بر نرخ سریع رشد و ظرفیت لیپیدی نسبتاً بالا، محیط کشت بسیار ساده و ارزان‌قیمتی دارد به طوری که حتی در شرایط اقلیمی ایران به طور طبیعی نیز قابل رشد و تکثیر است. نتایج برخی تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که سوخت به دست آمده از این سویه جلبکی خواص بسیار مشابهی با سوخت دیزل فسیلی دارد [12]. به مرسوم و مورد استفاده در اروپا و آمریکا از جمله سویا و کانولا متیل استر عملکرد بسیار مطلوب‌تری دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داده

باشد. استخرهای باز در عین سادگی و صرفه اقتصادی با مشکلات و معضلاتی نیز روبه‌رو هستند. این استخرها اغلب در زمین‌های با مساحت بسیار بزرگ (در حد چند هکتار) باید بنا شوند که این امر خود محدودیت بزرگی به شمار می‌آید. از سوی دیگر کنترل شرایط محیط رشد در روش استخر باز کارچندان ساده‌ای نیست. حتی گاهی به علت باز بودن فضای استخر به محیط اتمسفر امکان نفوذ و رشد گونه‌های جلبکی ناخواسته و نامناسب در داخل استخر وجود دارد. در روش استخر باز ارسال و نقل و انتقال گاز دی‌اکسید کربن با مکانیزم انتقال جرم طبیعی صورت می‌گیرد. از آنجا که تنها 0/036 درصد از هوای اتمسفر را دی‌اکسید کربن تشکیل می‌دهد، انتقال این گاز به داخل استخر با محدودیت‌هایی همراه است. بدین منظور برای انتقال بهتر گاز دی‌اکسید کربن از روش حباب‌زنی استفاده می‌شود که باز هم به دلیل باز بودن استخرها، بخش اعظمی از گاز انتقال‌یافته می‌تواند فرار کند. در شکل (1) نمایی کلی از استخرهای باز نشان داده شده است. در روش استفاده از فتوبیورآکتورهای بسته تقریباً معایب فوق‌الذکر تا حد زیادی مرتفع شده است. در شکل (2) نمایی از یک فتوبیورآکتور رسم شده است. تنها عیب این روش هزینه نسبتاً بالاتر نسبت به روش استخر باز است.



Open ponds



شکل (1). نمایی کلی از استخرهای باز [7]

است که زیست‌سوخت جدید نسبت به زیست‌سوخت به دست آمده از برخی ریز جلبک‌های دیگر مانند کلرلا (Chlorella) نیز از کیفیت بسیار بالاتری برخوردار است.

6. تراز انرژی

تراز انرژی یا همان نسبت برگشت‌پذیری انرژی (Energy Payback Ratio) یکی از عوامل و مفاهیم مهم در انتخاب منابع سوخت‌های زیستی است. تراز انرژی در واقع بیانگر نسبت انرژی دریافتی از زیست‌سوخت به انرژی‌های ورودی و داده شده به آن است که البته ممکن است بخشی از انرژی‌های داده‌شده یا مصرف‌شده در طی فرآیند تولید زیست‌سوخت از منابع فسیلی تامین شده باشد. مقدار تراز انرژی زیست‌سوخت به شدت به فرآیند تولید آن بستگی دارد. به طوری که اگر فرآیندهای تولیدی طوری طراحی شوند که از انرژی‌های تجدیدپذیر دیگر مانند انرژی خورشیدی بهره ببرند و یا از انرژی هدر رفت صنایع دیگر در راستای تولید زیست‌سوخت‌ها استفاده شود، بالانس انرژی مثبت خواهد شد و استفاده از زیست‌سوخت‌ها به مراتب مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. به مقدار بالانس انرژی برای نیروگاه‌های برقی نزدیک به 300 است. برای چوب این مقدار بین 10 تا 20 است. برای اتانول تولید شده از دانه جو مقدار بالانس انرژی 1 است. این در حالی است که مقدار بالانس انرژی برای سوخت‌های زیستی نزدیک به 3 است. البته همان‌طور که اشاره شد با بهینه‌سازی فرآیندهای تولید زیست‌سوخت‌ها می‌توان این نسبت را به مراتب افزایش داد.

7. زیست‌سوخت‌های جلبکی در آینده نزدیک

در سال 2007 میلادی هزینه تولید روغن از یک گونه ریزجلبکی با ظرفیت چربی 30% با استفاده از روش فتو بیو راکتورهای بسته با ظرفیت 10000 تن در سال تقریباً برابر با 10/5 دلار برای هر گالن تخمین زده شد [8]. البته این مبلغ بدون در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به تبدیل روغن به زیست‌سوخت، هزینه حمل و ارسال سوخت و مالیات محاسبه شد. این در حالی است که در همان زمان

هزینه سوخت فسیلی برای هر گالن چیزی حدود 4 دلار بود! در حال حاضر هزینه بالای تولید زیست‌سوخت‌های جلبکی بزرگ‌ترین چالش اینگونه سوخت‌هاست. اما در چند سال آینده با محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و رشد روز افزون قیمت آن‌ها از یک سو و با بهینه‌سازی فرآیندهای تولید زیست‌سوخت‌های جلبکی از سوی دیگر، شرایط تغییر خواهد کرد و به زودی زمانی فرا خواهد رسید که زیست‌سوخت‌های جلبکی مقرون به صرفه خواهند شد.

8. مراجع

1. پرتوی، ع. "انرژی‌های نو، انرژی برای آینده‌ای پایدار"، انتشارات دانشگاه تهران، 1386، چاپ اول.
2. Erazo, J., Sequera, A., Parthasarathy, R., and Gollahalli, S.R., "Comparison of spray characteristics of biodiesel and diesel fuel," AIAA 4816, 2007.
3. Murillo, S., Líguez, J.L., Portero, J., Geranada, E., and Morán, J.C., "Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines," Fuel, 86, pp 1765-1771, 2007.
4. زنوزی، ع. قبادیان، ب. توکلی هسجین، ت. فیض الله نژاد، م. و باقرپور، ح. «تأثیر ترکیب سوخت‌های دیزل و بیودیزل حاصل از پسماند روغن‌های خوراکی در عملکرد موتور اشتعال تراکمی (CI)»، نشریه علمی-پژوهشی سوخت و احتراق، سال اول، شماره اول، شهریور 1387.
5. نجفی، ب. پیروزیناه، و. و قبادیان، ب. «تأثیر استفاده از بیودیزل در کاهش آلودگی موتور دیزل»، مجموعه مقالات اولین کنفرانس احتراق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، بهمن ماه 1384.
6. Tyson, S.K., "Biodiesel handling and use guidelines," US Department of Energy DOE/GO:102004, 1999.
7. Almeida, S.C.A., Belchior, C.R., Nascimento, M.V.G., Viera, L.S.R., and Fleury, G., "Performance of a diesel generator fuelled with palm oil," Fuel, 81, pp 2097-2102, 2002.
8. Wen, Z. and Johnson M.B., "Microalgae as a feedstock for biofuel production," Virginia State University, Publication 441-886.
9. Chisti, Y., "Biodiesel from microalgae," Biotechnology Advances, 25, pp 294-306, 2007.
10. Chisti, Y., "Biodiesel from microalgae beats bioethanol," Trends in Biotechnology, 26, 3, pp126-131, 2008.
11. Morowvat, M.H., Rasoul-Amini, S., and Ghasemi, Y., "Chlamydomonas as a "new" organism for biodiesel production," Bioresource Technology, 101, pp 2059-2062, 2010.
12. امیدوار، ا. و امینی، ا. «پیش بینی خواص فیزیکی و مشخصات قطره سازی زیست سوخت به دست آمده از ریزجلبک کللامیدوموناس». نشریه علمی-پژوهشی سوخت و احتراق، سال سوم، شماره دوم، زمستان 89.



انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه پایدار در ایران

مهندس مهدی بریمانی^۱، دکتر عبدالرزاق کعبی نژادیان^۲

۱. شرکت برق منطقه‌ای مازندران، m_barimani1@yahoo.com

۲. سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، kaabi@iranenergy.org

چکیده

محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از انتشارات گازهای گلخانه‌ای ضرورت توجه بیش از پیش به انرژی‌های تجدید را بر همگان روشن ساخته است. با توجه به برخورداری از پتانسیل مطلوب و مناسب انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، توسعه منطقی این منابع ارزشمند و خداداد موجه به نظر می‌رسد چرا که از این طریق می‌توان در جهت اهداف توسعه پایدار نیز گام برداشت. در این مقاله با بیان ضرورت به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر (محدودیت منابع و آلودگی زیست محیطی) و وضعیت کاربرد این انرژی‌ها در کشور با بیان انتظارات از این انرژی‌ها به پیشنهاداتی پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار، انرژی‌های تجدیدپذیر، ایران

1. مقدمه:

براساس گزارش برانت لند «توسعه پایدار» عبارت است از توسعه‌ای که نیازهای کنونی جهان را تامین کند، بدون اینکه توانایی نسل‌های آتی را دربرآوردن نیازهای خود مخاطره افکند و این توسعه پایدار رابطه متقابل انسان‌ها و طبیعت سراسر جهان است. فرایند توسعه پایدار به گونه‌ای طراحی می‌شود که توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را تداوم می‌بخشد [1].

از مهم‌ترین عناصر که در توسعه پایدار موثر است منابع انرژی است. داشتن انرژی مناسب عمده‌ترین عامل اقتصادی جوامع

صنعتی پس از نیروی انسانی است چرا که انرژی یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه می‌باشد. اگر انرژی به نحوی تولید و مصرف شود که توسعه انسانی را در بلندمدت در تمامی ابعاد اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی تامین نماید، مفهوم انرژی پایدار تحقق خواهد یافت، لذا تامین انرژی پایدار ضرورت توسعه پایدار است. به همین دلایل در سال‌های اخیر کشورهای مختلف اعم از پیشرفته و درحال توسعه توجه فزاینده‌ای به انرژی تجدیدپذیر (انرژی خورشید، انرژی باد، ژئوترمال و...) جهت ایجاد تنوع در استفاده از منابع انرژی و



کاهش وابستگی به یک حامل انرژی و ملاحظات زیست‌محیطی برای دستیابی به انرژی پایدار معطوف داشته‌اند. بالا رفتن قیمت سوخت‌های فسیلی، ملاحظات زیست‌محیطی، امنیت تامین انرژی، کاربری در پتروشیمی، پیشرفت تکنولوژی و توجیه اقتصادی در برخی موارد به طور عمده تعیین‌کننده آینده انرژی‌های تجدیدپذیر است. به هر حال این قلمرو به طور دائم در حال تغییر بوده و آینده این تغییرات نمایانگر کاهش هزینه‌ها و گسترش نفوذ آن در بازار انرژی دنیا و رسیدن به انرژی پایدار است [2]. با وجود اینکه این امر از لحاظ تکنولوژیکی امکان‌پذیر است اما فقط با حمایت و تلاش همه‌جانبه بین‌المللی و با تعیین اولویت‌ها و سیاست‌های اقتصادی، جلب منابع مالی خارجی، مشارکت بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری و انجام برنامه‌های آموزشی و پژوهشی میسر می‌شود. ایران نیز در سال‌های اخیر اقداماتی در این خصوص داشته است که در ادامه با بیان ضرورت به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر (محدودیت منابع و آلودگی زیست‌محیطی) و وضعیت کاربرد این انرژی‌ها در کشور به پیشنهادات و بیان انتظارات از این انرژی‌ها پرداخته خواهد شد.

2. ضرورت به‌کارگیری انرژی تجدیدپذیر

2-1 محدودیت منابع انرژی

زنگ خطر محدودیت منابع کره زمین در سال 1970 توسط pecchi بازرگان ایتالیایی و آقای A.kingura مدیر OECD که از متولیان سازمان Rome Club می‌باشند به صدا درآمد. آنان در گزارشی به نام "محدودیت رشد" محدودیت انرژی را اعلام کردند که محدودیت انرژی و وابستگی جهان به کاربرد سوخت‌های فسیلی به خصوص نفت دنیا را به لرزه در خواهد آورد، نفتی که منبع اجتناب‌ناپذیر رشد اقتصادی را تشکیل می‌دهد و قیمت آن موجب قیمت آن موجب واکنش و حساسیت جامعه بین‌المللی شده است [2].

منابع انرژی که مصرف می‌کنیم به ویژه انرژی فسیلی نامحدود نیست با توجه اینکه درک دقیق میزان منابع انرژی مشکل می‌باشد، اما در مورد انرژی فسیلی نظیر نفت و گاز و ذغال سنگ بر اساس توسعه حفاری و به کمک روش‌های آماري ذخایر منابع انرژی فسیلی را پیش‌بینی می‌کنند. در جدول (1) برآورد میزان ذخایر انرژی (نفت خام، مایعات و میعانات گازی) ایران نشان داده شده است [5]. با تقسیم ذخایر به تولید سالانه حاضر تعداد سالی که تولید فعلی از این به بعد قابل ادامه می‌باشد محاسبه می‌گردد.

جدول (1): برآورد میزان ذخایر انرژی (نفت خام، مایعات و میعانات گازی) ایران

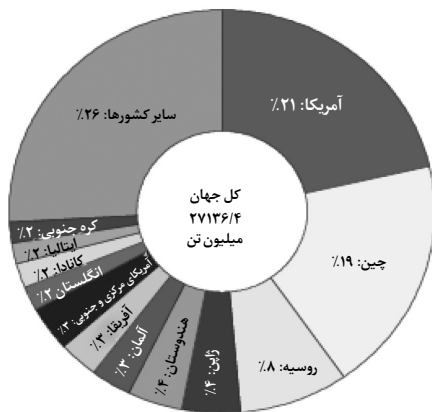
شرح	1382	1383	1384	1385	1386
نفت خام، مایعات و میعانات گازی (میلیارد بشکه)	132,74	137,66	136,16	138,22	137,62
عمر ذخایر (سال) (1)	86	87	85	85	84

(1) عمر ذخایر یعنی زمان اتمام ذخایر قابل استحصال نفت خام و میعانات گازی کشور بر اساس تولید سال قبل و عدم کشف ذخایر جدید

2-2 آلودگی زیست محیطی منابع انرژی

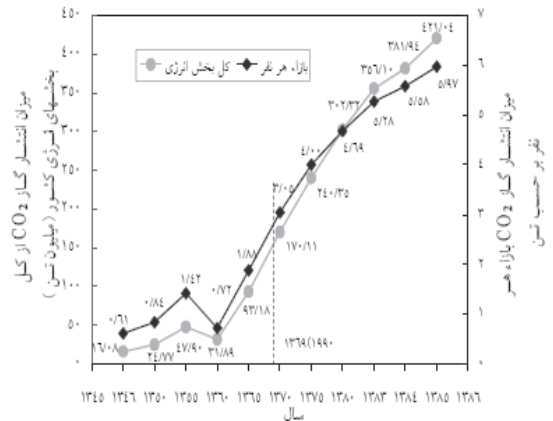
مشکلات محیط زیست جهان که در دهه 1990 به صورت بحران‌های جهانی و اجتناب‌ناپذیر مطرح گردید نهایتاً به انرژی وابسته است. به خصوص گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان و تاثیرات آن بر روی کاهش محصولات کشاورزی و تغییرات آب و هوایی و باران‌های اسیدی ناشی از اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای سولفور و غیره حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی که موجب صدمه رسیدن به جنگل‌ها، دریاچه‌ها، مرداب‌ها و غیره می‌شوند. در میان گازهای گلخانه‌ای که موجب گرم شدن کره زمین می‌شوند، دی‌اکسید کربن بیشترین سهم را دارا می‌باشد.

میزان دی‌اکسید کربن خروجی در جهان در سال 2005 با تبدیل به کرین $271/36 \times 108$ تن می‌باشد که بالاترین میزان به ترتیب آمریکا، چین و روسیه تعلق دارد (به شکل (1) مراجعه شود). از طرفی میزان خروجی در کل جهان نیز بعد از انقلاب صنعتی به خصوص بعد از جنگ جهانی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و اخیراً در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش گذاشته است.



شکل (1): نشر دی‌اکسیدکربن ناشی از سوزاندن سوخت‌های قابل احتراق در سال 2005 [6].

در شکل (2) تغییرات میزان خروجی دی‌اکسید کربن در ایران طی سال‌های 85-1346 را نشان می‌دهد. به استثنای سال 1360 که در نتیجه رکود فعالیت می‌باشد، میزان خروجی گاز به ازای هر نفر و کل بخش‌های انرژی کشور رو به افزایش بوده، و در شرایطی است که به مقابله بیشتری نیاز دارد.



شکل (2): سرانه میزان خروجی گاز دی‌اکسید کربن در ایران [3].

البته این در حالی است که هزینه‌های اجتماعی تخریب محیط زیست در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی در سال 1386 براساس مطالعات انجام شده توسط بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران 92195 میلیارد ریال محاسبه شده است که معادل 19/3٪ از تولید ناخالص داخلی کشور در این سال می‌باشد [5].

3. انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران

1-3 شرایط ایران

محدودیت منابع فسیلی، رشد بالای مصرف سالانه انواع انرژی در ایران، خارج شدن کشورمان از جرگه صادرکنندگان نفت از اواخر قرن حاضر و بالطبع قطع درآمدهای ناشی از صدور نفت باعث می‌شود که در صورت عدم برنامه‌ریزی و پیشرفت‌های لازم روند توسعه کشور به طور جدی تحت تأثیر قرار بگیرد. عدم کارایی فنی و اقتصادی و هدر رفتن قریب به 55 درصد از کل انرژی در فرایندهای مصرف و مشکلات فزاینده زیست‌محیطی ناشی از آن، ضرورت مدیریت مصرف انرژی و بالا بردن بازده و بهره‌وری انرژی را بیش از پیش آشکار می‌سازد، در این راستا می‌توان از پیشنهاد وزارت نیرو در خصوص قانون بند "و" تبصره 19 برنامه دوم توسعه در مجلس شورای اسلامی به عنوان اولین گام اساسی و در پی آن تصویب آئین‌نامه‌های

اجرایی، تشکیل کمیته تصویب معیارها، برگزاری سمینارها و دوره‌های آموزشی کارشناسان صنایع و موسسات نام برد [7].

برای ثبات عرضه انرژی از نظر عرضه منابع طبیعی انرژی باید به معرفی انرژی‌های نو نظیر انرژی خورشیدی نامحدود توجه گردد. از طرفی اگر جدی بودن موضوع محیط زیست را اصل در نظر بگیریم، توجه به صرفه‌جویی انرژی و حفظ ایمنی نیروگاه‌های اتمی، و گرایش به انرژی‌های نو و پاک که بار کمی را در محیط زیست دارند ضروری خواهد بود.

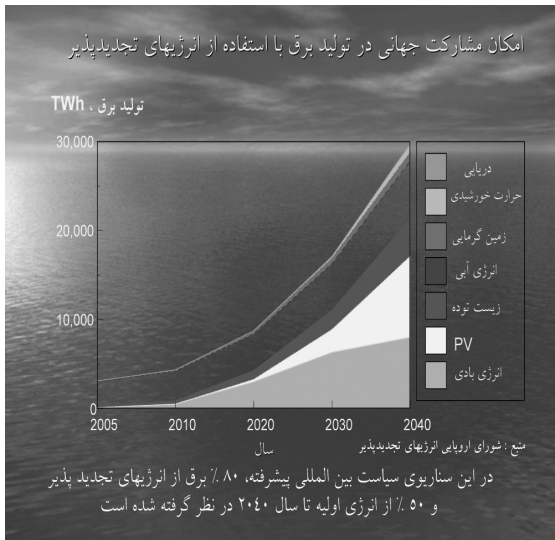
تولید الکتریسیته به طور پیوسته در حال افزایش است زیرا الکتریسیته انرژی تمیز و راحت در مرحله مصرف می‌باشد. این گرایش از نظر کارایی کل انرژی اولیه یک امتیاز به حساب نمی‌آید به‌خصوص وقتی که نیروگاه‌های تولید الکتریسیته بر پایه سیکل‌های ترمودینامیکی که به طور ذاتی از محدودیت در کارایی برخوردارند بنا شده باشند. تعدادی از تجدیدپذیرها که از این چرخه گرمایی استفاده نمی‌کنند می‌توانند انرژی الکتریکی را بدون از دست دادن کارایی و یا تولید حرارت زائد ناخواسته ایجاد نمایند.

شکل (3) عرضه و مصرف انرژی ایران را در سال 1386 نشان می‌دهد. برای تولید برق 320/59 میلیون بشکه نفت خام یا 22/6 درصد از کل انرژی اولیه به‌کار گرفته شده است. از این مقدار مصرف برق که به صورت موثر مورد استفاده قرار گرفته است، 91/23 میلیون بشکه معادل نفت خام یا 6/43 درصد می‌باشد. به عبارت دیگر، برای اینکه انرژی الکتریکی را که در زندگی بسادگی مصرف می‌شود در اختیار داشته باشیم، 233/3 میلیون بشکه معادل نفت خام یا 16/43 درصد از کل انرژی اولیه را به صورت اتلاف حرارت و اتلاف انتقال برق در محیط تخلیه می‌کنیم. این نمونه‌ای از اتلاف انرژی اولیه در کشور می‌باشد.

این واقعیت در حالی است که در ایران سهم انرژی‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی و بادی) و آبی در تولید ناویژه برق در این سال به ترتیب 90/4٪، 0/075٪ و 9/5٪ می‌باشد. و این نسبت در کشورهای OECD آمریکا شمالی برای سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای به ترتیب 66/8٪، 15/3٪ و 17/8٪. سهم سوخت‌های فسیلی در کشورهای OECD اروپایی 53/4٪ و در کشورهای OECD آسیا و اقیانوسیه 69/7٪ می‌باشد [5].

در ایران در راستای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم ده درصدی ظرفیت تولید برق کشور در سند چشم‌انداز 20 ساله





شکل (4): امکان مشارکت جهانی در تولید برق با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال 2040 [8].

