



پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

مجله علمی تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۴، پاییز ۱۳۹۶



شبیه‌سازی سه بعدی تأثیر میله‌های جمع‌کننده- جریان بر عملکرد پیل سوختی اکسید جامد

صفحه‌ایاکتشاف منبع زمین‌گرمایی قزل‌قایه بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و تراسنجی

بررسی وضعیت فناوری‌های متمرکز شونده خورشیدی در ایران و کشورهای شاخص خاورمیانه

راهکارهای ارتقاء جایگاه ایران



# به نام خدا

## گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: شهریار بزرگمهری

سر دبیر: مهدی رحیمی تاکامی

مدیر اجرایی: مهدی رحیمی تاکامی

گرافیکست و صفحه‌آرا: حامد محبی

ویراستار: محمد گل محمد

عکس روی جلد: حامد محبی

## اعضای هیئت تحریریه:

دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی تاکامی، مهندس نوید توسلی، مهندس مرتضی ترابی، دکتر حمید عبدلی، دکتر خالد آذری، دکتر داور ابراهیمی، مهندس جواد نورعلی، مهندس مهدی رضایی، مهندس علی هاشمی، مهندس حامد محبی، مهندس احسان لیوانی، مهندس محمد خلج، مهندس مهدی اخلاقی، مهندس سینا سالمی، مهندس مرتضی ترابی، دکتر محمد گل محمد

## همکاران این شماره:

همکاران گروه: دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی تاکامی، مهندس نوید توسلی، دکتر محمد گل محمد، مهندس حامد محبی

همکاران معاونت پژوهشی: دکتر حسنی مرزونی،  
نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: [Energy@nri.ac.ir](mailto:Energy@nri.ac.ir)

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

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

## اعضای هیئت‌داوران:

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

## اهداف و رویکرد:

«برونداهای تخصصی گروه پژوهشی انرژی‌های  
تجدیدپذیر» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب  
برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با این  
بخش در صنعت برق به صورت داخلی منتشر می  
شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه  
بهبتر شدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب  
آن با ذکر منبع بلامانع است.  
مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده  
بر عهده نویسندگان است.



۱	• سخن سردبیر
۲	• پیشی گرفتن تولید برق بادی از ذغال سنگ در ایالت تگزاس آمریکا
۶	• آشنایی با مؤسسه انجمن انرژی بادی اروپا (EWEA)
۱۵	• شبیه سازی سه بعدی تأثیر میله های جریان بر عملکرد پیل سوختی اکسید جامد
۲۳	• اکتشاف منبع زمین گرمایی قزل قایه بر اساس مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمیایی و ثقل سنجی
۴۰	• بررسی وضعیت فناوری های متمرکز شونده خورشیدی در ایران و کشورهای شاخص خاورمیانه و راهکارهای ارتقاء جایگاه ایران
۵۴	• کنفرانس انرژی خورشیدی فوتولتائیک ۲۰۱۷
۵۷	• معرفی کتاب

## سخن سردبیر

خرید برق تضمینی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر جهت توسعه این صنعت و همچنین افزایش سهم این حوزه در سبد انرژی کشور با الگوگیری از دیگر کشورها به عنوان یک راهکار اساسی شناخته شده است و در همین راستا به عنوان اولین گام در این بخش قیمتهای خرید تضمینی از طریق سانا مشخص شد و مقرر گردید منابع مالی مورد نیاز آن از طریق اعمال تعرفه برای هر کیلووات ساعت برق مصرفی تامین گردد.

با توجه به وضعیت اقتصادی کشور و هزینه‌های تامین سرمایه در داخل کشور امکان توسعه نیروگاههای تجدیدپذیر از منابع داخلی وجود نداشت و به همین دلیل با استقبال خوبی از طرف سرمایه‌گذاران داخلی مواجه نشد. اما از طرف دیگر با توجه به نرخهای مصوب و علیرقم کاهش آن پس از یکسال از اجرا، این طرح با تامین مالی از خارج از کشور بسیار جذاب بوده است، بطوری که مجوزهای بسیار زیادی در این زمینه صادر شده است، اما در این حالت نیز به دلیل مشکلات موجود ناشی از تحریمها و عدم اطمینان کافی روند توسعه بسیار کند حرکت کرده است، به گونه‌ای که بسیاری از مجوزهای صادر شده به سرانجام نرسیده است. اما در سال جاری با توجه به پرداختهای به موقع و تاثیرگذاری برجام شاهد روند رو به رشدی در نصب و راهاندازی نیروگاههای تجدیدپذیر می‌باشیم، به گونه‌ای که امید است تا پایان سال ظرفیت نیروگاههای تجدیدپذیر نصب شده به حدود ۵۰۰ مگاوات برسد. اما از طرف دیگر به نظر می‌رسد، با ادامه این روند رو به رشد به زودی منابع مالی حاصله از دریافت ۵۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت مصرفی از مصرف‌کننده‌ها برای پرداخت کافی نباشد و نیاز می‌باشد برای تامین آن منابع مالی دیگری بوجود آید. این موضوع را می‌توان یکی از چالشهای تصمیم‌گیران در سال آینده دانست.

مهدی رحیمی تاکامی  
گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

## پیشی گرفتن ظرفیت تولید برق بادی از ذغال سنگ در ایالت تگزاس آمریکا [۱]

تحقیقی که توسط محققان دانشگاه تگزاس در شهر آستین<sup>۱</sup> و در مؤسسه انرژی این دانشگاه انجام گرفته است، نشان می‌دهد که ظرفیت تولید برق بادی در ایالت تگزاس آمریکا از ظرفیت تولید برق مبتنی بر سوخت ذغال‌سنگ پیشی گرفته است. پیش بینی می‌شود که در اوایل سال آینده میلادی، برق بادی نسبت به ذغال‌سنگ از رشد جهشی برخوردار خواهد بود که این امر به دلیل افزایش تعداد مزارع بادی است؛ در حالی که تعداد نیروگاه‌های ذغال‌سنگی که تعطیل می‌شوند رو به فزونی است.

طبق گزارش مؤسسه مذکور، شرکت *Vistra Energy* سه نیروگاه بزرگ ذغال‌سنگ خود را که توسط شرکت زیرمجموعه خود به نام *Luminant* اداره می‌شد، در اوایل سال ۲۰۱۸ تعطیل می‌کند. این شرکت اعلام داشته است که عملیاتی نگاه داشتن سه نیروگاه مذکور دیگر در بازار *ERCOT*<sup>۲</sup> تگزاس صرفه اقتصادی ندارد. *Curt Morgan* رئیس و مدیرعامل *Vistra Energy* می‌گوید: "این سه نیروگاه دارای ظرفیت تولید برق ۴/۲ گیگاوات ساعت می‌باشند اما به جهت قیمت‌های بی‌سابقه پایین برق، گردش مالی آن‌ها متأثر شده و دیگر ادامه سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های ذغال‌سنگ توجیه اقتصادی ندارد".

<sup>۱</sup> - Austin's Energy Institute

<sup>۲</sup> - Energy Reliability Council of Texas

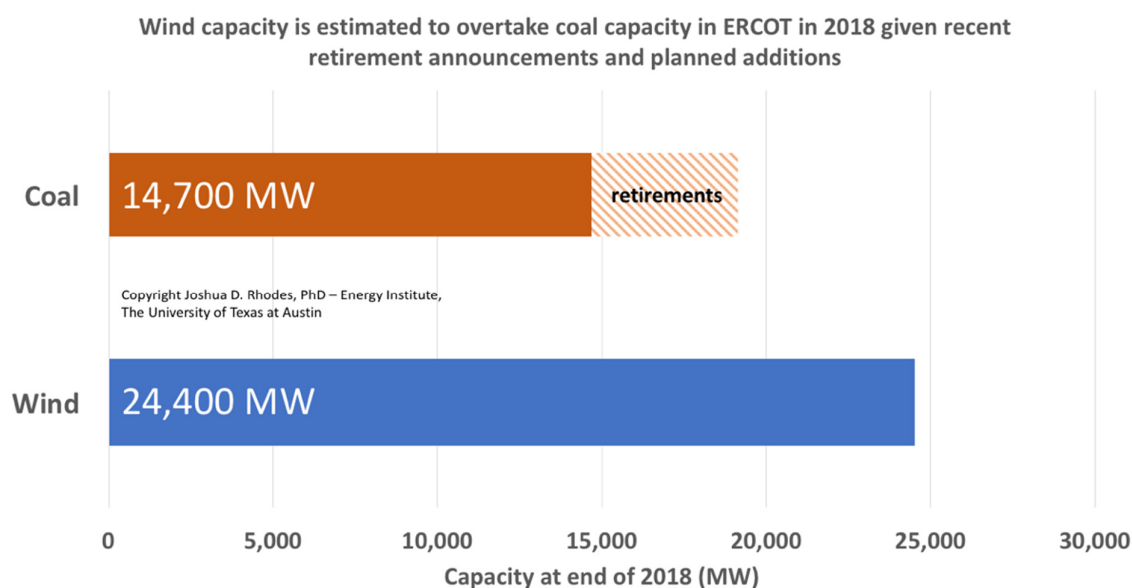


شکل (۱): تصویری از نیروگاه تولید برق از ذغال سنگ Monticello شرکت Luminant (زیرمجموعه Vistra Energy) در ایالت تگزاس آمریکا که طبق برنامه در اوایل سال ۲۰۱۸ میلادی تعطیل خواهد شد [۲].

گزارش مؤسسه انرژی در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۷ بیان می‌دارد که "تعطیلی نیروگاه‌های ذغال‌سنگ توسط شرکت Luminant بدین معنی است که ERCOT به زودی ظرفیت عظیم تولید برق ذغال‌سنگ را از دست خواهد داد. انتظار می‌رود که در همین زمان ظرفیت برق بادی در حدود ۴۰۰۰ مگاوات (۴ گیگاوات) در سال ۲۰۱۸ افزایش یابد که به معنی این است که به زودی ظرفیت برق بادی در تگزاس از ذغال سنگ پیشی می‌گیرد. با توجه به شرایط موجود و پیش رو، تصور این که تولید انرژی از باد می‌تواند در آینده نزدیک از ذغال سنگ پیشی بگیرد، امکان‌پذیر خواهد بود.

Joshua Rhodes یک محقق در مؤسسه انرژی در ۱۶ اکتبر ۲۰۱۷ به مجله POWER گفت که پیشی گرفتن ظرفیت برق بادی از ذغال‌سنگ "شاید اتفاق افتاده باشد". در انتهای سال ۲۰۱۸، ممکن است ظرفیت تولید

برق بادی نسبت به ذغال سنگ در حدود ۱۰ گیگاوات بیشتر - در بازار ERCOT - بیشتر باشد. وی مقایسه‌ای میان ظرفیت برق بادی و ذغال سنگ - به ترتیب ۲۴۴۰۰ و ۱۴۷۰۰ مگاوات - برای انتهای سال ۲۰۱۸ را انجام داد (شکل ۱) طبق گزارش انجمن انرژی بادی آمریکا (AWEA)<sup>۱</sup> ایالت تگزاس از بالاترین ظرفیت نصب شده تولید برق بادی (بیش از ۲۱۰۰ مگاوات) در کل آمریکا برخوردار است.



شکل (۲): مقایسه ظرفیت تولید برق بادی و ذغال سنگ در انتهای سال ۲۰۱۸ [۱].

تحلیل مجله POWER که بر اساس اعلام رسمی تعطیلی نیروگاه‌های ذغال سنگ انجام گرفته است، نشان می‌دهد که طبق برنامه‌های اعلامی در سال آینده میلادی، نیروگاه‌های تولید برق با ظرفیتی بیش از ۱۳۶۰۰ مگاوات در آمریکا تعطیل خواهند شد که این میزان مورد انتظار ۷۶۰۰ مگاوات در سال ۲۰۱۷، نزدیک به

<sup>۱</sup> - American Wind Energy Association

۱۳۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۱۶ و کم تر از ۱۸۰۰۰ مگاوات ظرفیت تولید برق مبتنی بر ذغال سنگ تعطیل شده در سال ۲۰۱۵ میباشد.

#### منابع

- [1] Proctor, D. (2017, October 16). Retrieved from: <http://www.powermag.com/wind-generation-capacity-outpacing-coal-in-texas/>
- [2] Editors (2017, October 6). Luminant to close 1,800-MW coal-fired Monticello power plant. *POWER Engineering*. Retrieved from: <http://www.power-eng.com/articles/2017/10/luminant-to-close-1-800-mw-coal-fired-monticello-power-plant.html>



**EWEA**  
THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION

معرفی موسسه

## آشنایی با انجمن انرژی بادی اروپا (EWEA)<sup>۱</sup>

### ۱- تاریخچه<sup>[۱]</sup>

در آغاز ماه سپتامبر سال ۱۹۸۲ میلادی، تنی چند از سازندگان ماشین‌آلات کشاورزی اروپا به کالیفرنیا آمریکا رفتند تا بازار انرژی بادی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دهند. چند هفته بعد، آن‌ها با سفارش‌های کافی برای شروع مجموعه تولیداتی از توربین‌های بادی، به اروپا بازگشتند. قبل از پایان همان سال، بیش از ۲۵ تا ۳۰ توربین بادی تولید، ارسال و نصب گردید؛ سال پس از آن ۳۵۰ توربین با ظرفیت کلی بالغ بر MW ۲۰ صادر گردید. این امر آغاز جنبشی بود که بعدها به "یورش باد کالیفرنیا"<sup>۲</sup> نام گرفت.

هم زمان با سفر سازندگان اروپایی به کالیفرنیا، انجمن انرژی بادی اروپا (EWEA) به طور رسمی در استکهلم سوئد شروع به کار کرد. Gijbrecht، اولین رئیس این انجمن، درباره آن چنین گفت: "EWEA برای گردآوری جمع کثیری از مردمانی شکل گرفت که در سراسر اروپا در زمینه این فناوری کار می‌کنند."

در سال ۲۰۱۲، EWEA سی‌امین سالگرد تأسیس خود را جشن گرفت. پس از سه دهه، تحت نظارت سیاست انرژی بادی اروپا، EWEA در کنار صنعت انرژی بادی رشد کرد به طوری که اکنون این انجمن به بازیگری مهم در صنعت انرژی بدل گشته است.

<sup>۱</sup> - European Wind Energy Association

<sup>۲</sup> - California wind rush

مولدهای توربین بادی از ۵۵ kW در سال ۱۹۸۲ به ۵۰۰۰ kW امروز و قطر روتور آن‌ها از ۱۵ m به ۱۲۶ m رشد و افزایش یافته‌اند؛ ظرفیت نصب شده جهانی آن‌ها اکنون به ۱۹۴۰۰۰ MW رسیده است که در مقایسه با ۱۰۰ MW سال ۱۹۸۰ رشد و پیشرفت خیره کننده و قابل توجهی داشته‌اند. فقط در اروپا، سهم انرژی بادی از تولید برق از ۰/۰۰۱٪ به ۴٪ افزایش یافته است و سازندگان اروپایی همچنان به برتری و حاکمیت خود بر بازار جهانی و رو به رشد انرژی بادی هنوز ادامه می‌دهند.

