

گزارش

دستاوردهای

پروژه‌های

پژوهشکده انرژی

و محیط زیست (از

سال ۹۱ تا ۹۶)

- ✓ طراحی و ساخت استک ۱۰۰ وات پیل سوختی اکسید جامد
- ✓ طراحی و ساخت سیستم متمرکزکننده خورشیدی
- ✓ تدوین روش‌شناسی توسعه کاربرد فناوری‌های نوین و پاک
- ✓ مطالعات حرارت سنجی
- ✓ فاز اول تدوین دسته آزمون‌های تضمین کیفیت ماژول فتوولتائیک
- ✓ تحقیق و مطالعه در خصوص میزان انتشار جیوه
- ✓ بررسی استفاده از سنسورها در پایش لحظه‌ای آلاینده‌های آلی آب
- ✓ آینده‌پژوهی توسعه فناوری‌های اسمز مستقیم
- ✓ تعیین سهم عوامل موثر بر انتشار گاز دی اکسید کربن
- ✓ طراحی سیستم پایش پیش بینی کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها
- ✓ خدمات مشاوره عملکرد سامانه بهینه گازی سازی زیست توده
- ✓ جداسازی SO<sub>2</sub> از گاز خروجی دودکش نیروگاه



۱.....	مقدمه
۲.....	گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر
۳.....	طراحی و ساخت استک ۱۰۰ وات پیل سوختی اکسید جامد
۱۳.....	طراحی و ساخت سیستم متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای
۲۵.....	تدوین روش‌شناسی توسعه کاربرد فناوری‌های نوین و پاک
۳۷.....	مطالعات حرارت سنجی در منطقه زمین گرمایی محلات
۴۴.....	فاز اول تدوین دسته‌آزمون‌های تضمین کیفیت ماژول فتوولتائیک
۵۴.....	گروه پژوهشی محیط زیست
۵۵.....	تحقیق و مطالعه در خصوص میزان انتشار جیوه حاصل از سوخت ذغال سنگ
۶۱.....	بررسی استفاده از سنسورها در پایش لحظه‌ای آلاینده‌های آلی آب
۶۹.....	آینده‌پژوهی توسعه فناوری‌های اسمز مستقیم
۸۱.....	تعیین سهم عوامل موثر بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن
۹۴.....	طراحی ، پیاده‌سازی و استقرار سیستم پایش پیش‌بینی کننده انتشار گاز
۱۰۳.....	خدمات مشاوره عملکرد سامانه بهینه‌گاز‌سازی زیست توده
۱۱۷.....	جداسازی SO <sub>2</sub> از گاز خروجی دودکش نیروگاه

## مقدمه

پایان‌پذیری منابع انرژی فسیلی کشور و وابستگی رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور به درآمد حاصل از صادرات این منابع، در کنار اثرات بسیار مخرب مصرف سوخت‌های فسیلی روی محیط زیست، اهمیت صیانت از منابع انرژی اولیه کشور و بهره‌برداری بهینه از آنها را دو چندان نموده است. این امر انجام تحقیقات کاربردی در محورهای زیر را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید:

- بهینه‌سازی مصرف و استفاده منطقی از انرژی
- بهره‌گیری از انرژی‌های نو و تجدید پذیر با توجه به پتانسیل بالقوه بسیار مناسب آنها در کشور
- کنترل آلاینده‌های آب، هوا و خاک با هدف استفاده مجدد از دور ریزها به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مواد

از این‌رو پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست پژوهشگاه نیرو در راستای فعال نمودن محورهای تحقیقاتی فوق‌الذکر از طریق انجام پروژه‌های تحقیقاتی - کاربردی فعالیت خود را برنامه‌ریزی نموده است. پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست با بهره‌گیری از کادر تخصصی ورزیده و مجرب و همچنین تجهیزات و امکانات مناسب آزمایشگاهی و کارگاهی، مشغول فعالیت و ارائه خدمات است. هر ساله پروژه‌هایی در زمینه‌ی مربوطه تعریف، انجام و اجرا می‌شود.

گزارش حاضر شامل فعالیت‌های پژوهشی انجام شده ی پژوهش‌شده از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ است که در دو بخش گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و گروه محیط زیست ارائه شده است.

## گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۱۳۷۷ و با هدف اجرای پروژه‌های کاربردی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت برق کشور تشکیل گردید. این گروه پژوهشی با بهره‌مندی از اعضای هیات علمی، پژوهشگران و کارشناسان حوزه‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، پروژه‌های متعدد پژوهشی و مشاوره را به پایان رسانده و یا در دست اجرا دارد. هم اکنون نیز با توجه به مأموریت محوله جدید وزارت نیرو، با تهیه و پیگیری اجرا نقشه راه‌های توسعه فناوری‌های انرژی خورشیدی، زیست توده و زمین گرمایی، وظیفه مدیریت دانش و پژوهش فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با رویکرد اولویت‌های صنعت برق را برعهده دارد. در این بخش پروژه‌هایی انجام شده از سال ۱۳۹۲ توسط گروه انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی خواهد شد.



عنوان پروژه: طراحی و ساخت استک ۱۰۰ وات پیل سوختی اکسید جامد با

هدف تدوین دانش فنی اتصال دهنده داخلی و آب بند

مجری و مدیر پروژه: حامد محبی

سال انجام پروژه: ۱۳۹۲

### چکیده:

نخستین گام در مسیر تولید توان از سیستم‌های پیل سوختی پس از ساخت تک سل پیل سوختی، ساخت استک است. برای ساخت استک، تک‌سل‌های پیل سوختی به طور متوالی بر روی هم قرار گرفته و در مجموع توان مورد نظر را تولید می‌کنند. به منظور توسعه استک پیل سوختی اکسید جامد علاوه بر سل‌ها بایستی اجزای دیگری نیز نظیر اتصال دهنده‌های داخلی و آب بندها نیز توسعه داده شوند. در پروژه "ساخت استک ۱۰۰ وات پیل سوختی اکسید جامد با هدف تدوین دانش فنی ساخت اتصال دهنده‌های داخلی و آب بندها" سعی شده است تا دانش فنی طراحی و ساخت اجزای استک و همچنین استک پیل سوختی اکسید جامد توسعه داده شود.

### مقدمه:

پیل‌های سوختی به دلیل راندمان بالا، عدم انتشار آلاینده‌های زیست محیطی، دانسیته توان بالا، عدم وجود قطعات متحرک و عدم ایجاد ارتعاش و صدا، تجهیزات مطلوبی برای تولید انرژی از ظرفیت‌های بسیار کم تا نیروگاه‌های بسیار بزرگ به حساب می‌آیند. یکی از پرکاربردترین انواع پیل‌ها برای این منظور، پیل سوختی اکسید جامد است. دمای عملکردی بالای پیل‌های سوختی اکسید جامد سبب شده تا در این نوع از پیل‌های سوختی بتوان سوخت‌های متنوعی نظیر گاز طبیعی را بطور مستقیم مورد استفاده قرار داد. علاوه بر این گرمای تولید شده در این نوع پیل‌های سوختی دارای کیفیت بالایی بوده و قابل استفاده در سیکل‌های ترکیبی و سیستم‌های تهویه مطبوع منازل است. خصوصیات منحصر به فرد پیل سوختی اکسید جامد،

سبب کاربردهای گسترده آن گردیده است. وجود برنامه برای توسعه پیل سوختی اکسید جامد در سند راهبرد ملی فناوری پیل سوختی کشور، ضرورت شناخت این تکنولوژی را ایجاب می‌کند. با توجه به تجربه موجود در پژوهشگاه نیرو در زمینه ساخت نخستین تک سل پیل سوختی اکسید جامد کشور و لزوم توسعه دانش فنی موجود به منظور ساخت سیستم‌های تولید توان بر پایه SOFC و همچنین وجود متخصصان فناوری پیل سوختی، تدوین دانش فنی ساخت استک ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین در نخستین گام طراحی و ساخت یک استک ۱۰۰ واتی پیل سوختی اکسید جامد به منظور تدوین دانش فنی طراحی و ساخت اجزای یک استک SOFC در دستور کار قرار گرفت.

نخستین مرحله در طراحی و ساخت یک استک پیل سوختی اکسید جامد طراحی مفهومی استک است. به این معنی که بایستی مشخص شود طراحی کلی بر چه مبنایی است (شکل سل‌ها و به طبع آن شکل استک). سپس بر این اساس و با توجه با کارایی تک سل‌هایی که قرار است توان استک توسط آنها تامین شود، تعداد واحدهای استک تعیین گردد. سپس با توجه به توان نهایی استک و شرایط کارایی استک بایستی مقدار لازم واکنشگرها تعیین شود و بر همین مبنا طراحی مجاری لازم جهت گاز رسانی انجام شود. از آنجا که نحوه آب بندی استک تاثیر به سزایی بر طراحی خواهد داشت بایستی نوع آب بندی نیز مشخص گردد.

در واقع با طراحی مفهومی استک چهار چوب کلی استک و اجزای آن تعیین شده و طراحی‌های جزئی و بهینه‌سازی‌ها در این چهار چوب انجام خواهد شد. بدیهی است در صورتی که طراحی مفهومی به صورت صحیح انجام نشده باشد بهینه‌سازی‌ها و طراحی‌های جزئی در یک چهار چوب اشتباه انجام می‌شود که لزوماً منجر به حصول نتیجه مطلوب نخواهد شد و یا قابلیت اجرای عملی نخواهد یافت.

لذا این مرحله یکی از مراحل اساسی در توسعه استک پیل سوختی اکسید جامد است که بایستی به دقت و با وسواس فراوان انجام شود. از آنجا که تجربه‌ای در داخل کشور در این زمینه وجود ندارد لذا استفاده از تجربیات موسسات خارجی می‌تواند در این زمینه بسیار راهگشا

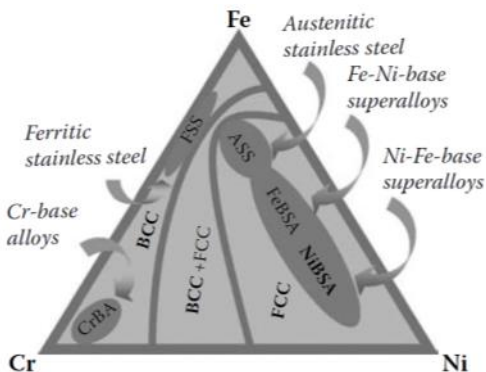
باشد. بنابراین به منظور انجام طراحی ابتدا مطالعه مفصلی بر روی انواع استکهای ساخته شده در جهان انجام شد و ایده‌هایی از طراحی‌های موجود اخذ شد و سپس با توجه به مزایا و معایب هر یک طراحی نهایی برای استک انتخاب گردید.

پس از مشخص شدن نوع طراحی در مرحله بعد انتخاب یک ماده مناسب به گونه‌ای که بتواند نیازمندیهای اجزای فلزی استک را پاسخگو باشد از مهمترین مراحل است. انتخاب ماده مناسب مستلزم مطالعه خصوصیات مواد مختلف و یافتن وجه مشترک بین این خواص و نیازمندی‌های اجزای پیل سوختی اکسید جامد است. در گام بعد بایستی بر مبنای طراحی مفهومی انجام شده و با توجه به توانمندیهای موجود طراحی برای استک تهیه شود که بتواند پاسخگوی نیاز استک از لحاظ گازرسانی، انتقال جریان الکتریکی و فراهم آوردن شرایط آب‌بندی مناسب، باشد.

با در نظر گرفتن نیازهای صفحات اتصال‌دهنده داخلی، مواد فلزی که بالقوه می‌توانند برای این منظور نامزد شوند. شامل آلیاژهای پایه آهن، پایه نیکل، پایه کروم و نیز فلزات قیمتی می‌باشند. بجز نقره، فلزات قیمتی برای استفاده در این کاربرد بسیار گران تمام می‌شوند. اما نقره نیز بخاطر دمای ذوب پایین ( $960^{\circ}\text{C}$ ) و ناپایداری ذاتی آن در شرایط اتمسفری هوا/ هیدروژن کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا گزینه‌های مطلوب به موارد زیر محدود می‌شوند:

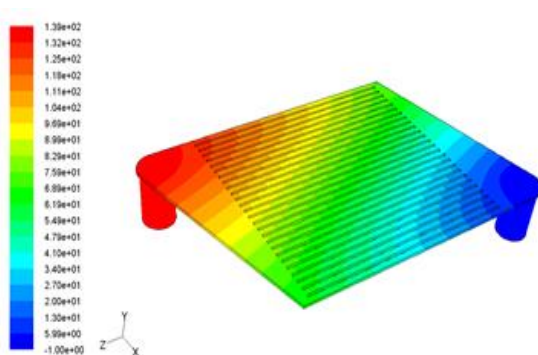
- آلیاژهای پایه نیکل مقاوم به حرارت
- آلیاژهای پایه کروم
- آلیاژهای پایه آهن - کروم مانند فولادهای زنگ نزن آستنیتی و فولادهای زنگ نزن فریتی

این گروه‌های متفاوت آلیاژی به طور شماتیک، در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

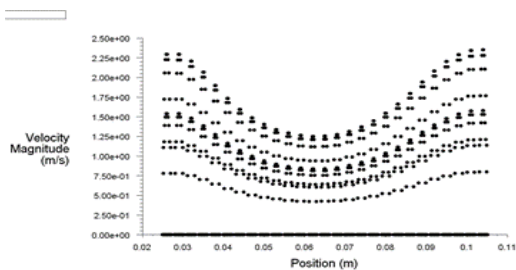
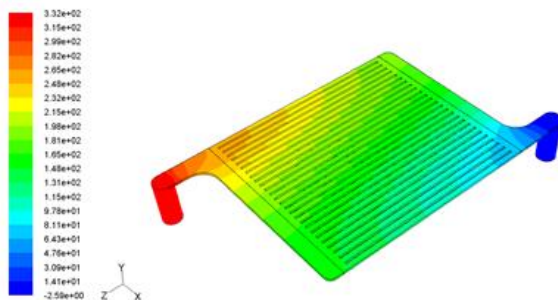
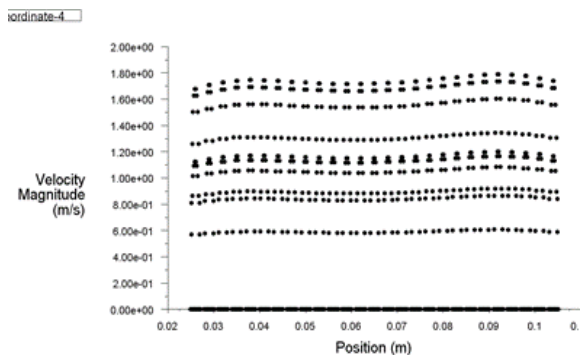


شمایی از طراحی آلیاژ به منظور کاربرد در پیل سوختی اکسید جامد

با توجه به مواد قابل تهیه و همچنین نیازمندیهای استک فولادهای زنگ نزن سری ۳۰۰ به عنوان ماده اصلی انتخاب شدند. به منظور نیل به طرح نهایی استک، ۱۴ طرح مختلف برای استک در نظر گرفته شد و عملکرد هر کدام با استفاده از روش‌های شبیه سازی عددی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت مناسبترین طرح با توجه به فاکتورهایی مانند عملکرد بهینه، قابلیت ساخت، هزینه ساخت و ... انتخاب شد. برخی از نتایج حاصله در شکل ۲ نشان داده شده است. سپس بر مبنای نتایج حاصل از شبیه سازی نمونه‌های واقعی ساخته شدند (شکل ۳).

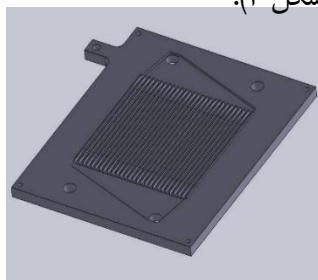




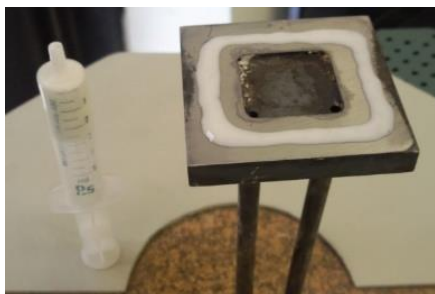


دو نمونه از طراحی‌های انجام شده برای استک و نمودار سرعت سیال مربوطه

چالش آب‌بندی کردن سوخت و اکسیژن در استک صفحه‌ای SOFC یکی از بزرگترین چالش‌های این نوع پیل سوختی می‌باشد و از اهمیت خاصی برخوردار است. نوع و نحوه آب‌بندی به طراحی بستگی کامل دارد، چنانچه در طراحی لوله‌ای و مونولیتیک نیازی به آب‌بندی نیست در حالی که در طراحی صفحه‌ای به آب‌بندی چندگانه نیاز است. مهمترین وظیفه آب‌بندها در استک پیل سوختی اکسید جامد جلوگیری از واکنش ناخواسته اجزای واکنشگر با یکدیگر است. آب‌بندی نامناسب حتی در شرایط حالت پایدار در ابتدای کارکرد می‌تواند منجر به کاهش عملکرد گردد. از دیگر عواقب آب‌بندی نامناسب کاهش پتانسیل ترمودینامیکی یا افزایش اضافه پتانسیل است. به‌علاوه از بین رفتن آب‌بندی می‌تواند باعث ایجاد حرارت موضعی غیر قابل تحمل در اجزای سیستم شود که نهایتاً به از بین رفتن سیستم و آسیب‌های امنیتی منجر خواهد شد. به دلایل ذکر شده بیشتر نشستی‌هایی که امکان دارد در یک استک رخ دهد، غیر قابل قبول هستند، حتی اگر این نشستی‌ها بسیار کوچک باشند. نشستی‌های دائمی حتی در مقیاس کم، در درازمدت عملکرد سیستم را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند. در شرایط حادثه عدم آب‌بندی مناسب می‌تواند خطرناک بوده و باعث واکنش شدید هیدروژن در دمای بالا و وقوع انفجار شود. به منظور آب‌بندی استک در دمای بالا از آب بندهای شیشه‌ای استفاده شد. شیشه با ترکیب مورد نظر با استفاده از فرایند ذوب تهیه و با استفاده از پودر شیشه نوار و خمیر آب‌بندی تهیه و در آب‌بندی استک مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴).

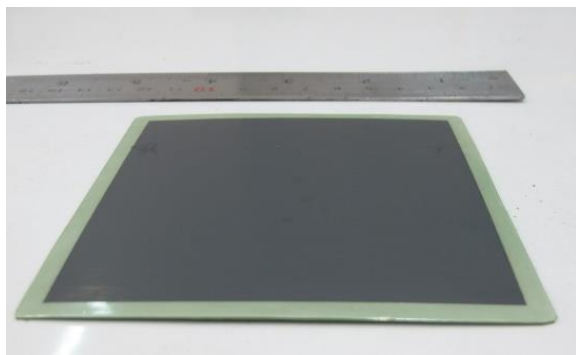


نمونه طراحی شده و نمونه واقعی ساخته شده صفحات اتصال دهنده استک

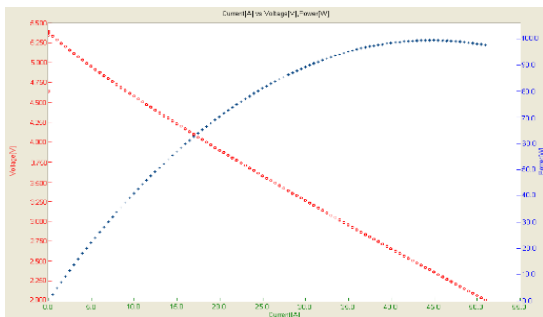


نوار و خمیر آب بندی مورد استفاده قرار گرفته در استک

با استفاده از تجربیات موجود در پژوهشگاه نیز سل‌های مورد استفاده ساخته شدند (شکل ۵). با ساخته شدن تمام اجزای استک و اطمینان از کیفیت و کارایی هر یک، مرحله مونتاژ استک انجام گرفت و با روی هم قرار گرفتن ۵ طبقه از اجزا، بر اساس طراحی انجام گرفته، بایستی توان ۱۰۰ وات از استک حاصل می‌شد. با مونتاژ استک در داخل کوره و افزایش دما و دمیدن گازهای سوخت (هیدروژن) و اکسنده (هوا) پتانسیل مدار باز ۵/۵ ولت حاصل شد و با تحت بار قرار دادن استک توان ۱۰۰ وات از آن استحصال شد (شکل ۶ و ۷).



نمونه سل ساخته شده جهت کاربرد در استک



استک مونتاژ شده و نمودار جریان- ولتاژ حاصل از استک



سیستم روشنایی به ظرفیت ۱۰۰ وات راه‌اندازی شده با استفاده از استک پیل سوختی اکسید جامد ساخته شده

## نتیجه‌گیری

نتایج و دستاوردهای عمده پروژه حاضر عبارت است از:

- ۱- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت اجزای استک پیل سوختی اکسید جامد
- ۲- دستیابی به دانش فنی و توسعه روش‌های ساخت سل‌های با ابعاد و اشکال متفاوت جهت کاربرد در استک پیل سوختی اکسید جامد
- ۳- توسعه و ساخت آب‌بندهای دما بالا با قابلیت حفظ کارایی تا ۱۰۰ ساعت
- ۴- توسعه سیستم‌های تست آب‌بندهای دما بالا
- ۵- افزایش کارایی پیل سوختی اکسید جامد به دانسیته توان بیش از  $0.7 \text{ W/cm}^2$
- ۶- توسعه روش‌های تست استک‌های پیل سوختی اکسید جامد تا توان ۱۰۰ وات

## منابع

- [1] Frank Tietz et al, **10 years of materials research for solid oxide fuel cells at forschungszentrum julich**, Journal Electroceram (2006) 17:701–707.
- [2] Zhenrong Wang et al, **A study of multilayer tape casting method for anode-supported planar type solid oxide fuel cells (SOFCs)**, Journal of Alloys and Compounds 437 (2007) 264–268.
- [3] Thomas L. Reitz, Haiming Xiao, **Characterization of electrolyte–electrode interlayers in thin film solid oxide fuel cells**, Journal of Power Sources 161 (2006) 437–443.
- [4] Min-Fang Han et al, **Fabrication and properties of anode-supported solid oxide fuel cell**, Solid State Ionics 9 (2008) 154–158.
- [5] Jung-Hoon Song et al, **Fabrication characteristics of an anode-supported thin-film electrolyte fabricated by the tape casting method for IT-SOFC**, journal of materials processing technology 198 (2008) 414–418.

- [6] H.-W. Lee et al, **Advanced planar SOFC stack with improved thermo-mechanical reliability, and electrochemical performance**, Solid State Ionics 179 (2008) 1454–1458.
- [7] M.H. Pihlatie et al, **Electrical conductivity of Ni–YSZ composites: Variants and redox cycling**, Solid State Ionics 222-223 (2012) 38–46.
- [8] Q.L. Li et al, **Fabrication and characterization of large-size electrolyte/anode bilayer structures for low-temperature solid oxide fuel cell stack based on gadolinia-doped ceria electrolyte**, Journal of Membrane Science 371 (2011) 219–225.
- [9] Hyung-Tae Lim, Anil V. Virkar, **A study of solid oxide fuel cell stack failure by inducing abnormal behavior in a single cell test**, Journal of Power Sources 185 (2008) 790–800.
- [10] **TAPE CASTING THEORY AND PRACTICE**, Richard E. Mistler and Eric R. Ihinane, Published by The American Ceramic Society, 735 Ceramic Place, Westerville, OH 43081 (2000).
- [11] **SOLID OXIDE FUEL CELLS Materials Properties and Performance**, Jeffrey W. Fergus et al, CRC Press Taylor & Francis Group Boca Raton London New York (2008).

عنوان پروژه: طراحی و ساخت سیستم متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای برای موتور

استرلینگ ۱۰ کیلوواتی

مجری پروژه: دکتر امیر فرهنگ ستوده

مدیر پروژه: مهندس سید سعید ضیایی طباطبایی

سال انجام پروژه: ۹۵-۹۶

## چکیده

پروژه طراحی و ساخت متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای برای موتور استرلینگ ۱۰ کیلوواتی که از اسفند ماه سال ۹۵ مجدداً فعال شد و بخش‌های طراحی مکانیزم حرکتی، طراحی سیستم کنترلی و ساخت و نصب سازه دیش، بررسی وضعیت آینه‌ها و راه‌اندازی موتور استرلینگ انجام شده است و اجرای مکانیزم حرکتی و سیستم کنترلی در حال انجام است. این پروژه پس از پایان مراحل اجرای مکانیزم حرکتی و نصب آینه‌ها و موتور استرلینگ قابلیت تولید توان الکتریکی تا سقف ۱۰ کیلووات را خواهد داشت.

## مقدمه

در سال ۱۹۹۱ شرکت SBP اولین متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ kW در ۹ خود را با نام DISTAL I برای تست بلند مدت بکار گرفت. این مجموعه از یک متمرکزکننده غشایی یکپارچه ۷/۵ متری و یک موتور استرلینگ kW ۹ تشکیل شده بود [۱]. در سال ۱۹۹۷ سه عدد متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ SBP10kW ساخته شد. این متمرکزکننده‌ها همانند سری DISTAL I بودند با این تفاوت که متمرکزکننده آنها با استفاده از روش‌های جوشکاری لیزری ساخته شده بود. همچنین سیستم ردیابی آنها بصورت سمتی-ارتفاعی با عملیات کنترلی کاملاً اتوماتیک ساخته شده بود و به همین علت نیاز به هیچگونه اصلاح خطای سمتی در طول روز نداشتند [۲]. متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ 10 kW – Garden Exhibition

به عنوان یک نمونه آزمایشی در سایت Pforzheim در کشور آلمان و در سال ۱۹۹۲ راه اندازی شد. متمرکزکننده آن از تکنولوژی پوسته غشایی استفاده کرده و سیستم ردیابی آن سمتی-ارتفاعی بوده است. این متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ، بوسيله موتور بهینه شده V160 تجهیز شده است و اولین سیستمی می‌باشد که سیستم کنترلی آن نیمه-اتوماتیک می‌باشد [۳]. متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ 10 kW EuroDish- در اسپانیا و آلمان در سال ۲۰۰۰ از اولین متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ هستند که دارای متمرکزکننده کامپوزیتی فایبرگلس-پلاستیک می‌باشند. سیستم‌ها توسط موتور استرلینگ ارتقاء یافته و با سیستم کنترلی پیشرفته تجهیز شده‌اند [۴]. متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ EuroDish CESI - 10 kW که توسط شرکت آلمانی Schlaich-Beraermann and Partner ساخته شد در سال ۲۰۰۲ در میلان ایتالیا نصب شد و تا این لحظه در حال کار است. متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ در جلوی ساختمان Krick نزدیک شهر Wuerzburg آلمان ساخته شد. این سیستم بطور مستمر و موفقیت‌آمیزی تا کنون کار کرده است. شرکت SBP همچنین در خصوص طراحی متمرکزکننده سهموی برای پروژه متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ INFANIA 3 kW با مهندسین آمریکایی همکاری داشته است و انواع تست‌ها (تست نور، تست خطا) را روی آن انجام داده است [۵]. گروه R&D شرکت SAIC با همکاری شرکت STM توانستند بر روی دومین متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ مجهز به پوسته-غشایی کار کنند. این متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ مجهز به یک دریافت‌کننده لوله مستقیم و موتور STM 4-120 بود. خروجی این سیستم ۲۱,۶ kW با بازده ۲۴ درصد است. SAIC/STM تصمیم داشتند تا پنج نمونه از آنها را در جاهای مختلفی نصب نمایند [۱]. شرکت Stirling Energy Systems (SES) در سال ۱۹۹۶ با به ثبت رساندن حق مهندسی و طراحی در زمینه متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ را با داشتن ۳۰ سال



تجربه مهندسی در شرکت‌های فورد، مک دونالد داگلاس و بوئینگ تاسیس شد [۶]. SES، شرکت تولیدکننده متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ بعد از مدتی کوتاهی مشارکت خود را با Sandia National Laboratories، آغاز نمود و با ساخت SunCatcher، پیشگام در ساخت نیروگاه‌های متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ (CSP) و تولید برق از خورشید گردید. متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ ۲۵kW Suncatcher شرکت SES با بازده ۲۹,۴ ارائه می‌شود [۷]. تکنولوژی SunCatcher بدون نیاز به مصرف آب برای تولید قدرت، کمترین اثر زیست محیطی و بیشترین بازده در تولید برق پیشرفت‌های قاطع نسبت به دیگر شرکت‌های فعال در زمینه CSP داشته است. این شرکت اولین نیروگاه تولید برق ۱,۵ MW تجاری خود که از تکنولوژی SunCatcher بهره می‌برد را در سال ۲۰۱۰ میلادی در Peoria و Arizona با ۶۰ عدد متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ به راه انداخت. این شرکت دارای نمایندگی در Arizona - Scottsdale و سایت مهندسی آن در Sandia National Laboratories در ایالت نیو مکزیک است [۶]. این شرکت به عنوان شرکت دوقلو SES خودکفا در ساخت اجزاء برای انرژی خورشیدی است که از سیستم‌های خورشیدی SunCatcher استفاده می‌کند که توسط SES ساخته شده است. اولین پروژه این شرکت Maricopa Solar در سال ۲۰۱۰ میلادی در Arizona شروع به کار کرد [۸]. شرکت WGAssociates (WGA) از شرکت‌های کوچک در زمینه تولید متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ است که در سال ۱۹۸۳ میلادی در تگزاس کار خود را آغاز کرد. از محصولات این شرکت می‌توان به متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ Test Bed Concentrators به قطر ۱۱ متر اشاره نمود که به مدت ۲۰ سال است که در Sandia کار می‌کند. دیگر کار آنها متمرکزکننده خورشیدی نقطه‌ای با موتور استرلینگ ۲۵ kW با متمرکزکننده پوسته غشائی است که برای Sandia طراحی و ساخته شد [۹]. در ایران نیز تنها سیستم متمرکزکننده خورشیدی ساخته شده توسط پژوهشگاه نیرو

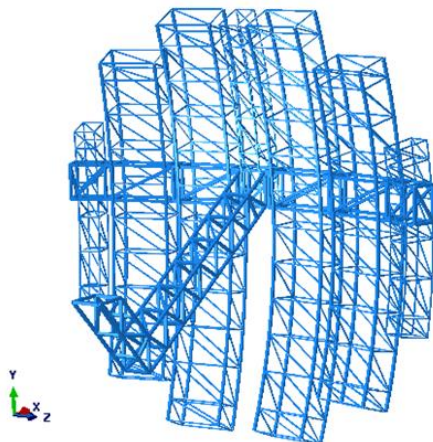
بوده که توان تولید ۱۰ کیلووات را داشته و در سال ۲۰۰۳ در پژوهشگاه نیرو نصب شده است [۱۰].

در پروژه حاضر طراحی و ساخت یک متمرکز کننده خورشیدی با موتور استرلینگ مد نظر است که مراحل مختلف طراحی و ساخت آن در پژوهشگاه نیرو و با همکاری شرکت‌های داخلی صورت گرفته است.

### طراحی سازه متمرکز کننده

در سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی با موتور استرلینگ، سازه بخش متمرکز کننده به دلیل دقت بالای مورد نیاز و همچنین بارهای وارد بر آن (به ویژه ناشی از باد) از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به گسترده بودن سطح متمرکز کننده، بارهای وارده از طرف باد بر این سازه‌ها می‌تواند بسیار عظیم بوده و لذا سازه آن ضمن سبک بودن می‌بایست توانایی تحمل این بارها را داشته باشد و در اثر آن دچار اعوجاج و تغییر شکل شدید به صورتی که تمرکز نور را مختل نماید، نگردد (سبک بودن سازه به منظور کاهش توان لازم برای به حرکت در آوردن سیستم در هنگام ردیابی خورشید اهمیت دارد).

