



بروندادهای تخصصی

پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی محیط زیست

گروه پژوهشی محیط زیست

سال اول، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴



مدلسازی و شبیه‌سازی فرآیند جذب CO₂ از دود

نیروگاهها / الهام گروهی، پیمان پورمقدم

طراحی و ساخت سیستم پایش مداوم گاز دودکش

نیروگاهها / سعید نظری

تکنولوژی اسمز مستقیم / پیمان پورمقدم

پروژه آلام / پیمان پورمقدم

امکان‌سنجی طرح جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گاز دی

اکسید کربن / شانا

به نام خدا

گروه پژوهشی محیط زیست

اعضای هیئت تحریریه:

مهندس مرتضی جلالی، مهندس امیر سهرابی
کاشانی، مهندس عبدالله مصطفایی، مهندس رامین
پایدار، مهندس سعید نظری، مهندس زهرا
دلورمقدم، مهندس الهام گروهی، مهندس پیمان
پورمقدم

اعضای هیئت داوران:

دکتر محمدرضا علایی، دکتر علی حمزه لویی،
مهندس عدنان مرادیان، مهندس سید احمد
احمدی اندیلی

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی
محیط زیست» با هدف فراهم آوردن بستری
مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب
مرتبط با محیط زیست و ایمنی در صنعت برق
به صورت داخلی منتشر می شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای
هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می کند و استفاده
از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.
مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش های درج
شده بر عهده نویسندگان است.

صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: مرتضی جلالی

سر دبیر: عبدالله مصطفایی

مدیر اجرایی: پیمان پورمقدم

گرافیکست و صفحه آرا: پیمان پورمقدم

ویراستار: زهرا دلورمقدم

عکس روی جلد: رامین پایدار

Ø همکاران این شماره:

همکاران گروه: مهندس عبدالله مصطفایی،
مهندس زهرا دلورمقدم، مهندس رامین پایدار
راوندی، مهندس پیمان پورمقدم
همکاران معاونت پژوهشی: مهندس ثریا
رستمی، نوشین فرودی

Ø ناشر:

نشانی الکترونیکی: environ@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک

باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه محیط زیست

تلفن: 021-88079446

دورنگار: 021-88361603

• سخن سردبیر	1
• تکنولوژی اسمز مستقیم، روشی جدید برای استفاده مجدد از فاضلاب‌های نیروگاهی	2
• معرفی انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران	10
• پروژه آلام، انقلاب جدید در نیروگاه‌های برق فاقد آلاینده	11
• امکان‌سنجی طرح جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گاز دی‌اکسیدکربن	16
• مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند جذب CO_2 از دود نیروگاه‌ها با استفاده از محلول MEA در تماس دهنده غشایی	17
• طراحی و ساخت سیستم پایش مداوم گاز دودکش نیروگاه‌ها	29
• برگزیده‌ای از واژه‌های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه محیط‌زیست و انرژی	55
• معرفی کتاب	57

سخن سردبیر

اخیراً خبری مبنی بر برنامه جدید رئیس جمهور آمریکا برای کاستن از میزان گازهای گلخانه‌ای منتشره از نیروگاه‌های آمریکا بر روی سایت‌ها قرار گرفته است. این برنامه سخت‌گیرانه قصد دارد که میزان انتشار کربن از نیروگاه‌ها را تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۳۲ درصد نسبت به میزان انتشار در سال ۲۰۰۵ کاهش دهد. البته مخالفان، این برنامه را نوعی اعلان جنگ علیه خود دانسته‌اند. قابل ذکر است که در آمریکا، نیروگاه‌ها مسئول انتشار ۴۰ درصد از کل انتشار کربن هستند.

نیروگاه‌های ایران نیز با سهم حدود ۲۵ درصدی در انتشار کربن کشور، یکی از مهم‌ترین منابع انتشار این گازها به‌شمار رفته و باید نقشه‌راهی را برای کاستن از انتشار خود برای سالیان آتی ارائه نمایند، چون در غیر این صورت به دلیل تشدید مقررات و کنوانسیون‌های بین‌المللی، حتماً با محدودیت‌هایی مواجه خواهند شد.

صنعت برق ایران به دلیل عملکرد خود طی دوره‌های مختلف به‌عنوان یکی از افتخارات کشور به‌شمار می‌رود. این صنعت برای آنکه در دوره‌های آتی نیز بتواند به‌عنوان یک صنعت پیشرو و پیشگام نقش مهمی در توسعه فناوری کشور داشته باشد، باید طی یک برنامه منسجم و با تهیه یک نقشه‌راه دقیق از میزان آلاینده‌های خود کاسته و اصطلاحاً هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی این صنعت را کاهش دهد. همچنین راه ورود فناوری‌های جدید کاهش آلودگی را نیز هموار نماید تا دیگر صنایع نیز این‌گونه فعالیت‌ها را چراغ راه خود قرار داده و بتوانند در مسیر جهانی پیشرفت، سخنی برای گفتن داشته باشند.

از آنجاکه چالش‌های جدید از قبیل کمبود آب و آلودگی‌های خاک در سراسر کشور در مسیر تعالی این صنعت در حال عرض‌اندام هستند، این مجموعه نیز سعی دارد که با انتشار مطالب مرتبط با محیط زیست و ایمنی در صنعت برق نقش مؤثری در پیشبرد توسعه فناوری‌های نوین و حل مشکلات زیست‌محیطی این صنعت داشته باشد و در این مسیر دست تمامی علاقه‌مندان را به گرمی می‌فشارد.

عبداله مصطفایی

گروه محیط‌زیست

تکنولوژی اسمز مستقیم، روشی جدید برای استفاده مجدد از فاضلاب‌های نیروگاهی

نویسنده: پیمان پورمقدم¹

چکیده: به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید غشایی به‌منظور استفاده مجدد از فاضلاب نیروگاه می‌تواند علاوه بر تأمین بخش قابل‌توجهی از آب موردنیاز نیروگاه‌ها، در زمینه حفاظت از محیط‌زیست نیروگاه‌ها نیز تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. از جمله این فرآیندهای جدید می‌توان به فرآیندهای جداسازی غشایی اسمز مستقیم (FO) و سیستم‌های ترکیبی FO/RO و سیستم‌های نوین تقطیر غشایی FO/MD اشاره نمود. محدوده و نوع شوری آب‌های بازیابی‌شده در این روش‌ها بسیار گسترده بوده به‌گونه‌ای که تصفیه و استحصال آب از فاضلاب‌های بسیار شور واحدهای سولفورزدایی، دورریز سیستم اسمز معکوس و بلودان برج‌های خنک‌کن را می‌توان از کاربردهای این روش‌ها در صنعت برق عنوان کرد. در این مقاله شرح مختصری از این روش نوین تصفیه فاضلاب به همراه برخی کاربردهای آن ارائه شده است.

کلیدواژه: اسمز مستقیم، بازیابی فاضلاب، اسمز معکوس، بلودان برج تر، فاضلاب‌های نیروگاهی.

مقدمه

اگرچه فرآیند اسمز مستقیم (FO²) هنوز به‌عنوان یکی از روش‌های تجاری تصفیه فاضلاب مطرح نیست، ولی در طی چند سال گذشته به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه محققین و کارشناسان بوده به‌گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود این روش تا قبل از سال 2030 به مهم‌ترین روش مورد استفاده در تصفیه فاضلاب‌های نیروگاهی با هدف به صفر رساندن فاضلاب خروجی از نیروگاه‌ها تبدیل گردد. در مقاله‌ای که در ماه آوریل 2010 در مجله نشنال جئوگرافی منتشر گردید، این روش به‌عنوان یکی از سه گزینه اصلی فناوری‌های آب‌شیرین‌کن جدید مطرح شده است.

1- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: ppourmohaddam@nri.ac.ir

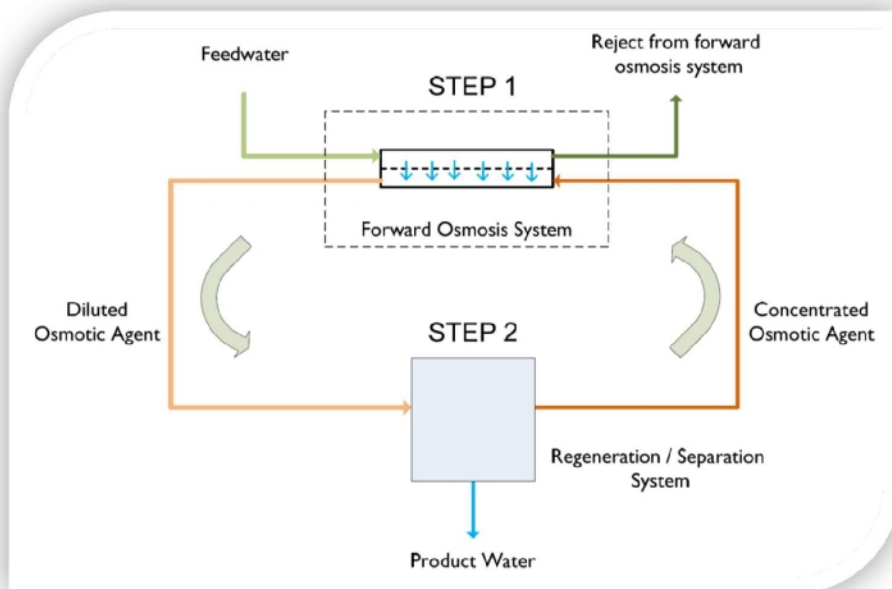
قابلیت به کارگیری این تکنولوژی در کنار تکنولوژی های دیگر تصفیه آب نظیر فرآیند ترکیبی اسمز معکوس - اسمز مستقیم^۱ و فرآیند ترکیبی تقطیر غشایی - اسمز مستقیم^۲ موجب شده تا دامنه کاربرد فرآیند FO افزایش یابد. طبق آمار ارائه شده در سایت SCOPUS، تعداد مقالات منتشر شده در این زمینه در طی ده سال اخیر بیش از ۸۹۵ مقاله بوده است. از این تعداد مقاله ۷۴۶ مقاله در طی سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ منتشر شده است. این امر باعث شده تا رشد این فناوری در سال های اخیر جهش قابل توجهی داشته باشد. ایالات متحده آمریکا با ۲۸۵ مقاله، سنگاپور با ۱۸۸ مقاله، چین با ۱۳۵ مقاله، استرالیا با ۱۱۸ مقاله، کره جنوبی با ۹۸ مقاله و عربستان سعودی با ۴۵ مقاله، شش کشور پیشرو در زمینه تحقیقات این تکنولوژی بوده اند و ایران نیز با ارائه ۱۴ مقاله رتبه ۱۴ را به خود اختصاص داده است [۱]. علاوه بر پیشرفت های دانشگاهی، شرکت ها و سازمان های تجاری نیز به این روش بسیار علاقه نشان داده اند و بودجه قابل توجهی را برای توسعه و بهره برداری از این تکنولوژی اختصاص داده اند که منجر به تأسیس شرکت های تازه بنیانی نظیر Hydration Technology Innovations Inc.، Modern Water plc، Oasys Water Inc. و Statkraft AS & Trevi Systems Inc. شده است [۳].

شرح فرآیند

تولید آب شیرین با استفاده از فرآیند اسمز مستقیم حداقل شامل دو مرحله است. اولین مرحله فرآیند اسمز مستقیم بوده که در آن آب با عبور از غشای نیمه تراوا از فاضلاب به سیال حامل^۳ منتقل می گردد. در مرحله دوم آب جذب شده در سیال حامل جدا سازی شده و به صورت آب نمک زدایی شده از فرآیند خارج می شود. این دو مرحله در شکل (۱) نشان داده شده اند. با توجه به نوع سیال حامل استفاده شده در این

1- FO/RO
2- FO/MD (membrane distillation)
3- Draw Solution

فرآیند، مراحل جانبی دیگری نیز در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند شامل ته‌نشینی، تجزیه حرارتی، جداسازی غشایی و یا جداسازی مغناطیسی باشد.



شکل (1): شمای کلی فرآیند اسمز مستقیم [3]

این فرآیند برای تصفیه فاضلاب‌های لب شور تا بسیار شور کاربرد دارد. در صنعت برق و نیروگاه‌ها نیز می‌توان از این روش برای تصفیه پساب‌های مختلف نیروگاهی، نظیر فاضلاب‌های سیستم سولفورزدایی FGD و همچنین بازیابی بلودان برج‌های خنک‌کننده استفاده نمود. در ادامه برخی از کاربردهای این روش در نیروگاه‌ها ارائه شده است.

فرآیند اسمز مستقیم با استفاده از چرخه بازیابی حرارتی

مرحله دوم فرآیند شکل (۱) می‌تواند یک فرآیند تبخیری نظیر تقطیر چندمرحله‌ای MED¹ یا تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای MSF¹ باشد که در طی آن با تبخیر آب از سیال حامل، علاوه بر جداسازی آب، غلظت

املاح در سیال حامل نیز بالا رفته که موجب بازیابی آن می شود. برخی از مزایای این فرآیند عبارت اند از: کاهش ایجاد رسوب در تجهیزات تبخیرکننده و افزایش انتقال حرارت ناشی از آن و بالا رفتن راندمان بازیابی آب.

روش دیگری که می توان به این منظور به کار برد، استفاده از نمک های تجزیه شونده حرارتی^۲ است که در حضور حرارت تجزیه شده و به صورت گازهای فرار از سیال حامل جدا می شوند. نمک تولید شده از واکنش CO_2 و NH_3 در محیط آبی نمونه ای از این نمک ها بوده که توسط McCutcheon و همکارانش به کار گرفته شده و نتایج موفقیت آمیزی را به همراه داشته است. در شکل (۲) شمای کلی این فرآیند نشان داده شده است. کاربرد این روش که محصول شرکت Oasys است، در تغلیظ فاضلاب های نمکی غلیظ نظیر فاضلاب های تولید شده از سیستم های سولفورزدایی FGD نیروگاه هاست [۲].

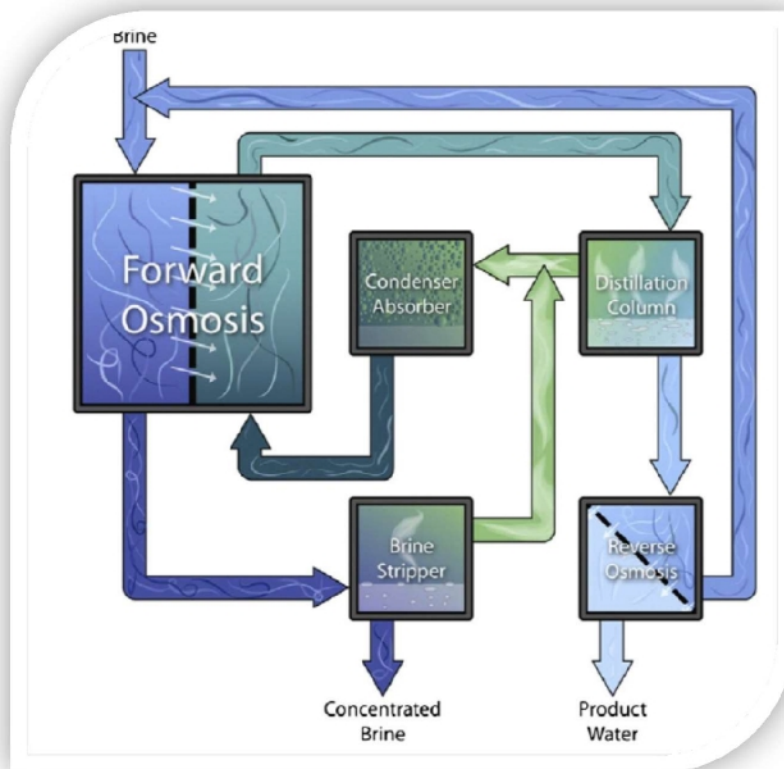
استفاده از تجزیه حرارتی این امکان را فراهم می آورد تا با استفاده از یک محلول دارای فشار اسمزی بسیار بالا، جداسازی آب را از فاضلاب های بسیار شور انجام داد. با توجه به اینکه بازیابی سیال حامل در این روش به صورت حرارتی صورت می گیرد، دیگر نیازی به استفاده از فشارهای خیلی بالا (نظیر آنچه در اسمز معکوس مورد نیاز است) برای جداسازی آب از سیال حامل نیست.

مزیت بسیار مهم این فرآیند دمای عملیاتی پایین آن بوده، به گونه ای که با حرارت دهی تا دمای ۷۰ درجه سانتی گراد نمک های موجود در آب تجزیه شده و به صورت گاز جداسازی شده و به چرخه تولید بازگشت داده می شوند. مزیت دیگر این روش، قابلیت استفاده از انرژی های مازاد حرارتی موجود در نیروگاه ها به عنوان انرژی لازم در بازیابی سیال حامل است که موجب کاهش هزینه های عملیاتی این روش می گردد

[۳]. شایان ذکر است که قرارداد ساخت اولین واحد از این فرآیند، برای تصفیه و بازیابی $650 \text{ m}^3/\text{day}$ آب

از فاضلاب تولیدشده واحد FGD نیروگاه Changxing در استان Zhejiang چین در سپتامبر ۲۰۱۴ توسط

شرکت Oasys بسته شده است [۴].