در سال ۱۹۸۲، EWEA چالش تشویق و ترویج استفاده از انرژی بادی را به راه انداخت و به نیروی محرکه‌ای برای توسعه یک منبع انرژی پایدار تبدیل گشت. مسیر رسیدن به این موفقیت، طولانی و نیازمند تحقیقات، آموزش، توسعه و شور و اشتیاق وصف‌ناپذیری بوده است.

در انتهای سال ۱۹۷۰، زمانی که مجله صنعت انرژی بادی Wind Directions اولین بار منتشر شد، امید بر این بود که این مجله به مجمعی برای تبادل ایده‌ها و اطلاعات در مورد برق بادی تبدیل شود. هنگامی که EWEA در سپتامبر سال ۱۹۸۲ تأسیس گردید، هدف اصلی آن به صورت "بالا بردن سطح همکاری‌ها میان سازمان‌های برق بادی اروپا و محرک و انگیزه‌ای برای آگاه بین‌المللی درباره پتانسیل انرژی بادی" تعریف، تنظیم و نگاشته شد. در اوایل عمر انجمن، صنعت انرژی بادی مانند آن چه امروز می‌شناسیم نبود بلکه بیشتر یک جاه‌طلبی غیر واقعی تصور می‌شد. "ما حرفمان بیشتر از مگاواتمان است"، این بخشی از گفته‌های John Twidell در اولین همایش این انجمن بود. او می‌گوید: "امروز، ما مگاوات را داریم". در سال ۲۰۱۰، زمانی که برق بادی ۴۱٪ از کل ظرفیت تولید برق در اتحادیه اروپا را تشکیل می‌داد، ۱۷٪ آن برق بادی بود. سیستم قانون‌گذاری اتحادیه اروپا در هدف‌گذاری‌های خود، رسیدن به سهم ۲۰ درصدی انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی تولید تا سال ۲۰۲۰ را مد نظر قرار داده است. طبق این هدف‌گذاری، بایستی در همان سال،

۳۴ از کل مصرف برق اتحادیه اروپا از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود. برق بادی قرار است ۱۸٪ -  
۱۵ از کل برق مصرفی در سال ۲۰۲۰ را تأمین نماید.

## ۲- اهداف [۲]

اهداف EWEA به قرار زیر می‌باشد:

- تشویق و ترویج سیاست‌های ملی، اروپایی و بین‌المللی و ابتکاراتی که توسعه بازارها، فناوری‌ها و سیستم تولید و توزیع برق انرژی بادی در اروپا و جهان را استحکام می‌بخشند؛
- تشویق و ترویج تحقیق، توسعه و نوآوری در زمینه انرژی بادی؛
- بر عهده گرفتن نقش صدای واحد صنعت انرژی بادی اروپا از طریق تلاش‌های مشترک اعضا؛
- نیروی محرکی برای جهت‌دهی بخش انرژی بادی در آینده.

طبق اساسنامه انجمن، اهداف فوق از طرق زیر نائل می‌شوند:

- ایجاد ارتباط مؤثر و ورود به فرآیندهای تصمیم‌گیری سیاسی؛
- ترویج علائق صنعت انرژی بادی در مراکز تصمیم‌گیر سیاسی و تجاری؛
- تقویت ظرفیت انجمن‌های ملی به ویژه در بازارهای کلیدی؛
- ایجاد هماهنگی میان صنعت و مؤسسات اروپایی و اعضای دولت‌های عضو در تمام سطوح؛
- ایفای نقش به عنوان منبع اطلاعاتی اصلی برای داده‌های با کیفیت، معتبر و دقیق؛

- حصول اطمینان از این که هر نمایشگاه و کنفرانسی که انجمن برگزار می‌کند، همچنان همایش‌های کلیدی برای صنعت انرژی بادی خواهند بود، تنظیم دستور و برنامه کاری سیاسی و فراهم نمودن بهترین فرصت‌های شبکه‌ای<sup>۱</sup> و تجاری.

### ۳- عضویت<sup>[۲]</sup>

این انجمن از اعضای فعال در بخش انرژی بادی تشکیل می‌شود که ممکن است شرکت‌ها یا سازمان‌های غیر انتفاعی باشند:

- در این انجمن تعداد اعضاء نامحدود است اما نبایستی کم‌تر از ۳ عضو باشد.
- هر عضو بایستی از اهداف و راهبردهای انجمن حمایت نماید.
- حق عضویت هر عضو به مدت یک سال اعتبار دارد.
- هر عضو برای اهداف و مقاصد غیر تجاری می‌تواند از علامت تجاری<sup>۲</sup>، نام تجاری، علائم، ابزارها یا لوگوهای انجمن استفاده نماید.
- اعضای انجمن به چند گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که هر کدام حقوق و محدودیت‌های مختص به خود را دارند. این گروه‌ها عبارتند از: سازمان‌های غیر انتفاعی و شرکت‌ها.

### ۳-۱- عضویت سازمان‌های غیر انتفاعی

این سازمان‌ها خود به دو زیرگروه تقسیم‌بندی می‌شوند: دسته A1 و دسته A2.

---

<sup>1</sup> - networking  
<sup>2</sup> - trademark

**دسته A1:** انجمن‌هایی که به طور گسترده‌ای برای فعالیت‌هایشان در زمینه انرژی بادی شناخته شده هستند و در قلمرو اتحادیه اروپا واقع شده‌اند (کشورهای EU یا EFTA). این گروه خود از سه زیر گروه تشکیل می‌شود:

- انجمن‌های بزرگ: با بیش از ۵۰۰ عضو و/ یا گردش مالی سالانه بیش از ۵۰۰۰۰۰۰ یورو؛
- انجمن‌های متوسط: با بیش از ۵۰۰ - ۱۰۰ عضو و/ یا گردش مالی سالانه بیش از ۵۰۰۰۰۰ - ۱۰۰۰۰۰۰ یورو؛
- انجمن‌های کوچک: با کم‌تر از ۱۰۰ عضو و/ یا گردش مالی سالانه کم‌تر از ۱۰۰۰۰۰۰ یورو.

**دسته A2:** سایر سازمان‌های غیر انتفاعی با علاقه<sup>۱</sup> مستقیم یا غیر مستقیم در صنعت انرژی بادی. این دسته، مؤسسات تحقیقاتی و اکادمیک فعال در زمینه انرژی بادی و آن‌هایی که در دسته C قرار نمی‌گیرند را در بر می‌گیرد.

### ۲-۳- عضویت شرکت‌ها

دسته C مربوط به عضویت شرکت‌ها می‌باشد که خود از ۵ زیر گروه تشکیل می‌گردد:

**دسته C1:** شرکت‌هایی با گردش مالی جهانی بیش از ۵۰ میلیون یورو در حوزه انرژی بادی؛ توسعه‌دهندگان، تولیدکنندگان برق و صاحبان دارایی<sup>۲</sup> با ظرفیت نصب شده جهانی بیش از ۲۰۰ MW (۲۰۰ MW) ۱ ظرفیت در حال توسعه در این محاسبه به صورت ۰/۵ MW محسوب می‌شود).

<sup>1</sup> - interest

<sup>2</sup> - asset owners

**دسته C2:** شرکتهایی با گردش مالی جهانی ۵۰ - ۱۰ میلیون یورو در حوزه انرژی بادی؛ توسعه‌دهندگان، تولیدکنندگان برق و صاحبان دارایی با ظرفیت نصب شده جهانی ۲۰۰ MW - ۱۰۰ MW (۱ MW ظرفیت در حال توسعه در این محاسبه به صورت ۰/۵ MW محسوب می‌شود).

**دسته C3:** شرکتهایی با گردش مالی جهانی ۱۰ - ۱ میلیون یورو در حوزه انرژی بادی؛ توسعه‌دهندگان، تولیدکنندگان برق و صاحبان دارایی با ظرفیت نصب شده جهانی ۱۰۰ MW - ۳۰ MW (۱ MW ظرفیت در حال توسعه در این محاسبه به صورت ۰/۵ MW محسوب می‌شود).

**دسته C4:** شرکتهایی با گردش مالی جهانی کم‌تر از ۱ میلیون یورو در حوزه انرژی بادی؛ توسعه‌دهندگان، تولیدکنندگان برق و صاحبان دارایی با ظرفیت نصب شده جهانی کم‌تر از ۳۰ MW (۱ MW ظرفیت در حال توسعه در این محاسبه به صورت ۰/۵ MW محسوب می‌شود).

**دسته LM:** این دسته به اعضای پیشرو (LM)<sup>۱</sup> تعلق دارد. این دسته خود به سه زیرگروه تقسیم می‌گردد که هر کدام متناسب با فعالیت‌ها و راهبردهای خود، از مجموعه‌ای از خدمات ویژه بهره‌مند خواهند شد:

- رهبران بازار<sup>۲</sup>
- سازندگان و سایر شرکتهای
- توسعه‌دهندگان، تولیدکنندگان برق و صاحبان دارایی

<sup>۱</sup> - Leading Members  
<sup>۲</sup> - market leaders

#### ۴- مجمع عمومی [۲]

مجمع عمومی EWEA از تمامی اعضاء تشکیل می‌شود. رئیس هدئیت مدیره یا در غیاب او، معاون وی و یا در غیاب آن‌ها، مدیرعامل ریاست مجمع عمومی را بر عهده دارد. این مجمع از اختیارات متعددی برخوردار است که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- اصلاح مواد اساسنامه انجمن؛
  - اخراج یک عضو؛
  - انتخاب، عزل و نصب اعضای هیئت مدیره؛
  - تصمیم‌گیری برای شروع اقدامات قانونی علیه هر یک از اعضاء یا اعضای هیئت مدیره انجمن؛
  - انحلال انجمن.
- طبق اساسنامه EWEA، مجمع عمومی باید سالیانه یک بار تشکیل جلسه دهد. هر یک از اعضای گروه‌های A1، A2، C1، C2، C3، C4 و LM از حق رأی متفاوتی برخوردارند (جدول ۱).

جدول (۱): تعداد حق رأی اعضای زیرگروه‌های مختلف EWEA در مجمع عمومی [۴].

زیرگروه حق رأی	
۲	A1
۱	A2
۴	C1
۳	C2
۲	C3
۱	C4
۱۰	LM

## ۵- هیئت مدیره [۲۰۳]

به عنوان یک انجمن غیر انتفاعی، EWEA توسط هیئت مدیره منتخب اعضاء در AGM، اداره می‌شود. تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ این هیئت دارای ۲۴ عضو بوده است. هیئت مدیره، رئیس و معاون رئیس هیئت مدیره را انتخاب می‌کند. رئیس هیئت مدیره، مدیرعامل یکی از اعضای پیشرو (LM) انجمن می‌باشد که به مدت ۱۸ ماه برای این سمت منصوب می‌گردد.

هیئت مدیره EWEA شش بار در سال تشکیل جلسه می‌دهد و مطابق اساسنامه انجمن بایستی حداقل از سه عضو تشکیل و شامل موارد زیر باشد:

- ۱ رئیس هیئت مدیره

- ۱ نماینده از هر کدام از اعضای پیشرو (LM) (از جمله معاون رئیس)

- ۴ نماینده از گروه C

- ۳ نماینده از دسته A1

اعضای هیئت مدیره برای یک دوره ۲ ساله انتخاب می‌گردند.

در حال حاضر، Marcus Tacke مدیرعامل برق بادی و تجدیدپذیر زیمنس آلمان، ریاست هیئت مدیره و Jose Lopez-Tafall Bascuñana از شرکت Acciona معاون این هیئت می‌باشند. هم اکنون در هیئت مدیره EWEA، ۱۸ کرسی متعلق به گروه پیشرو، ۴ کرسی متعلق به گروه C و ۳ کرسی نیز متعلق به گروه A1 می‌باشد.

منابع

- [1] European Wind Energy Association (EWEA). (2018, February 21). Retrieved from: <http://www.ewea.org/history/>
- [2] European Wind Energy Association (EWEA). (2016). *Statutes of WindEurope, formally known as 'European Wind Energy Association', including the modifications adopted at the annual general meeting held on 16 June 2016*. Retrieved from: [http://www.ewea.org/fileadmin/files/about-us/WindEurope\\_Statutes\\_-\\_16\\_June\\_2016.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/about-us/WindEurope_Statutes_-_16_June_2016.pdf)
- [3] European Wind Energy Association (2018, February 21). (November, 2017). Retrieved from: <http://www.ewea.org/governance/>

## شبیه‌سازی سه بعدی تأثیر میله‌های جمع‌کننده جریان بر عملکرد پیل سوختی اکسید جامد صفحه‌ای

(ارائه شده در چهارمین کنفرانس هیدروژن و پیل سوختی - اردیبهشت ماه ۱۳۹۶)

موسی اشرفی<sup>۱</sup>، همایون کنعانی<sup>۲</sup>، حامد محبی<sup>۱\*</sup>

**چکیده:** یکی از چالش‌های موجود در طراحی پیل‌های سوختی اکسید جامد کاهش اتلافات می‌باشد که تلفات اهمیک یک از آن‌ها است. در مقاله حاضر به بررسی تأثیر وجود میله‌های جمع‌کننده‌ی جریان و همچنین تأثیر تغییر قطر آن بر عملکرد پیل سوختی پرداخته می‌شود. بدین منظور یک پیل سوختی اکسید جامد صفحه‌ای با آرایش جریان متقاطع به کمک دینامیک سیالات محاسباتی به صورت سه بعدی شبیه‌سازی می‌شود که نتایج شبیه‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت دارند. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد میله‌های جمع‌کننده‌ی جریان تلفات اهمیک را کاهش می‌دهد و لذا با حذف میله‌ها و استخراج جریان از سطح اینترکانکت‌ها و یا با افزایش قطر میله‌ها می‌توان توان حداکثری قابل استخراج از پیل سوختی را افزایش داد.

