

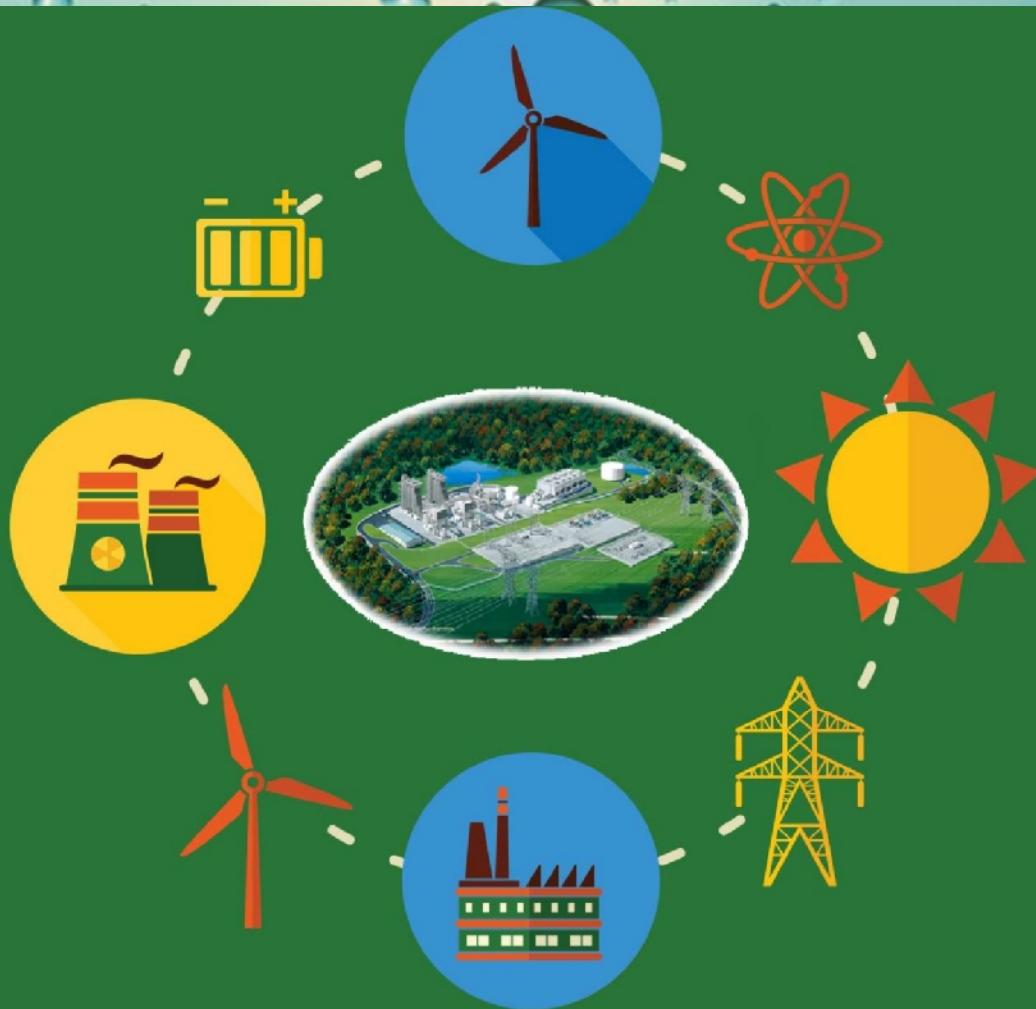
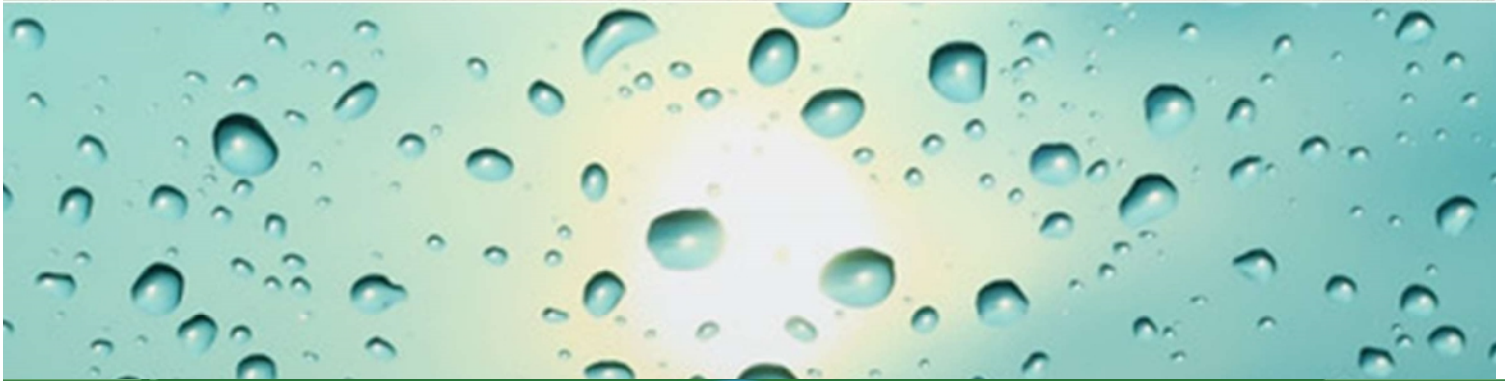


پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی محیط زیست

برونداهای تخصصی

گروه پژوهشی محیط زیست

سال دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵



امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از فناوری های گوگردزایی از دود دودکش / پیمان پورمقدم

اصول و کاربرد ترموگرافی در تجهیزات مورد استفاده در صنعت برق / امیر سهرابی کاشانی

اثرات ناخواسته ماده صنعتی "بیس فنل آ" بر سلامت انسان / عبدالله مصطفایی

به نام خدا

اعضای هیئت تحریریه:

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

اعضای هیئت داوران:

دکتر کاظم کاشفی، دکتر کامران آرمان، دکتر
آرش الماسیان، مهندس سیاوش منیعی، دکتر
زهرا سلیمیان، مهندس مهسا علائی، مهندس
رامین فخری، مهندس سید احمد احمدی اندبیلی

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی
محیطزیست» با هدف فراهم آوردن بستری
مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب
مرتبط با محیطزیست 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: پیمان پورمقدم

عکس روی جلد: رامین پایدار

همکاران این شماره:

همکاران گروه: مهندس عبدالله مصطفایی،
مهندس امیر سهرابی کاشانی، مهندس زهرا
دلاورمقدم، مهندس رامین پایدار راوندی،
مهندس پیمان پورمقدم

همکاران معاونت پژوهشی: مهندس ثریا
رستمی، نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: environ@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک

باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه محیطزیست

تلفن: 021-88079446

دورنگار: 021-88361603

فهرست مطالب

• سخن سردبیر	1
• اصول و کاربرد ترموگرافی در تجهیزات مورداستفاده در صنعت برق	2
• آشنایی با انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران	17
• اثرات ناخواسته ماده صنعتی "بیس فنل آ" بر سلامت انسان	18
• آلودگی هوا هر سال 80 هزار میلیارد تومان به ایران ضرر می زند	29
• امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از فناوری های گوگردزدایی از دود دودکش	31
• برگزیده های از واژه های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه محیط زیست و انرژی	61
• معرفی کتاب	63

سخن سردبیر

چندی پیش خبر جالبی در سایت‌های محیط زیستی منتشر شد مبنی بر اینکه مسئولان ایالت کالیفرنیا با ورود آخرین بخش از ۹۶ میلیون توپ سیاه‌رنگ (با قطر ۱۰ سانتی‌متر) به سدها، کار جلوگیری از تبخیر حدود یک میلیارد لیتر آب را انجام داده‌اند.

لازم به ذکر است که ورود این توپ‌های سیاه‌رنگ (*Shade Balls*) از سال ۲۰۰۸ شروع شد و شهردار لس‌آنجلس با حضور در برنامه تزریق آخرین محموله، به این برنامه بزرگ پایان داد.

بر اساس همین تلاش‌های مسئولان ایالتی است که این ایالت توانسته ضمن تحمل خشک‌سالی پنج‌ساله، به تولید محصولات کشاورزی خود ادامه دهد و آب شرب و صنعتی را نیز تأمین کند. نباید از یاد برد که اجرای تمامی این برنامه‌ها نیازمند بودجه است؛ مثلاً قیمت هریک از توپ‌های استفاده‌شده برای جلوگیری از تبخیر آب، ۳۶ سنت است و در مجموع برای اجرای این طرح حدود ۳۵ میلیون دلار هزینه شده است؛ ولی با به‌کارگیری این روش نسبت به فناوری‌های مشابه، حدود ۲۵۰ میلیون دلار صرفه‌جویی شده است. با یک محاسبه سرانگشتی می‌توان دید که هر لیتر آب حاصل از برنامه فوق، حدود ۳،۵ سنت هزینه داشته است. تأمین این هزینه‌ها به‌نوعی گویای آن است که مردم و مسئولان ایالتی، به عمق فاجعه پی برده‌اند و ارزش آب را درک کرده و حاضرند برنامه‌های مختلفی برای تأمین بودجه ترتیب دهند.

آن‌ها اصولاً سرمایه‌گذاری روی این پروژه‌ها را بر اساس نقشه راه مبارزه با خشک‌سالی پیش می‌برند. به‌عنوان مثال در پروژه‌های دیگر، فاضلاب را تا حد شرب تصفیه می‌کنند، آب باران را به آبخوان‌ها تزریق می‌کنند، در کشاورزی از آبیاری قطره‌ای و بارانی استفاده می‌کنند، بازار آب به راه می‌اندازند، از شیرآلات با مصرف پایین آب استفاده می‌کنند و آب‌های شور و لب‌شور را شیرین سازی می‌کنند.

بر این اساس با توجه به خشک‌سالی‌های پی‌درپی که در نقاط مختلف کشور ما نیز رخ داده است، به نظر می‌رسد که بهترین راه برای مقابله بلندمدت با این پدیده، تهیه یک نقشه راه به‌منظور مشخص شدن پروژه‌های مناسب و بودجه و پیش‌نیازهای لازم برای اجرائی شدن آن‌ها در هر یک از مناطق مختلف کشورمان باشد.

عبداله مصطفایی

گروه محیط‌زیست

اصول و کاربرد ترموگرافی در تجهیزات مورد استفاده در صنعت برق

نویسنده: امیر سهرابی کاشانی¹

چکیده: ترموگرافی یک نمونه عالی از تکنیک‌های تصویرسازی یا تجسم داده‌ها است که می‌تواند در رشته‌های مختلف فیزیک و علم مورد استفاده قرار گیرد. به علاوه این روش قلمروی تازه‌ای از فیزیک در قوانین قابل تجسم ایجاد کرده است. امروزه به راحتی می‌توان تأثیرات ناپیدای افزایش دمای سطح ناشی از برخورد یک سوژه و یا ناشی از فعل و انفعال ناشی از راه رفتن یک شخص را برای چشم انسان به تصویر کشید. در این روش با استفاده از دوربین‌های حساس به حرارت، طیف مادون قرمز حاصل از سطح جسم را ثبت و روی فیلم ظاهر می‌کنند. می‌دانیم که تمام اجسام از خود طیف حرارتی ساطع می‌کنند و به همین دلیل در این روش بر اساس تفاوت طول موج دریافتی رنگ جسم تغییر می‌کند. در این مقاله در ابتدا به اصول و تئوری روش ترموگرافی و به خصوص امواج مادون قرمز اشاره می‌گردد. و در انتها به کاربردهای این روش در صنعت برق و بازرسی از تجهیزات این صنعت پرداخته می‌شود.

کلیدواژه: ترموگرافی، تلفات حرارتی، صنعت برق، تشخیص عیوب، دوربین مادون قرمز.

مقدمه

آنالیز ترموگرافی که به نام‌های گرما نگاری، ترموویژن و تصویربرداری حرارتی نیز شناخته می‌شود دامنه کاربرد گسترده‌ای از جمله در بخش‌های مدیریت صنایع، اتلاف‌های گرمایش / سرمایشی، کاربرد در سامانه‌های نگهداری و تعمیرات، کاربردهای پزشکی، کاربردهای نظامی و دید در شب و ... دارد. داده‌برداری در آن به کمک دوربین ترموگرافی صورت پذیرفته و از این طریق کلیه اشکالاتی که منجر به تغییر در الگوی توزیع دمای سطحی می‌شوند، قابل شناسایی خواهند بود. به عبارت دیگر همه موجودات هستی با دمای بالاتر از صفر مطلق یا 273 - درجه از خود، این نوع انرژی را تابش می‌کنند. این انرژی به

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

شکل امواج مشابه نور در طول موج هایی که به آن باند مادون قرمز می گویند و با چشم قابل رؤیت نیست، به اطراف جسم منتشر می شود.

امروزه با توجه به نیاز مبرم به برق و حداقل رساندن قطعی های ناخواسته و رضایت مندی مشتریان و پایداری سیستم برق و حس اعتماد مشتریان به جریان و روند مطمئن در سیستم برق رسانی برنامه های پیشگیرانه ای تنظیم می گردد که با آزمودن و بررسی تجهیزات از صحت عملکرد آنها مطمئن می شوند. با توجه به اینکه بسیاری از قطعی های ناخواسته مربوط به اتصالات و جمپر ها و کابل ها و کلمپ های متصل به تجهیزات است، لذا ایجاب می کند که علیرغم بررسی چشمی و سرویس و آچار کشی این نوع اتصالات از دستگاه ترموگراف جهت بررسی مقدار دمای آن تجهیز نیز آگاهی اخذ گردد.

دستگاه ترموگراف با بررسی امواج مادون قرمز ساطع شده از تجهیزات، نقاط داغ را شناسایی کرده و نمایش می دهد و این یکی از مزیت های عمده این دستگاه است که بدون قطع تجهیزات و عدم اتصال به وسیله خاصی با قرائت میزان دمای آن نقطه و مقایسه با دمای محیط و شرایط می توان میزان اهمیت نقطه مورد بررسی را سنجیده و جهت رفع عیب آن طبق یک برنامه از پیش تعیین شده اقدام نمود و از قطعی های احتمالی بخصوص در زمان پیک بار جلوگیری به عمل آورد. ضمن اینکه بعد از رفع عیب نیز می توان به بررسی پرداخت و از رفع عیب تجهیز اطمینان حاصل نمود.