شکل (۲). شمای کلی فرآیند اسمز مستقیم با استفاده از چرخه بازیابی حرارتی نمک‌های تجزیه‌شونده [۳]

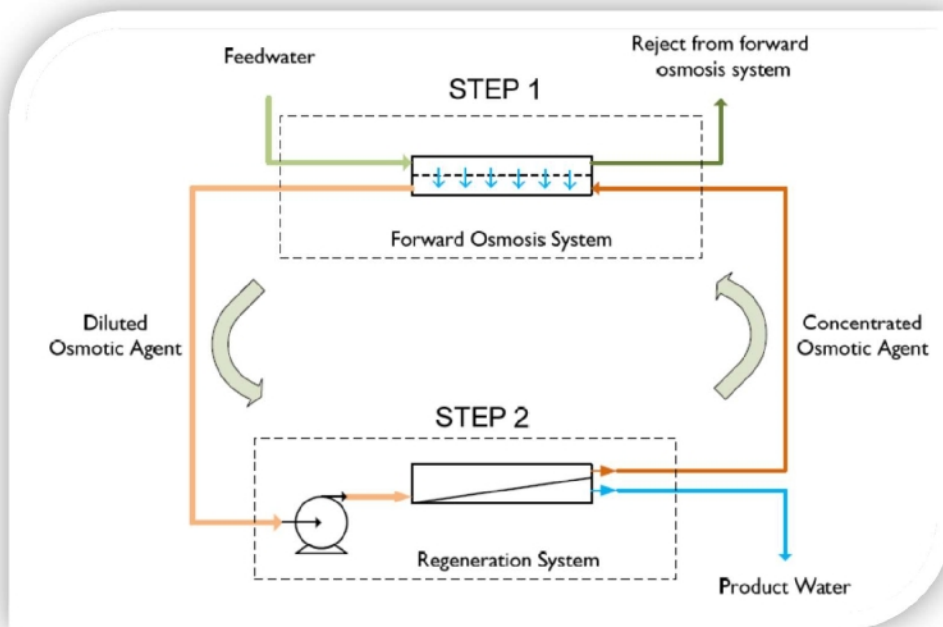
فرآیند اسمز مستقیم با استفاده از اسمز معکوس

استفاده از اسمز معکوس (RO^1) در فرآیند اسمز مستقیم نسبت به دیگر انواع این روش دارای سابقه

طولانی‌تری بوده و نمونه‌های زیادی از آن به منظور نمک‌زدایی، تغلیظ محلول‌های صنعتی و در بیوراکتورها

ساخته و بهره‌برداری شده است. در این فرآیند در مرحله دوم جداسازی از فرآیند اسمز معکوس برای

جداسازی آب و تغلیظ سیال حامل استفاده می‌شود. (شکل (۳))



شکل (۳): شمای کلی فرآیند ترکیبی اسمز مستقیم/ اسمز معکوس [FO/RO] (۳)

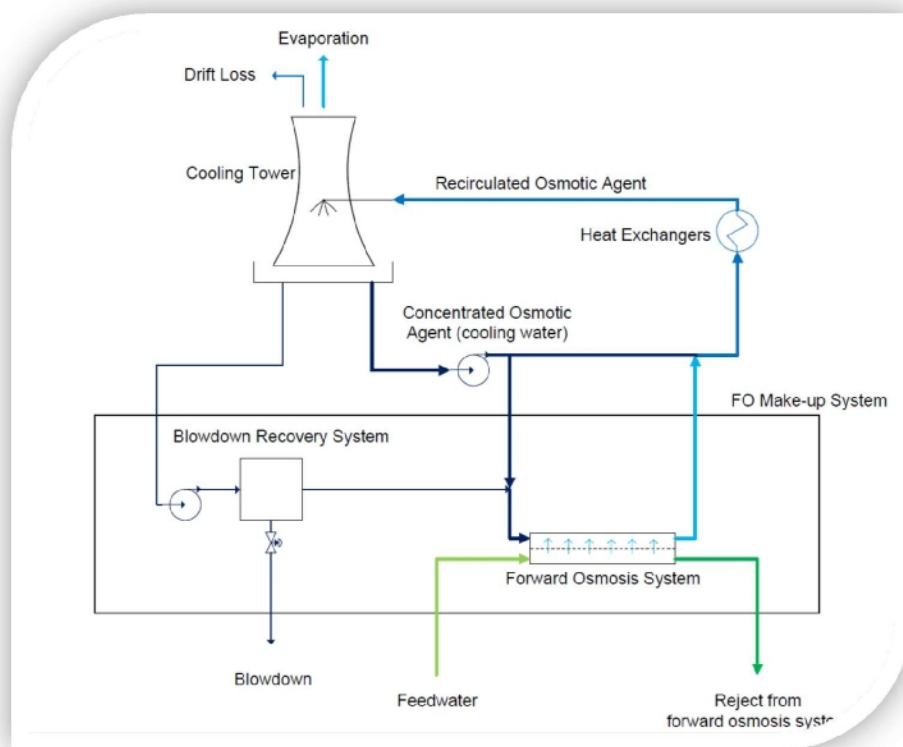
مهم‌ترین مزیت این روش ترکیبی نسبت به روش اسمز معکوس تمایل کمتر رسوب‌گذاری و ایجاد گرفتگی آن است. به‌طورکلی با توجه به فشار پایین عملیاتی در مرحله اول فرآیند (مرحله اسمز مستقیم) تمایل به ایجاد رسوب در این مرحله بسیار کم بوده و بخش عمده‌ای از ترکیبات رسوب‌زا در این مرحله از فرآیند جداسازی و حذف می‌گردند. در نتیجه در مرحله دوم فرآیند (RO) سیال حامل فاقد بسیاری از ترکیبات رسوب‌زا بوده که منجر به کاهش گرفتگی در این مرحله می‌شود. تاکنون سه واحد از این نوع آب‌شیرین‌کن‌های FO/RO در خاورمیانه و جبل‌الطارق ساخته و مورد استفاده قرار گرفته است.

کاربرد فرآیند اسمز مستقیم در تأمین آب جبرانی برج‌های خنک‌کننده‌تر

مصرف زیاد آب در برج‌های خنک‌کن‌تر نیروگاه‌ها که ناشی از فرآیند تبخیر، خروج قطرات ریز آب همراه هوا و دورریز مقادیر قابل توجهی بلودان است، این برج‌ها را نیازمند جایگزینی مقادیر بالایی آب باکیفیت به‌جای این آب‌های ازدست‌رفته می‌کند. تهیه و تأمین آب جبرانی برج‌های خنک‌کننده با استفاده از

فرآیندهای آب‌شیرین‌کن معمولی تأمین می‌شود. از آنجاکه آب چرخشی برج‌ها دارای میزان بالایی املاح است، می‌توان از آن به‌عنوان سیال حامل در فرآیند اسمز مستقیم استفاده نمود. فرآیندی که به این منظور پیشنهاد شده، مطابق شکل (۴) است.

انرژی موردنیاز برای این نوع سیستم تأمین آب جبرانی در مقایسه با روش‌های معمول تجاری نظیر RO بسیار کم بوده که این امر ناشی از میل طبیعی آب به عبور از غشای نیمه‌تراوا و فشار پایین این فرآیند در مقایسه با فرآیند RO است.



شکل (۴): به‌کارگیری روش اسمز مستقیم در تأمین آب جبرانی برج‌های خنک‌کن‌تر نیروگاهی

مراجع

- [1] Citations to the "Forward osmosys" scopus Analyze search results
<http://www.scopus.com/>.2015/08/25.
- [2] Fahey,Jonathan, Contributor. "Electricity By Osmosis".
<http://www.forbes.com/2009/09/17/water-electricity-oasys-technology-breakthroughs-osmosis.html>
- [3] Nicoll, Peter G. "FORWARD OSMOSIS: A BRIEF INTRODUCTION."The International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse 2013 Tianjin, China REF: IDAWC/TIAN13-445.
- [4] Oasys Water's FO technology to treat Chinese power plant's wastewater. Elsevier, Pump Industry Analyst, September 2014.



آشنایی با انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

انجمن علوم مهندسی منابع آب ایران به منظور گسترش، پیشبرد و ارتقای علم و توسعه کمی و کیفی نیروهای متخصص و بهبود بخشیدن به امور آموزشی و پژوهشی در زمینه‌های مربوط، تشکیل شده است. مؤسسه‌ای غیرانتفاعی است و در زمینه‌های علمی و پژوهشی و فنی فعالیت می‌کند.

وظایف و فعالیت‌ها:

- ❖ ایجاد و تحکیم روابط علمی و تحقیقاتی در سطح ملی و بین‌المللی بین محققان و متخصصان که به‌گونه‌ای با علم مهندسی منابع آب سروکار دارند؛
- ❖ همکاری با نهادهای اجرایی، علمی و پژوهشی در زمینه علمی موضوع فعالیت انجمن؛
- ❖ ترغیب و تشویق پژوهشگران و تجلیل از محققان و استادان ممتاز؛
- ❖ ارائه خدمات آموزشی و پژوهشی و فنی؛
- ❖ برگزاری گردهمایی‌های علمی در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی؛
- ❖ انتشار کتب و نشریات علمی.

این انجمن دارای سه کمیته تخصصی آب و محیط‌زیست، مدیریت منابع آب و هیدرولوژی بوده و ناشر مجله منابع آب ایران نیز است. هدف اصلی آن از انتشار مجله، فراهم نمودن فضایی برای تبادل اطلاعات و نتایج پژوهش‌های علمی، فنی و تخصصی میان استادان، دانشمندان و مهندسين ایرانی و همچنین جوامع علمی و حرفه‌ای ملی و بین‌المللی و اعتلای سطح دانش در زمینه علوم و مهندسی منابع آب است. این مجله تلاش می‌کند مجموعه‌ای مفید و مورد استفاده در اختیار پژوهشگران، استادان، دانشجویان و کارشناسان بخش‌های دولتی و خصوصی علوم و مهندسی آب قرار دهد. مجله از بدو انتشار موفق به دریافت مجوز علمی - پژوهشی از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری شده و به‌صورت منظم با توالی سه شماره در سال منتشر می‌شود. برای آشنایی بیشتر با این انجمن می‌توان به وب‌سایت <http://www.iranwra.com> مراجعه نمود.

پروژه آلام، انقلاب جدید در نیروگاه‌های برق فاقد آلاینده

نویسنده: پیمان پورمقدم^۱

چکیده: چرخه آلام^۲ یکی از روش‌های نوین تولید برق با قابلیت کاهش تولید گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و حذف دیگر آلاینده‌ها از نیروگاه‌های برق بوده که علاوه بر تولید برق پاک هزینه‌های تولید را نیز کاهش می‌دهد. در این مقاله، پیشرفت‌های صورت‌گرفته در این زمینه تشریح و چرخه ترمودینامیکی این فرآیند با چرخه ترمودینامیکی روش‌های سنتی تولید برق مقایسه شده است.

کلیدواژه: پروژه آلام، کاهش گاز گلخانه‌ای، اکسی فیول، تولید CO₂، حذف انتشار آلاینده.

مقدمه

با وجود پیشرفت‌های اخیر در کاهش تولید گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و دیگر آلاینده‌ها از نیروگاه‌های برق، تولید برق پاک و ارزان با قابلیت تولید مطمئن انرژی در زمان اتصال به شبکه توزیع تاکنون امری دشوار بوده است. روش‌های سنتی تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی مانند نیروگاه‌های سیکل ترکیبی گاز طبیعی^۳، سیکل ترکیبی یکپارچه^۴ و احتراق فوق بحرانی زغال‌سنگ^۵، از نظر راندمان تولید انرژی دارای محدودیت‌های نظری و عملی بوده و علاوه بر این، نصب سیستم‌های کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی نظیر سیستم‌های سنتی و نوین جذب CO₂ پس از فرآیند احتراق^۶، انرژی بر و پرهزینه هستند.

۱- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: ppourmoghaddam@nri.ac.ir

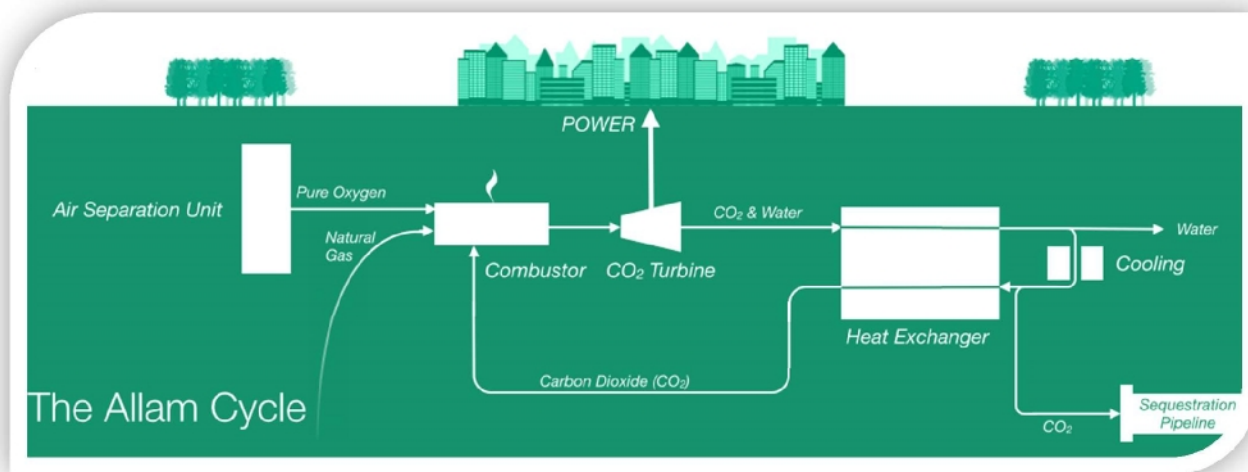
2- Allam Cycle
3- Natural gas combined cycle
4- Integrated combined cycle
5- Supercritical coal
6- Post-combustion carbon capture equipment

چرخه آلام

اخیراً شرکت NET Power با ارائه سیکل ترمودینامیکی جدیدی با عنوان چرخه آلام، فرآیندی جدید در احتراق گاز طبیعی به روش "احتراق سوخت با اکسیژن خالص به جای هوا"^۱ را به صورت طرحی تجاری عرضه کرده است.

در این روش علاوه بر قابلیت تولید برق ارزان در مقایسه با روش‌های سنتی تولید برق، تولید گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر نیز به صفر کاهش یافته است.

شماتیک کلی این چرخه در شکل (۱) نمایش داده شده است. طراحی چرخه آلام بر پایه احتراق جریان فشار بالای oxy-fuel و افزودن جریان CO₂ فوق بحرانی به عنوان جریان بازگشتی به محفظه احتراق است. گازهای تولیدشده از احتراق در این فرآیند تنها شامل CO₂ و آب هستند.



شکل (۱). چرخه آلام

1- oxy-fuel

اکسیژن مورد استفاده در فرآیند احتراق در واحد جداسازی هوا به صورت خالص تولید و همراه با گاز طبیعی به محفظه احتراق تزریق می شود. به منظور بازیابی انرژی حرارتی، بخشی از CO_2 خروجی از انتهای فرآیند به صورت جریان بازگشتی فوق بحرانی به محفظه احتراق بازگردانده می شود. گازهای تولید شده در محفظه احتراق که شامل آب و CO_2 فوق بحرانی هستند، پس از خروج از محفظه به توربین گازی CO_2 و پس از تولید برق به مبدل بازیاب منتقل می شوند. مبدل بازیاب وظیفه بازیابی حرارت همراه گاز خروجی از توربین را بر عهده دارد. گرمای حاصل از این مبدل صرف گرم کردن جریان CO_2 بازگشتی و ایجاد یک سیکل بسته انرژی می گردد که این امر موجب بالا بردن راندمان تولید این چرخه نسبت به روش های سنتی تولید برق شده است [۱].

بخار آب جریان ورودی به مبدل بازیاب پس از خروج از این مبدل به صورت آب کندانس شده و از جریان گاز جدا می شود. کیفیت آب تولیدی با توجه به عدم وجود املاح، بالا بوده و می تواند به عنوان خوراک واحدهای آب مقطر سازی استفاده شود.

در انتهای فرآیند، CO_2 تولید شده پس از خنک سازی توسط خطوط لوله برای استفاده به مراکز مصرف منتقل می شود. نکته قابل ملاحظه در این روش علاوه بر به صفر رسیدن تولید گازهای آلاینده، بازیابی تمامی CO_2 تولید شده بدون نیاز به نصب واحدهای جداسازی و صرف هزینه ناشی از آن است.