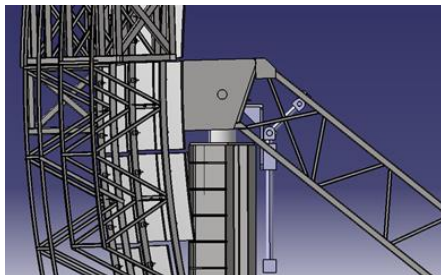
سازه بخش متمرکز کننده در اغلب سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی با موتور استرلینگ به صورت خرپایی ساخته شده است. خرپاها سازه‌هایی هستند که از اجزاء میله‌ای تشکیل شده‌اند و این میله‌ها تنها بارهای محوری را تحمل می‌کنند که از ترکیب میله‌ها در راستاهای مختلف، یک سازه صلب، با قابلیت تحمل نیرو در تمام راستاها ایجاد می‌گردد. شکل ۱ طرح کلی این سازه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: شماتیک طراحی اولیه سازه

### طراحی مکانیزم‌های حرکتی متمرکزکننده خورشیدی

برای رصد خورشید دو نوع حرکت سمتی و ارتفاعی باید تامین شود. حرکت سمتی با یک موتور و گیربکس و برای حرکت ارتفاعی آن چهار مکانیزم طراحی شده و مزایا و معایب هر کدام بررسی شده و در نهایت استفاده از جک هیدرولیکی برای حرکت ارتفاعی در نظر گرفته شد که در شکل مشاهده می‌گردد. برای حرکت سمتی از یک گیربکس حلزونی با نسبت تبدیل ۱:۲۰ و یا بالاتر و موتور الکتریکی با گشتاور ثابت ۴۰ نیوتن متر و حداقل توان ۵۶ وات با قابلیت کارکرد در سرعت‌های مابین ۰,۰۰۱۸ و ۰,۳۴۹ رادیان بر ثانیه استفاده شود.



شکل ۲: مکانیزم شماره ۴

در تصویر فوق مکان دیش در حالت افقی نشان داده شده است که در این حالت شفت بال اسکرو در پایین‌ترین حد خود قرار دارد که با حرکت این شفت به سمت بالا شاهد انتقال نیرو از طریق بازوی دوم به دیش بوده که گشتاور حاصل حول شفت دیش منجر به دوران آن شده و بدین صورت از فضای محدود داخل بازوی موتور استرلینگ حداکثر استفاده می‌شود به صورتی که نتیجه آن امکان رصد یک مسیر ۹۰ درجه‌ای برای متمرکز کننده است.

### شبیه‌سازی کلی سیستم کنترلی

شبیه‌سازی کلی سیستم کنترل نشان می‌دهد که سیستم با وجود مشخصات استاتیکی و دینامیکی سازه قادر به کنترل کردن سیستم متمرکز کننده است یا خیر؟! لذا در ابتدا مشخصات فیزیکی از قبیل جرم، ممان اینرسی و مشخصات سیستم از جمله نیروها و گشتاورهای مزاحم باید محاسبه شوند.

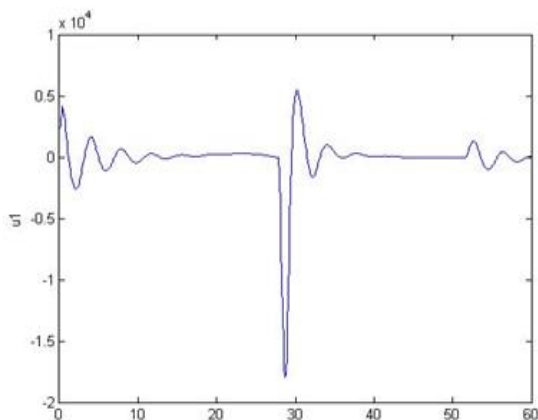
مسیر مطلوب نیز برابر با زوایای حرکت خورشید در نظر گرفته شده و سیستم این دو زاویه را مورد تعقیب قرار می‌دهد. در این شبیه‌سازی بعنوان نمونه یک روز کاری برابر با ۱۲ مرداد (N=217) در نظر گرفته شده است.

شروع تعقیب خورشید توسط متمرکز کننده ۳ ساعت بعد از طلوع خورشید و پایان آن نیز دو ساعت قبل از غروب آن در نظر گرفته شده است.

قانون کنترلی مورد استفاده در شبیه‌سازی PID است که برای مقاوم کردن سیستم در برابر ورودی‌های مزاحم از ضرایب با بهره‌ی متغیر استفاده شده است.

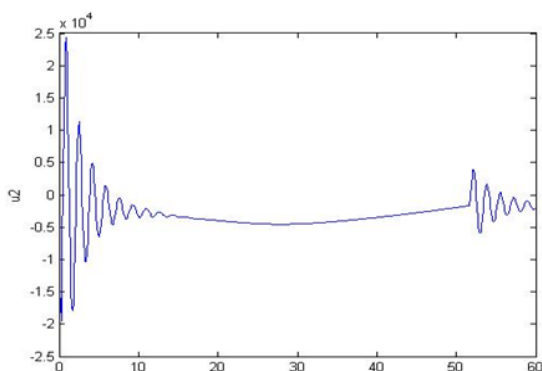
ورودی‌های کنترلی بدست آمده بدون بهینه‌کردن سیستم با در نظر گرفتن توان ورودی می‌باشد. لذا حداکثر توان مورد استفاده به عنوان عامل محدود کننده‌ی سیستم در نظر گرفته نشده و در ادامه به بهینه‌سازی توان لازم و متناسب ورودی با توان موتور مورد استفاده پرداخته خواهد شد. این ورودی‌های کنترلی با در نظر گرفتن شرط خطای کمتر از ۰,۰۱ رادیان (۰,۵ درجه) بدست آمده است.

نمودار مربوط به ورودی کنترلی زاویه ی سمتی (  $U_1$  ) در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۳: ورودی کنترلی زاویه ی سمتی

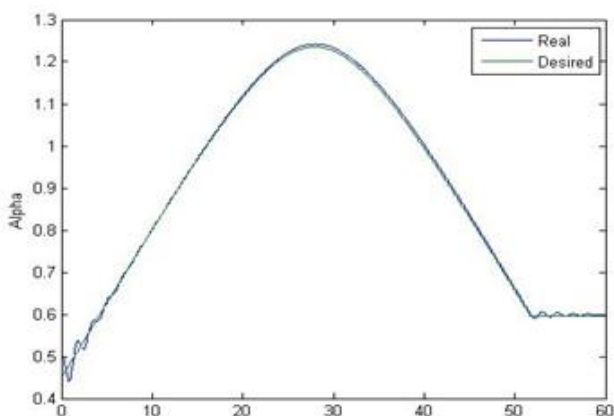
نمودار مربوط به ورودی کنترلی زاویه ی ارتفاعی (  $U_2$  ) در شکل زیر آورده شده است .



شکل ۴: ورودی کنترلی زاویه ارتفاعی

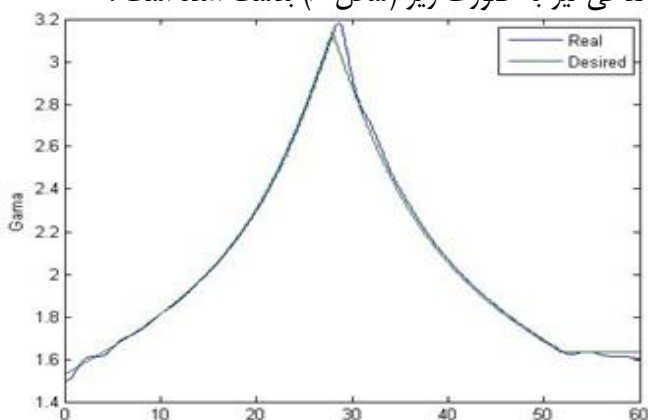
با در نظر گرفتن موقعیت حرکت خورشید به عنوان مسیر مطلوب ، و حداکثر خطای سیستم برابر با  $0.01$  رادیان ( $0.5$ ، درجه) پاسخ سیستم از طریق شبیه سازی قابل محاسبه است. البته یادآوری می‌شود که بهینه‌سازی سیستم با در نظر گرفتن توان ورودی و خطای حداکثر

صورت نگرفته و صرفاً شرط تعقیب پاسخ، حداکثر خطای ذکر شده است. تعداد حلقه‌های تکرار برابر با ۶۰۰ حلقه و تقریباً در کمتر از یک دقیقه سیستم فرمان جدید صادر می‌کند که از سریع‌ترین زمان تغییر حرکت زوایای خورشید کمتر است. و زویا برحسب رادیان است. پاسخ زاویه‌ی سمتی به صورت زیر (شکل ۵) بدست آمده است.



شکل ۵: پاسخ سیستم به زاویه سمتی

پاسخ زاویه ارتفاعی نیز به صورت زیر (شکل ۶) بدست آمده است.



شکل ۶: پاسخ سیستم به زاویه ارتفاعی

## ساخت و نصب تجهیزات متمرکز کننده

مراحل اجرا هم توسط شرکت پیمانکار پروژه انجام شده که تاکنون کار ساخت سازه متمرکز کننده و نصب آن روی پایه دیش و همچنین نصب مکانیزم ارتفاعی آن انجام شده است.

ستون متمرکز کننده خورشیدی پس از آماده سازی فنداسیون و انجام اتصالات اولیه توسط جرثقیل در وضعیت مورد نظر ثابت شده و اتصال ستون به صفحه فنداسیون انجام گرفته است.



شکل ۷: نمایی از ستون نصب شده متمرکز کننده

استراکچرهای مربوط به دیش متمرکز کننده در کارگاه ساخته شده و سپس به پژوهشگاه منتقل شده و در کنار ستون متمرکز کننده قرار داده شده است.

در تصاویر زیر اجزای مربوط به دیش و پایه موتور استرلینگ که ساخته شده و در کارگاه و پژوهشگاه نگهداری می‌شود را مشاهده می‌کنید.



شکل ۸: نمایی از استراکچرهای دیش

سپس نصب اجزای ساخته شده دیش روی پایه انجام شد که نتیجه را در شکل مشاهده می‌فرمایید.



شکل ۹: نمایی از متمرکزکننده پس از نصب دیش روی پایه



## نتیجه گیری

متمرکزکننده خورشیدی استرلینگ یکی از بهینه ترین سیستم‌های تولید توان خورشیدی است که اجرای نمونه ۱۰ کیلووات آن در این پروژه پیگیری می‌گردد. این پروژه در چند مرحله انجام شده است که بخش اول مربوط به طراحی سازه متمرکزکننده با در نظرگیری پارامترهای مربوط به مقاومت و وزن آن است. مکانیزمهای حرکت سمتی و ارتفاعی با هدف توانایی رصد خورشید با کمترین مصرف انرژی و کمترین خطای ممکن انجام شد. طراحی و شبیه سازی سیستم کنترلی نیز صورت گرفت. نصب سازه متمرکزکننده و همچنین مکانیزمهای حرکتی و اجرای سیستم کنترلی و نصب آینه‌ها مراحل بعدی انجام پروژه است.

## منابع

Stine ،W.B. and Diver ،R.E ،1994 ،A Compendium of Solar Dish Stirling Technology ،Report SAND94- 7026 ،Sandia National Laboratories.

Robert Pitz Paal, SOLAR ENERGY CONVERSION AND PHOTOENERGY SYSTEMS – High Temperature Solar Concentrators, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

William B. Stine, Richard B. Diver, "A Compendium of Solar Dish/ Stirling Technology", Sandia National Laboratories Report, 1994.

Baumüller, A., Schmieder, E. (2001) Field test and market introduction of a 10 kW Stirling engine as CHP and solar module. Proceedings of the VDI-GET 10. International Stirling Engine Conference, Osnabrück.

<http://www.sbp.de>

[www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com)

Charles E. Andraka ،2008 ،COST/PERFORMANCE TRADEOFFS FOR REFLECTORS USED IN SOLAR CONCENTRATING DISH SYSTEMS ،Proceedings of ES2008 Energy Sustainability 2008 August 10-14 ،2008 ، Jacksonville ،Florida USA.

[www.tesseractosolar.com](http://www.tesseractosolar.com)

WGA,2008 ،INTRODUCTION TO WGAssociatesand SOLAR DISH/STIRLING POWER SYSTEMS

P. SALEH, S. BOZORGMEHRI, "DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE FIRST SOLAR DISH/STIRLING ENGINE SYSTEM IN IRAN WITH 10 kW ELECTRICAL POWER", 19<sup>th</sup> International Power System Conference, 2004.

عنوان پروژه: تدوین روش‌شناسی توسعه کاربرد فناوری‌های نوین و پاک با هدف تأمین انرژی، آب و توسعه پایدار مناطق روستایی کشور  
مجری پروژه: انرژی‌های تجدیدپذیر  
مدیر پروژه: مهندس رضایی  
سال انجام پروژه: ۹۶-۹۵

## چکیده

طرح کلان «تدوین روش‌شناسی<sup>۱</sup> توسعه کاربرد فناوری‌های نوین و پاک با هدف تأمین انرژی، آب و توسعه پایدار مناطق روستایی کشور» از مجموعه طرح‌های کلان و راهبردی پژوهشگاه نیرو است که توسط یک تیم کارشناسی از شرکت مشاوره مدیریت آتی‌اندیشان شریف و با نظارت راهبردی پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست انجام شده است که ضمن بررسی جامع ابعاد موضوع، ارزیابی مشخصه‌های فناوری‌های مربوطه و در نظر گرفتن نیازهای روستاییان، روش‌شناسی تأمین انرژی با رویکرد توسعه پایدار برای این مناطق را مشخص می‌نماید. این طرح مبتنی بر شناسایی نیاز مناطق روستایی در حوزه تأمین انرژی و آب و پاسخگویی به آن به کمک فناوری‌های نوین و پاک است. در انتخاب فناوری مناسب شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه، پتانسیل منابع انرژی (اعم از تجدیدپذیر و فسیلی)، زیرساخت‌ها، مسائل فرهنگی، مسائل زیست‌محیطی، مباحث اقتصادی، میزان اشتغال، برنامه‌های توسعه‌ای و سایر پارامترهای مؤثر دخیل است. در این طرح، توسعه کسب و کارهای روستایی و کاهش ضایعات کشاورزی با تکیه بر فراوری اولیه در نقطه تولید و تأمین پایدار آب و انرژی مد نظر قرار دارد.

## مقدمه

رشد و توسعه اقتصادی مستمر، توزیع مناسب درآمد، افزایش درآمد سرانه خانوار، اشتغال کامل، رفع فقر و در یک کلام عدالت اجتماعی، از اهداف چشم‌انداز کشور محسوب می‌شود که این امر بدون توجه به توسعه روستاها محقق نخواهد شد.

<sup>1</sup> Methodology

در حال حاضر اگرچه وضعیت زیرساخت‌های روستاها به جهت برخورداری از امکانات رفاهی و زیربنایی بهبود یافته است، اما مشکلات درآمدی روستائیان و شکاف بین درآمد و هزینه‌ها در مقایسه با نقاط شهری، سیل مهاجرت منفی از روستاها به شهرها و بالا رفتن میانگین سن روستائیان را به همراه داشته است که این امر خود از مهم‌ترین معضلاتی است که امروزه دست به گریبان روستاهای ایران شده است. آمارها نشان می‌دهد در حال حاضر در ۲۵ استان کشور، درآمد روستائیان از هزینه‌هایشان کمتر است. در حالی که روستاها به عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌های توسعه کشاورزی به‌شمار می‌روند، در برنامه‌ریزی‌های کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. روستاهایی که باید به عنوان کانون‌های تولید پایدار به‌شمار روند، با وجود آن که رنگ و لعاب شهری به خود گرفته‌اند، کمتر مورد توجه جوانان روستایی هستند.

نتایج مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در کشور نشان می‌دهد مهم‌ترین دلایل مهاجرت روستائیان به شهرها مشکلات اقتصادی و مالی (اشتغال، میزان درآمد و اطمینان از تداوم درآمد)، وجود تبعیض در ارائه انواع خدمات توسط بعضی از ارکان نظام جمهوری اسلامی بین شهرنشینان و روستائیان و نبود حمایت‌های معنوی و فرهنگی از جامعه روستایی (خدمات رفاهی، آموزشی و بهداشتی) است.

حال سوال اینجاست چرا با وجود آن که ۹۰ درصد فعالیت‌های اقتصاد کشاورزی در مناطق روستایی اتفاق می‌افتد روستاها به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه تولید مورد توجه نیستند و حامی مشخصی در انبوه وزارتخانه‌ها و سازمان‌ها ندارند که بتواند برنامه‌های تدوین شده را به‌صورت یکپارچه در روستاها اداره کند؟ آیا توسعه روستایی به صرف ساختن بناهای زیبا و یا ورود تکنولوژی‌های جدید (نظیر اینترنت و ...) محقق می‌شود یا روستائیان و جوانان روستایی برای ماندن در روستاها نیاز به اشتغال، درآمد، خدمات آموزشی، رفاهی و بهداشتی دارند؟

بخش عظیمی از محصولات کشاورزی اعم از زراعی، باغی و دامی که با مشقت و رنج فراوان و هزینه زیادی تولید می‌شود به دلایل متعددی از جمله غیربهداشتی بودن، نداشتن بازار فروش، فاصله زیاد مرحله تولید تا کارخانه، پراکندگی روستاها، نداشتن الگوی صحیح مصرف،

عدم توجه برنامه‌ریزان به تجربیات و دانش بومی روستاییان و مواردی از این قبیل از بین می‌روند.

در حال حاضر میزان ضایعات در کشور بسیار بالا است و برای محصولات مختلف از ۱۰ تا ۵۰ درصد متغیر است و به بیش از آن نیز می‌رسد. اگر حجم عظیم این ضایعات کاهش یابد، می‌توان امنیت غذایی کشور را تامین کرده و حداقل در ۳۰ تا ۴۰ درصد از محصولات کشاورزی خودکفا شد. همچنین با بازیافت ضایعات محصولات کشاورزی، سرمایه‌های عظیمی را در رگ‌های اقتصادی کشور به جریان درآورد. به عنوان مثال، میزان تولید سیب زمینی در کشور حدود ۵ میلیون تن می‌باشد که از این مقدار حدود ۲۰٪ (۱ میلیون تن) تبدیل به ضایعات می‌شود. بر اساس نتایج مطالعات انجام شده، برای کشت هر کیلوگرم سیب زمینی نیاز به ۲۵۰ لیتر آب، ۲۵ تا ۲۸ کیلوگرم کود و ۲/۸ متر مربع زمین کشاورزی احتیاج است. بنابراین، میزان ضرر و زبانی که به دلیل ضایعات این محصول متوجه کشور می‌شود معادل هدررفت ۲۵۰ میلیون متر مکعب آب، ۲۵ میلیون تن کود و ۲۸۰۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی می‌باشد.

بخش کشاورزی با دارا بودن پتانسیل عظیم در حوزه فعالیت‌های اقتصادی، با مشکلات اساسی (عدم بازاریابی مناسب، بالا بودن ضایعات، پایین بودن قیمت محصولات و ...) رو به رو است که بخش عمده این مشکلات با ایجاد صنایع فرآوری محصولات کشاورزی در نقطه تولید (صنایع تبدیلی کوچک) قابل حل خواهد بود. در حقیقت فعالیت‌های اقتصادی تابع بازار است و صنایع فرآوری محصولات کشاورزی ضمن بازاریابی مناسب برای محصولات کشاورزی، زمینه برای ایجاد اشتغال و درآمد بیشتر را فراهم می‌کند.

نقش صنایع تبدیلی و تکمیلی را در افزایش ارزش افزوده این بخش می‌توان از چند جهت برشمرد:

- کاهش ضایعات کشاورزی و افزایش سطح و کیفیت تولید؛
- افزایش اشتغال و پیشگیری از مهاجرت روستاییان به شهرها؛
- افزایش مزیت رقابتی برای صادرات؛

- کاهش ریسک در بخش اقتصادی کشاورزی؛
- تکمیل زنجیره بازاریابی.

برای روشن شدن موضوع می‌توان زنجیره ارزش محصولات کشاورزی را ترسیم کرده و مباحث مربوطه را در قالب آن تشریح نمود. در حالت کلی، زنجیره ارزش محصولات کشاورزی را می‌توان به صورت زیر در پنج حلقه اصلی تقسیم‌بندی نمود:



می‌توان گفت، ضایعات محصولات کشاورزی در همه حلقه‌های مذکور اتفاق می‌افتد. در بخش تولید، آفت‌ها، سرمازدگی و بیماری‌های دام و طیور مهمترین عوامل ایجاد ضایعات هستند. در بخش نگهداری و فرآوری اولیه، انبارداری نامناسب عامل ایجاد ضایعات است و در بخش فراوری، ضایعات، ناشی از عملکرد نامناسب ماشین‌آلات فراوری می‌باشند. در حلقه توزیع، حمل و نقل و نیز انبارش در میداین میوه و تره‌بار مثال‌هایی از عوامل ایجاد ضایعات می‌باشند و در پایان فرهنگ مصرف نامناسب مهمترین عامل ایجاد ضایعات در حلقه پایانی است. در کشورهای در حال توسعه بیشتر ضایعات در سه حلقه اول زنجیره ارزش رخ می‌دهد و در کشورهای توسعه یافته به دلیل بکارگیری فناوری در حلقه‌های ابتدایی، عمده ضایعات در دو حلقه پایانی اتفاق می‌افتد.

در حلقه اول که بحث تولید مطرح است، یکی از راه‌هایی که کمک شایانی به کاهش ضایعات، افزایش بهره‌وری، افزایش تولید و کاهش مصرف انرژی و آب می‌نماید، استفاده از گلخانه‌های مدرن است. با توجه به این که کشور ایران در حال حاضر از بابت تامین و مصرف انرژی و آب مشکلات جدی دست به گریبان است، تولید محصولات کشاورزی تحت شرایط کنترل شده مصرف آب و انرژی در گلخانه‌ها، منجر به کاهش ضایعات کشاورزی شده و در صورت تامین نیاز انرژی و آب به صورت پیوسته و مقرون به صرفه برای این واحدها، می‌توان امیدوار بود با حداقل تامین انرژی و آب به بیشترین بازده تولید در این بخش دست یافت. برای مثال کشور هلند که مساحتی در حدود ۲,۵٪ مساحت کشور ایران را دارد، در سال ۲۰۱۵ حدود ۸۲

میلیارد یورو صادرات محصولات کشاورزی داشته است که این رقم برای کشور ایران حدود ۵ میلیارد یورو بوده است.

از طرف دیگر با توجه به توضیحات داده شده، می‌توان گفت بحث صنایع تبدیلی عمدتاً در دو حلقه "نگهداری و فرآوری اولیه" و "فرآوری" قابل طرح است. در این میان صنایع تبدیلی در حلقه "نگهداری و فرآوری اولیه" ارتباط مستقیمی با بحث اشتغالزایی و توسعه کسب و کارهای کوچک روستایی و در نتیجه بحث افزایش درآمد سرانه روستاییان کشور دارد. در حقیقت بحث کارآفرینی در حلقه فرآوری، مربوط به ایجاد صنایع بزرگ و نیازمند تأمین هزینه بالای سرمایه‌گذاری است که با اقتصاد روستایی همخوانی ندارد. اما بحث کارآفرینی در حلقه "نگهداری و فرآوری اولیه" مربوط به ایجاد واحدهای کوچک صنفی در کنار تولید محصول است که نیازمند هزینه سرمایه‌گذاری بالایی نمی‌باشند اما در عوض اشتغالزایی بالایی دارند و کمک شایان توجهی به رشد و توسعه اقتصاد روستایی می‌نمایند. همانطور که از عنوان این حلقه زنجیره ارزش مشخص است، دو مبحث اصلی در این حلقه قابل طرح است: بحث نگهداری و بحث فرآوری اولیه.

در حلقه نگهداری، بحث نگهداری مواد فسادپذیر و یا نیمه فسادپذیر در انبارهای فنی (نگهداری پیاز، سیب‌زمینی و ...)، سیلواها (انبارش گندم و ...) و سردخانه‌های بالای صفر و زیر صفر (محصولات دامی و ...) مطرح است، که ایجاد واحدهای صنفی کوچک در محل تولید علاوه بر اشتغالزایی و کاهش ضایعات، به تولید کننده فرصت می‌دهد تا در زمان مناسب و با قیمت مناسب اقدام به ارائه محصولات خود به بازار نماید و بدین ترتیب با کوتاه شدن دست واسطه‌ها (در وضعیت فعلی، به دلیل آنکه کشاورزان و باغداران امکان انبارش محصولات خود را ندارند، اولاً مجبورند که محصولات رسیده یا نرسیده را همزمان برداشت کرده و این امر موجب افزایش ضایعات شده و ثانیاً مجبورند محصول خود را با نازلترین قیمت به فروش برسانند که عمده سود آن به واسطه‌ها تعلق می‌گیرد) ارزش افزوده این بخش به کشاورزان بازگشت داده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد اگر بحث توانمندسازی کشاورزان در

حوزه انبارش محصولات در نقطه تولید عملی شود مزایای فراوانی به همراه خواهد داشت که عبارتند از:

- ✓ ایجاد ارزش افزوده بالا
- ✓ کاهش ضایعات
- ✓ ارتقاء کیفیت محصولات کشاورزی
- ✓ بهبود اقتصاد روستایی (برندسازی در منطقه روستایی و کمک به توسعه صادرات محصولات کشاورزی)
- ✓ مدیریت بازار (عرضه مستمر و پایدار محصولات به بازار و کوتاه شدن دست واسطه‌ها)
- ✓ اشتغالزایی بالا و جلوگیری از مهاجرت از مناطق روستایی

از طرف دیگر، در حلقه فرآوری اولیه نیز صنایع کوچکی از قبیل درجه‌بندی و بسته‌بندی اولیه، سرد کردن، خشک کردن، تخمیر، شور کردن، شیرین کردن و ... مطرح است که این صنایع کوچک نیز اشتغالزایی بالایی به همراه خود دارند و در عین حال نیازمند هزینه سرمایه‌گذاری پایینی است.

حال چه در حلقه اول، بحث گلخانه‌های مدرن و چه در حلقه دوم بحث انبارش و صنایع تبدیلی مطرح باشد، این امر نیازمند تأمین انرژی (برق و گاز) و آب است. در حال حاضر انرژی در مناطق روستایی یا با مشکل تأمین مواجه است و یا متناسب با مصرف فعلی تأمین شده است که در صورت اضافه شدن بحث کسب و کار روستایی، تأمین انرژی این صنایع نیازمند ارائه راه حل‌های مناسب است که علاوه بر تأمین انرژی، اشتغالزایی و بهبود وضعیت معیشتی مناطق روستایی را نیز به دنبال دارد. طرح پیشنهادی «فناوری‌های نوین و پاک با هدف تأمین انرژی، آب و توسعه پایدار مناطق روستایی کشور» مبتنی بر شناسایی نیاز مناطق روستایی در حوزه تأمین انرژی و آب و پاسخگویی به آن به کمک فناوری‌های نوین و پاک است. در انتخاب فناوری مناسب شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه، پتانسیل منابع انرژی (اعم از تجدیدپذیر و فسیلی)، زیرساخت‌ها، مسائل فرهنگی، مسائل زیست‌محیطی، مباحث اقتصادی، میزان



اشتغال، برنامه‌های توسعه‌ای و سایر پارامترهای مؤثر دخیل است. در این طرح، توسعه کسب و کارهای روستایی و کاهش ضایعات کشاورزی با تکیه بر فراوری اولیه در نقطه تولید و تأمین پایدار آب و انرژی مد نظر قرار دارد.

این طرح در سه فاز انجام شده است. فاز اول با عنوان «مطالعات مینا» با انجام مطالعات فراوانی پیرامون ابعاد و شناسایی المان‌های اثرگذار بر روش‌شناسی در پاییز سال ۱۳۹۵ پایان پذیرفت. مطالعات صورت پذیرفته در این فاز عبارتند از: «شناسایی فناوری‌های پاک و نوین و قابلیت آن‌ها با دو رویکرد توسعه پایدار و تولید پراکنده»، «بررسی اسناد بالادستی اثرگذار بر ابعاد موضوع»، «بررسی ادبیات پیرامون موضوع مانند مباحث مطرح در حوزه توسعه پایدار و ...»، «انجام مطالعات تطبیقی شامل کشورهای هند، برزیل، چین، طرح‌های پیاده شده در کشورهای آفریقایی توسط بانک جهانی و ...»، «بررسی مطالعات حوزه روستا مانند بررسی مطالعات پیرامون اقلیم نواحی مختلف کشور، جمع‌آوری اطلاعات پیرامون مناطق مختلف روستایی کشور و ...» و انجام نگاشت نهادی از بازیگران مطرح در این حوزه و ...

در فاز دوم این طرح با عنوان «طراحی چارچوب اولیه راهنمای تدوین اسناد راهبردی توسعه پایدار مناطق روستایی» در زمستان ۱۳۹۵ به جمع‌بندی نتایج حاصل از فاز اول مطالعاتی و ارائه چارچوب اولیه استخراجی پرداخته شده است. در حقیقت در این فاز، ضمن بررسی مجدد و تکمیل نمودن مطالعات انجام شده در فاز اول، المان‌های اثرگذار بر ابعاد مختلف موضوع در هر حوزه بر اساس خروجی مطالعات فاز اول شناسایی گردید و در ادامه گام‌های کلان و کلی روش‌شناسی تعیین گردید.

نهایتاً در فاز سوم المان‌های مختلف شناسایی شده در فاز دوم، در چارچوب اولیه جانمایی گردید و ارتباطات میان این المان‌ها تعیین گردید و در پایان دست‌نامه‌ای روشمند با عنوان «روش‌شناسی انتخاب سبک و فناوری‌های مناسب تأمین آب و انرژی در مناطق روستایی کشور» برای انتخاب سبک و فناوری‌های مناسب با رویکرد توسعه پایدار مناطق روستایی، در بهار سال ۱۳۹۶ تهیه گردید. در ادامه با برگزاری پنل‌های خبرگی در میان خبرگان و ذی‌نفعان مختلف دولتی، صنعتی و دانشگاهی (حدود ۵۰ خبره طی حداقل ۳۰ جلسه کارشناسی)، ابعاد

مختلف روش‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت و روش‌شناسی مورد تأیید خبرگان این حوزه قرار گرفته است.





تصویر کلی روش شناسی پیشنهادی

همچنین به منظور پیاده‌سازی چنین طرح بزرگی، پیشنهاد گردید یک ستاد راهبری متشکل از سازمان‌های ذی‌نفع تشکیل شود و در هدایت طرح کلان، اولویت‌بندی طرح‌ها و تخصیص یا عدم تخصیص تسهیلات و ... نظارت داشته باشد تا بتوان این امید را داشت که منابع مالی

در مسیر درست خود هدایت و هزینه شود و اهداف کلان این طرح محقق شود. اعضای پیشنهادی این ستاد عبارتند از نمایندگان وزارت نیرو (سازمان انرژی‌های نو ایران، پژوهشگاه نیرو و ...)، وزارت نفت، وزارت جهاد کشاورزی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، سازمان حفاظت از محیط زیست، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت توسعه روستایی ریاست جمهوری، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری (ستاد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر)، نهادهای عمومی (ستاد اجرایی فرمان امام، کمیته امداد امام خمینی، بسیج و ...)، صندوق توسعه ملی، بانک عامل و ... . ساختار اجرایی پیشنهادی در قالب شکل ذیل قابل مشاهده است.

### ستاد راهبری طرح‌های توسعه پایدار مناطق روستایی کشور

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

معاونت توسعه روستایی ریاست جمهوری

نمایندگان نهادهای عمومی

صندوق توسعه ملی

نماینده بانک عامل

وزارت نفت

وزارت نیرو

وزارت جهاد کشاورزی

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

سازمان حفاظت محیط زیست

### دبیرخانه طرح ملی توسعه پایدار مناطق روستایی کشور

کارگروه نظارت و ارزیابی

کارگروه اجرا و پیاده‌سازی

کارگروه تأمین و تسهیل منابع مالی

کارگروه نمایندگان استانی

کارگروه سیاست‌گذاری و ترویج

### اجرا

### پژوهش و فناوری

...

شرکت‌های ESCO

شرکت‌های دانش‌بنیان

شرکت‌های پیمانکاری

...