3-2 وضعیت توسعه فن‌آوری در ایران

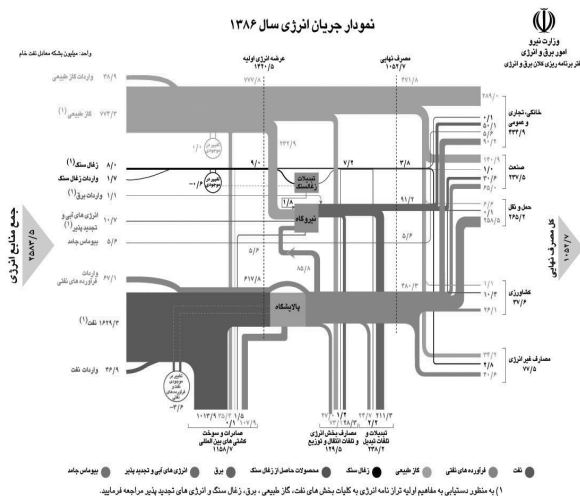
در دو دهه اخیر در راستای انتقال و ارتقای فن‌آوری انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی و ...) اقداماتی به شرح ذیل انجام یافته که به تبع آن نیز اشتغال و صرفه‌جویی انرژی به همراه داشته امید است در آینده نزدیک توجه قابل توجهی به این امر مهم گردد. شرکت تولیدی فیبر نوری و برق خورشیدی از مجموعه شرکت‌های مخابراتی و مشتمل بر دو کارخانه تولیدی فیبر نوری و کارخانه تولید برق خورشیدی است. شروع نصب و راه‌اندازی آن از سال 1371 و به ترتیب با برق خورشیدی (واحدهای تولیدی سلول و ماژول) با مشخصات زیر و سپس فیبر نوری بوده است.

مشخصات کارخانه:

ظرفیت تولید سالانه: 3 مگاوات پیک (شامل: 2400000 عد سل خورشیدی و 67000 دستگاه پنل خورشیدی) نوع سل قابل تولید: پلی‌کریستال و مونوکریستال و نوع پنل خورشیدی: دوشیشه‌ای با قاب استیل و تک‌شیشه‌ای با قاب آلومینیوم.

- گروه صنعتی سدید با برخورداری از دانش فنی و تجربیات تخصص فراوان در سال 1379 قراردادی را در زمینه احداث خط تولید توربین بادی 660 کیلو واتی با همکاری شرکت دانمارکی وستاس که یکی از معتبرترین شرکت‌های طراح و سازنده توربین بادی در جهان است منعقد گردانید و مسئولیت اجرایی این

(1404-1384) به انرژی‌های نو اختصاص یافته است. به منظور افزایش سهم منابع انرژی‌های نو در عرضه انرژی الکتریکی کشور و کاهش مصرف گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در تولید برق، وزارت نیرو موظف است نسبت به برنامه‌ریزی برای ارتقای مستمر سهم منابع انرژی‌های نو در عرضه انرژی الکتریکی به نحوی اقدام نماید که در یک افق 10 ساله حداقل 10٪ انرژی الکتریکی تولیدی کشور از این منابع تامین شود. در این صورت تولید درصدی از انرژی الکتریکی در ایران (که سالانه نزدیک به 25٪ مصرف سوخت فسیلی را به خود اختصاص می‌دهد) از طریق انرژی تجدیدپذیر، ضمن صیانت از ذخائر ملی، جلوگیری از آلودگی زیست‌محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، اشتغال‌زایی و توسعه نواحی دورافتاده و ارتقای جایگاه ایران در محیط استراتژیک بین‌المللی، در دستیابی به انرژی پایدار و توسعه پایدار مورد توجه قرار می‌گیرد.



شکل (3): نمودار جریان انرژی سال 1386 - ایران [5].

حقایق نشان می‌دهد که در سال 2020 دورنمای انرژی در سطح بین‌المللی و همچنین در بسیاری از موارد اوضاع انرژی در سطح ملی وخیم‌تر از سال‌های بحران خواهد شد. این اوضاع حتی در دهه بعد از 2020 متشنج‌تر نیز خواهد شد، مگر اینکه از هم‌اکنون اقداماتی برای مقابله با این احتمالات آغاز شود.

نفوذ تجدیدپذیرها عمدتاً در بخش برق می‌باشد. شکل (4) امکان مشارکت جهانی در تولید برق با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را تا سال 2040 نشان می‌دهد که ضرورت انجام برنامه‌ریزی بلندمدت در کشورها جهت به‌کارگیری پتانسیل‌های موجود را تبیین می‌کند.



قرارداد را بر عهده شرکت صبا نیرو نهاد.

• عملیات ایجاد کارخانه تولید پره‌های کامپوزیتی توربین باد و مونتاز ماشین (Nacell) که دارای بیش از 7500 متر مربع سالن‌های سرپوشیده می‌باشد، در سال 1381 به پایان رسید. ماشین‌آلات تولید پره و مونتاز ناسل در یک مقطع زمانی 6 ماه تحت نظارت کارشناسان دانمارکی با موفقیت نصب و راه‌اندازی گردید. با اتمام مراحل فوق شرکت صبا نیرو با ظرفیت عملی تولید 3 پره کامپوزیتی و مونتاز یک دستگاه ماشین‌خانه در هفته آغاز به فعالیت نمود.

4. ارزیابی برنامه‌های توسعه کشور در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر

در هدف سیاسی برای تثبیت عرضه انرژی، لازم است که با پیش‌بینی بلندمدت عرضه و تقاضای انرژی طرح‌ریزی و به عنوان سیاست انرژی، برای لزوم مقابله با موضوع گرم شدن کره زمین نیز مطرح گردد. در این سیاست انواع انرژی‌های نو شامل انرژی خورشیدی و باد و غیره که ضریب آن رو به افزایش متمایل باشد در نظر گرفته شود. از طرفی، پیش‌بینی بلندمدت عرضه و تقاضای انرژی، بر پایه قانون در ارتباط با معرفی و توسعه انرژی جایگزین نفت، بر اساس اهداف عرضه انرژی جایگزین نفت و تغییر الگوی مصرف و عرضه انرژی نیز پیشنهاد می‌گردد. رسیدن به اهداف عرضه انرژی جایگزین نفت، اصل معرفی انرژی‌های نو را در سراسر کشور به عنوان راهکار پیشرو کل انرژی در هیئت دولت تصمیم و مطرح گردد. همچنین با هدف امنیت عرضه مناسب و پایدار انرژی، قانون ویژه اقدام برای پیشرفت کاربرد انرژی‌های نو را پیشنهاد کرده و امید است به مرحله اجرا در آید. براساس این قانون وظایف دولت، مردم، دست‌اندرکاران و... به طور وضوح روشن شده با هدف پیشرفت انرژی‌های نو سیاست کلی در ارتباط با ارتقای کاربرد انرژی‌های نو ایجاد گردد. در ذیل نگاهی اجمالی به چهار برنامه توسعه کشور داریم:

برنامه اول:

در برنامه اول که برای سال‌های 1368 الی 1372 تهیه گردیده است تاکید برنامه بر بازسازی صنایع و بخش کشاورزی می‌باشد و از نظر حفظ محیط زیست به مسئله رفع صنایع آلوده‌کننده اشاره دارد. بنابراین در برنامه اول به انرژی‌های نو اهمیت داده نشده است.

برنامه دوم:

در برنامه دوم مسئله صرفه‌جویی در مصرف انرژی مطرح شده و

حفاظت از محیط زیست مورد تاکید قرار گرفته است و 0/2 درصد از فروش حامل‌های انرژی جهت انجام تحقیقات در این زمینه اختصاص یافته است. مسئله توسعه کاربرد انرژی‌های نو در این برنامه به منظور صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و تحقیقات مطرح بود.

برنامه سوم:

در این برنامه یک فصل به انرژی اختصاص یافته است و به صرفه‌جویی در مصرف انرژی تاکید شده است. در این برنامه به طور مشخص توسعه کاربرد انرژی‌های نو به عنوان یک راهکار در کاهش مصرف انرژی مطرح بوده است

برنامه چهارم:

وزارت نیرو مکلف است انرژی برق تولیدی توسط نیروگاه‌ها و تولیدکنندگان بخش‌های خصوصی و دولتی را با قیمت‌های تضمینی خریداری نماید. نرخ تضمینی به پیشنهاد سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به تصویب شورای اقتصاد خواهد رسید. در مورد نرخ برق تولیدی بخش‌های غیر دولتی از منابع انرژی‌های نو با توجه به جنبه‌های مثبت زیست‌محیطی و صرفه‌جویی‌های ناشی از عدم مصرف منابع انرژی فسیلی و به منظور تشویق سرمایه‌گذاری در این نوع تولید به ازای هر کیلو وات ساعت برای ساعات اوج و عادی حداقل ششصد و پنجاه ریال و برای ساعات کم‌باری حداقل چهارصد و پنجاه ریال (حداکثر چهار ساعت در شبانه‌روز) در محل تولید مورد عمل قرار گیرد. ضمناً اعتبارات تخصیص یافته برای توسعه انرژی‌های نو در چهار برنامه توسعه طی جدول (3) زیر در نظر گرفته شده است [7].

جدول (3): اعتبارات تخصیص یافته برای توسعه انرژی‌های نو در چهار برنامه توسعه (ارقام به میلیون ریال است) [7].

برنامه	طرحها			
	برنامه اول	برنامه دوم	برنامه سوم	برنامه چهارم
طرح فن‌آوری انرژی‌های نو	-	-	218722	611164
طرح توسعه انرژی‌های نو	7945	112656	368450	-
طرح توسعه نیروگاه‌های بادی	-	-	-	834983
جمع	7945	112656	587172	1446147

آنچه که در این چهار برنامه مطرح می‌باشد استفاده منطقی و اقتصادی از انرژی‌های نو نشده و به علت آنکه فن‌آوری این‌گونه





انرژی‌ها به بلوغ نرسیده است و قانون‌گذاری به این بخش به عنوان یک پتانسیل می‌نگرد، برنامه مشخصی برای هدفدار نمودن فعالیت‌ها در این زمینه ارئه ننموده است. بنابراین اهداف کلان کشور و سیاست‌های اجرایی در این زمینه نامشخص است.

5. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مشکل اصلی فراروی توسعه به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری اولیه بالا مورد نیاز است که دولت باید با تقویت همکاری‌های بین‌المللی (به ویژه کمک‌های قابل ملاحظه مجامع بین‌المللی مرتبط به کشورهای در حال توسعه که پیش‌بینی شده مصرف انرژی آن‌ها به‌طور غیر منتظره افزایش می‌یابد)، حمایت از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و غیر دولتی زمینه مشارکت گسترده انرژی‌های نو در عرضه انرژی را مهیا سازد چرا که این امر کاهش هزینه در بلندمدت صرفه‌جویی سرمایه ملی، افزایش تولید ناخالص داخلی، افزایش درآمد ملی، ایجاد فرصت‌های شغلی و صیانت از محیط زیست را به همراه خواهد داشت.

برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت بر اساس الگوی تصمیم‌گیری اقتصادی کنونی بزرگ‌ترین مانع در مقابل رشد انرژی‌های تجدیدپذیر است. این انرژی‌ها ظاهراً به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری نسبت به سوخت‌های فسیلی نیاز دارند درحالی‌که به علت عدم نیاز به سوخت در طول کار در واقع به هزینه‌های جاری نیازی ندارند، لذا موارد ذیل توصیه می‌شود:

- بازنگری و به‌روز کردن روش تصمیم‌گیری‌های اقتصادی: افزایش اولویت سرمایه‌گذاری بر روی پروژه‌های تجدیدپذیر در بین موسسات مالی، ایجاد بازار رقابتی و اعمال سیستم قیمت‌گذاری

هزینه کامل

- حذف تدریجی یارانه انرژی فسیلی و سوق دادن درآمد حاصل از آن به تامین بودجه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر
- تشویق بخش خصوصی به شرکت در سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر
- تاسیس سازمانی به منظور تقویت و ایجاد تمرکز بین‌المللی و رهبری جهت افزایش استفاده از انرژی تجدیدپذیر
- افزایش بودجه بخش آموزش و تحقیقاتی انرژی‌های تجدیدپذیر.

6. مراجع:

1. UNISCO, 1997. *Educating for a sustainable future*. Thessaloniki: UNISCO/The Government of Greece.
2. داریوش فروغی، شورای جهانی انرژی، کمیته ملی انرژی ایران، انرژی برای جهان فردا، تهران، 1375
3. کعبی‌نژادیان، عبدالرزاق، فن‌آوری انرژی‌های نو، تهران، 1387
4. مدیریت برنامه‌ریزی، آمارنامه مصرف‌فرآورده‌های نفتی انرژی‌ها، پاییز 1386، انتشارات روابط عمومی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران
5. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو
6. *New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)*, Japan
7. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، قانون برنامه اول، دوم، سوم و چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، انتشارات مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
8. IEA, *World Energy Outlook, 1996 Edition*
9. *University of Pittsburgh, Department of Chemical and Petroleum Engineering (USA)*
10. سازمان انرژی‌های نو ایران، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو
11. نصیری، حسین، توسعه و توسعه پایدار: چشم‌انداز جهان سوم، تهران، 1384
12. شورای جهانی انرژی، منابع انرژی تجدیدپذیر نوین، تهران، 1375



شبیه‌سازی عددی یک توربین بادی با محور عمودی و مقایسه با مدل تحلیلی DMST

سید عباس سادات سکاکی^۱، حامد باروتی‌ها^۲

استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، sadatsakak@gmail.com

کارشناس ارشد مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف، h.barootiha@gmail.com

چکیده

در این تحقیق شبیه‌سازی عددی یک توربین بادی با محور عمودی در حالت دوبعدی، ناپایا و در سرعت‌های دورانی مختلف انجام شده است. در ابتدا یک تحلیل یک‌بعدی ساده برای محاسبه رابطه تقریبی توان توربین‌های بادی ارائه شده است. در ادامه روش تحلیلی DMST (Double Multiple Stream Tube Model) برای محاسبه ضریب توان توربین بادی و مقایسه نتایج آن با نتایج عددی، آمده است. توربین بادی مورد مطالعه در این تحقیق دارای 3 ایرفویل بوده که هر سه از نوع NACA 0018 می‌باشند. مدل‌سازی و تولید شبکه جهت حل عددی در نرم‌افزار گمبیت و تمام تحلیل‌های عددی در نرم‌افزار فلوئنت انجام شده است. برای اعمال شرط دورانی هر پره از روش مش لغزشی در نرم‌افزار فلوئنت استفاده شده و همچنین با توجه به وجود جدایش وسیع جریان، برای مدل‌سازی آشفتگی از روش RNG k-ε بهره برده شده است. در ضمن برای تحلیل عملکرد توربین در شرایط پایا از روش دستگاه مختصات چرخان استفاده شده است. در آخر مقادیر توان و گشتاور به دست آمده در سرعت‌های دورانی مختلف با روش DMST مورد ارزیابی قرار گرفته و عملکرد توربین در سرعت‌های دورانی مختلف بررسی شده است.

واژگان کلیدی: توربین بادی عمودی، شبیه‌سازی عددی، شبکه لغزشی، روش DMST

1. مقدمه

در ده‌های اخیر، توجه بسیاری به انرژی باد صورت گرفته و همچنین پیشرفت‌های چشم‌گیری نیز زمینه تبدیل نیروی باد به انرژی الکتریکی و یا مکانیکی صورت گرفته است. انرژی باد به عنوان یک انرژی پایدار می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید انرژی کشورها و همچنین سیاست‌های بین‌المللی در مواجهه با تغییرات آب و هوایی بازی کند [1]. به طور کلی روش‌های متنوعی برای استفاده از انرژی باد وجود دارد که یکی از این روش‌ها، که براساس آشنایی با علم

آیرودینامیک است، توربین‌های بادی می‌باشند. توربین‌های بادی

اساساً بر دو نوع می‌باشند:

- توربین بادی با محور افقی^۱
- توربین بادی با محور عمودی^۲

توربین‌های دارای محور افقی هم‌اکنون در ابعاد وسیع در مناطق بادخیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و بسیار توسعه یافته‌اند. به طور کلی توربین‌های بادی با محور عمودی دارای مزایایی نسبت به توربین‌های بادی افقی می‌باشند. برای مثال:



- توربین‌های بادی با محور عمودی ذاتا نیاز به وجود یک مکانیزم که سیستم را همیشه به سمت باد نگه دارد را رفع می‌کند.
 - به علت پایین بودن نسبی سرعت دورانی، توربین‌های بادی با محور عمودی نوعا تولید صدای کمتری دارند.
 - هزینه تولید توربین بادی عمودی می‌تواند بسیار ارزان‌تر از نمونه افقی باشد که علت آن سادگی تولید پره‌های توربین افقی (ایرفویل ساده) نسبت به پره‌های عمودی است. [2-5].
- در این تحقیق یک توربین بادی با محور عمودی با روتور داریوس³ در سرعت‌های دورانی مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. در انتها نتایج عددی به دست آمده با نتایج تحلیل روش DSMT مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف بر روی میزان توان و گشتاور تولیدی بررسی شده است.

1. توان تولید شده توسط توربین بادی

اولین مدل برای تحلیل ساده یک توربین بادی توسط بتز و همکارانش در سال 1926 ارائه شده است که می‌توان برای تعیین توان یک توربین بادی ایدال مورد استفاده قرار داد [6]. این مدل ساده بر اساس تئوری مومنوم خطی بنا نهاده شده است. در این مدل از یک حجم کنترل استفاده می‌شود که در چهار مقطع مختلف در نظر گرفته شده و در شکل (1) نشان داده شده است. جریان فقط از مقطع 1 وارد و از مقطع 4 خارج می‌شود. توربین با یک دیسک فعال کننده⁴ که یک ناپیوستگی فشاری در جریان تولید می‌کند، بیان می‌شود. فرضیات این تحلیل به قرار زیر است:

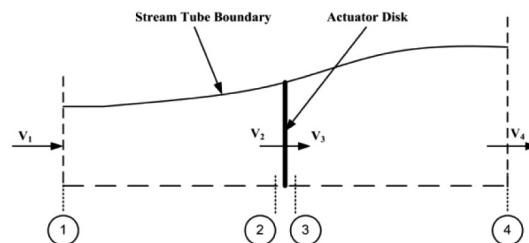
جریان سیال همگن، تراکم‌ناپذیر و پایا می‌باشد.

هیچ‌گونه نیروی پسای اصطکاکی وجود ندارد.

تعداد پره‌ها بی‌نهایت است

تراست یکنواخت بر روی سطح دیسک یا روتور وجود دارد.

فشار استاتیکی بالادست و پایین دست جریان با هم برابر است و هر دوی آن‌ها با فشار استاتیکی محیط برابرند.



شکل (1): مدل توربین ایده‌آل ارائه‌شده توسط Betz در سال 1926

با اعمال معادله بقای مومنوم خطی برای حجم کنترل نشان داده شده می‌توان مقدار نیروی خالص وارد شده به داخل حجم کنترل را محاسبه نمود. این نیرو مخالف نیروی تراست T است که مقدار نیروی وارده توسط باد به توربین بادی است. از معادله بقای مومنوم خطی برای جریان یک‌بعدی و ناپایا، میزان نیروی تراست برابر با تغییرات مومنوم جریان هوا می‌باشد:

$$T = V_1(\rho AV) - V_4(\rho AV) \quad (1)$$

که در آن ρ چگالی هوا، A سطح مقطع، V سرعت هوا و اندیس‌ها مشخص کننده شماره سطح مقطع‌ها در شکل فوق می‌باشند. در یک جریان پایا، میزان دبی ورودی با دبی خروجی برابر است، بنابراین داریم:

$$T = m(V_1 - V_4) \quad (2)$$

مقدار نیروی تراست مثبت است لذا مقدار V_4 از V_1 کمتر است. هیچ‌گونه کاری روی وجه‌های مختلف و همچنین روتور توربین انجام نمی‌شود پس بنابراین می‌توان معادله برنولی را برای دو طرف دیسک فعال کننده نوشت. در بالادست دیسک داریم:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad (3)$$

در پایین دست دیسک داریم:

$$P_3 + \frac{1}{2}\rho V_3^2 = P_4 + \frac{1}{2}\rho V_4^2 \quad (4)$$

همان‌طور که گفته شد، فرض می‌شود که مقدار فشار در نقطه 4 با 1 برابر است و همچنین سرعت جریان در هنگام عبور از دیسک تغییر نمی‌کند ($V_3 = V_2$). در نتیجه میزان خالص تراست تولیدی به فرم زیر قابل بیان است:

$$T = A_2(P_2 - P_3) \quad (5)$$

با استفاده از معادلات (3) و (4) و جایگذاری در معادله (5) خواهیم داشت:

$$T = \frac{1}{2}\rho A(V_1^2 - V_4^2) \quad (6)$$

با استفاده از معادلات (2) و (6) و با توجه به آنکه مقدار دبی برابر با $A_2 V_2$ است، خواهیم داشت:

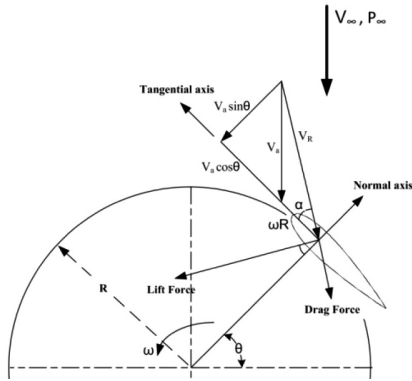
$$V_2 = \frac{V_1 + V_4}{2} \quad (7)$$

بنابراین، سرعت باد در صفحه روتور برابر با میانگین سرعت جریان بالادست و پایین دست است. اگر یک فاکتور به نام فاکتور



می‌نامند. با توجه به شکل (2)، زاویه حمله به فرم زیر بیان می‌شود:

$$\tan \alpha = \frac{V_a \sin \theta}{V_a \cos \theta + \omega R} \quad (16)$$



شکل (2): دیاگرام نیروها و سرعت‌های ایرفویل

بی‌بعدسازی معادله،

$$\tan \alpha = \frac{\frac{V_a}{V_\infty} \sin \theta}{\frac{V_a}{V_\infty} \cos \theta + \frac{\omega R}{V_\infty}} \quad (17)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{(1-a) \sin \theta}{(1-a) \cos \theta + \lambda} \right) \quad (18)$$

ضرایب عمودی و مماسی را می‌توان به فرم زیر بیان نمود:

$$C_n = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha \quad (19)$$

$$C_t = C_L \sin \alpha - C_D \cos \alpha \quad (20)$$

که در آن C_L ضریب برآ و C_D ضریب پسا در زاویه حمله α می‌باشد. مقدار نیروی تراست لحظه‌ای برای یک ایرفویل در زاویه θ برابر است با:

$$T_i = \frac{1}{2} \rho V_R^2 (hc) (C_t \cos \theta - C_n \sin \theta) \quad (21)$$

که در آن h ارتفاع ایرفویل و C طول وتر پره است. همچنین مقدار گشتاور لحظه‌ای برای یک ایرفویل در زاویه θ برابر است با:

$$Q_i = \frac{1}{2} \rho V_R^2 (hc) C_t R \quad (22)$$

3. مدل‌های تحلیلی

تاکنون روش‌های تحلیلی زیادی برای بررسی عملکرد توربین‌های بادی با محور عمودی، توسط محققان ارائه شده است که همگی آن‌ها براساس یکی از سه اصل زیر می‌باشند:

- مدل مومنتوم

القایی (a) را به عنوان نسبت کاهش سرعت بین جریان آزاد و صفحه روتور تعریف کنیم، خواهیم داشت:

$$V_2 = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad (8)$$

$$V_2 = V_1(1-a) \quad (9)$$

$$V_d = V_1(1-2a) \quad (10)$$

با استفاده از معادله (6)، (9) و (10) تراست محوری روی دیسک برابر است با:

$$T = \frac{1}{2} \rho A V_1^2 [4a(1-a)] \quad (11)$$

ضریب تراست بی‌بعد به فرم زیر تعریف می‌شود:

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A V^2} \quad (12)$$

از معادله (12) مقدار ضریب تراست برای یک توربین باد ایده‌آل برابر است با $4a(1-a)$.