مقایسه چرخه آلام با روش های سنتی تولید برق

یکی از مشکلات موجود در به کارگیری سیکل های سنتی تولید برق، استفاده از بخار به عنوان سیال عامل و کارایی کم این سیال در چرخه تولید است. این بدان علت بوده که بخار خروجی از توربین ها به ناچار باید

پس از خروج از توربین تغییر فاز داده و میعان گردد. در طی این تغییر فاز، بخش عمده‌ای از گرمای سیال عامل توسط برج‌های خنک‌کن گرفته شده و به اتمسفر منتقل می‌شود که این امر منجر به افت 30 الی 40 درصدی راندمان در سیکل‌های سنتی تولید برق شده است. برخلاف این نوع سیکل‌ها، در چرخه آلام، CO₂ تولیدشده پس از خروج از توربین بازیافت شده و به صورت بازگشتی در چرخه تولید برق به کار گرفته می‌شود و نقش سیال عامل را در چرخه آلام ایفا می‌نماید. مزیت استفاده از CO₂ در فشار بالا را می‌توان عدم نیاز به تغییر فاز و به طبع آن جلوگیری از هدررفت انرژی به محیط‌زیست برشمرد.

چرخه تولید و بازیابی و بازگشت CO₂ به محفظه احتراق موجب شده تا بیشتر حرارت تولیدی از احتراق در چرخه تولید برق استفاده شود به گونه‌ای که می‌توان با مصرف میزان کمتری سوخت به دمای عملیاتی موردنیاز توربین دست یافت. همچنین خروجی از این فرآیند به طور طبیعی فشار بالایی داشته و در این روش، برخلاف فرآیندهای سنتی جداسازی CO₂ که نیازمند فشرده‌سازی هستند، CO₂ بدون نیاز به صرف انرژی اضافی قابل انتقال است.

طرح ساخت اولین نیروگاه oxy-fuel بر پایه چرخه آلام

طرح ساخت اولین نیروگاه گازسوز oxy-fuel که چرخه فرآیندی آن فاقد تولید گازهای گلخانه‌ای است اولین بار توسط شرکت NET در کارولینای شمالی در سال 2012 ارائه شد. طراحی انجام‌شده برای این نیروگاه بزرگ‌ترین پیشرفت در تولید انرژی پس از ابداع توربین گازی سیکل ترکیبی عنوان شده است [2].

پروژه ساخت اولین نیروگاه از این نوع با اختصاص بودجه لازم برای اجرای آن در 15 اکتبر 2014 توسط شرکت NET بسته شد. طی این قرارداد، طرح احداث اولین نیروگاه از این نوع با هدف نشان دادن کارایی عملکرد آن با ظرفیت 50 مگاوات در تگزاس در حال ساخت است. بودجه در نظر گرفته شده برای این طرح

۱۴۰ میلیون دلار بوده که شامل هزینه‌های مهندسی فرآیند، مهندسی ساخت، تدارکات و ساخت، عملیات تست و بهره‌برداری واحد شده و توسط شرکت‌های Exelon Corp. و CB & I تأمین مالی شده است. شرکت توشیبا، یکی از شرکای انجام این پروژه، در چندین سال گذشته طراحی توربین فوق بحرانی CO₂ این پروژه را به عهده داشته و عملیات ساخت آن را آغاز کرده است. پیش‌بینی می‌شود عملیات راه‌اندازی این واحد در سال ۲۰۱۶ آغاز و در سال ۲۰۱۷ به‌طور کامل به بهره‌برداری برسد. علاوه بر این طراحی و توسعه مقیاس بزرگ‌تر این نوع نیروگاه به ظرفیت ۲۹۵ MW نیز توسط شرکت NET در دست اقدام است.

مراجع

- [1] Netpower, Web Address: <http://www.netpower.com/technology/>.2015/02/18.
- [2] Overton, Thomas. "Zero-Emission Gas Plant Project Closes Funding", Web Address: <http://www.powermag.com/zero-emission-gas-plant-project-closes-funding/?printmodc=1>. 2014/10/17.

امکان‌سنجی طرح جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گاز دی‌اکسید کربن

پژوهشگاه صنعت نفت، طرح جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گاز دی‌اکسید کربن (CCS) را همسو با برنامه ششم توسعه شرکت ملی نفت ایران با هدف ازدیاد برداشت در صنعت نفت امکان‌سنجی می‌کند. به گزارش شانا، این طرح با توجه به پیگیری موضوع «کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله جمع‌آوری، انتقال و ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن» در برنامه ششم توسعه شرکت ملی نفت با حمایت مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی این شرکت دنبال می‌شود.

بر این اساس مقرر شد پژوهشگاه صنعت نفت پیشنهاد پروژه فاز صفر طرح مبنی بر امکان‌سنجی اجرای طرح CCS را با هدف ازدیاد برداشت در صنعت نفت تهیه کند و با مشخص شدن نتایج پروژه فاز صفر، اقدام‌های لازم برای عملیاتی کردن اجرای طرح صورت پذیرد.

با وجود حجم بالای تولید گازهای اسیدی و در نتیجه پتانسیل بالای کاهش نشر این گازها در صنایع نفتی، می‌توان با ایفای نقش راهبردی در این حوزه، فرصتی مناسب برای کشور ایجاد کرد تا با استفاده از فناوری مرتبط با مدیریت کربن، به‌ویژه جمع‌آوری، انتقال و تزریق به مخازن نفتی (CCS)، با افزایش تولید نفت توان رقابتی کشور را در میان کشورهای صادرکننده نفت افزایش داد و سود اقتصادی بالایی را تضمین کرد.

منابع عمده انتشار گاز دی‌اکسید کربن، دودکش نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌های نفت و گاز (بزرگ‌ترین منابع انتشار) و همچنین واحدهای فرآورش گاز (مخازن نفت و گاز ترش) هستند. جداسازی گاز دی‌اکسید هزینه کمی دارد و می‌توان به‌جای رهاکردن در اتمسفر آن را در سازنده‌ها و ساختارهای مناسب زیرزمینی مانند چاه‌های نفت و گاز تزریق کرد. دستیابی ایران به فناوری‌های جمع‌آوری، انتقال و تزریق گاز دی‌اکسید کربن هم سبب افزایش توانمندی فناوری‌های داخلی کشور می‌شود و هم یک امتیاز بین‌المللی برای ایران است. نتیجه این طرح دستیابی به فناوری‌های کاهش انتشار و همچنین فراهم کردن زمینه‌های اجرای موفق جمع‌آوری و تزریق گازهای اسیدی مانند دی‌اکسید کربن در مخازن نفتی است.

اهداف بومی کردن در این طرح شامل دستیابی به فناوری‌های جداکردن گاز دی‌اکسید کربن از جریان‌ات گازی به همراه ایجاد توان داخلی در طراحی و اجرای همه قسمت‌های این پروژه، اعم از بالادست و پایین دست است.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند جذب CO_2 از دود نیروگاه‌ها با استفاده از

محلول MEA در تماس‌دهنده غشایی

نویسندگان: الهام گروهی^۱، پیمان پورمقدم^۲

چکیده: CO_2 به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در گرمایش جهانی و تخریب لایه ازن مطرح است که به‌طور عمده در نیروگاه‌های سوخت فسیلی تولید می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، مدل‌سازی فرآیند حذف CO_2 با استفاده از تماس‌دهنده‌های غشایی و تعیین مؤلفه‌های مؤثر در شبیه‌سازی این تماس‌دهنده‌ها است. در آزمایش‌های انجام‌شده، از حلال MEA^3 و غشاهای الیاف توخالی پلی‌پروپیلن استفاده شده است. این آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و در شرایط مختلفی از شدت جریان‌های جاذب و دود و دما انجام شده‌اند. شبیه‌سازی جرم، مومنتوم و واکنش‌های جذب در نرم‌افزار Comsol انجام شده و نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تجربی صحت‌سنجی شده است.

کلیدواژه: تماس‌دهنده غشایی، جذب CO_2 ، الیاف توخالی، دودکش نیروگاه.

مقدمه

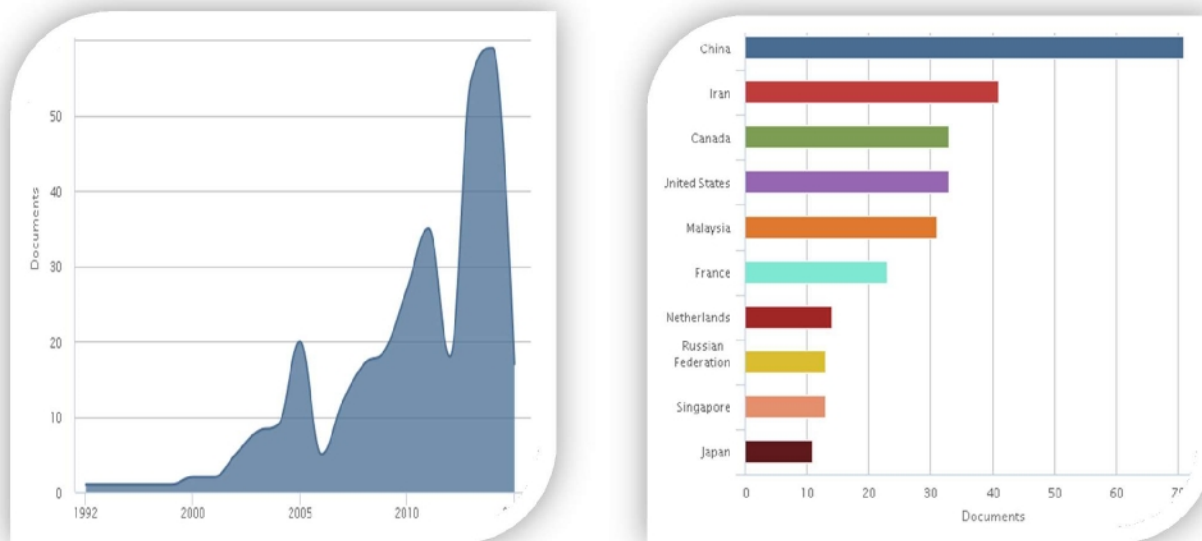
از آنجایی که گام برداشتن در راستای تکنولوژی‌های جدید برای حذف CO_2 از اولویت‌های تحقیقاتی برق ایران است، بررسی روش‌های نوین حذف CO_2 با هزینه سرمایه‌گذاری کمتر، انرژی مصرفی پایین‌تر و بازدهی بالاتر نسبت به روش‌های سنتی در صنعت نیروگاهی ایران اهمیت بسیاری دارد. یکی از فرآیندهای پیشرو در این زمینه، استفاده از تماس‌دهنده‌های غشایی^۴ برای جداسازی گازهای آلاینده و به‌خصوص جذب CO_2 از دود دودکش است که در یک دهه اخیر مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. طبق آمار ارائه‌شده در سایت SCOPUS، ۳۱۵ مقاله در زمینه استفاده از تماس‌دهنده‌های غشایی برای جداسازی

1- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Egorouhi@nri.ac.ir

2- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: ppourmoghaddam@nri.ac.ir

3- Mono-Ethanol Amine
4- Membrane Contactors

CO₂ تا اواسط سال ۲۰۱۵ ارائه شده و نرخ ارائه این مقالات در سال‌های اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است. نکته قابل توجه در این زمینه رتبه بالای تحقیقات صورت‌گرفته محققین ایرانی در این زمینه بوده که رتبه دوم جهانی را پس از چین به خود اختصاص داده و بستر علمی لازم برای رشد این تکنولوژی در داخل کشور را فراهم نموده است. (شکل (۱))



شکل (۱). مطالعات صورت‌گرفته در زمینه استفاده از تماس‌دهنده‌های غشایی برای جداسازی CO₂

تا اواسط سال ۲۰۱۵ [۲]

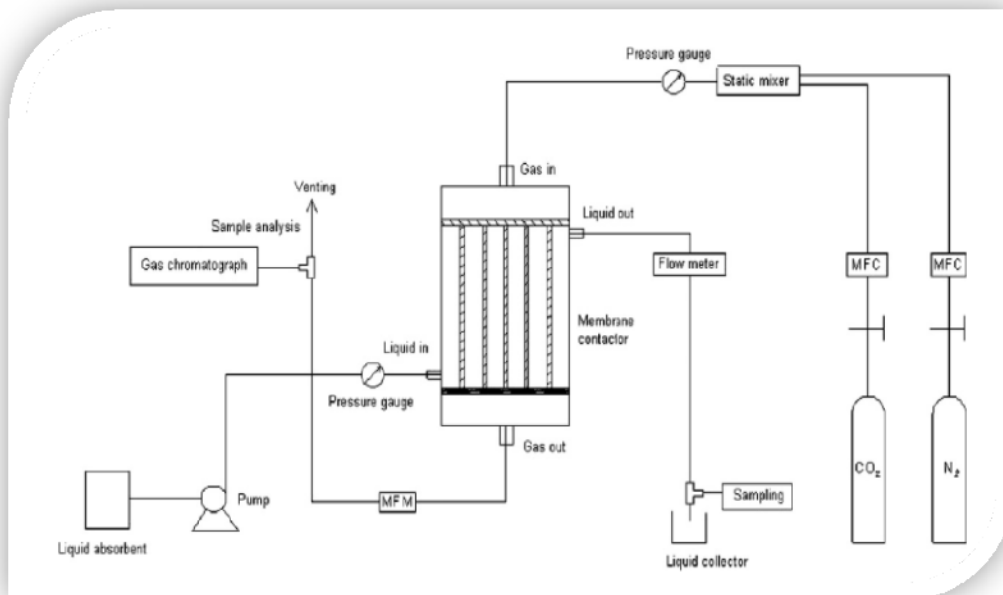
تشریح سیستم آزمایشگاهی تماس‌دهنده غشایی جذب CO₂

تماس‌دهنده غشایی مورد استفاده در انجام تست‌های آزمایشگاهی یک ماژول فلزی متشکل از ۸۰ رشته غشای هالوفایبر از جنس پلی‌پروپیلن بوده و مشخصات کلی این تماس‌دهنده در جدول (۱) ارائه شده است. طرح شماتیکی از پایلوت آزمایشگاهی فرآیند جذب CO₂ در شکل (۲) نمایش داده شده است. خوراک مورد استفاده برای این آزمایش دود شبیه‌سازی شده دودکش نیروگاه طرشت بوده که از ترکیب CO₂، N₂ و O₂ با درصد جرمی ۶:۱۶:۷۸ تولید شده است. مونواتانول‌آمین (MEA) مورد استفاده دارای خلوص ۹۹/۵٪

بوده و از انحلال آن در آب، محلولی با غلظت 1 mol/L تهیه می‌گردد که به‌عنوان حلال در فرآیند جذب CO_2 مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم گاز از درون غشا و مایع در قسمت پوسته ماژول به‌صورت Counter current جریان می‌یابند.

جدول (1): مشخصات کلی ماژول آزمایشگاهی

پارامتر	مقدار
قطر ماژول	0.1023 m
تعداد غشا	۸۰
جنس غشا	پلی پروپیلن
شعاع متوسط مرکز به مرکز دو غشا	0.00417 m
طول غشا	۱ متر
قطر داخلی غشا	$350 \mu\text{m}$
قطر خارجی غشا	$400 \mu\text{m}$
غلظت آمین	۰/۵ مولار



شکل (2): طرح شماتیک سیستم تماس دهنده غشایی

مدل‌سازی تماس‌دهنده‌های غشایی

مدل‌سازی فیزیکی و شیمیایی تماس‌دهنده‌های غشایی می‌تواند در سطوح مختلفی از قبیل سطح نانو (مدل‌سازی شیمیایی و نفوذ مولکولی)، سطح میکرو (برای مدل‌سازی یک غشا به‌تنهایی)، سطح سانتیمتر و متر (برای مدل‌سازی ماژول) و سطح سیستم انجام شود. با توجه به این گستردگی، به‌دست آوردن مدلی که بتواند تمامی مقیاس‌ها را شامل شود، از دید نظری و عملی و با توجه به سخت‌افزارهای موجود تقریباً ناممکن است. در این تحقیق یک مدل تفصیلی و دقیق برای تحلیل یک‌رشته غشا از نقطه‌نظر میزان و سرعت نفوذ اجزا در فاز گاز و داخل غشا و همچنین نفوذ و انجام واکنش‌های شیمیایی در فاز آبی ارائه گردید و نتایج حاصل از این مدل به ماژول‌های غشایی چند صد رشته‌ای تعمیم‌داده شده است.

مدل به‌کار گرفته شده در شبیه‌سازی از سه فاز گاز، غشا و حلال تشکیل شده است به‌گونه‌ای که سیال گاز از درون غشا جریان یافته و CO₂ پس از نفوذ به جداره غشا به داخل آن نفوذ می‌نماید. جریان فوق پس از رسیدن به سطح خارجی غشا در حلال آب و MEA که در خارج غشا جریان دارند، حل شده و طی فرآیند نفوذ و جابجایی از سیستم خارج می‌گردد. با توجه به شکل خاص مسئله و دارا بودن تقارن محوری، می‌توان شکل سه‌بعدی مسئله را توسط مدل دوبعدی 2D Axial Symmetry مدل‌سازی نمود.

از آنجاکه قطر غشا کم است، جریان گاز عبوری از داخل غشا به‌صورت آرام و کاملاً توسعه‌یافته بوده و از فرم سهمی‌گون¹ تبعیت می‌نماید. این در حالی است که جریان سیال در خارج غشا دارای فرم پیچیده‌تری است. قطر خارجی این کانال (r_3) را می‌توان از روابط زیر تعیین نمود [4]:

$$r_3 = \sqrt{\left(\frac{1}{1-\phi}\right)} \times r_2 \quad (1)$$

$$1 - \phi = \frac{n \times r_2^2}{R_m} \quad (2)$$

در این دو معادله R_m شعاع مازول و r_2 شعاع خارجی غشا هستند.