۱- اصول و تئوری ترموگرافی

۱-۱- امواج الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیس را می توان به روش های مختلفی تقسیم نمود. اما یکی از تقسیم بندی هایی که روزمره و آشنا تر است شامل دو گروه هستند. آن هایی که به ما زندگی می بخشد و آن هایی که می توانند به زندگی و حیات ما خاتمه دهند.

اولین گروه امواج الکترومغناطیس مادون قرمز که از خورشید و به صورت امواج گرمایی به سیاره ما می تابند زندگی بخش کره زمین هستند. این امواج مادون قرمز هستند که گرمابخش و موجب رشد و نمو در سیاره زمین هستند و برای بقا به آنها نیاز داریم. گروه دوم امواج فرابنفش نیز برای نابود کردن باکتری‌ها و ضدعفونی کردن تجهیزات پزشکی کاربرد زیادی دارند. از این امواج حتی برای ساخت تجهیزاتی که می توانند آب غیرقابل آشامیدن را تصفیه کرده و قابل نوشیدن کنند، استفاده می شود و همین امواج فرابنفش که از خورشید به سمت ما گسیل می شوند عامل اصلی سرطان پوست نیز هستند.

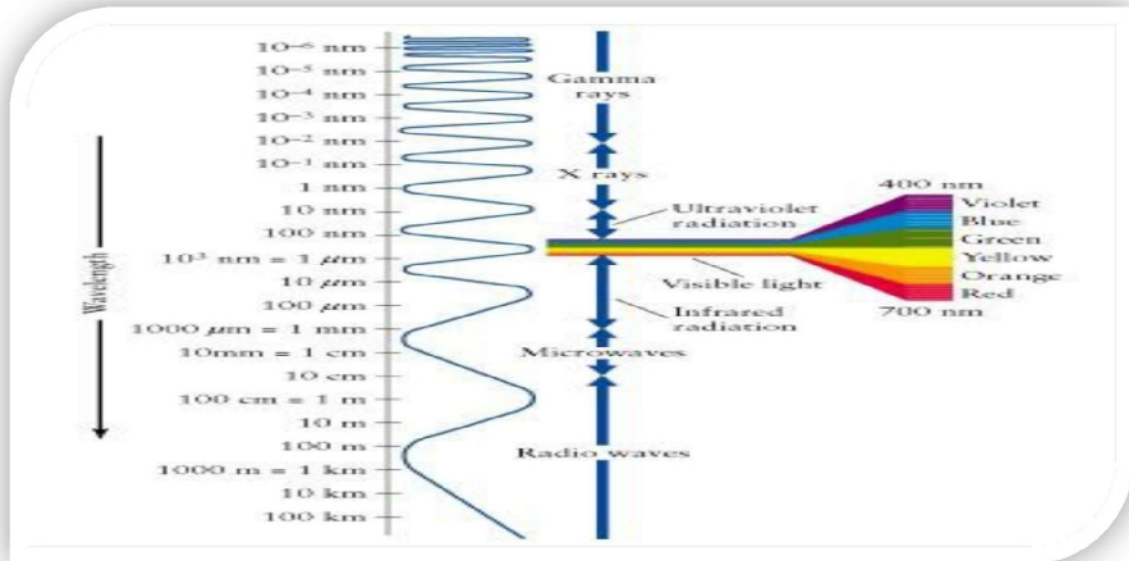
تشعشع می تواند به صور مختلفی از طول موج های رادیوی بین 0/1 سانتی متر تا صدها کیلومتر تا امواج بسیار کوتاه موج گاما که طول موجی کمتر از 10 پیکومتر دارند، ظاهر شود. تمامی انواع تابش ها در انتقال حرارت مشارکت ندارد، برخی از امواج می توانند در اشیا نفوذ کنند (مانند اشعه ایکس که با توجه به قدرت نفوذ آن در برخی موارد برای عکس برداری از جراحات و شکستگی داخلی استفاده می شود و نیز در صنعت به عنوان یک روش بازرسی کاربرد ویژه ای دارد) و برخلاف آنها امواج دیگری از جمله امواج یا تابش های مادون قرمز این توانایی را ندارند. توجه به این نکته الزامی است که تمامی امواج الکترومغناطیس دارای منشأ و پایه ی یکسان هستند و تمامی این امواج در اثر شتاب یافتن و یا کاهش سرعت اجزای باردار اتم ایجاد می شوند.

1-2- طیف امواج الکترومغناطیسی

اگر این امواج بر اساس سطح انرژی مرتب شوند به ترتیب از بالاترین سطح انرژی به پایین ترین سطح انرژی امواج به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

1- امواج گاما، 2- اشعه ایکس، 3- امواج ماوراءبنفش، 4- نورهای قابل دید، 5- امواج مادون قرمز، 6-

7- امواج رادیویی



شکل (۱) شماتیک طیف الکترومغناطیسی و کاربردها

برخی از انواع مختلف این امواج با یکدیگر همپوشانی داشته و فرکانس‌های یکسانی را پوشش می‌دهند. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، تفاوت طول‌موج در دسته‌بندی‌ها و کاربرد آن‌ها کاملاً مشخص است. در ادامه به دلیل کاربرد امواج مادون‌قرمز در مبحث ترموگرافی تنها به بررسی دقیق‌تر این امواج می‌پردازیم.

۳-۱- امواج مادون‌قرمز

امواج مادون‌قرمز در طیف امواج الکترومغناطیسی بین نورهای مرئی و امواج ماکروویو قرار می‌گیرند. منبع اصلی امواج مادون‌قرمز را به‌یقین می‌توان حرارت یا به‌زبانی دیگر امواج حرارتی دانست. اصولاً در طبیعت هر جسمی که دمایی بالاتر از صفر مطلق ($273/15$ - درجه سانتی‌گراد یا 0 درجه کلوین) داشته باشد از خود امواج مادون‌قرمز منتشر می‌نماید. حتی اجسامی که به‌تصور ما بسیار سرد هستند مانند قالب‌های یخ، از خود این امواج را منتشر می‌نمایند. ما همه‌روزه در معرض امواج مادون‌قرمز هستیم، حرارتی که از تابش نور خورشید احساس می‌کنیم، گرمایی که از آتش احساس می‌کنیم یا گرمایی که از

وجود رادیاتور در اتاق حس می‌کنیم همگی تأثیرات امواج مادون قرمز می‌باشند. با وجودی که چشمان ما این امواج را تشخیص نمی‌دهند اما عصب‌های ما این گرما را حس می‌کنند. هرچه سطح یک جسم گرم‌تر باشد میزان نور مادون قرمزی که منتشر می‌شوند بیش‌تر است. کلیه امواج الکترومغناطیسی دارای سطح انرژی خاص خود می‌باشند. در گستره این امواج هر چه به سمت امواج گاما حرکت کنیم انرژی بیش‌تر شده و نفوذپذیری این امواج در اجسام افزایش می‌یابد. در طبیعت تنها تعداد کمی از مواد هستند که امواج مادون قرمز از خود عبور می‌دهند، این مواد عبارت‌اند از ژرمانیوم که اصولاً عدسی‌های دوربین ترموگرافی را از این مواد می‌سازند. تصاویر ترموگرافی اصولاً با طیف‌های مختلف رنگی نمایش داده می‌شوند که به آن‌ها پالت رنگ می‌گویند.

امواج الکترومغناطیس همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد از کوچک‌ترین فاصله از سطح جسم انتشار می‌یابد. امروزه تجهیزات مختلفی از این نوع از امواج الکترومغناطیس استفاده می‌کنند. ریموت کنترل‌های تجهیزات صوتی و تصویری، انواعی از سرعت‌سنج‌های مادون قرمز پلیس، سامانه‌های امنیتی ارزان و بسیاری دیگر از کاربردها از امواج مادون قرمز استفاده می‌کنند.

2- کاربرد عملیات ترموگرافی در صنعت برق

امروزه دوربین‌های ترموویژن بسیار سبک و با کارایی بالا تولید می‌شوند که با استفاده دوره‌ای از آن در پست‌های برق درصد بالایی از عیوبی که رخ خواهند داد را می‌توان پیشگیری نمود حتی در بعضی از شرکت‌های توزیع در استان‌های بزرگ کشورمان نیز از این دستگاه استفاده می‌گردد که بسیار با استقبال مواجهه بوده است.

2-1- کاربرد ترموگرافی (ترموویژن) در خطوط انتقال، پست‌های برق و شبکه‌های توزیع:

عناوین موضوعات مربوطه در این حوزه عبارت‌اند از:

- بررسی شل بودن و نامناسب بودن اتصالات و بررسی تمام عیوبی که با افزایش دما همراه باشند
- بررسی خوردگی اتصالات و نشستی جریان در آنها
- بررسی وضعیت سرکابلها، خازنهای در حال خرابی، برق گیرهای خراب
- شناسایی کلیدهایی که کنتاکت‌های آنها دچار خرابی و نواقص باشد
- شناسایی نقاط دارای حرارت بیش از حد مجاز، اضافه بارها، سیم‌هایی که در حال پارگی هستند
- شناسایی کلیدها، کنتاکتورها و بخصوص کلید فیوزها که کنتاکت‌های آنها دچار خرابی هست
- بررسی شل بودن تیغه‌های کلید فیوزها، وجود اکسیدشدگی، نامتعادلی بار، اضافه بارها، داغی کنتاکتها، داغی کابلشویهای ارتباطی
- وجود خوردگی و اکسیدشدگی در گیره‌ها
- نامناسب بودن اتصال کابلشوی کابل‌ها به پایه فیوز
- وجود اضافه بار در مصرف کننده یا عبور جریان بیش از حد در یکی از فازها
- بررسی و شناسایی شل بود کفشک‌ها، ضعف در اتصالات کابلشوها به بوشینگها یا کفشک‌ها در ترانسفورماتورها
- بررسی عملکرد تب چنجرها، اتصالات، رله‌ها و بریکرها
- بررسی بوشینگ‌های داغ شده و نامتعادلی بار فازهای ترانس
- شناسایی رادیاتورهای ترانس‌ها که دچار گرفتگی شده‌اند
- مشخص نمودن سطح روغن در ترانس‌ها
- شناسایی اشکالاتی مانند ترک‌های ریز در مقره‌ها که سبب آرک زدگی و تخلیه جزئی یا نشت جریان در آنها می‌گردد

۲-۲- کاربرد عملیات ترموگرافی (ترموویژن) در نیروگاه‌های تولید برق:

- بررسی تلفات حرارتی در بدنه بویلرها، دریچه‌های بازدید، بخش‌های عایق‌کاری شده، توزیع دما در بدنه بویلر، سوپر هیتر و ری هیتر، اکونومایزر و یانگستروم به منظور شناسایی مناطق اورهیت شده، میزان ارتفاع آب درام، شناسایی مناطق رسوب گرفته در لوله‌ها
- بررسی عملکرد عایق‌های توربین و لوله‌های ارتباطی، وضعیت عملکرد یاتاقان‌های توربین

- بررسی وضعیت عملکرد کندانسور و توزیع دما در بدنه آن
- بررسی عایق‌کاری هیترهای فشار ضعیف، متوسط و فشارقوی و بویلر فید پمپ و تلفات حرارتی آن
- بررسی سامانه‌های خنک‌کن به‌ویژه عملکرد برج‌های خنک‌کننده اصلی و توزیع دما در مناطق مختلف برج‌ها
- بررسی شناسایی معایب موتورها و پمپ‌ها در بخش‌های سیم‌پیچی، یاتاقان‌ها و عایق پمپ‌ها
- تعیین ارتفاع مخازن آب و سوخت و میزان رسوبات آن در کف مخازن
- عملکرد مبدل‌های حرارتی سوخت و عایق لوله‌های انتقال
- بررسی وضعیت عایقی توربین‌های بخار و توزیع دما روی بدنه آن و عملکرد یاتاقان‌های توربین
- بررسی وضعیت و توزیع دما در محفظه‌های احتراق
- شناسایی معایب ژنراتور در بخش‌های الکتریکی و یاتاقان‌ها و عملکرد سیستم خنک‌کن

2-3- کاربرد عملیات ترموگرافی (ترموویژن) در بازرسی مدارات الکتریکی :

- بررسی گرم شدن زیاد از حد چپ‌های مدارات الکتریکی
- چک کردن دمای بردهای الکتریکی (PCB)

2-4- کاربرد عملیات ترموگرافی (ترموویژن) در بازرسی ساختمان‌ها:

- پیدا کردن حفره در دیوار ساختمان‌ها
- یافتن لوله بخاری درون دیوارها
- یافتن نشی‌های درون دیوار و زیرزمین
- بررسی تلفات حرارتی در سقف‌ها
- بررسی تلفات در پنجره‌ها و درب‌ها

2-5- کاربرد عمومی عملیات ترموگرافی (ترموویژن) در کارخانه‌ها:

- بررسی گرفتگی لوله‌های بخار و لوله‌های هیدرولیک و پنوماتیک
- بازرسی و چک کردن آلودگی‌ها و ناخالصی‌ها

- بررسی دمای ماشین آلات گوناگون، یاتاقانها، کوپلینگ ها
- کنترل ماشینهای فرز و CNC
- وضعیت عایقها، ولوها، تلههای بخار، تشخیص ساییدگی و خوردگی لولهها
- بررسی عملکرد پمپها، موتورها و ژنراتور

۳- بازرسی های ترموگرافی

در ادامه به دلیل گستردگی مطالب در این موضوع تنها به ذکر چند مثال در هر مورد اکتفا می گردد.