2. تحلیل آیرودینامیکی توربین بادی با محور عمودی

تحلیل آیرودینامیکی یک توربین بادی، بسیار پیچیده، ذاتاً ناپایا و همچنین بسیار غیرخطی می‌باشد. در ادامه تحلیل آیرودینامیکی یک ایرفویل در موقعیت مشخص آمده است.

مطابق با شکل (2)، برای محاسبه مولفه سرعت نسبی جریان V_R از سرعت محوری و همچنین سرعت دورانی روتور استفاده می‌شود:

$$V_R = \sqrt{(V_a \sin \theta)^2 + (V_a \cos \theta + \omega R)^2} \quad (13)$$

که در آن V_a مولفه سرعت محوری در داخل روتور، ω سرعت زاویه‌ای روتور، R شعاع توربین و θ موقعیت زاویه‌ای ایرفویل می‌باشد. در ادامه سرعت نسبی را با استفاده از سرعت جریان آزاد نرمالایز می‌کنیم:

$$\frac{V_R}{V_\infty} = \sqrt{\left(\frac{V_a}{V_\infty} \sin \theta \right)^2 + \left(\frac{V_a}{V_\infty} \cos \theta + \frac{\omega R}{V_\infty} \right)^2} \quad (14)$$

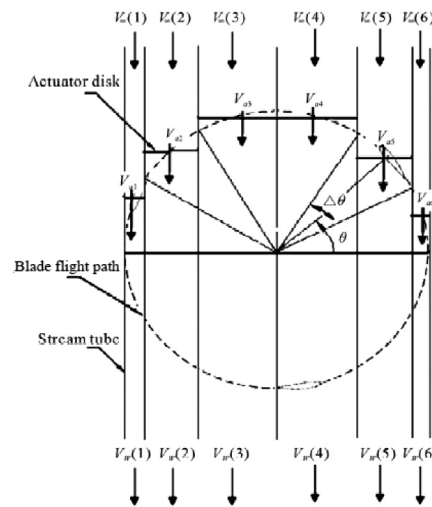
با استفاده از معادله (9) و جایگذاری V_2 با V_a و جایگذاری V_1 با V_∞ ، معادله (14) به فرم زیر قابل بیان است:

$$\frac{V_R}{V_\infty} = \sqrt{\left((1-a) \sin \theta \right)^2 + \left((1-a) \cos \theta + \lambda \right)^2} \quad (15)$$

که در آن a را فاکتور القایی و λ را نسبت سرعت لبه پره توربین

- مدل گردابه‌ای
- مدل آبشاری

در این تحقیق از مدل مومنتوم با توجه به دقیق بودن و همچنین سریع‌تر بودن آن استفاده شده است. اولین روش مومنتوم توسط تمپلین [7] ارائه شده است. در این تحقیق از مدل استریکلند [8] استفاده شده است که در این روش جریان به چندین کانال فرضی مستقل از هم تقسیم‌بندی می‌شود که در شکل (3) نشان داده شده است. هر ایرفویل دو بار از هر کانال فرضی عبور می‌کند که یکی در بالادست جریان است و دیگری در پایین دست جریان. مقدار نیروی تراست آبی برای هر پره در معادله 21 آمده است



شکل (3): بیان اصل مدل DMST با 6 کانال جریان به اندازه $\Delta\theta$

با میانگین‌گیری زمانی بر روی نیروی تراست و برای تعداد N ایرفویل، داریم:

$$T_a = N * \text{instantaneous thrust} * \frac{\Delta\theta}{\pi} * 2 \quad (23)$$

مقدار تراست را می‌توان به فرم زیر بی‌بعد نمود:

$$C_T = \frac{T_a}{0.5\rho V^2 (hR\Delta\theta \sin\theta)} = \quad (24)$$

$$\left(\frac{NC}{2R}\right) \left(\frac{V_R}{V_\infty}\right)^2 \frac{2}{\pi} \left(C_l \frac{\cos\theta}{\sin\theta} - C_n\right)$$

گشتاور میانگین برای N ایرفویل، در یک دور کامل برابر است با:

$$Q_a = N * \sum_{i=1}^{2m} \left[\frac{0.5\rho V_R^2 (hc) C_i * R}{2m} \right] \quad (24)$$

که در آن m تعداد کانال‌های فرضی است و 2m نیز برابر با همان $\Delta\theta$ است. مقدار ضریب گشتاور و ضریب توان توسط روابط زیر

محاسبه می‌شوند:

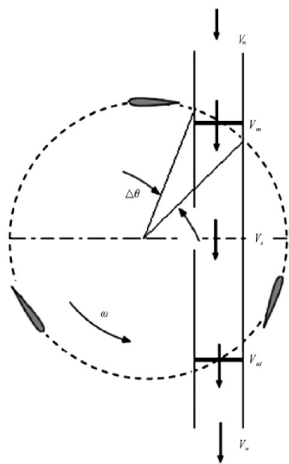
$$C_Q = \frac{Q_a}{0.5\rho V^2 (Dh) * R} = \left(\frac{NC}{D}\right) \sum_{i=1}^{2m} \left[\frac{\left(\frac{V_R}{V_\infty}\right)^2 C_i}{2m} \right] \quad (25)$$

$$C_p = C_Q \lambda \quad (26)$$

که در آن D قطر توربین است.

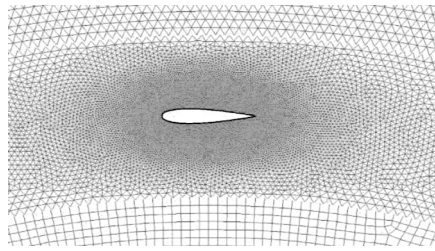
4. مدل کانال جریان دوگانه

مدل کانال فرضی دوگانه توسط پاراچو [9] توسعه پیدا کرده است. در این روش هر کانال به دو ناحیه بالایی و پایینی تقسیم می‌شود و این دو قسمت می‌توانند متفاوت نیز باشند که در شکل (4) نشان داده شده است.



شکل (4): نمایی از مدل کانال فرضی جریان دوگانه

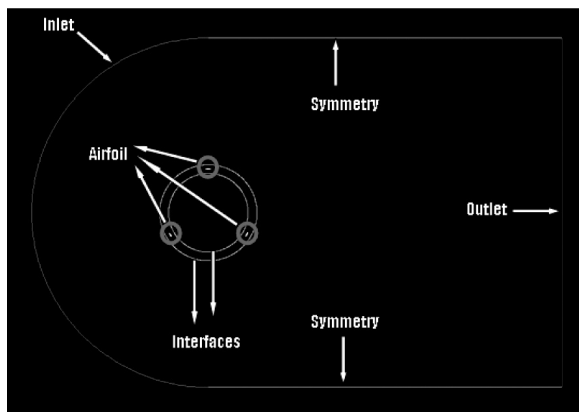
فرض می‌شود که گردابه‌هایی که در بالادست به وجود می‌آیند تا قبل از رسیدن با پایین دست کاملاً منبسط می‌شوند و به نهایت سرعت خود می‌رسند. در نتیجه، ایرفویل‌های پایینی با یک جریان با سرعت کاهشیده شده برخورد می‌کنند. این مدل دقیق‌تر از مدل‌های دیگر است و تغییرات سرعت جریان در اثر برخورد با توربین را در نظر می‌گیرد. در این روش هر توربین با یکسری دیسک فعال‌کننده پشت سر هم، جایگزین می‌شود. در این مدل دو معادله برای محاسبه نیروی وارد بر دیسک، حل می‌شود. یکی براساس بقای مومنتوم و دیگری بر اساس ضرایب آیرودینامیکی ایرفویل و سرعت باد. این معادلات یکبار برای ناحیه بالادست و یکبار هم برای ناحیه پایین دست حل می‌شوند. حال بر طبق تئوری دیسک فعال که در معادله 7 آمده است، سرعت القایی در بالادست برابر خواهد بود با



شکل (7): نمایی از شبکه تولید شده نزدیک ایرفویل

شرایط مرزی این مسئله مطابق شکل (5) تعریف شده است. شرط ورودی سرعت⁶ برای ورودی جریان یکنواخت با سرعت مشخص در نظر گرفته شده است. در انتها نیز شرط مرزی فشار خروجی⁷ به کار برده شده است. برای مرزهای افقی بالا و پایین شرط مرزی تقارن⁸ تعریف شده است. همانند تمام مسائل لزج در اینجا نیز شرط مرزی دیواره بدون لغزش برای ایرفویلها به کار رفته است. برای اعمال روش مش لغزشی، از شرط مرزی فصل مشترک⁹ مابین ناحیه دایروی داخلی و ناحیه استوانه‌ای چرخشی و همچنین یک فصل مشترک دیگر مابین ناحیه استوانه‌ای چرخشی و میدان خارج، بهره برده شده است (مطابق شکل 5).

جدول (1) شرایط جریان در تمامی حالات مختلف را نشان می‌دهد.

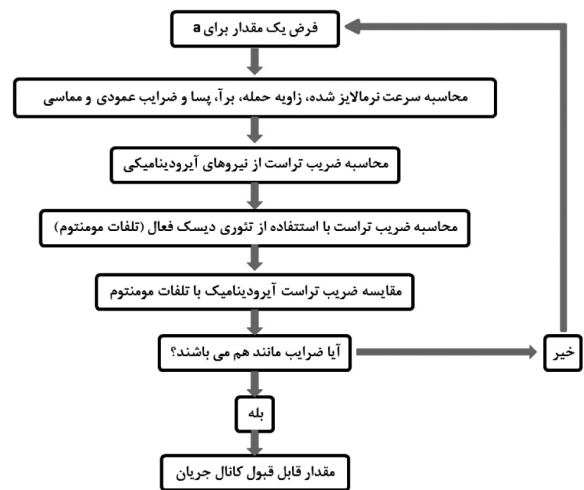


شکل (8): شرایط مرزی اعمال شده به مسئله

جدول (1): شرایط جریان

نسبت سرعت لبه حمله [λ]	سرعت باد [m/s]	سرعت زاویه‌ای توربین [rad/s]
0/25	4	0/5
0/5	4	1

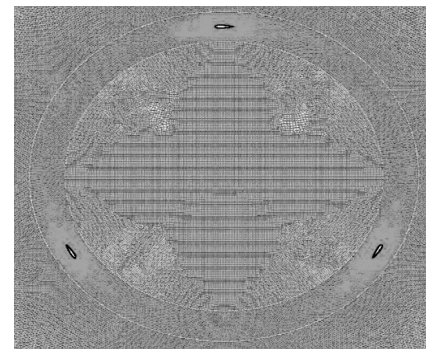
میانگین سرعت هوا V_∞ و سرعت تعادلی در پایین دست V_e . در این تحقیق تلاش شده است برای صحت‌سنجی، نتایج روش DMST با نتایج عددی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد. در شکل (5) الگوریتم روش DMST نشان داده شده است. ضریب القایی برای کانال جریان دو بار محاسبه می‌شود. از آنجا که معادله 12 برای مقادیر α کوچک‌تر از 0/5 غیر قابل کاربرد است، بنابراین طبق رابطه تجربی [10] مقدار این ضریب همواره بین 0/5 تا 1 فرض می‌شود.



شکل (5): الگوریتم تکراری مدل کانال جریان دوگانه

5. شبیه‌سازی عددی

در این تحقیق از ایرفویل NACA0018 با طول وتر 0/2 و همچنین شعاع برابر با 2 متر استفاده شده است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار گمبیت⁵ هندسه و شبکه مورد نظر مطابق شکل (3) تولید شده است. در شکل (4) نمایی نزدیک از شبکه تولید شده در نزدیک ایرفویل نمایش داده شده است.



شکل (6): شبکه تولید شده در ناحیه نزدیک به ایرفویلها



انجمن مهندسی توربین‌های گازی و پودرنا ایران

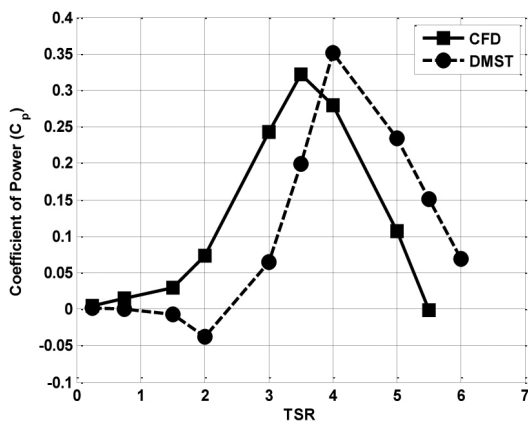
نسبت سرعت لبه حمله [λ]	سرعت باد [m/s]	سرعت زاویه‌ای توربین [rad/s]
0/75	4	1/5
1	4	2
2	4	4
3	4	6
4	4	8
5	4	10

برای تحلیل از نرم‌افزار تجاری آنسیس فلونت¹⁰ استفاده شده که در آن از معادلات RANS¹¹ با استفاده از مدل آشفتگی RNG k-ε همچنین روش مش لغزشی برای تحلیل جریان بهره برده شده است. البته برای تحلیل آزمایش‌ها در حالت پایا از روش دستگاه مختصات متحرک¹² استفاده شده است. همچنین برای آنکه بتوان مقادیر گشتاور تولیدی در هر گام زمانی را به دست آورد، از یک UDF¹³ در نرم‌افزار فلونت بهره برده شده است که مقادیر گشتاور تولید شده توسط هر ایرفویل را در هر گام زمانی در یک فایل متنی، چاپ می‌کند.

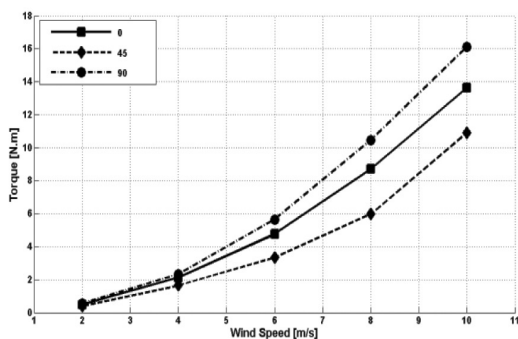
6. نتایج

در شکل (9) نتایج مقادیر ضریب توان به دست آمده از شبیه‌سازی عددی و روش تحلیلی DMST با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقدار ضریب توان محاسبه شده در شبیه‌سازی عددی، از تقسیم توان توربین به توان جریان باد به دست آمده است. نتایج حاصل از روش DMST در شکل (9) نشان می‌دهد که این توربین برای λ های کوچک‌تر از 2/6 توان منفی تولید می‌کند در حالتی که نتایج عددی نشان می‌دهد که این توربین همواره تولید توان مثبت دارد ولی در λ های کوچک، مقدار توان بسیار ناچیز است. می‌توان نتیجه گرفته که روش DMST با توجه به فرضیات ساده‌کننده بسیاری که در خود دارد ولی تا حدودی جواب‌های قابل قبولی در سرعت‌های بالا، ارائه می‌کند. در شکل (10) مقادیر گشتاور تولیدی در $\lambda=0$ و برای سرعت‌های باد مختلف و در سه موقعیت زاویه‌ای مختلف ایرفویل‌ها نمایش داده شده است. موقعیت ایرفویل‌ها در سه زاویه صفر، 45 و 90 درجه مورد بررسی قرار گرفته است. به کمک این نمودار می‌توان عملکرد توربین بادی را در حالت‌های پایا درک کرد. در شکل (8) مقادیر گشتاور تولید شده در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف نشان داده شده است. نتایج عددی نشان می‌دهد که مقدار گشتاور میانگین تولید شده در تمام نسبت سرعت لبه، مقدار مثبتی می‌باشد. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که مقدار گشتاور تولید شده توسط این سیستم با افزایش سرعت

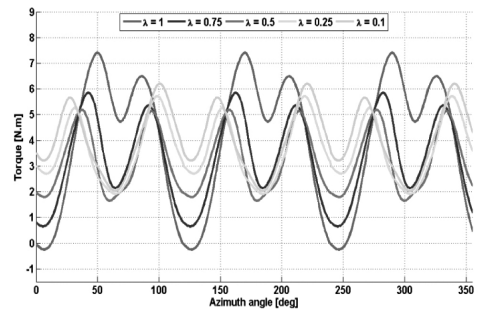
دوران افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نسبت سرعت لبه پایین و در بعضی موقعیت‌های زاویه‌ای شاهد تولید گشتاور منفی هستیم که به معنای عدم کارایی از این توربین بادی در محدوده سرعت‌های دورانی پایین می‌باشد. در سرعت‌های دورانی بالاتر این توربین عملکرد بهتری در تولید گشتاور از خود نشان می‌دهد. شکل (8) مقادیر گشتاور تولیدی توسط توربین بادی در نسبت سرعت لبه پایین نشان داده شده است. برای محاسبه این مقادیر از روش دستگاه مختصات چرخان استفاده شده است تا نتایج حاصل شده معادل با نتایج میانگین‌گیری در حالت وابسته به زمان باشد. شکل (9) مقادیر توان تولیدی را برای تمام نسبت‌های سرعت لبه نشان می‌دهد. این ضریب از ضرب گشتاور تولیدی در سرعت دورانی توربین به دست آمده است. این نمودار نشان می‌دهد که میزان توان تولیدی توسط این توربین در تمام نسبت سرعت لبه همواره مثبت بوده و همچنین در محدوده $\lambda=3$ دارای بیشترین توان تولیدی می‌باشد.



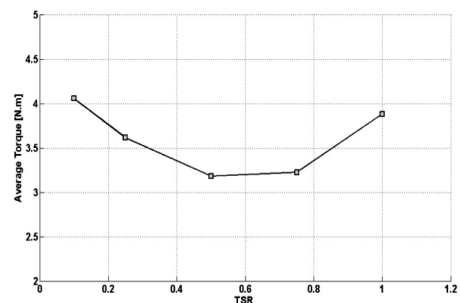
شکل (9): مقایسه مقادیر ضریب توان در λ های مختلف



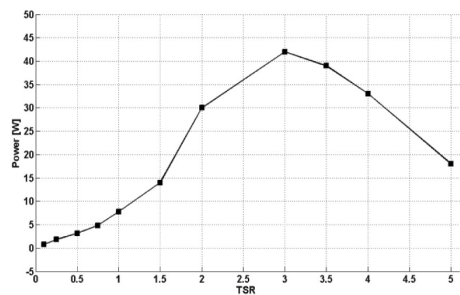
شکل (10): گشتاور تولیدی به ازای سرعت باد در سه موقعیت مختلف



شکل (11): مقدار گشتاور در زوایای مختلف و در پنج λ متفاوت



شکل (12): مقدار میانگین گشتاور در λ های مختلف



شکل (9): مقدار توان تولیدی در λ های مختلف

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این تحقیق یک توربین بادی با سه ایرفویل NACA 0018 در سرعت‌های دورانی مختلف و در حالت دوبعدی مورد تحلیل قرار گرفته است. برای این تحلیل از نرم‌افزار فلوئنت و از روش مش لغزشی برای حل حالت‌های وابسته به زمان و همچنین از روش‌های دستگاه مختصات چرخان برای بررسی عملکرد پایای توربین بهره برده شده است. در ابتدا برای بررسی عملکرد توربین در حالت پایا، از تحلیل توربین در حالت عدم چرخش استفاده شده است. در ادامه قابلیت و قدرت تولید توان توسط توربین، در سرعت‌های دورانی مختلف

مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین روش تحلیلی DMST نیز به عنوان یک روش ساده ولی معتبر، کاملاً ارائه شده است و برای صحت‌سنجی نتایج عددی، مقادیر ضریب توان به دست آمده با روش DMST مورد مقایسه قرار گرفته است.