انتقال جرم اجزا در داخل غشا و همچنین در حلال توسط فرآیند نفوذ و جابجایی انجام می‌گیرد. این در حالی است که انتقال جرم در داخل غشا تنها به صورت نفوذ است. در هر یک از فازها معادلات انتقال جرم زیر صادق هستند:

$$\nabla \cdot (-D \nabla C_i + C_i \times u) = 0 \quad (3) \text{ داخل غشا}$$

$$\nabla \cdot (-D_m \nabla C_i) = 0 \quad (4) \text{ غشا}$$

$$\nabla \cdot (-D \nabla C_i + C_i \times u) = R_i \quad (5) \text{ خارج غشا}$$

در این معادلات C_i برابر غلظت اجزا، D ضریب نفوذ، و D_m ضریب نفوذ ویژه، u برابر بردار سرعت و R_i عبارت مربوط به تولید و یا مصرف هر یک از اجزا در واکنش است.

جریان سیال گاز عبوری از داخل غشا آرام بوده و با استفاده از معادله سهموی زیر تعیین می‌گردد [۱]:

$$v^z = v_{\max} \times \left(1 - \left(\frac{r}{R_1} \right)^2 \right) \quad (6)$$

در این رابطه v_{\max} ، برابر بیشترین سرعت عبور سیال از داخل غشا است. همچنین می‌توان جریان مایع در بخش پوسته را بر اساس مدل همپل و از رابطه زیر تعیین نمود [۴]:

$$v^z = 2 \times V_{ins} \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^2 \right) \left[\frac{\left(\frac{r}{r_3} \right)^2 - \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^2 + 2 \times \log \left(\frac{r_2}{r} \right)}{3 + \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^4 - 4 \times \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^2 + 4 \times \log \left(\frac{r_2}{r_3} \right)} \right] \quad (7)$$

در این رابطه v_{ins} سرعت ورود سیال است.

جرم مولکولی متوسط اجزا در هر یک از فازها به صورت زیر تعیین می‌شوند که X_j جزء مولی اجزا و M_j جرم مولکولی هر جزء است:

$$M = \sum_{j=1}^k x_j M_j \quad (8)$$

همچنین با ایده‌آل فرض نمودن فاز گاز، دانسیته و غلظت اجزای این فاز را می‌توان به صورت زیر تعیین کرد:

$$f = \frac{pM}{RT} \quad (9)$$

$$C_i = \frac{P_i}{RT} \quad (10)$$

مشخصات سینتیکی و پارامترهای انتقال

داده‌های ضریب نفوذ دوتایی مایعات استفاده‌شده در مدل‌سازی‌ها از رابطه Siddiqi-Lucas تخمین زده شده اند [3].

$$D_{AB} = 2.98 \times 10^{-7} \times v_A^{-0.5473} \times \mu_w^{-1.026} \times T \quad \text{Siddiqi-Lucas}$$

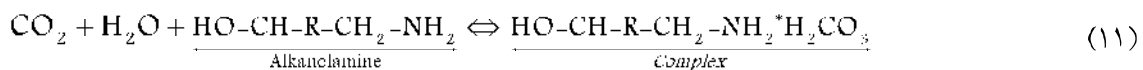
در این رابطه μ برابر ویسکوزیته آب و V_A برابر حجم مولی جزء نفوذکننده است. مقدار V برای CO₂ و MEA به ترتیب برابر $37/3 \text{ cm}^3/\text{Kmol}$ و $60/7 \text{ cm}^3/\text{Kmol}$ است [8]. داده‌های ضریب نفوذ دوتایی فاز گاز نیز از رابطه Brokaw برای مخلوط‌های دوتایی قطبی تخمین زده می‌شود [3].

$$D_{AB} = 0.001858 \times T^{3/2} \times M_{AB}^{1/2} / P \times S_{AB}^2 \times W_D \quad \text{Brokaw}$$

نحوه محاسبه ضرایب معادله فوق در مرجع شماره 3 ارائه شده است [3].

میزان حلالیت آمین در فاز محلول را می توان توسط قانون هنری و با استفاده از معادله $P_{CO_2} = H_e \times C_{CO_2}$ تعیین نمود. در این رابطه فشار جزئی دی اکسید کربن در فاز گاز، C_{CO_2} برابر غلظت دی اکسید کربن در فاز محلول و H_e نیز ثابت هنری است [۷].

واکنش کلی جذب دی اکسید کربن در فاز آبی به صورت رابطه زیر است:



سرعت واکنش r که به صورت سرعت مولی حذف CO_2 در واحد حجم تعریف می گردد، را می توان بر اساس ثابت واکنش k و غلظت مولی CO_2 و MEA از رابطه $r = k \times C_{CO_2} \times C_{MEA}$ تعیین نمود [۶]. در این

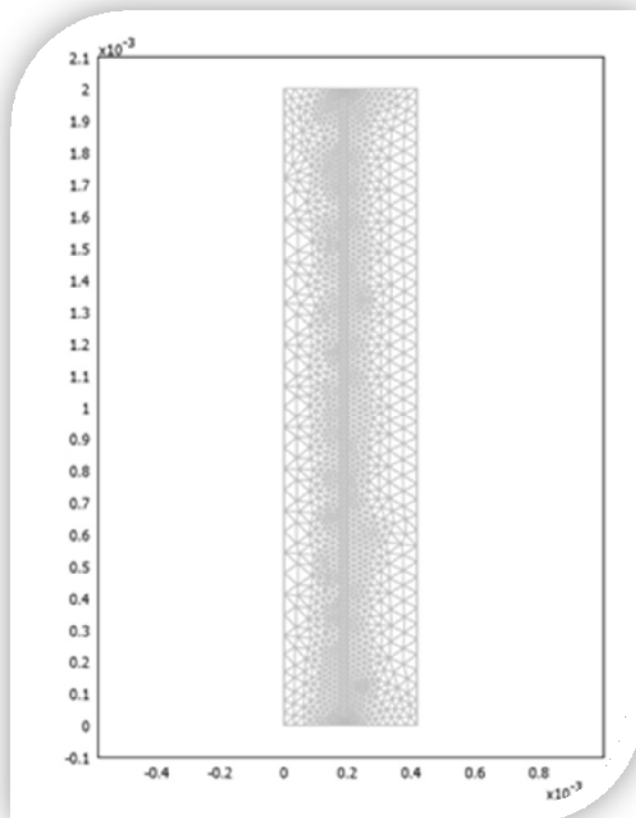
معادله تابعیت دمایی k با استفاده از معادله آرنیوس $k = \exp\left(10.99 - \frac{2152}{T}\right)$ تعیین می شود [۵].

مدل سازی تماس دهنده غشایی

ساختار تماس دهنده غشایی به صورت فیبرهای توخالی استوانه ای شکل بوده که با توجه به تقارن شعاعی و محوری در ساختار آن به صورت دوبعدی^۱ مدل سازی و توسط نرم افزار COMSOL شبیه سازی شده است. شبکه بندی این تماس دهنده از نوع سه گوش^۲ انتخاب شده و سعی شده است تا تعامد و نسبت منظر^۳ در بخش های مختلف فضای شبیه سازی در محدوده قابل قبولی حفظ شود. در شکل (۳) نمای کلی از مش بندی انجام شده بر روی این تماس دهنده ارائه شده است. معادلات حاکم بر بخش های کانال دود و کانال حلال شامل معادلات انتقال جرم و انتقال مومنتوم بوده و برای داخل غشا نیز تنها معادله انتقال جرم در نظر گرفته شده است. در شبیه سازی ها، شرایط مرزی حاکم بر جداره داخلی غشا

1- 2D Axial Symmetry
2- Triangle
3- Aspect Ratio

در نظر $C_{CO_2,1}=P_{CO_2,m}/He$ غشا نیز و شرایط مرزی جداره خارجی غشا نیز $V_z=0$ و $V_r=0$ ، $C_{CO_2,mem}=C_{CO_2,g}$ گرفته شده است.

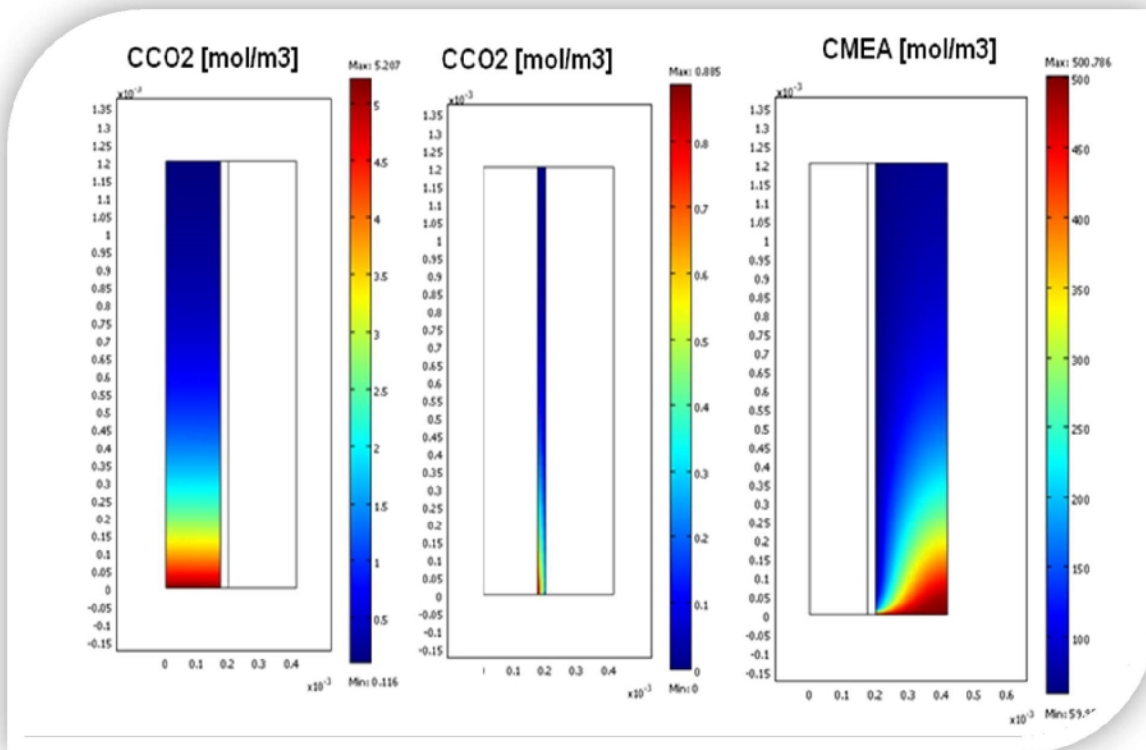


شکل (3): مش‌بندی تماس‌دهنده غشایی

نتایج حاصل از شبیه‌سازی

به منظور بررسی تأثیر سرعت گاز و حلال بر میزان جداسازی، جریان‌های مختلفی از این سیالات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. میزان تغییرات سرعت برای جریان گاز در محدوده ۱-۲/۲m/s و جریان حلال در محدوده ۰/۰۰۷-۰/۰۱۵m/s متغیر در نظر گرفته شده است. با توجه به سرعت‌های فوق، انتقال جرم توسط دو پدیده جابجایی و نفوذ انجام گرفته و دی‌اکسید کربن به سطح غشا انتقال می‌یابد و پس از نفوذ حفره‌ای در سطح و درون حفره‌های غشا به سطح خارجی غشا رسیده و توسط جذب فیزیکی در حلال جذب می‌شود.

در ادامه، دی‌اکسید کربن توسط واکنش شیمیایی با MEA تشکیل کمپلکس داده و از کانال حلال خارج می‌گردد. برای این شبیه‌سازی یک ماژول به طول یک متر با جریان هم‌جهت در نظر گرفته شده است. نمونه‌ای از نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها برای سرعت حلال 0.0086 m/s و سرعت دود 1.19 m/s در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل (۴). تغییرات غلظت CO_2 و MEA در $v_{\text{int}}=1.19 \text{ m/s}$ ، $v_{\text{ins}}=0.0086 \text{ m/s}$

همچنین با انتگرال‌گیری و تعیین متوسط غلظت CO_2 در مرز خروجی کانال دود مشخص گردید که تقریباً بیش از ۹۵٪ دی‌اکسید کربن از فاز گاز جداسازی شده است.

مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها

برای این پایلوت، ۲۰ نمونه آزمایش تجربی برای پنج دمای ۲۳، ۲۸، ۳۵، ۴۲ و $46/7$ درجه سانتی‌گراد در غلظت‌های حلال ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ درصد و برای نسبت $0.16/G$ ، $0.33/G$ ، $0.5/G$ و $0.61/G$ طراحی گردید.

آزمایش‌های تجربی با استفاده از پایلوت نصب‌شده در دانشگاه شریف انجام گرفته که نتایج آن در جدول (2) ارائه شده است. همچنین شبیه‌سازی هر یک از این نقاط آزمایش انجام شد که نتایج آن در جدول مذکور ارائه و با داده‌های واقعی آزمایش‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول (2): شرایط عملیاتی استفاده‌شده در آزمایش‌ها

شماره آزمایش	دما (°C)	غلظت حلال (Vol %)	نسبت L/G	جریان مایع (l/hr)	جریان گاز (l/hr)	درصد جداسازی CO ₂		خطا (%)
						آزمایشگاهی	شبیه‌سازی	
۱	۲۳	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۷۹/۶۳	۶۹/۵	۱۲/۷
۲	۲۸	۰/۰۳	۰/۵	۱۸	۳۶	۷۷/۷۸	۶۴/۴۸	۱۷/۱
۳	۳۵	۰/۰۲	۱/۳	۱۲	۳۶	۶۳/۸۹	۴۹/۴۱	۲۲/۷
۴	۴۲	۰/۰۵	۰/۵	۱۸	۳۶	۸۷/۰۴	۸۰/۳۵	۷/۷
۵	۴۲	۰/۰۳	۰/۱۶	۶	۳۶	۶۴/۸۱	۶۳/۶۰۳	۱/۹
۶	۴۶/۷	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۸۳/۳۳	۷۸/۹۷	۵/۲
۷	۳۵	۰/۰۶	۱/۳	۱۲	۳۶	۹۸/۰۶	۷۸/۳۷	۲۰/۱
۸	۴۲	۰/۰۳	۰/۵	۱۸	۳۶	۷۵/۹۳	۷۲/۱	۵/۰
۹	۳۵	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۷۸/۷۰	۷۵/۰۷	۴/۶
۱۰	۲۸	۰/۰۵	۰/۵	۱۸	۳۶	۸۷/۹۶	۷۴/۹۳	۱۴/۸
۱۱	۳۵	۰/۰۴	۰/۶۱۶	۲۲	۳۶	۸۴/۲۶	۷۳/۵۹	۱۲/۷
۱۲	۲۸	۰/۰۵	۰/۱۶	۶	۳۶	۷۱/۳۰	۷۱/۳۱	۰/۰
۱۳	۴۲	۰/۰۵	۰/۱۶	۶	۳۶	۷۲/۲۲	۸۰/۴۵	۱۱/۴
۱۴	۳۵	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۷۷/۷۸	۷۵/۰۷	۳/۵
۱۵	۳۵	۰/۰۴	۰/۰۴۴	۲	۳۶	۵۶/۴۸	۶۳/۲۸	۱۲/۱
۱۶	۳۵	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۸۱/۴۸	۷۴/۷۷	۸/۲
۱۷	۳۵	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۸۳/۳۳	۷۳/۶۰	۱۱/۷
۱۸	۲۸	۰/۰۳	۰/۱۶	۶	۳۶	۵۳/۷۰	۵۵/۵۳	۳/۴
۱۹	۳۵	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۸۰/۹۳	۷۳/۶۰	۹/۰
۲۰	۳۵	۰/۰۴	۱/۳	۱۲	۳۶	۷۹/۶۳	۷۳/۶۰	۷/۶

با استفاده از داده‌های جدول (2) میانگین درصد خطای داده‌های شبیه‌سازی از داده‌های آزمایشگاهی 9/6 %

محاسبه شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از حلال MEA و تماس‌دهنده‌های حاوی غشاهای الیاف توخالی پلی‌پروپیلن،

آزمایش‌های جذب شیمیایی CO₂ از دود شبیه‌سازی‌شده نیروگاه طرشت در مقیاس آزمایشگاهی و در

شرایط مختلفی از شدت جریان‌های جاذب و دود انجام گرفت. در ادامه روابط حاکم برای میزان و سرعت نفوذ اجزا در فاز گاز و داخل غشا و همچنین نفوذ و انجام واکنش‌های شیمیایی در فاز حلال، ارائه شده و با به‌کارگیری این روابط در نرم‌افزار شبیه‌ساز COMSOL، فرآیند جذب شیمیایی CO₂ در شرایط مختلف عملیاتی برای یک‌رشته غشا شبیه‌سازی شد. در این شبیه‌سازی‌ها، میزان تغییرات سرعت برای جریان گاز در محدوده ۱-۲/۲ m/s و جریان حلال در محدوده ۰/۰۰۷-۰/۰۱۵ m/s متغیر در نظر گرفته شده است. در نهایت در ۲۰ آزمایش مختلف نتایج شبیه‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه و مشخص گردید که خطای شبیه سازی کمتر از ۱۰٪ بوده است.