۳-۱- بازرسی تجهیزات الکتریکی

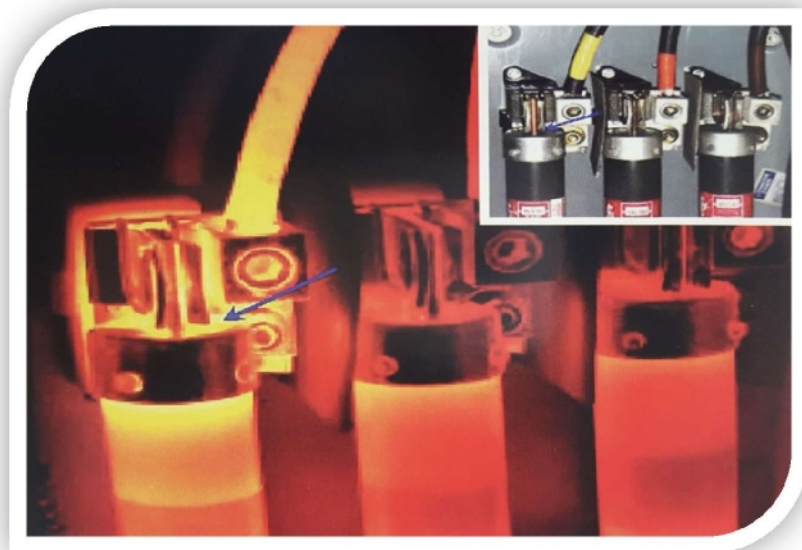
در حقیقت می توان اکثر مشکلات الکتریکی را به سه دسته اصلی قابل شناسایی در روش ترموگرافی تقسیم بندی نمود.

- مقاومت بالا (اتصالات، فیوزها، تجهیزات داخلی)
- بار اضافی (اورلود، بارهای نامتقارن)
- حرارت القایی

در مورد دسته اول با مقاومت بالا، می توان ادعا نمود که این موضوع یکی از مشکلات عدیده در تجهیزات الکتریکی است و همچنین می تواند به عنوان اصلی ترین مشکل تجهیزات مکانیکی نیز شناخته شود. این ادعا از آنجا ناشی می شود که در تجهیزات مکانیکی بخش عمده ای از عوامل ایجاد حرارت ناشی از اصطکاک است، که همان مقاومت بالای سیستم نسبت به حرکت است.

باید توجه کرد که سه اشکال اصلی الکتریکی که در بالا به آنها اشاره شد، در عمل دارای الگوهای حرارتی مشخص هستند. اگر یک تصویر بردار حرارتی این الگوها را به دقت بشناسد می تواند تفسیر صحیحی از تصویر حرارتی داشته و عیب یابی بی نقصی را انجام دهد. در ادامه چندین کاربرد مختلف ترموگرافی در

تشخیص این عیوب الکتریکی بررسی می‌شود. در شکل (۲) یک الگوی مقاومت بالا را می‌بینید و این الگو محل بروز عیب (مقاومت بالا) داغ‌ترین نقطه در تصویر است.



شکل (2) افزایش مقاومت الکتریکی در محل اتصال

برای مقاومت بالا ممکن است علل مختلفی را متصور شد. این عیب می‌تواند ناشی از یک اتصال شل شده، اتصال بیش از حد، آچارکشی شده، لایه‌ی اکسید زیر اتصال، لقی و یا عدم دقت در برقراری اتصال ایجاد شود. پس یکی از ویژگی‌های اصلی بالا بودن مقاومت در یک نقطه، ایجاد یک الگوی خاص حرارتی است که در آن محل عیب دارای بیش‌ترین دما بوده و به تدریج با دور شدن از محل عیب دما کاهش می‌یابد، در این وضعیت نباید هیچ رمز مشخص و ناگهانی در الگو مشاهده شود.

۲-۳- بازرسی تجهیزات مکانیکی

جایگاه استفاده از ترموگرافی بیشتر در کاربردهای عمومی مکانیک است و در مواردی استفاده می‌شود که حرارت ناشی از عیب بتواند در سطح تجهیز با استفاده از ترموگرافی آشکار شود.

پنج مرحله‌ی اساسی برای یک برنامه‌ی پایش وضعیت موفق مادون‌قرمز در تجهیزات مکانیکی باید در نظر گرفته شود.

۱- انتخاب تجهیزاتی که بتواند در برنامه قرار گیرد.

۲- ایجاد یک بانک داده با اجزای لازم بر اساس دستورالعمل‌های نوشته‌شده.

۳- تعیین دوره زمانی و خط سیر بازرسی.

۴- ایجاد سیستم گزارش‌گیری خطا و فرایندهای بازدیدهای دوباره به صورت استاندارد.

۵- انجام یک بازرسی اولیه به عنوان مبنای مقایسه.

تجهیزاتی که بیشتر در برنامه‌های بازرسی مکانیکی مورد توجه هستند شامل موارد زیر هستند.

- موتورها، پمپ‌ها، فن‌ها، گیربکس‌ها

- بیرینگ‌ها، یاتاقان‌ها، شفت‌ها

- درایوها، بولی و تسمه‌ها، تسمه‌های نقاله

- ژنراتورها، کمپرسورها، تجهیزات روباتیک

- و در نهایت هر تجهیز دوار مانند ماشین‌ها و غلتک‌های خشک‌کن کاغذسازی

الگوی حرارتی یکی دیگر از ابزارهای تحلیل عیوب در تجهیزات مکانیکی است که می‌تواند به‌طور

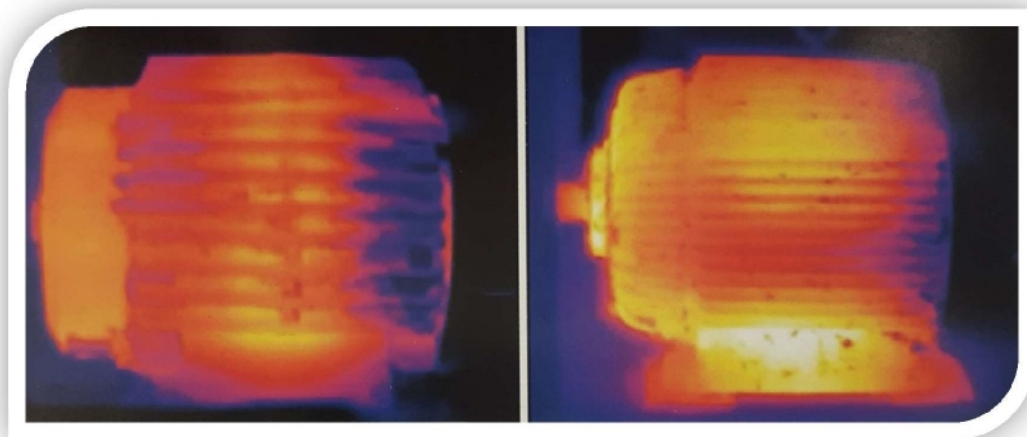
گسترده برای عیب‌یابی سریع استفاده شود. برای انجام این کار نیاز به الگوی حرارتی یک تجهیز سالم است

و با مقایسه با آن می‌توان مشکلات زیادی را شناسایی کرد.

در شکل (۳)، تصویر الگوی حرارتی دو موتور که تمامی مشخصات آن‌ها یکسان است مشاهده می‌شود.

تصویر سمت چپ یک الگوی حرارتی عادی و تصویر سمت راست یک موتور با الگوی حرارتی غیرعادی

را نشان می‌دهد. سعی شود با مقایسه بین دو تصویر تفاوت‌ها شناسایی شوند.



شکل (3) مقایسه‌ی عکس ترموگرافی موتور الکتریکی سالم (چپ) و معیوب (راست)

همان‌طوری که مشاهده می‌شود در الگوی موتور سمت راست سه نقطه‌ی داغ مشاهده می‌شود. به‌طور واضح همان در محل بیرینگ دارای مشکل است و نقطه داغ پایینی نیز نشان از یک مشکل دارد که شاید به علت مشکل بیرینگ بوده و یا این که دلیل دیگری موجب ایجاد این مشکل شدند. در هر صورت اختلاف فاحشی بین الگوهای حرارتی نشان از این مسئله دارد که این موتور در وضعیت عادی نبوده و دارای یک عیب اساسی است.

۳-۳- بازرسی تجهیزات فرآیندی

با تابش خورشید به یک تانک ذخیره و مواد داخل آن شروع به گرم شدن می‌کند تا به دمای سطح تانک برسد. این گرمایش در طول روز تا زمانی که خورشید بر تانک می‌تابد ادامه دارد. معمولاً تانک و محتویات آن به تعادل دمایی می‌رسند. وقتی خورشید غروب کرده و گرمایش تانک به پایان می‌رسد، موقع باز پس دادن گرمای جذب شده است. مواد مختلف با توجه به گرمای ذخیره شده و ضریب گرمای مخصوص مقادیر متفاوتی از انرژی را به محیط باز پس می‌دهند. انرژی از طریق بدنه‌ی تانک به روش رسانایی به سطح بیرونی منتقل شده و سپس در محیط بیرونی تابش می‌کند. مواد با ضریب گرمای مخصوص بالاتر انرژی بیشتری را

پس می دهند و لذا سطوحی که با آنها در تماس است زمان بیشتری را برای رسیدن به تعادل دمایی با محیط نیاز دارند. با توجه به این که اکثر تانکها از جنس فلز و دارای ضریب انتقال حرارت بسیار بالایی هستند، تصویر حرارتی که بر روی سطح بیرونی فلز تشکیل می شود معمولاً تصویر مناسب و کاملاً منطبق بر محتویات مخزن است.

در شکل (۴)، تانکهای ذخیره سوخت یک نیروگاه مشاهده می شود. در این تصویرها به علت تفاوت در ظرفیت گرمایی مرزهای آب و مواد نفتی به طور واضح مشهود است و به راحتی می توان با اندازه گیری ارتفاع حجم سیالهای مختلف و میزان ارتفاع محتویات مخزن را محاسبه نمود.



شکل (۴) عکس حرارتی مخزن سوخت در یک نیروگاه

بازرسی عایقی در کوره ها با بازرسی مخازن قدری متفاوت است. ماده ی نسوز در این کوره ها معمولاً از جنس آجرهای نسوزی است که به عنوان عایق در مقابل فرآیند حرارتی کوره مقاومت می کند و دو وظیفه ی اساسی دارد.

۱- انرژی را در فرآیند حفظ کرده و موجب پایداری و کارایی دمایی می شود.

۲- سطح بیرونی کوره یا مجرا را در مقابل افزایشی بیش از حد دما و آسیب دیدن محافظت می‌کند.

با نازک شدن این لایه مقاوم، انرژی بیشتری به سطوح بیرونی رخنه کرده و می‌تواند بر روی بدنه نقاط داغی را ایجاد کند. در صورتی که این لایه‌ی عایقی جدا شده یا تخریب شود، سطح به سرعت به دمای بحرانی خواهد رسید که منجر به خرابی‌های اساسی می‌شود. با استفاده از ترموگرافی می‌توان این نقاط داغ و محل‌های دارای اشکال را قبل از این که اوضاع بحرانی شود تشخیص داد و حتی ابعاد عایق از دست‌رفته را برای برنامه‌ریزی تعمیرات در اسرع وقت تعیین کرد.

شکل (۵) یک کوره‌ی دوار که در ارتفاع ۹ متری از سطح زمین قرار دارد را نشان می‌دهد. کوره به صورت مستمر در حال دوران است و با آجر نسوز از درون عایق‌کاری شده است. یک بخش از عایق افتاده است که در تصویر به صورت یک منطقه‌ی مربع شکل قابل مشاهده است.



شکل (۵) عکس حرارتی یک کوره‌ی دوار که بخشی از عایق داخلی آن افتاده است

۴- نتیجه‌گیری

باید توجه کرد نتیجه‌ی تمامی فعالیت‌های یک تصویربردار حرارتی در گزارشی که وی به گروه تعمیراتی یا متقاضی عملیات ترموگرافی ارائه می‌کند بازمی‌گردد. یک گزارش خوب می‌تواند به درستی نتایج حاصل از

ترموگرافی را نمایش دهد. اما یک گزارش ناقص و غیر حرفه‌ای می‌تواند نتایج بدی را به بار آورد. با توجه به نوع فناوری، عملاً درک تصاویر ترموگرافی توسط هرکسی امکان‌پذیر نبوده و برای تحلیل آنچه دوربین ترموگرافی نشان می‌داد تخصص ویژه‌ای لازم بود. این تخصص به حدی بوده است که معمولاً این کار نیاز به کسی دارد که دانشی در حد دکترای فیزیک داشته باشد. امروزه تمامی دوربین‌های ترموگرافی به راحتی اطلاعات کامل تصویر حرارتی را در دوربین با تمامی اطلاعات لازم ذخیره می‌کنند و تصاویر گرافیکی که با این دوربین‌ها به دست می‌آید تا حد زیادی شفاف و گویا هستند. همین امکانات مدرن، کار گزارش‌گیری را بسیار ساده کرده است. البته در هر صورت باید به این مسئله توجه داشت که کار تصویربرداری حرارتی تنها زمانی به پایان رسیده و تکمیل می‌شود که گزارش نهایی ارائه گردد. شاید بهتر است از جنبه‌ی مهم دیگر نیز این اهمیت را تذکر داد. در واقع یک بازرس مستقل در زمینه ترموگرافی می‌بایستی طرح و محتوای این گزارش‌ها را مطابق توقعات مشتری و با اهداف بازرسی آماده نمایند.

مراجع و منابع:

- [۱]- مهندس بابک فاضل بخشی، مهندس سید اسماعیل صادقی، ترموگرافی پیشرفته سطح یک، سال ۱۳۹۳
- [۲]- گزارش عملیات تصویربرداری پالایشگاه بندرعباس، شرکت فناوران مادون قرمز، شهریور ۱۳۸۶
- [۳]- گزارش عملیات تصویربرداری پالایشگاه اصفهان، شرکت فناوران مادون قرمز، شهریور ۱۳۹۰
- [۴]- غلامحسین معصومی، تشخیص عیب‌های مکانیکی با استفاده از دوربین ترموگرافی مورد کاوی در پتروشیمی بو علی سینا، ماهشهر، اسفند ۱۳۸۹

[5]- *Infrared Thermography*, <http://www.academy-of-infrared.com>

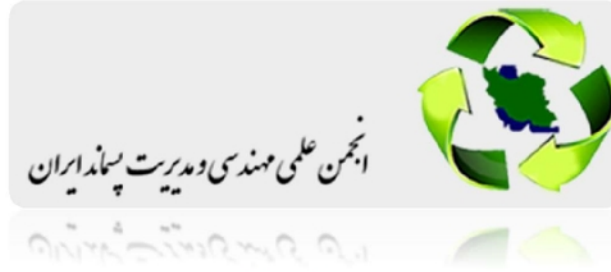
[6]- Ron Newport, *institute of infrared thermography, Electrical System Reliability utilizing Infrared Thermography*

[7]- *Maintenance Technology*, <http://www.mt-online.com>

Principles and Applications of thermography in diagnosis of equipments damage at power industry

Authors: Amir Sohrabi Kashani

Thermography is an excellent example of Visualization and data visualization techniques which can be used in various fields of science and engineering. In addition, this method has created a new realm of physics in Visualization rules. Today's, it is possible to easily depict the hidden impacts of temperature increase caused by the collision of a subject or interaction of a walking on the surfaces. In this method, by using heat-sensitive cameras Infrared spectra were recorded on the surface of the film. It's known that all objects emit thermal spectrum. In this method based on differences wavelength perceptions of bodies, colors of bodies will vary. In this article, first principles and theory of thermography especially infrared waves are pointed out and finally the application of this method in the power industry and inspection of equipments will be discussed..