این توربین در تمام نسبت سرعت لبه (حتی مقادیر کمتر از 1) همواره تولید گشتاور میانگین مثبت می‌نماید اما بازده چندان مناسبی در سرعت‌های پایین از خود نشان نمی‌دهد ولی در نسبت سرعت لبه بالاتر از 1 به خوبی توانایی تولید توان کافی را دارا می‌باشد. طبق تحلیل‌های مختلف انجام شده در سرعت‌های مختلف چرخشی، این توربین در محدوده نسبت سرعت لبه برابر با 3 بیشترین بازده را از خود به نمایش می‌گذارد و در نسبت سرعت لبه بالاتر و پایین‌تر از 3 همواره تولید توان کمتری دارد.

مراجع

- [1] UK energy in brief, DTI Publication. URN06/220. [Accessed online 02.03.07], <http://www.dti.gov.uk>; July 2006.
- [2] The history of the DoE program. U.S. Department of Energy, Sandia National Laboratories, American Wind Energy Association.
- [3] Dodd HM. Performance predictions for an intermediate-sized VAWT based on performance of the 34-m VAWT test bed. Ninth ASME wind energy symposium. January 1990.
- [4] Dodd HH, Ashwell TD, Berg DE, Ralph ME, Stephenson WA, Veers PS. Test results and status of the DOE/Sandia 34-M VAWT test bed. Canadian wind energy association conference. eptember 1989.
- [5] Berg DE, Klimas PC, Stephenson WA. Aerodynamic design and initial performance measurements for the Sandia 34-m vertical axis wind turbine. Ninth ASME wind energy symposium. January 1990. SED-VOL 9, ASME.
- [6] J. F. Manwell, J. G. McGowan and A. L. Rogers, "Wind Energy Explained: Theory Design and Application," John Wiley & Sons, Hoboken, 2002.
- [7] R. Templin, "Aerodynamic Performance Theory for the NRC Vertical-Axis Wind Turbine," National Aeronautical Establishment Laboratory Technical Report LTR- LA-160, Canada, 1974.
- [8] J. Strickland, "The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Stream Tubes," Technical Report SAND75-041, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1975.
- [9] I. Paraschivoiu, "Aerodynamic Loads and Performance of the Darrieus Rotor," Journal of Energy, Vol. 6, No. 6, 1981.
- [10] B. Hurley, "A Novel Vertical Axis Sail Rotor," Proceedings of 1st Wind Energy Workshop, London, 19-20 April 1979, pp. 40-47.

پی‌نوشت:

1. Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)
2. Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)
3. Darrieus rotor
4. Actuator Disk
5. Gambit
6. Velocity Inlet
7. Pressure Outlet
8. Symmetry
9. Interface
10. ANSYS Fluent
11. Reynolds Averaged Navier Stokes
12. Moving Reference Frame
13. User Define Function (UDF)



سیستم میکرو تولید هم‌زمان توان و گرما (mCHP) با پیل سوختی

ابراهیم افشاری

استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، e.afshari@eng.uoi.ac.ir

چکیده

تولید انرژی الکتریکی همراه با به‌کارگیری گرمای تولیدی یک روش سریع‌تر در حال توسعه است که موجب افزایش راندمان و کاهش کلی تلفات می‌شود. این موضوع عموماً به عنوان توان و گرمای ترکیبی (CHP) مطرح است. سیستم‌های CHP دارای اندازه‌های متنوعی هستند، از اندازه بزرگ که جهت تولید الکتریسته و گرم کردن یک شهر استفاده می‌شود تا واحدهای کوچک که می‌تواند یک خانه را سرویس دهد. مرز جدید CHP در ساختمان‌های کوچک مسکونی می‌باشد. تعداد زیادی از تولیدکنندگان، در حال توسعه میکرو CHP (mCHP) می‌باشند. این نیروگاه‌های کوچک دارای توان الکتریکی 1 تا 15 کیلو وات و گرمای بازایی شده 1 تا 20 کیلو وات می‌باشند. این ژنراتورها از تکنولوژی‌های مختلفی به عنوان روش تبدیل‌کننده انرژی بهره می‌برند. پیل سوختی از تکنولوژی‌های جدید بوده که در سیستم‌های mCHP می‌توانند استفاده شوند. پیل سوختی مستقیماً انرژی الکتریکی را از انرژی شیمیایی تولید می‌کند و راندمان آن بسیار بالاتر از راندمان موتورهای احتراق داخلی است. همه اجزای پیل‌های سوختی ثابت و پیل هیچ قسمت متحرکی ندارد. عدم قسمت‌های متحرک باعث شده که پیل سوختی بدون سر و صدا کار کند. دوام و قابلیت اعتماد آن‌ها نیز بالا است و آلاینده‌هایی مانند اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ... در پیل سوختی نزدیک صفر هستند. پیل‌های سوختی بالقوه دارای دانسیته انرژی بالاتری نسبت به باتری‌ها می‌باشند و می‌توانند به سرعت تغذیه و به سهولت مورد بهره‌برداری قرار گیرند. از اینرو بررسی استفاده از پیل سوختی در این سیستم‌ها می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. هدف این مقاله معرفی انواع سیستم‌های mCHP و بررسی با جزئیات عملکرد سیستم mCHP بر پایه پیل سوختی می‌باشد.

واژگان کلیدی: تولید هم‌زمان توان و گرما، پیل سوختی، عملکرد

دیگر CHP این است که امنیت انرژی بالا می‌رود و آسیب‌پذیری خطوط کاهش می‌یابد. نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با راندمان بالا حدود 50 درصد انرژی در دسترس را به توان الکتریکی تبدیل می‌کنند. واحدهای mCHP از گرمای اتلافی ژنراتور جهت مصرف گرمایش و سرمایش استفاده می‌کنند و راندمان کلی سیستم افزایش می‌یابد و تا حد 80 درصد می‌رسد که این موضوع به عنوان یک مزیت محسوب می‌شود [1].

1. مقدمه

زمانی که مکان تولید الکتریسته از پلانت‌های مرکزی به مکانی در نزدیکی کاربر هدایت می‌شود، توان به‌کارگیری گرمای تولیدی امکان‌پذیر می‌شود. حدوداً 9 درصد الکتریسته در خطوط انتقال هدر می‌رود. بنابراین میزان قابل توجهی صرفه‌جویی در انرژی زمانی که برق در محل تولید می‌شود قابل دست‌یابی است و همچنین بخش قابل توجهی از گرمای تولیدی می‌تواند استفاده شود. مزیت





خنک‌کننده موتور، انتقال حرارت تشعشع سطحی و گازهای داغ اگزاست آزاد می‌شود. سیستم‌های mCHP از نوع موتور احتراق داخلی گرمای را از آب ژاکت خنک‌کننده، گرمای روغن موتور و خروجی‌های اگزاست بازیابی می‌کنند. گرمای خنک‌کن ژاکت موتور قادر به تولید آب گرم با دمای تقریبی 93 درجه سلسیوس می‌باشد که حدوداً معادل 30 درصد ارزش حرارتی سوخت مصرف شده است. موتورهای در حال کار با فشار بیشتر قادر به کارکرد در دمای آب ژاکت تا 129 درجه سلسیوس می‌باشند. دمای گازهای اگزاست عموماً بین 455 تا 649 درجه سلسیوس می‌باشد. به دلیل اینکه دمای گازهای اگزاست باید بالاتر از حد کندانس شدن باشد، فقط بخشی از گرما می‌تواند بازیابی گردد. عموماً بخار فشار پایین و آب گرم با دمای 110 درجه سلسیوس از گرمای اگزاست موتور استخراج می‌شود [2].

مزیت‌های استفاده از موتورهای احتراق داخلی به عنوان mCHP شامل: محدوده وسیع اندازه‌های در دسترس؛ راه‌اندازی سریع و قدرت خروجی قابل تنظیم؛ در دسترس بودن در حد 95 درصد؛ راندمان بالا در بارهای جزئی؛ طول عمر بالا و سرویس قابل اطمینان با در نظر داشتن تعمیرات و نگهداری صحیح، می‌باشد. ضمناً ایرادات این موتورها شامل: عملکرد معمولاً پیر سر و صدا و آلودگی نسبتاً بالا به اتمسفر است.

جدول (1) مشخصات کلی سیستم‌های mCHP با به کارگیری موتورهای احتراق داخلی را نشان می‌دهد. جدول (2) نیز مشخصات چند تولیدکننده دستگاه‌های mCHP که با موتور احتراق داخلی کار می‌کند را خلاصه می‌نماید.

به دلیل اندازه کوچک واحدهای CHP، توجه به این نکته مهم است که این واحدها با بازده پایین‌تر از لحاظ الکتریکی در مقایسه با نیروگاه‌های بزرگ مرکزی کار می‌کنند. در هر حال اگر گرمای تولیدی به نحو مؤثری استفاده شود، بازده کلی می‌تواند بسیار بالاتر از نیروگاه مرکزی که فقط برای تولید الکتریسیته طراحی می‌شود باشد. عیب دیگر تکیه بر دسترس بودن سوخت پالایش شده است. نیروگاه‌های مرکزی بزرگ قادر هستند تا سوخت‌های پالایش‌نشده خام نظیر ذغال سنگ را به توان قابل استفاده تبدیل کنند. ژنراتورهای کوچک نیاز به سوخت‌های خالص نظیر گاز طبیعی دارند تا به طور تمیز کار کنند. به کارگیری وسیع این ژنراتورهای کوچک تقاضا برای این سوخت‌های پالایش نشده را افزایش می‌دهد و می‌تواند مشکلات توزیع کمبود سوخت و تورم قیمت سوخت را فراهم نماید. نهایتاً این که نصب یک واحد mCHP در یک ساختمان مسکونی کوچک نیازمند اجتماع پیچیده سیستم‌های گرمایشی و الکتریکی است. لذا بخش قابل توجهی از تجهیزات اضافی و هزینه مورد نیاز است تا تجهیزات معمول گرمایش و تهویه مطبوع با یک سیستم mCHP جایگزین گردد.

2. انواع سیستم‌های mCHP

1-2 موتورهای احتراق داخلی

موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی شایع‌ترین تکنولوژی تولید قدرت هستند. این موتورها یک نامزد ایده‌آل برای کاربردهایی هستند که نیاز اساسی برای آب گرم یا بخار کم فشار وجود دارد. خروجی گرمایی می‌تواند در یک چیلر جذبی جهت سرمایه‌گذاری نیز استفاده شود. در یک موتور احتراق داخلی گرما از طریق سیال

جدول (1): مشخصات کلی موتور احتراق داخلی به عنوان [3 و 4] mCHP

سیکل	راندمان	
	سوخت مورد استفاده	رنج تولید توان برقی
ترمودینامیکی <td>سبک وسنگین<td>رنج تولید توان برقی</td></td>	سبک وسنگین <td>رنج تولید توان برقی</td>	رنج تولید توان برقی
موتور دیزل	گاز طبیعی، بئو گاز، روغن‌های سبک وسنگین	5 کیلووات تا 20 مگاوات
موتور احتراق جرقه‌ای	گاز طبیعی، بئو گاز، نفتا	3 کیلووات تا 6 مگاوات
متوسط هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر کیلو وات توان برق تولیدی		340-2500 یورو*
هزینه عملکرد و نگهداری به ازای هر کیلو وات توان برق تولیدی		0/007-0/015 یورو*
انتشار آلودگی بر حسب پوند بر کیلووات ساعت	با فرض مصرف گاز طبیعی	ناکس: 0/0015-0/037
	با فرض مصرف سوخت دیزل	ناکس: 0/022-0/025

* هزینه‌ها نتیجه بررسی در سال 2006 میلادی می‌باشند.

جدول (2): مشخصات سازندگان مختلف موتور احتراق داخلی به عنوان mCHP

سازنده	توان الکتریکی بر حسب کیلووات	رنج توان حرارتی بر حسب کیلووات	راندمان		سطح صدا بر حسب دسیبل الکتریکی	ابعاد (اینچ)		
			کل			ارتفاع	عمق	پهنا
YANMAR	5	10	84	28	53	59/1	19/7	43/3
						ارتفاع	عمق	پهنا
						17/8 کیلووات		
ECOPOWER	2-4/7	3/81-11/43	93	25	55	43	54	30
						ارتفاع	عمق	پهنا
						0/65-0/21 ساعت		
TEDOM	7	18	92/7	26	-	44	51/2	27/5
						ارتفاع	عمق	پهنا
						2/85 مترمکعب بر ساعت		
VAILLANT	1	2/5	92	26/3	-	-	-	-

مزیت‌های استفاده از میکروتوربین استفاده از قطعات متحرک کمتر نسبت به موتورهای احتراق داخلی و لذا دوره تعمیرات نگهداری آن طولانی‌تر است. مزیت دیگر، اندازه کوچک آن‌ها به ازای توان تولیدی آن است. ضمناً دارای وزن کم و تولید آلاینده‌گی نسبتاً پایین هستند. مزیت دیگر آن امکان استفاده از سوخت‌های متنوع شامل سوخت‌های زائد و بیوسوخت‌ها است. مشکل عمده میکروتوربین‌ها، راندمان الکتریکی پایین است. جدول (3) مشخصات سیستم‌های mCHP با به‌کارگیری میکروتوربین‌ها را بیان می‌کند. جدول (4) مشخصات چند تولیدکننده دستگاه‌های mCHP که با میکروتوربین کار می‌کند را خلاصه می‌کند.

2-2 میکروتوربین‌ها

میکروتوربین‌ها، توربین‌های گاز کوچک هستند که جهت تولید الکتریسیته استفاده می‌شوند. بیشتر میکروتوربین‌ها، دستگاه‌های تک‌مرحله‌ای و جریان شعاعی هستند که با سرعت 90 تا 120 هزار دور بر دقیقه چرخش می‌کنند. بیشتر میکروتوربین‌ها فضایی بیش از یک کیوسک تلفن را اشغال نمی‌کنند و محدوده توان خروجی آن‌ها بین 25 تا 300 کیلووات است. بیشتر سازندگان از طراحی یک شفت بهره می‌گیرند به طوری که کمپرسور، توربین و یک ژنراتور مغناطیسی بر روی همان شفت قرار می‌گیرند. میکروتوربین‌ها می‌توانند توسط گاز طبیعی، دیزل، گازوییل یا الکل تغذیه شوند.

جدول (3): مشخصات کلی میکروتوربین به عنوان [3 و 4] mCHP

نسبت توان به گرما	سوخت مورد استفاده	راندمان‌ها		تولید توان الکتریکی بر حسب کیلووات
		کل	الکتریکی	
0/2-0/8	گاز طبیعی، دیزل، پروپان، کروزن، بیوگاز، گاز فلر	65-90	15-30	15-300
متوسط هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر کیلووات توان برق تولیدی		900-2500 یورو*		
هزینه عملکرد و نگهداری به ازای هر کیلووات توان برق تولیدی		0/006-0/021 یورو*		
انتشار آلودگی بر حسب ppm		ناکس: 3-50، مونواکسید کربن: 3-50		

* هزینه‌ها نتیجه بررسی در سال 2006 میلادی می‌باشند



جدول (4): مشخصات سازندگان میکرو توربین به عنوان mCHP

سازنده	توان الکتریکی (کیلو وات)	توان حرارتی (کیلو وات)	راندمان		سطح صدا بر حسب دسیبل الکتریکی	ابعاد (اینچ)		مصرف سوخت 14700 بیتیو بر کیلووات ساعت
			کل			ارتفاع	عمق	
CAPSTONE	15	-	-	23	65	70	60	-
						ارتفاع	عمق	
						پهنا	30	
GREENVIROMENT	50	110	-	26	60	83	30	192 کیلووات
						ارتفاع	عمق	
						پهنا	77	
ELLIOT	100	172	75	29	62	88/7	128/1	362
						ارتفاع	عمق	
						پهنا	33/5	
TURBEC	100	155	77	30	70	71/25	109	-
						ارتفاع	عمق	
						پهنا	35/4	

2-3 موتورهای سیکل رانکین

اصولا موتورهای سیکل رانکین به دلیل راندمان تبدیل الکتریکی نسبتا پایین به عنوان یک تکنولوژی کاربردی پذیرفته نیستند. در هر حال اگر راندمان الکتریکی از اهمیت کمتری برخوردار باشد، موتورهای سیکل رانکین به دلیل سادگی نسبی و مشخصات عملکردی و دوام خوب پذیرفته هستند. سیکل رانکین از یک سیال استفاده می کند که در اثر گرم شدن تبخیر می شود و جهت تولید کار انبساط می یابد. بخار خروجی کندانس می شود و مایع به بویلر جهت تکرار سیکل پمپ می شود. سیال عامل عموما آب است؛ ولی سایر سیالات نیز می تواند استفاده شود. موتور رانکین خودش می تواند یک موتور پیستونی یا توربین باشد.

در مقایسه با سایر تکنولوژی ها، موتورهای سیکل رانکین دارای یکی از پایین ترین راندمان های تبدیل الکتریکی است. راندمان حرارتی سایر تکنولوژی های در رقابت نیز بالاتر از موتورهای سیکل رانکین است. مزیت سیکل رانکین برای نیروگاه ها این است که سیال کاری مایع است، بیشتر اوقات این مایع آب است که یک منبع ارزان و آماده است. چون سیکل رانکین یک لوپ بسته است و شامل کندانسور می باشد بازایی حرارت می تواند به سادگی در کندانسور حاصل گردد. اطلاعات خیلی کمی در خصوص هزینه های استفاده از سیکل رانکین در سیستم های mCHP موجود است. جدول (5) اطلاعات 2 سازنده را خلاصه می کند.

جدول (5): مشخصات سازندگان موتور سیکل رانکین به عنوان [2] mCHP.

سازنده	توان الکتریکی بر حسب کیلووات	رنج توان حرارتی بر حسب کیلووات	راندمان		سطح صدا بر حسب دسیبل الکتریکی	ابعاد بر حسب اینچ		مصرف سوخت
			کل			ارتفاع	عمق	
POWERBLOCK	2	18	94	-	54	49/6	32/6	-
						ارتفاع	عمق	
						پهنا	24/4	
COGEN	2/5	11	90	17	-	34/2	15/7	-
						ارتفاع	عمق	
						پهنا	23/6	



2-4 موتورهای استرلینگ

سوخت و هوا به دلیل منبع حرارت خارجی دقیق‌تر کنترل می‌شود؛ انتشار سوخت مشتعل نشده به دلیل فرآیند احتراق پیوسته حذف می‌شود؛ روغنکاری کمتری مورد نیاز است که منجر به بازه‌های طولانی‌تر بین اورهال‌ها می‌شود؛ نیاز به طراحی ساده‌تر دارد، سوپاپ نیاز نیست و سیستم‌های سوخت و دریافت خیلی ساده هستند؛ عملکرد کم‌صدا و کم‌ارتعاش؛ سرویس نگهداری کم و اطمینان بالا؛ قابلیت چند سوخته بودن و طول عمر بالا، می‌باشد.

هرچند که برخی معایب آن نیز شامل: هزینه‌های بالا؛ راندمان پایین؛ نیاز به مبدل‌های حرارتی ورودی و خروجی با قابلیت تحمل فشار سیال کاری و اثرات خوردگی؛ اندازه بزرگ موتور نسبت به توان تولیدی و قدرت خروجی ثابت است و قابلیت تغییر سریع توان به سطح دیگر مشکل است. جدول (6) مشخصات کلی سیستم‌های mCHP با به‌کارگیری میکروتوربین‌ها را بیان می‌کند. جدول (7) مشخصات عملکردی چند تولیدکننده دستگاه‌های mCHP که با موتور استرلینگ کار می‌کند را خلاصه می‌نماید.