مراجع

- [1] Bird, R. Byron; Warren E. Stewart and Lightfoot, Edwin N. "Transport phenomena." USA: Madison, 1960.
- [2] Citations to the "CO₂& membrane Contactor separation" scopus Analyze search results <http://www.scopus.com/>, 2015/08/12.
- [3] Green, Don W. "PERRY'S CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK", 8/E SECTION 19 REACTORS (POD). McGraw Hill Professional, 2007.
- [4] Happel, John. "Viscous flow relative to arrays of cylinders." AICHE Journal, 5.2, 1959.
- [5] Hikita, Haruo, et al. "Absorption of carbon dioxide into aqueous monoethanolamine solutions." AICHE Journal, 25.5, 1979.
- [6] K. K. Pant; V. K. Srivastava. "Carbon dioxide absorption into monoethanolamine in a continuous film contactor." Chemical Engineering Journal, 133.1, 2007.
- [7] Maceiras, Rocio; Alvarez, Estrella and Cancela, M. Angeles. "Effect of temperature on carbon dioxide absorption in monoethanolamine solutions." Chemical Engineering Journal, 138.1, 2008.
- [8] Rowley, R. L.; Wilding, W. V. and Oscarson, J. L. "DIPPR Project 801 Data Compilation of Pure Compound Properties." 2005.

Modeling and simulation of CO₂ removal from power plant flue gas by MEA solution in a hollow fiber membrane contactor

Authors: Elham Goruhi and Peyman Pourmoghaddam

Abstract: Carbon dioxide known as one of the main factors of global warming and ozone depletion which mainly produced in fossil fuel power plants. The aim of this study was to model CO₂ removal by absorption process in a membrane contactor and determine factors that influence the simulations. Polypropylene hollow fiber membrane contactor with aqueous solutions of mono-ethanolamine (MEA) was used in Laboratory tests. A series of laboratory-scale absorption tests were conducted under a variety of solvent & flue gas flow rate and temperature conditions. Simulation of mass transfer, momentum and absorption reactions were conducted in Comsol software and simulation results was verified with experimental data's.

طراحی و ساخت سیستم پایش مداوم گاز دودکش نیروگاه‌ها

نویسنده: سعید نظری^۱

چکیده: در این مقاله سیستم پایش مداوم ساخته شده در پژوهشگاه نیرو جهت اندازه‌گیری گازهای حاصل از احتراق (باهدف کنترل احتراق و کنترل بار آلودگی تولیدی نیروگاه‌ها) معرفی شده است. در این پایش، اندازه‌گیری گاز O_2 به روش الکتروشیمیایی و گازهای CO ، CO_2 ، NO و SO_2 به روش NDIR (Non- Dispersive Infrared) انجام می‌شود. در طی سه مرحله آزمون در شرایط کاری متفاوت نیروگاه کار آنالیز گازها انجام گردید. بر اساس استاندارد EN14181 (استاندارد کنترل کیفی پایشگرهای مداوم گازی)، از بین داده‌های ثبت شده در برگه‌های آزمون تعداد ۱۵ جفت داده جهت انجام آزمون تغییرپذیری برای هرکدام از گازهای CO ، CO_2 ، SO_2 ، NOx و CO انتخاب شدند. با توجه به روابط آماری ارائه شده در استاندارد مذکور آزمون تغییرپذیری در مورد اندازه‌گیری این گازها توسط سیستم پایش مداوم به همراه تست‌های دوره‌ای تعیین ثبات صحت و دقت نتایج اندازه‌گیری با استفاده از منحنی کنترلی شیوه‌ارت با موفقیت انجام شد.

کلیدواژه: سیستم پایش مداوم، کنترل احتراق، کنترل بار آلودگی، نیروگاه‌های سوخت فسیلی.

مقدمه

بحث محیط‌زیست در جامعه امروزی، موضوعی کاملاً محوری و فراگیر است. موضوعی که در تمامی عرصه‌های زندگی اقتصادی - اجتماعی و میدان توسعه صنعتی نیز حضور قاطع و همه‌جانبه دارد. در عرصه صنعت برق، چند مسئله از نظر آلودگی محیط‌زیستی حائز اهمیت است که یکی از مسائل آلودگی هوا ناشی از احتراق سوخت در تولید انرژی الکتریکی است. در حال حاضر تنوع زیادی در منابع تأمین انرژی الکتریکی به وجود آمده است، اما بررسی‌های کارشناسی حاکی از آن است که وابستگی نیروگاه‌ها به سوخت فسیلی تا سال ۲۰۵۰ میلادی ادامه خواهد داشت. از مهم‌ترین اثرات آلوده‌کننده زیست‌محیطی نیروگاهی

۱- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Snazarikudahi@nri.ac.ir

انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز CO_2 و گازهای اسیدی SO_2 و NO_x و ذرات معلق و پساب‌های صنعتی آلوده به فلزات سنگین و سایر آلاینده‌هاست. در این ارتباط کنوانسیون‌های متعدد جهانی تشکیل شده است که از جمله آن‌ها کنوانسیون کیوتو، ریو و نظایر آن‌هاست و با توجه به این مسئله، صنعت برق کشور هم برای تأمین منافع ملی و هم سلامت جامعه و هم رعایت مقررات بین‌المللی دامنه فعالیت‌های زیست محیطی خود را با هدف انجام اقدامات پیشگیرانه گسترش می‌دهد. در این راستا استفاده از سیستم‌های کنترل و پایش مداوم گازهای خروجی از دودکش نیروگاه‌ها در صنعت برق مورد توجه قرار گرفته است.

امروزه اندازه‌گیری و پایش مداوم گازهای حاصل از احتراق از دو جهت مورد توجه است. کنترل بار آلودگی منتشرشده 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 سیستم‌های احتراقی که موجب بهینه‌شدن مصرف سوخت می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و لذا پایش مستمر گازهای خروجی از دودکش با دو نگرش دیدگاه زیست‌محیطی و بهینه‌شدن فرآیند 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 به‌دست آوردن تکنولوژی طراحی و ساخت سیستم‌های پایش مداوم ضروری به نظر می‌رسد. در ایران سیستم‌های کنترل احتراق در بعضی از نیروگاه‌های بخاری و تعداد محدودی از نیروگاه‌های توربین گازی و سیکل ترکیبی نصب شده است و تعداد نیروگاه‌های مجهز به سیستم پایش کامل آلاینده‌ها بسیار کم است. این سیستم‌ها که همگی ساخت خارج هستند، به دلیل بهره‌برداری نامناسب اغلب خارج از سرویس هستند؛ بنابراین فن‌آوری ساخت سیستم‌های پایش مداوم گازهای حاصل از احتراق می‌تواند موجب قطع وابستگی خرید این تجهیزات از خارج کشور باشد. این امر در درازمدت موجب صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه تمام شده تولید و همچنین سهولت بهره‌برداری و تعمیرات دستگاه‌ها و اطمینان از صحت عملکرد آن می‌گردد. به

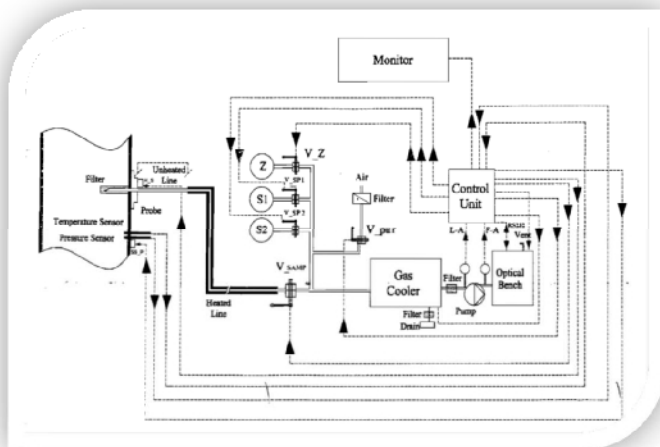
همین منظور در سال ۱۳۸۶ پروژه "طراحی و ساخت سیستم پایش مداوم گاز دودکش نیروگاه‌ها" در گروه محیط‌زیست پژوهشگاه نیرو تعریف گردیده و پس از ساخت نمونه اولیه، هم‌اکنون در واحد توربین گازی ۱۵ هیتاچی نیروگاه ری نصب شده است [۱].

اجزای سیستم پایش مداوم ساخته شده در پژوهشگاه نیرو

اجزای تشکیل دهنده سیستم‌های پایش مداوم ساخته شده (سیستم استخراجی) در پژوهشگاه نیرو مشتمل بر سیستم نمونه برداری، سیستم آماده سازی، سیستم کالیبراسیون، سیستم اندازه گیری و پردازش الکترونیکی و سیستم ذخیره سازی و گزارش گیری هستند. نمونه گاز اخذ شده توسط سیستم نمونه برداری (پروپ) ابتدا توسط خط نمونه برداری گرم شونده، گرم نگه داری می شود. سپس به سیستم آماده سازی (GasCooler) وارد می شود و گاز پس از سرد شدن به Optical Bench منتقل می شود. اطلاعات اندازه گیری گازهای حاصل از احتراق به صورت دیجیتال از طریق پورت RS232 به کامپیوتر صنعتی ارسال شده و به صورت گرافیکی و متنی قابل رؤیت بوده و ذخیره سازی می شود. سخت افزار سیستم پایش مداوم برپایه استفاده از یک سیستم PCBased پایه گذاری شده است [۱].

این سخت افزار شامل کامپیوتر صنعتی و تجهیزات جانبی آن، مانیتور و صفحه کلید و کارت های I/O جهت دریافت از سنسورها و اعمال فرمان های مناسب است. تحلیل و طراحی و مدل سازی نرم افزار بخش مانیتورینگ سیستم پایش مداوم با استفاده از نرم افزارهای UML و Rational Rose انجام شده که شامل بخش های تحلیل، معماری، طراحی و مدل داده سیستم است. همچنین آزمون هایی بر روی نرم افزار از قبیل وارد کردن اطلاعات کاربر و فیلدهای مختلف مربوط به نیروگاه، نمونه گیری از غلظت گازها با رعایت زمان بندی مناسب، نمایش اطلاعات و نمودارهای داده های گازها، ذخیره داده ها در پایگاه داده، پشتیبان گیری و بازیابی اطلاعات و سایر تنظیمات انجام شده است. سپس با استفاده از نرم افزار

CEM Reporter امکان تهیه گزارش‌های متنوع از وضعیت انتشار گازهای حاصل از احتراق خروجی از دودکش واحد نیروگاهی قابل دسترس خواهد بود. همچنین از طریق سنسورهای دما و فشار روی دودکش امکان ثبت و ذخیره‌سازی اندازه‌گیری این دو پارامتر هم وجود داشته و کلیه این اطلاعات به کامپیوتر صنعتی منتقل می‌گردد و جهت تبدیل واحد غلظت حجمی (ppm) به جرمی (mg/m^3) گازهای حاصل از احتراق به کار گرفته می‌شود. خروجی سنسورها 4-20 میلی‌آمپر، و محدوده دمایی اندازه‌گیری تا 600 درجه سانتی‌گراد و محدوده فشاری بین 0,5+ تا 0,5- بار فشار نسبی است. سیستم پایش مداوم طراحی شده مجهز به گازهای کالیبره بوده که با انتخاب منوی پیش‌بینی شده در نرم‌افزار CEM و در نتیجه ارسال فرمان به شیرآلات برقی امکان کالیبراسیون سیستم پایش مداوم فراهم می‌شود. OpticalBench قلب سیستم پایش مداوم محسوب می‌شود، گازهای CO ، CO_2 ، NO و SO_2 را به روش NDIR و اکسیژن را به روش الکتروشیمیایی اندازه‌گیری می‌کند. سیگنال‌های خروجی از OpticalBench به صورت آنالوگ و دیجیتال است. که در صورت استفاده از سیگنال‌های دیجیتال از یکسری از دستورات جهت ارتباط با آن و اجرای فرمان شروع نمونه‌گیری، قرائت غلظت گازها و صدور فرمان کالیبراسیون استفاده می‌شود. خروجی آن پس از پردازش به صورت غلظت برحسب ppm، mg/m^3 و g/sec هر گاز پس از کسب اطلاعات مربوط به دما و فشار دودکش قابل دسترسی خواهد بود. جهت کالیبراسیون Optical Bench از گازهای کالیبره مشتمل بر گاز صفر (N_2 با خلوص 99,999 درصد) و گازهای مخلوط SO_2 ، NO_x و CO_2 و CO استفاده می‌شود. اجزای سیستم پایش مداوم ساخته شده به همراه کلیه ارتباطات فرآیندی و کنترلی مربوطه در شکل (1) ارائه شده است [1].



شکل (۱): اجزای سیستم پایش مداوم ساخته شده به همراه ارتباطات فرآیندی و کنترلی مربوطه

مشخصات و امکانات سیستم پایش مداوم ساخته شده در پژوهشگاه نیرو

سیستم پایش مداوم ساخته شده در پژوهشگاه نیرو دارای امکانات سخت افزاری و نرم افزاری مطابق با نمونه های ساخته شده توسط شرکت های مطرح بین المللی است. قسمت عمده امکانات سخت افزاری از شرکت های سازنده مطرح در زمینه ساخت قطعات سیستم پایش مداوم نظیر M&C و SAXON آلمان خریداری شده و سنسورهای دما و فشار نیز از شرکت پارس جهد تهیه شده است. همچنین کلیه امکانات نرم افزاری در این سیستم ساخته شده و در پژوهشگاه نیرو تهیه و نگارش شده است [۱].

مشخصات سخت افزاری

سخت افزار سیستم پایش مداوم شامل قسمت های زیر است [۲]:

- ۱- پروب نمونه برداری: مدل پروب نمونه برداری استفاده شده در سیستم پایش مداوم SP10-H (مجهز به فیلتر ذرات با خلل و فرج ۲ میکرومتر) بوده و ساخت شرکت M&C کشور آلمان است. (شکل (۲))
- ۲- خط نمونه برداری گرم شونده الکتریکی: خطوط نمونه برداری نوع 4M (با قابلیت نگهداری دما تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد) تولیدی شرکت M&C که با جریان الکتریسیته (۲۲۰ ولت) گرم می شوند. (شکل (۳))

- 3- سیستم نمونه‌گیری و آماده‌سازی SS-5: سیستم آماده‌سازی شرکت M&C جهت نمونه‌گیری، رطوبت‌گیری از گاز دودکش و جلوگیری از میعان بخار آب در آنالایزر استفاده می‌شود. (شکل (4))
- 4- پمپ دیافراگمی N-KPE: پمپ کم‌حجم دیافراگمی برای نمونه‌برداری گاز دودکش در محدوده دمایی 5°C تا 40°C استفاده می‌شود.
- 5- فیلترهای مورد استفاده در سیستم SS-5: فیلترهای ساخت شرکت M&C با ضریب اطمینان بالایی جامدات، به‌خصوص ذرات ریز را در فرآیند آنالیز طی فیلتراسیون گاز با استفاده از اجزای بسیار مرغوب جداسازی می‌کند.
- 6- سنسور نوری فلو¹: به‌منظور حفاظت از پمپ نمونه‌برداری سیستم پایش مداوم از سنسور نوری جهت خاموش کردن سیستم آماده‌سازی در هنگام دبی پایین جریان نمونه‌برداری استفاده می‌شود.
- 7- سنسور هشدار رطوبت²: به‌منظور حفاظت سیستم اندازه‌گیری در مقابل رطوبت از این سنسور استفاده می‌شود.
- 8- کنترل‌کننده دمایی³: به‌منظور کنترل دمای خط نمونه‌برداری گرم‌شونده از این سنسور استفاده می‌شود.
- 9- سیستم اندازه‌گیری: سیستم Optical Bench ساخت شرکت SAXON، ساده و از لحاظ ساختار مکانیکی محکم و دارای انعطاف لازم به‌دلیل برخورداری از میکروکنترلر برای پردازش سیگنال‌ها بوده و برای اندازه‌گیری خودکار گازهای خروجی از دودکش طراحی شده است. (شکل (5))

1- Optical Flow Alarm Sensors
 2-Liquid alarm sensors
 3-Electronic Temperature

در این سیستم پایش مداوم از دو سری Optical Bench با دو محدوده اندازه گیری جهت اندازه گیری گازهای حاصل از احتراق در نیروگاه های گازی، سیکل ترکیبی و بخاری استفاده می شود. در جدول (۱) محدوده اندازه گیری دو سری سیستم اندازه گیری ارائه شده است [۳].

۱۰- کامپیوتر صنعتی: کامپیوترهای صنعتی مورد استفاده در سیستم پایش مداوم ساخته شده با در نظر داشتن قابلیت های مورد نیاز سیستم، از محصولات سری UNO-3000 شرکت Advantech هستند.