مراکز تحقیقاتی شرکت‌ها

مراکز پژوهشی

دانشگاه‌ها

ساختار اجرایی پیشنهادی طرح توسعه پایدار روستایی

## چکیده نتایج:

- تدوین روش‌شناسی انتخاب سبک و فناوری‌های مناسب تأمین آب و انرژی در مناطق روستایی کشور
  - ارائه ساختار اجرایی پیشنهادی طرح توسعه پایدار روستایی
  - ارائه فرایند پیشنهادی تأمین مالی پروژه‌های توسعه پایدار روستایی
- ### مستندات پروژه:

- «شناسایی عناصر اقلیمی اثرگذار بر انتخاب فناوری»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «بررسی و شناسایی فناوری‌ها و نیازمندی‌های آن‌ها به منظور توسعه پایدار»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «شناسایی قوانین، مقررات و اسناد بالادستی»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «مطالعات تطبیقی و بررسی فعالیت‌های کشورهای مختلف در توسعه فناوری‌های نوین و پاک به منظور تأمین انرژی، آب و توسعه پایدار مناطق روستایی»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «بررسی راه‌کارهای مناسب انتخاب روستای مناسب جهت انجام طرح»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «شناسایی بازیگران و ذینفعان توسعه پایدار روستایی و انرژی‌های تجدیدپذیر»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.

- «مرور ادبیات توسعه پایدار»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «طراحی چارچوب اولیه راهنمای تدوین اسناد راهبردی توسعه پایدار مناطق روستایی»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.
- «روش‌شناسی انتخاب سبک و فناوری‌های مناسب تأمین آب و انرژی در مناطق روستایی کشور»، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو.

عنوان پروژه: مطالعات حرارت سنجی در منطقه زمین گرمایی محلات

مجری پروژه: دکتر شهریار بزرگمهری

مدیر پروژه: دکتر داور ابراهیمی

سال انجام پروژه: ۹۵-۹۶

## چکیده

این پروژه به بررسی نحوه توزیع شیب حرارتی-زمین گرمایی (Geothermal gradient) منطقه محلات با استفاده از حفر گمانه‌های کم عمق (حداکثر تا عمق ۱۰۰ متری از سطح زمین) است. پس از حفر گمانه‌ها، به کمک تجهیزات مخصوص، شیب حرارتی در هر یک از گمانه‌ها، اندازه‌گیری می‌شود. در واقع، شیب حرارتی، همان افزایش درجه حرارت زمین به ازای افزایش عمق زمین است. محاسبه شیب حرارتی از طریق اندازه‌گیری دمای سنگ‌های سطح زمین، امکان‌پذیر نیست زیرا دمای سنگ‌های سطحی معمولاً تابع دمای هوا در فصول مختلف سال است. ضمناً یادآور می‌شود که شرایط محیطی می‌تواند تا عمق کمی نیز بر دمای سنگ‌های سطح زمین، تأثیر بگذارد. بنابراین، با اندازه‌گیری حرارت در اعماق بیشتر زمین (در گمانه‌های عمیق‌تر از ۳۰ متر)، می‌توان با اطمینان و دقت بیشتری، به نحوه توزیع حرارت در اعماق منطقه زمین گرمایی مورد بررسی، پی برد.

## مقدمه

انجام این پروژه، برای نخستین بار در کشور، بررسی نحوه توزیع حرارت در اعماق یک منطقه زمین گرمایی، توسط پژوهشگران داخلی صورت خواهد گرفت. استفاده از این روش، معمولاً قبل از حفاری چاه‌های عمیق زمین گرمایی در یک منطقه اکتشافی، صورت می‌پذیرد.

مطالعات حرارت سنجی غالباً در مناطقی اجرا می‌شود که مطالعات اولیه اکتشافی در آن منطقه، قبلاً انجام شده باشد. در منطقه زمین گرمایی محلات، مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در قالب دو پروژه تحقیقاتی در پژوهشگاه نیرو انجام گرفته است و با توجه به اطلاعات موجود، یکی از مناطق مناسب کشور برای اجرای این پروژه، محسوب

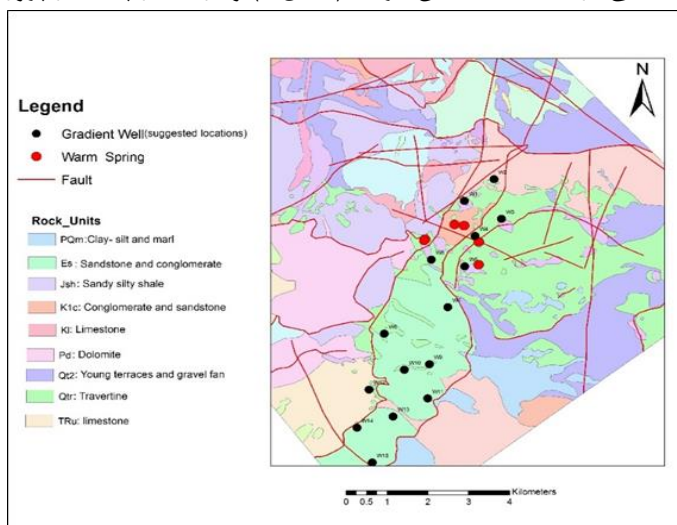
می‌گردد. با اجرای این پروژه، مدل توزیع حرارت در منطقه بدست آمده و به کمک مدل یاد شده، می‌توان نقاط مناسب برای حفاری چاههای عمیق زمین گرمایی در منطقه محلات، مشخص نمود. علاوه بر این، با انجام این پروژه، می‌توان کلیه داده‌های اکتشافی بدست آمده قبلی را با نتایج مطالعات حرارت سنجی، مطابقت نمود.

## مراحل پروژه:

این پروژه شامل چهار مرحله اصلی است که در ادامه به شرح هریک از مراحل پرداخته می‌شود.

### ۱- مطالعات مقدماتی:

در این مرحله از پروژه، نقشه پراکندگی موقعیت حفر گمانه‌های حرارت سنجی تهیه شده است. برای این منظور از کلیه داده‌ها، نقشه‌ها و گزارشات موجود در خصوص منطقه محلات استفاده شده است. با استفاده از داده‌های فوق‌الذکر و تفسیر جامع آنها، موقعیت دقیق گمانه‌های حرارت سنجی در منطقه مشخص گردید (شکل ۱) و در اختیار پیمانکار پروژه قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت تعیین شده برای گمانه‌های حرارت سنجی بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه محلات



## ۲- عملیات حفاری:

پس از مشخص شدن محل حفر گمانه‌ها، گام بعدی پروژه، عملیات حفاری آنها است. بدین ترتیب که پیمانکار مربوطه، اقدامات لازم جهت تجهیز کارگاه خود را انجام داده و حفر گمانه‌ها آغاز می‌گردد. بر اساس برآوردهای انجام شده پیشین، از بین نقاط انتخاب شده در مرحله اول، ۷ گمانه با عمق تقریبی ۱۰۰ متر در منطقه حفر شده است. انجام این مرحله از پروژه، بیش از ۳ ماه زمانبر بوده است. هم اکنون حفاری آخرین گمانه در منطقه محلات در حال انجام می‌باشد. در شکل ۲ تصویری از دستگاه حفاری در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.



شکل ۲- تصویری از دستگاه حفاری گمانه‌های شیب حرارتی زمین گرمایی در منطقه محلات

### ۳- عملیات حرارت سنجی:

در این مرحله از پروژه، عملیات ژئوفیزیکی حرارت سنجی در گمانه های حفر شده، توسط کارشناسان گروه انرژی های تجدیدپذیر و با استفاده از ترمومتر مخصوصی که برای این پروژه، طراحی و ساخته شده است، اجرا گردید. پس از حفر گمانه ها و خروج تجهیزات حفاری از داخل گمانه ها، عملیات حرارت سنجی آغاز گردیده است.

برداشت داده‌ها پس از به تعادل رسیدن دمای داخل گمانه صورت گرفته است، تا از بروز هر گونه خطای احتمالی جلوگیری شود. برداشت ها به صورت سیستماتیک بوده و داده‌های برداشت شده در عمق‌های مختلف ثبت شده است.



شکل ۳- تصویری از برداشت داده‌ها و عملیات حرارت سنجی در منطقه زمین گرمایی محلات

## ۱- تفسیر یکپارچه و تعیین الگوی پراکندگی حرارت در منطقه محلات:

پس از مشخص شدن شیب حرارتی کلیه گمانه‌های حفر شده در منطقه محلات، نتایج بدست آمده با سایر داده‌های موجود در منطقه، به دقت بررسی گردیده و مطابقت داده می‌شود. این بررسی ها از منظر وضعیت زمین شناسی، ژئوشیمیایی و نحوه پراکندگی ناهنجاری‌های گراویتی است. نهایتاً با اجرای این مرحله از پروژه، الگوی پراکندگی حرارت در اعماق منطقه زمین گرمایی محلات، مشخص گردیده و بر اساس آن می توان در خصوص مشخص نمودن کانون های صعود سیال داغ و احتمالاً شناسایی موقعیت حفر چاه (های) زمین گرمایی با دقت بسیار بیشتری اظهار نظر نمود.

### نتیجه گیری

- اشراف کامل نسبت به کلیه مراحل اجرایی یک نمونه از مطالعات حرارت سنجی (شامل طراحی، تهیه تجهیزات، شناسایی پیمانکاران حفاری واجد شرایط، نحوه اجرای مطالعات و...)
- اندازه‌گیری شیب حرارتی در منطقه زمین گرمایی محلات
- پی بردن به نحوه الگوی پراکندگی حرارت در اعماق منطقه زمین گرمایی محلات
- بررسی جامع نتایج بدست آمده از مطالعات حرارت سنجی و ارائه یک مدل مفهومی جدید از منطقه محلات
- پیشنهاد نقاط حفر چاههای عمیق زمین گرمایی در منطقه محلات
- فراهم نمودن امکان اندازه‌گیری مجدد حرارت در گمانه های موجود و مقایسه الگوی تغییرات شیب حرارتی در منطقه، پس از بهره‌برداری از مخزن زمین گرمایی محلات (پایش مخزن)

## منابع

- گزارش مطالعات فتوژئولوژیکی در منطقه زمین گرمایی محلات. گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، آبان ۱۳۹۱.

- گزارش مطالعات چینه شناسی در منطقه زمین گرمایی محلات. گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، مرداد ۱۳۹۲.

- گزارش مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه زمین گرمایی محلات. گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، بهمن ۱۳۹۱.

- گزارش نتایج حاصل از مطالعات زمین شناسی در منطقه زمین گرمایی محلات. گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، بهمن ۱۳۹۱.

- Nouraliee, j., Porkhial, s., Mohammadzadeh, M., Ebrahimi, D. (2015): Investigation on Density Contrasts and Geological Structures around Hot springs in Mahallat Geothermal Region using Gravity Method. Russian Geology and Geophysics. Volume 56, Issue 12, pp 1791-1800 .

- Hersir, G.P., and Bjornasson, A., 1991: Geophysical Exploration for Geothermal Resources, principles and application. National Energy Authority, Geothermal Division, Reykjavik , Iceland.

-Bjornsson, Axel, 1990: Jarohitarannsoknir. Yfirlit um jarohitasvoeoa, jarohitaleit og vinnslu jarovarma (Geothermal Exploration). National Energy Authority of Iceland report ( in Icelandic), OS-90020/JHD-04, 49pp.

-Rybach, L., 1981: Geothermal systems, conductive heat flow, geothermal anomalies. In: Geothermal Systems: Principles and case histories, edited by Rybach, L., and Muffler, L.J.P., John Wiley & Sons Ltd, 3-36.

-Flovenz, Olfur G., Axel 1984a: Application of the head-on resistivity profiling method in geothermal exploration. Geothermal Resources Council, Transaction, vol. 8, 493-498.

-Nobel, J.W., and Ojambo, S.B., 1976: Geothermal exploration in Kenya. Proc. 2nd UN Sympos. On the Development and use of Geothermal Resources, vol. 1, 189-204.

عنوان پروژه: فاز اول تدوین دسته آزمون‌های تضمین کیفیت مازول فتوولتائیک بر  
مبنای مناطق مختلف آب و هوایی در ایران  
مدیر پروژه: محمد خلج  
مجری پروژه: امیر فرهنگ ستوده  
سال انجام پروژه: ۱۳۹۶

## چکیده

بهره‌گیری از انرژی خورشیدی با توجه به مزایایی مانند در دسترس بودن و تجدیدپذیری، به طور گسترده در کاربردهایی نظیر تأمین انرژی الکتریکی در نواحی دور دست، روشنایی معابر، نیروگاه‌های خورشیدی، سیستم‌های پمپاژ آب در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. مازول‌های فتوولتائیک به عنوان رکن اصلی در یک سیستم خورشیدی بایستی در طول عمر خود عملکرد قابل اطمینانی داشته باشند. استانداردهای متعددی برای بررسی کیفیت تدوین شده است که از جنبه‌های مختلف به ارزیابی مازول‌های تولید شده می‌پردازند. در مراحل مختلف تولید، انتقال، نصب و بهره‌برداری، ممکن است نقص<sup>۲</sup> و یا شکست‌هایی<sup>۳</sup> در مازول بوجود آید که گاهاً اجتناب‌ناپذیر هستند و عملکرد مجموعه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. استانداردهای کنونی الزاماً کارکرد بدون نقص مازول را در تمام طول عمر آن تضمین نمی‌کنند. مازول‌های فتوولتائیک با توجه به کاربرد در محیط‌های مختلفی نصب می‌شوند و پارامترهای متعددی در تعیین طول عمر مازول موثر هستند. رطوبت، حرارت، میزان تابش فرابنفش، بارهای مکانیکی و سایر شرایط اتمسفری که از پارامترهای تعیین‌کننده در اقلیم‌های مختلف هستند در فرآیند بروز نقص و یا شکست عملکرد مازول‌ها نقش ایفا می‌کنند.

هدف از انجام این پروژه، بررسی تاثیر شرایط اقلیمی بر طول عمر و کارایی مازول‌های فتوولتائیک است. در راستای این هدف، بررسی و شناسایی انواع شکست‌های مشاهده شده و مطالعه‌ی چگونگی بروز آن‌ها در مازول‌هایی با شرایط نصب مختلف در دنیا انجام گرفته است.

<sup>2</sup> Defect

<sup>3</sup> Failure

سیر تکاملی آزمون‌های استاندارد و شتابیده<sup>۴</sup> در ادوار مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و به منظور درک بهتر، ارتباط متقابل میان آزمون و شکست بررسی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این پروژه، در ماژول‌های مستقر در نواحی اقلیمی گرم و خشک، تغییر رنگ کپسوله جدی‌ترین سازوکار تخریب درازمدت است. در نواحی بیابانی از یک سو تابش خورشیدی مناسبی برای تولید انرژی در دسترس است و از سوی دیگر میزان بالای تابش فرابنفش، پدیده‌ی طوفان شن و غبارآلودگی در کنار تغییر رنگ مواد پلیمری تأثیر به‌سزایی بر تولید توان دارد. این در حالی است که در نواحی اقلیمی گرم و مرطوب خوردگی اتصالات اهمیت زیادی دارد. به طور کلی دمای بالا منجر به تضعیف عملکرد الکتریکی ماژول‌ها می‌گردد و از این رو ماژول‌هایی که در نواحی خنک‌تر با میزان نور کافی قرار می‌گیرند دیرتر دچار برخی تخریب‌ها شده و طول عمر بالایی دارند.

## مقدمه

در حال حاضر فتوولتائیک به عنوان یک تکنولوژی کارآمد در راستای استفاده از انرژی خورشیدی مطرح است. اثر فتوولتائیک<sup>۵</sup> برای اولین بار در سال ۱۸۳۹ توسط ادموند بکرل<sup>۶</sup> کشف شد و مدت زمان زیادی به عنوان یک پدیده‌ی علمی باقی ماند. نهایتاً پس از معرفی سیلیکون به عنوان ماده‌ی نیمه‌هادی اولیه در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ دیود سیلیکونی فتوولتائیک عرضه شد [۱].

ماژول کلیدی‌ترین بخش در سیستم‌های فتوولتائیک است و شامل زیربخش‌های سلول<sup>۷</sup>، تماس‌ها<sup>۸</sup> و اتصالات داخلی<sup>۹</sup> می‌شود. نواقص و یا شکست‌هایی که در مراحل مختلف فرآیندهای تولید، نقل و انتقال، نصب و راه‌اندازی، و یا بهره‌برداری از ماژول‌ها اتفاق می‌افتد

<sup>4</sup> Accelerated

<sup>5</sup> Photovoltaic effect

<sup>6</sup> Edmond Becquerel

<sup>7</sup> Cell

<sup>8</sup> Contacts

<sup>9</sup> Interconnection

می‌تواند عملکرد محصول نهایی را به شدت تحت تاثیر قرار دهد [۲]. عملکرد یک ماژول فتوولتائیک را می‌توان بر اساس پارامترهایی از جمله: توان خروجی<sup>۱۰</sup>، بازده تبدیل توان<sup>۱۱</sup> و قابلیت اطمینان<sup>۱۲</sup> ارزیابی کرد. از سال ۱۹۸۲ مقایسه‌ای میان توان خروجی اولیه و توان خروجی ماژول پس از قرار گرفتن در معرض شرایط آب و هوایی نمونه‌هایی از تخریب و اثرات آب و هوایی را آشکار کرده است. برخی از این تخریب‌ها ممکن است به اثرات فوتونی نسبت داده شود در حالی که موارد دیگر به بخش‌های کپسوله‌سازی<sup>۱۳</sup> و اتصالات فلزی ماژول نیز مربوط می‌گردند [۳]. در این پروژه به بررسی تاثیر شرایط اقلیمی بر طول عمر و کارایی ماژول‌های فتوولتائیک پرداخته شده است.

### عوامل محیطی تأثیرگذار بر عملکرد ماژول فتوولتائیک

درک رفتار تخریبی ماژول‌های فتوولتائیک برای ارزیابی عملکرد و سرمایه‌گذاری در سیستم‌های فتوولتائیک لازم و ضروری است. تخریب ماژول به عوامل مختلفی مانند محل نصب، شرایط نصب، فرآیند تولید و نوع ماژول، وابسته است. این بدان معنا است که برای درک رفتار طولانی مدت ماژول‌ها نیاز است که اثر تنش‌ها بر روی ماژول و پاسخ ماژول به آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. ماژول‌ها در محیط واقعی با مجموعه‌ی پیچیده‌ای از تنش‌های محیطی مواجه می‌شوند. از این رو بررسی نقش فاکتورهای محیطی مختلف بر سازوکار تخریبی مشاهده شده در ماژول‌های فتوولتائیک اهمیت بالایی دارد. برخی از مهم‌ترین پارامترهای محیطی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

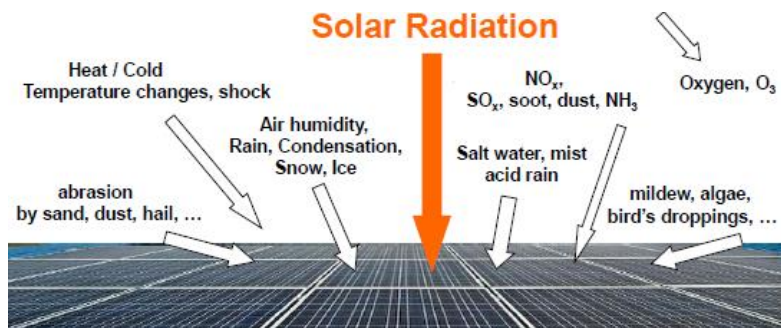
<sup>10</sup> Output power (OP)

<sup>11</sup> Power conversion efficiency (PCE)

<sup>12</sup> Reliability

<sup>13</sup> Encapsulation





شکل ۱- عوامل محیطی تأثیرگذار بر عملکرد ماژول فتوولتائیک

علاوه بر اینکه تأثیر هر پارامتر به صورت جداگانه بر ماژول فتوولتائیک اهمیت دارد. باید توجه داشت که اثر ترکیبی عناصر آب و هوایی مانند تابش، دما و رطوبت بر ماژول شرایطی را ایجاد می‌کند که هر کدام از این المان‌ها به صورت جداگانه قادر به ایجاد آن نیستند. دمای ماژول معمولاً بالاتر از درجه حرارت محیط پیرامون است. بازده تبدیل در سلول خورشیدی با افزایش دما کاهش می‌یابد. برای اغلب سلول‌های خورشیدی این کاهش به صورت خطی اتفاق می‌افتد. این پدیده معمولاً به پارامتر ضریب دمائی [۴] بر می‌گردد. حرارت به عنوان یک شتاب‌دهنده برای تخریب‌های ناشی از عوامل دیگر عمل می‌کند. چرخه‌های حرارتی که ناشی از افزایش دمای ماژول در اثر عملکرد، چرخه‌های دمایی روزانه و جذب نور است، می‌تواند قابلیت اطمینان ماژول را تحت تأثیر قرار دهد است [۵].

عامل اثرگذار دیگر رطوبت است که به صورت مقدار بخار آب موجود در یک گاز مانند هوا تعریف می‌شود [۶]. تنش‌های ناشی از بار مکانیکی و فرسودگی حرارتی می‌تواند باعث بروز لایه‌لایه‌شدگی و یا ترک شود که مسیری برای نفوذ رطوبت به نواحی داخلی ماژول فراهم می‌آورند. یکی از نگرانی اصلی در تخریب ناشی از رطوبت، خوردگی است که در بخش‌های فلزی رخ دهد [۵]. با برخورد نور به قطرات کوچک آب امکان وقوع سه حالت انکسار<sup>۱۴</sup>،

<sup>14</sup> Refraction

انعکاس<sup>۱۵</sup> و یا پراکندگی<sup>۱۶</sup> نور وجود دارد. این اثرات میزان دریافت مولفه‌ی تابش مستقیم خورشید را به صورت غیر خطی تغییر می‌دهد و تغییر غیرخطی تابش، منجر به بروز تغییرات غیرخطی کوچک در ولتاژ مدارباز و تغییرات خطی زیاد در جریان اتصال کوتاه می‌شود [۷].

فرآیندهای تخریبی در مواد تحت تأثیر تابش فرابنفش به حساسیت طیفی آنها بستگی دارد. معمولاً تابش با انرژی بالا و دارای طول موج‌های کوتاه‌تر آسیب بیشتری ایجاد می‌کند. اغلب برای از بین بردن پیوندهای مولکولی در این مواد یک حداقل انرژی لازم است و بنابراین توزیع طیفی تابش اهمیت زیادی دارد. تأثیر برخی از عوامل محیطی و شکست‌های ناشی از آن بر پارامترهایی نظیر مقاومت شنت و سری و جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدارباز، قابل شناسایی است [۸].

### تعریف نواحی آب و هوایی و اثرات آن بر بروز نقص در ماژول‌های فتوولتائیک

آب و هوا برآمد شرایط جوی یک محل طی بازه‌ی زمانی معین (معمولاً چند دهه) است و رویدادهای پر بسامد جوی طی سالیان متمادی را اقلیم گویند. در استاندارد IEC دسته‌بندی‌هایی برای شرایط اقلیمی بر اساس فاکتورهای متعدد مانند دما، رطوبت و تابش خورشیدی ارائه شده است. مبنای بیشتر دسته‌بندی‌ها روش کوپن [۹] است. تقسیم‌بندی اقلیمی استاندارد IEC60721-2-1 بر اساس جمع‌آوری داده و تحلیل‌های صورت گرفته در تمامی بخش‌های جهان و بر روی ۲۸۹ سایت انجام گرفته است [۱۰]. بر اساس این طبقه‌بندی نقشه‌ی اقلیمی جهانی مطابق شکل ۳ خواهد بود.

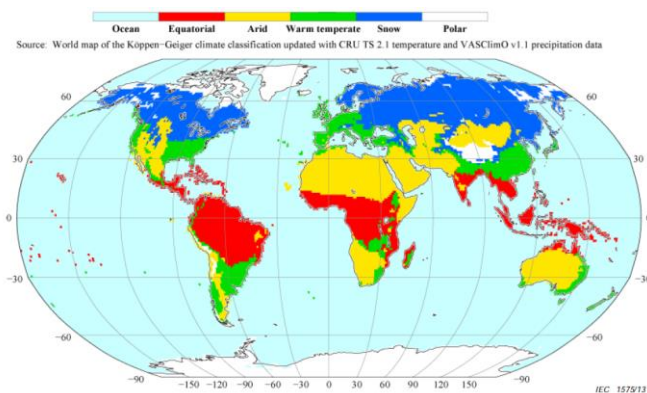
گزارش‌های مختلفی از بررسی ماژول‌های نصب شده در نواحی با اقلیم مختلف ارائه شده که در اینجا به برخی از آنها اشاره شده است. در یک بررسی انجام گرفته با هدف جمع‌آوری داده‌های مربوط به ماژول‌های فتوولتائیک دارای سن مشخص، حدود ۱۲۰۰ ماژول در اقلیم‌های مختلف مورد ارزیابی بصری قرار گرفته‌اند. در این ارزیابی انواع مختلفی از ماژول و

<sup>15</sup> Reflection

<sup>16</sup> Diffraction

سیستم‌های فتوولتائیک در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق در نواحی معتدل تخریب ناشی از پتانسیل و خوردگی ناشی از آن، لایه لایه شدگی، تخریب جعبه اتصال و علائم سوختگی بیشترین فراوانی را در ناحیه‌ی معتدل داشته‌اند. این در حالی است که در ناحیه‌ی گرم و خشک، علائم سوختگی، ترک خوردگی سلول و دیود بای‌پس معیوب بیشتر گزارش شده است. در نواحی سرد و برفی نیز ترک خوردگی سلول بیشترین آمار را دارد [۱۱].

در بررسی دیگر وابستگی اقلیمی می‌توان تخریب گزارش شده در مازول برای دو کمپانی را مورد ارزیابی قرار داد. ارزیابی بر روی محصولات دو شرکت Solarex و Simens انجام گرفته است و در این ارزیابی نه تنها اقلیم بلکه پیکربندی نصب و اندازه‌گیری‌های متعدد نیز مورد توجه قرار بوده است. با بررسی مطالعات انجام گرفته بر اساس اندازه‌گیری‌های چندگانه گزارش شده است که در اقلیم‌های معتدل میزان تخریب برای هر دو کمپانی تقریباً مشابه است. با این حال مقدار متوسط برای هر شرکت کمتر از ۰.۵ درصد در سال است. برای یک منطقه‌ی اقلیمی سیستم‌های زمینس که روی پشت بام قرار دارند تخریب بسیار بیشتری را نشان می‌دهند که می‌تواند به علت درجه حرارت بالاتر در نزدیکی سقف باشد [۱۲].



شکل ۳- نقشه‌ی طبقه‌بندی اقلیمی جهان بر اساس استاندارد IEC60721-2-1

از طرف دیگر در یک بررسی که در نواحی اقلیمی مختلف در کشور چین بر روی اثر تابش فرابنفش بر صفحه‌ی پشتی ماژول صورت گرفته، تابش کل فرابنفش ۵۷ کیلووات ساعت بر متر مربع شبیه‌ساز ۴۰ سال تابش به صفحه‌ی پشتی است در حالی که در ناحیه‌ی قاره‌ای، تابش کل ۷۹ کیلووات ساعت بر متر مربع شبیه‌ساز ۲۹ سال تابش فرابنفش و در ناحیه‌ی بیابانی تابش کل ۹۲ کیلووات ساعت بر متر مربع شبیه‌ساز ۲۵ سال است [۱۳]. در بررسی دیگر در اقلیم گرم و مرطوب درصد شکستگی ماژول عموماً بالاتر از اقلیم‌های معتدل است اگرچه که اکثر دسته‌ها در اقلیم گرم و مرطوب دارای مقدار کمتری نسبت به اقلیم معتدل دارند. در تاسیسات قدیمی‌تر تغییر رنگ کپسوله شایع‌ترین مد تخریب است اما با لایه‌لایه شدگی، مشکلات صفحه‌ی پشتی، شکستگی سلول، مشکلات دیود و جعبه اتصال و تغییر رنگ مدارات داخلی نیز همراه است. به علاوه شکستگی شیشه و غبارآلودگی نیز که اغلب در امتداد لبه‌های فریم مشاهده شده و منجر به سایه جزئی می‌شوند، مشاهده می‌شود [۱۴].

## نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی استانداردهای بین‌المللی و ملی تدوین شده برای ارزیابی کیفیت ماژول‌های فتوولتائیک و همچنین با در نظر گرفتن نقاط ضعفی که برای برخی از این استانداردها در ارزیابی مطمئن ماژول گزارش شده لازم است تحقیقات بیشتری در این حوزه‌ی انجام گیرد تا بتوان قابلیت اطمینان بالاتری را ضمانت کرد. این مهم هم از دید سازندگان و هم از دید سرمایه‌گذاران پروژه‌های فتوولتائیک اهمیت بسیاری دارد. با توجه به نصب ماژول‌ها در گستره‌های اقلیمی مختلف در سراسر دنیا و با در نظر گرفتن اینکه در هر اقلیم چه پارامتر تنشی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، می‌توان آزمون‌هایی را تدوین کرد و یا آزمون‌های استاندارد تعریف شده را اولویت‌بندی کرد تا اجرای آن‌ها تخمین بهتری از عملکرد طولانی مدت سیستم‌های فتوولتائیک و طول عمر آن‌ها بدست دهد. بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات در این پروژه، نرخ تخریب ماژول‌ها در نواحی گرم‌تر در مقایسه با اقلیم‌های معتدل بالاتر است. میزان تخریب تنها تحت تاثیر درجه حرارت نیست بلکه فاکتورهای دیگری مانند سن،

عدم قطعیت اندازه‌گیری، روش، تکنولوژی، نوع محصول و نصب نیز تاثیرگذار هستند. ماژول‌هایی که در نواحی خنک‌تر با میزان نور کافی قرار می‌گیرند دیرتر دچار برخی تخریب‌ها شده و طول عمر بالاتری دارند. در ماژول‌هایی که در نواحی اقلیمی گرم و خشک مستقر می‌شوند قهوه‌ای رنگ شدن کپسوله جدی‌ترین سازوکار تخریب درازمدت است که منجر به اتلاف توان نیز می‌گردد. پدیده‌هایی نظیر مسیر گذر حلزون در طول سالیان اولیه‌ی عمر کاری ماژول اتفاق می‌افتد و در نواحی مرطوب (شامل گرم و مرطوب و همچنین سرد و ابری) شیوع بیشتری دارد. در نواحی بیابانی با توجه به میزان بالای تابش فرابنفش نسبت به سایر نواحی و همچنین وجود پدیده‌ی طوفان شن و فرکانس بالای غبارآلودگی آزمون گرد و غبار اهمیت بالایی دارد. در نواحی معتدل نواقصی مانند لایه‌لایه شدگی، تخریب جعبه اتصال، خوردگی ناشی از پتانسیل و PID بیشترین آمار وقوع را داشته و در نتیجه آزمون‌هایی مانند حرارت-رطوبت و PID برای نواحی که در این رده‌ی اقلیمی جای می‌گیرند اهمیت به‌سزایی دارد. در نواحی سرد و برفی نرخ بالایی برای شکستگی ماژول گزارش شده است. همچنین تغییر فرم قاب نیز به دلیل امکان نفوذ آب و انبساط آن در اثر یخبندان مشاهده شده است. مورد دیگری که باید مورد توجه قرار داد بار برف و باد در نواحی برفی و بادگیر است. تعیین قابلیت ماژول در تحمل این شرایط به کمک آزمون بار مکانیکی و همچنین آزمون رطوبت انجمادی میسر خواهد بود. با این حال طبقه‌بندی‌های اقلیمی کنونی اغلب مبتنی بر برنامه‌ی کوپن است که بر اساس ملزومات کشاورزی و شرایط رشد گیاه در مناطق مختلف توسعه یافته است و ممکن است تمام عوامل خاص را که نقش مهم در سیستم‌های فتوولتائیک بازی می‌کنند در نظر نگیرد. لازم است تحقیقات تئوری و تجربی بیشتری بر روی ماژول‌های فتوولتائیک با توزیع‌های مختلف سنی، تکنولوژی، اقلیم نصب و کاربردی صورت گیرد تا بتوان به همبستگی و ارتباط کامل‌تری میان پدیده‌های اقلیمی و عملکرد و طول عمر سیستم‌های فتوولتائیک دست یافت.