سیکل استرلینگ از یک منبع حرارت خارجی استفاده می‌کند که می‌تواند هر یک از محصولات پایه نفتی یا حتی انرژی خورشیدی باشد. هیچ احتراقی در سیلندرهای موتور اتفاق نمی‌افتد. عملکرد یک موتور استرلینگ بر اساس رفتار مقدار ثابتی هوا یا گازی نظیر هلیوم یا هیدروژن است که در سیلندرهای موتور محبوس است. بخش عمده‌ای از هدر رفت گرمای موتور استرلینگ به سیال خنک‌کن به جای گازهای اگزاست منتقل می‌شود که این موضوع موتور استرلینگ را برای تولید گرما و توان هم‌زمان مناسب می‌سازد. دماهای معمول عملکرد از 650 تا 800 درجه سلسیوس می‌باشد. این دماهای عملکرد بالا می‌تواند به مقدار هدر رفت بالای حرارت تبدیل شود. گرمای هدر رفت می‌تواند از طریق لوله‌کشی سیال خنک‌کن توسط یک مبدل حرارتی و توسط کانال کشی گازهای اگزاست از طریق یک مبدل حرارتی جهت تولید آب گرم استفاده شود. بعضی از مزایای موتورهای استرلینگ شامل: احتراق مخلوط

جدول (6): مشخصات کلی موتورهای استرلینگ به عنوان [3] mCHP

سوخت مورد استفاده	راندمان‌ها		تولید توان الکتریکی بر حسب کیلووات
	کل	الکتریکی	
موتور استرلینگ	65-95	25	3-1500
متوسط هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر کیلووات توان برق تولیدی	2500-4500 یورو*		
هزینه عملکرد و تعمیرات نگهداری به ازای هر کیلووات توان برق تولیدی	در دسترس نیست		
انتشار آلودگی	حدود 10 برابر کمتر از سیکل اتو تولید می‌کند		

* هزینه‌ها نتیجه بررسی در سال 2006 میلادی می‌باشند

جدول (7): مشخصات سازندگان موتور استرلینگ به عنوان mCHP

سازنده	توان الکتریکی بر حسب کیلووات	رنج توان حرارتی بر حسب کیلووات	راندمان		سطح صدا بر حسب دسیبل الکتریکی	مصرف سوخت		
			کل	الکتریکی		ابعاد بر حسب اینچ	ارتفاع	عمق
CLEANGEN POWER-STIRLING	2-9	8-25	95	24	67	39/37	ارتفاع	-
						27/5	عمق	-
						57/1	پهنا	-
INSPIRIT MICRO CHP APPLIANCE	0/5-3	12-15	92	16	-	-	-	-
VISSMANN	1	6	96	15	-	35/4	ارتفاع	7/3 کیلووات
						18/9	عمق	-
						18/9	پهنا	-

2-5 پیل‌های سوختی

پیل سوختی یک مبدل انرژی الکتروشیمیایی می‌باشد که از سه جز اصلی آند، کاتد و الکترولیت تشکیل شده است. پیل‌های سوختی شبیه به باتری هستند به طوری که از طریق واکنش الکتروشیمیایی و بدون احتراق مستقیم سوخت برق DC تولید می‌کنند. عموماً یک پیل سوختی هیدروژن و اکسیژن را به صورت الکتروشیمیایی واکنش می‌دهد و محصول واکنش آب و الکتروسیته و گرما می‌باشد. این فرآیند شامل عبور سوخت دارای پایه هیدروژن بر روی آند می‌باشد به طوری که یک واکنش کاتالیستی اتفاق می‌افتد و سوخت را به دو جزء یون‌ها و الکترون‌ها تبدیل می‌کند. در سمت آند گاز هیدروژن یونیزه شده و طی واکنش گرمازا الکترون و یون تولید می‌کند. یون‌ها از آند و از طریق الکترولیت به سمت کاتد غنی از اکسیژن می‌روند. در سمت کاتد اکسیژن با الکترون‌های گرفته شده از الکتروکاتد و یون‌های منتقل شده توسط الکترولیت واکنش داده و آب تولید می‌کند. برای اینکه واکنش‌ها به صورت هم‌زمان اتفاق بیفتد، الکترون‌های تولید شده در سمت آند باید از یک مدار الکتریکی به سمت کاتد حرکت کنند. عملکرد یک پیل سوختی می‌تواند توسط تابع گیبس تحلیل

شود. انرژی آزاد گیبس یک واکنش، مشخص‌کننده ماکزیمم کاری است که از ترکیب دو ماده در یک واکنش شیمیایی می‌توان به دست آورد. ماکزیمم کار تئوری اختلاف انرژی آزاد گیبس واکنش‌دهنده‌ها و محصولات واکنش شیمیایی است.

$$W_{\max} = G_{\text{react}} - G_{\text{prod}} \quad (1)$$

راندمان وسایل تبدیل انرژی به صورت نسبت انرژی مفید خروجی به انرژی ورودی تعریف می‌شود. در مورد پیل سوختی، انرژی مفید خروجی، انرژی الکتریکی و گرمایی است و انرژی ورودی انتالپی هیدروژن است. با فرض که کل انرژی آزاد گیبس به انرژی الکتریکی تبدیل شود، ماکزیمم راندمان تئوری پیل برابر است با:

$$\eta_{\text{F.C}} = \frac{\Delta G}{\Delta H} \quad (2)$$

راندمان کل یک پیل سوختی در حالت ایده آل عموماً بین 82-94 درصد است که البته به دلیل تلفات اهمی ناشی از قطبش غلظت و قطبش اکتیواسیون راندمان آن کمتر می‌شود. جدول (8) مشخصات کلی سیستم‌های mCHP با به کارگیری پیل سوختی را بیان می‌کند.

جدول (8): مشخصات کلی پیل‌های سوختی به عنوان [4 و 2] mCHP

راندمان‌ها	رنج تولید توان الکتریکی بر حسب کیلووات	
	سوخت مورد استفاده	سوخت مورد استفاده
کل	گاز طبیعی، هیدروژن	پیل سوختی
الکتریکی	80-85	40-57
متوسط هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر کیلووات توان برق تولیدی	1000-3000 دلار*	
هزینه عملکرد و تعمیرات نگهداری به ازای هر کیلووات توان برق تولیدی	0/005-0/01 دلار*	
انتشار آلودگی بر حسب ppm	ناکس: 0/0005 مونواکسید کربن: 0/00002	

* هزینه‌ها نتیجه بررسی در سال 2003 میلادی می‌باشند

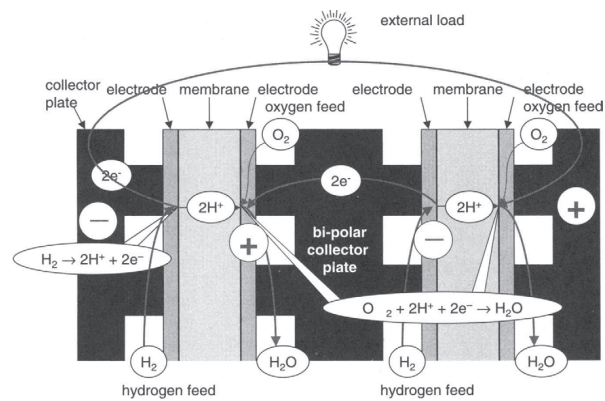
1-5-2 پیل سوختی غشا پلیمری

پیل سوختی غشا پلیمری از یک پلیمر هادی یون به عنوان الکترولیت استفاده می‌کند. الکترولیت به خوبی در دماهای پایین کار می‌کند، عموماً در دمای حدود 80 تا 100 درجه سلسیوس که امکان راه‌اندازی سریع را فراهم می‌نماید. هیدروژن به عنوان سوخت در آند استفاده می‌شود، و هوا یا اکسیژن به کاتد تغذیه می‌شود. مطابق شکل (1) یون‌های هیدروژن و الکترون‌ها، از سوخت در آند تولید می‌شوند. یون‌های هیدروژن از الکترولیت به سمت کاتد حرکت

می‌کنند. الکترون‌ها از طریق یک مدار خارجی حرکت می‌کنند تا با پیوستن به یون‌های هیدروژن و اتم‌های اکسیژن در کاتد، آب و گازهای محصول را تولید کنند. الکترولیت جامد آب را جذب نمی‌کند. چون ولتاژ عملکردی هر پیل حدود 0/7 ولت است به منظور گرفتن توان مورد نیاز از پیل سوختی، تعدادی تک‌پیل را با هم سری کرده تا توده پیل ساخته شود. عملکرد پیل سوختی غشا پلیمری نیازمند حفظ مقدار مشخصی آب در پیل سوختی است. ضمناً مقدار بیش از حد آب موجب از کار افتادن پیل می‌شود. سطح بهینه آب موارد مرتبط



با مدیریت آب را می‌طلبید به طوری که میزان آب باقی‌مانده در استک پیل سوختی و میزان آب دفع شده باید با دقت کنترل شود.



شکل (1): توده پیل سوختی غشا پلیمری [5]

مقدار گرمای تولید شده در استک پیل سوختی غشا پلیمری را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد

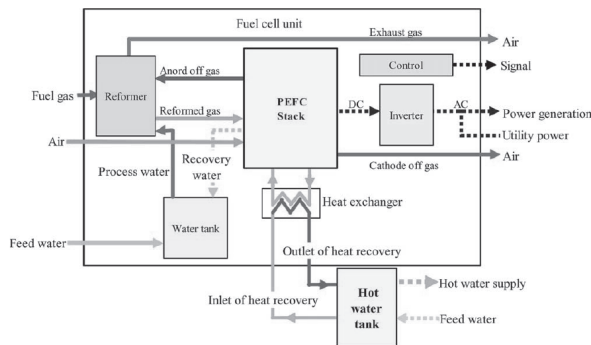
$$Q_{gen} = (1.482 - V_{cell}) I n_{cell} \quad (3)$$

معادله بالا با این فرض که آب تولیدی، توده پیل را به صورت مایع 25 درجه سیلسیوس ترک کند به دست آمده است. اگر آب تولیدی استک را به صورت بخار ترک کند رابطه زیر مناسب‌تر است.

$$Q_{gen} = (1.254 - V_{cell}) I n_{cell} \quad (4)$$

به دلیل اینکه تولید گرما در یک پیل سوختی در ارتباط با افت‌های ولتاژ می‌باشد، بیشتر گرما در لایه‌های کاتالیست، غالباً در سمت کاتد، سپس در غشا به دلیل تلفات اهمیک و همچنین در بخش‌های جامد هادی الکتریسیته تولید می‌شود. گرمای تولید شده ابتدا توسط هدایت گرمایی از طریق بخش‌های جامد پیل سوختی شامل الکترودها منتقل می‌شود. بخشی از گرما به گازهای واکنش‌دهنده منتقل می‌شود، بخشی از گرما به ماده خنک‌کن از طریق جابه‌جایی منتقل می‌شود و بخشی به لبه انتهایی پیل منتقل شده و از طریق جابه‌جایی طبیعی و تشعشع به محیط اطراف منتقل می‌گردد.

انرژی گرمایی اشاره شده در بالا امکان استفاده از پیل سوختی غشا پلیمری در CHP را فراهم می‌کند. شکل (2) دیاگرام به‌کارگیری پیل سوختی غشا پلیمری به صورت CHP را نمایش می‌دهد.



شکل (2): پیل سوختی غشای پلیمری به صورت CHP [5]

مزیت‌های استفاده از پیل سوختی غشا پلیمری به عنوان mCHP شامل: غشای جامد مشکلات خوردگی و مدیریت الکترولیت را کاهش می‌دهد؛ به دلیل دمای عملکرد پایین، سیستم سریع‌تر راه‌اندازی می‌شود؛ دانسیته توان بالا؛ اثرات سوی گرمایی و صوتی خیلی پایین؛ فشرده بودن، حجم و وزن پایین؛ و عملکرد ساده؛ آلودگی زیست‌محیطی در حد صفر؛ تنوع کارکرد با سوخت‌های مختلف، می‌باشد.

برخی از معایب سیستم‌های به‌کارگرفته پیل سوختی غشای پلیمری شامل: قیمت بالای کاتالیست (پلاتینیوم)؛ کاتالیست پلاتینیوم نسبت به اثر سمیت مونواکسید کربن بسیار حساس است، لذا استفاده از یک راکتور اضافی جهت کاهش مونواکسید کربن در سوخت‌های هیدروکربنی یا الکل نیاز است؛ هرگز نباید در دمای پایین‌تر از صفر درجه سیلسیوس کار کند و دمای عملکرد پایین، انرژی گرمایی کمتری فراهم می‌کند، می‌باشد. جدول (9) مشخصات فنی سازندگان پیل سوختی غشای پلیمری به صورت mCHP را مشخص می‌کند.

2-5-2 پیل سوختی اکسید جامد

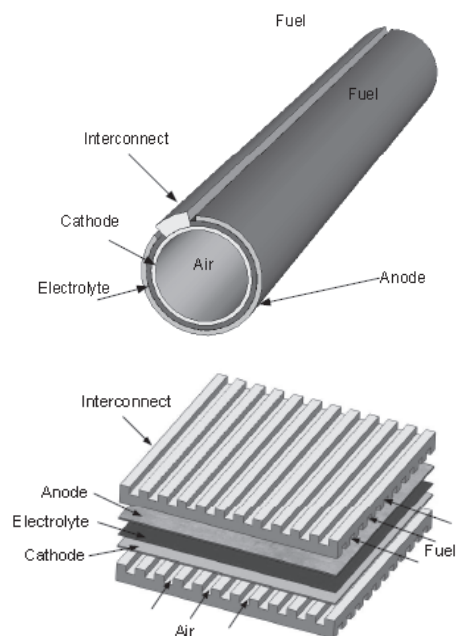
پیل سوختی اکسید جامد از یک ماده سرامیکی هادی یون اکسیژن به عنوان الکترولیت استفاده می‌کند. آند پیل معمولاً ترکیبی شامل نیکل، ایتریا و زیکونیوم پایدار شده است. کاتد دارای ساختار متخلخل است که عموماً از لانتانوم منگنیت ساخته می‌شود. کلیه مواد مورد استفاده در ساخت پیل سوختی اکسید جامد به حالت جامد است. این پیل‌ها در دمای بین 800 تا 1000 درجه سیلسیوس عمل می‌کنند. هیدروژن یا متان می‌تواند به آند تغذیه شود و پیل سوختی اکسید جامد می‌تواند اکسیژن یا هوا را در کاتد به‌کارگیری کند. دو نوع طراحی استوانه‌ای و صفحه‌ای پیل سوختی اکسید جامد

جدول (9): مشخصات سازندگان پیل سوختی غشای پلیمری به عنوان mCHP

سازنده	توان الکتریکی بر حسب کیلووات	توان حرارتی بر حسب کیلووات	راندمان کل	سطح صدا بر حسب دسیبل الکتریکی	ابعاد بر حسب اینچ	مصرف سوخت
AVANTI	4/6	6/9-7/6	75-80	30	ارتفاع	55/1
					عمق	22
					پهنا	47/2
CLEAREDDGE/ POWER	5	5/86	90	60	ارتفاع	70
					عمق	27
					پهنا	36

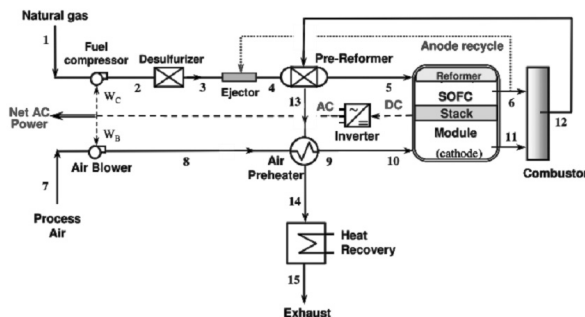
اکسیژن به الکترولیت‌ها وارد می‌شوند و فرآیند مجدداً آغاز می‌شود. یک پیل سوختی اکسید جامد عموماً شامل پردازنده سوخت، استک پیل سوختی، اینورتر، منبع ذخیره گرما و متعلقات معمول می‌باشد. اصلی‌ترین هدف پردازنده سوخت اقدام بر روی سوخت ورودی است. اقدامات انجام گرفته بر روی سوخت شامل سولفور زدایی و رفورمینگ می‌باشد. در صورتی که سوخت ورودی دارای کمترین مقدار سولفور باشد موجب غیر فعال شدن کاتالیست آند شده و به طور قابل توجهی ولتاژ پیل را کاهش می‌دهد. عملیات رفورمینگ جهت استحصال هیدروژن از سوخت به چند نوع مختلف انجام می‌شود که یکی از انواع متداول آن عملیات رفورمینگ توسط بخار است. این عملیات معمولاً در یک مبدل حرارتی لوله پوسته انجام می‌شود؛ به طوری که ترکیب سوخت و بخار وارد تیوب می‌شود و جریان گازهای گرم کوره وارد پوسته می‌شود تا لوله‌های ساخته شده از کاتالیست نیکل را جهت انجام رفورمینگ گرم نماید. شکل (4) را دیگرام به کارگیری پیل سوختی اکسید جامد در سیستم mCHP را نمایش می‌دهد.

وجود دارد (شکل 3). یک مزیت طراحی استوانه‌ای حذف نیاز به آب‌بندی خیلی منسجم در دماهای بالا است؛ ولی طراحی صفحه‌ای از نظر ساخت ساده‌تر است.



شکل (3): پیل سوختی اکسید جامد [6]

در واکنش‌های پیل سوختی اکسید جامد، هیدروژن یا مونوکسید کربن موجود در جریان سوخت با یون‌های اکسید در حال حرکت در الکترولیت واکنش می‌دهد. این واکنش‌ها آب و دی‌اکسید کربن تولید می‌کند و الکترون‌ها را به سمت آند پراکنده می‌کند. الکترون‌ها از بار خارجی عبور کرده و به کاتد برمی‌گردند. در کاتد الکترون‌ها جهت یونیزه کردن مولکول‌های اکسیژن هوا استفاده می‌شوند. سپس یون‌های



شکل (4): پیل سوختی اکسید جامد به صورت CHP [6]





مطابق شکل (4)، گاز طبیعی وارد سیستم شده و جهت غلبه بر افت فشار فشرده می‌شود. گاز طبیعی در یک شیر سه‌راهه مجزا می‌شود، بخشی از وارد واحد سولفورزدایی می‌شود و بقیه وارد مشعل می‌شود. سولفور توسط کربن اکتیو دما پایین زدوده می‌شود و راندمان سیستم افزایش می‌یابد. سپس گاز طبیعی تمیز پیش گرم شده و با بخار مخلوط می‌شود. مخلوط وارد رفورمر بخار در دمای بالاتر از 400 درجه سیلسیوس می‌شود که هیدروکربن‌های زنجیره بلند و بخشی از متان ابتدائاً به هیدروژن و مونوکسید کربن تبدیل می‌شود. این گاز وارد آند پیل سوختی می‌شود که متان باقی‌مانده در ابتدا تبدیل شده و هیدروژن الکترو اکسید می‌شود.

هم زمان هوا به سمت کاند تزریق می‌شود، هوای وارد شده به سیستم فیلتر شده و قبل از ورود، فشرده و سپس پیش گرم می‌شود. ضمناً بخش مشخصی در اطراف مبدل عبور می‌کند و مستقیماً به محفظه احتراق وارد می‌شود تا دمای مشعل را کنترل کند. گازهای اگزاست آند و کاند هم‌اکنون مخلوط شده و با هوای اضافی و گاز طبیعی در محفظه احتراق می‌سوزد. گاز داغ محصول به رفورمر بخار و مبدل حرارتی جریان می‌یابد تا گرمای مورد نیاز پروسه رفورمنینگ را تامین نماید. این گاز داغ سپس با جریان گاز طبیعی، آب تغذیه و هوای کاند، قبل از انتقال حرارت نهایی با سیستم گرمایش مرکزی تبادل حرارت می‌کند، نهایتاً آب گرم گرمایش مرکزی به مخزن ذخیره پمپ می‌شود.

پیل‌های سوختی اکسید جامد دارای مزیت‌های مختلف از دیدگاه

mCHP می‌باشند. این مزایا شامل: دماهای عملکرد بالای پیل برای اجزای دارای عملکرد توسط گرما مورد توجه هستند؛ ساختار آن کلیه موارد مرتبط با مدیریت الکتروولت یا سختی مدیریت آب را خنثی می‌کند؛ و حضور نیکل در کاند می‌تواند به عنوان یک کاتالیست تبدیل‌کننده داخلی استفاده شود و نیاز به رفورمر حذف و هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

پیل‌های سوختی اکسید جامد دارای معایبی نیز هستند. دماهای بالا موجب پیچیدگی مواد و ساختار می‌شود و همچنین، دماهای بالا ولتاژ مدار باز را کاهش می‌دهد، زیرا انرژی آزاد گیبس تشکیل محصولات منفی‌تر می‌شود و موجب کاهش راندمان الکتریکی می‌شود. در هر حال مزیت مقدار گرمای هدر رفت بر کاهش کوچک راندمان الکتریکی غلبه می‌کند.

جدول (10) مشخصات فنی سازندگان استفاده‌کننده از پیل سوختی اکسید جامد به صورت mCHP را مشخص می‌کند.

3. مقایسه و نتیجه‌گیری

مطابق با مباحث و جداول ارائه شده در فصل دوم در خصوص شرح عملکرد و ویژگی‌های انواع سیستم‌های mCHP، می‌توان تکنولوژی‌های مختلف را به صورت کلی به شرح ذیل مقایسه نمود. البته این مقایسه بسیار کلی می‌باشد و ممکن است با توجه به تنوع سازندگان تکنولوژی مورد نظر و شرایط بهره‌برداری تغییرات داشته باشد. مقایسه تکنولوژی‌های مختلف از جنبه‌های مختلف می‌تواند انجام پذیرد به عنوان مثال از لحاظ تولید آلاینده‌ها، تکنولوژی‌های

جدول (10): مشخصات سازندگان پیل سوختی اکسید جامد به عنوان mCHP

سازنده	توان الکتریکی بر حسب کیلووات	رنج توان حرارتی بر حسب کیلووات	راندمان		سطح صدا بر حسب دسیبل الکتریکی	ابعاد بر حسب اینچ		مصرف سوخت
			کل			ارتفاع	عمق	
HEXIS	1	1/8	95	35-30	-	64/5	22/8	-
						عمق	24/4	
						پهنا	39/7	
BLUEGEN	0/5-1/5	0/3-0/54	85	60	47	23/6	26	-
						عمق	32/1	
						پهنا	16/9	
GENNEX	2	1	85-60	57	-	32/1	15/7	-
						ارتفاع	عمق	

استفاده توام از گرمای تولید شده در دستگاه‌های mCHP، می‌تواند نقش بسیار موثری در صرفه‌جویی انرژی مصرفی داشته باشد.