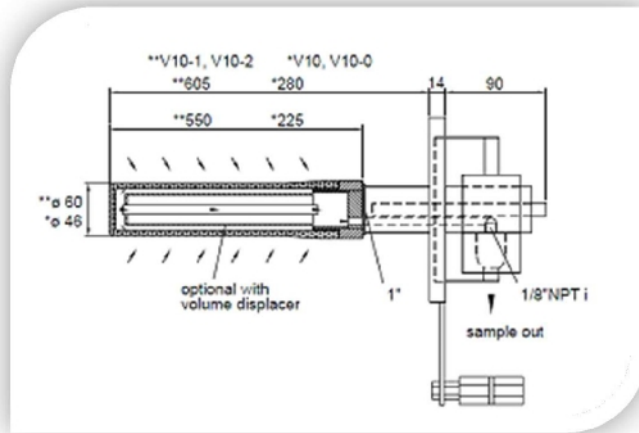
۱۱- کارت های صنعتی I/O: برای پشتیبانی از ورودی/خروجی های سیستم استفاده از کارت های صنعتی I/O انتخاب شده است. با توجه به نوع و تعداد ورودی/خروجی های سیستم، در این سیستم کارت های شرکت Advantech انتخاب شده اند.

۱۲- سنسور دما و فشار دودکش: جهت اندازه گیری دما و فشار استاتیک گاز دودکش از سنسورهای شرکت پارس جهد (تحت لیسانس ABB) استفاده شده است.

۱۳- شیرآلات برقی: ۵ شیر برقی (چهار شیر Normaly Close و یک شیر Normaly Open) که با برق ۲۲۰ ولت کنترل شده و جهت باز و بسته کردن مسیر نمونه برداری و گازهای کالیبره به همراه مسیر Purging هوا استفاده می شوند.

۱۴- گازهای کالیبره: در سیستم پایش مداوم ساخته شده از گازهای نیتروژن با خلوص ۹۹/۹۹۹٪ جهت کالیبراسیون نقطه صفر و از گازهای مخلوط CO₂, SO₂, NOx و CO (دو مخلوط گازی) جهت کالیبراسیون یک نقطه ای و دو نقطه ای Optical Bench استفاده می شود.

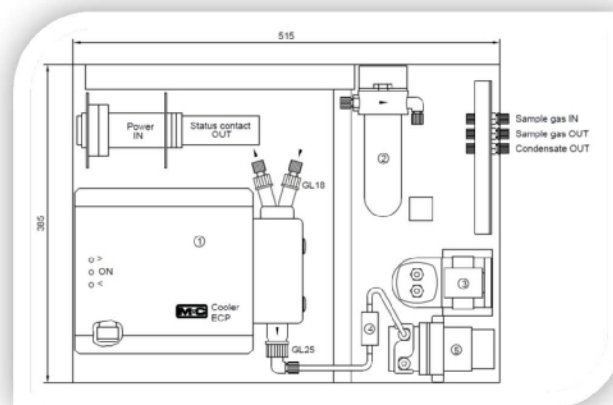
در شکل های (۶) و (۷) تصاویر سیستم پایش مداوم نصب شده در نیروگاه ری ارائه شده است.



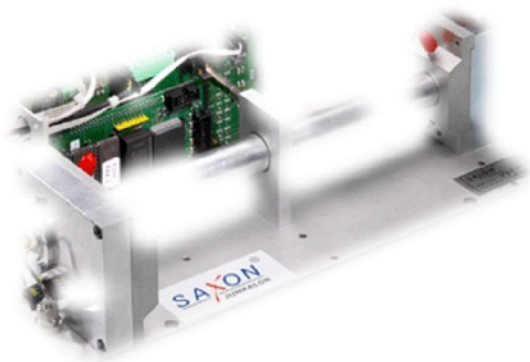
شکل (2). پروب نمونه برداری SP10-H



شکل (3). خط نمونه برداری گرم شونده الکتریکی



شکل (4). سیستم نمونه گیری و آماده سازی SS-5



شکل (۵): سیستم Optical Bench استفاده‌شده در سیستم پایش مداوم



شکل (۶): محل نصب پروب نمونه‌برداری، سنسور دما و فشار بر روی دودکش واحد ۱۵ نیروگاه ری



شکل (۷): سیستم پایش مداوم ساخته‌شده در پژوهشگاه نیرو

مشخصات نرم‌افزاری

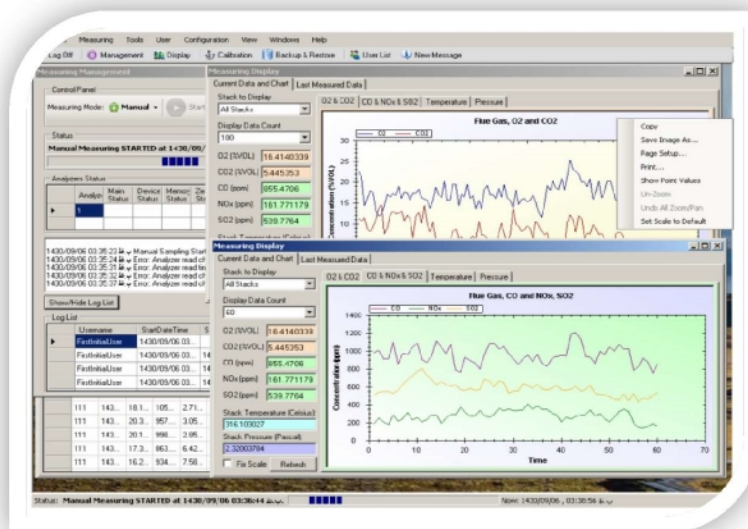
در سیستم پایش مداوم ساخته شده، دو نرم‌افزار جهت راهبری سیستم و گزارش‌گیری از نتایج اندازه‌گیری، نگارش، تهیه و نصب شده است. نگارش نرم‌افزار راهبری سیستم توسط گروه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق و نرم‌افزار گزارش‌گیری توسط گروه محیط‌زیست پژوهشگاه نیرو انجام شده است [1].

نرم‌افزار راهبری سیستم پایش مداوم

تحلیل و طراحی و مدل‌سازی نرم‌افزار بخش مانیتورینگ (راهبری) سیستم پایش مداوم با استفاده از نرم‌افزارهای UML و Rational Rose ارائه شده است که شامل بخش‌های تحلیل، معماری، طراحی و مدل داده سیستم است. در این نرم‌افزار تحلیل با بررسی نیازها از دیدگاه کاربر، موردهای کاربرد سیستم پایش مداوم در قالب چهارده زیرسیستم تقسیم‌بندی شدند. این چهارده زیرسیستم عبارت‌اند از: آنالایزر - کالیبراسیون، آنالایزر - پیکربندی، آنالایزر - نمایش داده‌ها، آنالایزر - خواندن و ذخیره داده‌ها، پشتیبان‌گیری و بازیابی، پشتیبان‌گیری خودکار، ثبت وقایع، متفرقه، نمونه‌برداری، نمونه‌برداری - نمایش داده‌ها، دودکش - پیکربندی، دودکش - نمایش داده‌ها، دودکش - خواندن و ذخیره داده‌ها و کاربر. برای هر زیرسیستم یک نمودار مورد کاربرد و برای موردهای کاربرد مهم، نمودار فعالیت رسم گردید [1].

در بخش معماری، معماری چندلایه‌ای سیستم با لایه‌های Data Access, Business, Presentation و Common برای طراحی پایه‌ریزی شد و سپس در فصل طراحی، کلاس‌های سیستم با توجه به معماری لایه‌ای آن طراحی شدند تا نقطه شروعی برای پیاده‌سازی باشد و در آخر هم مدل داده سیستم که مدل داده‌ای پایگاه داده است، تهیه شده است. همچنین آزمون‌هایی بر روی نرم‌افزار از قبیل واردکردن اطلاعات کاربر و فیلدهای مختلف مربوط به نیروگاه، نمونه‌گیری از غلظت گازها با رعایت زمان‌بندی مناسب، نمایش

اطلاعات و نمودارهای داده‌های گازها، ذخیره داده‌ها در پایگاه داده، پشتیبان‌گیری و بازیابی اطلاعات و سایر تنظیمات انجام شد. همچنین پس از پیاده‌سازی پروتکل ارتباطی با آنالایزرها، در چند نوبت تست پروتکل با آنالایزرهای V320 و V329 صورت گرفت و اندازه‌گیری مقادیر غلظت گازها، کالیبراسیون گاز با گازهای کالیبره و ارسال سایر فرمان‌ها صورت گرفته است. در شکل (۸) شمایی از نرم‌افزار راهبری سیستم پایش مداوم ارائه شده است [۱].



شکل (8): شمایی از نرم‌افزار راهبری سیستم پایش مداوم

نرم‌افزار CEMReporter

نرم‌افزار CEM Reporter در محیط Delphi نگارش یافته است و به‌طور کلی از سه بخش اصلی تشکیل

شده است که عبارت‌اند از [۱]:

- بخش ارتباط با پایگاه داده و بازیابی جداول اطلاعات مورد نیاز برنامه.
- بخش تحلیل‌ها و پردازش‌های قابل انجام بر روی اطلاعات گرفته شده از پایگاه داده.
- بخش نمایش اطلاعات بازیابی و پردازش شده به فرم‌های مختلف.

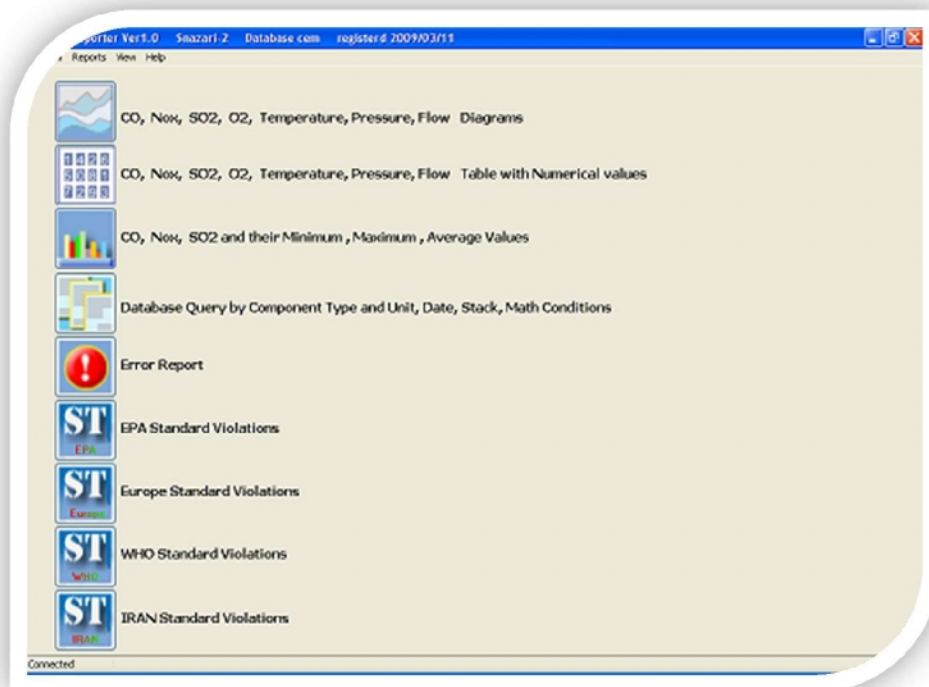
ورودی این نرم‌افزار مشتمل بر اطلاعات خامی است که توسط نرم‌افزار سیستم Monitoring از دستگاه آنالایزر خوانده می‌شود. اطلاعات موردنیاز در اینجا میزان مقادیر آلاینده‌های خروجی از دودکش است که توسط سنسورهای دستگاه آنالایزر اندازه‌گیری شده است. سیستم پایش مداوم ساخته‌شده دارای سنسورها و آنالایزرهایی برای اندازه‌گیری میزان CO_2 ، CO ، SO_2 ، Nox و O_2 است. غلظت این گازها توسط دستگاه با دقت اندازه‌گیری شده و توسط پورت سریال RS232 به کامپیوتر صنعتی در نظر گرفته‌شده، ارسال می‌شود. این اطلاعات توسط نرم‌افزار گزارش‌گیری تهیه‌شده در جداول مختلف طبقه‌بندی و ذخیره می‌شوند. این جداول مربوط به پایگاه داده مبتنی بر SQL Server بوده که یک نرم‌افزار قدرتمند در طراحی و کنترل پایگاه های داده تحت شبکه است. پس از برقراری ارتباط با پایگاه داده، امکان دسترسی به تمام فیلدها و جداول توضیح داده‌شده در قسمت قبل وجود دارد [1]. از مهم‌ترین جداول، جدول Data است که در آن اطلاعات خام به دست آمده توسط سیستم مانیتورینگ برای مقادیر CO_2 ، CO ، SO_2 ، Nox ، O_2 ، دبی گازهای حاصل از احتراق، دما و فشار استاتیک دودکش و اطلاعات زمانی و مکانی اندازه‌گیری ذخیره می‌شود. اطلاعات این جدول هر دقیقه توسط نرم‌افزار در ارتباط با سیستم مانیتورینگ فراخوانی شده و یک سابقه جدید در آن ثبت می‌گردد. بنابراین تمام بازیابی‌های اطلاعات توسط این نرم‌افزار بر همان مبنای یک دقیقه یکبار انجام می‌شود. در این نرم‌افزار فرض بر این بوده که مقادیر ذخیره‌شده در پایگاه داده برای CO_2 ، SO_2 و Nox برحسب ppm و برای گازهای O_2 و CO_2 برحسب درصد حجمی ذخیره می‌شوند. همچنین فشار برحسب اتمسفر و دما برحسب درجه سانتی‌گراد است [1]. یکی از وظایف این نرم‌افزار تبدیل واحدها است که مقادیر را برحسب ppm قرائت کرده و بنا به درخواست کاربر برحسب واحدهای دیگر نمایش می‌دهد. واحدهای تحت پشتیبانی این نرم‌افزار مشتمل بر ppm، mg/m^3 ، mg/Nm^3 ، g/s و در نهایت فاکتور انتشار برای هر گاز برحسب g/kwhr است. یکی دیگر از قابلیت‌های نرم‌افزار CEM Reporter مقایسه

استانداردهای ملی و بین‌المللی با نتایج اندازه‌گیری است. در این نرم‌افزار غلظت گازهای آلاینده حاصل از احتراق با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، EPA، اتحادیه اروپایی و WHO مقایسه می‌شود. قسمت نمایش اطلاعات و تهیه گزارش‌های بخش اصلی نرم‌افزار CEM Reporter است و هدف اصلی برنامه بر روی این قسمت قرار گرفته است [۱]. این نرم‌افزار امکان تهیه گزارش‌گیری‌های متنوع و با فرمت‌ها و شرایط مختلف را در دسترس کاربر قرار می‌دهد. (شکل (۹))

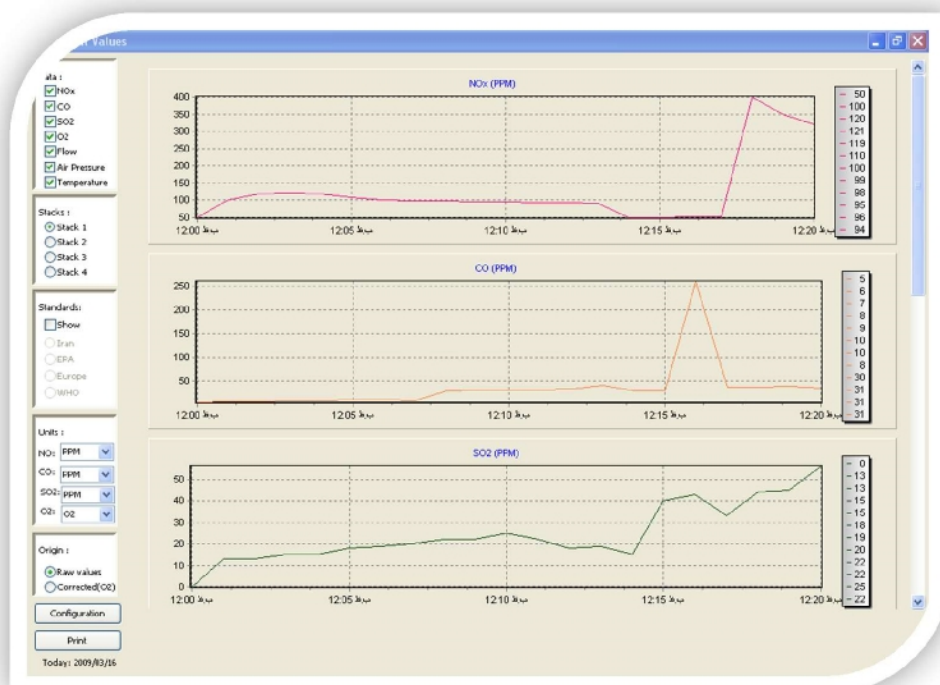
این گزارش‌ها قابل پرینت توسط نرم‌افزار بوده و از طرفی به انواع فرمت‌های مختلف که توضیح داده می‌شوند، قابل تبدیل و ذخیره‌سازی هستند. تمام گزارش‌های این نرم‌افزار به دو دسته کلی View و Reports دسته‌بندی شده‌اند که این دو دسته تحت دو منوی کلی View و Reports در صفحه اصلی قابل رؤیت هستند. دسته View اطلاعات مختلف از قبیل مقادیر داده‌شده و یا حالت‌های مختلف را به صورت نموداری و همچنین Real time در صفحه نمایش می‌دهد. (شکل (۱۰))

به محض اینکه داده جدیدی در پایگاه داده اضافه شود، در این قسمت مشاهده می‌شود. بخش کلی دیگر Reports است. در این بخش دسترسی کامل به پایگاه داده وجود دارد و هرگونه استخراج و جستجوی اطلاعات با شرایط مختلف توسط این بخش انجام می‌گیرد. همچنین گزارش‌های تولیدی توسط این بخش را می‌توان علاوه بر پرینت کردن با فرمت‌های مختلفی از قبیل PDF، RTF، TXT، HTML و ... نیز ذخیره

کرد [۱].