آشنایی با انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران با حضور اساتید، کارشناسان و مدیران برجسته کشور و به منظور گسترش، پیشبرد و ارتقای علمی مدیریت و مهندسی پسماند و توسعه کیفی نیروهای متخصص و بهبود امور آموزشی و پژوهشی در زمینه‌های مدیریت پسماند تشکیل شده است. این انجمن از وزارت علوم تحقیقات و فناوری مجوز تأسیس دریافت نموده است. اولین مجمع عمومی عادی انجمن در خردادماه ۱۳۹۰ برگزار شد و در دی‌ماه ۱۳۹۰ به ثبت رسید.

وظایف و فعالیت‌ها:

- ❖ همکاری با نهادهای اجرایی، علمی و پژوهشی در زمینه ارزیابی و بازنگری و اجرای طرح‌ها و برنامه‌های مربوط به امور آموزش و پژوهش در زمینه علمی موضوع فعالیت انجمن.
 - ❖ انجام تحقیقات علمی و فرهنگی در سطح ملی و بین‌المللی با محققان و متخصصانی که به گونه‌ای با علم محیط زیست و پسماند سروکار دارند.
 - ❖ تهیه طرح‌های جامع پسماند برای شهرداری‌ها، استانداری‌ها و وزارت کشور.
 - ❖ ارائه خدمات آموزشی و برگزاری کارگاه‌های تخصصی در زمینه‌های مهندسی و مدیریت پسماند برای شهرداری‌ها، استانداری‌ها و وزارت کشور.
 - ❖ مشاوره علمی و انجام طرح‌های پژوهشی در زمینه‌های مربوط.
 - ❖ برگزاری گردهمایی‌های علمی در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی.
 - ❖ تهیه و تدوین مقالات علمی و کتب تخصصی در زمینه مهندسی و مدیریت پسماند.
 - ❖ انتشار کتب و نشریات علمی، انتشار کتب و نشریات علمی.
- این انجمن دارای ماهنامه آموزشی الکترونیکی محیط و پسماند است. برای آشنایی بیشتر با این انجمن می‌توان به وبسایت <http://anijomanpasmand.com> مراجعه نمود.

اثرات ناخواسته ماده صنعتی "بیس فنل آ" بر سلامت انسان

نویسندگان: عبدالله مصطفایی¹

چکیده: ترکیب بیس فنل آ یا همان BPA در تولید پلاستیکهای پلی کربناته و رزینهای اپوکسی بکار می رود. از پلاستیکهای پلی کربناته در ساخت ظروف و مخازن نگهداری غذا و نوشیدنی استفاده می شود. این ترکیب در زمره ترکیبات خطرناک برای انسان رده بندی شده است. این ترکیب میتواند باعث اختلال در عملکرد غدد درون ریز شود. البته برای بچه ها خطرناکتر خواهد بود و از این رو بسیاری از کشورها مثل اتحادیه اروپا و کانادا بکارگیری آنرا برای شیشه شیر کودکان ممنوع ساخته اند. اخیراً در فوریه سال 2016 فرانسه اعلام نموده که تصمیم دارد این ترکیب را در دسته ترکیبات با نگرانی زیاد طبقه بندی نماید. در این مقاله به مشکلات این ماده پرداخته می شود

کلیدواژه: بیس فنل آ، BPA، اختلال غدد درون ریز، ریسک سلامت، در معرض قرار گرفتن

مقدمه

بیس فنل آ یا همان BPA² از جمله مواد شیمیایی است که به مقدار زیاد تولید و مصرف می شود. معمولاً از این ماده به عنوان نرم کننده (پلاستی سایزر) یا به عنوان ماده واسط در تولید رزین های اپوکسی، پلاستیک های پلی کربناته و نیز به عنوان ماده افزودنی برای حذف اسیدکلریدریک اضافی حین تولید PVC استفاده می کنند. این ماده به مقدار وسیعی در تولید تجهیزات پزشکی و بهداشتی به کار می رود. البته باید به کامپوزیت های دندان، عدسی های تماسی، عدسی عینک، اسباب بازی ها، CD و DVD نیز اشاره کرد. به دلیل تولید زیاد ماده بیس فنل آ، مشتقات آن به نحو وسیعی در محیط منتشر می شود که باعث آلودگی خاک و آب های زیرزمینی می شوند. بیس فنل آ از جمله موادی است که در ساخت پلاستیک های دارای تماس

1- کارشناس پژوهش، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Amostafaei@nri.ac.ir

² Bisphenol A

مستقیم با مواد غذایی (FCMS¹) به کار می‌رود. از این ماده در پلاستیک‌های بسته‌بندی، وسایل آشپزخانه، پوشش در فلزی، ظروف شیشه‌ای و پوشش درونی کنسرو و کمپوت‌ها برای مجزا کردن ماده غذایی از قسمت فلزی و جلوگیری از خوردگی آن استفاده می‌شود.

۱- تاریخچه تولید و استفاده

این ماده در سال ۱۸۹۱ توسط یک شیمی‌دان روس به نام «دیانی» کشف شد. در دهه ۱۹۳۰ به دلیل دارا بودن بعضی خواص، سعی شد که از آن به‌عنوان استروژن مصنوعی استفاده کنند که پس از آزمایش‌های فراوان، برای این هدف ضعیف تشخیص داده شد. در دهه ۱۹۵۰ از آن در ساخت پلیمرهای پلی کربناته استفاده شد و این پلیمرها توانستند از مقبولیت بالایی نزد اهالی صنعت برخوردار شوند. در اواخر دهه ۱۹۹۰ بود که نتایج منفی استفاده از این مواد در مقالات علمی منعکس شد که حاصل آزمایش‌های انجام‌گرفته روی موش‌ها و حیوانات آزمایشگاهی بود و در همین دوران، سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا میزان مجاز ورود این ماده را ۵۰ میکروگرم در روز به ازای هر کیلوگرم از وزن انسان اعلام کرد. بعدها به دلیل بروز مشکلات ناشی از این ماده در انسان‌ها، دیگر کشورها نیز دست‌به‌کار شدند و در سال ۲۰۰۸ کانادا این مقدار مجاز را به عدد ۲۵ کاهش داد. به دلیل اهمیت موضوع، اداره ایمنی غذایی اروپا (EFSA²) وارد این بحث شد و پس از انجام تحقیقات فراوان، در اوایل سال ۲۰۱۵ اعلام کرد که این عدد را به عدد چهار کاهش می‌دهد، ولی چند ماه بعد، موسسه ملی تغذیه در دانشگاه فنی دانمارک با نامناسب و زیاد دانستن این مقدار، درخواست کرد که این عدد به ۰/۷ میکروگرم در روز به ازای هر کیلوگرم از وزن انسان تقلیل داده شود تا بتوان صنایع را وادار کرد که در استفاده از این مواد سختگیرتر باشند تا انسان‌ها در امان بمانند.

¹ Food Contact Materials

² European Food Safety Authority

2- نحوه در معرض بیس فنل آ قرارگرفتن در زندگی روزمره

ترکیب بیس فنل آ به نحو وسیعی در زندگی روزمره مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین مسیرهای متفاوتی برای در معرض قرارگیری انسان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مسیرهای بلعیدن، تنفس و پوست اشاره کرد. منابع اصلی در معرض قرار گرفتن انسان عبارت است از: بسته‌بندی مواد غذایی، گردوغبار، مواد پرکننده دندان، تجهیزات پزشکی، کاغذهای حرارتی، اسباب‌بازی و وسایل مرتبط با کودکان و نوزادان. محصولات غذایی منبع اصلی در معرض قرارگیری بیس فنل آ به شمار می‌روند که سهم آن چندین برابر دیگر منابع است. مهم‌ترین منبع برای در معرض قرارگیری از طریق رژیم غذایی مربوط به غذاهای کنسروی است. البته این ماده در گوشت، شیر، تخم‌مرغ و دیگر مواد غذایی تازه نیز گزارش شده است که ناشی از چرای حیوانات در محیط‌های آلوده و نیز ناشی از آب آلوده است. از بیس فنل آ در پوشش بدنه داخلی قوطی‌های کنسرو و در فلزی ظروف شیشه‌ای استفاده می‌شود تا از تماس مستقیم مواد غذایی با فلز جلوگیری شده و ضمناً پایداری حرارتی و مکانیکی ظروف کنسرو نیز حفظ شود. پوشش‌هایی که با این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرند از رزین‌های اپوکسی ساخته شده‌اند. بر اساس آمار، هر ساله حدود 9 درصد از بیس فنل آ تولیدشده به مصرف لایه داخلی ظروف کنسرو می‌رسد. حرارت دیدن این ظروف حین عملیات استرلیزاسیون یا آماده‌سازی، به نشت بیس فنل آ از داخل پوشش اپوکسی به درون مواد غذایی منجر خواهد شد و از این رو پتانسیل در معرض قرارگیری را افزایش می‌دهد. بیشترین افزایش غلظت بیس فنل آ در دمای 121 درجه سانتی‌گراد در مدت 90 دقیقه گزارش شده است. البته گفته شده که تأثیر دما بیش از تأثیر زمان حرارت دیدن است. استرلیزاسیون غذاهای کنسرو شده باعث مهاجرت 80 تا صد درصد بیس فنل آ به محتویات قوطی‌های کنسرو خواهد شد. البته غذاهایی با PH کمتر و چربی بیشتر دارای غلظت بالاتری از بیس فنل آ خواهند بود. به‌علاوه آلودگی مواد غذایی با بیس فنل آ می‌تواند نتیجه ذخیره این مواد

در پلاستیک‌های پلی کربناته باشد) مثل ظروف قابل استفاده مجدد، بطری‌های پلی کربناته آب و نوشابه) که در ادامه می‌توان به ظروف شیر پلی کربناته نوزادان اشاره کرد. خطر این ظروف با گرم کردن و پخت مواد غذایی در ماکروویوها افزایش می‌یابد. به علاوه، بیس فنل آ می‌تواند توسط غبارهای حاصل از سطوح لمینیت شده ساختمان‌ها، چسب‌های حاوی رزین‌های اپوکسی، رنگ‌ها و دستگاه‌های الکترونیکی خانگی منتشر شود. در تحقیقی مشخص شد که ۹۵ درصد از ۵۶ نمونه حاوی این‌گونه غبارها، دارای بیس فنل آ در محدوده ۰/۸-۱۰ میکروگرم به ازای هر گرم غبار است. با وجود این، در ادارات و آزمایشگاه‌ها به دلیل وجود مبلمان و تجهیزات الکترونیکی، غلظت‌های بیشتری از بیس فنل آ گزارش شده است. کودکان و نوزادان در منزل بیشتر در معرض این ماده قرار می‌گیرند که عموماً از طریق دهان و هوای آلوده منتقل می‌شود. آمارها بیان می‌کند که در معرض قرارگیری از طریق غبار، کمتر از پنج درصد کل در معرض قرارگیری است. بزرگسالان از هوای آلوده روزانه حدود ۰/۴ و نوزادان ۵/۳ نانوگرم به ازای هر کیلو از وزن خود ماده بیس فنل آ دریافت می‌کنند. پلیمرهای پرکننده دندان یا اصطلاحاً کامپوزیت‌ها، شامل مونومرهایی هستند که می‌تواند حاوی بیس فنل آ باشند که می‌توان به Bis_GMA اشاره کرد. در اینجا بیس فنل آ از پرکننده‌های دندان یا مواد مناسب برای بازسازی تاج دندان منتشر می‌شود. در تحقیقی مشخص شد که پس از پر کردن دندان‌ها، میزان بیس فنل آ در بزاق در حداکثر مقدار خود بوده است که با گذشت زمان کاهش می‌یابد. با وجود این هرچند مقدار این بیس فنل آ کم است، ولی برای طولانی‌مدت است. پس از بازسازی تاج دندان‌های انتهایی دهان، روزانه بین ۱۳ میکروگرم تا ۳۰ میلی‌گرم از بیس فنل آ انتشار می‌یابد. این آمارها گویای آن است که امور دندان‌پزشکی یک منبع اصلی به خصوص در افراد دارای تعداد زیاد دندان‌های پر شده با این‌گونه مواد است. بیس فنل آ به مقدار کم از تجهیزات پزشکی که حاوی پلی کربنات‌ها یا نرم‌کننده‌های پلی سولفونه باشند، نیز آزاد شده و انتشار می‌یابد (۰/۳۵-۰/۳ میکروگرم) که در مورد این

تجهیزات می‌توان به عدسی‌های تماسی چشم، پروب‌ها، وسایل استنشاق، لوله‌ها و وسایل انتقال خون، کاتترها، انکوباتور نوزادان و دستگاه‌های دیالیز اشاره کرد. این ترکیب در پلاستیک‌های پلی کربناته وجود دارد و تولید این پلاستیک‌ها به دلیل خواص مناسب، از رشد قابل توجهی در صنایع پتروشیمی برخوردار است. اما طبق بررسی‌های انجام‌شده، اتصالات مولکول‌های بیس فنل آ در پلاستیک پلی کربناتی با گرم شدن یا قرار گرفتن در معرض اسیدها و بازها، شکسته می‌شود و می‌تواند وارد غذا، شیر یا نوشابه یا آبمیوه درون ظروف پلی کربناته شده و در نهایت وارد بدن انسان شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد این ترکیب پس از ورود به بدن می‌تواند دستگاه غدد درون‌ریز و هورمون‌ها را با اختلال مواجه کند. این موضوع چنان حاد شد که چند سال قبل دولت کانادا در یک اقدام ضربتی تصمیم گرفت به کارگیری پلاستیک‌های پلی کربناته برای ساخت بطری‌های شیردهی نوزادان را ممنوع کند. گفته شده است این ترکیب می‌تواند افراد را در معرض بیماری‌های قلبی و عروقی، دیابت و حتی بیماری‌های کبدی قرار دهد. همان‌طور که گفته شد، از دیگر مشکلات این ترکیب می‌توان به چاقی و بلوغ زودرس اشاره کرد. این ماده در نوزادان و کودکان از طریق بازی با اسباب‌بازی‌ها و تماس با پستانک و دندان‌گیر (وسیله گاز گرفتن کودک تا دندان‌درآوردن) وارد دهان کودک می‌شود. بزاق حاصل از یک تماس 24 ساعته با جفجغه بین 0/14-2/1 میکروگرم در لیتر و پستانک بین 0/11-14 میکروگرم در لیتر از بیس فنل آ بوده است. بزاق حاصل از تماس یک دقیقه‌ای با پستانک و دندان‌گیر حاوی 0/3 میکروگرم در لیتر و 5/9 میکروگرم در لیتر از ماده بیس فنل آ گزارش شده است.