## منابع:

- [1] Kazmerski, Lawrence L. "Photovoltaics: A review of cell and module technologies." *Renewable and sustainable energy reviews* 1.1-2 (1997): 71-170.
- [2] Köntges, M., et al. "Review of failures of photovoltaic modules." *IEA PVPS Task 13* (2014).
- [3] Dunlop, Ewan D. "Lifetime performance of crystalline silicon PV modules." In *Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of 3rd World Conference on*, vol. 3, pp. 2927-2930. IEEE, 2003.
- [4] Dash, P. K., and N. C. Gupta. "Effect of temperature on power output from different commercially available photovoltaic modules." *International Journal of Engineering Research and Applications* 5.1 (2015): 148-15.
- [5] D. e. a. Wu, "PV module degradation mechanisms under different environmental stress factors," 2012.
- [6] Kazem, Hussein A., et al. "Effect of Humidity on the PV Performance in Oman." (2012).
- [7] Mekhilef, S., R. Saidur, and M. Kamalisarvestani. "Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.5 (2012): 2920-2925.
- [8] Wu, Dan, et al. "PV module degradation mechanisms under different environmental stress factors." (2012).
- [9] M. e. a. Kottke, "World map of the Köppen-Geiger climate classification updated," *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 15.3, pp. 259-263, 2006.

- [10] IEC 60721-2-1:2013, "Classification of environmental conditions - Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature - Temperature and humidity".
- [11] G. O. e. a. Marc Köntges, "Assessment of Photovoltaic Module Failures in the Field," Report IEA-PVPS T13-09, 2017.
- [12] D. C. e. a. Jordan, "Compendium of photovoltaic degradation rates," Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 24.7, pp. 978-989, 2016.
- [13] Gambogi, W., et al. "Weathering and durability of PV backsheets and impact on PV module performance." Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems VI. Vol. 8825. International Society for Optics and Photonics, 2013.
- [14] T. J. S. e. a. Dirk C. Jordan, "Photovoltaic failure and degradation modes," PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, vol. 25.4, pp. 318-326, 2017.



### گروه پژوهشی محیط زیست

گروه پژوهشی محیط زیست در سال ۱۳۷۲ و با هدف بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های کشور که از ملزومات توسعه پایدار طرح‌های صنعتی است، شروع به فعالیت نمود. این گروه با بکارگیری اعضای هیئت علمی و پژوهشگران و کارشناسان و همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی خود در زمینه‌های پایش و کنترل آلاینده‌های گازی صنعت برق، پایش، کنترل و بازچرخانی پساب و مدیریت آب در واحدهای تولید برق، مدیریت زائدات جامد و احیای خاک، مدیریت محیط زیست، بهداشت و ایمنی در صنعت برق و کاهش نشر و مدیریت گازهای گلخانه‌ای فعالیت می‌نماید. در این بخش به پروژه‌های انجام شده از سال ۱۳۹۶ در گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو پرداخته خواهد شد.



عنوان پروژه: تحقیق و مطالعه در خصوص میزان انتشار جیوه حاصل از سوخت ذغال سنگ  
نیروگاه طبس

مجری و مدیر پروژه: سوسن داوری - سعید نظری کودهی  
سال انجام پروژه: ۱۳۹۳-۱۳۹۴

## چکیده

بررسی سمیت و اثرات زیست محیطی انتشار جیوه از جمله مسائل مهم مورد توجه کشورها و سازمان‌های حفاظت محیط زیست است. احتراق ناشی از ذغال سنگ از جمله علل مهم انتشار این آلاینده به حساب می‌آید. با توجه به روند توسعه نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز در ایران، تخمین میزان انتشار این آلاینده از نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز کشور لازم و ضروری است.

## مقدمه

جیوه از خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی بوده که بسته به فرم ترکیب شیمیایی، اثرات سمی شناخته شده‌ای برای انسان ایجاد می‌کند. این ماده یک تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت انسان است. جیوه از راه تنفس، گوارش و نیز از طریق پوست قابل جذب است. متیل جیوه خطرناک‌ترین شکل جیوه است که ورود آن به بدن انسان، بیماری میناماتا ایجاد می‌کند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در خلیج میناماتای ژاپن مشاهده شد. شورای حکام برنامه محیط زیست ملل متحد به عنوان عالی‌ترین نهاد نظارت بر مباحث زیست محیطی با ارزیابی تاثیر مخرب جیوه بر سلامت انسان و محیط زیست، از سال ۲۰۰۱ میلادی در مصوبات خود بر لزوم تدوین سازوکار حقوقی در مورد ممنوعیت مصرف جیوه تاکید نموده است. براساس تصمیم شورای حکام، کمیته مذاکراتی تدوین سند حقوقی جیوه می‌بایست تا ۲۰۱۳ تدوین سند را به سرانجام برساند. در این راستا کمیته مذاکراتی تدوین سندساز و کارحقوقی پس از ۵ دور نشست مذاکراتی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳، سرانجام متن نهایی معاهده با عنوان "کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه" را در ژانویه ۲۰۱۳ نهایی کرد. کنوانسیون منع استفاده از جیوه موسوم به میناماتا مهر سال ۱۳۹۲ در نشستی با حضور ۱۳۹ کشور از جمله ایران در شهر کوماموتو ژاپن به امضا رسید و بر اساس آن کشورهای عضو مکلف شدند تا استفاده از جیوه و ترکیبات آن را در صنایع

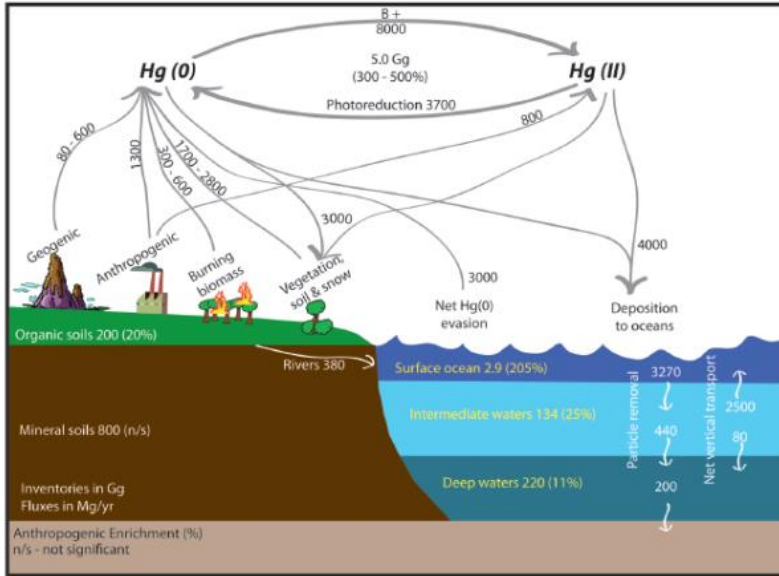
مختلف کاهش داده و تا سال ۲۰۲۰ میلادی به طور کامل حذف کنند. همچنین کشورهای توسعه‌یافته نیز متعهد شدند نسبت به همکاری‌های بین‌المللی و ارائه کمک‌های فنی و مالی و انتقال تکنولوژی‌های جایگزین جیوه به کشورهای در حال توسعه اقدام کنند. به این منظور لایحه تصویب کنوانسیون میناماتا از سوی دولت به مجلس شورای اسلامی جهت تصویب ارسال گردیده است. این لایحه به پیشنهاد سازمان حفاظت محیط زیست و منظور کارکرد سودمندانه جیوه در صنعت و از طرفی تاثیر مخرب آن در سلامت انسان و محیط زیست و با توجه به تدوین ساز و کارهای حقوقی در خصوص کنترل تولید و مصرف آن در کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه و تامین منافع ملی کشور در مفاد آن، به تصویب هیئت وزیران رسیده است. بررسی سمیت و اثرات زیست محیطی انتشار جیوه در مسافت‌های طولانی از جمله مسائل مهم مورد توجه کشورها و سازمان‌های حفاظت محیط زیست است. احتراق ناشی از ذغال سنگ از جمله علل مهم انتشار این آلاینده به حساب می‌آید. با توجه به روند توسعه نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز در ایران ( احداث نیروگاه ذغال سنگ سوز طبس و تغییر سوخت نیروگاه زرناد از مازوت به ذغال سنگ) و تخمین میزان انتشار این آلاینده در نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز کشور لازم و ضروری است.

طی این پروژه در مرحله اول گزارش روند توسعه نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز در ایران و سایر کشورهای جهان و میزان انتشار جیوه از این نیروگاه‌ها ارائه گردیده است. در مرحله دوم پروژه، سیستم‌های پیش‌بینی شده کنترل انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه‌های ذغال سوز طرح توسعه کشور مشتمل بر ESP و FGD بررسی شده است. در طی گزارش مرحله سوم مطالعه و تحقیق در خصوص اثرات زیست محیطی انتشار جیوه در اتمسفر و بررسی برنامه‌ها و قوانین و استانداردهای تدوین شده در کشورهای مختلف دنیا در خصوص انتشار جیوه انجام شده است. در مرحله چهارم این پروژه، روش‌های متعارف و نوین کاهش انتشار جیوه از نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز مورد مطالعه قرار گرفته است. در مرحله پنجم پروژه، تخمین انتشار جیوه از نیروگاه طبس به روش موازنه جرمی با بکارگیری نرم افزار iPOG (که توسط UNEP توسعه داده شده است) با استفاده از آنالیز ذغال سنگ مورد مصرف نیروگاه، مشخصات

بهره‌برداری و نوع سیستم‌های متداول و پیشرفته بکار گرفته شده جهت کنترل انتشار جیوه انجام شده است. سرانجام در مرحله ششم پروژه، جمع‌بندی راهکارهای کاهش انتشار جیوه و برنامه‌پایش و مدیریت زیست محیطی انتشار آن از نیروگاه طبس ارائه شده است.

### نتیجه‌گیری

- مقایسه میزان انتشار و فاکتور انتشار جیوه در کشورهای مصرف‌کننده ذغال سنگ جهت تولید برق
- شناسایی مشخصات فنی سیستم‌های کنترل انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه ذغال سنگ سوز طبس
- بررسی و مطالعه چرخه زیست محیطی جیوه در طبیعت از زمان خروج از دودکش نیروگاه‌ها
- شناخت اثرات زیست محیطی جیوه منتشر شده از نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز
- بررسی برنامه‌ها و قوانین و استانداردهای تدوین شده در کشورهای مختلف دنیا در خصوص انتشار جیوه
- بررسی فنی و اقتصادی روش‌های کنترل انتشار جیوه در نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز
- تخمین انتشار جیوه از نیروگاه ذغال سوز طبس با استفاده از نرم افزار iPOG
- ارائه راهکارهای کاهش انتشار جیوه از نیروگاه طبس
- معرفی شرکت‌های مناسب جهت پایش انتشار جیوه از نیروگاه طبس



تخمین فلاکس ها و ذخائر جیوه در سطح زمین. منظور از  $Hg^{(II)}$  هر دو حالت گازی و ذره ای به علاوه مقدار ناچیز (حدود 1 Mg) جیوه ذره ای خنثی است. مقادیر درج شده در داخل پرانتز تخمین میزان ذخایر و فلاکس های جیوه در اثر فعالیتهای انسانی در ۱۵۰ سال گذشته است. واحد فلاکس  $Mg\ yr^{-1}$  و واحد جیوه ذخائر Gg است.

## منابع

- [۱] گزارشات مراحل اول، چهارم و پنجم پروژه "تخمین میزان انتشار جیوه خروجی از نیروگاه طبس"، کارفرما سازمان توسعه برق، محقق گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو
- [۲] اطلاعات اخذ شده از شرکت مپنا

[3] Wang, Y. J., Y. F. Duan, and C. S. Zhao. "Comparison of mercury emissions between circulating fluidized bed boiler and pulverized coal boiler." In Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion, pp. 256-261. Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[4] Method 29 - Metals Emissions from Stationary Sources  
<http://www.epa.gov/ttnemc01/methods/method29.html>

[5] Standard Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-Fired Stationary Sources (Ontario Hydro Method)

<http://www.astm.org/Standards/D6784.htm>

[6] Mercury Speciation in Flue Gas from Coal-fired Power Stations, P S Analytical

[www.psanalytical.com](http://www.psanalytical.com)

[7][http://www.mercury-instruments.com/en  
Mercury\\_Instruments\\_Products\\_SM\\_4.html](http://www.mercury-instruments.com/en_Mercury_Instruments_Products_SM_4.html)

[8][http://www.apexinst.com/products/mercury-and-gas  
consoles](http://www.apexinst.com/products/mercury-and-gas_consoles)

[9] <http://www.tekran.com/tekran-3300xi-hgcm/>

[10][http://www.marama.org/presentations/2011\\_HgCEMSWe  
b/HgCEMS\\_Thermo\\_26jul11.pdf](http://www.marama.org/presentations/2011_HgCEMSWeb/HgCEMS_Thermo_26jul11.pdf)

[11][http://www.durag.com/userfiles/file/Durag\\_HM-  
1400TRX\\_bro\\_2011.pdf](http://www.durag.com/userfiles/file/Durag_HM-1400TRX_bro_2011.pdf)

[12][http://www.psanalytical.com/products/onlinestackgas.htm  
l](http://www.psanalytical.com/products/onlinestackgas.html)

[13][http://www.ohiolumex.com/products/irm915\\_mercury\\_sta  
ck\\_monitor.htm](http://www.ohiolumex.com/products/irm915_mercury_stack_monitor.htm)

[14][https://www.sick.com/media/pdf/4/24/724/IM0040724.P  
DF](https://www.sick.com/media/pdf/4/24/724/IM0040724.PDF)

[15][http://www.tekran.com/products/ambient air/overview/](http://www.tekran.com/products/ambient-air/overview/)\

[17]- “Best Practices in Environmental Monitoring for Coal-Fired Power Plants: Lessons for Developing Asian APEC Economies”, APEC Energy Working Group Expert Group on Clean Fossil Energy, November 30, 2008

[18]- “Emission Of Hazardous Air Pollutants From Coal-Fired Power Plants”, environmental health & engineering, inc., march 2011

[19]- “Technologies for Control and Measurement of Mercury Emissions from Coal-Fired Power Plants in the United States”, Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM), July 2010

عنوان پروژه: بررسی استفاده از سنسورها در پایش لحظه ای آلاینده‌های آلی آب در رودخانه‌ها و منابع سطحی تامین آب  
مجری و مدیر پروژه: مجید عمید پور - سعید نظری کودهی  
سال انجام پروژه: ۱۳۹۱-۱۳۹۵

## چکیده

تبعات منفی نشت آلودگی‌های آلی خصوصاً آلودگی‌های نفتی در رودخانه‌ها و سایر منابع آبی در مقایسه با خشکی بسیار شدیدتر است، چرا که این آلودگی در رودخانه‌ها به کمک جریان آب به مناطق پایین دست و سواحل منتقل شده و یا با چسبیدن به رسوبات، ته نشین خواهند شد. این انتقال و ته نشینی سبب گسترش مواد نفتی در محدوده وسیعی خواهد شد. از دیدگاه زیست محیطی مواد نفتی ارگانیک‌های موجود در آب را به شدت تحت تاثیر قرار داده و سبب مسمومیت شدید و یا مرگ آنها خواهند شد. استفاده از سنسورها در پایش لحظه ای امکان خطای انسانی در نمونه‌برداری، آنالیز و ارائه گزارش را به حداقل رسانده و با توجه به اینکه هزینه‌های تصفیه آب از آلودگی‌های آلی بسیار هزینه‌بر و زمان بر است موجب جلوگیری از اتلاف منابع مالی شده و در صورت بروز نشت مواد آلی با ایجاد آلارم و هشدار موجب جلوگیری از آلودگی منابع آبی خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به اینکه حوزه آبخیز رودخانه کرج طویل است امکان سرکشی و نمونه‌برداری از آب در ۲۴ ساعت امکان‌پذیر نبوده و لذا استفاده از شبکه سنسورها و اخذ گزارشات در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند در کنترل بار آلودگی مواد آلی خصوصاً آلودگی‌های نفتی نقش عمده ای داشته باشد.

## مقدمه

افزایش جمعیت، شهرنشینی، صنعتی شدن و تحول در کاربری اراضی، روند تخریب محیط‌زیست را در دهه‌های اخیر شدت بخشیده و منابع موجود هر کشوری از جمله منابع آب را زیر فشارهای فزاینده‌ای قرار داده و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار و پیچیده‌تر از گذشته کرده است. برای رویارویی و دستیابی به راهکارهای مناسب به منظور مدیریت و

مهار بحران آب، نیاز به آمار و اطلاعات لازم از وضعیت موجود و روندهای گرایش حاکم در آینده این حوزه است. پایش و ارزیابی منابع آب را می‌توان یکی از مهمترین اقداماتی دانست که برای افزایش آگاهی و شناخت درباره شرایط منابع آب کشور باید انجام پذیرد و نتایج این گونه بررسی‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. تاکنون در سطح جهانی تجربیات مختلفی در زمینه پایش منابع آب گزارش شده است بطور مثال آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) با تدوین خط‌مشی‌های جدید و تصویب قانون حفاظت آب در قالب اجرای برنامه پایش، ایالات خود را موظف کردند تا رودخانه‌ها و منابع آب خود را با ایجاد ایستگاه‌های ثابت پایش از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ارزیابی کنند. رودخانه کرج در تامین آب شرب مورد نیاز شهرهای تهران و کرج از اهمیت بالایی برخوردار است و لذا حفظ کیفیت آب این رودخانه در حد مطلوب الزامی است. افزایش ساخت و ساز خانه‌های مسکونی و رستوران‌ها در حاشیه این رودخانه و تردد بالای وسایل نقلیه و خصوصاً تانکرهای حمل سوخت در جاده‌های اطراف منجر به افزایش بروز حوادثی می‌گردد که احتمال نشت مواد نفتی در آب این روخانه را زیاد خواهد نمود. با توجه به اهمیت آلودگی‌های نفتی و خسارات فراوان ناشی از نشت آنها در آب رودخانه‌ها تعریف و اجرای پروژه ای با عنوان "بررسی استفاده از سنسورها در پایش لحظه‌ای آلاینده‌های آلی آب در رودخانه‌ها و منابع سطحی تامین آب" به منظور شناخت و استقرار بهترین سیستم و یا سیستم‌های پایش لحظه‌ای مناسب جهت تشخیص آلودگی‌های آلی و نفتی و اعلام هشدار به مسئولین ذیربط لازم و ضروری است. مهم‌ترین بخش رودخانه کرج پایین دست دریاچه از خروجی سد امیرکبیر تا خروجی آبگیر بیلقان است زیرا آب با هدف اصلی (شرب) از این قسمت برداشت می‌شود و اگر آلاینده‌های آلی خصوصاً نفتی در این قسمت وارد آب شوند پس از مدت کوتاهی وارد مخازن آبگیری شده و از آنجا به شبکه انتقال آب و تصفیه‌خانه‌ها وارد شده و هزینه‌ها و مشکلات تصفیه را افزایش می‌دهند. به این منظور این پروژه مذکور به کارفرمایی شرکت تامین و تصفیه آب و فاضلاب تهران و توسط گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو اجراء شده است.



تبعات منفی نشت آلودگی‌های آلی خصوصاً آلودگی‌های نفتی در رودخانه‌ها و سایر منابع آبی در مقایسه با خشکی بسیار شدیدتر است، چرا که این آلودگی در رودخانه‌ها به کمک جریان آب به مناطق پایین دست و سواحل منتقل شده و یا با چسبیدن به رسوبات، ته نشین خواهند شد. این انتقال و ته نشینی سبب گسترش مواد نفتی در محدوده وسیعی خواهد شد. از دیدگاه زیست محیطی مواد نفتی ارگانیک‌های موجود در آب را به شدت تحت تاثیر قرار داده و سبب مسمومیت شدید و یا مرگ آنها خواهند شد. مواد نفتی همچنین دمای قابل تحمل را برای ماهی‌ها و سایر آبزیان کاهش داده و از طریق ممانعت برای ورود نور و یا چسبیدن به سطح برگ‌ها، گیاهان آبی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. مواد نفتی از طریق ایجاد مسمومیت جلبک‌های خوراکی و یا پلانکتون‌های موجود در آب، زنجیره غذایی را مختل کرده و حتی پرندگانی و پستانداران منطقه آلوده شده را نیز تحت تاثیر قرار خواهند داد. سرنوشت نهایی مواد نفتی وارد شده به محیط‌های آبی توسط فرآیندهای مختلفی از قبیل تبخیر، تشکیل محلول، پخش شدن روی سطح، تشکیل امولسیون، اکسایش، تجزیه به کمک میکروارگانیزم‌های موجود در آب و یا چسبیدن به رسوبات بستر رودخانه یا دریاچه مشخص می‌شود. پس از ورود مواد نفتی به یک محیط آبی ترکیبات فرار موجود در آن به سرعت تبخیر می‌شوند. پس از گذشت چند روز، حدود ۲۵ درصد از مواد نفتی نشت شده در محیط آبی از راه تبخیر از بین رفته و باقی مانده آن در معرض فرآیند تشکیل امولسیون قرار خواهد گرفت. یک امولسیون شامل قطره‌های پراکنده معلق یک مایع در مایع دیگر است. در این حالت امکان تشکیل دو نوع امولسیون نفت در آب و آب در نفت وجود دارد. پراکندگی نفت در آب هنگامی صورت می‌گیرد که مواد نفتی تحت تاثیر متقابل شیمیایی این مواد با آب (که عمدتاً در سطح صورت می‌گیرد) پایدار شده باشند. این فرآیند در آب‌های متلاطم به خوبی صورت می‌گیرد. در چنین شرایطی قطره‌های نفت در سطوح بالای آب پراکنده نشده و از میان آب عبور می‌کنند. تعدادی از این قطرات (به ویژه قطرات سنگین تر) با چسبیدن به رسوبات ته نشین خواهند شد. بیشتر مواد نفتی که پس از فرآیندهای تشکیل امولسیون باقی می‌مانند به تدریج به وسیله عمل اکسیداسیون نوری و یا تجزیه توسط موجودات ریز موجود در آب شکسته می‌شوند. در مجموع

پس از نشت مواد نفتی در یک محیط آبی، این مواد روی سطح آب پخش شده و تشکیل یک لایه نازک می‌دهند. این لایه نازک تحت فرآیندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قرار گرفته و به شدت تغییر می‌یابد. در مجموع امکان بروز هشت فرآیند فیزیکی یا شیمیایی شامل توسعه لکه یا گسترده شدن، تبخیر، اختلاط، اکسیداسیون نوری، پخش شدن در ستون آب، ته نشینی به همراه رسوبات، تجزیه بیولوژیکی و تشکیل امولسیون وجود دارد.

سوانح مربوط به تانکرهای نفتی و نشت سوخت از مخازن ذخیره سازی منازل مسکونی و یا خطوط انتقال سوخت در نزدیکی رودخانه‌ها از عوامل اصلی ورود آلودگی‌های نفتی به آب رودخانه‌ها هستند. الگوی انتشار آلودگی‌های نفتی در آب رودخانه‌ها بستگی به عوامل زیر دارد:

- مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه مشتمل بر تعیین دبی رودخانه ، رژیم جریان رودخانه ، سرعت جریان رودخانه، عرض و عمق رودخانه و کیفیت آب رودخانه

- مشخصات ژئو هیدرولوژیکی رودخانه مشتمل بر تعیین ویژگی‌های زمین شناسی، فرسایش و سیلاب رودخانه

- مشخصات آب و هوایی ، اقلیمی ، جغرافیایی و پوشش گیاهی رودخانه

- نحوه نشت ، مقدار آلودگی نفتی و نوع آن در ناحیه تحت تاثیر و وجود سایر آلاینده‌ها

در طول دو دهه گذشته رشد بی‌سابقه‌ای در شمار محصولات و خدماتی که از اطلاعات به دست آمده از راه مونتورینگ و اندازه گیری با استفاده از سنسورها استفاده می‌کنند، حاصل شده است. فناوری سنسورها در دامنه وسیعی از حوزه‌ها از آب و هوا تا پزشکی، بازرگانی و صنایع گسترده شده است. بسیاری از دولت‌ها به دلیل منافع بالقوه این فناوری اقدام به توسعه و تشویق بکارگیری آن نموده‌اند. از طرف دیگر توسعه بکارگیری تکنولوژی سنسورها به اجرای قوانین حکومتی در زمینه حفظ محیط زیست کمک می‌کند. در قرن ۲۱ حفظ منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار است و به این منظور باید این منابع را از انواع آلودگی‌ها حفاظت

نمود. یکی از آلودگی‌های متداول منابع آبی آلودگی هیدروکربنی و آلی است. در حال حاضر تعیین بار آلودگی وارده به منابع آبی و آب شرب و جلوگیری و ورود و نشت این مواد بسیار حیاتی و با اهمیت است و لذا پایش لحظه‌ای و مداوم کیفیت آب در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است. آلودگی‌های آلی شامل موادی مانند BTEX، PAHs، ترکیبات هیدروکربنی هالوژن‌دار، ترکیبات نفتی و سایر ترکیبات آلی است که طبق مستندات و مدارک ارائه شده توسط WHO تاثیر سوء بر سلامت انسان دارد. بنابر این جلوگیری از نشت این مواد به منابع آبی و آب شرب و ایجاد سیستم هشدار ورود مواد آلی با استفاده از سنسورها بسیار ضروری است. استفاده از سنسورها در پایش لحظه‌ای امکان خطای انسانی در نمونه‌برداری، آنالیز و ارائه گزارش را به حداقل رسانده و با توجه به اینکه هزینه‌های تصفیه آب از آلودگی‌های آلی بسیار هزینه بر و زمان بر است موجب جلوگیری از اتلاف منابع مالی شده و در صورت بروز نشت مواد آلی با ایجاد آلارم و هشدار موجب جلوگیری از آلودگی منابع آبی خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به اینکه حوزه آبخیز رودخانه کرج طویل است امکان سرکشی و نمونه‌برداری از آب در ۲۴ ساعت امکان پذیر نبوده و لذا استفاده از شبکه سنسورها و اخذ گزارشات در بازه های زمانی مختلف می‌تواند در کنترل بار آلودگی مواد آلی خصوصاً آلودگی‌های نفتی نقش عمده ای داشته باشد.

## نتیجه گیری

-شناسایی انواع آلودگی‌های آلی آب موجود در رودخانه‌ها و منابع سطحی تامین آب (خصوصاً آلودگی‌های نفتی و هیدروکربنی و روغن‌های خوراکی) و نحوه انتشار آن در رودخانه‌ها

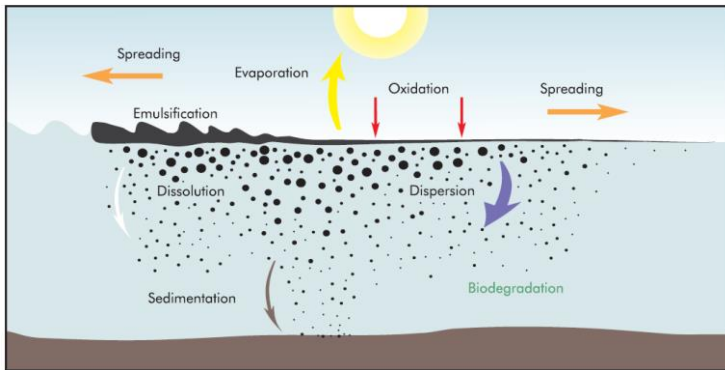
-تهیه بانک جامع اطلاعاتی از انواع روش‌های موجود، سنسورها و آنالیزهای جهت شناسایی و اندازه‌گیری و اعلام هشدار آلودگی‌های آلی در آب به همراه مزایا و معایب و ارقام شایستگی آنها

-انتخاب فنی و اقتصادی مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری لحظه‌ای مواد آلی با استفاده از سنسورها

-تهیه بانک جامع اطلاعاتی شرکت‌های مطرح بین‌المللی سازنده سنسورهای شناسایی و اندازه‌گیری و اعلام هشدار آلودگی‌های آلی در آب به همراه قیمت هریک از آنها، معایب و مزایای آنها

-اخذ دانش فنی طراحی شبکه سنسورهای اندازه‌گیری لحظه‌ای مواد آلی با توجه موقعیت مکانی منابع آبی و تهیه اسناد و مدارک مربوطه به همراه الگوریتم‌ها و دستورالعمل‌های مربوطه

- برآورد هزینه‌های احداث شبکه سنسورها جهت اندازه‌گیری لحظه‌ای مواد آلی



فرآیندهای مختلف تخریب محیطی موثر بر یک لایه نفتی در محیط‌های آبی

## منابع

[1]<http://www.pic.iranforum.ir/images/zum57mm941dfltz03ghx.ppt>

[2]<http://www.petronet.ir/index.php?module=content&func=viewpage&pageid=930>

[3]-<http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-10092010-145042/unrestricted/03chapter4.pdf> "chapter 4 the validation

of the selection and prioritization protocol in a prototype drinking water value chain, a case study of the rand water board" ,

[4]- <http://karajenvironment.blogfa.com/post-20.aspx>

[5]-<http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-10092010-145042/unrestricted/01chapters1-2.pdf>

[6]- "Monitoring and Modeling the dynamic Fate and Behavior of pesticides in river systems at cathment scale" Katrijn Holvoet, 2006

[7]- Review "Monitoring and modeling pesticide fate in surface waters at the catchments scale", Katrijn M.A. et all, ECOLOGICAL MODELLING 209 (2007), 53-64

[8][http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge\\_pollutants\\_3.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_pollutants_3.pdf) , "Organic Pollutants: sources, pathways, and fate through urban wastewater treatment system"

[9]-PHYSICAL PROCESSES AFFECTING THE MOVEMENT AND SPREADING OF OILS IN INLAND WATER, R.Overstreet and J.A.Galt, NOAA, 1995

[10]-[www.elsevierdirect.com/companions/.../01-Ch26-P088530web.pdf](http://www.elsevierdirect.com/companions/.../01-Ch26-P088530web.pdf),"The Origin of Petroleum in the Marine Environment"

[11]- [http://www.darrp.noaa.gov/library/pdf/IAD\\_AP-C.PDF](http://www.darrp.noaa.gov/library/pdf/IAD_AP-C.PDF) "Oil Behavior, Pathways, And Exposure, Appendix C",

[12]- Oil Behavior and Toxicity Jacqueline Michell, Research planning institute, Columbia, south Caolina, 29202

[13]- TECHNICAL INFORMATION PAPER, Fate of marine oil spills, ITOPE, 2002

[14]- "Fate of spilled oil in marine water", American Petroleum, Institute, 1999

[15]- <http://www.supsalv.org/pdf/VOL%206.pdf>, "Oil characteristics and behavior chapter 2"

[16]- Tolessa Deksissa Chuco, M.sc, "DYNAMIC INTEGRATED MODELLING OF BASIC WATER QUALITY AND FATE AND EFFECT OF ORGANIC CONTAMINANTS IN RIVER", Academiejaar, 2003-2004

[17]- "Extension of the River Water Quality Model No. 1 with the fate of pesticide", C.J.De Schepper et all, journal of Hydroinformatics, 14.1, 2012

[18]- Review of modeling procedures for oil spill weathering behavior, Lehr, William.J

عنوان پروژه: آینده‌پژوهی توسعه فناوری‌های اسمز مستقیم در تصفیه فاضلاب‌های نیروگاهی

مجری: مرتضی جلالی

مدیر پروژه: پیمان پورمقدم

سال انجام پروژه: ۱۳۹۵

### چکیده:

در یک نیروگاه حرارتی یا چرخه ترکیبی آلاینده‌های مختلفی از طریق پساب‌های تولیدی در نیروگاه ممکن است به محیط‌زیست تخلیه گردیده و باعث آلودگی محیط‌های آبی شوند. با توجه به کمبود منابع آبی کشور و اهمیت برگشت و استفاده مجدد از پساب نیروگاه‌ها لزوم استفاده از فرایند بازیابی و تصفیه پساب نیروگاه مشخص می‌شود. مجموعه فرایندهای ترکیبی اسمز مستقیم یکی از شاخه‌های نوین در بازیابی فاضلاب‌های صنعتی و نیروگاهی بوده که در یک دهه گذشته توسعه یافته و با احداث پایلوت‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی در مناطق خشکی نظیر کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس کارایی آن ارزیابی شده است. عملکرد مطلوب فرایند اسمز مستقیم مستلزم بررسی و انتخاب دقیق و به‌کارگیری مؤلفه‌های تأثیرگذار این فرایند شامل انتخاب فرایند ترکیبی مناسب، غشای مناسب، محلول اسمزی مطلوب، و همچنین سیستم بازیابی محلول اسمزی متناسب با مشخصات پساب موضوع تصفیه و اهداف سیستم تصفیه است. در نتیجه با بررسی و انتخاب مؤلفه‌های مذکور می‌توان شار آب بالا و همچنین گزینش پذیری مؤثری را شاهد بود. موارد مذکور باعث افزایش کارایی فرایند اسمز مستقیم حتی نسبت به دیگر فرایندهای تک‌مرحله‌ای غشایی شده و استفاده از این فرایند نوین را در تصفیه پساب نیروگاه‌های حرارتی و پساب‌های صنعتی مشابه و آب دریا توجیه‌پذیر می‌کند. در این پروژه آینده‌پژوهی توسعه فناوری‌های اسمز مستقیم در تصفیه فاضلاب‌های نیروگاهی انجام شده است.