4. مراجع

- [1] A. Bryan DeBruyn, «Integration of Combined Heat and Power Generators into Small Buildings». A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of master of applied science in mechanical engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2006, pp. 1-5.
- [2] J. Worth, «Micro-Cooling, Heating, and Power (m-CHP) Instructional Module "supported by united states department of energy (DOE), Mississippi Cooling, Heating, and Power (micro -CHP) and Bio-fuel center, December 2005 first printing
- [3] GUNTER R. SIMADER, ROBERTKRAWINKLER, GEORG TRNKA, «MICRO CHP systems: state-of-the-art». published by Austrian energy agency, march 2006, pp 5-10
- [4] Resource Dynamics Corporation, «Integrated Energy Systems For Buildings: A Market Assessment "August 2002, pp 8
- [5] F. Barbir, «PEM Fuel Cells theory and practice». University of Connecticut Storrs, CT February 2005, pp. 17-25
- [6] Anders Christian Olesen, Julian Ralf Jensen, «Solid Oxide Fuel Cell Micro Combined Heat And Power System-Choosing The Right Reformer" Master Thesis in Aalborg University, June 2009, pp 21-39

به‌کارگیرنده پیل سوختی از سایر تکنولوژی‌ها دارای تولید آلاینده کمتری است در عوض تکنولوژی استفاده‌کننده از موتور احتراق داخلی با توجه به ماهیت خود دارای بیشترین انتشار آلاینده است. از لحاظ هزینه تهیه و تعمیرات- نگهداری، به نظر می‌رسد تکنولوژی موتور احتراق داخلی از بقیه ارزان‌تر و در دسترس‌تر است ولی تکنولوژی موتور استرلینگ از بقیه گران‌تر می‌باشد. ضمناً تکنولوژی موتور احتراق داخلی و میکرو توربین نسبت به سایر تکنولوژی‌ها از لحاظ تجاری بودن و سابقه به‌کارگیری در منازل پیشرو می‌باشد. سایر تکنولوژی‌ها نظیر پیل سوختی و موتور استرلینگ وسیکل رانکین در حال تحقیق و توسعه می‌باشند. از لحاظ راندمان الکتریکی تکنولوژی پیل سوختی در مقایسه با سایر تکنولوژی‌ها برنده است و تکنولوژی وسیکل رانکین کمترین راندمان الکتریکی را دارد. از لحاظ راندمان کل یعنی مجموع راندمان‌های الکتریکی و گرمایی به نظر می‌رسد کلیه تکنولوژی‌ها با اختلاف کمی با هم رقابت می‌کنند. در هر حال



توسعه چرخه‌های تبرید تراکمی ساده با استفاده از مبردهای هیدروکربنی سازگار با محیط زیست

مصطفی مافی^۱، مرتضی شمالی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین،

m.mafi@eng.ikiu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین،

mshomali47@gmail.com

چکیده

در دهه اخیر، مسائلی زیست محیطی مرتبط با گازهای گلخانه‌ای و تخریب لایه‌ی ازن سبب شده است تا تلاش‌های گسترده‌ای به منظور یافتن جایگزین‌های مناسب برای مبردهای مصنوعی فعلی صورت پذیرد. امروزه، مبردهای طبیعی به علت سازگار بودن با محیط زیست، مورد توجه محققین قرار گرفته است. در میان مواد طبیعی موجود، هیدروکربن‌ها به علت فراوانی، ارزان بودن و خواص مناسب ترموفیزیکی، بیش از سایر مواد طبیعی، شانس مطرح شدن در آینده صنعت تبرید را دارند. در این تحقیق، خواص ترمودینامیکی مبردهای هیدروکربنی متداول شامل R290 (پروپان)، R600a (ایزوبوتان) و R1270 (پروپیلن) و عملکرد آن‌ها در یک چرخه‌ی تبرید تراکمی ساده، مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصله با خواص و عملکرد مبردهای مصنوعی رایج کنونی و همچنین مبرد طبیعی R717 (آمونیاک) مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که در یک چرخه‌ی تبرید تراکمی ساده که دمای تبخیر مبرد در اواپراتور آن بین صفر تا -30 درجه سانتی‌گراد است، مبرد R1270 بهترین عملکرد را در میان مبردهای هیدروکربنی داراست و دارای وضعیت بهتری نسبت به مبردهای مصنوعی می‌باشد. مبرد R290 تقریباً هم‌ردیف مبردهای مصنوعی است و در اولویت بعدی قرار می‌گیرد. مبرد R600a (ایزوبوتان) در گستره دمایی تبخیر فوق، عملکرد مناسبی ندارد و به همین دلیل استفاده از آن توصیه نمی‌گردد.

واژه‌گان کلیدی: مبرد هیدروکربنی، چرخه‌ی تبرید تراکمی ساده، عملکرد ترمودینامیکی، مبرد جایگزین

اتم‌های کلر در تخریب لایه‌ی ازن مطرح شد. پس از آن در سال 1987 پروتکل مونترال، تولید مبردهای مخرب لایه‌ی ازن را ممنوع کرد. در اواخر قرن گذشته نیز مطرح شدن مواد با پتانسیل گرمایش جهانی^۱ بالا و نقش آن‌ها در گرمایش روزافزون کره زمین سبب شد تا کشورهای جهان طی قراردادی که بعدها به پروتکل کیوتو معروف

در دهه اخیر، مسائل زیست محیطی مرتبط با انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب لایه‌ی ازن سبب شده است که توسعه‌ی سیستم‌های سرمازا با مبردهای طبیعی سازگار با محیط زیست، مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرند. در سال 1985 در قرارداد وین، نقش

1. مقدمه



شد، ممنوعیت‌هایی را در استفاده از این مواد اعمال نمایند. امروزه مبردهای R22، R12، R134a به دلیل خواص ترمودینامیکی مناسب و غیر قابل اشتعال بودن، کاربردهای بسیاری در صنایع برودتی، چیلرها و یخچال‌های خانگی دارند. متأسفانه این مبردها، نقش مهمی را در تخریب لایه ازن و گرمایش جهانی کره دارند و طبق آنچه که گفته شد باید طبق یک زمان‌بندی مشخص، در آینده‌ی نزدیک به تدریج از چرخه‌های صنایع برودتی خارج شود و مبردهای طبیعی جایگزین آن‌ها شوند. لذا در ابتدای قرن حاضر، تحقیقات بسیاری بر روی توسعه سیستم‌های برودتی با مبردهای طبیعی نظیر هیدروکربن‌ها و آمونیاک متمرکز شده‌اند.

گرانرید [1] (Granryd) ضمن مقایسه‌ی خواص ترمودینامیکی مبردهای هیدروکربنی با مبردهای R12 و R22 نتیجه گرفت که این مبردهای طبیعی از لحاظ بازدهی انرژی و سازگاری با محیط زیست می‌توانند جایگزین مناسبی برای مبردهای R12 و R22 در تجهیزات برودتی و پمپ‌های گرمایی باشند. در عین حال باید مباحث امنیتی در ارتباط با قابلیت اشتعال این مبردها نیز در نظر گرفته شود.

توکلی و امانی [2] با معرفی مبرد R600a (ایزوبوتان) به عنوان جایگزین R134a در یخچال‌ها و فریزرها، به بررسی و مقایسه‌ی ترمودینامیکی این دو مبرد پرداختند. نتایج آزمایش تجربی نشان می‌داد که R600a به دلیل کاهش مصرف انرژی در چرخه‌ی سرمایش یخچال‌ها، می‌تواند جایگزین مناسبی برای R134a باشد. همچنین، Su و Lee [3] یک مطالعه‌ی تجربی بر روی عملکرد سیستم‌های برودتی با مبرد R600a انجام داده و نتایج را با R12 و R22 مقایسه کردند که حاصل آن، افزایش ظرفیت خنک‌کنندگی با مبرد R600a نسبت به مبردهای مصنوعی پیشین بود.

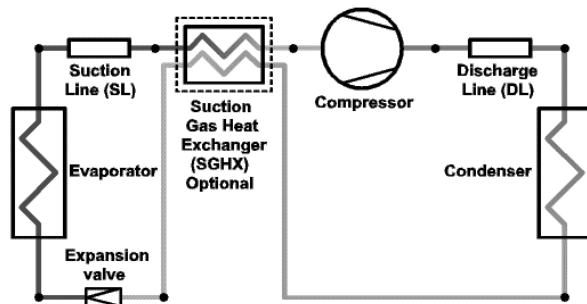
نقاش‌زادگان و همکاران [4] با مطالعه و مقایسه‌ی ترموفیزیکی و ترمودینامیکی مبردهای R404a، R507، R600a، R717، R134a، R290، R410a، R152a و R407c، مبرد R407c را عنوان مبرد جایگزین مناسب برای R22 معرفی کردند.

غالب تحقیقات قبلی، بر روی عملکرد سیستم‌های تبرید با مبرد R600a متمرکز شده‌اند و تحقیقی جامع بر یک پایه یکسان بر روی سایر مواد هیدروکربنی نظیر پروپان یا پروپیلن نشده است. در این تحقیق، مبردهای هیدروکربنی R600a، R290، R1270، همراه با R707 (آمونیاک) مورد مطالعه قرار گرفته و عملکرد ترمودینامیکی آن‌ها در یک چرخه‌ی تبرید تراکمی ساده با مبردهای R22، R12،

و R134a که در صنعت تبرید کاربرد زیادی دارند، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مبردهای R407c و R410a نیز به خاطر خواص ترمودینامیکی مناسب در این مقایسه لحاظ شده است.

2. مشخصات چرخه‌ی تبرید تراکمی مورد مطالعه

شکل زیر، طرحواره چرخه‌ی تبرید تراکمی ساده در نظر گرفته در تحقیق حاضر را برای مطالعه خواص مبردها و مقایسه عملکرد ترمودینامیکی آن‌ها نشان می‌دهد.



شکل (1): طرحواره چرخه تبرید تراکمی ساده مورد مطالعه

مشخصات پایه چرخه‌ی تبرید فوق عبارت‌است از [5]:

دمای تبخیر اواپراتور: -20°C

میزان مافوق داغ شدن مبرد بعد از اواپراتور: 8°C

افت فشار در اواپراتور: 0.2 bar

افت فشار در خط مکش: 0.1 bar

افت فشار در خط تخلیه: 0.2 bar

دمای تقطیر کندانسور: 35°C

میزان مادون سرد شدن: 2°C

افت فشار در کندانسور: 0.1 bar

افت فشار در خط مایع: 0.01 bar

بازده ایزونتروپیک کمپرسور: 0.7

تلفات حرارتی در کمپرسور: 15% توان مصرفی آن

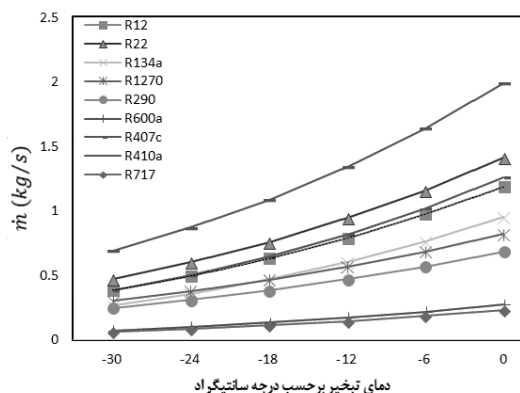
ظرفیت برودتی: 100 kW

این مشخصات، داده‌های واقعی یک چرخه موجود می‌باشند [5].

3. معرفی نرم‌افزار استفاده شده

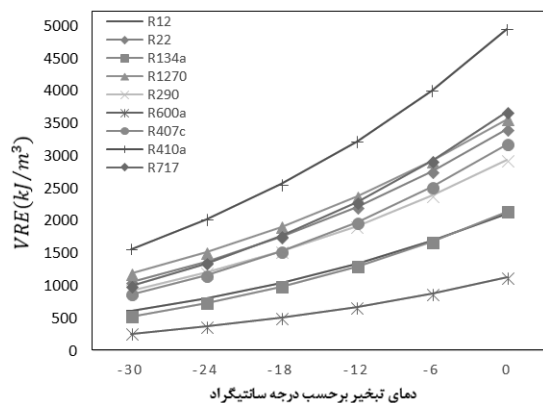
در تحقیق حاضر، جهت مقایسه‌ی خواص ترموفیزیکی مبردهای مختلف از نرم‌افزار کول‌پک² [6] استفاده شده است. نرم‌افزار کول‌پک در سال 1988 با حمایت دپارتمان انرژی دانمارک توسعه یافت. این





شکل (3): تغییرات دبی جرمی بر حسب دمای اواپراتور

شکل (4) ظرفیت تبرید حجمی میردهای مختلف را بر حسب دمای اواپراتور نشان می‌دهد. ظرفیت تبرید حجمی (VRE)، از تقسیم ظرفیت برودتی بر حجم مخصوص گاز میرد ورودی به کمپرسور به دست می‌آید. هر قدر مقدار این پارامتر بیشتر باشد، حجم جابه‌جایی موردنیاز کمپرسور برای ظرفیت برودت یکسان، کوچک‌تر خواهد شد که امری مطلوب است. میردهای R410a و R600a به ترتیب بیشترین و کمترین ظرفیت تبرید حجمی را دارا می‌باشند. میرد R717 و سپس R1270 بلافاصله بعد از میرد R22 قرار دارند.



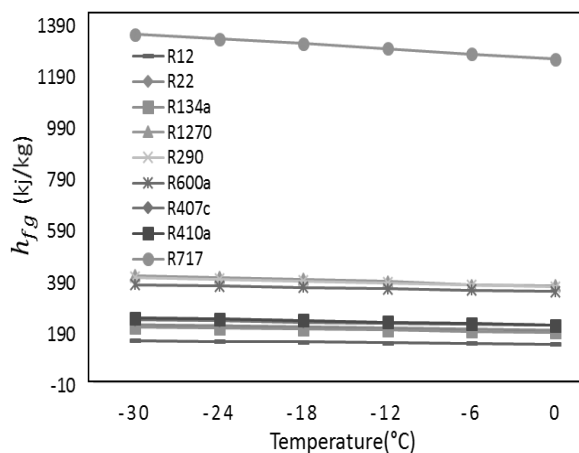
شکل (4): تغییرات ظرفیت تبرید حجمی بر حسب دمای تبریدکننده

شکل (5) نشان‌دهنده‌ی توان مصرفی کمپرسور بر حسب دمای اواپراتور می‌باشد. توان کمپرسور یکی از پارامترهای اصلی و تعیین‌کننده در سیستم‌های برودتی می‌باشد که کمتر بودن آن بیانگر مصرف کمتر انرژی در سیستم می‌باشد که بسیار مطلوب است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که بیشترین و کمترین کار مصرفی به

نرم‌افزار شامل مجموعه ابزارهای سودمندی است که به کمک آن می‌توان سیستم‌های برودتی را شبیه‌سازی و تحلیل کرد. همچنین این نرم‌افزار با دارا بودن یک بانک اطلاعاتی مناسب، قادر به محاسبه‌ی خواص ترمودینامیکی میردهای مختلفی می‌باشد.

4. نتایج شبیه‌سازی و بحث

شکل (2)، تغییرات گرمای نهان تبخیر را برحسب دما برای میردهای مختلف نشان می‌دهد. این خاصیت ترموفیزیکی برابر با تفاوت آنتالپی فاز مایع و بخار می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار مشخص است، گرمای نهان تبخیر میرد R717 اختلاف چشمگیری با سایر میردها دارد و به همین علت است که در سیستم‌های تبرید صنعتی با ظرفیت بالا، اغلب از آمونیاک به عنوان میرد استفاده می‌شود. میرد R12 نیز پایین‌ترین گرمای نهان تبخیر را داراست. تمامی میردهای هیدروکربنی در مقایسه با میردهای مصنوعی رایج از این حیث دارای برتری نسبی هستند. نزدیک‌ترین میرد طبیعی به میردهای مصنوعی، R600a می‌باشد.



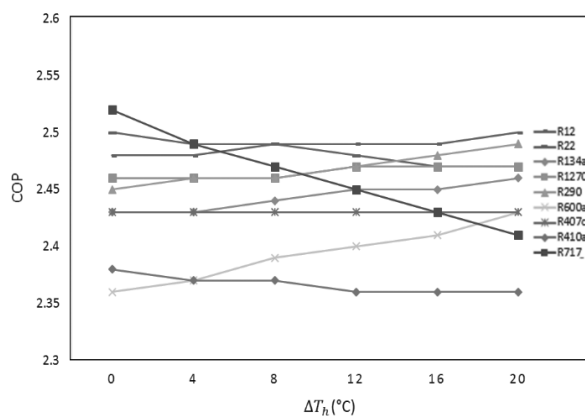
شکل (2): تغییرات گرمای نهان تبخیر بر حسب دمای اواپراتور

شکل (3)، تغییرات دبی جرمی مورد نیاز میرد در سیکل تبرید تراکمی ساده فوق‌الذکر را برحسب دماهای تبخیر مختلف، با هم مقایسه می‌کند. دبی جرمی کمتر میرد در چرخه یک امتیاز محسوب می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش سطوح حرارتی شود. بیشترین و کمترین دبی جرمی به ترتیب متعلق به R410a و آمونیاک می‌باشد. میردهای هیدروکربنی دبی جرمی کمتری نسبت به میردهای R12، R22 و R134a دارند.

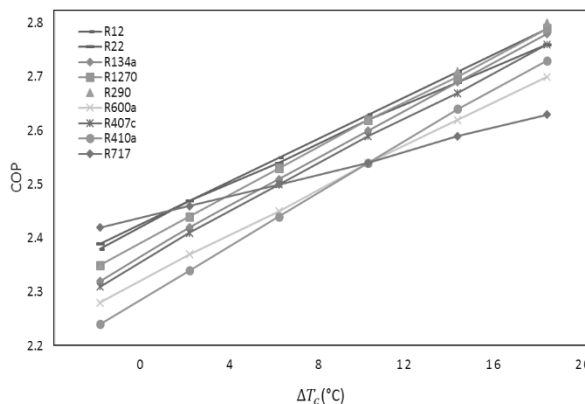


می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند در صورت استفاده از مبردهای هیدروکربنی، ضریب عملکرد چرخه با افزایش میزان مافوق داغ شدن، تغییر محسوسی نمی‌کند.

شکل (8) تغییرات ضریب عملکرد (COP) را بر حسب میزان مادون سرد شدن مبرد نشان می‌دهد. با افزایش میزان مادون سرد، ضریب عملکرد تمامی مبردها افزایش می‌یابد. مبرد R12 بیشترین و R410a کمترین ضریب عملکرد را دارا می‌باشند. تغییرات ضریب عملکرد چرخه با مبردهای طبیعی با افزایش میزان مادون سرد شدن کمتر از R22 و R12 می‌باشد.



شکل (7): تغییرات ضریب عملکرد بر حسب میزان مافوق گرم شدن

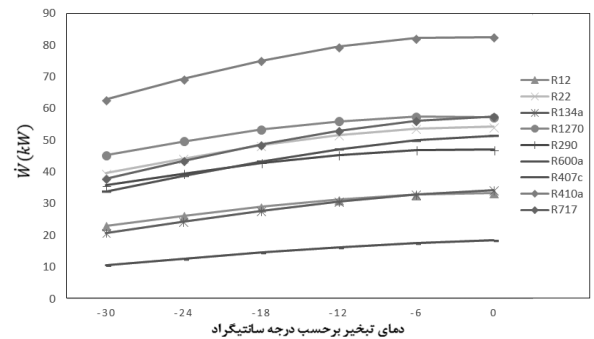


شکل (8): تغییرات ضریب عملکرد بر حسب میزان مادون سرد شدن

5. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

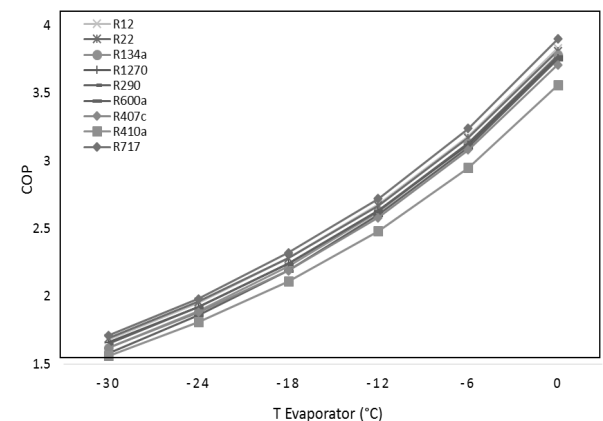
در تحقیق حاضر، عملکرد ترمودینامیکی مبردهای هیدروکربنی در مقایسه با سایر مبردهای مصنوعی در یک چرخه‌ی تبرید تراکمی

ترتیب متعلق به R600a و R410a است که این یک امتیاز برای مبرد R600a می‌باشد. R290 نیز پایین‌تر از مبردهای R22 و بالاتر از مبردهای R12 و R134a قرار گرفته است.



شکل (5): تغییرات توان مصرفی کمپرسور بر حسب دمای اواپراتور

شکل (6) تغییرات ضریب عملکرد سیستم (COP) را بر حسب دمای اواپراتور نشان می‌دهد. ضریب عملکرد بیشتر به معنای تولید سرمایه بیشتر به ازای مصرف کار یکسان کمپرسور است. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، ضریب عملکرد مبردها بسیار به هم نزدیک می‌باشد و با کاهش دما کاهش می‌یابد. مبرد R717 بیشترین و R410a کمترین ضریب عملکرد را دارا می‌باشند. مبردهای هیدروکربنی ضریب عملکرد کمتری نسبت به R12، R134a و R22، دارا می‌باشند. مبرد R290 بلافاصله پایین‌تر از مبردهای فوق قرار گرفته است.



شکل (6): تغییرات ضریب عملکرد بر حسب دمای اواپراتور

شکل (7) تغییرات ضریب عملکرد چرخه تبرید تراکمی شکل (1) را بر حسب میزان مافوق داغ شدن مبرد پس از اواپراتور نشان



یک مرحله‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. تفسیرهای نمودارهای به‌دست‌آمده در این تحقیق بیانگر این مهم است که در گستره دمایی بین صفر تا -30 درجه سانتی‌گراد در اواپراتور، مبرد R1270 (پروپیلن) در غالب موارد، تقریباً بهترین عملکرد را در میان مبردهای فوق‌دارا می‌باشد و بنابراین دارای وضعیت بهتری نسبت به مبردهای مصنوعی می‌باشد. مبرد R290 (پروپان) تقریباً هم‌ردیف مبردهای مصنوعی است و در اولویت بعدی قرار می‌گیرد. مبرد R600a (ایزوبوتان) از لحاظ خصوصیات فوق‌عملکرد خوبی ندارد و به این دلیل در اولویت آخر قرار می‌گیرد. در نهایت با توجه به آنچه گفته شد، مبرد R1270 (پروپیلن) به خاطر خواص مناسب ترمودینامیکی به عنوان مبرد جایگزین مناسب مبردهای مصنوعی معرفی می‌گردد. فراوانی و در دسترس بودن مبردهای هیدروکربنی فوق‌الذکر در ایران به علت وجود واحدهای فعال اولفین در سراسر کشور، جایگاه ممتاز این مبردها را در صنعت تبرید کشور بیش از پیش نمایان نموده و لزوم تحقیقات بیشتر در این مورد را متذکر می‌گردد.