شکل (9): صفحه اصلی نرم افزار CEM Reporter به همراه منوهای میانبر گزارش گیری



شکل (10): تغییرات غلظت گازهای حاصل از احتراق در بازه زمانی انتخابی در نرم افزار CEM Reporter

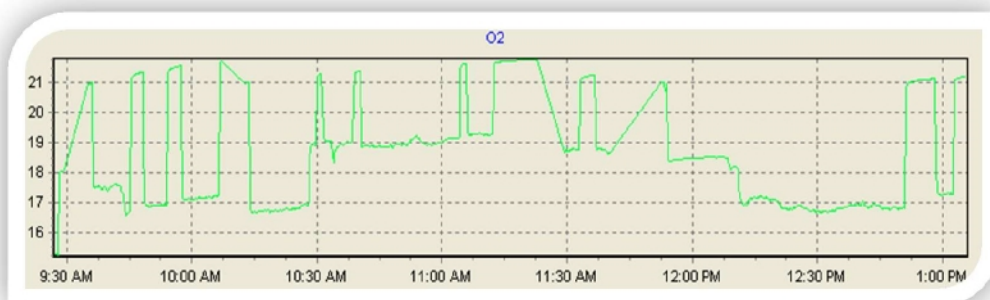
نتایج اندازه گیری سیستم پایش مداوم نصب شده در واحد ۱۵ هیتاچی نیروگاه ری

به عنوان نمونه تغییرات غلظت گازهای حاصل از احتراق و مقادیر فشار استاتیک و دمای دودکش واحد ۱۵ هیتاچی نیروگاه ری در تاریخ ۸۹/۷/۲۵ از زمان شروع بارگیری تا زمان رسیدن به حداکثر بار، توسط سیستم پایش مداوم ساخته شده ثبت گردیده و به شرح زیر ارائه می گردد (سوخت مصرفی گاز طبیعی است) [۱].

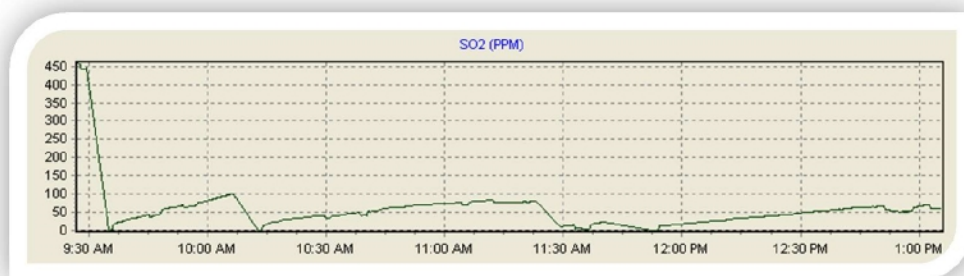
با بررسی نمودار تغییرات غلظت گاز O_2 در شکل (۱۱)، سه ناحیه قابل تشخیص است: ناحیه اول در هنگام شروع راه اندازی واحد ۱۵ هیتاچی، غلظت گاز O_2 به ۱۷ درصد رسیده و پس از کاهش بار واحد به ۱۹ درصد افزایش می یابد (ناحیه دوم) و در انتهای زمان گزارش گیری دوباره به ۱۷ درصد کاهش پیدا می کند که دلیل آن افزایش مجدد بار واحد است (ناحیه سوم). به دلیل اطمینان از غلظت گاز O_2 نمایش داده شده، در بعضی از زمان های نمونه برداری، مسیر نمونه برداری از دودکش به هوای محیط تغییر داده شده است. به همین دلیل غلظت گاز اکسیژن به ۲۱ درصد هم افزایش یافته است [۱]. در ابتدای نمونه برداری به دلیل کالیبره نبودن کانال SO_2 ، غلظت این آلاینده صحیح نبوده و پس از کالیبره نمودن این کانال، غلظت گاز SO_2 بین صفر تا ۱۰۰ ppm متغیر است. دلیل حضور گاز SO_2 در گازهای حاصل از احتراق وجود مرکاپتان در گاز طبیعی مصرفی نیروگاه است. (شکل (۱۲)) [۱]

غلظت گاز آلاینده CO در ابتدای راه اندازی واحد توربین گاز، ۲۵۰ ppm و پس از رسیدن به ماکزیمم بار غلظت آن صفر گردید. دلیل این پدیده افزایش درصد هوای اضافی و رقیق شدن گازهای حاصل از احتراق است. پس از کاهش بار، واحد غلظت این گاز به ۵۰ ppm افزایش یافته و مجدداً پس از افزایش بار واحد به صفر کاهش یافته است. (شکل (۱۳)) [۱]

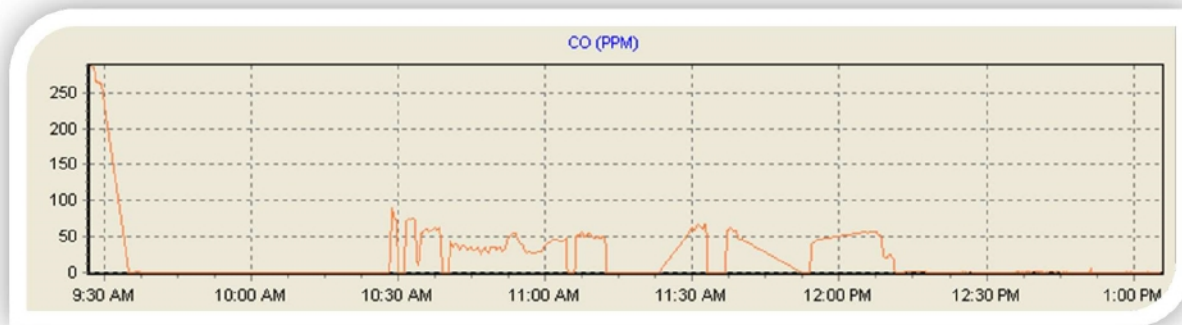
در ابتدای نمونه‌برداری به دلیل کالیبره‌نبودن کانال NOx، غلظت این آلاینده صحیح نبوده و پس از کالیبراسیون، غلظت گاز NOx در حدود 80 ppm در ماکزیمم بارگیری بوده و به حدود 20 ppm در زمان کاهش بار رسیده است که دلیل آن کاهش دما در محفظه احتراق بوده و در نتیجه موجب کاهش غلظت این آلاینده می‌شود. در پایان زمان نمونه‌برداری به دلیل افزایش ناگهانی دمای دودکش میزان تولید NOx حرارتی افزایش یافته و به 500 ppm افزایش می‌یابد. (شکل (۱۴)) [۱] دمای گاز دودکش از 390 درجه سانتی‌گراد در هنگام شروع بارگیری به 470 درجه سانتی‌گراد در هنگام بارگیری کامل رسیده و پس از کاهش بار به حدود 330 درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و پس از افزایش مجدد بار واحد، دمای گاز دودکش به 460 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. (شکل (۱۵)) فشار استاتیک گاز دودکش در طول زمان بارگیری واحد بین 0/99 بار تا 1/01 بار در نوسان بوده است. (شکل (۱۶)) [۱]



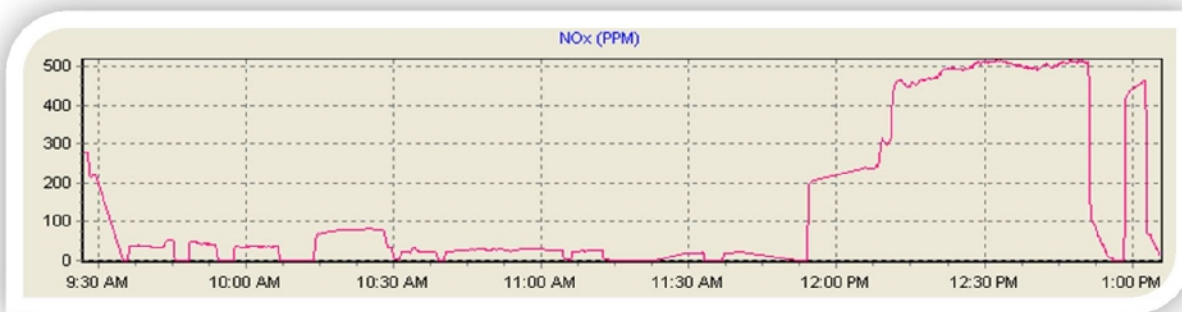
شکل (۱۱). نمودار تغییرات غلظت گاز O₂ برحسب درصد در واحد 15 هیتاچی در بازه زمانی انتخابی



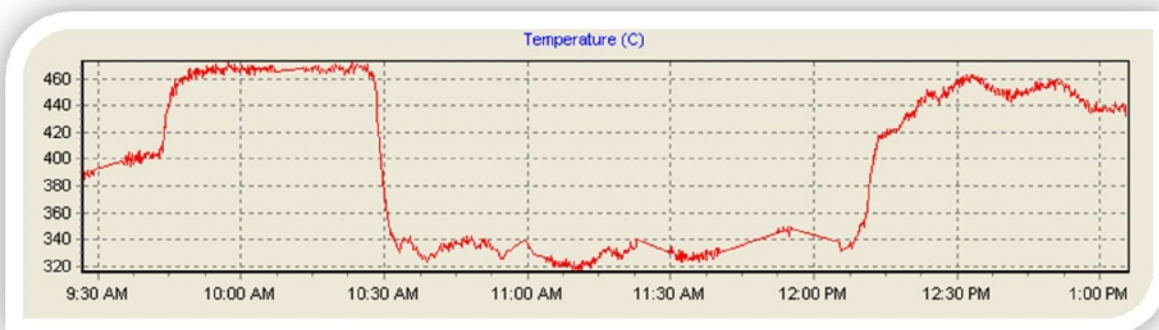
شکل (۱۲). نمودار تغییرات غلظت گاز SO₂ برحسب ppm در واحد 15 هیتاچی در بازه زمانی انتخابی



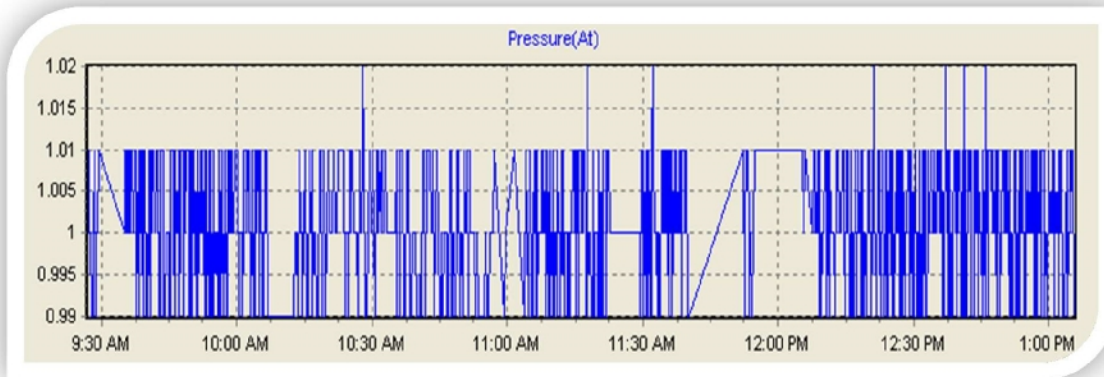
شکل (13): نمودار تغییرات غلظت گاز CO برحسب ppm در واحد 15 هیتاچی در بازه زمانی انتخابی



شکل (14): نمودار تغییرات غلظت گاز Nox برحسب ppm در واحد 15 هیتاچی در بازه زمانی انتخابی



شکل (15): نمودار تغییرات دمای گاز دودکش واحد 15 هیتاچی در بازه زمانی انتخابی



شکل(16): نمودار تغییرات فشار استاتیک گاز دودکش واحد 15 هیتاچی در بازه زمانی انتخابی

مقایسه نتایج اندازه‌گیری سیستم پایش مداوم ساخته‌شده در پژوهشگاه نیرو با پایشگر تجاری

سیستم پایش بر اساس استانداردهای موجود بر روی دودکش واحد ۱۵ هیتاچی نیروگاه ری نصب گردیده و برای مقایسه نتایج حاصل از پایشگر مداوم طراحی شده با مقدار واقعی، از یک پایشگر پرتابل از شرکت "Testo" با نام تجاری Testo 350XI استفاده شده است. در طی سه مرحله در شرایط کاری متفاوت نیروگاه، کار آنالیز گازها انجام شد. بر اساس استاندارد کنترل کیفی پایشگرهای مداوم گازی (EN14181)، از بین داده‌های ثبت شده تعداد ۱۵ جفت داده برای تست تغییرپذیری برای هر کدام از پارامترهای NOx، SO₂، CO₂ و CO انتخاب شدند [۱۵].

تست تغییرپذیری گازهای NOx

از میان نتایج حاصل شده تعداد ۱۵ نمونه برای تست‌های تغییرپذیری برای گازهای مختلف استفاده شد.

بر اساس معادله (۱) مقدار میانگین اختلاف‌ها برابر با ۰/۶- به دست می‌آید [۵].

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i = -0.60 \quad (1)$$

انحراف استاندارد اختلاف نتایج بین پایشگر مداوم گازی طراحی شده با پایشگر تجاری برای اندازه گیری Nox نیز با استفاده از معادله (۲) قابل محاسبه است.

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2} = 375 \quad (2)$$

مقدار عدم قطعیت (σ_0) ارائه شده توسط شرکت سازنده حسگر گاز Nox برابر با ۲۰ ppm است. لذا جهت تأیید تست تغییرپذیری نتایج پایشگر مداوم گازهای NOx نامعادله (۳) باید برقرار باشد.

$$S_D \leq \sigma_0 k_v \quad (3)$$

k_v برای ۱۵ نمونه از جداول استاندارد EN14181 استخراج شده است.

$$0.9761 \times 20 \leq 2/39 \quad (4)$$

$$5/75 \leq 19/52 \quad (5)$$

لذا تست تغییرپذیری در مورد اندازه گیری گازهای Nox توسط پایشگر ساخته شده با موفقیت انجام شده است.

تست تغییرپذیری گازهای SO₂

مقدار میانگین اختلافها بین نتایج اندازه گیری سیستم پایش مداوم و پایشگر تجاری برابر ۴- است [۵].

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i = -4 \quad (6)$$

انحراف استاندارد اختلاف نتایج بین پایشگر مداوم گازی طراحی شده با پایشگر تجاری برای اندازه گیری SO₂ نیز بدین صورت محاسبه شده است:

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2} = 2.39 \quad (7)$$

مقدار عدم قطعیت (σ_e) ارائه شده توسط شرکت سازنده حسگر گاز SO₂ برابر با 20 ppm است. لذا جهت تأیید تست تغییرپذیری نتایج پایشگر مداوم گازهای SO₂ نامعادله (3) برقرار باشد.

$$0/9761 \times 20 \leq 2/39 \quad (8)$$

$$2/39 \leq 19/52 \quad (9)$$

لذا تست تغییرپذیری در مورد اندازه گیری گازهای SO₂ توسط پایشگر با موفقیت انجام شده است.

تست تغییرپذیری گازهای SO₂

مقدار میانگین اختلافها بین نتایج اندازه گیری سیستم پایش مداوم و پایشگر تجاری برابر 4- است [5].

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i = -4 \quad (6)$$

انحراف استاندارد اختلاف نتایج بین پایشگر مداوم گازی طراحی شده با پایشگر تجاری برای اندازه گیری SO₂ نیز بدین صورت محاسبه شده است:

$$s_{D'} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2} = 2.39 \quad (7)$$

مقدار عدم قطعیت (σ_e) ارائه شده توسط شرکت سازنده حسگر گاز SO₂ برابر با 20 ppm است. لذا جهت تأیید تست تغییرپذیری نتایج پایشگر مداوم گازهای SO₂ نامعادله (3) برقرار باشد.

$$0/9761 \times 20 \leq 2/39 \quad (8)$$

$$2/39 \leq 19/52 \quad (9)$$

لذا تست تغییرپذیری در مورد اندازه گیری گازهای SO₂ توسط پایشگر با موفقیت انجام شده است.

تست تغییر پذیری گاز CO₂

مقدار میانگین اختلافها بین نتایج اندازه گیری سیستم پایش مداوم و پایشگر تجاری برابر ۰,۰۱۸- است [۵].

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i = -0.018 \quad (10)$$

انحراف استاندارد اختلاف بین پایشگر مداوم گازی طراحی شده با پایشگر تجاری برای اندازه گیری CO₂ نیز بدین صورت به دست آمد:

$$s_D = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2} = 0.067 \quad (11)$$

مقدار عدم قطعیت (σ_D) ارائه شده توسط شرکت سازنده حسگر گاز CO₂ برابر با ۰,۲٪ است. لذا جهت تأیید تست تغییر پذیری نتایج پایشگر مداوم گازهای CO₂ نامعادله (۳) برقرار باشد.

$$0.9761 \times 0.2 \leq 0.067 \quad (12)$$

$$0.067 \leq 0.195 \quad (13)$$

لذا تست تغییر پذیری در مورد اندازه گیری گازهای CO₂ توسط پایشگر با موفقیت انجام شده است.