## مقدمه:

فرایندهای جداسازی غشایی نظیر میکروفیلتراسیون<sup>۱۷</sup>، اولترافیلتراسیون<sup>۱۸</sup>، نانو فیلتراسیون<sup>۱۹</sup> و اسمز معکوس<sup>۲۰</sup> از فرایندهای قدرتمند در فیلتراسیون و جداسازی می‌باشند. امروزه فناوری‌های غشایی نظیر اسمز معکوس از پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده در احیای آب در جهان هستند.

دو موضوع مهم که تا به امروز به‌عنوان مشکلات عمده برای سامانه‌های غشایی که از نیرو محرکه فشار برای تصفیه پساب‌های صنعتی استفاده می‌کنند، شامل: الف) گرفتگی غشا که نیاز به پیش تصفیه گسترده و یا تمیز کردن شیمیایی غشا دارد، که منجر به طول عمر کوتاه غشا و کاهش بهره‌وری فرآیند تصفیه می‌شود، و ب) تولید حجم زیادی از فاز تغلیظ شده که به تخلیه و یا تصفیه بیشتر نیاز دارد. علاوه بر موارد ذکر شده اکثر فرایندهای تصفیه مبتنی بر فناوری غشایی نظیر اسمز معکوس به فشار عملیاتی بالایی نیاز دارند که از لحاظ اقتصادی قابل تأمل است. انرژی مصرفی بالای پمپ و نیاز به تجهیزات خاص که در اثر فشار عملیاتی بالا تحمیل می‌شود منجر به هزینه‌های عملیاتی بالایی این فرایندها می‌شود. از طرف دیگر درصد بازیافت محدود، گرفتگی غشا و متعاقباً کاهش شار، عمر و بازدهی غشا از جمله دیگر محدودیت‌های فرایند اسمز معکوس است. بنابراین یافتن روشی ارزان‌تر و با محدودیت‌های کمتر برای تصفیه پساب‌های صنعتی و به‌طور خاص پساب‌های نیروگاهی توسط صنایع غشایی ضرورتی انکارناپذیر است.

در سال‌های اخیر فرایند اسمز مستقیم به‌عنوان روشی مؤثر به‌منظور تصفیه پساب‌های صنعتی با اثربخشی بالاتر و مصرف انرژی بسیار پایین‌تر نسبت اسمز معکوس مورد توجه قرار گرفته است.

<sup>17</sup> Microfiltration

<sup>18</sup> Ultrafiltration

<sup>19</sup> Nanofiltration

<sup>20</sup> Reverse osmosis



اسمز مستقیم یک فرایند طبیعی مبتنی بر پدیده اسمزی است که در آن آب از یک محلول با غلظت کمتر به محلول دیگری با غلظت بیشتر از میان یک غشای نیمه‌تراوا و در اثر فشار اسمزی منتقل می‌شود. محلول رقیق در این فرایند که محلول خوراک نامیده می‌شود نیازمند تصفیه است. از طرفی محلول غلیظ که محلول اسمزی یا محلول کشنده<sup>۲۱</sup> نامیده می‌شود، با استفاده از جزء حل شونده‌ای که فشار اسمزی بالایی تولید می‌کند، تهیه می‌شود. اختلاف فشار اسمزی بین محلول خوراک و محلول اسمزی باعث می‌شود که آب موجود در خوراک به سمت محلول اسمزی جریان پیدا کند. اجزای آلوده‌کننده موجود در خوراک به واسطه نیمه‌تراوا بودن غشای مورد استفاده در محلول خوراک باقی می‌ماند. آب منتقل شده از محلول خوراک به محلول اسمزی باعث رقیق شدن محلول اسمزی شده و منجر به کاهش فشار اسمزی می‌شود. در نتیجه، بعد از اینکه آب از محلول خوراک به محلول اسمزی انتقال یافت، باید آب با خلوص بالا توسط یک فناوری دیگر با بازده بالا، بازیافت شود، تا هم محلول اسمزی تغلیظ شده و فشار اسمزی لازم را تولید کند و هم آب به‌عنوان محصول نهایی با خلوص بالا به دست آید. به همین جهت، شمار زیادی از تحقیقات اخیر به جستجوی یک محلول اسمزی با فشار اسمزی بالا، ساخت غشای مناسب با شار آب و پس‌زنی نمک بالا و همچنین روش بازیافت آب از محلول اسمزی با حداقل انرژی، معطوف شده است.

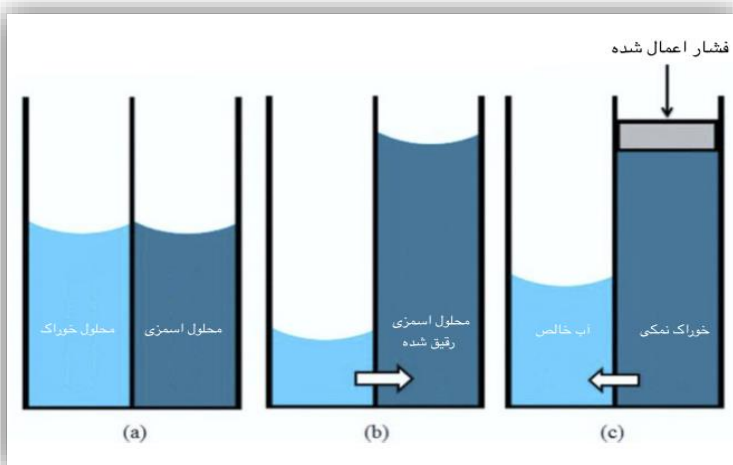
فرایند اسمز مستقیم برای طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی مهندسی از جمله تصفیه پساب، تصفیه آب و نمک‌زدایی آب دریا تحت بررسی گسترده قرار گرفته است [۱-۵]. برخلاف دیگر فناوری‌های غشایی مبتنی بر فشار هیدرولیکی نظیر اسمز معکوس (RO)، فرایند اسمز مستقیم از لحاظ انرژی فناوری کارآمدتری است [۶]. علاوه بر کاربردهای تصفیه فاضلاب و آب دریا، فرایند اسمز مستقیم به‌منظور تولید انرژی نیز بکار برده شده است [۷، ۸]. شکل (۱) نمایی از فرایند اسمز مستقیم و مقایسه آن با فرایند اسمز معکوس را نشان می‌دهد.

مهم‌ترین مزیت فرایند FO نسبت به RO در این است که برای انجام فرایند تصفیه، نیاز به فشار هیدرولیکی نیست، در نتیجه گرفتگی<sup>۲۲</sup> بسیار کمتری روی غشا ایجاد شده و همچنین برای

<sup>21</sup> Draw Solution

<sup>22</sup> Fouling

پمپ به انرژی کمتری نیاز دارد [۹-۱۴]. در غیاب فشار هیدرولیکی گرفتگی به وجود آمده روی سطح غشا، برخلاف اسمز معکوس، برگشت‌پذیر بوده و نیازی به انجام پیش‌تصفیه و استفاده از مواد شیمیایی به منظور تمیز کردن غشا نیست [۱۳، ۱۵-۱۷]. در این فرایند، جریان آب از خوراک به محلول اسمزی یک فرایند طبیعی است و نیازی به انرژی ندارد. بازیافت آب از محلول اسمزی نیاز به مقداری انرژی دارد، ولی استفاده از یک محلول اسمزی مناسب می‌تواند فرایند اسمز مستقیم را به یک فرایند انرژی کارآمد و کم‌هزینه تبدیل کند. در حال حاضر تحقیقات عمومی گسترده‌ای در زمینه اسمز مستقیم در حال انجام بوده و برنامه‌های کاربردی جدید مرتبط با این فرایند به سرعت در حال رشد است.



شکل (۱) - (a) نمایی از محلول خوراک و اسمزی که توسط یک غشای نیمه‌تراوا از هم جدا شده‌اند، (b) فرایند اسمز مستقیم که آب به واسطه اختلاف فشار از خوراک به محلول اسمزی منتقل می‌شود، (c) فرایند RO، موکول‌های آب در اثر فشار اعمال شده به محلول نمکی از غشا عبور می‌کنند.

## مراحل گزارش:

**مرحله اول پروژه** شامل سه فصل بوده که فصل اول آن میزان پساب تولید شده در برخی نیروگاه‌های حرارتی کشور بررسی شده است. در فصل دوم گزارش این مرحله کیفیت

پساب تولیدشده در این نیروگاه‌ها بررسی شده‌اند. در فصل سوم گزارش نیز روش‌های کنونی به کار گرفته شده تصفیه پساب‌های نیروگاهی ارائه شده‌اند.

**در فصل اول گزارش پساب‌های تولیدشده در ۱۳ نیروگاه بخاری ایران شهر، بعثت، بندرعباس، بیستون، زرنده، سهند، شازند، شهید رجایی، شهید مفتاح همدان، شهید منتظری، طرشت، منتظر قائم، نکا و همچنین ۹ نیروگاه سیکل ترکیبی خیام نیشابور، خوی، شریعتی، شهید رجایی، فارس، قم، گیلان، منتظر قائم و نکا از نظر میزان پساب‌های تولیدشده مورد بررسی قرار گرفتند.** بیشترین پساب تولیدشده در نیروگاه‌های بخاری مربوط به پساب نمکی (با سهم ۷۷٪ از مجموع پساب‌های تولیدشده یا با میزان متوسط ۴۸۷۴ مترمکعب بر ساعت) است. میزان تولید این پساب‌ها به ازای تولید هر مگاوات برق در نیروگاه‌های مختلف متغیر و از  $\frac{m^3}{hr \times MW} 0.001$  تا  $\frac{m^3}{hr \times MW} 3/35$  متغیر بوده است. همچنین بیشترین پساب نمکی تولیدشده مربوط به بلودان برج تر با سهم ۸۰٪ از کل پساب‌های نمکی تولیدشده ( $3920 \frac{m^3}{hr}$ ) تخمین زده شده است.

**در فصل دوم گزارش کیفیت پساب‌های مهم نیروگاهی شامل پساب‌های نمکی، پساب احیای مبدل‌های یونی واحد دمن و CPP، پساب حوضچه‌های نمکی، بلودان برج تر، پساب اسمز معکوس، پساب‌های گرم و بلودان بویلر با ارائه نتایج حاصل از آنالیزهای انجام شده بر روی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.**

**در نهایت در فصل سوم گزارش روش‌های مطرح بازیابی پساب‌های نیروگاهی که در نیروگاه‌های ایران و جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند و یا استفاده آن‌ها در جهان مطرح بوده است ارائه گردیدند.** طبق بررسی انجام شده مهم‌ترین روش‌های بازیابی این پساب‌ها در دنیا به کار گرفته می‌شود استفاده از فرآیند اسمز معکوس و فرآیندهای تبخیری است. طبق بررسی انجام شده فرآیند اسمز معکوس بیشتر برای بازیابی بلودان برج تر و روش‌های تبخیری برای بازیابی فاضلاب واحدهای سولفور زدایی FGD استفاده شده‌اند. از آنجا که ۸۰٪ پساب‌های نمکی تولیدشده در نیروگاه‌های ایران بلودان برج تر بوده و روش RO نیز مطرح‌ترین

روش برای بازیابی این پساب‌ها است از این رو در این بخش فرآیند RO به‌عنوان روش منتخب جهت مقایسه فنی و اقتصادی با فرآیند FO انتخاب گردید.

**مرحله دوم** شامل ۵ فصل بوده که فصل اول آن فرآیند اسمز مستقیم تشریح شده است. در فصل دوم تحقیقات انجام‌شده در زمینه<sup>۱</sup> اسمز مستقیم بررسی شده است. در فصل سوم مشکلات موجود در راهبری فرآیندهای FO و مقایسه آن‌ها با دیگر فرآیندهای متداول تصفیه آب نظیر RO بررسی شده است. در فصل چهارم گزارش فناوری‌های ترکیبی اسمز مستقیم ارائه و مزایا و معایب استفاده از این فناوری‌ها و مقایسه عملکرد آن‌ها با فرآیند تجاری شده RO مشخص شده و فناوری‌های برتر در این زمینه انتخاب شده‌اند.

**در فصل اول گزارشی این مرحله اصول کلی حاکم بر فرآیند اسمز مستقیم شامل اصول انتقال جرم، پدیده‌های پلاریزاسیون غلظتی و عوامل مؤثر در کارایی فرآیند تشریح شدند.** همچنین غشاها و محلول‌های اسمزی توسعه‌یافته برای این فرآیند و اصول طراحی ماژول‌های FO از جنبه‌های مختلف بررسی شدند.

**در فصل دوم گزارشی این مرحله بررسی جامعی بر روی تحقیقات انجام‌شده در زمینه<sup>۲</sup> انواع غشاها، اشکال اسمز مستقیم و انواع محلول‌های اسمزی ارائه شد و نتایج تحقیقات صورت گرفته در چند سال گذشته در چندین جدول به تفکیک نوع غشا و محلول کشنده ارائه گردید.** **در فصل سوم گزارشی این مرحله مشکلات موجود در راهبری فرآیندهای FO شامل انواع گرفتگی‌ها، شار معکوس نمک، مشکلات ناشی از تخریب غشا، قطبش غلظتی و انتخاب محلول کشنده بررسی شده و نتایج آن با فرآیندها RO مقایسه شده است.** از دیگر موارد بررسی‌شده در این فصل میزان عبور بور بوده که برای هر دو فرآیند RO و FO بررسی و باهم مقایسه شده‌اند. در نهایت با استفاده از نتایج ارائه‌شده در تحقیقات چندساله اخیر میزان مصرف انرژی و هزینه‌های تولید در فرآیندهای اسمز مستقیم و اسمز معکوس با یکدیگر مقایسه گردید.

**در فصل چهارم گزارشی این مرحله انواع فناوری‌های ترکیبی اسمز مستقیم بررسی شده و با توجه به منابع موجود مزایا و معایب استفاده از این فناوری‌ها تشریح و عملکرد آن‌ها با**

فرآیند تجاری شده RO مقایسه شده است. در نهایت با توجه به مزیت‌ها و معایب ارائه شده برای روش‌های فوق انتخاب روش‌های ترکیبی RO-FO و همچنین روش‌های FO با بازیابی حرارتی و گونه‌های جدیدتر آن نظیر روش‌های SPS-FO و COHO به‌عنوان روش‌های برتر برای استفاده در نیروگاه‌های ایران انتخاب شده‌اند.

**در فصل پنج گزارش این مرحله** نیز مشخصات شرکت‌های تجاری فعال در زمینه توسعه غشاهای، فرآیندهای ترکیبی و ساخت فرآیندهای ترکیبی FO ارائه شده است. طبق مطالب ارائه شده در این بخش، مهم‌ترین شرکت سازنده غشاهای اسمز مستقیم شرکت HTI، مهم‌ترین شرکت‌های ارائه‌دهنده فناوری‌های ترکیبی اسمز مستقیم شرکت‌های Oasys و Water و Modern Water هستند. همچنین شرکت Porifera نیز در زمینه ماژول‌های تجاری FO محصولات نوینی را ارائه نموده است.

**مرحله سوم پروژه** شامل ۴ فصل بوده است. در فصل اول مؤلفه‌های مؤثر بر ساخت و بهره‌برداری فناوری‌های اسمز مستقیم مشخص و چالش‌های فراروی توسعه هر یک از مؤلفه‌ها پیش بینی شده است. در فصل دوم گزارش آینده هر یک از فناوری‌های اسمز مستقیم ترسیم شده است. در فصل سوم گزارش جایگاه فناوری‌های اسمز مستقیم در نقشه راه فناوری‌های تصفیه آب و فاضلاب کشورهای خارجی بررسی شده است. در فصل ۴ گزارش نیز آینده استفاده از فناوری‌های اسمز مستقیم در صنعت نیروگاهی بررسی می‌شود.

در این مرحله هزینه‌های تقریبی مورد نیاز برای ساخت غشا، ساخت واحد آزمایشگاهی ارزیابی عملکرد غشای، آزمون‌ها و سنجش نمونه‌ها برآورد شده است. دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ایرانی پیش رو در زمینه ساخت غشا و محلول‌کننده ارائه شدند. در بخش دیگری از این فصل راهبردهای پیشنهادی برای توسعه فرایند اسمز مستقیم در بخش نیروگاهی در چهار بخش ساخت غشا، توسعه محلول‌های کشنده، توسعه فناوری‌های ترکیبی اسمز مستقیم و توسعه استانداردها و آموزش نیروی انسانی تشریح شدند. در ادامه اقدامات و سیاست‌های پیشنهادی توسعه فناوری در هر یک از چهار بخش فوق تشریح شده است. در انتهای این بخش ره‌نگاشت (نقشه راه) پیشنهادی برای توسعه فرایند اسمز مستقیم در بخش نیروگاهی

در هر یک از چهار بخش ارائه شده است که در آن اولویت‌بندی، زمان‌بندی و هزینه انجام طرح‌ها در قالب نقشه راه پیشنهادی هر یک از بخش‌ها ارائه شده است. بر این اساس در بخش توسعه فناوری‌های ساخت غشاهای اسمز مستقیم زمان مورد نیاز برای توسعه بخش‌های مختلف فرایند ساخت غشا حدود ۱۱ سال بوده که از سال ۱۳۹۷ آغاز و تا سال ۱۴۰۸ ادامه خواهد یافت. بودجه برآورد شده برای انجام این طرح‌ها در محدوده ۱۴۲۷۰ میلیون ریال تا ۱۷۲۲۰ میلیون ریال بوده است. در بخش توسعه فناوری‌های ساخت و بهبود کارایی محلول‌های کشنده زمان مورد نیاز برای توسعه بخش‌های مختلف فرایند ساخت غشا حدود ۸ سال بوده که از سال ۱۳۹۷ آغاز و تا سال ۱۴۰۵ ادامه خواهد یافت. بودجه برآورد شده برای انجام این طرح‌ها در محدوده ۶۳۲۰ میلیون ریال تا ۹۰۷۰ میلیون ریال بوده است. در بخش توسعه فناوری‌های ترکیبی اسمز مستقیم زمان مورد نیاز برای توسعه بخش‌های مختلف فرایند ساخت غشا حدود ۱۱ سال بوده که از سال ۱۴۰۳ آغاز و تا سال ۱۴۱۴ ادامه خواهد یافت. بودجه برآورد شده برای انجام این طرح‌ها در محدوده ۱۴۱۲۰ میلیون ریال تا ۱۹۶۲۰ میلیون ریال بوده است. در بخش توسعه استانداردها و آموزش نیروی انسانی زمان مورد نیاز برای توسعه بخش‌های مختلف فرایند ساخت غشا حدود ۴ سال بوده که از سال ۱۴۱۲ آغاز و تا سال ۱۴۱۶ ادامه خواهد یافت. بودجه برآورد شده برای انجام این طرح‌ها ۸۵۰۰ میلیون ریال بوده است.

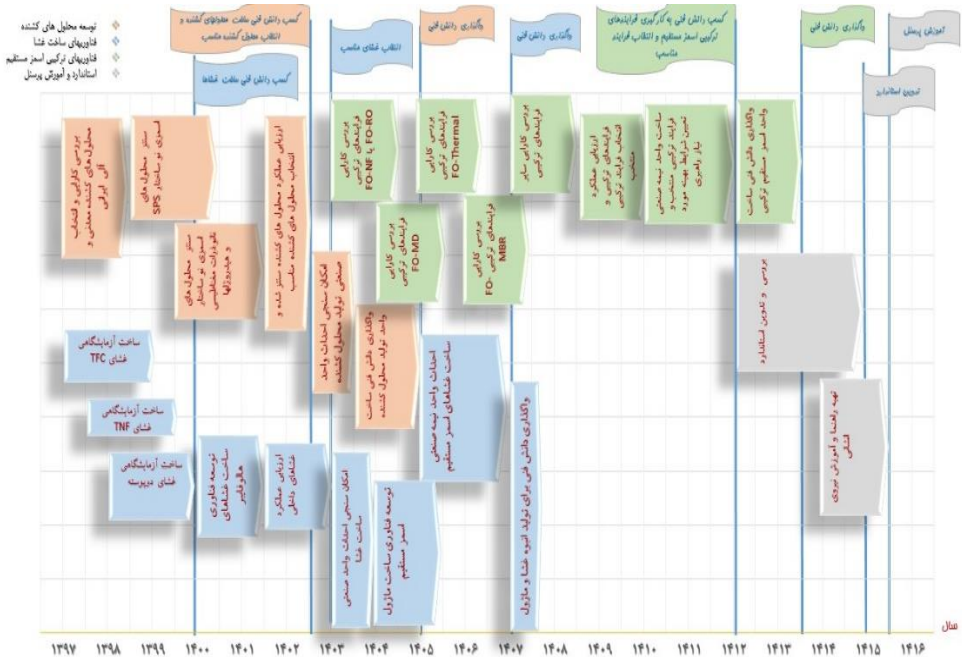
بر اساس نقشه راه پیشنهادی زمان مورد نیاز برای چهار طرح حدود بیست سال و بودجه تقریبی مورد نیاز برای انجام طرح‌ها (بدون در نظر گرفتن تورم و بر مبنای ارزش ریال در سال ۱۳۹۶) در حدود ۴۰۰۰۰ تا ۵۵۰۰۰ میلیون ریال برآورد شده است، که کلیات آن در شکل (۲) ارائه شده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج و دستاوردهای عمده پروژه حاضر عبارت است از:

- ۱- تعیین مؤلفه‌های مؤثر بر ساخت و بهره‌برداری فناوری‌های اسمز مستقیم
- ۲- ترسیم آینده هر یک از فناوری‌های اسمز مستقیم

- ۳- بررسی جایگاه فناوری‌های اسمز مستقیم در نقشه راه فناوری‌های تصفیه آب و فاضلاب کشورهای خارجی
- ۴- برآورد هزینه‌های تقریبی موردنیاز برای ساخت غشا، ساخت واحد آزمایشگاهی ارزیابی عملکرد غشای، آزمون‌ها و سنجش نمونه‌ها
- ۵- ارائه نقشه راه و راهبردهای توسعه فرایند اسمز مستقیم در بخش نیروگاهی در چهار بخش ساخت غشا، توسعه محلول‌های کشنده، توسعه فناوری‌های ترکیبی اسمز مستقیم و توسعه استانداردها و آموزش نیروی انسانی



شکل (۲)- نقشه راه پیشنهادی توسعه چهار بخش پیشنهادی فناوری‌های اسمز مستقیم

## منابع

Lay, W.C., et al., *Factors affecting flux performance of forward osmosis systems*. Journal of membrane science, 2012. **394**: p. 151-168.

McCutcheon, J.R., R.L. McGinnis, and M. Elimelech, *Desalination by ammonia-carbon dioxide forward osmosis: influence of draw and feed solution concentrations on process performance*. Journal of membrane science, 2006. **278**(1): p. 114-123.

Yangali-Quintanilla, V., et al., *Indirect desalination of Red Sea water with forward osmosis and low pressure reverse osmosis for water reuse*. Desalination, 2011. **280**(1): p. 160-166.

Zhao, S., L. Zou, and D. Mulcahy, *Brackish water desalination by a hybrid forward osmosis-nanofiltration system using divalent draw solute*. Desalination, 2012. **284**: p. 175-181.

Lutchmiah, K., et al., *Forward osmosis for application in wastewater treatment: a review*. Water research, 2014. **58**: p. 179-197.

McGinnis, R.L. and M. Elimelech, *Energy requirements of ammonia-carbon dioxide forward osmosis desalination*. Desalination, 2007. **207**(1): p. 370.<sup>۳۸۲</sup>-

Lee, K., R. Baker, and H. Lonsdale, *Membranes for power generation by pressure-retarded osmosis*. Journal of Membrane Science, 1981. **8**(2): p. 141-171.



Loeb, S., *One hundred and thirty benign and renewable megawatts from Great Salt Lake? The possibilities of hydroelectric power by pressure-retarded osmosis*. Desalination, 2001. **141**(1): p. 85-91.

McCutcheon, J.R. and M. Elimelech, *Modeling water flux in forward osmosis: implications for improved membrane design*. AIChE Journal, 2007. **53**(7): p. 1. ۱۷۴۴-۱۷۳۶

McCutcheon, J.R. and M. Elimelech, *Influence of membrane support layer hydrophobicity on water flux in osmotically driven membrane processes*. Journal of membrane science, 2008. **318**(1): p. 458-466.

Choi, Y.-J., et al., *Toward a combined system of forward osmosis and reverse osmosis for seawater desalination*. Desalination, 2009. **247**(1): p. 239-246.

Achilli, A., T.Y. Cath, and A.E. Childress, *Selection of inorganic-based draw solutions for forward osmosis applications*. Journal of Membrane Science, 2010. **364**(1): p. 233-241.

Lay, W., et al., *Fouling propensity of forward osmosis: investigation of the slower flux decline phenomenon*. 2010.

Tang, C.Y., et al., *Coupled effects of internal concentration polarization and fouling on flux behavior of forward osmosis membranes during humic acid filtration*. Journal of Membrane Science, 2010. **354**(1): p. 123-133.

Cornelissen, E., et al., *Membrane fouling and process performance of forward osmosis membranes on activated*

*sludge*. Journal of Membrane Science, 2008. **319**(1): p. 158-168.

Mi, B. and M. Elimelech, *Chemical and physical aspects of organic fouling of forward osmosis membranes*. Journal of Membrane Science, 2008. **320**(1): p. 292-302.

Mi, B. and M. Elimelech, *Organic fouling of forward osmosis membranes: fouling reversibility and cleaning without chemical reagents*. Journal of membrane science, 2010. **348**(1): p. 337-345.

عنوان پروژه: تعیین سهم عوامل موثر بر انتشار گاز دی اکسیدکربن از نیروگاه‌های حرارتی

STIRPAT کشور با استفاده از مدل

مجری و مدیر پروژه: مرتضی جلالی - سعید نظری کودهی

سال انجام پروژه: ۱۳۹۵-۱۳۹۶

## چکیده

مطابق توافق‌نامه پاریس در سال ۲۰۱۵، ایران تعهد کرده است تا سال ۲۰۳۰ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۴ درصد کاهش دهد. این تعهد در صورت دریافت حمایت‌های مالی و لغو تحریم‌ها تا ۸ درصد افزایش خواهد یافت. بنابر این شناخت عوامل موثر بر انتشار گاز CO<sub>2</sub> از نیروگاه‌های حرارتی کشور از مهمترین ارکان کنترل، مدیریت انتشار و تعهد به کاهش انتشار آن است. به این منظور پروژه‌ای تحت عنوان "تعیین سهم عوامل موثر بر انتشار گاز CO<sub>2</sub> از نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از مدل STIRPAT" در گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو اجرا شده است.

## مقدمه

رشد بسیار سریع اقتصادی و افزایش تقاضای مصرف انرژی در جهان منجر به افزایش مصرف منابع مختلف انرژی خصوصاً سوخت‌های فسیلی نظیر ذغال سنگ، گاز طبیعی و سوخت‌های مایع شده است. در نتیجه افزایش مصرف این منابع، میزان تولید گاز CO<sub>2</sub> از منابع انسان ساخت افزایش یافته بطوری که انتشار این گاز در سال ۲۰۱۱ به ۳۳/۴ بیلیون تن رسیده است. در طول دو قرن گذشته غلظت گاز CO<sub>2</sub> با افزایش حدود ۴۰ درصدی از ppm ۲۸۰ در دوران پیش از انقلاب صنعتی به حدود ۴۰۰ ppm در ماه می ۲۰۱۳ رسیده است. در نتیجه این افزایش غلظت گاز CO<sub>2</sub> میزان دمای سطح زمین در حدود ۰/۸ درجه سلسیوس افزایش یافته است. بدون اعمال سیاست‌های کاهش انتشار، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال پایه ۲۰۰۰ در حدود ۲۵ تا ۹۰ درصد افزایش خواهد یافت و در نتیجه میزان غلظت CO<sub>2</sub> معادل در اتمسفر به حدود ۶۰۰ ppm تا ۱۵۵۰ ppm خواهد

رسید. IPCC در پنجمین گزارش منتشر شده خود (Assessment Report 5) در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ با تایید نتایج منتشر شده در گزارش چهارم (AR4) اعلام نمود که پدیده گرمایش جهانی متاثر از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای خصوصاً گاز CO<sub>2</sub> از منابع انسان ساخت است. همچنین در این گزارش اشاره شده است جهت جلوگیری از وقوع شرایط وخیم در سیستم آب و هوایی کره زمین لازم است میزان افزایش درجه حرارت زمین کمتر از ۲ درجه سلسیوس در پایان سال ۲۱۰۰ میلادی باشد که این امر مستلزم کاهش جهانی ۴۱ تا ۷۲ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰ است. مسئولیت حدود ۶۰ درصد از پدیده گرمایش جهانی بر عهده انتشار گاز CO<sub>2</sub> می باشد. چهار منبع عمده انسان ساخت انتشار این گاز فرآیند های صنعتی نظیر تولید سیمان، تولید برق در نیروگاه‌ها، حمل و نقل و واحدهای تولید هیدروژن از سوخت‌های فسیلی در پالایشگاه‌ها است. در این میان سهم جهانی نیروگاه‌های حرارتی در انتشار گاز CO<sub>2</sub> بر اساس گزارشات IEA در حدود ۴۱ درصد است.

انتشار دی‌اکسیدکربن از نیروگاه‌های کشور در بازه زمانی ۱۳۵۹ الی ۱۳۹۱ توسط مدل احتمالی STIRPAT برازش شده است. میزان انتشار دی‌اکسیدکربن توسط روش TIER 1 از مرجع IPCC محاسبه شده و توسط متغیرهای جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، بهره‌وری انرژی، ساختار انرژی، نسبت مصرف بخش خانگی به کل تولید ناویژه، نسبت تولید از انرژی های تجدیدپذیر به کل تولید ناویژه و نسبت ارزش افزوده برق به کل ارزش برق برازش شده است. در این مطالعه از دو مدل پیشنهادی STIRPAT جهت تبیین تاثیر متغیرها بر انتشار دی‌اکسیدکربن استفاده شده است. در مدل اول تعیین سهم عوامل مختلف بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کل بازه بررسی شده است و در مدل دوم بازه کلی به چهار زیر بازه جهت تعیین روند تاثیرات عوامل بر انتشار دی‌اکسیدکربن تقسیم شده است. بررسی راهکارهای سایر کشورها در زمینه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن خروجی از نیروگاه‌ها نشاندهنده تأکید همه کشورها بر تولید انرژی الکتریکی از انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی در هر دوسوی تولید و مصرف انرژی است. از جمله راهکارهای مبتنی بر تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به خرید تضمینی برق تولید شده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده بیشتر از

منابع انرژی باد و انرژی خورشیدی در بخش نیروگاهی اشاره کرد. نکته قابل توجه در راهکارهای ارائه شده در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، راهکارهایی است که توصیه به ساخت ساختمان‌های جدید بر پایه تولید انرژی تجدیدپذیر دارند. در بخش راهکارهای مربوط به بهره‌وری انرژی، علاوه بر بهره‌وری انرژی در سمت مصرف، بهره‌وری انرژی در سمت تولید نیز مورد توجه قرار گرفته است، که از این دست راهکارها می‌توان به افزایش راندمان نیروگاه‌ها، استفاده مجدد از حرارت اتلافی، تولید همزمان برق و حرارت و نوسازی نیروگاه‌های حرارتی موجود اشاره نمود. بهره‌وری انرژی در بخش مصرف انرژی شامل راهکارهایی است که تمرکز بر بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان را دارند، همچنین توسعه سیستم‌های روشنایی و ممنوعیت استفاده از سیستم‌های روشنایی التهای را می‌توان در بخش افزایش بهره‌وری انرژی در سمت مصرف کننده طبقه بندی کرد. علاوه بر این سیاست‌هایی نظیر توسعه سیستم مالیات کربن و ممیزی انرژی نیز دلالت بر این امر دارند. علاوه بر موارد ذکر شده بررسی برخی کشورها نشان‌دهنده توسعه نیروگاه‌ها بر پایه سوخت گاز و تعطیلی یا تبدیل نیروگاه‌های زغال سنگ سوز به نیروگاه‌های گاز سوز است. توسعه تکنولوژی‌های جذب و ذخیره دی‌اکسید کربن از جمله راهکارهای ارائه شده است که در صورت عدم توانایی در تبدیل نیروگاه‌های زغال سنگ سوز، تجهیز نیروگاه به سیستم‌های جذب دی‌اکسید کربن توصیه شده است.