6. تشکر و قدردانی

نگارنده مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) به علت

حمایت مالی از تحقیق حاضر را اعلام می‌دارد.

7. مراجع

- [1] Granryd, E., 2001, "Hydrocarbons as refrigerants - an overview", *International Journal of Refrigeration*, 24, June, pp. 15-24.
- [2] توکلی، احمدرضا و امانی، سعید، 1391، "مطالعه و بررسی فنی، اقتصادی و تجربی استفاده از مبرد R600a به جای R134a در سیکل تبرید یخچال و یخچال فریزر"، بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق.
- [3] Lee, Y.S. and Su, C.C., 2002, «Experimental studies of isobutane (R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration system», *Applied Thermal Engineering*, 22.
- [4] نقاش‌زادگان، محمود، غلامی، مینو و غلامی، میترا، 1382، "مطالعه و مقایسه ترموفیزیکی و ترمودینامیکی مبردهای R134a، R290، R410a، R152a، R404a، R507، R600a، R717 و R22، دوازدهمین کنفرانس سالانه و هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک.
- [5] موسوی نائینیان، سید مجتبی و مافی، مصطفی، 1391، "مجموعه ابزارهای شبیه‌سازی سیستم‌های سرمازا "CoolPack"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.
- [6] CoolPack Software, 2012, IPU & Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark. See also URL www.et.dtu.dk/coolpack

پی‌نوشت:

1. Global Warming Potential
2. CoolPack





دو فصلنامه علمی - تخصصی ارزش‌های تجدیدپذیر و نو ... / شماره اول ... / بهار ۱۳۹۳



یادداشت‌های فنی

واکاوی الزامات و قیود بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان

سید علیرضا ذوالفقاری

استادیار بخش مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، alireza.zolfaghari@yahoo.com



بود. تصور کنید که می‌خواهیم مصرف انرژی در یک ساختمان را به صورت نامقید کمینه کنیم. جواب بسیار ساده است: «باید همه سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی را خاموش کنیم! در این حالت مصرف انرژی کمینه و البته صفر خواهد شد!!». بر این اساس، مسلم است که بهینه‌سازی مصرف انرژی باید حتما بر مبنای تامین یکسری از شرایط و قیود صورت پذیرد. یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین قیودی که باید در طی فرآیند بهینه‌سازی مصرف انرژی در نظر گرفته شود، تامین شرایط آسایش حرارتی برای ساکنان است. این قید معمولا در قالب پارامتر «دمای طرح داخل» در طراحی حرارتی ساختمان‌ها لحاظ می‌شود. اما باید در نظر داشت که شرایط آسایش حرارتی علاوه بر دمای هوا، تابع 6 مشخصه دیگر (شامل دمای متوسط تابش، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، نرخ متابولیک، نرخ کار خارجی و نوع پوشش افراد) نیز می‌باشد. بر این اساس، در نظر گرفتن قید آسایش حرارتی، پیچیده‌تر از آن چیزی است که معمولا در طراحی حرارتی ساختمان‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. اما فارغ از همه این‌ها، حتی اگر بتوان آسایش حرارتی را تنها در قالب «دمای طرح داخل» (به عنوان یکی از قیود بهینه‌سازی مصرف انرژی) در نظر گرفت، آیا این قید برای دستیابی به یک جواب بهینه کفایت می‌کند؟ برای پاسخ به این سوال، ساختمانی را در نظر بگیرید که می‌خواهیم دمای هوای داخل آن را همواره در 25 درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داریم. در چنین ساختمانی چه گزینه‌هایی برای کاهش مصرف انرژی و یا در واقع، کمینه کردن اتلافات انرژی وجود دارد؟ جواب بسیار ساده

در زمان حاضر با افزایش روز افزون ارزش حامل‌های انرژی، عبارت «بهینه‌سازی مصرف انرژی» بیش از هر زمان دیگر، در مجامع مختلف شنیده می‌شود. این در حالی است که در بسیاری از مواقع، طراحان و مهندسان به جای پرداختن به حل یک مسئله بهینه‌سازی، تنها به انتخاب بهترین حالت از میان چند مطالعه موردی بسنده می‌کنند. در حالی که «بهینه‌سازی» به معنای واقعی، مفهوم بسیار گسترده‌تری دارد. بر طبق تعریف، «بهینه‌سازی» به مجموعه تلاش‌هایی اطلاق می‌شود که به منظور کمینه یا بیشینه‌سازی یک تابع هدف صورت می‌پذیرد. به طور کلی، مسائل بهینه‌سازی به دو دسته مسائل مقید و مسائل نامقید تقسیم می‌شود. تفاوت اساسی میان این مسایل در آن است که طی فرآیند بهینه‌سازی مقید، نحوه کمینه یا بیشینه کردن تابع هدف بایستی به گونه‌ای باشد که جواب مسئله در چارچوب یک سری از قیدها و فرضیات قرار گیرد. به بیان دیگر، در مسایل بهینه‌سازی مقید، جواب مسئله لزوما به سمت مقدار اکسترمم مطلق برای تابع هدف همگرا نمی‌شود. بلکه مقدار جواب در این نوع از مسایل بیانگر یک اکسترمم نسبی با توجه به قیدهای مسئله خواهد بود.

بر اساس آنچه که گفته شد، این سوال مطرح می‌شود که مسایل بهینه‌سازی مصرف انرژی جزو کدام دسته از مسایل محسوب می‌شود؟ بی‌شک هدف اصلی در بحث بهینه‌سازی مصرف انرژی، کمینه‌کردن تابع مصرف انرژی است. دستیابی به هدف فوق و بدون در نظر گرفتن قیود اضافی، بسیار ساده و البته غیر منطقی خواهد

است! اتلافات حرارتی از دیوارهای ساختمان هنگامی کمینه خواهد شد که مقاومت حرارتی آن‌ها به سمت بی‌نهایت میل کند. پس دیوارهایی با عایق‌بندی مطلوب و ضخامت بسیاز زیاد (شاید صدها متر!) می‌تواند جواب مسئله باشد! در مورد پنجره هم می‌توان گفت که در اقلیم‌های گرم، بی‌شک بهترین پنجره، ابعادی برابر با صفر خواهد داشت! ساختمانی با دیوارهای بسیار ضخیم و بدون پنجره! ملاحظه می‌شود که در نظر گرفتن قید آسایش حرارتی، به تنهایی برای حل یک مسئله بهینه‌سازی مصرف انرژی کافی نیست. واضح است که در مثال فوق‌الذکر به مهم‌ترین نقش پنجره که در واقع تامین میزان روشنایی در طول روز می‌باشد، توجه نشده است. پس علاوه بر آسایش حرارتی باید به میزان روشنایی داخل یا آسایش بصری افراد نیز به عنوان یک قید موثر توجه نمود. در یک نگاه کلی‌تر، آسایش دارای جنبه‌های مختلفی است که هر یک از این جنبه‌ها می‌تواند شرایط آسایش کلی ساکنان را متاثر نماید و بر همین اساس، بایستی همه جنبه‌های آن به عنوان قیود موثر بر بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد توجه قرار گیرد. اصلی‌ترین جنبه‌های آسایش ساکنان عبارتند از: آسایش حرارتی، آسایش بصری و آسایش تنفسی. حال، سوال این است که آیا در نظر گرفتن قیود مذکور برای دستیابی به شرایط بهینه کفایت می‌کند؟ مسلماً پاسخ منفی است. شاید مهم‌ترین قیدی که به‌طور معمول توسط سرمایه‌گذاران، سازندگان و بهره‌برداران مطرح می‌شود، توجه به هزینه‌ها و مسایل اقتصادی است. سرمایه‌گذاران

مایلند تا به‌طور شفاف بدانند که افزایش هزینه اولیه تا چه حد هزینه انرژی مصرفی در دوره بهره‌برداری را کاهش می‌دهد و چقدر طول می‌کشد تا هزینه اولیه توسط صرفه‌جویی در مصرف انرژی جبران شود.

بر این اساس می‌توان گفت که بهینه‌سازی مصرف انرژی، یک مسئله چند متغیره با قیود متعدد است و تمامی اجزای پنجگانه زیر، باید به‌طور هم‌زمان در طی فرآیند بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد توجه قرار گیرند:

1. کمینه کردن میزان مصرف انرژی
2. تامین شرایط آسایش حرارتی
3. تامین آسایش بصری (روشنایی مطلوب)
4. تامین شرایط آسایش تنفسی (شرایط مطوب برای کیفیت هوای داخل)
5. کمینه کردن زمان بازگشت هزینه اولیه

در انتها، توجه به این امر ضروری است که در نظر گرفتن هم‌زمان قیود فوق، فرآیندی نسبتاً پیچیده است و مستلزم به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشد. ضمن اینکه نحوه تقابل میان قیود مذکور دارای جزئیات فراوانی است که در حوصله یادداشت حاضر نمی‌گنجد. طراحان و مهندسان علاقمند می‌توانند برای کسب اطلاعات تکمیلی به کتب و مراجع تخصصی در زمینه الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی خطی مراجعه نمایند.



معرفی پمپ حرارتی گازسوز

محمود چهارطاقی

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، chahartaghi@iust.ac.ir



دو فصلنامه علمی - تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو ... / شماره اول ... / بهار ۱۳۹۳

گاز طبیعی، در قسمتی از دستگاه که در محیط خارج ساختمان قرار دارد صورت می‌گیرد (واحد بیرونی)، که این امر به منظور افزایش اطمینان و آسودگی ساکنان، اهمیت زیادی دارد. در بعضی از مدل‌ها، واحد بیرونی مجهز به یک گرم‌کننده کمکی با سوخت گازی است که برای تولید گرما در نواحی بسیار سرد کاربرد دارد. قسمت دیگر که واحد داخلی نام دارد، شامل مبدل حرارتی، فیلترها و فن دورمتغیر بوده و در داخل ساختمان نصب می‌شود.

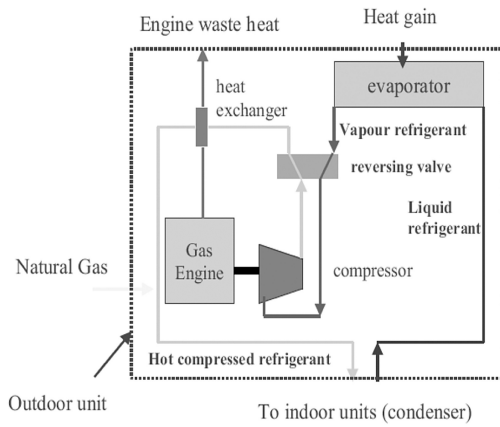
فلودیاگرام ذیل، فرایند تبدیل انرژی سوخت مصرفی به کارمفید و همچنین درصد تلفات انرژی را به منظور تولید بار حرارتی در یک پمپ حرارتی گازسوز در دو وضعیت سرمایشی و گرمایشی نشان می‌دهد. در این نمودار، COP_{HP} بیانگر ضریب عملکرد چرخه پمپ حرارتی بوده و به صورت نسبت بار سرمایشی و یا گرمایشی (بسته به وضعیت عملکرد پمپ) به توان مصرفی کمپرسور تعریف می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخشی از انرژی سوخت مصرفی به صورت تلفات حرارتی و اصطکاک در موتور هدر می‌رود. کار مفید خروجی موتور باعث به حرکت درآمدن کمپرسور و ایجاد سرمایش/گرمایش در پمپ حرارتی می‌گردد. تقریباً از هر 100 واحد انرژی ورودی (سوخت)، حدود 130 واحد بار سرمایشی/گرمایشی به دست می‌آید.

پمپ‌های حرارتی یکی از پر استفاده‌ترین دستگاه‌هایی هستند که برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها به کار می‌روند. پمپ حرارتی با چرخه تراکمی بخار شامل دو سطح دما بالا (کندانسور) و دما پایین (اوپراتور) است. پمپ‌های حرارتی دارای دو مبدل حرارتی در داخل و خارج فضای مسکونی بوده که در وضعیت گرمایشی، مبدل داخلی کندانسور و مبدل بیرونی اوپراتور بوده و در وضعیت سرمایشی، مبدل داخلی اوپراتور و مبدل بیرونی کندانسور می‌باشد. تغییر کارکردی از وضعیت گرمایشی به وضعیت سرمایشی، به وسیله یک شیر معکوس‌کننده (چهارراهه) صورت می‌گیرد. پمپ‌های حرارتی بر اساس نوع محرک راننده کمپرسور، به دو نوع محرک الکتریکی (EHP) و محرک موتور گازسوز (GEHP) طبقه‌بندی می‌شوند.

استفاده از پمپ‌های حرارتی گازسوز در سال‌های اخیر در بسیاری از جوامع پیشرفته و صنعتی دنیا رو به افزایش است. با توجه به پایین بودن قیمت گاز طبیعی در مقایسه با قیمت برق در کشورهای نظیر ایران که دارای منابع سرشار گاز طبیعی هستند، هزینه‌های بهره‌برداری (عملیاتی) این نوع سیستم‌ها در صورت استفاده از محرک گازسوز، به شدت کاهش می‌یابد.

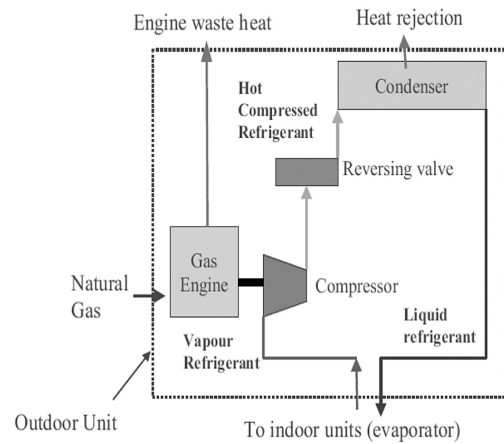
شماتیک‌های زیر، پمپ حرارتی گازسوز را در دو وضعیت سرمایشی و گرمایشی نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که احتراق

GHP - Heating Mode

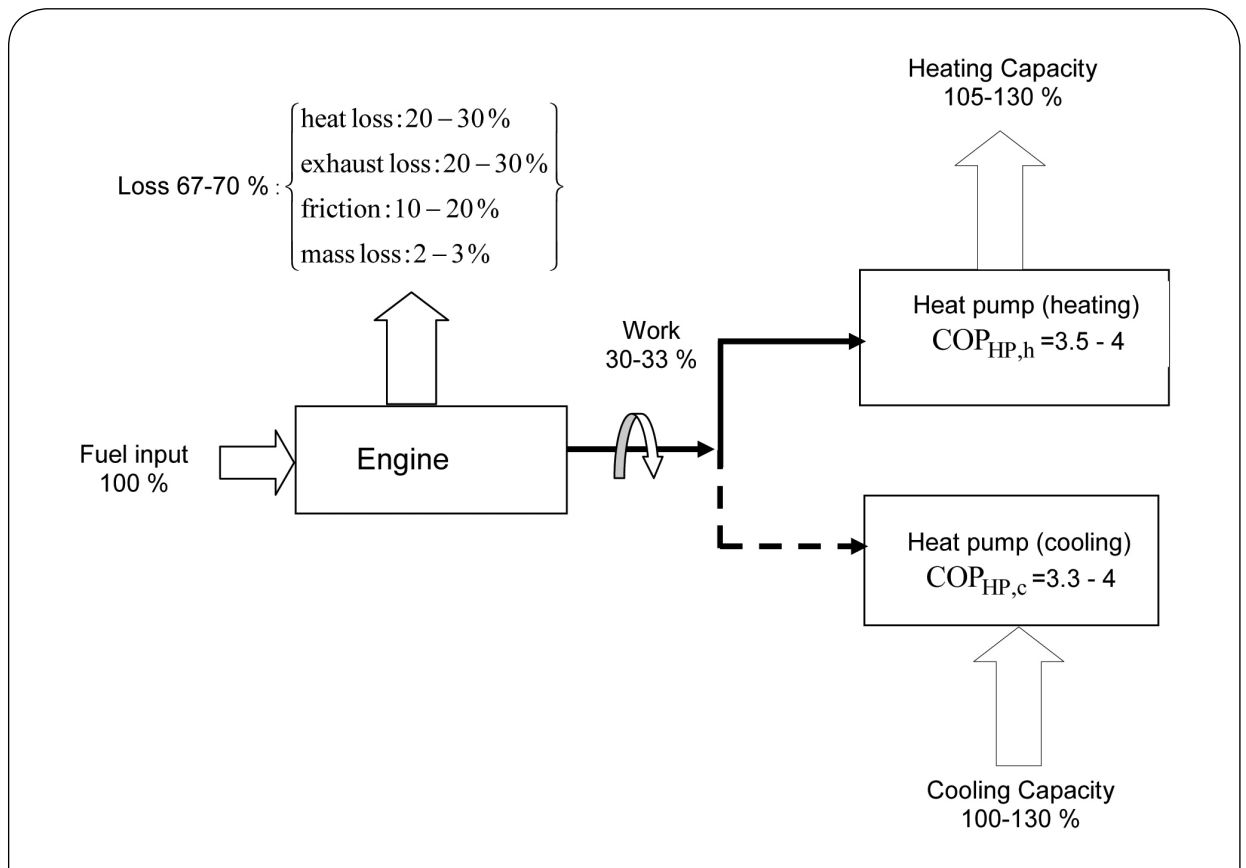


شماتیک پمپ حرارتی گازسوز در وضعیت گرمایشی

GHP - Cooling Mode



شماتیک پمپ حرارتی گازسوز در وضعیت سرمایشی

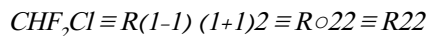


فلویدیاگرام تبدیل انرژی سوخت ورودی به بار سرمایشی / گرمایشی در پمپ حرارتی گازسوز

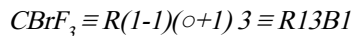
نام‌گذاری مبردها بر اساس استاندارد ASHRAE 34

سید مجتبی موسوی نائینیان

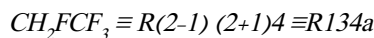
دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، mousavi@kntu.ac.ir



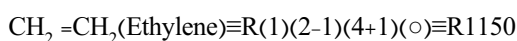
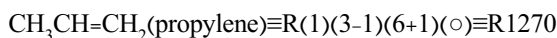
تبصره 2: اگر در فرمول شیمیایی به جای اتم کلر، اتم برماید بنشینند، بعد از شماره میرد، حرف B به همراه یک عدد که بیانگر تعداد اتم‌های برماید است، آورده می‌شود.



تبصره 3: ایزوتروپ‌های مختلف با یک فرمول شیمیایی، خواص مختلفی دارند. لذا جهت تمییز بین ایزوتروپ‌های مختلف، بعد از شماره میرد، حروف a، b و c ظاهر می‌شوند که هر یک از این حروف، بیانگر ایزوتروپ خاصی است.



(ب) هالوژن‌های اشباع نشده: هالوگرن‌های اشباع نشده که دارای پیوندهای کربن-کربن غیر اشباع هستند، با یک شماره چهار رقمی به صورت R_{xyz} شماره‌گذاری می‌شوند که در آن n بیانگر تعداد پیوندهای کربن-کربن اشباع نشده است و x، y و z مطابق بند فوق می‌باشند. به عنوان مثال:



علامت = در فرمول‌های شیمیایی فوق بیانگر پیوند دوگانه کربن-کربن (C=C-) است.

(ج) سایر مواد آلی: مواد ارگانیک (به غیر از موارد ذکر شده در بالا) که در صنعت به عنوان میرد استفاده می‌شوند، با سری R600 شناخته می‌شوند. این مواد به ترتیب زمانی که در صنعت برودت به

واژه میرد به معنای "سردکننده" و "خنک‌کننده" در صنعت حرارت و برودت به مفهوم ماده‌ای است که در یک سیستم برودتی، هنگام تبخیر شدن به علت گرفتن گرما از محیط (معمولاً در اواپراتور)، سرما ایجاد می‌کند. استاندارد 1 ASHRAE34 بیش از صد میرد را همراه با نامگذاری و طبقه‌بندی آن‌ها برشمرده است. در ادامه، نحوه نامگذاری مبردها را براساس این استاندارد توضیح می‌دهیم. نام تمامی مبردها با حرف لاتین R برگرفته از ابتدای واژه Refrigerant (معادل لاتین واژه میرد) آغاز می‌شود.

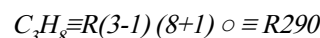
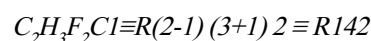
(الف) هالوژن‌های اشباع: این مبردها مشتق شده از متان، اتان و پروپان (آلکان‌ها با فرمول C_nH_{2n+2}) هستند. فریون‌ها که از ترکیب فلوئورها و کلورها با متان، اتان و پروپان به دست می‌آیند، جزو این دسته از مبردها هستند. در این نوع از مبردها، شماره میرد، بیانگر ترکیب شیمیایی آن نیز است. این دسته از مبردها با یک شماره سه‌رقمی به صورت R_{xyz} و به شرح زیر شماره‌گذاری می‌شوند:

$x+1$: تعداد اتم‌های کربن در یک مولکول

$y-1$: تعداد اتم‌های هیدروژن در یک مولکول

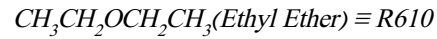
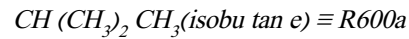
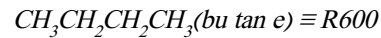
z : تعداد اتم‌های فلور در یک مولکول

به عنوان مثال:



تبصره 1: اگر تعداد اتم‌های کربن در مولکول شیمیایی برابر با یک باشد، شماره میرد دو رقمی می‌شود.