3- متابولیسم و سینتیک سمیت بیس فنل آ

بیس فنل آ در کبد توسط یوریدین 5- دی فسفو - گلوکورونیل ترانسفراز (UGT¹) متابولیزه می‌شود.

¹ Uridine diphosphate glucuronosyl transferase

البته این ماده به مواد دیگری از قبیل سولفات بیس فنل آ و بیس فنل-۳و۴- کوئینون نیز متابولیزه می شود. نیمه عمر بیس فنل آ در بدن حدود چهار و نیم ساعت تخمین زده شده است.

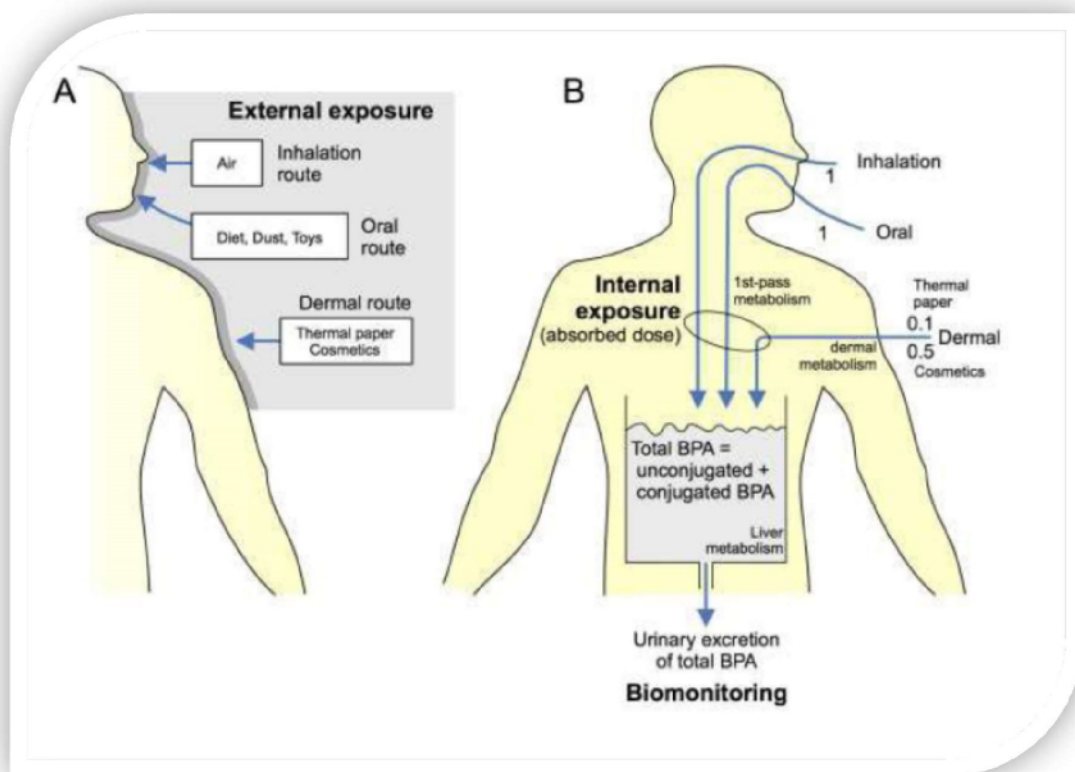
۴- خطرات سلامت ناشی از بیس فنل آ

به دلیل وجود ساختمان فنلی در بیس فنل آ، این ماده در واکنش با دریافت کننده های استروژنی بوده و با دریافت کننده های غدد درون ریز (ER^1) به عنوان آگونیست و آنتاگونیست عمل خواهد کرد. بنابراین بیس فنل آ نقش پاتوژنی در چند نوع از بیماری های غدد درون ریز مثل عدم باروری زنان و مردان، بلوغ زودرس و مشکلاتی از قبیل سندرم پلی سیستیک تخمدان ($PCOS^2$) خواهد داشت. البته نتایج تحقیقات بیانگر آن است که این ماده روی سیستم های عصبی، ایمنی، رشد و تولیدمثل انسان دارای اثرات زیانباری است. در یک پژوهش، محققان روی ۶۳۴ کارگر شاغل در چهار کارخانه در چین متمرکز شدند چون آنها در معرض مقادیر زیادی از این ماده قرار داشتند. آنها طی پنج سال آزمایش های لازم را روی این کارگران انجام دادند تا مشکلات جنسی آنها با دیگر کارگرانی که در معرض ماده بیس فنل آ قرار ندارند، مقایسه شود. موسسه تحقیقاتی بنیاد کایزر این تحقیق را با حمایت مالی «موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی» انجام داده است. نتایج این تحقیق نشان داد مردانی که در معرض بیس فنل آ قرار داشتند، چندین برابر دیگر کارگران، دارای مشکل جنسی بودند. این تحقیق در زمره اولین تحقیقات در زمینه اثرات این ماده بر انسان به شمار می رود چون تا پیش از این، نتایج فقط مبتنی بر آزمایش های صورت گرفته روی جانوران آزمایشگاهی بود. بعد از این تحقیقات بود که کابینه دولت آمریکا متعهد شد به این موضوع «نگاه جدیدی» داشته باشد و از این رو انتظار انجام تحقیقات و بررسی های بیشتر در سازمان غذا و داروی آمریکا به وجود آمد. این در حالی است که

¹ Endocrine receptors

² Polycystic Ovary Syndrome

دولت فدرال در همان ابتدا مبلغ ۳۰ میلیون دلار را برای دو سال بعد به محققان سراسر این کشور اختصاص داد تا تحقیقات پیشرفته‌ای را در زمینه بیس فنل آ انجام داده و در مورد ایمنی این ماده تحقیق کنند.



شکل (1): نحوه در معرض قرار گرفتن بدن با BPA

۵- بیس فنل آ، مشکل‌آفرین برای غدد درون‌ریز

طبق تعریف اداره ایمنی غذایی اروپا (EFSA)، یک ماده مشکل‌آفرین برای غدد درون‌ریز عبارت است از یک ترکیب مصنوعی یا طبیعی که مشخصات زیر را دارا باشد: فعالیت غددی داشته باشد یعنی تأثیرات منفی بر سلامتی داشته و ارتباط بین فعالیت غدد و اثرات منفی آن تأیید شده باشد. تحقیقات نشان داده است که بیس فنل آ از خود فعالیت استروژنی ضعیف بروز داده و می‌تواند انجام وظیفه غدد درون‌ریز را با اختلال مواجه کند.

۶-در آینده مشکلات بیشتر می شود؟

از بیس فنل آ در تولید کاغذهای حرارتی برای پرینت رسیدهها نیز استفاده می شود و اگر پس از تماس با این کاغذها، دست شسته نشود، امکان ورود این ماده از طریق دهان یا تماس پوستی وجود دارد. مشخص شده است که این کاغذهای رسید، پس از رژیم غذایی به عنوان دومین منبع برای در معرض قرارگیری افراد بالای سه سال به شمار می رود. موضوع مهم آن است که استفاده از این رسیدهها در جامعه در حال افزایش است و باید راه چاره ای برای آن جست. امروزه در بانکها، رستورانها، پارکینگها، ورودی بزرگراهها و مراکز دیگر از این نوع رسیدههای کاغذی استفاده می شود. نتایج چندین تحقیق نشان داده است که غلظت بیس فنل آ در ادرار صندوق دارانی که برای طولانی مدت در تماس با این کاغذها بودند، دو برابر افراد عادی جامعه بوده است. میزان آزاد شدن بیس فنل آ از طریق کاغذهای حرارتی به تعداد دفعات و زمان تماس و میزان تمیزی دست افراد بستگی داشته است. بیان شده است که یک صندوق دار پس از ۱۰ ساعت کار روزانه، در معرض ۷۱ میکروگرم از این ماده قرار دارد، ولی افراد معمولی روزانه در معرض ۶/۴۲-۱/۷ میکروگرم قرار دارند.

۷-تولید در ایران

کشور ما نیز از جمله تولیدکنندگان پلاستیکهای پلی کربناته در واحدهای پتروشیمی است که طبق آمار سالانه حدود ۳۰ هزار تن از این نوع پلاستیکها را برای مصارف گوناگون تولید می کند. البته باید توجه داشت که در صنایع مختلف پایین دستی نیز از این پلاستیکها برای تولید مواد دیگر استفاده می شود و به نظر می رسد که کارکنان تمامی این واحدها و همسایگان آنها در معرض این ریسکها قرار دارند.

8-پیشنهادها

- 1- ممنوع شدن فروش و ساخت بطری‌های شیردهی دارای بیس فنل آ اعم از خارجی یا داخلی در بازار ایران
- 2- ایجاد برنامه‌ای برای پایش این ماده در مواد خوراکی و مصرفی مختلف
- 3- یافتن جایگزین‌هایی برای کاغذهای حرارتی به دلیل سرعت فراگیر شدن این مواد در کشور
- 4- تحقیق روی یافتن روش‌های جدید حفظ مواد غذایی در قوطی‌های کمپوت و کنسرو
- 5- برگزاری دوره‌های بازآموزی برای متخصصان رشته‌های مرتبط به‌خصوص متخصصان غدد درون‌ریز و ارولوژی برای درج آزمایش بیس فنل آ از خون و ادرار در آزمایش‌های تشخیص طبی جهت ردیابی این مواد در اقشار مختلف و یافتن ارتباط آن با بیماری‌ها
- 6- تعیین مقادیر استاندارد برای غلظت بیس فنل آ در آب، مواد خوراکی و هوا
- 7- تعیین مقادیر مجاز ملی برای میزان دریافت گروه‌های سنی مختلف در اجتماع
- 8- انجام پایش‌های بیولوژیکی روی کارگران کارخانه‌های مرتبط با این ماده و نیز کارخانه‌های مرتبط با پلی‌کربنات‌ها
- 9- راه‌اندازی برنامه‌های آموزشی و تشویقی به‌منظور کاستن از مصرف این‌گونه محصولات در جوانب مختلف زندگی.

مراجع

- [1] D. S. Lim, et al, Risk assessment of bisphenol A migrated from canned foods in Korea, J. Toxicological Environ Health A, 29 Dec. 2009
- [2] Facts and figures on human and environmental health issues and regulatory perspectives
- [3] – Minnesota Department of Health, Toxicological Summary for Bisphenol A , July 2014

- [4] B. F. Healy, et al, Bisphenol A exposure pathways in early childhood: Reviewing the need for improved risk assessment models, J Expo Sci Environ Epidemiol., Nov 2015
- [5] Dan Fagin, Toxicology: The learning curve, Nature, 24 October 2012
- [6]European Food Safety Authority (EFSA), "Scientific Opinion on the Risks to Public Health Related to the Presence of Bisphenol A (BPA) in Foodstuffs: Part I – Exposure Assessment", EFSA Journal 2015; 13(1):3978, Parma, Italy
- [7]Aleksandra Konieczna, Aleksandra Rutkowska, Dominik Rachoń, "Health Risk of Exposure to Bisphenol A (BPA), Rocznik Panstw Zakl Hig 2015; 66(1):5-11
- [8]Dan Fagin, The Learning Curve, Nature, 25 Oct. 2012
- [9] <https://www.ihs.com/products/bisphenol-chemical-economics-handbook.html>
- [10]<https://chemicalwatch.com/22991/danish-institute-say-cfsa-bpa-exposure-limit-too-high>

The adverse effects of "Bisphenol A" on human health

Authors: Abdollah Mostafaei

Abstract: BPA is employed to make some plastics resins. BPA is found in polycarbonate plastics and epoxy resins. Polycarbonate plastics are used in containers that store food and beverages, such as water bottles. Bisphenol A is a dangerous compound for human. It can disrupt the endocrine system. It is more risky for babies. The European Union and Canada have banned BPA use in baby bottles. In February 2016, France announced that it intends to propose BPA as a REACH Regulation candidate substance of very high concern (SVHC).

آلودگی هوا هر سال ۸۰ هزار میلیارد تومان به ایران ضرر می‌زند

بررسی‌های جدید بانک جهانی نشان می‌دهد آلودگی هوا چهارمین عامل مرگ‌ومیر زودرس در جهان است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد هوای آلوده عوارض اقتصادی سهمگینی برای کشورهای در حال توسعه به همراه دارد و سالانه بیش از ۵ تریلیون دلار هزینه در سطح جهانی صرف تعطیلی روزهای کاری در اثر آلودگی هوا و هزینه‌های پیشگیری از مرگ‌ومیر زودرس می‌شود..