## نتیجه گیری

خلاصه نتایج از برازش مدل در بازه زمانی ۱۳۵۹ الی ۱۳۹۱ به شرح زیر است.

۱. سرانه تولید ناخالص داخلی نقش افزایشی بر انتشار دی‌اکسید کربن از نیروگاه‌های کشور دارد.
۲. افزایش جمعیت در بازه فوق‌الذکر موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن از نیروگاه‌ها شده است.

۳. بهره‌وری انرژی موجب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن از نیروگاه‌های کشور در بازه زمانی فوق‌الذکر شده است.
۴. سهم میزان مصرف بخش خانگی از کل تولید ناویژه در کل بازه زمانی ۱۳۵۹ الی ۱۳۹۱ موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن شده است.
۵. نسبت تولید از انرژی‌های تجدید پذیر به کل تولید ناویژه نقش کاهشی در انتشار دی‌اکسیدکربن از نیروگاه‌ها ایفا می‌کند.
۶. ساختار انرژی که نشان‌گر میزان مصرف گاز طبیعی به نسبت سایر سوخت‌های فسیلی در تولید انرژی است اثر کاهشی بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. خلاصه نتایج از افراض بازه زمانی کل به چهار زیر بازه به شرح زیر است.
  ۱. تغییر تاثیرات جمعیت در بازه‌های زمانی مختلف در مدل شماره ۲ بر انتشار دی‌اکسیدکربن به علت تغییرات رشد جمعیت است. تاثیر رشد جمعیت با یک تاخیر زمانی ۱۰ ساله بر جمعیت موثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن قابل مشاهده است.
  ۲. تاثیر دو عامل سرانه تولید ناخالص داخلی و بهره‌وری انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن ناهم‌سو و تقریباً برابر می‌باشد. به عبارت دیگر این دو عامل اثرات یکدیگر را در انتشار دی‌اکسیدکربن خنثی می‌کنند در نتیجه می‌توان اثر افزایش دی‌اکسیدکربن بواسطه افزایش تولید ناخالص داخلی را با افزایش بهره‌وری انرژی کاهش داد.
  ۳. نقش کاهشی ساختار انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بازه‌های زمانی افراض شده مدل شماره ۲ تقریباً ثابت بوده و این عامل تحت تاثیر سایل عوامل قرار نگرفته است.
  ۴. تغییر الگوی مصرف بخش خانگی به نسبت کل تولید ناویژه موجب کاهش تاثیر این متغیر بر انتشار دی‌اکسیدکربن از بازه زمانی اول به بازه زمانی دوم و سوم شده در نتیجه در بازه زمانی ۱۳۷۷ الی ۱۳۸۴ شاهد نقش کاهشی این متغیر بر انتشار دی‌اکسیدکربن هستیم.
  ۵. تغییرات تاثیر نسبت تولید انرژی‌های نو به کل تولید ناویژه بر انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از سهم انرژی‌های نو در تولید ناویژه است. به عبارت دیگر در بازه زمانی ۱۳۵۹ الی

۱۳۶۸ سهم زیاد تولید نیروگاه‌های برقی موجب افزایش تاثیر این متغیر بر انتشار دی‌اکسیدکربن به نسبت سایر بازه‌ها است. به همین ترتیب در بازه زمانی دوم انتشار دی‌اکسیدکربن مستقل از این متغیر بوده و با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در بازه‌های سوم و چهارم میزان تاثیر کاهش این متغیر بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیشتر شده است. ۶ نسبت ارزش افزوده برق به کل ارزش برق در بازه اول به دوم به علت افزایش بازدهی نیروگاه‌های حرارتی کاهش یافته و موجب نقش کاهش این متغیر در بازه ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۷ بر انتشار دی‌اکسیدکربن شده است. عدم تغییرات این متغیر در بازه ۱۳۷۷ الی ۱۳۹۱ موجب شده است که انتشار دی‌اکسیدکربن مستقل از این عامل افزایش یابد.

## منابع

- [1] Abolfazli Esfahani, J. and M. J. Jazaeri (2010). CO<sub>2</sub> emission assessment of combined heat and power in global and local approach. The 2nd International Conference on Engineering and ICT.
- [2] Amiri, M. and S. Eslamian (2010). "Investigation of climate change in Iran." J Environ Sci Technol **3**(4): 208-216.
- [3] Baek, J. (2015). "A panel cointegration analysis of CO<sub>2</sub> emissions, nuclear energy and income in major nuclear generating countries." Applied Energy **145**: 133-138.
- [4] Bargaoui, S. A., et al. (2014). "Environmental Impact Determinants: An Empirical Analysis based on the STIRPAT Model." Procedia-Social and Behavioral Sciences **109**: 449-458.
- [5] Change, I. P. O. C. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, 2013-04-28]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

[6] Chatzizacharia, K., et al. (2016). "A blueprint for an energy policy in Greece with considerations of climate change." Applied Energy **162**: 382-389.

[7] Chikaraishi, M., et al. (2015). "The moderating effects of urbanization on carbon dioxide emissions: A latent class modeling approach." Technological Forecasting and Social Change **90**: 302-317.

[8] Cline, W. (2007). Global warming and agriculture: Impact estimates by country, Columbia University Press.

[9] Cong, X ,et al. (2015). "Analysis of Carbon Dioxide Emissions of Buildings in Different Regions of China Based on STIRPAT Model." Procedia Engineering **121**: 645-652.

[10] de Mattos, E. J. and E. E. Filippi (2014). "Drivers of environmental impact: A proposal for nonlinear scenario designing." Environmental Modelling & Software **62**: 22-32.

[11] Dietz, T. and E. A. Rosa (1994). "Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology." Human ecology review **1**: 277-300.

[12] Dietz, T. and E. A. Rosa (1997). "(Effects of population and affluence on CO2 emissions." Proceedings of the National Academy of Sciences **94**(1): 175-179.

[13] Ehrlich, P. R. and J. P. Holdren (1971). "Impact of population growth".

[14] Environment, N. C. C. O. o. I. s. D. o. (2010). Iran second national communication to UNFCC.



[15] Fu, B., et al. (2015). "The strategy of a low-carbon economy based on the STIRPAT and SD models." Acta Ecologica Sinica **35**(4): 76-82.

[16] Ghiasseddin, M. (2004). "Comparison of Iran power plants air pollutants before and after shifting to natural gas." Iranian J Env Health Sci Eng **1**(1): 39-41.

[17] Ghorbani, A., et al. (2014). "A review of carbon capture and sequestration in Iran: microalgal biofixation potential in Iran." Renewable and Sustainable Energy Reviews **35**: 73-1..

[18] Guan, Y., et al. (2017). "Measuring county-level heterogeneity of CO<sub>2</sub> emissions attributed to energy consumption: A case study in Ningxia Hui Autonomous Region, China." Journal of Cleaner Production **142**: 3471-3481.

[19] H. Boor, R. M., S.Rostami, and O.Hamledar, (2011). CO<sub>2</sub> Capture and Sequestration Potential in Iranian Industries. Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece.

[20] Heltberg, R., et al. (2009). "Addressing human vulnerability to climate change: toward a 'no-regrets' approach." Global Environmental Change **19**(1): 89-99.

[21] Ji, X. and B. Chen (2015). "Assessing the energy-saving effect of urbanization in China based on stochastic impacts by regression on population, affluence and technology (STIRPAT) model." Journal of Cleaner Production.

[22] Kermani, F. I., et al. (2015). "Industrialization, Electricity Consumption and Co<sub>2</sub> Emissions in Iran." International Journal of Innovation and Applied Studies **10**(3): 969.

[23] Li, H., et al. (2012). "Analysis of regional difference on impact factors of China's energy-related CO<sub>2</sub> emissions." Energy **39**(1): 319-326.

[24] Li, H., et al. (2011). "Analysis on influence factors of China's CO<sub>2</sub> emissions based on Path-STIRPAT model." Energy Policy **39**(11): 6906-6911.

[25] Li, K. and B. Lin (2015). "Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO<sub>2</sub> emissions: Does the level of development matter?" Renewable and Sustainable Energy Reviews **52**: 1107-1122.

[26] Liddle, B. (2015). "What are the carbon emissions elasticities for income and population? Bridging STIRPAT and EKC via robust heterogeneous panel estimates." Global Environmental Change **31**: 62-73.

[27] Lin, B., et al. (2016). "Is the environmental Kuznets curve hypothesis a sound basis for environmental policy in Africa?" Journal of Cleaner Production **133**: 712-724.

[28] Lin, S., et al. (2009). "Analysis of the environmental impact of China based on STIRPAT model." Environmental Impact Assessment Review **29**(6): 341-347.

[29] Lv, Z. (2017). "The effect of democracy on CO<sub>2</sub> emissions in emerging countries: Does the level of income matter?" Renewable and Sustainable Energy Reviews **72**: 900-906.

[30] Martínez-Zarzoso, I. and A. Maruotti (2011). "The impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions: evidence from developing countries." Ecological Economics **70**(7): 1344-1353.

[31] Mazandarani, A., et al. (2011). "Fuel consumption and emission prediction by Iranian power plants until 2025." Renewable and Sustainable Energy Reviews **15**(3): 1575-1592.

[32] Miao, L. (2017). "Examining the impact factors of urban residential energy consumption and CO 2 emissions in China—Evidence from city-level data." Ecological Indicators **73**: 29-37.

[33] Protocol, K. (1997). "Kyoto protocol." UNFCCC Website. Available online: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php) (accessed on 1 January 2011).

[34] Protocol, K. (2011). "Framework Convention on Climate Change".

[35] Shafiei, S. and R. A. Salim (2014). "Non-renewable and renewable energy consumption and CO 2 emissions in OECD countries: a comparative analysis." Energy Policy **66**: 547-556.

[36] Shahbaz, M., et al. (2016). "How urbanization affects CO 2 emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model." Renewable and Sustainable Energy Reviews **57**: 83-93.

[37] Sheng, P. and X. Guo (2016). "The long-run and short-run impacts of urbanization on carbon dioxide emissions." Economic Modelling **53**: 208-215.

[38] Shi, A. (2003). "The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975–1996: evidence from pooled cross-country data." Ecological Economics **44**(1): 29-42.

[39] Shuai, C., et al. (2017). "Identifying key impact factors on carbon emission: Evidences from panel and time-series data of 125 countries from 1990 to 2011." Applied Energy **187**: 310-325.

[40] Soltanieh, M., et al. (2009). "Feasibility study of carbon dioxide capture from power plants and other major stationary sources and storage in Iranian oil fields for enhanced oil recovery (EOR)." Energy Procedia **1**(1): 3663-3668.

[41] Soule, P. T. and J. L. DeHart (1998). "Assessing IPAT using production-and consumption-based measures of I." Social Science Quarterly: 754-765.

[42] Stewart, C. and M.-A. Hessami (2005). "A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach." Energy Conversion and Management **46**(3): 403-420.

[43] Tan, X., et al. (2016). "China's regional CO 2 emissions reduction potential: a study of Chongqing city." Applied Energy **162**: 1345-1354.

[44] Wang, C., et al. (2017). "Examining the driving factors of energy related carbon emissions using the extended STIRPAT model based on IPAT identity in Xinjiang." Renewable and Sustainable Energy Reviews **67**: 51-61.

[45] Wang, P., et al. (2013). "Examining the impact factors of energy-related CO 2 emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China." Applied Energy **106**: 65-71.

[46] Wang, S., et al. (2016). "Spatiotemporal variations of energy-related CO 2 emissions in China and its influencing

factors: an empirical analysis based on provincial panel data." Renewable and Sustainable Energy Reviews **55**: 505-515.

[47] Wang, S., et al. (2015). "Quantifying the relationship between urban development intensity and carbon dioxide emissions using a panel data analysis." Ecological Indicators **49**: 121-131.

[48] Wang, Y., et al. (2015). "A semi-parametric panel data analysis on the urbanization-carbon emissions nexus for OECD countries." Renewable and Sustainable Energy Reviews **48**: 704-709.

[49] Wang, Y. and T. Zhao (2015). "Impacts of energy-related CO<sub>2</sub> emissions: evidence from under developed ,developing and highly developed regions in China." Ecological Indicators **50**: 186-195.

[50] Wang, Z., et al. (2012). "An empirical research on the influencing factors of regional CO<sub>2</sub> emissions: evidence from Beijing city, China." Applied Energy **100**: 277-284.

[51] Wei, T. (2011). "What STIRPAT tells about effects of population and affluence on the environment?" Ecological Economics **72**: 70-74.

[52] Xu, R. and B. Lin (2017). "Why are there large regional differences in CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from China's manufacturing industry." Journal of Cleaner Production **140**: 1330-1343.

[53] Yang, Y., et al. (2015). "Research on impacts of population-related factors on carbon emissions in Beijing from 1984 to 2012." Environmental Impact Assessment Review **55**: 45-53.

[54] Yeh, J.-C. and C.-H. Liao (2016). "Impact of population and economic growth on carbon emissions in Taiwan using an analytic tool STIRPAT." Sustainable Environment Research.

[55] York, R., et al. (2003). "Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity." American sociological review: 279-300.

[56] York, R., et al. (2003). "STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts." Ecological Economics **46**(3): 351-365.

[57] Zhang, C. and Z. Tan (2016). "The relationships between population factors and China's carbon emissions: Does population aging matter?" Renewable and Sustainable Energy Reviews **65**: 1018-1025.

[58] Zhang, C. and X. Zhou (2016). "Does foreign direct investment lead to lower CO 2 emissions? Evidence from a regional analysis in China." Renewable and Sustainable Energy Reviews **58**: 943-951.

[59] Zhou, Y. and Y. Liu (2016). "Does population have a larger impact on carbon dioxide emissions than income? Evidence from a cross-regional panel analysis in China." Applied Energy **180**: 800-809.

[60] Zhou, Y., et al. (2015). "Effects of rural–urban development transformation on energy consumption and CO 2 emissions: A regional analysis in China." Renewable and Sustainable Energy Reviews **52**: 863-875.

[61] Zhu, Q. and X. Peng (2012). "The impacts of population change on carbon emissions in China during 1978–2008." Environmental Impact Assessment Review **36**: 1-8.

[62] Zoundi, Z. (2016). "CO2 emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach." Renewable and Sustainable Energy Reviews.

## عنوان پروژه: طراحی، پیاده‌سازی و استقرار سیستم پایش پیش‌بینی‌کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها

مجری و مدیر پروژه: مجید عمید پور - سعید نظری کودهی

سال انجام پروژه: ۱۳۹۴-۱۳۹۶

### چکیده

این سیستم بر اساس بهره‌گیری از پارامترهای بهره‌برداری سیستم‌ها و تجهیزات احتراقی از طریق استفاده از روش‌های آماری و یا استفاده از ترمودینامیک و سینتیک واکنش‌ها جهت تهیه یک مدل ریاضی که قادر به پیش‌بینی مقادیر انتشار در قالب یک برنامه نرم‌افزاری است، کار می‌کند. اجزاء قالب در سیستم‌های PEMS عبارتند از سنسورهای اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، سنسورهای بهره‌برداری توربین گازی و بویلر، یک برنامه نرم‌افزاری بر پایه استفاده از سینتیک و ترمودینامیک واکنش‌ها و یا مدل‌های آماری و یک سیستم ذخیره‌سازی و گزارش‌دهی اطلاعات است. دولت فدرال آمریکا و بیش از ۱۱ ایالت در این کشور سیستم PEMS را به عنوان یک سیستم پایش مداوم جهت استفاده در بازار نشر آلاینده‌های گازی به رسمیت شناخته‌اند. همچنین کشورهای امارات متحده عربی، استرالیا، کانادا، دانمارک، هلند و سوئد این سیستم را برای استفاده در سیستم‌های پایش آلودگی هوا به رسمیت شناخته‌اند. در راستای اجرای بند ۵ سیاست‌های کلی کشور در حوزه محیط زیست ابلاغی توسط مقام معظم رهبری مبنی بر "پایش مستمر و کنترل منابع و عوامل آلاینده هوا، آب، خاک، آلودگی‌های صوتی، امواج و اشعه‌های مخرب و تغییرات نامساعد اقلیم و الزام به رعایت استانداردها و شاخص‌های زیست محیطی در قوانین و مقررات، برنامه‌های توسعه و آمایش سرزمین" و سیاست‌های اقتصاد مقاومتی کشور لازم و ضروری است که جایگاه علمی و فنی کشور خصوصاً صنعت برق کشور در حوزه طراحی و ساخت سیستم مختلف پایش مداوم ارتقاء یابد به این منظور پروژه "طراحی، پیاده‌سازی و استقرار سیستم پایش پیش‌بینی‌کننده



انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها" به کارفرمایی شرکت توانیر در گروه محیط زیست اجرا شده است.

## مقدمه

امروزه اندازه‌گیری و پایش مداوم گازهای حاصل از احتراق از دو جهت مورد توجه است. کنترل بار آلودگی منتشر شده از صنایع به محیط و همچنین کنترل احتراق که موجب افزایش راندمان می‌گردد. با توجه به روند افزایش ارزش سوخت و انرژی در دهه‌های اخیر، کنترل سامانه‌های احتراقی که موجب بهینه شدن مصرف سوخت می‌گردد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و لذا پایش مستمر گازهای خروجی از دودکش با دو نگرش دیدگاه زیست‌محیطی و بهینه شدن فرایند کنترل احتراق مطرح است. از آنجایی که یکی از اهداف صنعت برق در احداث و توسعه نیروگاه‌ها، توسعه فناوری سازگار با محیط‌زیست است، سرمایه‌گذاری در مورد به دست آوردن فناوری طراحی و ساخت سامانه‌های پایش مداوم و همچنین سامانه‌های پیش‌بینی کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

در ایران اگرچه سامانه‌های پایش مداوم احتراق در بعضی از نیروگاه‌های بخاری و تعداد محدودی از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و گازی نصب شده است ولیکن در ایران سامانه‌های پیش‌بینی کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها تاکنون نمونه‌ای ساخته نشده است. از آنجاکه هزینه‌های عملیاتی و تعداد آزمایش‌ها و نمونه‌برداری‌های مورد نیاز سامانه‌های پیش‌بینی کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها در مقایسه با سامانه‌های پایش مداوم احتراق به میزان قابل توجهی کمتر است، به کارگیری این روش در نیروگاه‌های ایران از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و فن‌آوری ساخت این سیستم‌ها می‌تواند موجب قطع وابستگی خرید تجهیزات مورد نیاز برای سامانه‌های پایش مداوم احتراق از خارج کشور شود. این امر در دراز مدت موجب صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه تمام شده تولید و همچنین سهولت بهره‌برداری و کاهش تعمیرات دستگاه‌ها و هزینه‌های ناشی از آن می‌شود.

یکی از مهم‌ترین اصول در توسعه پایدار طرح‌های صنعتی و عمرانی کشور، ظرفیت و پتانسیل پذیرش محیط از نظر دریافت آلاینده‌ها است. تعیین میزان آلودگی منتشره از صنایع خصوصاً

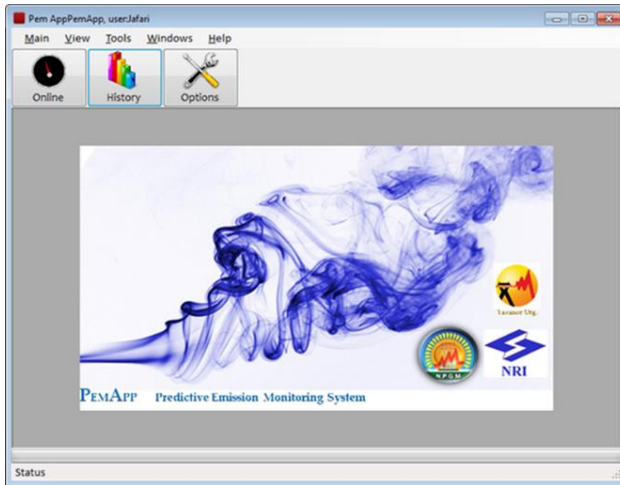
نیروگاه‌ها در هر منطقه نقش بسزایی در امکان توسعه طرح‌های صنعتی آن منطقه دارد. بنابراین استفاده از سامانه‌های پیش‌بینی کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها در تعیین بار آلودگی تولیدی و کنترل آن از صنایع خصوصاً نیروگاه‌ها و تشریح اثرات زیست محیطی این گازها نقش بسیار مهمی دارد.

پروژه " طراحی، پیاده‌سازی و استقرار سیستم پایش پیش‌بینی کننده انتشار گاز دودکش نیروگاه‌ها" در ۶ مرحله به کارفرمایی دفتر تحقیقات و توسعه فناوری شرکت توانیر و نظارت اداره HSE در پژوهش‌گرا و محیط زیست تعریف و از مرداد سال ۱۳۹۴ شروع گردید و در بهمن سال ۱۳۹۶ به اتمام رسید.

مراحل اجرای پروژه مشتمل بر بررسی مستندات علمی و استاندارد های مرتبط با سیستم PEMS در دنیا، طراحی و معماری سیستم PEMS، پیاده‌سازی سیستم PEMS بر اساس اطلاعات بهره‌برداری سیستم Demon و داده‌های اندازه‌گیری بصورت پیوسته واحد ۱ بخاری نیروگاه نکا، استقرار و راه‌اندازی سیستم PEMS و بهره‌برداری از سیستم PEMS در این واحد بوده است.

### نتیجه‌گیری

سیستم PEMS نصب شده در نیروگاه نکا از لحاظ تجهیزات، نصب، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری بسیار ارزان‌تر از سیستم‌های پایش مداوم متداول است. این نیازی به نصب هیچ سنسوری بر روی دودکش نیست و فقط باید ارتباط اطلاعاتی بین سیستم کنترل موجود و یک کامپیوتر برقرار باشد. نصب راحت و بدون مشکل از فواید استفاده از این سیستم PEMS است. بعد از نصب سیستم PEMS، مقادیر واقعی نشر اندازه‌گیری شده و با نتایج حاصل از سیستم مذکور مقایسه شد. در شرایط بهره‌برداری عادی میزان انتشار پیش‌بینی شده دارای انحراف کمتر از ۱۰٪ نسبت به مقادیر واقعی و اندازه‌گیری شده بوده و عدم قطعیت اندازه‌گیری در حدود ۴٪ مقدار اندازه‌گیری شده است.



محیط نرم افزار PEMS

## منابع

[1]- پروژه تدوین اطلس آلودگی نیروگاه‌های کشور، گروه محیط‌زیست پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۵-۱۳۸۷

[2] AGENCY, E. (2005). Technical guidance note (monitoring) m20 quality assurance of continuous emission monitoring systems - application of en 14181 and bs en 13284-2. England: Environment Agency.

[3] THOMAS EISENMANN, ROLAND BIANCHIN, & TRIEBEL, D. (2014). Predictive emission monitoring (pem): Suitability and application in view of u.S. Epa and european regulatory frameworks. Paper presented at the CEM 2014 - International Conference and Exhibition on Emissions Monitoring.

[4] CFR40.PART60. (2015 ). Performance specification 16 for predictive emission monitoring systems and amendments to

testing and monitoring provisions 40 CFR (Protection of Environment) Appendix B to Part 60 - Performance Specifications (Vol. 40 CFR Part 60 PS 16). Code of Federal Regulations: Office of the U.S Federal Register

[5] CFR40.PART75. (2015 ). Alternative monitoring systems CFR 40 (Protection of Environment) Part 75 (CONTINUOUS EMISSION MONITORING) Subpart E (Vol. 40 CFR Part 75 Sub E). Code of Federal Regulations: Office of the U.S Federal Register

[6] ISO.14956. (2002). 14956. Air quality—Evaluation of the suitability of a measurement procedure by comparison with a required measurement uncertainty.

[7] Air quality - Certification of automated measuring systems - Part 3: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources, EN 15267–3:2007

[8] Netherlands technical agreement NTA 7379 Guidelines for Predictive emission

[9] CHENG, A. M., & HAGEN, G. F. (1996). An accurate predictive emissions monitoring system (pems) for an ethylene furnace. Environmental progress, 15(1), 19-27 .

[10] ALEXANDER, R. (2004). Practical approach to predictive emissions monitoring of gas turbine emissions. Paper presented at the International Gas Research Conference Proceedings, Vancouver, BC, Canada.

[11] <http://www.c-science.orq.ir>

[12] <http://www.nsl.hcmuns.edu.vn/greenstone/collect/hnkxbk/archives/HASH0188.dir/doc.pdf>

[13] <http://ethesis.nitrkl.ac.in/245/1/10502014.pdf>

- [14] ROWLAND JR, W. (1999). Neural network improve performance of coalfired boilers. Pegasus Technologies Ltd .
- [15] Grott, J. J. 2001. Power Tool, Westinghouse Process Control. Environmental Protection. 12(4): 46-47.
- [16] Euhos, L. and L. Blanc. 2000. Process Control News (for the Pulp and Paper Industries). 20: 2.
- [17] LEE, Y.-H., KIM, M., & HAN, C. Adaptive nox predictive emission monitoring for industrial process heaters.
- [18] COLLINS, M., & TERHUNE, K. (1994). A model solution for tracking pollution. Chemical Engineering, 32.
- [19] CROY, R., SIMPSON, C., TIPTON, D., SINHA, P., & LASHIER, M. (1996). Our experience with no<sub>x</sub> pems installed on eight ethylene furnaces. NATIONAL PETROLEUM REFINERS ASSOCIATION-PUBLICATIONS-ALL SERIES.
- [20] Kocijan, J. (1997). An approach to multivariable combustion control design. Journal of Process Control, 7 (4), 291–301.
- [21] Baines, G., Haynes, R., and Stabell, J. (1997), “Predicting boiler emissions with neural networks,” TAPPI Journal, 80(5), 57-61.
- [22] CHIEN, T.-W., et al. (2010). A feasibility study of a predictive emissions monitoring system applied to taipower’s nanpu and hsinta power plants. Journal of the Air & Waste Management Association, 60(8), 907-913.
- [23] YUSOFF, A., & AZIZ, I. (2012). Predicting boiler emission by using artificial neural networks. Jurnal Teknologi, 50(1), 15–28.
- [24] TRAVER, M. L., ATKINSON, R. J., & ATKINSON, C. M. (1999). Neural network-based diesel engine emissions

prediction using in-cylinder combustion pressure: SAE Technical Paper.

[25] MANKE, P., & TEMBHURNE, S. (2013). Artificial neural network based nitrogen oxides emission prediction and optimization in thermal power plant. International Journal of Computer Engineering & Technology, 4(3), 491-502.

[26] Weel & Sandvig

[27] BS.EN.14181. 2004 stationary source emissions—Quality assurance of Automated Measuring Systems British Standards Institute.

[28] N. BONAVIDA, G. C. (2014). Combining analytics and process automation for enhanced emission control strategies: Pems at work. Date: February 25th, 2014 ... Paper presented at the MENA offshore platforms February 25th, 2014, MENA

[29] BONAVIDA, N., & CALLERO, F. (2011). Model-based emission monitoring. ABB Review (3)

[30]BP.CONSULTANCY. (2015). Predictive emission monitoring system (pems).

From: <http://www.bpckuwait.com/BPCProfile.html>

[31] CLEANAIR. (2015). Clean air engineering - cems / pems. From:<http://www.cleanair.com/services/AirQualityConsultingMgt/cemspems/>

[32] Swanson, B. G. (2014). Predictive emissions monitoring using a statistical hybrid model; U.S. Patent No. 8,768,664. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[33]ROTH, M. J. (2015). Designated representative. 12300 Elm Creek Boulevard, Maple Grove, MN 55369-4718.: Great River Energy

[34]LYAK, P. (2006). Approval of the predictive emission monitoring system installed on unit gt3100 at Dearborn

industrial generation (facility id (orispl) 55088).  
WASHINGTON, D.C. 20460: UNITED STATES  
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

[35]ECKBERG, C. R. (2015). Alternate cair representative  
NRG Texas Power, L.L.C. , 1301 McKinney, Suite 2300,  
Houston, TX 77010.

[36] GENERAL.ELECTRIC. (2015). Pems package for ge lm  
gas turbines. 1631 Bently Parkway South Minden, NV USA  
89423-4119: General Electric.

[37] GENERAL.ELECTRIC. (2015). Ge oil & gas.  
From:<https://www.geoilandgas.com/>

[38] ROCKWELL. (2011). Software cem® advanced  
emissions monitoring. RSWP11-AP001A-EN-P – May 2011:  
Rockwell Automation.

[39]PAVILION.ROCKWELL. (2008). Software cem®  
advanced emissions monitoring delivering predictable results.  
Pavilion Technologies 10415 Morado Circle Building III,  
Suite 100 Austin, TX 78759-5638: Pavilion Technologies.

[40]ROCKWELL.AUTOMATION. (2013). Software-based,  
continuous emissions monitoring system for reporting and  
optimization. [www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com): Rockwell  
Automation

[41]TECNATOM. (2015). Design and implementation of  
process monitoring and control systems from  
[http://www.tecnatom.es/en/home/activity-areas/process-  
engineering/environmental-engineering/design-and-  
implementation-of-process-monitoring-and-control-systems](http://www.tecnatom.es/en/home/activity-areas/process-engineering/environmental-engineering/design-and-implementation-of-process-monitoring-and-control-systems)

[42] TECNATOM. (2001). Advanced predictive tool to  
optimize combustion and emission performance of industries  
included under 96/61/ce directive. TECNATOM S.A.

[43] NIELSEN, J. S. (2010). Pems advanced predictive emission monitoring 010057- Forskel/EL. Diplomvej • Bygning 377 DK-2800 • Kgs. Lyngby • Denmark: [www.weel-sandvig.dk](http://www.weel-sandvig.dk).

[44] NIELSEN, J. S. (2012). First principle advanced predictive emission and performance monitoring systems for gas turbines. Paper presented at the Powergen Asia 2012. Bangkok.

[45] WEEL-SANDVIG. (2015). Offshore oil and gas production platform in the North Sea.