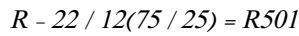
عنوان میرد، رایج و به کار گرفته شده‌اند از شماره 600 نامگذاری شده‌اند. در این نوع از میردها، از روی شماره میرد نمی‌توان ترکیب شیمیایی آن به دست آورد. به عنوان مثال:



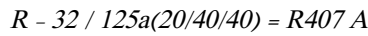
د) مخلوط‌ها (میرد چندجزئی): این نوع میردها، مخلوطی از چند ماده یا میرد هستند. یک میرد چندجزئی، با اجزای آن و درصد جرمی هر یک از جزءها شناخته می‌شود. اجزای تشکیل دهنده میرد، به ترتیب افزایش دمای جوش نرمال، آورده می‌شوند. به عنوان مثال، میردی که از ترکیب 90 درصد (جرمی) فریون 22 و 10 درصد فریون 12 ایجاد شده باشد، به صورت $R-22 / 12(90 / 10)$ نمایش داده می‌شود. میردهای چندجزئی به دو دسته عمده آزنوتروپیک و زئوتروپیک تقسیم می‌شوند.

میردهای آزنوتروپیک، مخلوط‌هایی هستند که درصد فازهای بخار و مایع اجزای مختلف آن، در هنگام چگالش و یا تبخیر در یک فشار معین، یکسان است. دمای جوش در میردهای آزنوتروپ در فشار ثابت و در حالت دو فازی، ثابت باقی می‌ماند. میردهای آزنوتروپ به ترتیب زمانی که در صنعت برودت به عنوان میرد تجاری

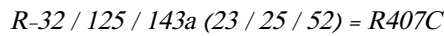
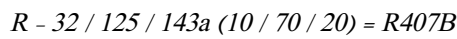
شده‌اند، از شماره 500 نامگذاری شده‌اند. به عنوان مثال:



میردهای زئوتروپیک، مخلوط‌هایی هستند که دمای جوش آن‌ها، در فشار ثابت و در حالت دو فازی، ثابت نیست. میردهای زئوتروپ، به ترتیب زمانی که در صنعت برودت به عنوان میرد تجاری شده‌اند، از شماره 400 نامگذاری شده‌اند. به عنوان مثال:



تبصره: میردهای چندجزئی تجاری شده با اجزای یکسان اما با درصدهای جرمی مختلف، با حروف A، B، C و شناخته می‌شوند. به عنوان مثال:



ه) مواد طبیعی (غیر ارگانیک): مواد طبیعی نظیر آمونیاک، آب، هوا و ... به صورت R_{700+m} نامگذاری می‌شوند که در آن M، جرم مولکولی ماده است. به عنوان مثال، آب (R718)، دی اکسیدکربن (R744) و آمونیاک (R717) است.

پی‌نوشت:

1. ANSI/ASHRAE Standard 34-2001, "Designation and safety classification of refrigerants", 2010



قالب پیش نویس مقاله برای دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو (حداکثر دو سطر) (قلم: Bold B Nazanin-5-15)

نام و نام خانوادگی نگارنده اول^۱، نام و نام خانوادگی نگارنده دوم^۲، ... (قلم: Bold B Nazanin-5-12)
۱. مرتبه علمی نگارنده، رشته تخصصی، نام سازمان، نام شهر، پست الکترونیکی (قلم: B Nazanin-5-8)
۲. مرتبه علمی نگارنده، رشته تخصصی، نام سازمان، نام شهر، پست الکترونیکی

چکیده (قلم: Bold B Nazanin-9)

در این قالب، شیوه تهیه سریع ساختار مقاله با استفاده از امکانات استایل (سبک) نرم افزار ورد برای دو فصلنامه «انرژی های تجدیدپذیر و نو» شرح داده می شود. نویسندگان محترم توجه داشته باشند رویکرد دو فصلنامه حاضر، معرفی فناوری نوظهور در حوزه های مختلف سیستم های انرژی و بهره وری و همچنین نقد و بررسی آن است، لذا مقالات و یادداشت های تخصصی خویش را با در نظر گرفتن ساختار «علمی-ترویجی» بودن مجله، ارسال فرمایید. توجه فرمایید که در هنگام استفاده از نسخه 2010 بخش هایی از متن مقاله در نسخه های پایین تر به صورت به هم چسبیده نشان داده می شود، بنابراین هنگام ذخیره فایل، سازگاری ذخیره (Save Compatibility) به نسخه 2007 مورد توجه قرار گیرد. چکیده برای مقاله کامل حداقل 180 و حداکثر شامل 250 کلمه باشد. چکیده باید به طور صریح و شفاف، موضوع تحقیق و نتایج آن را مطرح کند. در چکیده از ذکر جزئیات کار، شکل ها، جدول ها، فرمول ها، و مراجع پرهیز شود (قلم: B Nazanin-9). لازم به ذکر است که مطالب در قالب «یادداشت فنی» نیازی به چکیده ندارد. مقالات و یادداشت های تخصصی خویش را تا زمان راه اندازی سایت مجله، به آدرس الکترونیکی irshrae@gmail.com ارسال فرمایید.

کلیدواژگان: حداقل 3 و حداکثر 5 واژه، با جداکننده کاما (قلم: B Nazanin-9).

شده ذیل استفاده نمایید. قلم نوشتاری متن مقاله B Nazanin-10
برای مطالب فارسی و Times Roman-8 برای واژه های لاتین است.
پاراگراف های دوم به بعد در هر عنوان با فرورفتگی به اندازه 5 میلی متر از شروع سطر و بدون فاصله پس یا پیش از پاراگراف است.
موقع استفاده از علایمی نظیر ، : ، ؛ و غیره، به خاطر داشته

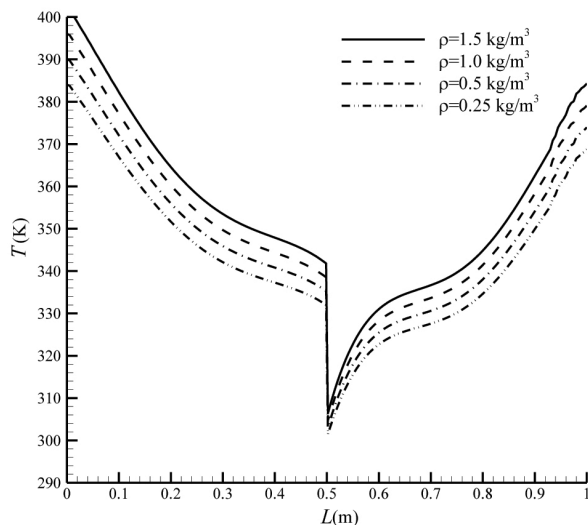
بخش های بعدی مقاله کامل از صفحه دوم شروع می شود

یادداشت فنی نیازی به چکیده ندارد (توصیه می گردد همواره فرمت آخرین شماره نشریه به عنوان الگو در نظر گرفته شود).

1. مقدمه (قلم: Bold B Nazanin-10)

برای آماده سازی مقاله کامل و یا یادداشت فنی از ساختار ارائه





شکل 1: اثر تغییرات چگالی بر دما در زوایای مختلف

به همه شکل‌ها، جدول‌ها و نمودارها در مقاله باید اشاره کرد. اشاره به شکل‌ها در متن، با ذکر شماره شکل و همان سبک متن مقاله و بدون پرانتز است. مگر در پایان جمله که در این حالت در داخل پرانتز اشاره می‌شود. محورهای مختصات فقط با پارامتر توصیف می‌شوند. شکل‌ها و جدول‌ها در هر صفحه در بالا و یا پایین هر ستون بعد از اولین ارجاع به آن جانمایی شوند.

شکل‌ها با زمینه سفید (زمینه خاکستری و یا رنگی نباشد) و بدون قاب اضافی بیرونی رسم می‌شود. مجله به صورت سیاه و سفید چاپ می‌شود. بنابراین اجزای شکل‌ها، نمودارها و جدول‌های رنگی باید به گونه‌ای باشند که در چاپ سیاه و سفید قابل تفکیک باشند. به خصوص در شکل‌هایی که کانتور رنگی دارند طیف رنگ استفاده شده باید در چاپ سیاه و سفید قابل تفکیک باشد. جدول‌ها حتی الامکان فقط با سه خط افقی اصلی و بدون خطوط عمودی تنظیم می‌شوند. جدول 1 نمونه صحیح جدول مورد تایید مجله را نشان می‌دهد.

جدول 1: نوع و اندازه قلم‌های استفاده شده در مجله

موقعیت استفاده ^{۱)}	نام قلم	اندازه قلم
عناوین بخش‌های سطح 1	بی‌نازنین پررنگ	10
عناوین بخش‌های سطح 2	بی‌نازنین پررنگ	9
متن اصلی مقاله	بی‌نازنین	10
عنوان شکل‌ها و جدول‌ها	بی‌نازنین	9
زیرنویس و آخرنویس فارسی	بی‌نازنین	8

باشید که کلیه این علائم بدون فاصله از حرف قبلی و با یک فاصله از حرف بعدی نوشته می‌شوند.

حداکثر صفحات پیش‌نویس مقاله 12 صفحه و برای یادداشت فنی 4 صفحه (با رعایت قالب فعلی) است.

2-1 اشاره به مراجع (قلم: Bold B Nazanin-9)

اشاره به مراجع با علامت [1] در متن مقاله شروع می‌شود و بقیه مراجع نیز به ترتیب ادامه می‌یابند. مراجع باید به ترتیب ارجاع در متن شماره‌گذاری شوند و نمی‌توان به منبع شماره 3 زودتر از منبع شماره 2 اشاره کرد. در اشاره به چند منبع پشت سر هم، به جای ذکر تک‌تک آن‌ها می‌توان یک‌جا اشاره کرد [4-2] و برای اشاره به دو یا چند منبع غیر متوالی در داخل براکت از جداکننده کاما استفاده می‌شود [2,5,7].

از ارجاع به مراجع به صورت: "در این موضوع محققان بسیاری تحقیق نموده‌اند [20-2]" خودداری شود. در مقاله‌های کامل ارجاع باید به طور عمده در بخش‌های اصلی مقاله صورت گیرد. مراجعی که فقط در مقدمه آورده شده‌اند در واقع مرجع پژوهش نیستند و تعداد آن‌ها باید اندک باشد.

1-2-1 کلمات انگلیسی (قلم: Bold B Nazanin-9)

در مقاله فارسی استفاده از کلمات انگلیسی^۱ مجاز نیست و حتماً باید معادل فارسی آن‌ها را در متن مقاله، شکل‌ها، نمودارها و جدول‌ها به کار برد. در صورت لزوم، اصل انگلیسی کلمات به صورت زیرنویس اشاره شود.

اشاره به زیرنویس با اعداد فارسی بوده و در هر صفحه از مقاله با عدد 1 شروع می‌شود. باید توجه کرد که از زیرنویس وقتی استفاده می‌شود که اولین بار آن کلمه در متن مقاله استفاده می‌شود و در دفعات بعدی نیازی به تکرار زیرنویس نیست.

2. شکل‌ها، جدول‌ها، نمودارها و روابط (قلم: Bold B Nazanin-10)

1-2-1 شکل‌ها و جدول‌ها (قلم: Bold B Nazanin-9)

شکل‌ها، جدول‌ها و نمودارها نیز با فرمت دوستونی در مقاله درج می‌شوند. در صورتی که نتوان آن‌ها را در اندازه یک ستون رسم نمود، و شکل مطلوب بیش از عرض یک ستون را اشغال کند، در بالا یا پایین صفحه و بعد از محل ارجاع درج می‌شوند. شکل 1، نمونه شکل با کیفیت و مورد تایید مجله را نشان می‌دهد.



انجمن علمی مهندسی حرارت و مایعات ایران

موقعیت استفاده ^(*)	نام قلم	اندازه قلم
متون داخل جدول‌ها (فارسی)	بی‌نازنین	9
متون داخل جدول‌ها (انگلیسی)	کامبریا	7
فرمول‌ها	کامبریا مٹ	9

(*) منظور جایگاه استفاده در مقاله است (فونت 8)

2-2 روابط و فرمول‌های ریاضی

روابط و فرمول‌های ریاضی با استفاده از ابزار معادله² موجود در نرم‌افزار آفیس با قلم کامبریا مٹ³ 9 و از سمت چپ تایپ می‌شوند و با شماره‌گذاری از یک مشخص شده و برای اشاره به آن‌ها از شماره فرمول در داخل پرانتز استفاده می‌شود. یادآور می‌شود در نسخه‌های 2007 به بعد نرم‌افزار آفیس، فونت کامبریا مٹ به طور پیش فرض برای نوشتن روابط و فرمول‌ها بکار رفته و کافی است اندازه آن در ابزار معادله تغییر کند.

در نوشتن فرمول‌ها رعایت نکات زیر الزامی است:

1. در فرمول نویسی پارامترها و متغیرها به صورت ایتالیک می‌آیند، ولی اعداد، کلمات، توابع مشخص و واحدها به صورت غیرایتالیک می‌آیند.
2. در صورتی که فرمول طولانی باشد و طول آن از یک سطر تجاوز کند، باید در جای مناسب شکسته شده و ادامه فرمول در سطر بعدی آورده شود و از فشردن آن پرهیز شود.
3. وقتی ادامه فرمول در سطرها بعدی آورده می‌شود، باید از سطر دوم به بعد از سمت چپ فرورفتگی داشته باشد.
4. شماره هر فرمول در گوشه سمت راست آخرین سطر فرمول درج می‌شود و در صورتی که در سطر آخر برای نوشتن شماره فرمول جا نباشد، در گوشه سمت راست سطر بعد نوشته می‌شود.
5. دقت شود از نقطه‌میز یا همان نقطه پایان جمله (a.b) به جای نقطه‌ضرب (a.b) استفاده نشود.

$$(\rho c_p)_{nf} \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{nf} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{nf} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\frac{k_{nf}}{k_{air}} = 1 + 4.4 \text{Re}_p^{0.4} \text{Pr}^{0.66} \left(\frac{T}{T_{fr}} \right)^{10} \left(\frac{k_s}{k_{bf}} \right)^{0.03} \varphi^{0.66} \quad (2\text{-الف})$$

3. قواعد نوشتاری

تلاش شود در متن مقاله از جملات رسا، گویا و کوتاه استفاده شود و از نوشتن جملات تودرتو پرهیز شود. جداسازی اجزای مختلف

یک جمله نیز نقش زیادی در فهم آسان آن دارد. درستی نوشتار بر پایه املائی زبان پارسی ضروری است. در این بخش، برخی از موارد اشتباه متداول یادآوری می‌شود.

در افعال حال و گذشته استمراری باید دقت شود که «می» از جزء بعدی فعل جدا نماند. برای این منظور از «فاصله متصل» استفاده کنید. برای نوشتن فاصله متصل از «کلید Ctrl» به همراه «کلید -» استفاده کنید. همچنین دقت کنید که جزء «می» و جزء بعدی فعل را به صورت یکپارچه ننویسید. بنابراین «می شود» و «میشود» اشتباه، و درست آن «می‌شود» است.

در مورد «ها»ی جمع نیز دقت کنید که از کلمه جمع بسته شده جدا نوشته شود. برای جدانویسی نیز از فاصله متصل استفاده کنید. مثلاً «شکل‌ها» را به صورت «شکل‌ها» بنویسید. جمع بستن کلمات پارسی یا لاتین با قواعد زبان عربی اشتباه است. بنابراین، «پیشنهادات» و «اساتید» اشتباه و درست آن‌ها «پیشنهادها» و «استادان» است.

3-2 علایم، نشانه‌ها و ارقام

از علایم و نشانه‌های متداول در زبان فارسی و همچنین از علایم و نشانه‌های به‌کار رفته در متون مهندسی مکانیک می‌توان استفاده نمود. باید از ارقام فارسی برای نشان دادن اعداد استفاده نمود، مگر آنکه به صورت عمدی در مقاله از چند گروه ارقام استفاده شده و این گروه‌بندی در علایم و نشانه‌ها ذکر شده باشد. اندازه و قلم علایم در داخل فرمول و در داخل متن و در لیست علایم باید دقیقاً یکسان باشد.

در صورت نیاز، لیست علایم و نشانه‌ها، در انتهای مقاله و پیش از مراجع درج می‌شود. این لیست به صورت جدول دوستونی و ترتیب الفبایی تنظیم شده و هر سطر به ترتیب شامل نماد و شرح (و ابعاد) آن است. مثال:

4. فهرست علایم

ρ	فشار ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$)
Pr	عدد پرانتل
u_j	سرعت (ms^{-1})
T	دما (K)

علایم یونانی

ρ	چگالی (kgm^{-3})
--------	-----------------------------

μ (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	لزجت دینامیکی
SGS	مقیاس زیرشبکه
air	هوا
Ave	مقدار متوسط
nf	نانو سیال

5. تقدیر و تشکر و پیوست‌ها

در صورت وجود تقدیر و تشکر و پیوست در مقاله، به ترتیب در انتهای مقاله و پس از لیست علائم و نشانه‌ها آورده می‌شود. باید به پیوست‌ها در متن مقاله اشاره و ارجاع شده باشد.

6. مراجع

مراجع فارسی زبان با قلم B Nazanin-8 و به زبان فارسی نوشته شوند. مراجع لاتین با قلم کامبریا 7 نوشته می‌شوند. شماره مرجع داخل گروه و با ایجاد بیرون‌زدگی 5 میلی‌متر از خط دوم هر مرجع، نوشته می‌شود. در ادامه چند مثال از نحوه نگارش مراجع مطابق با ساختار مجله آورده شده است.

به ایتالیک یا ساده بودن فونت‌ها توجه شود. توجه شود که فقط نام نشریه [1,2]، نام کتاب [3,4]، عنوان اصلی و فصل کتاب در کتاب‌های گردآوری شده [5] عنوان کنفرانس یا کتابچه مقالات آن [6,7]، عنوان پایان‌نامه یا رساله [8,9] عنوان مطلب درج شده در وبسایت اینترنتی [10,11]، عنوان اختراع [12] و عنوان گزارش [13] و نظایر آن، ایتالیک هستند.

[1] امیدوار، ا. و امینی، ا.، پیش بینی خواص فیزیکی و مشخصات قطره سازی زیست سوخت به دست آمده از ریزجلیک کلامیدوموناس، نشریه علمی-پژوهشی سوخت و احتراق، سال سوم، شماره دوم، زمستان 89

[2] S. G. Tuttle, S. Chaudhuri, K. M. Kopp-Vaughan, T. R. Jensen, B. M. Cetegen, M. W. Renfro, J. M. Cohen, *Lean blowoff behavior of asymmetrically-fueled bluff body-stabilized flames*, *Combustion and Flame*, Vol. 160, No. 9, pp. 1677-1692, 2013.

[3] پرتوی، ع.، انرژی‌های نو، انرژی برای آینده‌ای پایدار، انتشارات دانشگاه تهران، 1386، چاپ اول.

[4] T. Itoh, *Numerical Techniques for Microwave and Millimeter and Millimeter-Wave Passive Structures*, Second Edition, pp. 305-320, New York: Wiley, 1989.

[5] M. Kaviany, *Heat transfer in porous media*, in: W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho (Eds.), *Handbook of Heat Transfer*, pp. 9.32-9.43, New York: McGraw-Hill, 1998.

[6] نجفی، ب.، پیروزیانه، و. و قبادیان، ب.، تأثیر استفاده از بیودیزل در کاهش آلاینده‌گی موتور دیزل، مجموعه مقالات اولین کنفرانس احتراق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، بهمن ماه 1384.

[7] V. P. Carey, *Modeling of microscale transport in multiphase systems*, in *Proceeding of The Eleventh Heat Transfer Conference*, Philadelphia: Taylor & Francis, pp. 231-240, 1998.

[8] علی محمدی، تولید آب شیرین با استفاده از تقطیر هوا در لوله‌های مدفون در زیر زمین، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، 1391

[9] L. Jonas, *Hydrodynamic limit of lattice Boltzmann equations*, PhD Thesis, University of Genève, Genève, 2007.

[10] S. F. Hassell, *Stress Analysis in Pressure Vessels*, Accessed 8 September 2009; <http://www.shieldco.com/tutorial/24>.

[11] *Methods of gas consumption reduction in residential and commercial buildings*, Accessed 20 July 2013; <http://www.ifco.ir/building/ConservationHints/Intro.asp>.

[12] W. F. Merkel, W. M. Jones, R. G. Klimo, *HVAC adjustment module*, US Patent No. 8493008, 2013.

[13] J. Davids, D. Smith, *Analysis of constant-velocity joints under high torque*, HMSO, London. pp. 11996, 8. {Carey, 1998 #8}

پی‌نوشت:

1. English
2. Insert -> Symbols -> Equation
3. Cambria Math





فرم اشتراک دو فصلنامه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

پژوهشگران و علاقه‌مندان گرامی می‌توانند در صورت تمایل فرم اشتراک نشریه را تکمیل و به آدرس ذیل ارسال فرمایند.
هزینه اشتراک برای دو شماره در سال، متعاقباً اعلام خواهد شد.

شخصی نام: نام خانوادگی: تاریخ اشتراک:

موسسه نام موسسه:
از شماره: الی تعداد مورد نیاز:

وضعیت اشتراک: جدید تجدید اشتراک کد اشتراک قبلی:

شغل:

نشانی کامل پستی:

تلفن ثابت: تلفن همراه: فکس:

نشانی نشریه: تهران، شهرک قدس، بلوار شهید دامن، جنب بزرگراه یادگار امام، پژوهشگاه نیرو، ساختمان معاونت
امور انرژی، طبقه همکف، اتاق ۱۸ - تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۹۱۵۳۹ - فکس: ۰۲۱-۸۸۰۹۱۵۳۹ - صندوق پستی: ۱۴۶۶۵-۱۱۶۹

info@irshrae.ir

irshrae@gmail.com

توجه: در صورت تغییر نشانی و یا عدم دریافت نشریه، مراتب را کتبا یا تلفنی به دفتر نشریه اعلام فرمایید.



دو فصلنامه علمی - تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو ... / ... شماره اول ... / ... بهار ۱۳۹۳