گزارش بانک جهانی این هزینه را برای ایران حدود ۲/۳ درصد تولید ناخالص داخلی برآورد کرده است. از سویی ایران بر اساس سال معیار ۲۰۱۱ تا ۹۹۷ میلیارد دلار تولید ناخالص داخلی دارد. به گزارش شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، بدین ترتیب رقم هزینه کشورمان در آلودگی هوا بر اساس قیمت دلار فعلی، ۸۰ هزار میلیارد تومان در هر سال است. بر اساس گزارش بانک جهانی، مرگ‌ومیر زودرس ناشی از آلودگی هوا در ایران نیز در طی دو دهه گذشته رشد کرده و از ۱۷ هزار نفر در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۲۱ هزار نفر در سال ۲۰۱۶ رسیده است. آلودگی هوا برای کشورهای توسعه‌یافته نیز کم‌هزینه نیست و سالانه ده‌ها میلیارد دلار در این کشورها صرف هزینه تعطیلی روزهای کاری و هزینه‌های پیشگیری از مرگ‌ومیر زودرس می‌گردد. بر اساس این گزارش، آلودگی هوا برای ایالات‌متحده آمریکا، بریتانیا و آلمان به ترتیب ۴۵، ۷،۶ و ۱۸ میلیارد دلار هزینه سالانه در بردارد. کشور ۴۰۰ هزار نفری ایسلند کم‌ترین میزان هزینه را بابت آلودگی هوا می‌پردازد (حدود ۳ میلیون دلار) و این کشور بر اساس گزارش بانک جهانی پاک‌ترین هوای جهان را دارد. بانک جهانی، بر اساس آمارهای سازمان بهداشت جهانی، در گزارش مفصل خود اعلام کرده که سالانه ۵،۵ میلیون مورد مرگ‌ومیر زودرس ناشی از آلودگی هوا است و این میزان معادل یک مورد از هر ۱۰ مرگ‌ومیر در جهان است.

بر اساس این گزارش، آلودگی هوا پس از سیگار، رژیم غذایی و چاقی چهارمین علت مرگ‌ومیر زودرس در جهان است. آلودگی هوا می‌تواند منجر به بیماری‌های تنفسی، ریوی، ناراحتی‌های قلبی و سرطان شود. این میزان شش برابر مرگ‌ومیر ناشی از بیماری مالاریا است. سازمان بانک جهانی بدون به حساب آوردن هزینه‌های درمانی برای معالجه بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا، تخمین زده است اقتصاد جهانی در سال ۲۰۱۳ هزینه‌های حدود ۲۲۵ میلیارد دلار به دلیل مرگ‌ومیرهای زودرس طی روزهای کاری که در اثر آلودگی هوا تعطیل شده، متحمل گشته است. ولی این مقدار هزینه تخمین زده شده هنگامی که هزینه‌های

پیشگیری از مرگ و میر زودرس نیز در نظر گرفته شود، به بیش از 5 تریلیون دلار افزایش می‌یابد. شایان‌ذکر است، منظور از هزینه‌های پیشگیری از مرگ و میر زودرس هزینه‌هایی است که مردم جهت محافظت خود در برابر مرگ ناشی از آلودگی هوا متحمل می‌شوند. باید توجه داشت هزینه‌های ناشی از درمان بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا در این محاسبات در نظر گرفته نشد.

به گزارش شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، «هزینه اقتصادی ناشی از آلودگی هوا»، خطراتی که آلودگی هوا بر سلامت می‌تواند داشته باشد در کشورهای در حال توسعه بیشترین میزان است. در سال 2013 حدود 93 درصد از میزان مرگ و میرها و بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا در این کشورها رخ داد، در جایی که 90 درصد از جمعیت کشورها در معرض تراز بالایی از آلاینده‌های خطرناک قرار داشتند. بر اساس گفته نویسندگان، «آلودگی هوا تنها یک عامل تهدید کننده سلامت نیست بلکه یک عامل عقب کشاندن کشورها است. آلودگی هوا با افزایش میزان مرگ و میر و بروز بیماری‌های متعدد منجر به کاهش کیفیت زندگی خواهد شد. در نتیجه آلودگی هوا با کاهش نیروی کار، سطح درآمد، بازدهی و اقتصاد را در این کشورها کاهش می‌دهد.»

این مطالعه ارتباطی میان میزان توسعه اقتصادی جوامع و آلودگی هوا برقرار نمود. بین سال‌های 1990 و 2013، با وجود توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های پزشکی کشورها، هزینه‌های پیشگیری از مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا دو برابر شد و ضرر ناشی از دست دادن نیروی کارآمد به میزان 40 درصد افزایش یافت. «امروزه آلودگی هوا به صورت یک چالش عظیم در آمده است و از سال 1990 میزان مواجهه با آلودگی هوا در اکثر کشورها افزایش یافته است، این میزان مواجهه به ویژه در کشورهای با جمعیت متراکم و مناطق به سرعت در حال رشد، از جمله آسیای جنوبی و آسیای شرقی، به میزان قابل توجهی افزایش یافته است.»

بر اساس این گزارش، در دو دهه گذشته عامل آلودگی هوا از آلودگی آب به مراتب کشنده‌تر شده است و آمار مرگ و میرهای زودرس ناشی از آن از سال 1990 بدین سو به طور مداوم افزایش یافته است.

امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از فناوری‌های

گوگردزدایی از دود دودکش

نویسندگان: پیمان پورمقدم^۱، سوسن داوری^۲، زهرا دلاور مقدم^۳

چکیده: در این مقاله ملاحظات فنی و اقتصادی حذف آلاینده گازی SO_2 از دود دودکش بررسی شده است. در طی بررسی‌ها صورت گرفته بر روی ۱۸ روش اعم از روش‌های سولفور زدایی تر، خشک و نیمه‌خشک، سه روش اسکرابر تر سنگ‌آهک با اکسیداسیون اجباری، خشک‌کن پاششی آهک و مبدل کاتالیستی از لحاظ فنی قابلیت بهتری جهت استفاده در نیروگاه‌های بخاری ایران داشته و به‌عنوان روش‌های برتر انتخاب و مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده از این ارزیابی نشان داده که کم‌ترین هزینه سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به روش اکسیداسیون اجباری سنگ‌آهک و بیشترین هزینه مربوط به روش سولفور زدایی مبدل کاتالیستی است. همچنین کم‌ترین هزینه جاری و عملیاتی مربوط به روش مبدل کاتالیستی است. درزمینه مجموع هزینه‌های متعادل شده نیز روش اکسیداسیون اجباری سنگ‌آهک کم‌ترین هزینه سولفور زدایی را دارا بوده است.

کلیدواژه: گوگردزدایی، FGD ، دود دودکش، $LSFO$ ، MEL ، LSD ، $SNOx$.

مقدمه

سوخت مصرفی اکثر نیروگاه‌های بخاری کشور، در بیش از نیمی از سال مازوت با گوگرد ۲/۵ الی ۳/۵ درصد است که در اثر احتراق حجم بالایی گاز SO_2 از طریق دودکش به اتمسفر منتشر نموده و موجب ایجاد باران‌های اسیدی و اثرات مخرب زیست‌محیطی می‌شود. از طرفی استانداردهای مجاز آلاینده‌های خروجی دودکش توسط سازمان‌های محیط‌زیست دنیا و کشورمان تدوین شده که صنایع را موظف به رعایت حد مجاز از طریق نصب سیستم سولفور زدا می‌نمایند.

1- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: ppourmohaddam@nri.ac.ir2- مجری طرح گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Sdavari@nri.ac.ir3- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: zdelavar@nri.ac.ir

تاکنون روش‌های متعددی برای سولفور زدایی از دود دودکش در دنیا ارائه و به‌صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش‌های تر سولفور زدایی نظیر فرآیندهای اسکرابر تر آهک، اسکرابر تر سنگ‌آهک با اکسیداسیون اجباری (LSFO¹)، اسکرابر بهینه‌شده آهک با منیزیم (MEL²)، اسکرابر هیدروکسید منیزیم دورریز، اسکرابر تر دو قلیایی سدیم / آهک، اسکرابر محلول سدیم دورریز، روش‌های خشک سولفور زدایی نظیر خشک‌کن پاششی با آهک (LSD³)، خشک‌کن پاششی با سدیم، رآکتور بسترسیمال آهک، پاشش مستقیم آهک/سنگ‌آهک در کوره و فرآیندهایی که در آن محصول جانبی تولید می‌شود نظیر اسکرابر دو قلیایی سولفات آلومینیوم / سنگ‌آهک، اسکرابر آمونیاک یک‌بار گذر، اسکرابر آمونیاک همراه با اکسیداسیون، اسکرابر آمونیاک همراه با بازیابی اسید، اسکرابر اکسید منیزیم، مبدل کاتالیستی SNOx، اسکرابر سولفیت سدیم و جذب توسط کربن فعال همراه با بازیابی حرارتی اشاره کرد.

مؤلفه‌های تأثیرگذار در انتخاب روش‌های FGD برای استفاده در نیروگاه‌ها به‌طور کلی شامل عوامل تأثیرگذار بر اقتصاد طرح (که خود متأثر از هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری و هزینه‌های جاری عملیاتی، غلظت گوگرد در سوخت، اندازه بویلر، سهولت در اجرای فرآیند، انرژی مصرفی، حجم زائادات جامد بجا مانده و تولید محصول جانبی است) و عوامل فنی نظیر بازدهی و عملکرد فرآیند، ظرفیت سیستم، استوکیومتری جاذب، هزینه و سهولت دسترسی به جاذب مصرفی، میزان و کیفیت آب موردنیاز، تغییرات موردنیاز در نیروگاه، جدید یا قدیمی بودن نیروگاه، میزان و نوع فاضلاب و پسماندهای تولیدی، انرژی مصرفی، تولید محصول جانبی، سهولت اجرا، افت فشار در جریان دود و خوردگی و جنس تجهیزات مورد استفاده در فرآیند است [1]، [2].

¹ Limestone Forced Oxidation

² Magnesium-Enhanced Lime

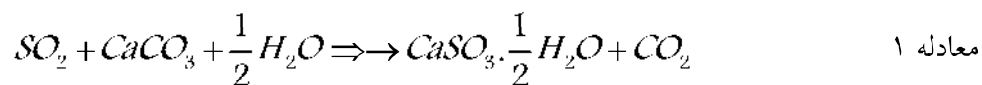
³ Lime spray drier

در بررسی انجام شده در تحقیق [۲]، کلیه مؤلفه‌های فوق برای ۱۸ روش مطرح FGD با بهره‌گیری از اطلاعات ارائه شده در مراجع [۳] - [۱۵] مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مقایسه کمی و کیفی انجام شده در این تحقیق، روش‌های سولفور زدایی مناسب برای به‌کارگیری در نیروگاه‌های ایران که دارای مزیت‌های فنی و اقتصادی بهتری نسبت به دیگر روش‌ها هستند؛ روش‌های اسکراپر MEL و LSFO، خشک‌کن LSD و کاهش کاتالیستی SNOx عنوان شده است. در این مقاله پس از تشریح چهار روش فوق، ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌ها انجام شده و روش‌های مناسب برای به‌کارگیری در نیروگاه‌های بخاری ارائه خواهند شد.

۱- شرح فرآیند

۱-۱- اسکراپر اکسیداسیون اجباری سنگ‌آهک (LSFO)

در این فرآیند SO₂ دود با CaCO₃ دوغاب سنگ‌آهک واکنش داده و به CaSO₃.1/2H₂O و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود، معادله ۱ [۹].

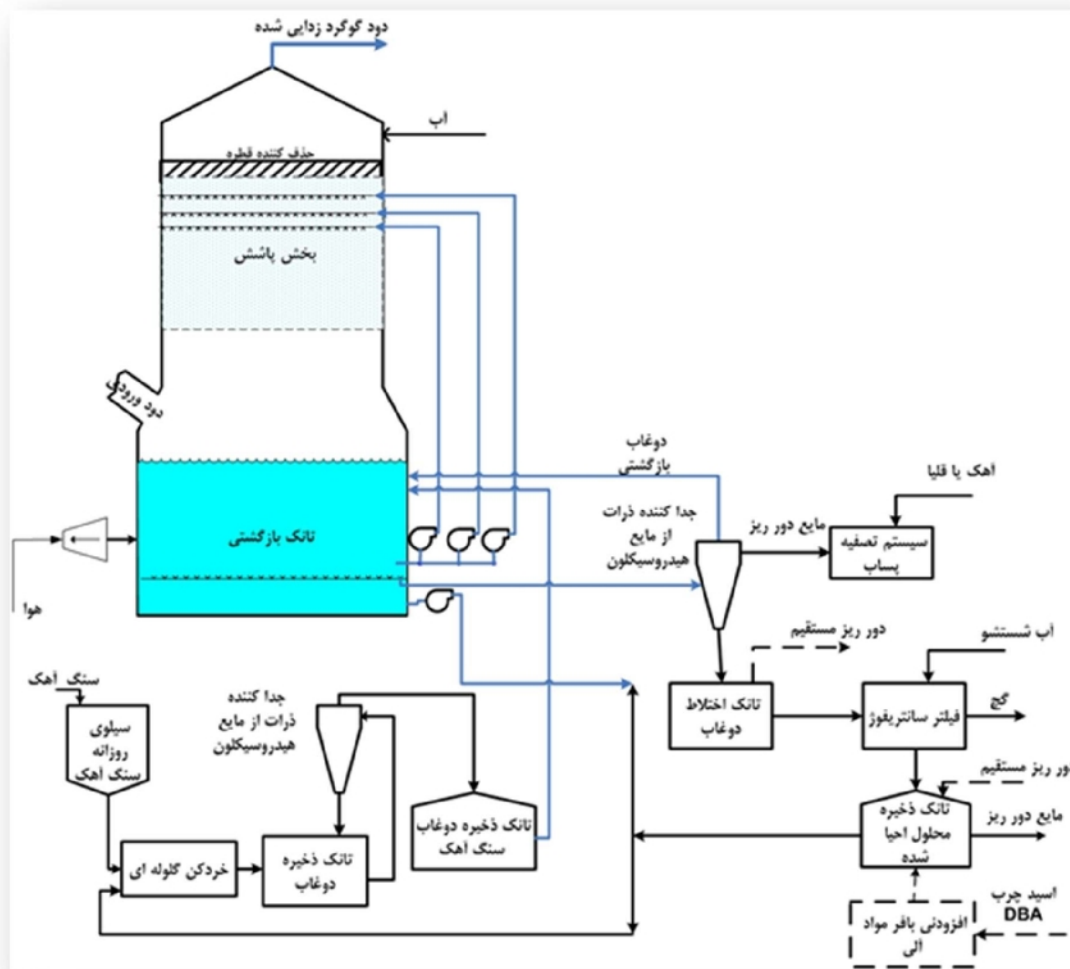


هوا جهت اکسید کردن در دوغاب دمیده می‌شود تا سولفیت کلسیم هیدراته را مطابق معادله ۲ به گچ تبدیل کند. این کار باعث رسوب گچ در تانک واکنش شده و از نشست رسوب بر روی جداره‌های برج جذب و گرفتگی نازل‌ها و لوله‌ها جلوگیری می‌کند. به کمک هوادهی غلظت مواد همیشه در ۸۰-۹۰٪ حد رسوب باقی می‌ماند [۹].