**کلمات کلیدی:** پیل سوختی اکسید جامد صفحه‌ای، دینامیک سیالات محاسباتی، میله‌های جمع‌کننده جریان، افت‌های اهمیک

### ۱- مقدمه

پیل سوختی وسیله‌ای است که انرژی شیمیایی را در یک فرآیند الکتروشیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. پیل‌های سوختی به دلیل بازدهی بالاتر نسبت به موتورهای احتراق داخلی مورد توجه روز افزون قرار دارند. در میان انواع پیل‌های سوختی، پیل سوختی اکسید جامد به دلیل کاربردهای مسکونی، نیروگاه‌های تولید پراکنده، بازدهی بالاتر در سیستم‌های تولید همزمان حرارت و توان و همچنین قابلیت استفاده از سوخت‌های

<sup>۱</sup> - گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو. پست الکترونیک نویسنده مسئول (\*): [hmohebbi@nri.ac.ir](mailto:hmohebbi@nri.ac.ir)

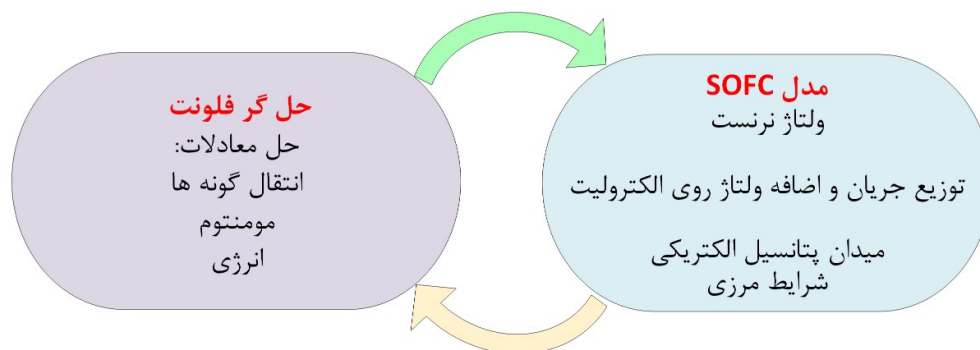
<sup>۲</sup> - استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد هشتگرد

گوناگون و ارزان، این نوع پیل سوختی را که تمامی اجزای آن در حالت جامد می‌باشند، مورد توجه محققان برای بهبود عملکرد قرار داده است. این نوع پیل سوختی دارای دو نوع صفحه‌ای و لوله‌ای است که نوع صفحه‌ای آن به دلیل قابلیت ساخت و آب‌بندی بهتر بیش‌تر از نوع دیگر مورد توجه می‌باشد [۱]. علاوه بر آن نوع صفحه‌ای می‌تواند در دماهای بالا  $800-900^{\circ}\text{C}$  عمل کند که برای سیستم‌های تولید همزمان حرارت و توان مورد پسند می‌باشد [۲]. مطالعات آزمایشگاهی فرآیندهای درونی انجام شده در پیل‌های سوختی اکسید جامد، یک فرآیند پرهزینه و چالش برانگیز می‌باشد، لذا ابزارهایی نظیر روابط تحلیلی و شبیه‌سازی‌های عددی برای درک بهتر فرآیند طراحی استک پیل سوختی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه حاضر فرآیند انتقال جرم و حرارت، هم‌زمان با واکنش‌های الکتروشیمیایی شبیه‌سازی شده تا مواردی نظیر توزیع چگالی جریان، دما و غلظت واکنش دهنده‌ها مورد بررسی قرار گیرد. یکی از چالش‌های طراحی پیل سوختی طراحی بهینه‌ی صفحات دوقطبی (اینترکانکت‌ها) و میله‌های جمع‌کننده‌ی جریان متصل به آن‌ها می‌باشد. یک استک پیل سوختی اکسید جامد درون محفظه‌ی دما بالا کار می‌کند لذا در استفاده از فلزات رسانا با موانعی مانند محدودیت دمایی و خوردگی روبرو می‌شویم؛ به همین دلیل از آلیاژهای رسانا نظیر مس به صورت میله نمی‌توان استفاده نمود. لذا در این مطالعه تأثیر تغییر قطر این میله‌ی جمع‌کننده‌ی جریان بر عملکرد پیل سوختی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

## ۲- فرآیند شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی سه بعدی از نرم افزار تجاری ANSYS FLUENT استفاده شده است، تا میدان‌های سیالاتی، حرارتی و الکتریکی مورد بررسی قرار گیرند. توسط مدل دینامیک سیالات محاسباتی که شامل مدل SOFC می‌باشد، معادلات بقای جرم، مومنتوم، انرژی و بقای گونه‌ها به همراه معادلات بقای جریان الکتریکی و واکنش

های الکتروشیمیایی پیل سوختی حل می‌شود. معادلات توسط روش حجم محدود گسسته‌سازی شده و کوپلینگ معادلات سرعت و فشار توسط روش SIMPLE صورت می‌گیرد. در شکل (۱)، شماتیکی مفهومی از ارتباط فلونت و ماژول SOFC نشان داده شده است. حل گر فلونت توزیع واکنش‌دهنده‌ها و دما را استخراج کرده و در اختیار ماژول SOFC قرار می‌دهد و ماژول SOFC شرایط مرزی مربوط به معادلات انتقال گونه‌ها، انتقال حرارت و مومنتوم را به فلونت باز می‌گرداند که جزییات تمامی این واکنش‌ها و معادلات در مرجع [۳] به تفصیل آورده شده است. برای هر شرایط عملکردی، شبیه‌سازی برای یک جریان خاص انجام شده و ولتاژ حاصل از حل همگرا استخراج می‌شود، سپس جریان تغییر داده شده و دوباره ولتاژ استخراج می‌شود. این عمل تا تکمیل منحنی عملکرد صورت می‌گیرد.



شکل (۱): شماتیکی از فرآیند شبیه‌سازی پیل سوختی در نرم افزار فلونت.

### ۳- مشخصه‌های هندسی و عملکردی پیل سوختی

در این مطالعه، تأثیر میله‌های جمع‌کننده‌ی جریان که به صفحه‌های اینترکانکت متصل هستند، بررسی می‌شود. پیل سوختی مورد نظر دارای سطح فعال  $67 \text{ cm}^2$  می‌باشد. موقعیت میل‌های جمع‌کننده‌ی جریان و هندسه‌ی اینترکانکت‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. آرایش اینترکانکت‌های آند و کاتد به صورت جریان

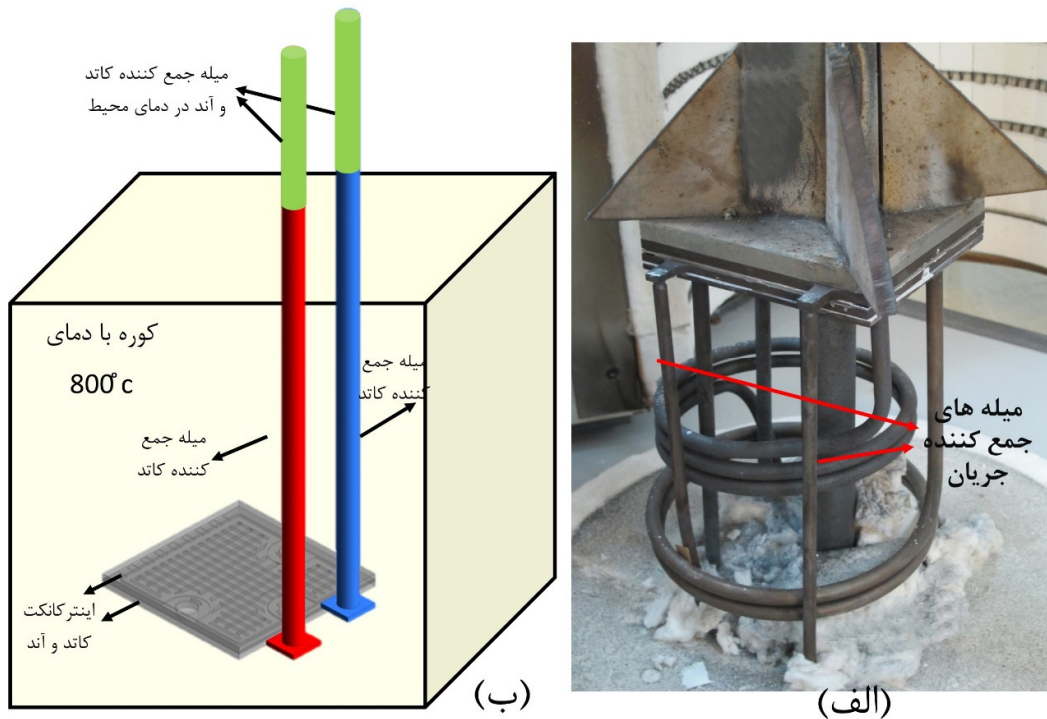
مقاطع و جنس آن‌ها فولاد آلیاژی ۳۱۶ می‌باشد. ضخامت الکترولیت ۱۰، ضخامت آند ۴۰۰ و ضخامت کاتد ۸۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است. مقاومت اهمی اجزا مختلف با توجه به دمای کارکردی آن‌ها اعمال شده است. مقاومت تماسی آند و کاتد با اینترکانکت به ترتیب  $1 \times 10^{-7}$  و  $1 \times 10^{-8} \Omega.m^2$  اعمال شده است. از هیدروژن و اکسیژن خالص به عنوان سوخت و اکسنده استفاده شده است. دبی اکسیژن و هیدروژن یکسان و در شبیه‌سازی‌ها ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ ccm در نظر گرفته شده‌اند. تشعشع و انتقال حرارت جابجایی روی سطوح اینترکانکت‌ها و میله‌های جمع‌کننده‌ی جریان اعمال شده است؛ همچنین ۳۰ cm از میله‌ها داخل محفظه و ۱۰ cm آن خارج از محفظه می‌باشد. تمامی شرایط مرزی و عملکردی پیل سوختی شبیه‌سازی شده با نمونه آزمایشگاهی پژوهشگاه نیرو یکسان می‌باشد تا مقایسه بین شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی به درستی صورت پذیرد.

#### ۴- بحث و نتایج

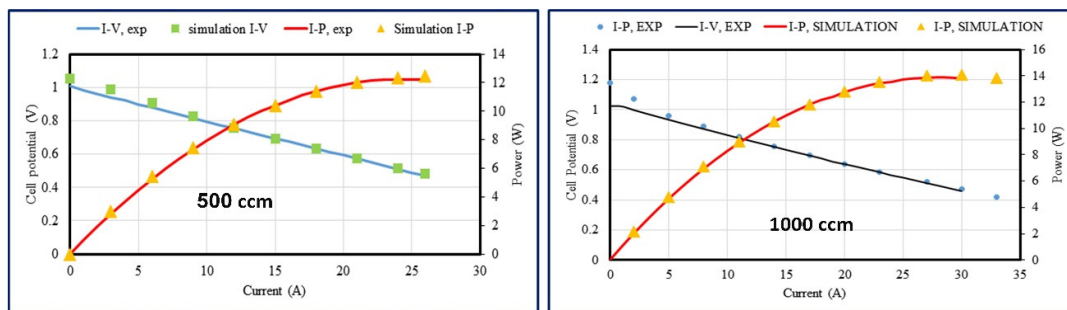
در این بخش نتایج شبیه‌سازی پیل سوختی بررسی و تحلیل می‌شود. ابتدا نتایج شبیه‌سازی برای قطر ۱۲ میلیمتر با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی و همچنین جزییات عملکرد آن با جزییات برای این قطر بررسی می‌شود و در نهایت تأثیر حذف و یا تغییر قطر بر عملکرد پیل سوختی بررسی می‌شود.

#### ۴-۱- بررسی عملکرد پیل سوختی و صحت‌سنجی نتایج

در شکل (۳) منحنی عملکرد نمونه‌ی آزمایشگاهی پیل سوختی با نتایج شبیه‌سازی به منظور صحت‌سنجی شبیه‌سازی مقایسه شده است.



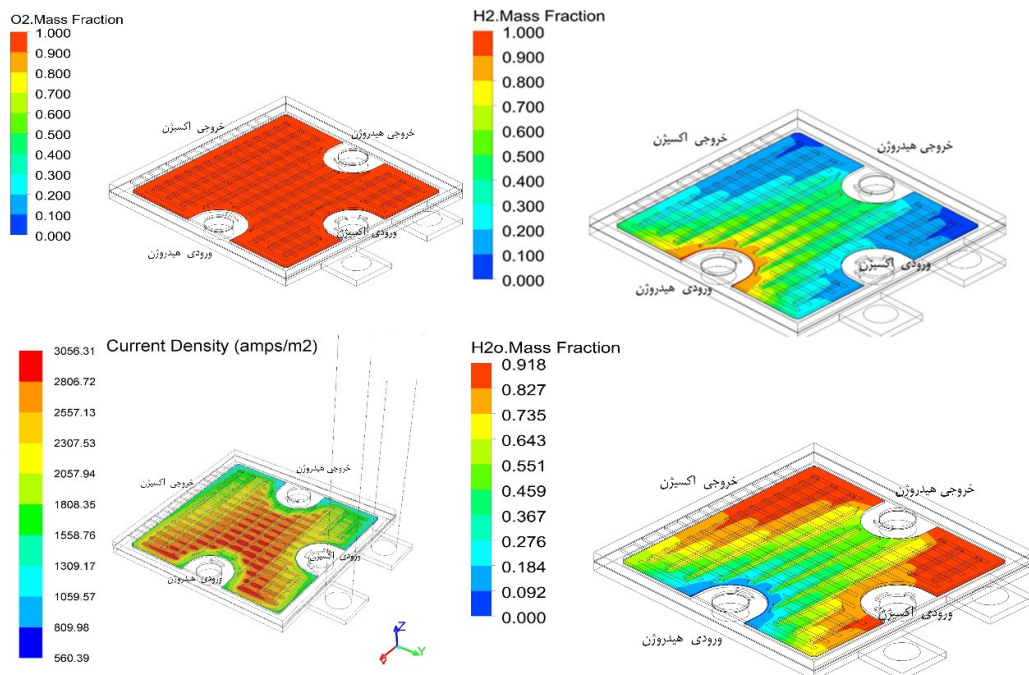
شکل (۲): (الف) نمونه‌ی آزمایشگاهی میله‌های جمع‌کننده جریان (ب) شماتیک از موقعیت میله‌های جمع‌کننده جریان و هندسه‌ی اینترکانکت‌ها.



شکل (۳): منحنی عملکرد پیل سوختی برای میله‌ی ۱۲ میلیمتری.