From: <http://www.weel-sandvig.dk/?m=4&h=0&la=uk>



عنوان پروژه: خدمات مشاوره عملکرد سامانه بهینه‌گازسازی زیست توده برای کشور ایران

مجری: پژوهش‌شده انرژی و محیط زیست

مدیر پروژه: احسان لیوانی

سال انجام پروژه: ۹۷-۱۳۹۶

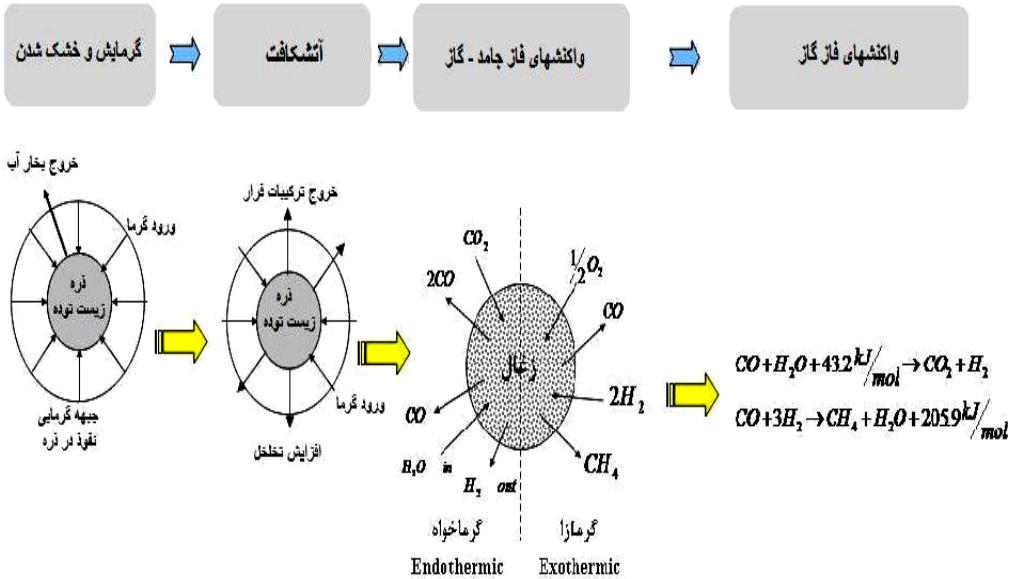
## چکیده

طرح پژوهشی-کاربردی «خدمات مشاوره عملکرد سامانه بهینه‌گازسازی زیست توده برای کشور ایران» با هدف پژوهش در مبانی فن‌آوری، امکان‌سنجی ساخت و اجرا در کشور و تهیه و نصب و راه‌اندازی و راهبری یک واحد نمونه براساس اندیشه پروانده شده در سازمان انرژی‌های نو ایران در جریان برگزاری یک مناقصه فنی در خرداد ۱۳۸۸ به گروه انرژی‌های نو پژوهش‌گاه نیرو واگذار گردید. این پروژه شامل چهار فاز مطالعاتی، تامین سامانه‌های آزمایشگاهی، تامین تجهیزات و در نهایت نصب و راه‌اندازی و داده برداری سامانه‌گازسازی بوده است. در فاز مطالعاتی به بررسی فناوریهای استحصال انرژی از زیست توده و به طور خاص فناوری گازسازی پرداخته شده است. مواردی شامل تئوری گازسازی و فناوریهای مختلف آن، تجربیات جهانی، استانداردها و خوراک ورودی، پتانسیل منابع زیست توده ایران برای فناوری گازسازی، برندهای موجود در زمینه گازساز، انتخاب سایت جهت نصب سامانه گازساز در کشور و در نهایت طراحی مفهومی یک سامانه گازساز برای ساخت در کشور در فاز مطالعاتی بررسی شد. سامانه گازسازی به توان الکتریکی ۲۰ کیلووات از برند امریکایی GEK خریداری و سپس به سایت زیست توده سازمان انرژی‌های نو (سانا) در شهر ساوه انتقال داده شد. همچنین تجهیزات آزمایشگاهی پشتیبان شامل ترازو، کوره، آون و بمب کالریمتری برای اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت در مجاورت محل نصب سامانه گازساز مستقر گردید. راه‌اندازی و بهره‌برداری از سامانه نیز در حال انجام است.

## مقدمه

تبدیل ترموشیمیایی زیست‌توده به گاز که گازی‌سازی یا گازیفیکاسیون<sup>۳۳</sup> نیز نامیده می‌شود گزینه‌ایست که در سه دهه گذشته توسعه و کاربرد چشمگیری در کشورهای مختلف جهان داشته است. فرآیند گازی‌سازی خود پیشینه‌ای از اوایل سده نوزدهم دارد که نخستین بار از این فن‌آوری در بریتانیا جهت تولید گاز مصنوعی از ذغال‌سنگ برای روشنایی بهره‌برداری شد. زیست‌توده در مقایسه با ذغال‌سنگ آسان‌تر و تندتر تبدیل به گاز می‌شود زیرا درصد مواد فرّار بالاتری دارد. در کشورهای اسکاندیناوی، نیروگاه‌هایی با ظرفیت ۱ تا ۱۰ مگاوات با کمک این فن‌آوری و با استفاده از چوب‌های جنگلی احداث شده و به بهره‌برداری رسیده‌اند. در آمریکا حدود ۷۰٪ از کارخانجات صنایع چوب، انرژی مورد نیاز خود را به این روش از زائدات چوبی تامین نموده و هیچ نیازی به برق شبکه یا سوخت‌های فسیلی ندارند. در جزایر هاوایی نیز اغلب کارخانجات تولید شکر، به وسیله تولید گاز مصنوعی از باگاس نیشکر، انرژی مورد نیاز خود را به دست می‌آورند. در چین، هندوستان و بسیاری از کشورهای جهان سوم مانند فیلیپین، اندونزی و برزیل از این فن‌آوری برای تامین انرژی روستاها یا صنایع چوب و صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی استفاده می‌شود.

در فرآیند گازی‌سازی، به زیست‌توده در غیاب اکسیژن یا تحت شرایط کمبود اکسیژن گرما داده می‌شود (اگر اکسیژن کافی موجود باشد عمل احتراق رخ می‌دهد) و هم‌زمان سیالی به محیط واکنش دمیده می‌شود که به آن عامل گازی‌ساز می‌گویند. فرآیند گازی‌سازی برای کامل شدن به گرمایش و خشک شدن، آتشکافت، واکنش‌های فاز جامد-گاز و واکنش‌های فاز گاز نیاز دارد. نمودار پیشرفت گام‌های فرآیند گازی‌سازی در شکل (۱) دیده می‌شود.



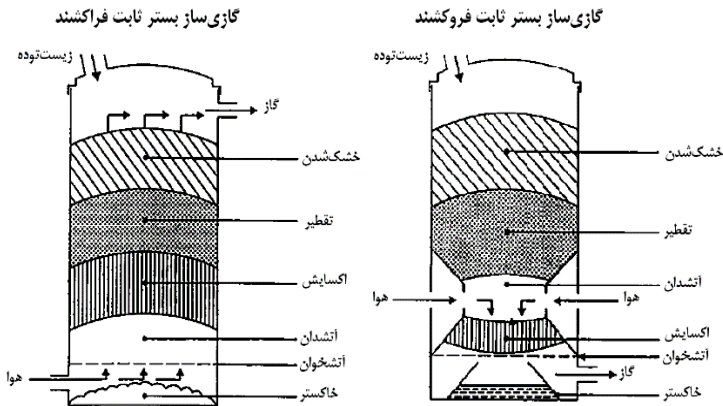
شکل (۱) نمودار نمادین پیشرفت فرآیند گازی سازی یک ذره زیت توده

قلب فن آوری گازی سازی، رآکتور گازی ساز یا گازی‌فایر است. رآکتور گازی ساز محفظه‌ای است که سوخت از یک طرف و عامل گازی ساز از طرف دیگر وارد آن شده و واکنش‌های ترموشیمیایی در آن رخ می دهد و گاز مصنوعی و خاکستر از خروجی‌های جداگانه بیرون می‌روند. رآکتورهای گازی ساز انواع مختلفی دارند و در اینجا براساس روش تغذیه مواد خام، دسته‌بندی شده‌اند [۶].

راکتور جریان متقابل <sup>۲۵</sup> (فراکشند)	ا) راکتورهای بستر ثابت <sup>۲۴</sup>
راکتور جریان هم‌جهت <sup>۲۶</sup> (فروکشند)	
راکتور جریان متقاطع <sup>۲۷</sup>	
بستر سیال جوشان <sup>۲۹</sup>	ب) راکتورهای بستر سیال <sup>۲۸</sup>
بستر سیال چرخشی <sup>۳۰</sup>	

جدول (۱) انواع راکتورهای گازساز

در راکتورهای بستر ثابت، واکنش‌های ترموشیمیایی بر روی یک شبکه آتشیخوان ثابت انجام می‌گیرند و آشفستگی قابل توجهی در محیط واکنش وجود ندارد. در این راکتورها عامل گازساز که معمولاً هوا است، از زیر یا بالای راکتور به آرامی وارد می‌شود.



شکل (۲) گازسازهای بستر ثابت جریان متقابل و جریان هم‌جهت

24-Fixed bed reactor

25-Counter current reactor (Up-draft reactor)

26- Co-current reactor (Down-draft reactor)

27-Cross current reactor

28-Fluidized bed reactor

29 - Bubbling fluidized bed

30 - Circulating fluidized bed

## مطالعات صورت گرفته درباره منابع زیست‌توده و پتانسیل‌های کشور ایران در فناوری گاز‌سازی

ایران به عنوان کشوری که دارای هکتارها زمین کشاورزی و تولید بالای محصولات باغی است دارای پتانسیل بسیار زیادی از نظر تولید منابع زیست‌توده است. در بخشی از این پروژه به بررسی پتانسیل منابع زیست‌توده ایران پرداخته شد و با تاکید بر فناوری گاز‌سازی، پتانسیل کشور درباره این فناوری مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا مروری بر منابع کشاورزی و سطح زیر کشت چند محصول عمده که زائدات مناسبی برای فرایند گاز‌سازی تولید می‌کنند انجام شد. یک برآورد کارشناسی از میزان زائدات بدست آمده از این محصولات در کشور به طور سالیانه انجام گرفته است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که استان‌های فارس با میانگین  $3029/8$  هزار تن، خوزستان با  $2970/2$  به ترتیب با سهم ۱۱ و ۱۰ درصدی از کل زائدات کشاورزی تولید شده در کشور بیشترین سهم را در تولید زائدات کشاورزی دارا هستند. استان‌های خراسان رضوی با  $2163$ ، گلستان با  $2115$ ، کرمانشاه با  $1807$ ، همدان با  $1447$  و مازندران با  $1445$  هزار تن به ترتیب ۸، ۷، ۶، ۵ و ۵ درصد از کل زائدات کشاورزی کشور را تولید می‌کنند. این هفت استان در کل بیش از ۵۲ درصد از کل زائدات کشاورزی کشور را تولید می‌کنند. اطلس زائدات کشاورزی کشور در شکل (۳) آورده شده است.

سپس منابع چوبی زیست‌توده مورد بررسی قرار گرفته است که برای این منظور سه بخش عمده که سهم بسزایی در تولید زائدات چوبی کشور دارند مورد بررسی قرار گرفتند. این سه بخش عبارتند از: باغستان‌های میوه کشور، مزارع چوب در کشور و زائدات چوبی حاصل پوسته چوبی گردو و بادام. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در این بخش نیز کشور دارای پتانسیل بسیار بالایی است. از مجموع  $5738$  هزار تن زائدات چوبی که در کشور تولید می‌شود، استان‌های گیلان و فارس به ترتیب با  $751/6$  هزار تن (سهم ۱۴ درصد) و  $577/8$  هزار تن (سهم ۱۰ درصد) بیشترین تولید زائدات چوبی در کشور را دارا می‌باشند. استان‌های آذربایجان

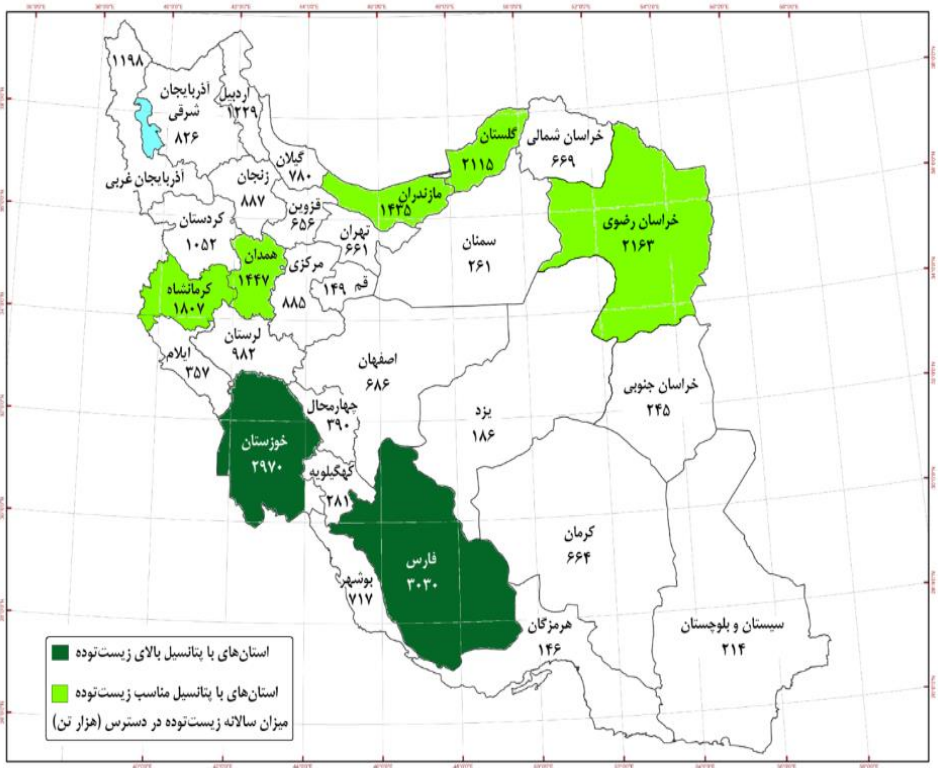
غربی با ۵۳۱/۶، مازندران با ۴۶۷/۵، آذربایجان شرقی با ۴۰۴/۷، و خوزستان با ۳۱۳/۲ هزار تن تولید سالیانه به ترتیب با ۱۰، ۸، ۷ و ۶ درصد از کل تولید زائدات چوبی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. این استان‌ها در کل نزدیک به ۵۵ درصد از زائدات چوبی کشور را تولید می‌کنند. برای بررسی بهتر موضوع اطلس منابع زائدات چوبی کشور در شکل (۴) تهیه شده است.

در نهایت بررسی اجمالی بر روی فن‌آوری‌های معمول گازی‌سازی انجام گرفته است. کیفیت عملکرد هر یک از این فن‌آوری‌ها با یکدیگر مقایسه گردیده است. همین‌طور با بررسی پایلوت‌ها و طرح‌های انجام شده در زمینه گازی‌سازی میزان گاز سنتز قابل تولید توسط هر یک از این فن‌آوری‌ها بدست آمده است. باید به این نکته تاکید کرد که حجم گاز تولیدی تنها پارامتر در انتخاب یک فن‌آوری نیست. پارامترهای دیگری مانند کیفیت گاز خروجی و نیازمندی گاز به تصفیه برای کاهش قطران نیز می‌توانند از پارامترهای موثر در انتخاب باشند. این گونه پارامترها به طور مستقیم در هزینه نگهداری و راه‌اندازی راکتور موثر هستند و بنابراین باید در نظر گرفته شوند. در انتهای پروژه تخمینی از میزان گاز سنتز قابل تولید از کل زائدات کشاورزی هر استان بدست آمده است.

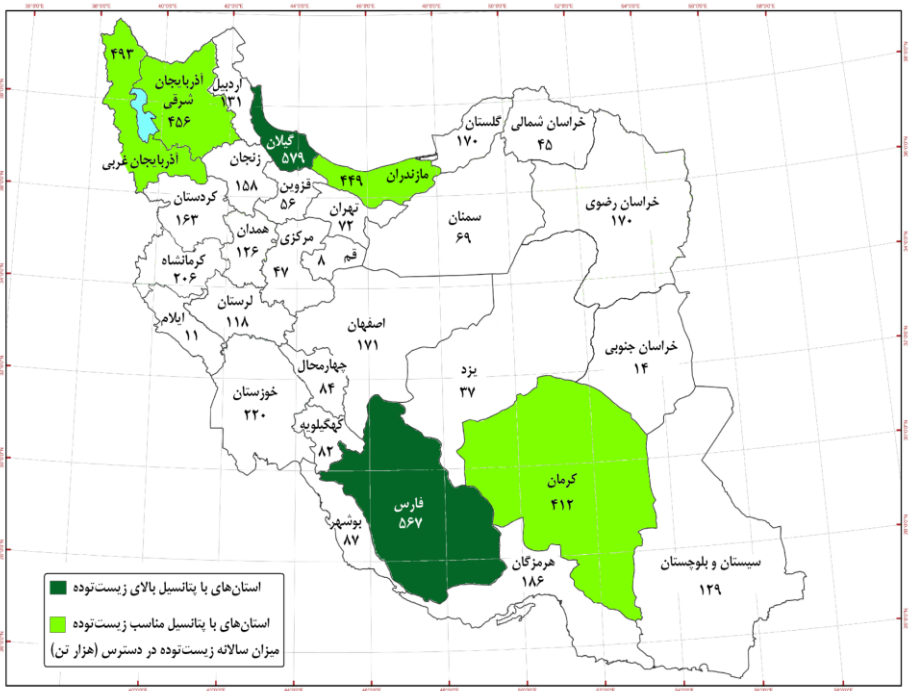
بر اساس اطلاعات تهیه شده در کل شش استان فارس با ۷۱۰۷، خوزستان با ۶۴۶۸، خراسان رضوی با ۴۵۸۲، گلستان با ۴۴۸۹، کرمانشاه با ۳۹۱۷، مازندران با ۳۷۴۷، آذربایجان غربی و همدان ۳۴۰۸ و ۳۰۴۰ میلیون متر مکعب پتانسیل متوسط تولید گاز سنتز از زائدات کشاورزی و چوبی از مجموع ۶۷۱۱۳ میلیون متر مکعب (میانگین حد کمینه و بیشینه گاز قابل تولید) گاز سنتز قابل تولید در کشور به ترتیب با سهم ۱۱، ۱۰، ۷، ۷، ۶، ۶، ۵ و ۵ درصد در رتبه‌های اول تا هشتم قرار دارند. این هشت استان دارای پتانسیل بسیار بالایی برای تولید انرژی به روش گازی‌سازی هستند.

باید توجه داشت که در انتخاب نوع گازی‌ساز باید به مشخصات ذاتی انواع گازی‌سازها و شرایط عملیاتی آن‌ها توجه نمود در این راستا طی این گزارش نیز به بررسی انواع گازی

سازهای تجاری پرداخته شده است تا نهایتاً بر اساس مزایا و معایب هر یک از آن‌ها و نیز بر اساس مشخصات خوراک و تأثیر آن بر ترکیب و مقدار گاز سنتز، گازی‌سازی انتخاب گردد.



شکل (۳) اطلس پتانسیل گازی‌سازی حاصل از زائدات کشاورزی در کشور بر اساس آمار سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸



شکل (۴) پتانسیل گازی‌سازی حاصل از منابع چوبی در کشور بر اساس آمار سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸

## گازی‌سازی خریداری شده

پس از رایزنی‌های مستمر پژوهشگاه نیرو با کارفرما (سازمان انرژی‌های نو ایران - سانا) و اخذ تاییدیه آن سازمان و با تایید رسمی کارفرمای پروژه، سامانه گازی‌سازی GEK آمریکا به ظرفیت ۲۰ کیلووات از بُعد فنی و مالی جهت خرید، مناسب تشخیص داده شد. محصول کمپانی GEK دارای مزایایی از قبیل عدم نیاز به ساختمان یا سوله مجزا به واسطه فضای اشغال شده به مراتب کمتری می‌باشد. این محصول قابل حمل بوده و در هر مکانی قابل بهره‌برداری است. مساحت مورد نیاز سامانه ۲۰ کیلوواتی GEK برابر ۱٫۳×۱٫۲ متر مربع است و یکی از کم حجم‌ترین گازی‌سازهای موجود در دنیا می‌باشد. لذا سامانه GEK به عنوان یک مولد تولید پراکنده و پرتابل علاوه بر تامین برق روستایی، در مناطق به دور از شبکه برق



و همچنین در موارد اضطراری و شرایط بحران در چارچوب کاربردهای پدافند غیر عامل توجیه پذیر است.

پس از بررسی‌های صورت گرفته روی مدارک فنی و اطلاعات مورد نیاز برای گازیساز سفارش داده شده، مشخصات نصب و همچنین شرایط مورد نیاز برای محل قرارگیری گازیساز، مشخصات ساختمان محل نگهداری گازیساز و انبارش سوخت مورد نیاز آن پیشنهاد داده شد. در این قسمت، مختصری از ساختار این سامانه گازیساز و همچنین شرایط کارکردی آن توضیحاتی ارائه می‌شود.

سامانه گازیسازی خریداری شده یک ست تحقیقاتی ساخت شرکت All power labs کشور آمریکا است. تصویر این سامانه در شکل (۵) آورده شده‌است و قابلیت تولید برق هم بصورت متصل به شبکه و هم منفصل از شبکه را دارد. به این ترتیب برق تولیدی این دستگاه را می‌توان هم برای تامین برق محلی به کار برد و هم می‌توان به شبکه برق بالادست منتقل کرد.



شکل (۵) گازیساز خریداری شده مدل PP20V1.09

مشخصات نامی این گازیساز در جدول ۲ ارائه شده‌است. مطابق مشخصات نامی ارائه شده در جدول این دستگاه قابلیت تولید برق تا حداکثر ۲۰ کیلووات را با فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز دارد.

این دستگاه جهت تولید این مقدار برق نیازمند مصرف سوخت از ۴/۸ تا ۱۹/۲ کیلوگرم بر ساعت است. همانطور که مشاهده می‌شود ابعاد دستگاه در مقایسه با محصولات مشابه کوچک است و فضای نه چندان زیادی را اشغال خواهد کرد. از زمان روشن شدن دستگاه حدود ۲۰ دقیقه زمان لازم است که دستگاه بتواند برق تولید کند. از آن زمان به بعد گازباز می‌تواند به طور پیوسته در حدود ۱۲ ساعت برق تولید کند.

جدول ۲ مشخصات گازباز

نام	PP20V1.09
ظرفیت الکتریکی خروجی	20 KW :1500 RPM و 50 HZ 1800 RPM, 60Hz
دبی جریان	۵۲-۱۱ m <sup>3</sup> /hr
حداکثر خروجی گرمایی (گاز گرم شده)	330000 BTU/hr
دبی مصرف زیست‌توده	4.8-19.2 kg/hr
ابعاد دستگاه (طول*عرض*ارتفاع)	۱۳۶*۱۷۸*۱۹۳ سانتی‌متر
وزن دستگاه	893 kg
جنس بدنه	304 SS/310 SS/ 321 SS/mild steel
زمان اولیه برای روشن شدن	۱۰-۲۰ دقیقه
مدت زمان عملکرد پیوسته	بیش از ۱۲ ساعت
طریقه پر کردن قیف	نایبوسته



شکل (۶) اجزا گازساز

به ازای هر  $1.2 \text{ kg}$  از خوراک ورودی  $1 \text{ kWh}$  تولید الکتریسیته داریم، البته با تغییر رطوبت، کیفیت و ... مربوط به زیست‌توده میزان تولید انرژی تغییر می‌کند. میزان مصرف واقعی زیست‌توده با مقدار بار، رطوبت و کیفیت خوراک تغییر می‌کند.

نرخ مصرف خوراک می‌تواند طبق تجربه مانند جدول ۳ باشد.

جدول ۳ میزان مصرف خوراک برای تولید برق

نرخ مصرف خوراک (کیلوگرم/ساعت)	توان (KW)
۲/۴	۲
۴/۸	۴
۷/۲	۶
۹/۶	۸
۱۲	۱۰
۱۴/۴	۱۲
۱۶/۸	۱۴

برخی از بهترین انواع زیست توده برای این گازیساز موارد ذیل است:

- تراشه (چیپس) درختان نرم مانند کاج-صنوبر
- تراشه (چیپس) درختان سخت مانند بلوط-راش-گردو
- پوسته نارگیل
- پوسته گردو

البته می‌توان از درختان دیگر نیز استفاده کرد اما بازدهی چند موارد ذکر شده نسبت به بقیه موارد بالاتر است.

در جدول ۴ لیستی از انواع مواد موجود و امکان کاربری آنها به عنوان خوراک در گازیساز ارائه شده‌است. در مواردی که امکان استفاده در گازیساز وجود دارد، پروسه‌ی لازم برای افزایش بهره‌وری آن توضیح داده شده‌است.

جدول ۴ بهترین زیست توده‌ها برای این گازیساز و پیشنهادهای مربوطه

ردیف	سوخت	توضیحات
۱	پوسته گردو	قطعات بزرگ پوسته گردو نسبت به قطعات ریز ترجیح دارند.
۲	پوسته فندق	قطعات بزرگ پوسته فندق نسبت به قطعات ریز ترجیح دارند.
۳	پوسته نارگیل	قطعات خیلی بزرگ پوسته نارگیل خرد شوند.
۴	چیپس چوب درختان کاج، بلوط، راش، کائوچو و لآراد (درخت کریسمس)	قطعات بزرگ باید به اندازه استاندارد دستگاه تبدیل شوند.
۵	چوب ذرت (هسته مرکزی گیاه ذرت بدون دانه ذرت)	نیاید شامل پوسته ذرت باشد و مقدار خاکستر را افزایش می‌دهد.
۶	پوسته هسته خرما	همراه با ریسک افزایش دما و بهتر است با منابع تغذیه‌ای که در دمای پایین‌تر می‌سوزند ترکیب شود.

سوخت‌های مناسب با نیاز به عملکرد و تعمیرات بیشتر

به طور کامل بررسی و تست نشده‌اند و بدون تضمین هستند	تعدادی از آنها بسته به شکل و اندازه قابل استفاده شناسایی شده‌اند.	پلت‌های چوبی	۷
	تبدیل بامبو به چپیس مشکل است.	بامبو	۸
	دارای چگالی حجمی پایینی می‌باشد.	علف	۹
	محتوای خاکستر بالا و از نظر فیزیکی به شکل کاغذ سازگار نیست.	ضایعات کاغذ	۱۰
	از نظر فیزیکی سازگار نیست.	باگاس نیشکر	۱۱
به طور کامل بررسی و تست نشده‌اند و بدون تضمین هستند	منظور ضایعات باقی‌مانده نظیر برگ و ساقه ذرت بعد از برداشت است که محتوای خاکستر بالایی دارد	ساقه‌های ذرت	۱۲
	باعث ایجاد خاکستر زیادی می‌شود.	سبوس برنج	۱۳
عدم استفاده	مواد سنگین زیاد، خاکستر بالا و وجود در آن PVC پلاستیک مخصوصا ناسازگار است	زباله‌های جامد شهری	۱۴
	سوختن در دمای زیاد	ذغال	۱۵
	محتوای کربنی مناسبی ندارد و ذوب شدن آن به راکتور آسیب می‌رساند.	پلاستیک	۱۶
	از نظر شیمیایی سازگار نیستند	تایر	۱۷
	خیلی ریز است و از نظر فیزیکی سازگار نیست.	خاک اره	۱۸
	دانسیتته انرژی پایینی دارند و تولید خاکستر زیادی می‌کنند.	کود حیوانی (گاو، مرغ و ..)	۱۹
	پلت‌های این تفاله‌ها مستعد خردشدن هستند.	تفاله قهوه	۲۰

مطابق جدول ۴ سوخت‌های ردیف ۱ الی ۴ که با رنگ سبز مشخص شده‌اند به عنوان سوخت‌های استاندارد معرفی می‌شوند. موارد ردیف ۵ و ۶ که با رنگ زرد نشان داده شده به عنوان سوخت‌های مناسب معرفی شده‌اند که البته میزان تعمیر و نگهداری بیشتری بوجود

خواهد آورد. موارد ردیف ۷ الی ۱۶ به طور کامل بررسی و تست نشده‌اند و استفاده از آن تضمین نمی‌شوند. موارد ۱۴ تا ۲۰ نیز به طور کلی نباید استفاده شوند.

## نتیجه‌گیری

در این پروژه فناوری گازیسازی به عنوان یکی از مهمترین و به روزترین فناوریهای تولید برق از زیست توده که جزء اولویت‌های سند ملی انرژی زیست توده کشور ایران نیز می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. پتانسیل کل کشور و بطور مجزا استانهای ایران در تولید برق از این فناوری با توجه به منابع زیست توده ای که در اختیار دارند ارزیابی شد. سپس به سراغ فناوریهای روز گازیسازی در دنیا رفته شد و یکی از بهترین نمونه‌های کوچک مقیاس که متناسب با ظرفیت کشور ایران بود، انتخاب گردید. گازیساز کمپانی GEK به ظرفیت ۲۰ کیلووات الکتریکی خریداری و در سایت زیست توده ساوه نصب گردید. همچنین یک واحد آزمایشگاهی پشتیبان مجهز به ترازو، کوره، آون و بمب کالریمتری برای اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مورد استفاده در گازیساز در مجاورت محل نصب سامانه گازیساز مستقر گردید. همچنین طراحی تفصیلی برای ساخت یک سامانه گازیساز که در کشور ایران نیز قابل تولید باشد در این پروژه انجام شد. با انجام این پروژه گام مثبتی در راستای پرداختن به فناوری گازیسازی به عنوان یکی از به روزترین فناوریهای دنیا در زمینه انرژیهای تجدیدپذیر انجام گرفت.

عنوان پروژه: جداسازی  $SO_2$  از گاز خروجی دودکش نیروگاه با استفاده از تماس دهنده غشایی

مجری پروژه: مهندس مرتضی جلالی لیچایی

مدیر پروژه: سمیه علیجانی

سال انجام پروژه: ۹۷-۹۵

## چکیده

با توجه به اثرات مخرب  $SO_2$  بر سلامت انسان و محیط زیست، توسعه فناوری‌های مؤثر برای جداسازی دی اکسید گوگرد از منابع تولید کننده آن ضروری است. اگر چه فرآیندهای FGD، با حذف کامل  $SO_2$  همراه هستند اما نیاز به فضای زیاد، هزینه بالای سرمایه گذاری، خوردگی و مشکلات عملیاتی (طغیان و کف کردن) از جمله محدودیت‌های این فرآیندها به شمار می‌رود. بنابراین تلاش‌هایی در جهت توسعه فناوری‌های مؤثر با وزن، حجم و انرژی کمتر و در عین حال بازدهی بالا صورت گرفته است. استفاده از تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی (HFMC)، به عنوان یکی از فناوری‌های مؤثر در این راستا گزارش شده است. در این پروژه، ضمن طراحی پایه ماژول غشایی، تجهیزات جانبی، سیستم پیش تصفیه و برج دفع، استفاده از این تماس دهنده‌های HFMC در جداسازی  $SO_2$  تحت شرایط مختلف عملیاتی و در بستر تست آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین ضمن تعیین نقطه عملیاتی بهینه، برآوردی از این طرح از لحاظ اقتصادی صورت گرفته است.

## مقدمه

با توجه به افزایش آلودگی محیط زیست، به دلیل نیاز روز افزون بشر به تولید انرژی و توسعه صنایع مختلف، استفاده از روش‌های مؤثر برای حذف و یا کاهش آلاینده‌ها ضروری است. گاز دی اکسید گوگرد به عنوان یکی از آلاینده‌های گازی در اتمسفر محسوب می‌شود که از زمان انقلاب صنعتی، میزان انتشار آن به محیط افزایش یافته است.  $SO_2$  به عنوان یکی از منابع اصلی باران اسیدی به شمار می‌آید که به مدت ۱ تا ۷ روز می‌تواند در هوا باقی بماند و

در این مدت با تبدیل شدن به سولفات و در مجاورت نور خورشید، باران اسیدی تولید کند [۱]. به علاوه، با توجه به سهم  $SO_2$  در تشکیل ریزگردها، این گاز به عنوان آلاینده ثانویه نیز اثرات مخربی بر سلامت انسان و محیط زیست به همراه دارد [۲]. از سوی دیگر، دی اکسید گوگرد با جلوگیری از جذب نور خورشید و ممانعت از فتولیز اکسیژن، نقش بسزایی در تخریب لایه اوزون و سوراخ شدن آن دارد [۳].