در فرآیند LSFO، آماده‌سازی دوغاب سنگ‌آهک شامل خرد کردن سنگ و رساندن اندازه ذرات به زیر ۱ in (۹۵٪) آن‌ها زیر مش ۳۲۵ معادل ۴۴ میکرون قرار می‌گیرند. در خردکن است. حلال دوغابی

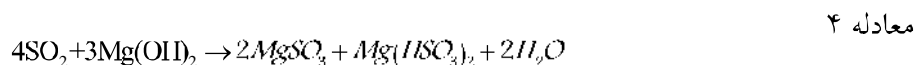
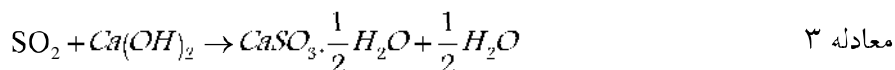
ساخته‌شده از آب و سنگ‌آهک به برج جذب تزریق می‌شود. میزان دبی جریان معمولاً با توجه به pH و SO₂ ورودی کنترل می‌شود. مقداری از دوغاب انتهایی برج به سمت تصفیه‌خانه رفته تا پس از انجام یکسری از فرآیندهای فیزیکی (مانند فیلتراسیون و ...)، رسوبات محلول آن جداسازی و محلول آبی آن به سیستم بازگردانده شود [۱]. محصول جانبی گچ است که پس از آبرگیری و رسیدن به رطوبت ۱۰٪ هم قابلیت فروش و هم قابلیت دفن به‌تنهایی در لندفیل را دارا است. در شکل (۱) نمایی از فرآیند فوق نشان داده شده است.



شکل (۱) - نمودار فرآیندی روش LSFO [۱]، [۲]

۱-۲- روش بهینه‌شده اسکرابر تر آهک با منیزیم (MEL)

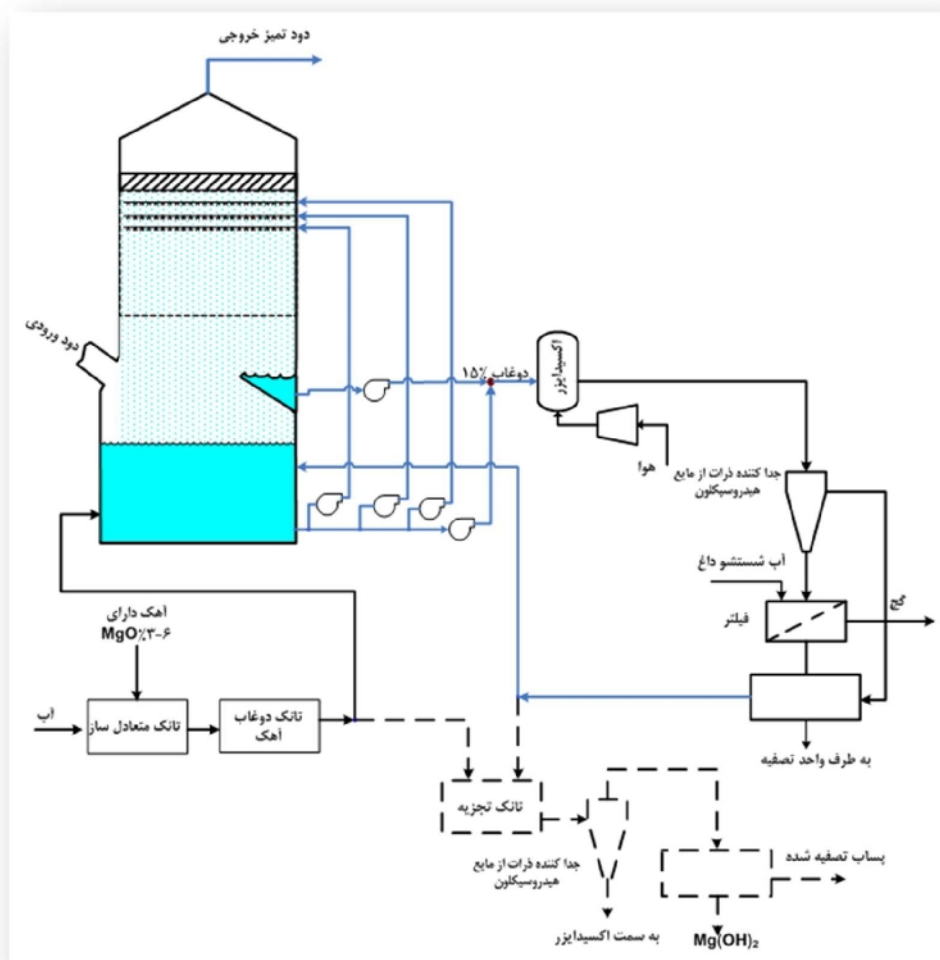
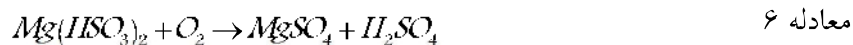
در این روش از دوغاب آهک هیدراته که شامل هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ و مقداری هیدروکسید منیزیم است استفاده می‌شود. دوغاب همراه با کنترل pH به‌طور مرتب به تانک سیرکوله در انتهای برج جذب اضافه می‌شود. در طی فرآیند پاشش جاذب، SO_2 توسط آهک هیدراته جذب و خنثی می‌شود.



اغلب SO_2 موجود در سوخت با هیدروکسید کلسیم موجود در دوغاب واکنش داده و رسوب سولفیت کلسیم ($CaSO_3 \cdot 1/2H_2O$) را ایجاد می‌کند. هیدروکسید منیزیم با باقی‌مانده SO_2 واکنش داده تا نمک‌های انحلال‌پذیر سولفیت و بی‌سولفیت منیزیم ایجاد شوند. سولفیت منیزیم موجود در دوغاب نقش بافر را ایفا کرده و pH را با جذب SO_2 اسیدی کنترل می‌کند. با این عمل، کارایی جاذب بالا رفته و قابلیت جذب میزان بیشتری از SO_2 فراهم می‌شود و در واقع نسبت L/G (دوغاب مصرفی به گاز ورودی) کاهش می‌یابد. هم‌چنین فرآیند در pH پایین‌تر حدود ۶ انجام‌شده و خنثی‌سازی تقریباً به‌صورت کامل انجام می‌شود [۱۱]. وجود نمک‌های منیزیم محلول در آب موجب شده تا میزان حلالیت رسوبات سخت همچون سولفات کلسیم افزایش و از ایجاد رسوب درون برج و گرفتگی لوله‌ها و نازل‌ها جلوگیری شود به‌گونه‌ای که میزان گرفتگی به ۱۰٪ قبل (اسکرابر محلول آهک بدون استفاده از منیزیم) کاهش می‌یابد [۱۱]. بخشی از دوغاب گردشی که SO_2 را جذب کرده و حاوی نمک‌های سولفیت منیزیم و کلسیم است، در جداکننده جانبی (SCOOP) جداشده و به همراه قسمتی از دوغاب خروجی از انتهای برج به قسمت هوادهی فرستاده می‌شود (شکل ۲). این دوغاب جداشده pH حدود ۵/۵ دارد. در قسمت هوادهی

سولفیت منیزیم به گچ و نمک‌های منیزیم به سولفات منیزیم تبدیل می‌شود. واکنش‌های تبدیل در هنگام

هوادهی به‌صورت زیر است:



شکل (۲) - نمودار فرآیند MEL برای جذب SO₂ [2], [9] و [11]

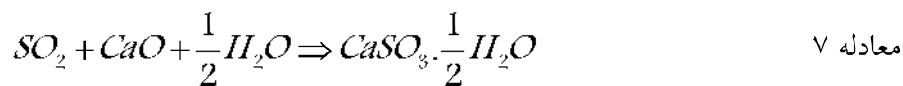
آهک مورد استفاده در این روش شامل ۹۱-۸۳٪ وزنی اکسید کلسیم (CaO) و ۸-۲٪ وزنی اکسید

منیزیم (MgO) است. آهک ارتقاء یافته با منیزیم می‌تواند از سنگ آهک با درصد مناسب منیزیم و یا

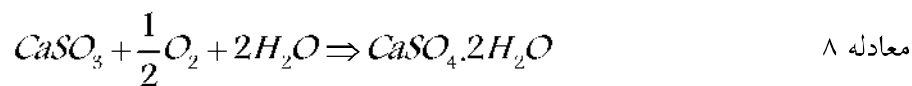
مخلوط کلسیم با دولومیت (MgO ۴۰٪) به دست آید [۱۱]. در حین انجام فرآیند گچ به عنوان محصول جانبی تولید شده و با استفاده از فیلترهای مخصوص آبیگری و به بلوک های گچی تبدیل و یا با رطوبت ۱۰٪ به صورت تنها و یا مخلوط با خاکستر دفن می شود. محصول جانبی دوم در این روش هیدروکسید منیزیم است. جهت ایجاد هیدروکسید منیزیم بخشی از جریان آهک ورودی به سیستم، به بخش تصفیه خانه رفته و در آنجا با پساب واکنش داده و به هیدروکسید منیزیم تبدیل می شود.

۱-۳- روش خشک کن پاششی آهک (LSD)

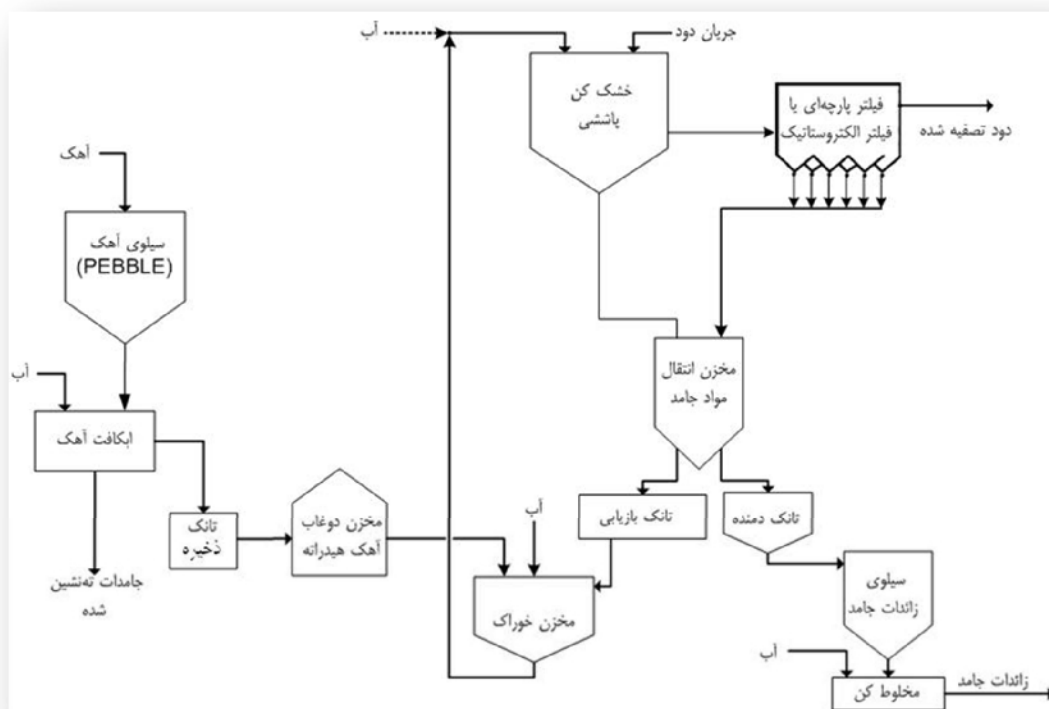
LSD یک فرآیند اسکرابر خشک بوده که بیشتر برای سوخت های کم گوگرد استفاده شده و پس از پیش گرم کن هوا قرار می گیرد. به منظور جداسازی ذرات خروجی از اسکرابر که در فرآیند جذب ایجاد شده اند، یک جداکننده ذرات پس از اسکرابر خشک بکار گرفته می شود. در طی این فرآیند گاز دودکش در یک اسکرابر (محفظه خشک کن پاششی) در تماس با قطرات آهک قرار می گیرد. این قطرات توسط پاشش دوغاب آهک در یک اتمایزر دوار یا مجموعه ای از نازل ها ایجاد می گردند. در هنگام سقوط ذرات در محفظه، بیشتر آب درون آن تبخیر شده و گاز ورودی را از حدود 300°C به $70-85^{\circ}\text{C}$ خنک می کند. دوغاب گاز SO_2 را جذب کرده و SO_2 با آهک درون قطرات واکنش داده و سولفیت کلسیم (CaSO_3) را مطابق با واکنش زیر تولید می کند [۱۶].



مقداری از CaSO_3 با اکسیژن درون گاز دودکش واکنش داده و سولفات کلسیم ایجاد می شود.



گاز خروجی از برج جذب جهت جمع‌آوری ذرات و خاکستر بادی به فیلتر (از نوع پاچه‌ای یا ESP) فرستاده می‌شود. مقداری از این ذرات جدا شده در فیلتر، به سیلوی ذخیره آهک فرستاده شده تا به همراه دوغاب آهک تازه مورد استفاده مجدد قرار گیرد. فلودیگرام فرآیند خشک‌کن پاششی آهک در شکل ۳ نشان داده شده است.