تمامی شرایط مرزی شبیه‌سازی و آزمایش یکسان می‌باشند که در نتیجه آن مشاهده می‌شود که درصد اختلاف داده‌های آزمایشگاهی و عددی کمتر از ۱٪ می‌باشد. در شکل (۴) توزیع واکنش دهنده‌ها و چگالی جریان تولید شده روی سطح الکترولیت نشان داده شده است. دبی هیدروژن و اکسیژن در این حالت ccm

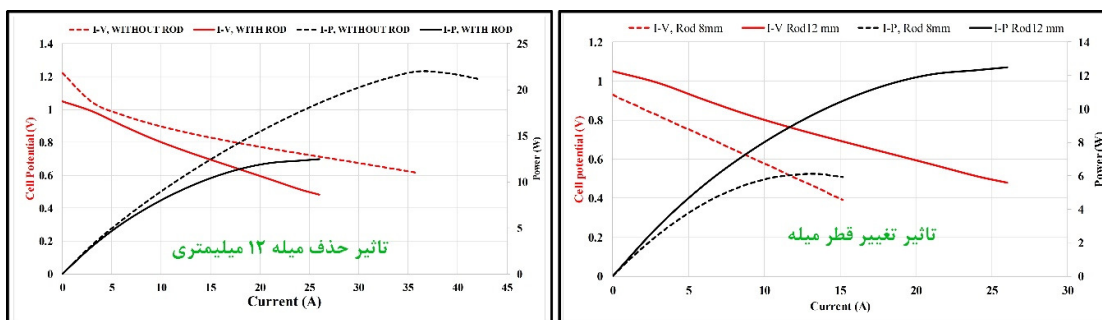
۵۰۰ و جریان الکتریکی ۱۵ آمپر می‌باشد؛ همان طور که ملاحظه می‌شود کسر جرمی اکسیژن در تمامی قسمت‌های سطح فعال نزدیک به یک می‌باشد که دلیل آن نسبت استوکیومتری بالای اکسیژن اعمال شده می‌باشد. این عامل باعث انجام واکنش در تمامی قسمت‌های سطح فعال می‌شود اما باعث اتلاف بیش از حد آن نیز می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود در سمت آند به قسمت‌هایی از سطح فعال به خوبی هیدروژن نمی‌رسد و در این قسمت‌ها آب نفوذ می‌کند و همان طور که نشان داده شده است در این قسمت‌ها چگالی جریان کمتر از قسمت‌های دیگر می‌باشد که با بهینه‌سازی میدان جریان می‌توان این نقاط را کاهش داد که این موضوع در پروژه‌های در پژوهشگاه نیرو انجام گرفته است.



شکل (۴): نتایج شبیه‌سازی برای میله‌ی با ضخامت ۱۲ میلیمتر.

#### ۲-۴- بررسی تأثیر میله بر عملکرد پیل سوختی

در این بخش تأثیر حذف کردن میله‌ها بر عملکرد پیل سوختی بررسی می‌شود. زمانی می‌توان میله‌ها را حذف نمود که انبرهای دریافت جریان مستقیماً وارد محفظه شده و از میله‌ها استفاده نشود. لذا در شبیه‌سازی میله‌ها حذف و مستقیماً جریان الکتریکی از سطح اینترکانکت‌ها خارج می‌شود. در شکل (۵) منحنی پلاریزاسیون پیل استاندارد با میله و بدون آن رسم شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود میزان OCV با حذف میله افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش قابل توجه مقاومت اهمیک است. چرا که طول میله خیلی زیاد است و افت اهمیک با طول میله رابطه مستقیم دارد. همچنین توان ماکزیمم پیل سوختی ۲ برابر می‌شود. اما یکی از راهکارهای دیگر به جای حذف میله‌ها، تغییر قطر آن‌ها می‌باشد که در شکل (۵) تأثیر تغییر قطر میله نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش قطر میله، افت‌های اهمیک پیل سوختی کاهش می‌یابد و ماکزیمم توان قابل استخراج از پیل دو برابر می‌شود. لذا در قدم اول مشخص می‌شود که در صورت حذف این میله‌ها توان قابل استخراج از پیل افزایش قابل توجهی می‌یابد و در صورت مهیا نبودن شرایط و تجهیزات مورد نظر می‌توان با تغییر قطر، توان را افزایش داد که در تجاری‌سازی و تحقیقات آزمایشگاهی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.



شکل (۵): منحنی عملکرد برای بررسی تأثیر میله‌ها.

## ۵- جمع بندی

در این مقاله با شبیه‌سازی سه بعدی تأثیر میله‌های هدایت کننده جریان از صفحات انتهایی استک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در صورت امکان حذف این میله‌ها و انتقال مستقیم جریان از صفحات انتهایی استک به سیستم تست، بهترین نتیجه و کم‌ترین افت توان را خواهد داد. اما از آنجا که به دلیل دمای بالای مجموعه استک، در عمل انتقال جریان به صورت مستقیم امکان پذیر نمی‌باشد لذا وجود لوله‌های انتقال جریان امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی در مورد لوله‌های انتقال جریان نشان داد که مشخصات این لوله‌ها تأثیر به‌سزایی بر عملکرد ثبت شده استک در حین تست خواهد داشت. نتایج نشان داد که استفاده از میله‌های با قطر بیشتر منجر به ثبت عملکرد بهتری برای استک خواهد شد. البته ذکر این نکته ضروری است که بنابر ملاحظات عملی امکان افزایش قطر به هر میزانی وجود ندارد. لذا در نظر گرفتن مشخصات میله‌های انتقال جریان و بررسی عملکرد استک با توجه به این مشخصات، امری ضروری در حین فرآیند طراحی استک است.

## ۶- مراجع

- [1] Wei, S.S., Wang, T.H. and Wu, J.S., 2014. Numerical modeling of interconnect flow channel design and thermal stress analysis of a planar anode-supported solid oxide fuel cell stack. Energy, 69, pp.553-561.
- [2] Mench, M.M., 2008. Fuel cell engines. John Wiley & Sons.
- [3] Fluent, A., 2009. Ansys fluent 12.0 tutorial guide. Ansys Inc.

## اکتشاف منبع گرمایی قزل قایه بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ثقل‌سنجی

داور ابراهیمی<sup>۱</sup>

**چکیده:** منطقه زمین‌گرمایی قزل قایه از جمله مناطق مستعد زمین‌گرمایی در استان آذربایجان غربی می‌باشد که در محدوده شرق شهرستان شاهین‌دژ واقع شده است. وجود یک چشمه آبگرم با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در این منطقه به عنوان یک نشانه سطحی برای وجود یک مخزن زمین‌گرمایی در اعماق منطقه مذکور می‌باشد. بر این اساس به منظور اکتشاف این منبع زمین‌گرمایی، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ثقل‌سنجی در منطقه قزل قایه انجام گرفت. مطالعات ژئوشیمیایی حاکی از وجود آب‌های خانواده بیکربناته می‌باشد همچنین بر اساس نتایج ژئوترمومتری چشمه آبگرم قزل قایه، درجه حرارت تقریبی مخزن زمین‌گرمایی قزل قایه ۴۰ تا ۵۱ درجه سانتی‌گراد است. با تلفیق نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی و ثقل‌سنجی در منطقه مذکور، محدوده مخزن زمین‌گرمایی قزل قایه بر اساس نقشه آنومالی ثقلی باقیمانده مشخص گردید. بر اساس اطلاعات بدست آمده، میزان انرژی حرارتی ذخیره شده در منبع زمین‌گرمایی شاهین‌دژ برابر است با  $2/3 \times 10^7 \text{ kJ}$  می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** منابع زمین‌گرمایی، زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ثقل‌سنجی، قزل قایه

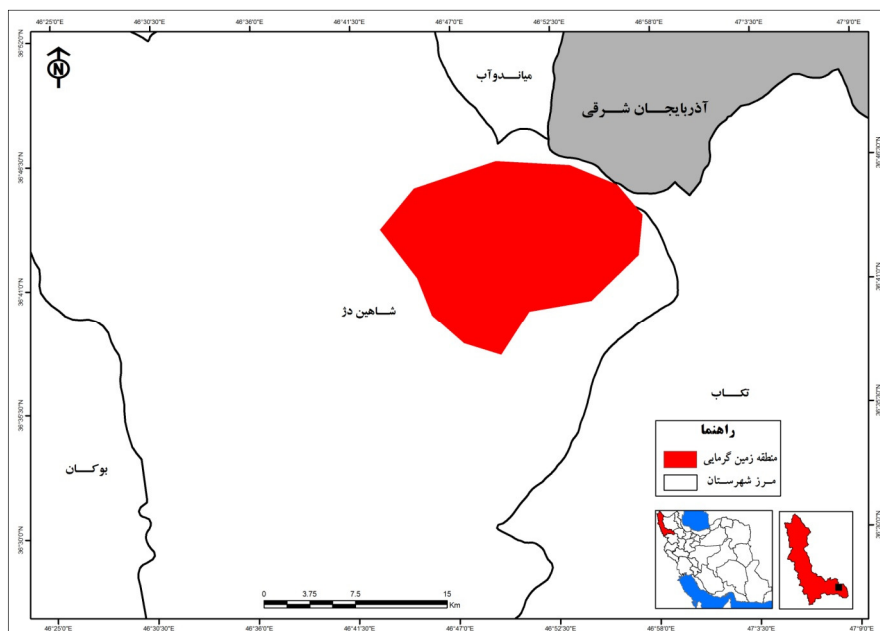
### ۱- مقدمه

انرژی زمین‌گرمایی یکی از انواع انرژی تجدیدپذیر است که از سیال (آبداغ یا بخار) محبوس شده در اعماق زمین بدست می‌آید. این سیال در مخزن زمین‌گرمایی نگهداری شده و پس از انجام مطالعات اکتشافی و حفر چاه، می‌توان از انرژی حرارتی آن بهره‌برداری نمود. اولین گام در مقوله زمین‌گرمایی مطالعات اکتشافی سطحی می‌باشد که معمولاً منطقه مطالعاتی، بر اساس وجود نشانه‌های سطحی مشخص می‌گردد. منابع

<sup>۱</sup> - گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.

زمین گرمایی در اعماق زمین معمولاً در نزدیکی چشمه‌های آبگرمی قرار دارند که در سطح زمین نمایان می‌شوند. چشمه‌های آبگرم از مهم‌ترین نشانه‌های وجود منابع انرژی زمین گرمایی در یک منطقه می‌باشند و به دلیل ارتباط این چشمه‌ها با مخازن زمین گرمایی، می‌توانند اطلاعات مفیدی را در خصوص پتانسیل انرژی زمین گرمایی منطقه اکتشافی ارائه دهند [۱].

کارشناسان گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، پروژه‌ای تحقیقاتی را به منظور پتانسیل سنجی منابع انرژی زمین گرمایی در سطح استان آذربایجان غربی انجام دادند که هدف از این مطالعه شناسایی منابع زمین گرمایی در سطح استان می‌باشد. این استان به دلیل داشتن چشمه‌های آبگرم فراوان یکی از مناطق مهم کشور جهت اکتشاف و بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی می‌باشد. یکی از این منابع، منطقه‌ی زمین گرمایی قزل قایه در جنوب استان آذربایجان غربی و ۱۵ کیلومتری شرق شهرستان شاهین‌دژ واقع شده است. مساحت این منطقه، معادل ۲۱۹ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱). مطالعات زمین شناسی و ژئوشیمیایی انجام شده در این منطقه حاکی از وجود یک مخزن زمین گرمایی در اعماق منطقه می‌باشد که بر اساس مطالعات زمین دماسنجی، دمایی در حدود ۴۰ تا ۵۱ درجه سانتی گراد برای مخزن برآورد می‌شود.



شکل (۱): موقعیت منطقه زمین گرمایی مورد مطالعه در شهرستان شاهین دژ.

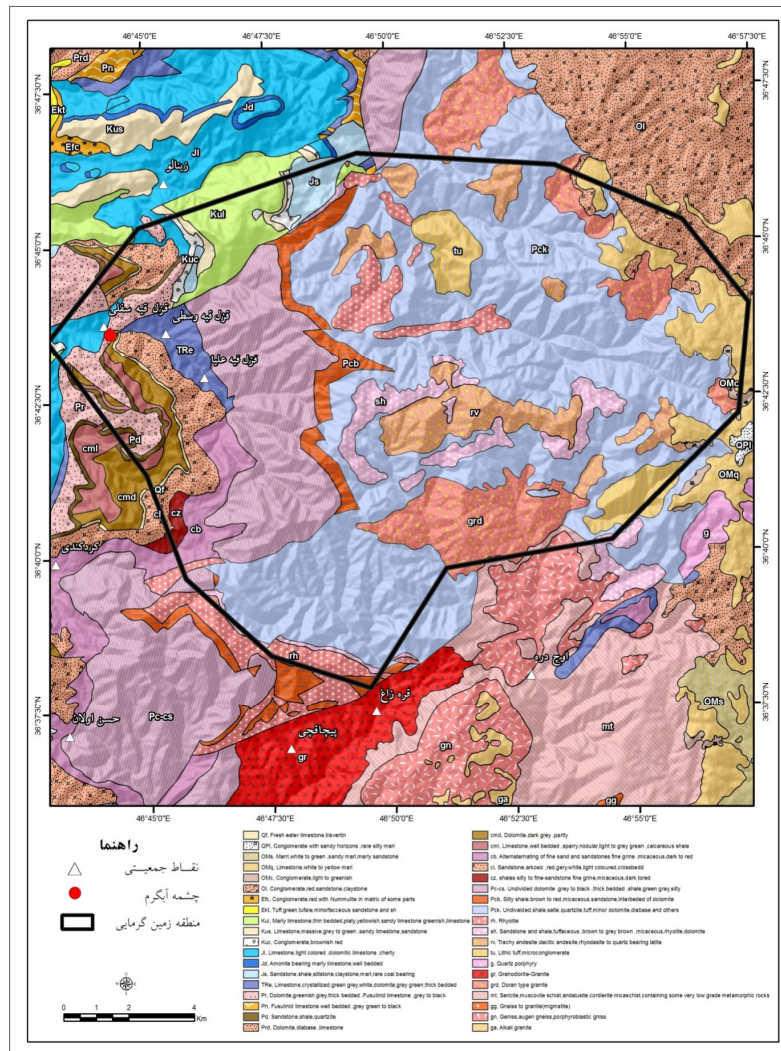
## ۲- زمین شناسی منطقه

نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی شاهین دژ گویای واحدهای سنگی تشکیل دهنده‌ی این منطقه می‌باشد (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در این منطقه مجموعه‌ای است به نام مجموعه سلیم خان که از مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگون شده، شیل، ریولیت، لیتیک توف، کوارتز، تراکی آندزیت، توف‌های روشن رنگ تا متمایل به سبز، ماسه سنگ‌های توفی و دولومیت تشکیل یافته است. مجموعه سلیم خان با یک سطح فرسایشی که دلالت بر یک نبود چینه‌ای می‌باشد به وسیله سازند بایندور پوشیده می‌گردد. سازند اخیر بدون هیچ وقفه رسوبی توسط سازندهای سلطانیه و باروت پوشیده شده است. در نقشه زمین شناسی یکصد هزارم شاهین دژ، سنگ‌های گنیس، آمفیبولیت، میکاشیست و سایر سنگ‌های دگرگون شده در رخساره شیست‌های سبز را که در بالا با ارتباط نامشخص بوسیله سنگ‌های دگرگون نشده سازند کهر پوشیده می‌شوند

متعلق به پرکامبرین معرفی نموده است. سازند قره داش، قدیمی ترین بخش پرکامبرین بالایی می باشد که با ناپیوستگی هم شیب روی سازند کهر قرار گرفته و متعاقب آن سازندهای بایندور، سلطانیه، باروت، زاگون و لالون به طور هم شیب و بدون انقطاع چینهای سازند قره داش را می پوشانند (شکل ۲).