گزارشی که اخیراً به چاپ رسیده نشان می‌دهد که ۴۹۱ منبع برای تولید  $SO_2$  وجود دارد که سالانه ۳۰ تا ۴۰۰۰ کیلو تن  $SO_2$  منتشر می‌کند و در این میان، نیروگاه‌های حرارتی بیشترین سهم انتشار  $SO_2$  را (۵۳٪) به خود اختصاص داده‌اند [۴]. غلظت  $SO_2$  در گاز دودکش نیروگاه‌های حرارتی، ۰/۴-۰/۱ درصد حجمی معادل ۰/۳-۰/۱ درصد وزنی گزارش شده است [۵]، در حالی که بر اساس استانداردهای تعریف شده، مقدار مجاز  $SO_2$  در هوا،  $ppb/hr$  ۷۵ تعیین شده است [۶]. بنابراین و با توجه به اثرات مخرب  $SO_2$  بر سلامت انسان و محیط زیست، توسعه فناوری‌های مؤثر برای جداسازی دی اکسید گوگرد از منابع تولید کننده آن ضروری است. تکنولوژی‌های گوگردزدایی گاز دودکش ( $FGD^{31}$ )، متداول‌ترین فناوری برای حذف  $SO_2$  به شمار می‌آیند [۲]. در این روش که به عنوان فرآیند اسکرابر نیز شناخته می‌شود، گاز همراه با  $SO_2$  به صورت اسپری، در تماس با جاذب قرار می‌گیرد و با جذب  $SO_2$ ، گاز تصفیه می‌شود. این فرآیند، بر اساس روش استفاده از جاذب، به دو دسته فرآیند قابل احیا<sup>۳۲</sup> و فرآیند غیر قابل احیا<sup>۳۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شود [۷]. در فرآیند قابل احیا،  $SO_2$  جذب شده، طی یک مرحله احیا، از جاذب جدا شده و به منظور تهیه اسید سولفوریک، گوگرد و یا  $SO_2$  مایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فرآیند غیرقابل احیا، از جاذب به همراه  $SO_2$  به عنوان محصول جانبی نظیر سنگ گچ استفاده می‌شود. هر دو فرآیند به دو دسته "تر" و "خشک" تقسیم می‌شوند که در فرآیند خشک، پساب خشک تولید می‌گردد و در فرآیند تر، محصول جانبی تر

<sup>31</sup> Flue Gas Desulfurization

<sup>32</sup> Regenerable

<sup>33</sup> Once-through



و یا پساب دوغابی تولید می‌شود و گاز خروجی از فرآیند، با رطوبت اشباع شده است [۷]. غلظت  $\text{SO}_2$  خروجی از فرآیندهای FGD به روش تر، ppm ۱۹۶-۶ گزارش شده است [۸]. اگر چه فرآیندهای FGD، با حذف کامل  $\text{SO}_2$  همراه هستند اما نیاز به فضای زیاد، هزینه بالای سرمایه گذاری، خوردگی و مشکلات عملیاتی (طغیان<sup>۳۴</sup> و کف کردن<sup>۳۵</sup>) از جمله محدودیت‌های این فرآیندها به شمار می‌رود [۹]. بنابراین تلاشهایی در جهت توسعه فناوری-های مؤثر با وزن، حجم و انرژی کمتر و در عین حال بازدهی بالا صورت گرفته است. استفاده از تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی ( $\text{HFMC}^{36}$ )، به عنوان یکی از فناوری‌های مؤثر در این راستا گزارش شده است [۸].

یک تماس دهنده غشایی الیاف توخالی یک غشا متخلخل است که امکان تماس و انتقال جرم بین دو فاز مایع/مایع یا مایع/گاز را فراهم می‌سازد، بدون اینکه نیاز به توزیع یک فاز در فاز دیگر باشد. انعطاف‌پذیری عملیاتی، عدم وابستگی جریان گاز و مایع به یکدیگر، نسبت بالای مساحت سطح به حجم، اندازه فشرده و Scale up خطی از ویژگی‌های این فرآیند محسوب می‌شود [۹]. با توجه به مزایای اشاره شده این روش در مقایسه با فناوری FGD، در این پروژه، استفاده از این تماس دهنده‌ها برای حذف  $\text{SO}_2$  به عنوان روشی نوین برای جداسازی آن از گاز دودکش مورد بررسی قرار گرفته است.

## بدنه‌ی گزارش

به دلایل زیست محیطی، اقتصادی و عملیاتی، حذف گازهای اسیدی نظیر  $\text{SO}_2$ ،  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  از منابع تولید کننده آنها ضروری است. بنابراین در این راستا، تلاشهایی در جهت توسعه فناوری‌های انعطاف‌پذیر و مؤثر صورت گرفته است تا بتوان به کمک آنها، گازهای اسیدی را در محدوده وسیعی از غلظت و دبی حذف کرد. در سال‌های اخیر، استفاده از تماس دهنده‌های غشایی بدون نیاز به توزیع گاز، به عنوان گزینه‌ای برای تماس دو فاز گاز و مایع و جداسازی

<sup>34</sup> Flooding

<sup>35</sup> Foaming

<sup>36</sup> Hollow Fiber Membrane Contactor

گازهای اسیدی مورد توجه قرار گرفته است [۱۰]. با استفاده از یک غشا با پیکربندی مناسب، نظیر ییاف توخالی، امکان تماس دو فاز مایع و گاز فراهم می‌شود و فصل مشترک دو فاز در منافذ غشا تشکیل می‌گردد و انتقال جرم در این فصل مشترک انجام می‌شود. حجم یک تماس دهنده غشایی به منظور استفاده در یک نیروگاه حرارتی  $645 \text{ MW}$ ،  $250 \text{ m}^3$  برآورد شده است که در مقایسه با حجم ستون جذب متداول برای جداسازی  $\text{SO}_2$  ( $9000 \text{ m}^3$ )، بسیار ناچیز است [۱۱]. نسبت بالای سطح به حجم، کنترل مستقل دبی مایع و گاز بدون طغیان، کف کردن و یا هر مشکل زیست محیطی، فصل مشترک مشخص مایع - گاز و انعطاف‌پذیری از جمله مزایای تماس دهنده‌های غشایی گاز-مایع نسبت به سایر روش‌های متداول تماس دهنده گزارش شده است [۱۰].

به هر حال، اگر چه تماس دهنده‌های غشایی گاز - مایع نسبت به سیستم‌های متداول جذب گاز، مزایایی را ارائه می‌دهند اما این فناوری با محدودیت‌هایی نیز همراه است که نیاز به بررسی بیشتر و رفع این محدودیت‌ها وجود دارد تا بتوان از این تکنولوژی در جذب گاز اسیدی استفاده کرد. حضور غشا یک مانع در برابر انتقال جرم محسوب می‌شود که چنین مانعی در ستون‌های جذب متداول وجود ندارد. این مقاومت، اثر منفی روی انتقال جرم و گزینش‌پذیری دارد. با کاهش ضخامت غشا و یا افزایش تخلخل آن، می‌توان مقاومت غشا را مینیمم کرد [۱۲]. غیریکنواخت بودن توزیع ییاف می‌تواند روی کانالیزه شدن جریان سیال و ایجاد جریان کنار گذر در سمت پوسته اثر گذار باشد و بنابراین فرآیند انتقال جرم کاهش می‌یابد. به علاوه، عبور سیال داخل ییاف به دلیل قطر کم ییاف، با محدودیت همراه است که این مسئله نیز روی انتقال جرم داخل ییاف اثر دارد. علاوه بر خواص غشا و پیکربندی ماژول، شرایط عملیاتی نظیر دما و فشار محلول جاذب، دبی گاز و مایع و غلظت نیز روی عملکرد جذب غشا به شدت اثر دارد. فشار مایع همواره باید بالاتر از فشار گاز باشد تا از تشکیل حباب داخل مایع جلوگیری شود. تشکیل حباب در مایع منجر به هدر رفتن ترکیبات گازی و ناپایداری عملیاتی می‌شود [۱۳، ۱۴]. از سوی دیگر، فشارهای بالای مایع نیز می‌تواند منجر به خیس شدن غشا در طولانی مدت شود. اگر چه، افزایش دمای جاذب می‌تواند روی سرعت جذب واکنش شیمیایی

اثر مثبت داشته باشد، اما این مسئله باعث کاهش کشش سطحی مایع شده و در نتیجه غشا به آسانی خیس می‌شود و یا اینکه خواص آن در طولانی مدت تغییر می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد تماس دهنده‌های غشایی لیاف توخالی برای جداسازی  $\text{SO}_2$ ، به پارامترهای مختلفی نظیر دبی گاز و مایع، غلظت  $\text{SO}_2$  ورودی، طول و هندسه ماژول، ساختار و تخلخل غشا، نوع جاذب، غلظت جاذب، آگریز بودن غشا، دما و فشار عملیاتی و حضور سایر ترکیبات در گاز ورودی بستگی دارد. تا کنون از این فناوری برای جداسازی  $\text{SO}_2$  در مقیاس صنعتی استفاده نشده است. اگر چه برخی کاربردهای صنعتی برای حذف گاز اسیدی توسط تماس دهنده‌های غشایی وجود دارد، اما تلاش‌های زیادی لازم است تا جنبه‌های مختلف این فناوری بررسی شود تا به مرحله تجاری سازی برسد. به منظور دستیابی به این هدف، برخی معیارها از جمله بهبود ساختار و مواد سازنده غشا (تخلخل بالا با اندازه منافذ ریز، آبگریزی بالا، پایداری شیمیایی و حرارتی، مقاومت مکانیکی) و توسعه خواص جاذب (غیرفراریت، کشش سطحی بالا، تمایل برای جذب گاز اسیدی، سازگاری شیمیایی با غشا و قابلیت بازیافت) باید در نظر گرفته شود.

در ادامه پروژه و پس از بررسی خواص غشا لیاف توخالی و اثر پارامترهای عملیاتی بر جداسازی  $\text{SO}_2$  توسط تماس دهنده غشایی، کلیه معادلات انتقال جرم حاکم بر سیستم به منظور شبیه‌سازی تماس دهنده غشایی استخراج گردید. نتایج حاصل از مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته بر روی تماس دهنده‌های غشایی نشان داد که مقاومت‌های موجود در فرآیند انتقال جرم در تماس دهنده غشایی شامل مقاومت فاز گاز، مقاومت فاز مایع و مقاومت غشا است. برای جذب گاز، مقاومت مربوط به نفوذ گاز از بالک گاز به سطح خارجی غشا در مقایسه با سایر مقاومت‌های دیگر قابل صرف‌نظر کردن است. البته با توجه به اینکه بین  $\text{SO}_2$  و مولکول‌های حلال، واکنش اتفاق می‌افتد، مقاومت مربوط به فاز مایع کاهش یافته و مقاومت فاز گاز ممکن است انتقال جرم را کنترل کند. مقاومت غشا به مدل عملیاتی غشا، ترشونده یا غیر ترشونده یا ترشونده جزئی، وابسته است که در تماس دهنده‌های غشایی، حالت غیر ترشونده برای جذب گاز ترجیح داده می‌شود چون باعث مینیمم شدن مقاومت غشا می‌گردد. به منظور

کاهش مقاومت غشا، برخی معیارها از جمله فشار عملیاتی بین گاز و مایع، استفاده از مواد غشایی آبریز، کشش سطحی بالای جاذب و غشا با اندازه منافذ کوچک باید در نظر گرفته شود.

پس از بررسی معادلات انتقال جرم و ممتوم حاکم بر تماس دهنده‌های غشایی، اصول طراحی سیستم پیش تصفیه تماس دهنده‌های غشایی بررسی شد. این سیستم شامل حذف کلیه ذرات جامد، خنک نمودن جریان گاز ورودی به تماس دهنده و حذف رطوبت می‌باشند. در این گزارش، انواع روشهای حذف ذرات از گازهای خروجی دودکش که شامل روشهای الکترواستاتیکی، سیکلونی و استفاده از فیلتر می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از فیلترهای پارچه‌ای به دلیل سادگی در عملیات و ساخت و بازدهی بالا در این مرحله پیشنهاد می‌شود که طراحی پایه آن برای جداسازی ذرات جامد از گاز دودکش یک نیروگاه ۵۰ مگاواتی در مرحله سوم گزارش ارائه شده است. به منظور خنک‌سازی گاز دودکش قبل از ورود به تماس دهنده غشایی تا دمای  $30^{\circ}\text{C}$ ، ابتدا از کولر هوایی استفاده می‌شود و پس از خنک‌سازی گاز تا دمای  $60^{\circ}\text{C}$ ، به منظور خنک‌سازی تا دمای  $30^{\circ}\text{C}$ ، از مبدل پوسته لوله استفاده می‌شود. با توجه به افت فشار در این مبدل‌ها و کم بودن فشار سیال فرآیندی، از کمپرسور جهت افزایش فشار سیال استفاده شده است. طراحی پایه مبدل‌ها شامل محاسبه سطح مورد نیاز انتقال حرارت برای گاز دودکش نیروگاه ۵۰ مگاواتی، طول، قطر مورد نیاز و تعداد لوله‌ها در مبدل پوسته - لوله، محاسبه افت فشار سیال سمت لوله و پوسته، تعداد بافل‌ها، ضریب رسوب‌گذاری در مبدل و کولر هوایی، تعیین جنس پره، لوله و هدر، محاسبه قطر داخلی و خارجی لوله‌ها در کولر هوایی در مرحله سوم پروژه انجام شده است. به علاوه، طراحی پایه سایر تجهیزات پیش تصفیه نظیر کمپرسور (جهت تأمین فشار گاز ورودی به ماژول) و همچنین تجهیزاتی که پس از ماژول غشایی قرار می‌گیرند (برج دفع و مبدل حرارتی Lean/Rich Solvent) در این بخش از پروژه ارائه شده است.

در ادامه و به منظور پیش بینی عملکرد تماس دهنده غشایی جهت جداسازی  $SO_2$ ، طراحی پایه ماژول غشایی بر اساس حل معادلات جرم، انرژی و ممتوم برای  $SO_2$  در سه بخش تماس دهنده غشایی یعنی لوله، غشا و پوسته با استفاده از روش المان محدود در نرم‌افزار COMSOL انجام گردید. فرضیات مدل شامل موارد ذیل می باشد:

(۱) فاز گاز به صورت گاز ایده‌آل در نظر گرفته شده است.

(۲) شرایط پایا و همدمای برقرار است.

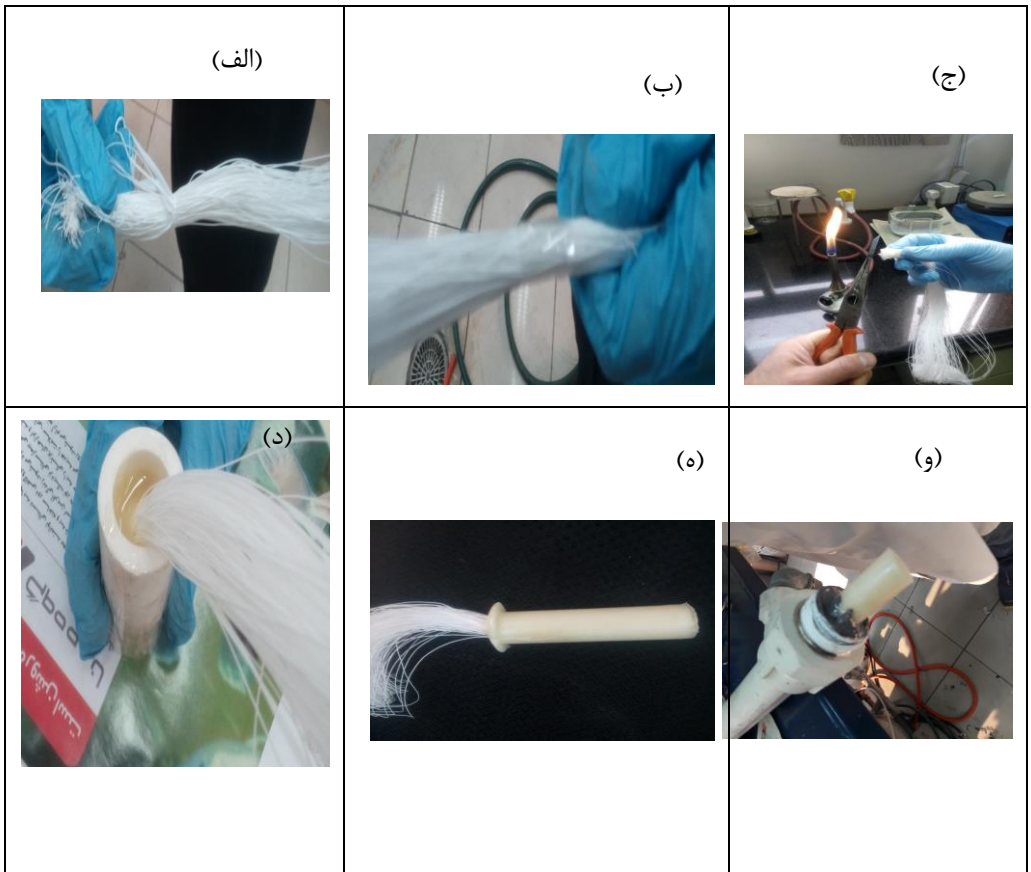
(۳) توزیع سهموی سرعت درون لوله وجود دارد

(۴) در فصل مشترک گاز - مایع از قانون هنری استفاده می‌شود.

نتایج نشان داد که در طول پوسته (از  $z=0$  تا  $z=L$ )، غلظت  $SO_2$  به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش مقدار  $SO_2$  جذب شده توسط حلال است. همچنین اثر طول الیاف، سرعت گاز ورودی و غلظت  $SO_2$  بر بازده جداسازی  $SO_2$  مورد بررسی قرار گرفت. برآورد اقتصادی طرح نیز از اهداف دیگر این پروژه می‌باشد که در مرحله سوم پروژه در حال بررسی می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از بررسی‌های مرحله سوم گزارش در حال حاضر در حال جمع‌بندی است و لذا در این گزارش به این نتایج اشاره‌ای نشده است و اقدامات انجام شده تا کنون ارائه شده است.

در ادامه و در مرحله چهارم گزارش و به منظور تعیین نقطه عملیاتی بهینه و اعتبار بخشی به داده‌های تئوری و نتایج شبیه‌سازی، از بستر تست موجود در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه محیط زیست جهت انجام آزمایشات لازم استفاده شد. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته در مراحل قبلی پروژه، جنس و نوع غشاء انتخاب گردید و در خلال قراردادی که با شرکت پارسیان پیشرو صنعت پلیمر منعقد گردیده بود، غشاها خریداری شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مرحله اول پروژه، محققان گزارش دادند که با توجه به مقاومت بالای PTFE در برابر ترشوندگی، این نوع غشا گزینه بسیار مناسبی در تماس دهنده‌های غشایی به حساب می‌آید [۱۶]. از آنجا که در داخل کشور، امکان خریداری غشا PTFE وجود نداشت، غشا پلی پروپیلن به عنوان گزینه مناسب انتخاب گردید. سامانه آزمایشگاهی مورد استفاده در تعیین

راندمان جداسازی تماس دهنده غشایی، متشکل از یک ماژول  $30\text{ cm}$  از نوع جریان همسو بوده و آزمایشات بصورت هم‌دما در آن صورت گرفته است. شکل ۱ تصویری از مراحل آماده‌سازی و قرارگیری لیاف‌ها داخل ماژول غشایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مراحل آماده‌سازی لیاف و قرارگیری آن داخل ماژول غشایی

به منظور بررسی بازده جداسازی  $\text{SO}_2$  با انجام حداقل تعداد آزمایش‌ها و صرفه‌جویی در وقت و زمان و همچنین به منظور بررسی اثر پارامترهای عملیاتی، از طراحی آزمایش بر اساس

روش ترکیب مرکزی<sup>۳۷</sup> استفاده گردید. طراحی آزمایش‌ها با کمک نرم‌افزار طراحی آزمایش نسخه ۷<sup>۳۸</sup> انجام شده است. با توجه به اینکه در این پروژه، طراحی آزمایش‌ها با سه متغیر دبی مایع ( $x_1$ )، دبی گاز ( $x_2$ ) و غلظت  $SO_2$  در گاز ورودی ( $x_3$ ) صورت گرفته و تعداد شش تکرار در نقطه مرکزی در نظر گرفته شده، تعداد آزمایش‌ها برابر با ۲۰ به دست آمده است. شکل ۲، سامانه آزمایشگاهی جهت انجام آزمایشات لازم روی مازول غشایی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- سامانه آزمایشگاهی مورد استفاده در این پروژه

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد تماس دهنده غشایی و طراحی آزمایش نشان داد که غلظت  $SO_2$  ورودی، برهم کنش دبی گاز و غلظت  $SO_2$  ورودی، دبی گاز و دبی مایع بر میزان

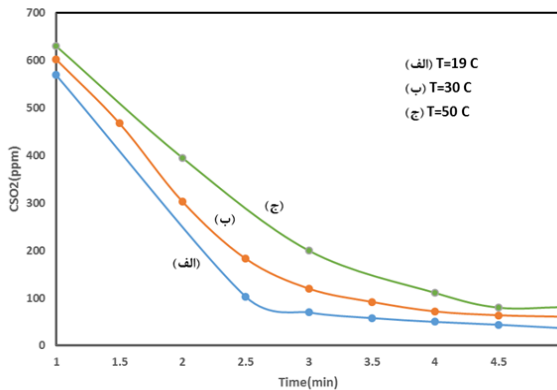
<sup>37</sup> Central Composite Design (CCD)

<sup>38</sup> Design Expert (DX 7.0)

جداسازی  $\text{SO}_2$  توسط آب مقطر در تماس دهنده غشایی اثر دارند. نسبت بهینه دبی مایع به دبی گاز بر اساس بهینه‌سازی عددی نرم افزار طراحی آزمایش  $0/25$  می‌باشد که حداکثر بازده  $98\%$  را به همراه دارد. بر اساس این مقدار بهینه می‌توان طراحی ماژول غشایی (طول و تعداد الیاف و تعداد ماژول مورد نیاز) را برای دبی مورد نظر گاز دودکش انجام داد که در مرحله سوم گزارش به آن پرداخته شده است.

در ادامه، اثر دما، طول و تعداد الیاف، حضور  $\text{CO}_2$  و ماهیت جاذب بر عملکرد تماس دهنده غشایی برای جداسازی  $\text{SO}_2$  مورد بررسی قرار گرفت.

اثر دما بر بازده جداسازی  $\text{SO}_2$  توسط آب مقطر در تماس دهنده غشایی در شکل ۳ نشان داده است. همان گونه که نتایج نشان می‌دهد با افزایش دما، بازده جداسازی  $\text{SO}_2$  کاهش می‌یابد که با توجه به گرماگیر بودن انحلال دی اکسید گوگرد در آب چنین مشاهده‌ای قابل انتظار است. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است [۱۷].

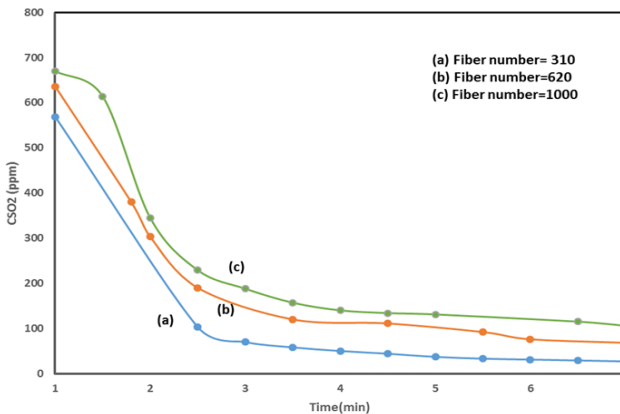


شکل ۳- اثر دما بر بازده جداسازی  $\text{SO}_2$  توسط آب در تماس دهنده غشایی با  $G=120$  l/h.  $L=30$   $C_{\text{SO}_2}=700$  ppm و l/h

شکل ۴، اثر تعداد الیافها بر بازده جداسازی  $\text{SO}_2$  توسط آب مقطر را در تماس دهنده غشایی نشان می‌دهد. همان گونه که نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد الیافها در ماژول غشایی،



بازده جداسازی دی اکسید گوگرد کاهش می‌یابد. این نتیجه ممکن است به دلیل کاهش فضای بین الیاف‌ها به دلیل تراکم بالای آنها در الیاف‌های بالاتر از ۳۰۰ عدد باشد که باعث کاهش انتقال جرم بین فاز گاز و مایع می‌گردد [۱۸]. از سوی دیگر، برخی محققان نیز معتقدند که با افزایش تعداد الیاف‌ها، نواحی مرده داخل پوسته ایجاد می‌شود که منجر به کاهش شار جذب  $SO_2$  می‌شود [۱۹].



شکل ۴- اثر تعداد الیاف‌ها بر بازده جداسازی  $SO_2$  توسط آب مقطر در تماس دهنده غشایی با  $G=120$   $C_{SO_2}=700$  ppm و  $L=30$  l/h و  $l/h$

افزایش طول الیاف بر درصد جداسازی  $SO_2$  توسط آب مقطر در تماس دهنده غشایی، با افزایش طول ماژول از ۳۰ cm به ۱۰۰ cm مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که درصد جداسازی با افزایش طول ماژول به بیش از ۳ برابر، به طور جزئی و از ۹۶٪ به ۹۸٪ تغییر می‌یابد. این نتایج ممکن است به دلیل مستقل بودن ضریب انتقال جرم و نفوذ  $SO_2$  در ماژول با طول بزرگتر از ۳۰ cm باشد.

به علاوه، نتایج نشان داد که حضور گاز  $CO_2$  در کنار  $SO_2$  در گاز ورودی، اثر قابل توجهی بر بازده جداسازی دی اکسید گوگرد ندارد و در واقع  $CO_2$  برای جذب توسط آب مقطر با گاز

SO<sub>2</sub> رقابت نمی‌کند که این مسئله به دلیل عدم واکنش پذیری CO<sub>2</sub> با جاذب (آب مقطر) است.

## نتیجه‌گیری

۱- دبی گاز و مایع، غلظت SO<sub>2</sub> در گاز ورودی، غلظت و ماهیت جاذب و طول مازول پارامترهای مؤثر برای جداسازی SO<sub>2</sub> توسط تماس دهنده غشایی است.

۲- در دسترس بودن حلال و کم هزینه بودن آن، سازگاری شیمیایی حلال با مواد سازنده غشا، قابلیت بازیافت آسان، سازگاری آن با محیط زیست، کشش سطحی حلال و تمایل آن برای نفوذ در ساختار غشا از جمله پارامترهایی است که در انتخاب حلال در تماس دهنده غشایی باید در نظر گرفته شود.

۳- به منظور تجاری‌سازی فناوری تماس دهنده غشایی برای جداسازی SO<sub>2</sub>، برخی معیارها از جمله بهبود ساختار و مواد سازنده غشا (تخلخل بالا با اندازه منافذ ریز، آبگریزی بالا، پایداری شیمیایی و حرارتی، مقاومت مکانیکی) و توسعه خواص جاذب (غیرفراریت، کشش سطحی بالا، تمایل برای جذب گاز اسیدی، سازگاری شیمیایی با غشا و قابلیت بازیافت) باید در نظر گرفته شود.

۴- . نتایج حاصل از مطالعات و بررسیهای انجام گرفته بر روی تماس دهنده‌های غشایی نشان داد که مقاومت‌های موجود در فرآیند انتقال جرم در تماس دهنده غشایی شامل مقاومت فاز گاز، مقاومت فاز مایع و مقاومت غشا است. برای جذب گاز، مقاومت مربوط به نفوذ گاز از بالک گاز به سطح خارجی غشا در مقایسه با سایر مقاومت‌های دیگر قابل صرف‌نظر کردن است. البته با توجه به اینکه بین SO<sub>2</sub> و مولکول‌های حلال، واکنش اتفاق می‌افتد، مقاومت مربوط به فاز مایع کاهش یافته و مقاومت فاز گاز ممکن است انتقال جرم را کنترل کند.

- ۵- طراحی پایه ماژول غشایی و طراحی پایه کلیه تجهیزات جانبی و سیستم‌های پیش تصفیه و برج دفع در مرحله سوم پروژه مورد بررسی قرار گرفته است.
- ۶- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد تماس دهنده غشایی و طراحی آزمایش نشان داد که غلظت  $SO_2$  ورودی، برهم کنش دبی گاز و غلظت  $SO_2$  ورودی، دبی گاز و دبی مایع بر میزان جداسازی  $SO_2$  توسط آب مقطر در تماس دهنده غشایی اثر دارند.
- ۷- اثر دما، طول و تعداد الیاف، حضور  $CO_2$  و ماهیت جاذب بر عملکرد تماس دهنده غشایی برای جداسازی  $SO_2$  مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حضور  $CO_2$  اثر محسوسی روی جداسازی  $SO_2$  توسط آب مقطر در تماس دهنده غشایی ندارد. همچنین، جداسازی  $SO_2$  تحت این شرایط، با افزایش طول الیاف تغییر چندانی نمی‌کند. در حالی که، افزایش دما، تعداد الیاف و استفاده از آب معمولی به جای آب مقطر منجر به کاهش بازده جداسازی می‌گردد.

منابع

- [1] Rall, D.P., 1974, Review of the health effects of sulfur oxides. Environmental health perspectives. 97.
- [2] Taylor, M.R., Rubin, E.S., and Hounshell, D.A., 2005, Control of  $SO_2$  emissions from power plants: a case of induced technological innovation in the US. Technological Forecasting and Social Change. 6. 697-718.
- [3] Gillespie, A., Climate change, ozone depletion and air pollution: legal commentaries within the context of science and policy. 2006: Brill.
- [4] Fioletov, V.E., McLinden, C.A., Krotkov, N., Li, C., Joiner, J., Theys, N., Carn, S., and Moran, M.D., 2016, A

global catalogue of large SO<sub>2</sub> sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 18. 11497.

[5] Jeon, H., Ahn, H., Song, I., Jeong, H.-K., Lee, Y., and Lee, H.-K., 2008, Absorption of sulfur dioxide by porous hydrophobic membrane contactor. *Desalination*. 1. 252-260.

[6] Agency, U.S.E.P., 2011, Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide. Office of Air Quality Planning and Standards. 119. 35520-35603.

[7] Srivastava, R.K., Controlling SO<sub>2</sub> Emissions: a Review of Technologies. 2000: United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development Washington, DC.

[8] Kim, K., Kim, J., and Lee, H., 2015, Hollow fiber membrane process for SO<sub>2</sub> removal from flue gas. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 3. 423-431.

[9] Park, H.H., Deshwal, B.R., Kim, I.W., and Lee, H.K., 2008, Absorption of SO<sub>2</sub> from flue gas using PVDF hollow fiber membranes in a gas-liquid contactor. *Journal of membrane science*. 1. 29-37.

[10] Mansourizadeh, A. and Ismail, A.F., 2009, Hollow fiber gas-liquid membrane contactors for acid gas capture: a review. *Journal of hazardous materials*. 1. 38-53.

[11] Klaassen, R., 2003, Achieving flue gas desulfurization with membrane gas absorption. *Filtration & Separation*. 10. 26-28.

[12] Wang, K.Y., Chung, T.-S., and Gryta, M., 2008, Hydrophobic PVDF hollow fiber membranes with narrow

pore size distribution and ultra-thin skin for the fresh water production through membrane distillation. Chemical Engineering Science. 9. 2587-2594.

[13] Wang, D., Li, K., and Teo, W., 2000, Porous PVDF asymmetric hollow fiber membranes prepared with the use of small molecular additives. Journal of Membrane Science. 1. 13-23.

[14] Poddar, T.K., Majumdar, S., and Sirkar, K.K., 1996, Membrane-based absorption of VOCs from a gas stream. AIChE journal. 11. 3267-3282.

[15] Malek, A., Li, K., and Teo, W., 1997, Modeling of microporous hollow fiber membrane modules operated under partially wetted conditions. Industrial & engineering chemistry research. 3. 784-793.

[16] Falk-Pedersen, O. and Dannström, H., 1997, Separation of carbon dioxide from offshore gas turbine exhaust. Energy Conversion and Management. S81-S86.

[17] Kim, K., Hong, S., Kim, J., and Lee, H., 2014, Preparation and performance evaluation of composite hollow fiber membrane for SO<sub>2</sub> separation. AIChE Journal. 6. 2298-2306.

[18] Zhang, Z., Yan, Y., Wood, D.A., Zhang, W., Li, L., Zhang, L., and Van der Bruggen, B., 2015, Influence of the membrane module geometry on SO<sub>2</sub> removal: a numerical study. Industrial & Engineering Chemistry Research. 46. 11619-11627.

[19] Naim, R. and Ismail, A., 2013, Effect of fiber packing density on physical CO<sub>2</sub> absorption performance in gas-liquid membrane contactor. Separation and Purification Technology. 152-157.