تست تغییر پذیری گاز CO

مقدار میانگین اختلافها بین نتایج اندازه گیری سیستم پایش مداوم و پایشگر تجاری برابر ۰,۰۸۶- است [۵].

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i = -0.86 \quad (14)$$

انحراف استاندارد اختلاف نتایج بین پایشگر مداوم گازی طراحی شده با پایشگر تجاری برای اندازه گیری CO نیز بدین صورت به دست آمد:

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2} = 7.91 \quad (15)$$

مقدار عدم قطعیت (σ_{σ}) ارائه شده توسط شرکت تولیدکننده حسگر گازهای CO برابر با 10 ppm است. لذا جهت تأیید تست تغییرپذیری نتایج پایشگر مداوم گازهای CO نامعادله (3) برقرار باشد.

k_p برای 15 نمونه از جداول آماری استخراج شده است.

$$0/9761 \times 10 \leq 7/91 \quad (16)$$

$$7/91 \leq 9/76 \quad (17)$$

لذا تست تغییرپذیری در مورد اندازه گیری گازهای CO توسط پایشگر با موفقیت انجام شده است.

انجام تست های دوره ای به منظور اطمینان از ثبات دقت و صحت سیستم پایش مداوم

جهت کنترل کیفیت سیستم های پایش مداوم در سطح QAL3 استاندارد EN14181، از نمودارهای کنترلی Shewhart استفاده شده است. جهت رسم منحنی های شیوهارت در کنترل نتایج حاصله از اندازه گیری های سیستم پایش مداوم گازهای NOx، SO2، CO2 و CO از نرم افزار qimacros استفاده شده است. این نرم افزار می تواند به XCEL لینک شود و از آنجا مورد بهره برداری قرار گیرد. غلظت گاز کالیبره در 9 بار مراجعه به نیروگاه ری قرائت شده است. نمودارهای شیوهارت در شکل های (17) تا (20) ارائه شده اند. غلظت گازهای کالیبره مورد استفاده جهت تهیه نمودارهای کنترلی شیوهارت به شرح زیر است [1 و 4 و 5]:

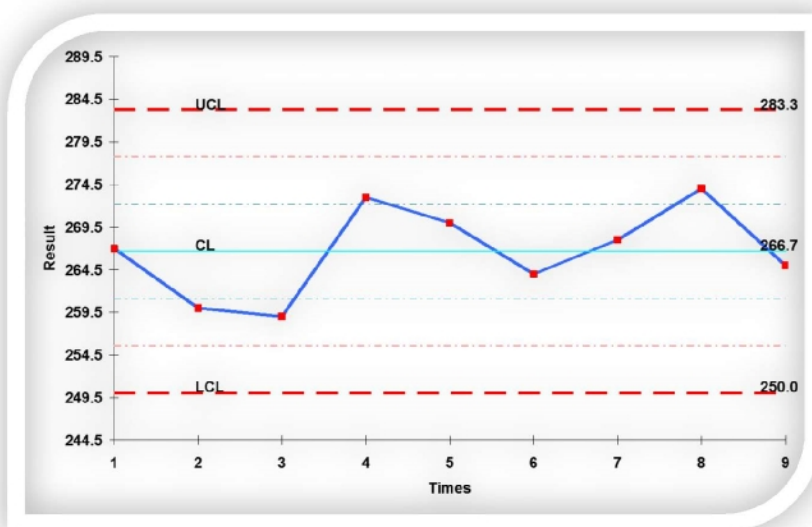
$$\text{Nox} = 268 \text{ ppm}$$

$$\text{CO}_2 = 4/71 \%$$

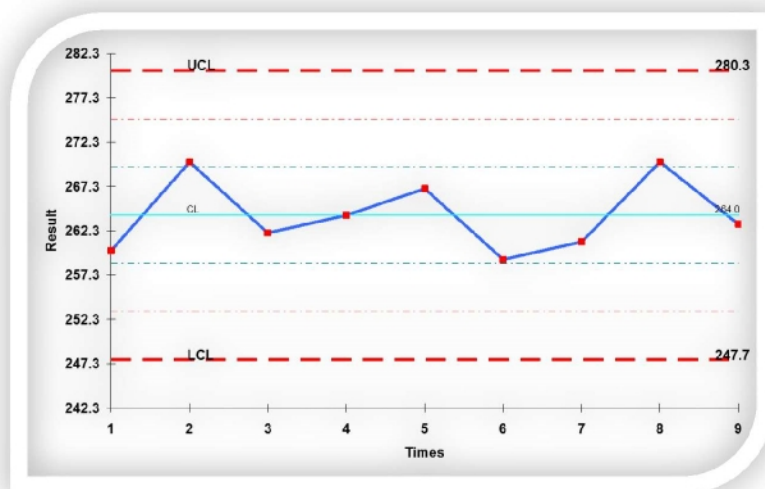
CO = ۳۰۰ ppm

SO₂ = ۲۶۴ ppm

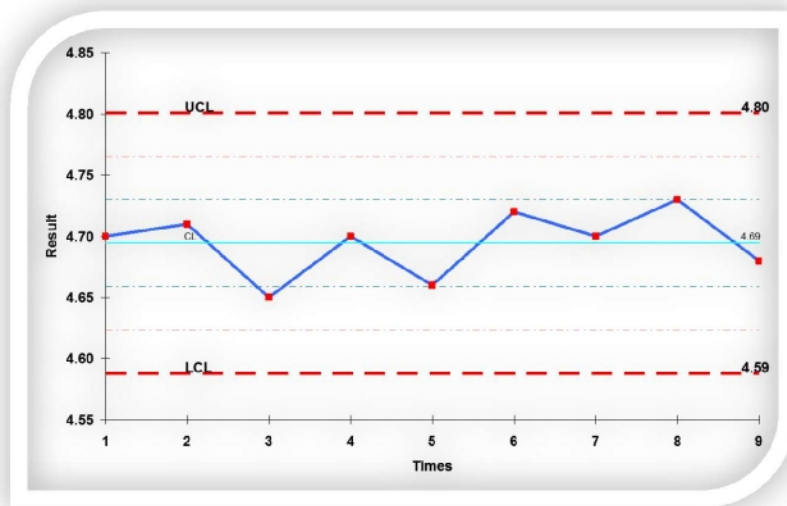
با استفاده از منحنی های کنترلی شیوهارت، نشان داده شد که آزمون های دوره ای ثبات صحت و دقت سیستم پایش مداوم با موفقیت انجام شده است.



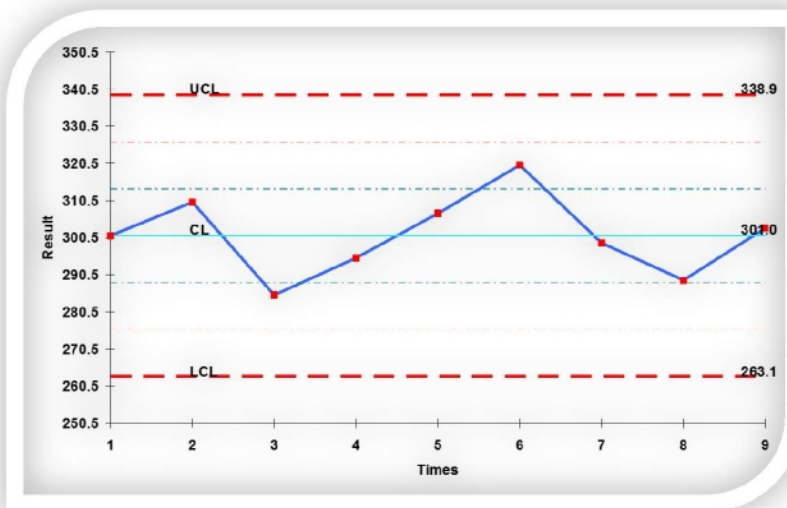
شکل (۱۷): نمودار شیوهارت گاز NOx



شکل (۱۵): نمودار شیوهارت گاز SO₂



شکل (19): نمودار شیوهارت گاز CO₂



شکل (20): نمودار شیوهارت گاز CO

نتیجه گیری

تجهیز نیروگاهها به سیستم پایش مداوم گازهای حاصل از احتراق علاوه بر کنترل بار آلودگی تولیدی موجب کنترل احتراق و در نتیجه کاهش مصرف سوخت در نیروگاهها خواهد شد. سیستم طراحی و ساخته شده در پژوهشگاه نیرو که دارای سنسورها و آنالیزهایی برای اندازه گیری میزان CO₂، CO، SO₂، NO_x و

O₂ به همراه اندازه گیری دما و فشار استاتیک دود خروجی از دودکش است، غلظت گازها بر ppm،
mg/m³، g/s و در نهایت فاکتور انتشار را برحسب g/kwhr ارائه می دهد.

طی مقایسه انجام شده بین نتایج اندازه گیری سیستم پایش مداوم ساخته شده و آنالایزر قابل حمل، تست
تغییرپذیری گازهای CO₂، CO، SO₂ و NO_x از طریق روابط آماری ارائه شده در استاندارد EN14181 با
موفقیت انجام گردید. همچنین با استفاده از سنجش و اندازه گیری گازهای کالیبره با غلظت مشخص و به
کارگیری نمودار کنترلی Shewhart آزمون اطمینان از ثبات دقت و صحت سیستم پایش مداوم ساخته شده با
موفقیت انجام شد.

مراجع

[۱] پروژه "طراحی و ساخت سیستم پایش مداوم گاز دودکش نیروگاهها". گروه محیط زیست پژوهشگاه
نیرو، ۱۳۸۶-۱۳۸۹.

[2] Citations to the www.mac-products.com/. 2012/04/14

[3] Citations to the www.saxon-junkalor.de/. 2011/09/08

[4] Montgomery, Douglas C. "Introduction to statistical quality control". John Wiley & Sons: 2007.

[5] Richtlinie, D. I. N. "EN 14181, September 2004." Emissionen aus stationären Quellen-
Qualitätssicherung für automatische Messrichtungen.

Design and Fabrication of Continuous emission monitoring system for flue gas of power plant

Author: Saeed Nazari

Abstract: In this article, Continuous emission presented in EN14181, variability test for measurement of these gases by monitoring system (CEM) which has been fabricated in NIRO research institute to monitor the emissions of an Iranian power plant (with the aim of controlling the combustion & pollution load of power plant), is introduced. In this monitoring, measurements of CO₂, CO, NO and SO₂ are conducted by Non-Dispersive Infrared method and measurement of O₂ is conducted by electrochemical method. During the three-step tests at the different operating conditions of power plant, measurement and analysis of gases were performed. According to Quality Assurance Standard of continuous emission monitoring systems, EN14181, from the data recorded at the test sheets, 15 pair's data was selected for testing variability of each gase (including NO_x, SO₂, CO₂ and CO). According to the statistical relationships CEM along with periodic tests for determination of accuracy stability and accuracy of measurement results were successfully implemented by using Shewhartcontrol curves.

برگزیده‌ای از واژه‌های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه محیطزیست و انرژی

گردآورنده: زهرا دلاورمقدم^۱

نظر به اینکه زبان فارسی، زبان دوم عالم اسلام و کلید بخش عظیمی از ذخایر ارزشمند علمی و ادبی تمدن اسلامی، و خود از ارکان هویت فرهنگی ملت ایران است، و با توجه به اینکه بنا بر اصل پانزدهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، زبان مذکور، زبان رسمی و مشترک ملت ایران است، به منظور حفظ سلامت و تقویت و گسترش این زبان و تجهیز آن برای برآوردن نیازهای روزافزون فرهنگی و علمی و فنی و رفع تشنگی و ایجاد هماهنگی در فعالیت‌های مراکز فرهنگی و پژوهشی در حوزه زبان و ادب فارسی و سازمان دادن به تبادل گسترده و پربار تجربه در زمینه تحقیقات و مطالعات در این حوزه و صرفه‌جویی در نیرو و استفاده صحیح از کارشناسان و پژوهشگران و ایجاد مرجعی معتبر و برخوردار از وجهه و حیثیت جهانی در ایران، شورای عالی انقلاب فرهنگی اساس‌نامه فرهنگستان زبان و ادب فارسی را به تصویب رساند. اهدافی که در اساس‌نامه برای فرهنگستان در نظر گرفته شده به شرح زیر است:

- ❖ حفظ قوت و اصالت زبان فارسی، به‌عنوان یکی از ارکان هویت ملی ایران و زبان دوم عالم اسلام و حامل معارف و فرهنگ اسلامی؛
 - ❖ پروردن زبانی مهذب و رسا برای بیان اندیشه‌های علمی و ادبی و ایجاد انس با مآثر معارف تاریخی در نسل کنونی و نسل‌های آینده؛
 - ❖ رواج زبان و ادب فارسی و گسترش حوزه و قلمرو آن در داخل و خارج از کشور.
- در ادامه به تعدادی از واژگان مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حیطه فعالیت گروه محیطزیست و انرژی، اشاره می‌شود. امید است که در شماره‌های آتی به دیگر واژگان اشاره شود.

۱- کارشناس پژوهشی گروه محیطزیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Zdelavar@nri.ac.ir

نام مصوب	واژه بیگانه	تعریف
آلاینده	pollutant	ماده یا موجود زنده یا حالتی از انرژی که بوم‌سازگان را تهدید کند یا بدان آسیب رساند به نحوی که مانع از استفاده سودمند از آن در زمان حال یا در آینده شود.
پساب	treated wastewater	فاضلابی که یک یا چند فرایند تصفیه فیزیکی یا شیمیایی یا زیستی بر روی آن صورت گرفته است تا خطرات بهداشتی بالقوه آن کاهش یابد مثل فاضلاب تصفیه شده
فاضلاب	wastewater, sewage	آب و مایعات حاصل از مصارف خانگی یا تجاری یا صنعتی که حاوی مواد آلاینده باشد.
شبکه فاضلاب	sewerage system	سامانه جمع‌آوری و تصفیه و دفع فاضلاب
تصفیه فاضلاب	wastewater treatment	زدودن یا کاستن مواد زیان‌آور از فاضلاب
پسماند	waste	مواد بی‌استفاده یا مواد زاید حاصل از یک فرایند مثل باطله، دورریز، نخاله "باطله" برای کاغذ و "دورریز" در معدن و "نخاله" در ساختمان‌سازی به کار می‌رود.
پسماند جامد	solid waste	ضایعات جامد حاصل از فعالیت‌های شهری و تجاری و صنعتی
پسماند سمی	toxic waste	پسماندی که در صورت بلع یا استنشاق یا تماس با پوست به انسان یا هر موجود زنده دیگر آسیب می‌رساند.
پسماند تجاری	commercial waste	پسماند جامد بنگاه‌های کسب‌وکار شامل مراکز خرید و مراکز تفریحی و دفاتر و غذاخوری‌ها
جریان پسماند	waste stream	مسیری که کل پسماندهای شهروندان یک ناحیه از تولید تا دفع نهایی طی می‌کند.

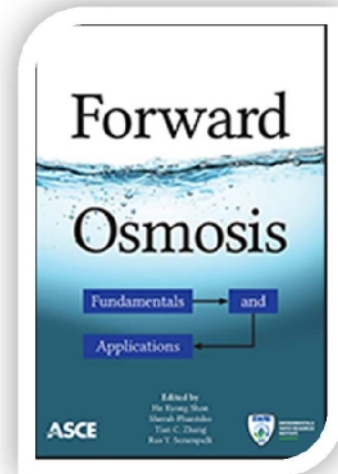
Title: Forward Osmosis: Fundamentals and Applications

Edited by Ho Kyong Shon, Sherub Phuntsho, Tian C. Zhang, and Rao Y. Surampalli

عنوان فارسی: اسمز مستقیم، اصول و کاربردها

سال انتشار: ۲۰۱۵

ناشر: ASCE



در این کتاب اصول و چالش‌های موجود در پیاده‌سازی فناوری‌های نمک‌زدایی با مصرف کم انرژی برای تولید آب شرب و غیرآشامیدنی تشریح شده است. این کتاب به توصیف مفاهیم اولیه تکنولوژی FO و مدل سازی و طراحی المان‌های غشایی آن پرداخته است. چندین نوع مختلف از حلال‌های مورد استفاده این فرآیند (Draw Solutions) و غشاهایی که به تازگی برای این تکنولوژی توسعه یافته‌اند، در این کتاب بررسی شده‌اند. همچنین رسوب‌گذاری غشاها از جنبه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در فصول میانی کتاب، انواع کاربردهای سیستم‌های FO مورد بررسی قرار گرفته که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به نمک‌زدایی، تصفیه فاضلاب، بیوراکتورهای غشایی، تصفیه فاضلاب‌های صنایع معدنی اشاره کرد. به قابلیت‌های حذف آلاینده‌های نوظهوری نظیر بور و فلزات سنگین نیز در این کتاب پرداخته شده است. در نهایت نویسندگان اثر محدودیت‌های فناوری را ارائه و راه‌های غلبه بر این محدودیت‌ها را بیان داشته‌اند.