## ۲-۱- سنگ های نفوذی و دگرگونی

در منطقه شاهین دژ، سنگ های نفوذی تیپ گرانیت دوران، میکروگابرو، گرانودیوریت، گرانیت، کوارتز پورفیری و گابرو، دیوریت با سن های متفاوت برونزد دارند. در این منطقه، افزون بر سنگ های دگرگونی سازند کهر، ردیفی از سنگ های دگرگون شده با درجه دگرگونی شدید در بخش جنوبی برونزد دارند که در اثر عوامل فیزیکی (دما و فشار) دگرگونی یافته و در آنها علاوه بر کانی های ویژه سنگ های دگرگونی، شیستوارگی نیز دیده می شود. میزان دگرگون شدگی نهشته های یاد شده از مکانی به مکان دیگر متفاوت است.



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه زمین‌گرمایی شاهین‌دژ.

## ۲-۲- مشخصات ژئوشیمیایی

هدف از مطالعات ژئوشیمیایی در یک منطقه زمین‌گرمایی بدست آوردن ترکیب سطحی سیالات زمین گرمایی، تعیین دمای مخازن، منشاء سیالات، جهت جریان آب گرم و بررسی فرایندهای جوشش و اختلاط می‌باشد [۲]. این مطالعات بر روی چشمه‌های آب گرم، سیال خروجی از چاه‌های زمین‌گرمایی، گازفشان‌ها

(Fumarole) و آبفشانها (Geyser) صورت می‌گیرد. در منطقه شاهین دژ یک چشمه آب گرم به نام قزل قایه وجود دارد که در غرب منطقه مذکور و در مختصات جغرافیایی  $44^{\circ} 46'$  و  $36^{\circ} 43'$  بر روی دولومیت‌ها و سنگ آهک واحد *Pr* واقع شده است، شکل (۲). درجه حرارت این چشمه‌ها  $32/4$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی و زمین‌دماسنجی در منطقه زمین گرمایی شاهین دژ بر اساس آنالیز شیمیایی این چشمه آب گرم، که تنها چشمه این منطقه می‌باشد، صورت گرفته است. در جدول (۱)، مختصات جغرافیایی و مشخصات فیزیکی چشمه مذکور ارائه شده است. در جدول (۲) نیز نتایج بدست آمده از آنالیز شیمیایی چشمه آبگرم منطقه شاهین دژ ارائه شده است.

جدول (۱): مختصات جغرافیایی و خصوصیات فیزیکی چشمه آبگرم قزل قایه در منطقه زمین گرمایی شاهین دژ.

نام چشمه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	هدایت الکتریکی ( $\mu S/cm$ ) EC	درجه حرارت ( $^{\circ}C$ )	دبی (l/s)
قزل قایه	$44^{\circ} 44' 18''$	$36^{\circ} 43' 39''$	۱۸۸۴	۷۱۷۰	۳۲/۴	۲

جدول (۲): نتایج آنالیز شیمیایی چشمه آبگرم قزل قایه در منطقه زمین گرمایی شاهین دژ.

ردیف	عامل شیمیایی	تجمع (mg/l)
۱	Na	34
۲	K	11
۳	Mg	52.8

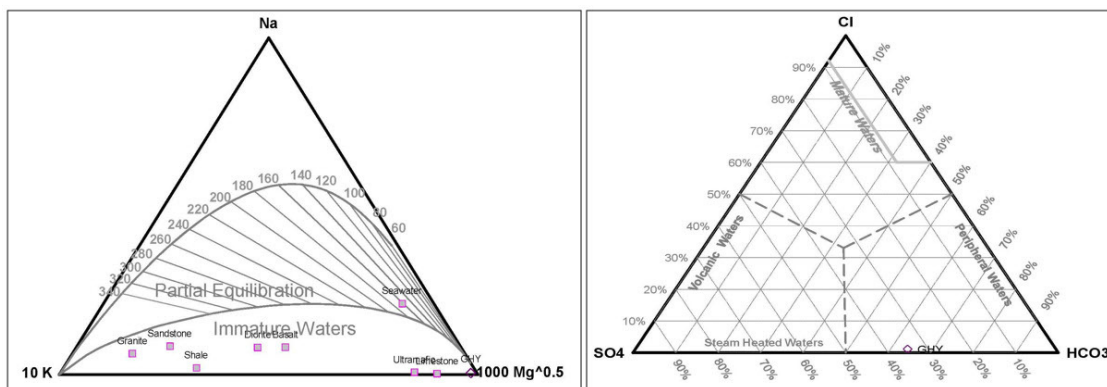
252	Ca	۴
0.1<	Al	۵
0.005	Fe	۶
0.1<	As	۷
0.3	Li	۸
0.9	F	۹
12	Cl	۱۰
360	SO <sub>4</sub>	۱۱
0.01	B	۱۲
100.1	CO <sub>2</sub>	۱۳
0.1<	H <sub>2</sub> S	۱۴
0.1<	SiO <sub>2</sub>	۱۵
1.2	TSS	۱۶
1104	TDS	۱۷

### ۲-۳- تحلیل شیمیایی داده‌ها

بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی سیال زمین گرمایی، می‌توان خانواده آبها، پدیده آمیختگی و محاسبات زمین دماسنجی را مورد بررسی قرار داد. برای طبقه‌بندی سیال زمین گرمایی استفاده از دیاگرام Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> می‌باشد که توسط [۳] ارائه شده است. نمونه‌هایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در ظلع

$\text{HCO}_3$  قرار دارند، (شکل ۳) که نشان دهنده جذب  $\text{CO}_2$  پراکنده از سطوح پایین تر به درون آب‌های زیرزمینی و یا ناشی از فعالیت‌های ماگمایی می‌باشد، با توجه به وضعیت عمومی زمین‌شناسی منطقه اطراف چشمه‌های آبگرم، می‌توان منشأ  $\text{CO}_2$  را ناشی از اختلاط با آب‌های زیرزمینی دانست. این دسته از سیالات زمین گرمایی را آب‌های بی‌کربناته می‌نامند. این دسته از آب‌ها واکنش‌پذیری شدیدی داشته و باعث خوردگی لوله‌های چاه می‌شوند [۴]. موقعیت این چشمه بر روی این نمودار نزدیک به مرز آب‌های بی‌کربناته و ولکانیک قرار دارد. این ویژگی در چشمه قزل قایه مربوط به بالا بودن نسبی میزان  $\text{SO}_4$  در سیال زمین گرمایی این می‌باشد. از دیگر نمودارهای ژئوشیمیایی، نمودار نمودار مثلثی Na-K-Mg است که جهت تشخیص آب‌های نابالغ از آن استفاده می‌شود. علاوه بر این، نمودار یادشده یک نشانگر اولیه جهت بررسی میزان آمیختگی سیال زمین گرمایی با آب‌های سرد زیرزمینی نیز می‌باشد. به کمک آن هم می‌توان فرآیندهای تعادلی را در دماهای بالا بررسی نمود و هم می‌توان فرآیندهای تعادلی را که در مناطق کم عمق و در دماهای پایین تر صورت می‌گیرند را تفسیر کرد [۵].

موقعیت چشمه آبگرم قزل قایه در گوشه Mg نمودار Na-K-Mg، نشان دهنده آمیختگی شدید سیال زمین گرمایی با آب‌های زیرزمینی می‌باشد (شکل ۳). این چشمه در محدوده آب‌های نابالغ قرار داشته و این موضوع، نشان از عدم تعادل سیال با سنگ، به دلیل دمای پایین مخزن و یا ناشی از زمان بسیار کم برای ماندگاری سیال در مخزن زمین گرمایی می‌باشد.



شکل (۳): نمودارهای  $Na-K-Mg$  و  $Cl-SO_4-HCO_3$  برای چشمه آبگرم قزل قایه.

### ۳- زمین دماسنجی

محاسبات زمین دماسنجی معمولاً به سه روش انجام می‌شود: ۱- با استفاده از سیالات. ۲- زمین دماسنج‌های بخار و گاز. ۳- زمین دماسنج‌های ایزوتوپی [۶]. در این مطالعه بر اساس شیمی سیالات، محاسبات زمین دماسنجی انجام گرفته است [۷]. به منظور برآورد درجه حرارت مخزن زمین گرمایی شاهین دژ از زمین دماسنج‌های کاتیونی استفاده شده است. در جدول (۳)، نتایج این محاسبات ارائه شده است. از بین زمین دماسنج‌های کاتیونی، زمین دماسنج  $K-Mg$  [۵] و  $Na-K-Ca$  که دمایی بین ۴۰ تا ۵۱ درجه برای مخزن ارائه می‌دهند، قابل اعتمادتر می‌باشند. با توجه به مطالب عنوان شده در مورد میزان عناصر موجود در آب چشمه و همچنین، شرایط تعادل سیال، دماهای ارائه شده توسط سایر زمین دماسنج‌ها به هیچ وجه منطقی به نظر نمی‌رسند. نتایج متفاوتی که توسط زمین دماسنج‌ها ارائه می‌گردد نباید به عنوان یک نکته منفی در نظر گرفته شود زیرا با استفاده از این نتایج می‌توان تفسیر ژئوشیمیایی دقیق‌تری از مخزن زمین گرمایی داشت [۹].

جدول (۳): نتایج حاصل از محاسبات زمین دماسنجی برای چشمه آبگرم قزل قایه در منطقه زمین گرمایی شاهین دژ با روش [۷].

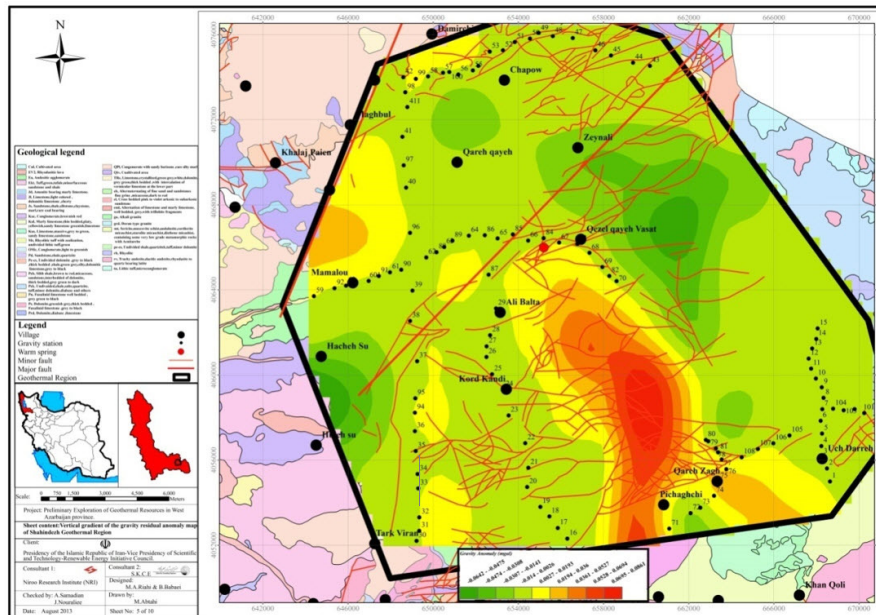
Na-K-Ca	Na/K Fournier	Na/K Truesdell	Na/K (Giggenbach)	K/Mg (Giggenbach)
40	344	362	347	51

#### ۴- مشخصات ثقلی

در اکتشاف منابع زمین گرمایی، مطالعات ثقل سنجی به منظور بررسی ساختمان‌های زیر سطحی که در برگیرنده مخزن زمین گرمایی هستند، انجام می‌پذیرد. این روش بر اساس اختلاف چگالی موجود در سنگ‌های مختلف می‌باشد و دارای کاربرد فراوانی در مطالعات اکتشافی منابع زمین گرمایی دارد [۱۰-۱۲]. در یک منطقه اکتشافی بررسی وضعیت تکتونیک منطقه و تفسیر ویژگی‌های گسل‌های زیر سطحی، برای بررسی ارتباط با مخزن سیستم زمین گرمایی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعات ثقل سنجی می‌باشد [۱۳-۱۵]. بر اساس اطلاعات نقشه آنومالی بوگه و تلفیق آن با اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، مشخص گردید که بخش شرقی و شمال شرقی منطقه شاهین دژ دارای ناهنجاری ثقلی منفی و بخش غربی آن دارای ناهنجاری ثقلی مثبت می‌باشد. در منطقه، گسل‌های متعددی در راستای شمال شرقی - جنوب غربی مشاهده می‌گردند که با چشمه آبگرم موجود در منطقه دارای ارتباط می‌باشند.

در ادامه، با استفاده از روش تحلیل روند سطحی و با استفاده از نقشه آنومالی بوگه، نقشه‌های آنومالی ناحیه‌ای و باقیمانده تفکیک گردیدند. با بررسی اطلاعات نقشه آنومالی ناحیه‌ای، مشخص گردید که در بخش شمال شرقی و شرقی منطقه شاهین دژ، بستر سنگی منطقه، دچار پائین افتادگی شده است. بدین

ترتیب با بررسی نقشه آنومالی ثقلی باقیمانده و همچنین اطلاعات زمین شناسی منطقه و با توجه به ویژگی‌های مخازن زمین‌گرمایی که دارای تخلخل فراوان بوده و چگالی کمتری نسبت به مناطق اطراف خود دارند، نواحی دارای ناهنجاری ثقلی منفی در نقشه آنومالی باقیمانده (شکل ۴)، به عنوان پتانسیل وجود مخزن زمین‌گرمایی در منطقه شاهین‌دژ معرفی می‌گردند. البته لازم ذکر آنکه، کلیه اطلاعات موجود منطقه اعم از زمین شناسی، موقعیت چشمه‌های آبگرم و نقشه‌های آنومالی بوگه و ناحیه‌ای نیز این موضوع را تأیید می‌نمایند.



شکل (۴): نقشه آنومالی باقیمانده در منطقه زمین‌گرمایی شاهین‌دژ.

## ۵- برآورد انرژی حرارتی

به منظور ارائه یک دید کلی از منبع زمین‌گرمایی شاهین‌دژ، انرژی حرارتی آن به روش حجمی محاسبه می‌گردد [۱۶]. محاسبات انجام شده بر اساس حداقل دمای مخزن می‌باشد که توسط محاسبات زمین‌دماسنجی بدست آمده است. در این روش فرض می‌گردد که مجموع انرژی حرارتی یک منبع

زمین‌گرمایی شامل دو بخش انرژی حرارتی نهفته در سنگ‌ها ( $E_r$ ) و انرژی حرارتی ذخیره شده در سیال زمین‌گرمایی ( $E_f$ ) می‌شود.

$$E = E_r + E_f \quad (1)$$

$$E_r = [V \rho_r (1 - \emptyset_t) C_r (T - T_{ref})] \quad (2)$$

که در آن :

$E_r$  : انرژی حرارتی ذخیره شده در سنگ مخزن بر حسب KJ

$V$  : حجم مخزن بر حسب  $m^3$

$\rho_r$  : وزن مخصوص سنگ مخزن بر حسب  $Kg/m^3$

$\emptyset_t$  : تخلخل کلی بر حسب درصد

$C_r$  : حرارت ویژه سنگ بر حسب  $Kj/Kg^\circ C$

$T$  : درجه حرارت سنگ بر حسب درجه سانتیگراد

$T_{ref}$  : درجه حرارت مرجع بر حسب درجه سانتیگراد می‌باشد.

برای محاسبه انرژی حرارتی ذخیره شده در سیال زمین‌گرمایی نیز می‌توان از رابطه (۳) استفاده نمود:

$$E_f = [V \rho_{ft} \emptyset_t (h_t - h_{ref})] \quad (3)$$

که در آن:

$$E_f = \text{انرژی حرارتی ذخیره شده در آبداغ بر حسب kJ}$$

$$V_{pf} = \text{وزن مخصوص آبداغ در درجه حرارت مورد نظر بر حسب kg/m}^3$$

$$\emptyset_t = \text{تخلخل کلی بر حسب درصد}$$

$$h_t = \text{آنتالپی ویژه آبداغ در درجه حرارت مورد نظر بر حسب kJ/kg}$$

$$h_{ref} = \text{آنتالپی ویژه آب داغ در درجه حرارت مرجع بر حسب kJ/kg}$$

مشخصه‌های لازم برای محاسبه انرژی حرارتی منبع زمین‌گرمایی شاهین‌دژ به شرح زیر می‌باشند:

#### - حجم منبع

با توجه به مساحت منطقه شاهین‌دژ (  $219 \text{ Km}^2$  ) چنانچه ملاک محاسبه، بر آورد انرژی حرارتی موجود در ۳ کیلومتری فوقانی منطقه باشد و ضخامت سنگ پوشش منبع زمین‌گرمایی شاهین‌دژ نیز نام‌شخص باشد، در آن صورت می‌توان نوشت:

$$\text{حجم منبع زمین‌گرمایی شاهین‌دژ} = 219 \times 3 = 657 \text{ Km}^3$$

#### - وزن مخصوص سنگ مخزن (pr)

بر اساس نتایج مطالعات زمین‌شناسی، سنگ مخزن منبع زمین‌گرمایی شاهین‌دژ از سنگ‌های متنوعی تشکیل شده است اما با توجه به پتانسیل مخزنی سنگ‌های موجود در منطقه، احتمال اینکه سنگ مخزن، ماسه سنگ و دولومیت باشد بیشتر است.

برای دولومیت  $\rho_r = 2800 \text{ kg/m}^3$

برای ماسه سنگ  $\rho_r = 2250 \text{ kg/m}^3$

میانگین  $\rho_r = 2525 \text{ kg/m}^3$

- تخلخل کلی ( $\emptyset_t$ )

$\emptyset_t = 0.1$  (یا معادل ۱۰٪)

- حرارت ویژه سنگ مخزن (Cr)

برای دولومیت  $Cr = 0.92 \text{ kJ/kg.K}$

برای ماسه سنگ  $Cr = 0.92 \text{ kJ/kg.K}$

- درجه حرارت سنگ مخزن (T)

بر اساس محاسبات زمین دماسنجی  $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

- درجه حرارت مرجع ( $T_{ref}$ )

بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تکاب میانگین دما:  $T_{ref} = 9.24 \text{ }^\circ\text{C}$

- وزن مخصوص آبداغ در درجه حرارت مورد نظر ( $\rho_{ft}$ )

$\rho_{ft} = 992.5 \text{ kg/m}^3$

- آنتالپی ویژه آبداغ در درجه حرارت مورد نظر ( $h_t$ )

$$h_t = 167/54 \text{ kJ/kg}$$

- آنتالپی ویژه آبداغ در درجه حرارت مرجع ( $h_{ref}$ )

$$h_{ref} = 39 \text{ kJ/kg}$$

بنابراین میزان انرژی حرارتی ذخیره شده در منبع زمین گرمایی شاهین‌دژ برابر است با:

$$E = 2/3 \times 10^6 \text{ kJ}$$

انرژی حرارتی محاسبه شده تقریبی بوده و توان حرارتی منبع زمین گرمایی شاهین‌دژ، زمانی به طور دقیق مشخص می‌گردد که چاه‌های اکتشافی در منطقه مذکور، حفر شده و مستقیماً مشخصات مخزن زمین گرمایی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۶- نتیجه گیری

- بر اساس مطالعات انجام شده، منطقه زمین گرمایی قزل قایه با مساحت ۲۱۹ کیلومتر در شرق شهرستان شاهین‌دژ شناسایی شده است.

- مطالعات ژئوشیمیایی در این منطقه بر اساس آنالیز چشمه آبگرم قزل قایه صورت گرفته است. بر اساس این مطالعات، سیال زمین گرمایی از خانواده آب‌های بیکربناته می‌باشد. همچنین بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد، سیال زمین گرمایی با آب‌های سرد زیرزمینی آمیختگی داشته است و در رده آب‌های نابالغ قرار می‌گیرد.

- با استفاده از روش زمین دماسنجی کاتیونی برای تعیین دمای مخزن مشخص شد که مخزن زمین گرمایی قزل قایه دمایی در محدوده ۴۰ تا ۵۱ درجه سانتی گراد دارد و در رده مخازن حرارت پایین قرار می گیرد.
- بررسی نقشه های آنومالی ثقلی تهیه شده و تلفیق آن ها با زمین شناسی منطقه، حاکی از وجود مخزن زمین گرمایی در اعماق منطقه مورد نظر می باشد.
- مجاسبات انجام شده به روش حجمی نشان می دهد که انرژی حرارتی ذخیره شده در مخزن زمین گرمایی قزل قایه به طور تقریبی برابر  $2/3 \times 10^7 \text{ kJ}$  می باشد.

#### منابع

- [1] Ibrahim, M., O.(2004): Geothermal manifestations and structures in Innstidalur and Middalur SW-Iceland, Report 14 in: Geothermal training in Iceland 2004, UNU-GTP, Iceland, 61-82.
- [2] Armannsson, H. Application of Geochemical methods in Geothermal Exploration. At Short Course III on Exploration for Geothermal Resources. Organized by UNU-GTP and KenGen. At Lake Naivasha. Kenya., October 24 – November 17, 2008.
- [3] Giggenbach, W.F., 1991: Chemical techniques in geothermal exploration. In: D' Amore, F., Application of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publication, Rome, 119-142.
- [4] Hedenquist, J.W and Stewart, M.k., (1985): Natural CO<sub>2</sub>-rich steam-heated waters in the Broadlands-Ohakki geothermal system, New Zealand: Their chemistry, distribution and corrosive nature. Geoth. Res. Council Trans., 9, 245-250.
- [5] Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. and Truesdell, A.H., (1983): Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, northwest Himalaya, India. Geothermics, 12, 199-222.

- [6] Nicholson, K. Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1993.
- [7] Powell, T., and Cumming, W., Spreadsheets for Geothermal Water and Gas Geochemistry. Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 1-3, 2010 SGP-TR-188.
- [8] Arnorsson S (2000a). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. Sampling methods, data handling and interpretation. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 351.
- [9] Salem, A., Furuya, S., Aboud, E., Elawadi, E., Jotaki, H. and Ushijima, K., 2005, Subsurface Structural Mapping Using Gravity Data of Hoho Geothermal Area, Central Kyushu, Japan. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey.
- [10] Soengkono, S., 2011, Deep Interpretation of Gravity and Airborne Magnetic Data over the Central Taupo Volcanic Zone, New Zealand Geothermal Workshop.
- [11] Represas, P., Santos, F.A. and Ribeiro, J., 2013, Interpretation of gravity data to delineate structural features connected to low-temperature geothermal resources at Northeastern Portugal, J. Applied Geophysics, 92, 30-38.
- [12] Abiye T.A. and Haile T., 2008, Geophysical exploration of the Boku geothermal area, Central Ethiopian Rift. Geothermics, 37(6):586–596.
- [13] Gottsmann, J., Camacho, A.G., Martí, J., Wooller, L., Fernández, J., García, A. and Rymer, H., 2008, Shallow structure beneath the Central Volcanic Complex of Tenerife from new gravity data: implications for its evolution and recent reactivation. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 168, 212–230.
- [14] Montesinos, F.G., Camacho, A.G., Nunes, J.C., Oliveira, C.S. and Vieira, R., 2003, A 3-D gravity model for a volcanic crater in Terceira Island (Azores). Geophysical Journal International, 154, 393–406.
- [15] Muffler, L.P.J., and Cataldi, R., 1978, Methods for regional assessment of geothermal resources: Geothermics, v. 7, p. 53-89.

## بررسی وضعیت فناوری‌های متمرکز شونده خورشیدی در ایران و کشورهای شاخص

### خاورمیانه و راهکارهای ارتقاء جایگاه ایران

(ارائه شده در دومین کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی انرژی خورشیدی - اردیبهشت ماه ۱۳۹۶)

سینا سالمی<sup>۱</sup>، محمد مهدی اخلاقی<sup>۱</sup>، محمد خلیج<sup>۱</sup>، محمد مهدی امیرآبادی فراهانی<sup>۱</sup>

**چکیده:** بالابودن شدت تابش مستقیم خورشید در ایران، ضرورت‌های ملی و همچنین زیست‌محیطی بهره‌گیری از سیستم‌های متمرکز شونده حرارتی خورشیدی را بیش از پیش توجیه‌پذیر کرده است. در همین راستا کشورهای منطقه نیز که چنین پتانسیلی را دارند با سرمایه‌گذاری هنگفت در این حوزه سعی در بهره‌برداری هرچه بیشتر از این امتیاز خدادادی کرده‌اند. در این مقاله ابتدا به معرفی انواع سیستم‌های حرارتی خورشیدی متمرکز شونده پرداخته شده و سپس وضعیت کشورهای منطقه و ایران مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت الویت‌های تکنولوژی‌های مناسب برای ایران معرفی و سیاست‌های کلی برای دستیابی به جایگاه مناسب منطقه‌ای در حوزه فناوری‌های حرارتی خورشیدی متمرکز شونده ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** فناوری‌های حرارتی خورشیدی متمرکز شونده - سهموی خطی - تکنولوژی بازتاب دهنده فرنلی خطی - تکنولوژی برج‌های خورشیدی - بشقاب‌های سهمی‌گون

#### ۱- مقدمه

نظام‌های کنونی تامین انرژی به طور آشکار از لحاظ اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی غیر قابل تحمل هستند. بدون یک حرکت قاطعانه، انتشار دی اکسید کربن مربوط به انرژی تا سال ۲۰۵۰ دوبرابر خواهد شد و افزایش درخواست نفت نگرانی در مورد امنیت منابع را فزونی خواهد بخشید. ما می‌توانیم و باید راه کنونی

۱- گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو. پست الکترونیک: [salemi@nri.ac.ir](mailto:salemi@nri.ac.ir)

را تغییر دهیم، اما این تغییر نیازمند یک انقلاب در مبحث انرژیست و تکنولوژی انرژی‌های کم کربن یک نقش اساسی در این تغییرات خواهد داشت. کارایی انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر، به دام انداختن و ذخیره‌سازی کربن (Carbon Capture & Storage) ، انرژی هسته‌ای و تکنولوژی‌های جدید حمل و نقل همگی نیازمند به‌کارگیری نیروی وسیعی هستند.

انرژی خورشیدی متمرکز (CSP (Concentrating Solar Power Plant می‌تواند منابع انرژی تجدیدپذیر کم کربن را در مناطق با تابش عمودی قوی (DNI (Direct Normal Irradiation تامین کند. در آفتابی‌ترین کشورها انتظار می‌رود CSP به یک منبع تامین انرژی دارای قدرت رقابت در زمان میانه و اوج مصرف تا سال ۲۰۲۰ مبدل شود و بین سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۰ این توانایی را در زمان مصرف پایه نیز به دست آورد.

مفهوم اصلی انرژی خورشیدی متمرکز نسبتاً ساده است: دستگاه‌های CSP انرژی موجود در پرتوهای خورشیدی را متمرکز می‌کنند تا یک دریافت کننده را به دمای بالا برسانند. این گرما ابتدا به انرژی مکانیکی تبدیل شده (به وسیله‌ی توربین یا دیگر موتورها) و سپس به برق تبدیل می‌شود. CSP همچنین دارای پتانسیل برای تولید دیگر حامل‌های انرژیست (سوخت‌های خورشیدی).

## ۲- پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران

باتوجه به قرارگیری ایران در کمربند تابشی زمین و برخورداری از شدت تابش بالا، تعداد روزهای آفتابی زیاد در طول سال، وجود پهنه‌های گسترده زمین که قابلیت نصب نیروگاه‌های بزرگ مقیاس را دارد و همچنین نیاز روز افزون کشور به انرژی برای توسعه پایدار صنعت، ایران را به کشوری مناسب برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی تبدیل کرده است.

در **Error! Reference source not found.** نقشه انرژی تابشی خورشید بر سیستم متمرکزکننده سهموی خطی با ردیاب تک محوره شمالی-جنوبی ایران بصورت سالیانه در نرم افزار ArcGIS تولید و

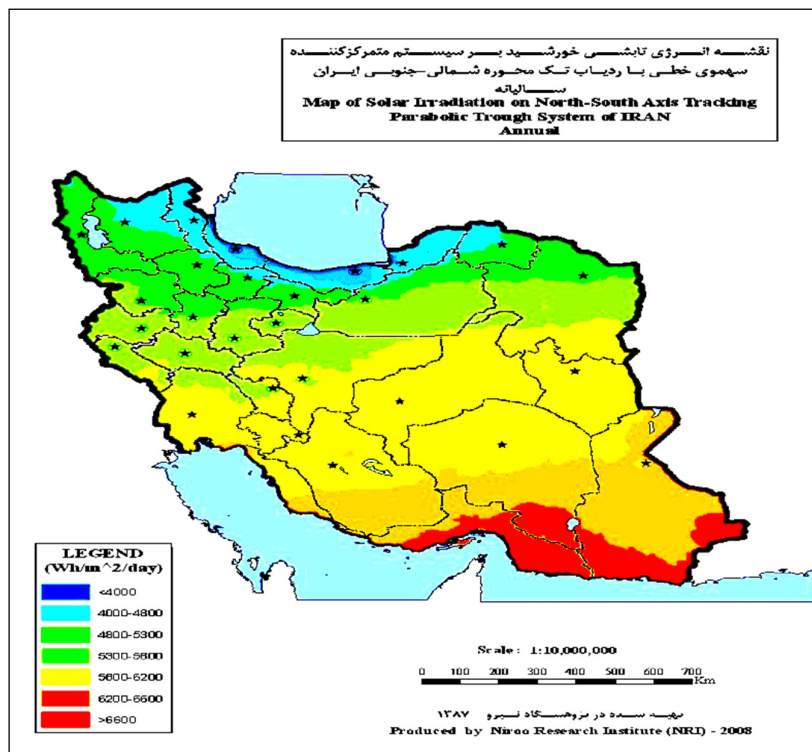
آورده شده است. بر این اساس و با توجه به سیستم‌های سهموی خطی با ردیاب تک محوره شمالی-جنوبی روند انتخاب بهترین مناطق برای احداث نیروگاه خورشیدی بدین ترتیب خواهد بود که ابتدا مناطقی که شرایط زیر را دارا باشند، انتخاب می‌شوند.

انرژی تابشی مستقیم عمودی خورشید آن بیشتر از  $6700 \text{ Whr/m}^2/\text{day}$  باشد (مقدار متوسط آن در ایران برابر  $6506/5 \text{ Whr/m}^2/\text{day}$  می‌باشد) [۲].

انرژی تابشی خورشید بر کلکتور سهموی خطی بیشتر از  $5800 \text{ Whr/m}^2/\text{day}$  باشد (مقدار متوسط آن در ایران  $5774/8 \text{ Whr/m}^2/\text{day}$  می‌باشد) [۲].

تعداد ساعات آفتابی آن در سال بیش از ۳۲۰۰ ساعت باشد (مقدار متوسط ساعات آفتابی در ایران برابر  $3135/2$  ساعت می‌باشد) [۲].

پس از آن، در مرحله بعد، سایر پارامترها که از درجه دوم اهمیت برخوردار هستند مد نظر قرار می‌گیرند. این پارامترها شامل پارامترهای آب و هوایی مانند دمای هوا (متوسط، ماکزیمم و مینیمم آن)، رطوبت نسبی هوا، میزان بارندگی و سرعت باد می‌باشند. لازم به ذکر است که از میان پارامترهای ذکر شده (دمای هوا، رطوبت نسبی هوا، میزان بارندگی و سرعت باد)، سرعت باد در یک میدان خورشیدی از سایر پارامترها از اهمیت بیشتری برخوردار است.



شکل (۱) نقشه انرژی تابشی خورشیدی بر سیستم متمرکزکننده سهموی خطی با ردیاب تک محوره شمالی-جنوبی ایران- سالانه [۲].

## ۲-۱- مزایای استفاده از CSP در ایران

استفاده از انرژی خورشیدی باعث ایجاد مشاغل مختلف بصورت مستقیم و غیر مستقیم خواهد شد. شغل‌هایی چون مهندسی در زمینه طراحی، ساخت و نصب تجهیزات تا بهره‌برداری و مدیران پروژه از جمله مشاغل مستقیم هستند. همچنین تأمین کنندگان مواد اولیه و مشاغل مرتبط با آن جزو گروه غیر مستقیم قرار خواهند گرفت.

برای تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی، این نکته قابل توجه است که شدت تابش نور خورشید در طول روز متغیر است به صورتی که بالاترین شدت تابش در ساعات ظهر اتفاق می‌افتد، بنابراین در نیروگاه‌های خورشیدی بیشترین تولید برق در زمان ظهر اتفاق می‌افتد. از طرفی در بسیاری از مناطق ایران، بیشترین مصرف

بخش خانگی مربوط به استفاده از وسایل سرمایشی در طول روز است که پیک مصرف در این بخش هم نیز همان ساعات ظهر است. بنابراین در این مناطق بیشترین میزان تولید برق در زمانی رخ خواهد افتاد که بیشترین میزان مصرف برق اتفاق می‌افتد.

با توجه به آن‌که کشور در حال حاضر در یک دوره خشکسالی قرار گرفته است و همچنین نرخ رشد اقتصادی و جمعیت در ایران، قطعاً میزان آب مورد نیاز برای مصارف صنعتی بیش از پیش خواهد شد. یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب در بخش صنعت، نیروگاه‌های برق موجود در کشور هستند که با تغییر تکنولوژی نیروگاه‌ها می‌توان آب مورد نیاز آن‌ها را کاهش داد.

یکی از اهداف مهم برای تمامی کشورها تنوع سبد انرژی و کاهش وابستگی به نوع خاصی از انرژی یا نقطه تأمین انرژی خاصی در جهان است. کشورهای مصرف‌کننده انرژی در پی تنوع بخشی به منابع تأمین انرژی خود هستند، حتی اگر این منابع به درصد کمی در نقاط متنوع قابل دستیابی باشند.

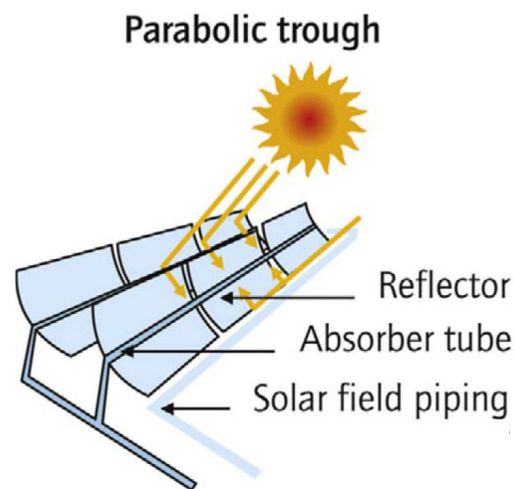
### ۳- تکنولوژی‌های کنونی برای تولید نیرو

در حال حاضر ۴ تکنولوژی اصلی CSP موجود است که می‌توانند به واسطه‌ی راه‌هایی که اشعه‌های خورشید را متمرکز می‌کنند و تکنولوژی مورد استفاده برای دریافت انرژی خورشیدشان طبقه‌بندی شوند.

### ۳-۱- بازتاب‌دهنده‌های سهموی خطی

سیستم‌های سهموی خطی از دو ردیف موازی از آینه‌ها (بازتاب‌دهنده‌ها) که به یک جهت خم شده‌اند تا تابش خورشید را متمرکز کنند تشکیل شده‌اند. آینه‌ها می‌توانند تا بیش از ۱۰۰ متر طول داشته باشند با سطح خم شده ای بین ۵ تا ۶ متر. لوله‌های فولاد زنگ‌نزن (تیوب‌های جذب کننده) با پوشش انتخابی به عنوان

دریافت کننده‌های گرما عمل می‌کنند. لوله‌ها در یک قاب شیشه‌ای در خلا قرار گرفته‌اند تمامی نیروگاه‌های سهموی خطی مورد استفاده تجاری در حال حاضر وابسته به روغن ترکیبی به عنوان مایعی که گرما را از لوله‌های جاذب به مبدل‌های حرارتی انتقال می‌دهد جایی که آب پیش گرم شده، تبخیر می‌شود و سپس فوق گرم می‌شود، هستند. بخار مافوق گرم یک توربین را می‌چرخاند که یک ژنراتور را برای تولید برق راه‌اندازی می‌کند. بعد از سرد و کندانس شدن، آب به مبدل حرارتی باز می‌گردد. سهموی خطی بالغ‌ترین نوع تکنولوژی CSP است و قسمت عمده‌ی نیروگاه‌های تجاری کنونی را تشکیل می‌دهد [۳].



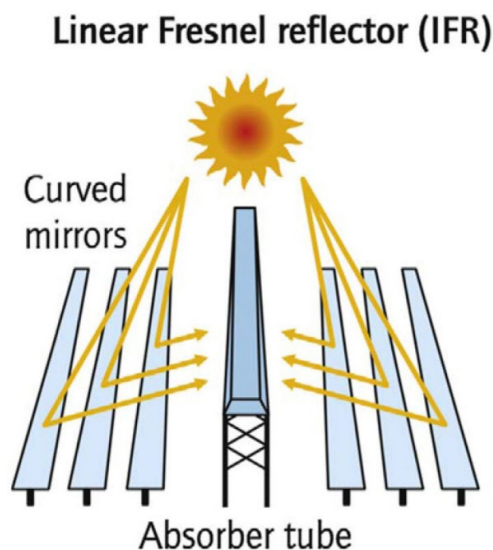
شکل (۲): نیروگاه سهموی خطی [۳].

### ۳-۲- بازتاب دهنده‌های خطی فرنلی

بازتاب دهنده‌های خطی فرنلی (LFRs) (Linear Fresnel reflectors) شکل تقریبی سهمی‌گون سیستم‌های سهموی خطی را دارا هستند اما با استفاده از صف‌های طولانی صاف یا با خمش بسیار کم آینه‌ها که برای بازتاب دادن اشعه‌ی خورشید به یک دریافت کننده ثابت خطی رو به پایین قرار گرفته است. **Error!**

**Reference source not found.** نمایش دهنده یک سیستم بازتاب دهنده فرنی برای نیروگاه متمرکز

کننده خورشیدی است.

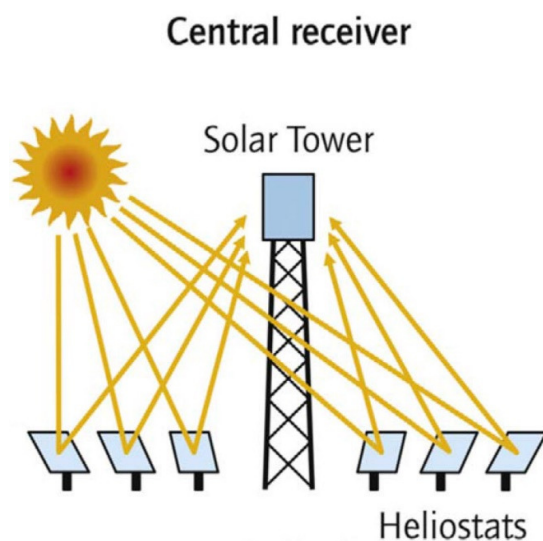


شکل (۳): تکنولوژی بازتاب دهنده فرنی [۳].

مزیت اصلی سیستم‌های LFR این است که طراحی ساده‌ی آن‌ها از آینه‌های خم شده‌ی منعطف و دریافت کننده‌های ثابت نیازمند هزینه‌های سرمایه‌گذاری کمتر است و تولید مستقیم بخار (Direct Steam (DSG Generation) را تسهیل می‌کند، بنابراین نیاز و هزینه مایعات انتقال دهنده گرما و مبدل‌های حرارتی کاهش می‌یابند. اگرچه نیروگاه‌های LFR نسبت به سهمی‌گون‌ها در تبدیل انرژی خورشیدی به برق از تاثیرگذاری کمتری برخوردار هستند و با هم متحد کردن طراحی و ظرفیت ذخیره‌سازی آن‌ها با یکدیگر دشوار است [۳].

### ۳-۳- برج‌های خورشیدی

برج‌های خورشیدی که به نام سیستم‌های دریافت مرکزی (Central Receiver Systems) CRS نیز شناخته می‌شوند از صدها یا هزاران بازتاب دهنده (چرخ آینه‌ای که پرتو را به یک طرف متمرکز می‌کنند) برای متمرکز کردن اشعه‌های خورشید روی یک دریافت کننده مرکزی که بالای یک برج قرار گرفته است استفاده می‌کنند.



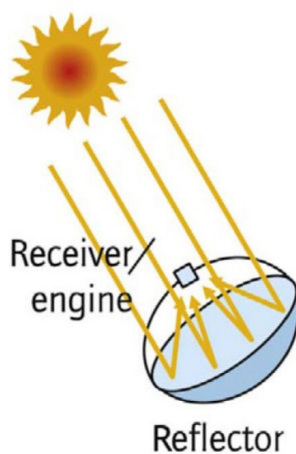
شکل (۴): نمایی از یک نیروگاه برج خورشیدی [۳].

قدرت تمرکز برج به دماهای بسیار بالا دست می‌یابد که باعث بالا رفتن تاثیرگذاری بهتر در بخش تبدیل گرما به الکتریسیته و کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی گرمایی می‌شود. به علاوه، این مفهوم بسیار انعطاف‌پذیر است؛ طراحان می‌توانند از یک طیف گسترده از آینه‌های چرخ‌ی، دریافت کننده‌ها، مایعات منتقل کننده و بلوک‌های نیرو انتخاب کنند [۳].

### ۳-۴- بشقاب‌های سهمی گون

صفحه‌های سهمی گون اشعه‌های خورشید را در یک نقطه کانونی واقع در بالای مرکز صفحه متمرکز می‌کنند. کل دستگاه خورشید را تعقیب می‌کند و بشقاب و دریافت کننده به طور هم جهت حرکت می‌کنند. اکثر بشقاب‌ها یک موتور/ژنراتور مستقل (مانند یک ماشین استرلینگ یا یک میکرو توربین) در نقطه کانونی دارند. این طراحی نیاز به یک مایع منتقل کننده حرارت و آب خنک کاری را برطرف می‌کند (شکل ۵).

#### Parabolic dish



شکل (۵): نمایی از یک سیستم دیش-استرلینگ [۳].

بشقاب‌ها دارای مؤثرترین ضریب تبدیل گرما به برق نسبت به هر نوع سیستم CSP دیگر هستند. ویژگی‌های مختلف-اندازه کوچک، نبود آب خنک کاری و سازش پذیری کم با ذخیره‌سازی حرارتی و هیبریدیزاسیون بشقاب‌های سهمی گون را در زمره رقبای ماژول‌های فتوولتائیک، به طور خاص فتوولتائیک‌های

متمرکز کننده، به اندازه دیگر تکنولوژی‌های CSP قرار داده است. اجرا کنندگان بر این نظرند که تولید انبوه قدرت رقابت پذیری با دیگر سیستم‌های گرمایی خورشیدی را به بشقاب‌ها خواهد داد [۳].

#### ۴- بررسی وضعیت CSP در کشورهای منطقه و ایران

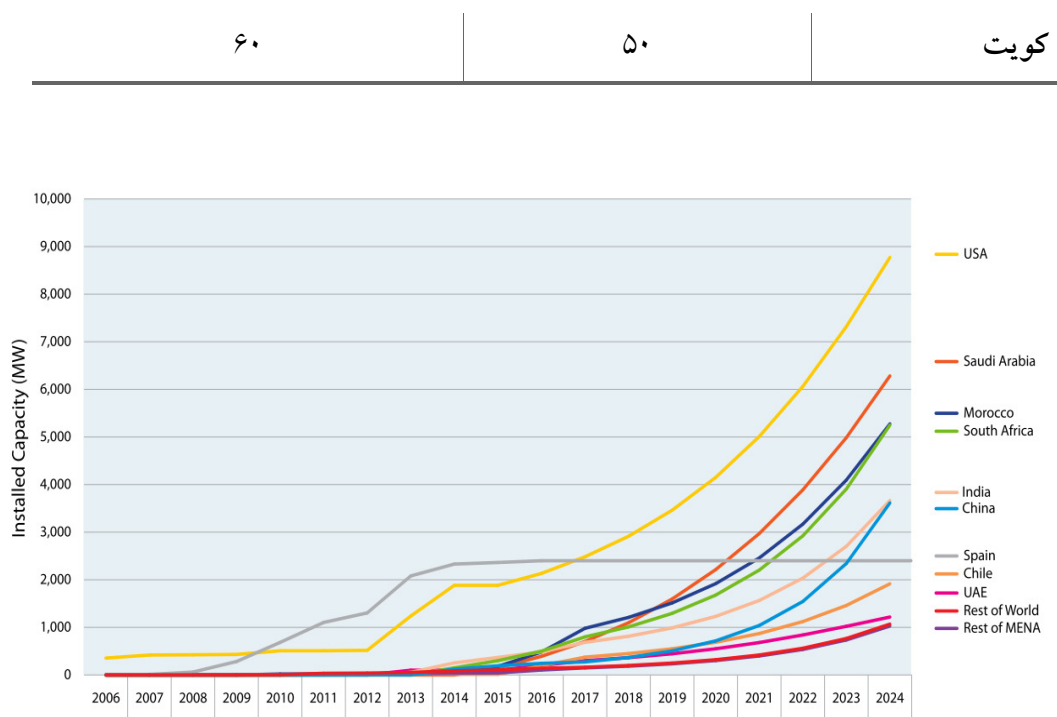
**Error! Reference source not found.** میزان ظرفیت مصوب و طراحی شده نیروگاه‌های

حرارتی خورشیدی در کشورهای شاخص منطقه در حوزه بهره‌برداری آورده شده است، کشور عربستان سعودی با داشتن پتانسیل بالای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی اقدام به سرمایه‌گذاری گسترده در حوزه حرارتی خورشیدی نموده است، به طوری که براساس ۰ در سال ۲۰۲۴ دومین کشور صاحب نیروگاه‌های حرارتی در دنیا خواهد شد. کشور امارات متحده عربی نیز همچون عربستان سعودی اقدام به سرمایه‌گذاری کلان در این حوزه نموده است، به طوری که براساس ۰ تا سال ۲۰۲۴ به نهمین کشور برخوردار از نیروگاه‌های حرارتی در دنیا تبدیل خواهد شد.

کشور ایران علی‌رغم پتانسیل بسیار بالا در حوزه حرارتی خورشیدی متمرکز شونده تا کنون اقدام جدی در این خصوص انجام نداده و تنها به نصب دو نیروگاه پایلوت یکی در شیراز و دیگری به صورت هیبرید با نیروگاه سیکل ترکیبی یزد اکتفا نموده است.

جدول (۱): میزان ظرفیت مصوب و طراحی شده نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در کشورهای شاخص منطقه در حوزه بهره‌برداری [۱]

کشور	میزان MW مصوب شده	میزان طراحی شده بر حسب MW
عربستان سعودی	۳۰۰	۶۲۰۰
امارات متحده عربی	۱۰۰	۱۰۰۰
مصر	۱۰۰	۲۸۰



شکل (۶): پیش‌بینی ظرفیت نصب شده CSP در ۱۰ سال آینده بر اساس کشورهای مختلف [۱].

جدول (۲): مقایسه سیاست‌های حمایتی کشورها در راستای حمایت از فناوری‌های حرارتی خورشیدی [۱].

CSP Market Scorecard as of 2013

Ranking	Country	Score (%)	Maximum points for each parameter							
			Technical Market Potential	Renewable Energy Support	Ease of Financing	National CSP Targets	Permitting	Industry Readiness	Political and Economic Indicators	Energy Sector
1	South Africa	77.6	9.6	25.0	15.0	12.2	3.1	4.3	2.0	6.4
2	Saudi Arabia	77.3	10.3	20.8	11.7	17.0	3.4	5.1	4.8	4.2
3	Morocco	75.6	9.2	25.0	13.5	13.4	3.0	3.3	2.2	6.0
4	USA	72.0	11.0	14.6	17.6	6.4	2.3	6.0	7.8	6.3
5	India	70.1	4.0	22.9	13.0	12.7	1.8	5.0	3.1	7.7
6	Chile	69.7	9.6	18.8	16.7	5.3	3.5	4.7	5.6	5.6
7	China	65.3	5.2	14.6	12.5	13.5	1.5	4.8	4.2	9.0
8	UAE	58.9	2.0	10.4	20.0	7.8	4.0	5.0	7.1	2.6
9	Australia	52.5	5.5	8.3	15.5	2.7	3.8	5.5	8.0	3.2
10	Israel	47.9	3.0	10.4	16.7	2.3	0.0	5.2	5.0	5.3
11	Egypt	42.5	5.2	8.3	10.3	6.9	1.1	3.0	1.3	6.3
12	Tunisia	41.9	2.2	8.3	9.1	11.8	1.5	0.6	2.7	5.7
13	Algeria	34.0	5.6	10.4	6.9	5.0	0.3	1.5	0.2	4.0
14	Jordan	33.3	3.7	4.2	9.1	3.1	1.2	2.1	3.1	6.9
15	Spain	33.2	3.5	2.1	9.4	0.0	3.2	5.6	4.3	5.2

## ۵- برنامه پیشنهادی برای رسیدن ایران به جایگاه مناسب منطقه‌ای مناسب در حوزه فناوری متمرکز

### شونده حرارتی خورشیدی

ضرورت توسعه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و مزیت‌های استفاده از سیستم‌های متمرکز شونده حرارتی خورشیدی به همراه پتانسیل بالای ایران در این حوزه، این فرصت را فراهم کرده‌است که ایران بتواند با سرمایه‌گذاری مناسب، تبدیل به کشوری پیشرو در حوزه فناوری‌های حرارتی خورشیدی متمرکز شونده شود. براساس مطالعات صورت گرفته بر روی پارامترهای جذابیت و همچنین توانمندی‌های موجود در کشور برای فناوری‌های مختلف حوزه حرارتی خورشیدی که نتایج آن در "سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های انرژی خورشیدی" [۴] منتشر شده است، دو تکنولوژی به عنوان فناوری‌های الویت‌دار شناسایی شدند.

فناوری سهموی خطی به عنوان بالغ‌ترین فناوری و تجاری‌ترین سیستم حرارتی خورشیدی متمرکز شونده با توجه به قابلیت‌ها و توانمندی‌های موجود در کشور، وجود متخصصین این حوزه، سابقه فعالیت در این فناوری و همچنین وجود شرکت‌های بزرگ که توانایی فعالیت در این حوزه را دارند به عنوان فناوری الویت‌دار مشخص شد. دیگر مزیت سیستم‌های سهموی خطی هیبرید سازی آن‌ها با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی کشور و کاهش مصرف سوخت در آنهاست.

فناوری موتور استرلینگ خورشیدی نیز با توجه به قابلیت‌های ویژه در بین دیگر تکنولوژی‌ها، از جمله نصب در نیروگاه‌های کوچک مقیاس و سازگاری کامل، با بحث تولید پراکنده، همچنین سوابق تیم تخصصی تولید دانش فنی ساخت موتور استرلینگ خورشیدی در کشور دیگر فناوری الویت‌دار در این حوزه شناسایی شد.

قطعا برای ورود به بازار تجاری در این حوزه‌ها، ایجاد تفاهم نامه‌ها و همکاری‌های بین‌المللی برای انتقال دانش فنی طراحی و ساخت نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی متمرکز شونده، سرمایه‌گذاری برای نصب سیستم‌های چند مگاواتی، ایجاد مشوق‌های مالی برای خرید تضمینی و با قیمت مناسب برق‌های تجدیدپذیر و همچنین حمایت از شرکت‌های سرمایه‌گذار برای ورود به این حوزه باید در دستور کار قرار گیرد.

## ۶- نتیجه‌گیری

برای بهره‌برداری از انرژی رایگان و پاک خورشیدی، قطعا سیستم‌های متمرکز شونده حرارتی خورشیدی یکی از گزینه‌های مناسب برای ایران است. براساس الویت‌بندی صورت گرفته توسط خبرگان این حوزه در کشور، دو فناوری سهموی خطی و دیش استرلینگ انتخاب شدند. با توجه به سوابق خوب متخصصین کشور

در پروژه‌های شیراز و نیز در زمینه فناوری سهموی خطی، توسعه این فناوری با کمک شرکت‌های بین‌المللی فعال در این حوزه امری است که ایران را قادر خواهد کرد طی چند سال آینده به یکی از بهره‌برداران مهم در این حوزه تبدیل شود، همچنین توانمندی متخصصین داخلی در فناوری موتور استرلینگ خورشیدی نیز این امید را می‌دهد که با سرمایه‌گذاری مناسب، ایران به تولید کننده اصلی این موتورها در منطقه تبدیل شود و بتواند از مزایا و قابلیت‌های مناسب آن بهره‌مند گردد.

### منابع

[1] J. Muirhead, "CSP Today Markets Report," CSP Today , 2014.

[۲] آ. ح. پ. کاشانی، "تدوین اطلس انرژی‌های تجدیدپذیر کشور جهت احداث نیروگاه‌های انرژی های تجدیدپذیر"، پژوهشگاه نیرو، 1388،

[3] "Technology Roadmap of Concentrating Solar Power," international energy agency , 2014.

[۴] "تدوین سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی در ایران"، پژوهشگاه نیرو، 1394.

[5] "Concentrating Solar Power Technology Brief," The International Renewable Energy Agency (IRENA), 2014.

## کنفرانس انرژی خورشیدی فوتوولتائیک ۲۰۱۷

سازمان کنفرانس و نمایشگاه انرژی خورشیدی فوتوولتائیک اروپا (EUPVSEC)<sup>۱</sup> کنفرانس انرژی خورشیدی فوتوولتائیک سال ۲۰۱۷ را در روزهای ۲۵ تا ۲۹ سپتامبر همان سال در شهر آمستردام هلند برگزار کرد. این رویداد (کنفرانس و نمایشگاه) ۲۵۱۶ شرکت کننده داشت. در کنفرانس مذکور ۱۱۰۷ ارائه علمی توسط متخصصین انرژی خورشیدی از ۶۵ کشور جهان انجام گردید. هدف اصلی این رویداد بر تحقیقات و فناوری در زمینه فوتوولتائیک با تمرکز بر آخرین یافته‌های علمی، فناوری و روند تغییرات بازارهای مرتبط، استوار بود. برخی از رخدادهای شاخص این کنفرانس عبارتند از:

- شرکت Kaneka از ژاپن رکورد جهانی را برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی بلوری تا ۲۶/۷٪ بهبود بخشید.
- Fraunhofer ISE از آلمان رکورد جهانی بازدهی ۲۲/۳٪ را برای فناوری سلول خورشیدی چند-بلوره<sup>۲</sup> گزارش کرد.
- Trina Solar از چین از یک سلول خورشیدی سیلیکونی IBC تماس-پشت<sup>۳</sup> چاپ صفحه‌ای<sup>۴</sup> با بازده ۲۴/۱٪ رونمایی کرد.
- اعلام بهبود بازدهی فناوری سلول CIGS توسط شرکت‌های فعال در زمینه فناوری لایه نازک:

<sup>۱</sup> - European PV Solar Energy Conference and Exhibition  
<sup>۲</sup> - Multi-crystalline  
<sup>۳</sup> - Back-contact  
<sup>۴</sup> - Screen-printed

- Solar Frontier یک مدول کوچک<sup>۱</sup> با بازدهی  $19/8\%$
  - Avancis صفحه‌ای به ابعاد  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$  برای CUGS با بازدهی  $18/2\%$
  - Solibro مدول CIGS با ابعاد تجاری با بازدهی سطحی کلی<sup>۲</sup>  $17\%$
- تویوتای ژاپن مدول‌های خورشیدی نوآورانه‌ای را برای کاربرد در صنعت خودرو به نمایش گذاشت.

سرفصل‌های ارائه شده در این کنفرانس عبارت بودند از:

- مواد و مفاهیم جدید برای ابزارهای فوتوولتائیک
- فوتوولتائیک‌های سیلیکونی
- فوتوولتائیک‌های لایه نازک
- فوتوولتائیک‌های متمرکز کننده و فضایی
- عملکرد، اطمینان‌پذیری و پایداری مدول‌های فوتوولتائیک و اجزای سیستم‌های جانبی<sup>۳</sup> آن‌ها
- عملکرد و تجمیع سیستم‌های فوتوولتائیک
- اقتصاد، بازارها و سیاست‌های مربوط به فوتوولتائیک

---

<sup>1</sup> - Mini-module

<sup>2</sup> - Total Area Efficiency

<sup>3</sup> - Body of System Components



منابع

- [1] (2017, December 11). *EU PVSEC*. Retrieved from: <http://www.photovoltaic-conference.com/programme/conference.html>
- [2] (2017, December 11). *EU PVSEC 2017 - Conference Programme / Outline of the Week*. Retrieved from: <https://www.photovoltaic-conference.com/images/2017/conference/programme/170918 - EU PVSEC 2017 - Conference Programme Outline web.pdf>

Title:

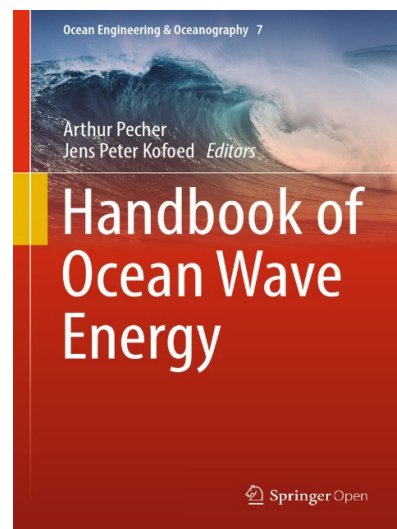
Handbook of Ocean Wave Energy

عنوان فارسی: عنوان فارسی:

هندبوک انرژی امواج اقیانوسی

سال انتشار: ۲۰۱۷

ناشر: Springer International Publishing



کتاب حاضر در ۲۸۷ صفحه به نگارش در آمده است. این کتاب یک راهنمای مرجع تجربه-محور<sup>۱</sup> در زمینه انرژی امواج اقیانوسی می‌باشد که در آن نگاه عمیقی به مبدل‌های انرژی امواج (WEC)<sup>۲</sup> و جنبه‌های اقتصادی و مهندسی مرتبط با تبدیل انرژی امواج اقیانوس، پرداخته شده است. اهم مطالب ارائه شده در این کتاب به شرح زیر می‌باشد:

- معرفی و بررسی بخش انرژی امواج
- منابع انرژی امواج
- توسعه فنی - اقتصادی مبدل‌های انرژی امواج
- اقتصاد مبدل‌های انرژی امواج
- هیدرودینامیک مبدل‌های انرژی امواج
- طراحی مبدل‌های انرژی امواج و مدل‌سازی Wave-to-Wire آن‌ها
- آزمایش‌های تجربی و ارزیابی مدول‌های انرژی امواج

<sup>1</sup> - Practice-oriented

<sup>2</sup> - Wave Energy Converter