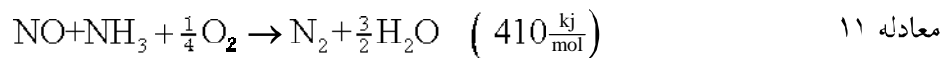
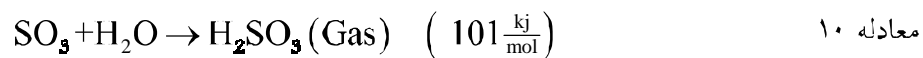
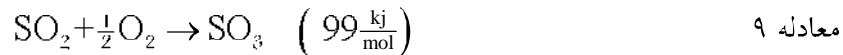


شکل ۳ - نمایی از فرآیند خشک‌کن پاششی آهک [2]، [6]

۱-۴-فرآیند SNOx

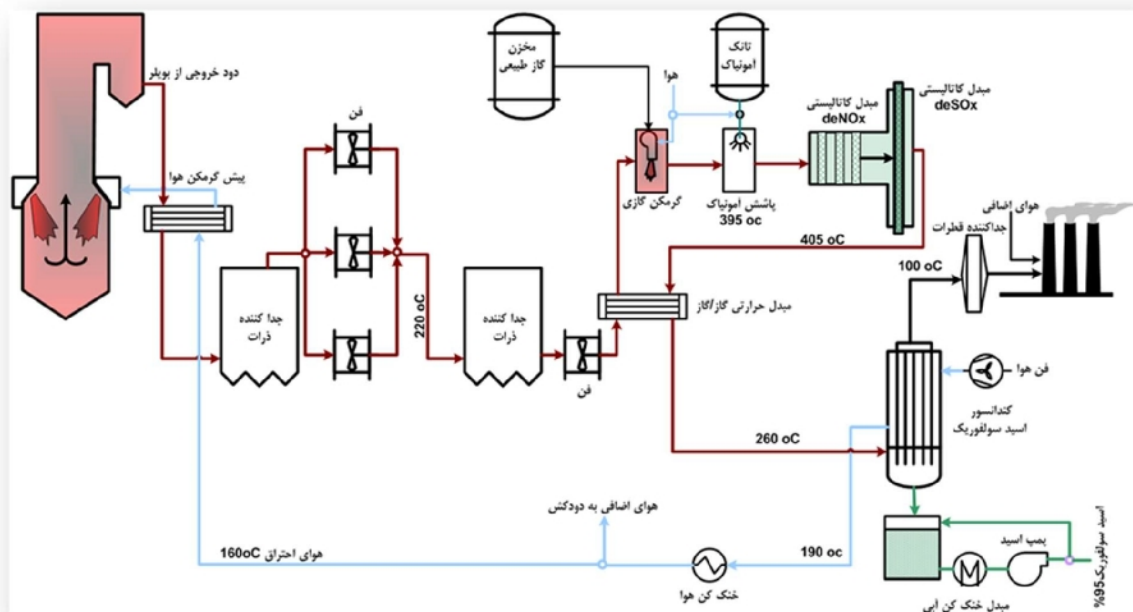
فرآیند SNOx توسط شرکت دانمارکی Haldor Topsoe توسعه یافته است [17]. این فرآیند متشکل از دو فرآیند کاهش انتخابی کاتالیستی (SCR) حذف NOx و فن‌آوری تولید اسیدسولفوریک برای حذف SO2 است. ویژگی‌های بارز این فرآیند را می‌توان در کارایی بالای این روش در حذف هم‌زمان NOx (تا بیش از ۹۶٪) و SOx (بیش از ۹۹٪)، به حداقل رسیدن انتشار ذرات، عدم تولید فاضلاب و

زیاله‌های جامد و افزایش راندمان حرارتی بویلر برشمرده [18]. در این روش گوگرد به صورت اسیدسولفوریک با خلوص بالای ۹۶-۹۴٪ احیا و NOx به صورت کاتالیستی توسط پاشش NH₃ به N₂ احیا می‌شوند. معادله‌های ۹-۱۱.



همچنین گردوغبار و ذرات همراه دود به‌طور مؤثری حذف شده و گرمای تولیدشده در فرایند و حرارت بازیابی شده از خنک‌سازی دود دودکش تا حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد صرف تولید بخار و پیش گرم کردن هوای ورودی به بویلر می‌شود. نتیجه این بازیابی حرارت منجر به بهبود فرآیند احتراق، افزایش راندمان حرارتی بویلر و تولید ناخالص برق می‌شود [18]. مراحل اصلی فرآیند SNOx عبارت‌اند از:

- حذف گردوغبار در ESP یا فیلتر پارچه‌ای در دمای حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد
 - گرمایش دود دودکش تا حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد
 - احیای کاتالیستی NOx توسط پاشش NH₃ به دود بالادستی رآکتورهای NOx
 - اکسیداسیون کاتالیستی SO₂ به SO₃ در رآکتور اکسیداسیون (بعد از رآکتور NOx)
 - خنک کردن دود تا حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در کندانسور و کندانس بخار اسیدسولفوریک
- کاهش هزینه‌های عملیاتی فرآیند با افزایش غلظت SO₂ در دود ورودی از مزیت‌های شایان‌ذکر این روش محسوب می‌شود. این امر ناشی از گرمای حاصل از تبدیل کاتالیستی SO₂ به H₂SO₄ بوده که موجب آزادسازی حدود ۸ مگا ژول انرژی به ازای هر کیلوگرم گوگرد موجود در سوخت است. نمودار فرآیندی این روش در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- نمودار فرآیندی SNOx [18]، [6]

۲- بررسی اقتصادی روش‌های منتخب سولفور زدایی از دود دودکش

۲-۱- مبنای محاسبه هزینه مواد و نیروی انسانی در ایران

در جدول (۱) هزینه مواد و نیروی انسانی که در محاسبات این بخش بکار گرفته شده‌اند ارائه شده است. بخشی از تجهیزات مورداستفاده در این واحدها وارداتی بوده و هزینه‌های آن بر اساس ارز دلار محاسبه شده‌اند، از سوی دیگر هزینه‌های جاری، مواد مصرفی و نیروی انسانی به صورت ریالی محاسبه شده‌اند. برای یکسان‌سازی و همچنین ارائه مطلوب‌تر مقادیر تمامی هزینه‌های ریالی با نرخ تبدیل ارز ۲۴۰۰۰ ریال به ازای هر دلار آمریکا، به دلار تبدیل شده‌اند.

۲-۲- برآورد هزینه‌های ثابت و عملیاتی

روابط کلی مورداستفاده در تخمین هزینه‌های اقتصادی فرآیندهای سولفور زدایی روش‌های LSFO، MEL، LSD و SNOx در ادامه ارائه شده است. این معادلات بر اساس تحقیقات سازمان حفاظت محیط‌زیست

آمریکا EPA ارائه گردیده و دربرگیرنده هزینه‌های ثابت و هزینه‌های جاری ثابت و متغیر (بر مبنای سال ۲۰۰۴) است [۲۶]. شایان ذکر است که کلیه هزینه‌های ثابت ارائه شده با استفاده از ضریب تصحیح نلسون فرار برای سال ۲۰۱۲ بروز شده‌اند [۲۷].

جدول ۱- هزینه مواد و نیروی انسانی (میزان متوسط گزارش شده در ایران)

عنوان	واحد	مقدار	مرجع
برق	ریال برای هر کیلووات ساعت در ماه‌های سرد سال	۵۵۰	[۲۲]
آب چاه	تومان بر مترمکعب	۴۰۰	[۲۱]
آب دمین	تومان بر لیتر	۲۰	[۲۲]
گاز طبیعی (به‌عنوان سوخت نیروگاه)	تومان بر مترمکعب	۸۰	[۲۲]
مازوت (به‌عنوان سوخت مصرفی نیروگاه)	تومان بر لیتر	۱۴۰	[۲۰]
دستمزد کارگر ساده	تومان در ماه (۱۷۶ ساعت)	۱۵۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰	
دستمزد کارگر و تکنسین ماهر	تومان در ماه (۱۷۶ ساعت)	۲۰۰۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰۰	
دستمزد مهندس و ناظر	تومان در ماه (۱۷۶ ساعت)	۳۰۰۰۰۰۰	
قیمت فروش آهک ۹۵٪	در معدن (قزوین)	تومان بر تن	۷۰۰۰۰
	درب نیروگاه	تومان بر تن	۹۰۰۰۰
قیمت فروش سنگ آهک ۹۶٪	در معدن (قزوین)	تومان بر تن	۲۵۰۰۰
	درب نیروگاه	تومان بر تن	۴۵۰۰۰
قیمت دولومیت ۴۰٪ MgO	در معدن (قزوین)	تومان بر تن	۱۷۰۰۰
	درب نیروگاه	تومان بر تن	۳۷۰۰۰
قیمت جاذب MEL درب نیروگاه	۷۷٪ آهک ۲۳٪ دولومیت	تومان بر تن	[۲۳]، [۲۴]
قیمت فروش اسیدسولفوریک	دلار بر تن	۸۰	[۲۵]
	دلار بر تن	۴۵۴	
قیمت فروش آمونیاک			

3- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند سولفور زدایی *LSFO*

در این بخش هزینه‌های ثابت و جاری به‌کارگیری فرآیند *LSFO* برای دو حالت نیروگاه موجود و نیروگاه جدیدالاحداث با ظرفیت 1300 مگاوات تخمین زده شده است. با توجه به اینکه واحد *LSFO* را می‌توان در اندازه‌های متنوع ساخت (از 100 مگاوات تا 900 مگاوات) [26]، در این تحقیق دو واحد *FGD* با ظرفیت 900 مگاوات و 400 مگاوات برای سولفور زدایی کل دود در نظر گرفته شده است. در جدول 2 برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری واحدهای *LSFO* ارائه شده است. روابط و معادلات استفاده‌شده در این بخش در پیوست 1 و 2 ارائه‌شده‌اند، [2] ، [26] ، [28].

4- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند سولفور زدایی *MEL*

هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند *MEL* شامل دو واحد با ظرفیت 500 مگاوات و یک واحد با ظرفیت 300 مگاوات در جدول 3 ارائه شده است. روابط استفاده‌شده در پیوست 1 و 3 ارائه‌شده‌اند.

5- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند سولفور زدایی *LSD*

برای این فرآیند، بزرگ‌ترین اندازه رایج واحد 500 مگاوات است، از طرفی هزینه‌های ثابت و جاری واحد *LSD* با افزایش ظرفیت واحد کاهش می‌یابد، از این‌رو در این بخش برای سولفور زدایی از کل دود خروجی نیروگاه شازند ترکیب دو واحد *LSD* با ظرفیت 500 مگاوات و یک واحد *LSD* با ظرفیت 300 مگاوات در نظر گرفته می‌شود. در جدول زیر برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری واحدهای *LSD* با ظرفیت 500 و 300 مگاوات ارائه شده است. روابط استفاده‌شده در پیوست 1 و 4 ارائه‌شده‌اند.

جدول 2- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند LSFO برای یک نیروگاه 1300 مگاواتی [2]

واحد	نیروگاه قدیم	نیروگاه جدید	$MW(400-900)$
دلار	۳۱۹,۰۸۳,۵۶۵	۲۴۵,۸۳۰,۹۳۰	کل هزینه سرمایه‌گذاری TCR
دلار در سال	۴,۰۳۰,۵۲۳	۴,۱۰۸,۵۶۰	هزینه جاری ثابت (FOM)
دلار در سال	۹,۹۵۳,۵۶۲	۹,۹۵۳,۵۶۲	هزینه جاری متغیر (VOM)
دلار در سال	۵۹,۶۱۱,۱۸۶	۴۴,۵۶۰,۳۷۳	هزینه‌های متعادل شده سرمایه‌گذاری ثابت (LCC)
دلار در سال	۱۳,۹۸۴,۰۸۵	۱۴,۰۶۲,۱۲۱	هزینه‌های متعادل شده جاری (LOC)
دلار در سال	۷۳,۵۹۵,۲۷۰	۵۸,۶۲۲,۴۹۴	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه (TLC)
$cents/kW-hr$	۰/۹۲۲	۰/۷۳۴	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)

جدول 3- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند MEL برای نیروگاه 1300 مگاواتی [2]

واحد	نیروگاه موجود	نیروگاه جدید	$MW(300+2 \times 500)$
دلار	۳۳۲,۷۱۸,۰۷۱	۲۵۶,۵۱۹,۶۹۹	کل هزینه سرمایه‌گذاری TCR
دلار در سال	۴,۳۰۱,۴۷۹	۴,۳۰۱,۴۷۹	هزینه جاری ثابت (FOM)
دلار در سال	۱۵,۰۵۲,۹۰۷	۱۵,۰۵۲,۹۰۷	هزینه جاری متغیر (VOM)
دلار در سال	۶۲,۱۵۸,۳۸۴	۴۶,۴۹۷,۸۶۵	هزینه‌های متعادل شده سرمایه‌گذاری ثابت (LCC)
دلار در سال	۱۹,۳۵۴,۳۸۶	۱۹,۳۵۴,۳۸۶	هزینه‌های متعادل شده جاری (LOC)
دلار در سال	۸۱,۵۱۲,۷۷۰	۶۵,۸۵۲,۲۵۱	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه (TLC)
$cents/kW-hr$	۱/۰۲۱	۰/۸۲۵	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)

جدول 4- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند LSD برای نیروگاه 1300 مگاواتی [2]

واحد	نیروگاه موجود	نیروگاه جدید	$MW(300+2 \times 500)$
دلار	۲۵۶,۳۰۸,۵۱۹	۲۷۴,۸۸۲,۹۲۴	کل هزینه سرمایه‌گذاری TCR
دلار در سال	۳,۱۲۷,۷۵۴	۳,۱۲۷,۷۵۴	هزینه جاری ثابت (FOM)
دلار در سال	۱۱,۶۹۹,۳۴۹	۱۱,۶۹۹,۳۴۹	هزینه جاری متغیر (VOM)
دلار در سال	۶۶,۵۶۵,۵۵۱	۴۹,۸۲۶,۴۶۲	هزینه‌های متعادل شده سرمایه‌گذاری ثابت (LCC)
دلار در سال	۱۴,۸۲۷,۱۰۳	۱۴,۸۲۷,۱۰۳	هزینه‌های متعادل شده جاری (LOC)
دلار در سال	۸۱,۳۹۲,۶۵۴	۶۴,۶۵۳,۵۶۵	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه (TLC)
$cents/kW-hr$	۱/۰۲۰	۰/۸۱۰	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)

6- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند سولفور زدایی SNOx

محاسبات انجام شده در این بخش بر مبنای آمار و اطلاعات ارائه شده در گزارش سال 1999 سازمان انرژی آمریکا (DOE) [29]، گزارش سال 2005 سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA) [30] و مراجع [31] و [32] تعیین شده است. در جدول 5 برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری واحدهای SNOx با ظرفیت 500 و 300 مگاوات ارائه شده است. جزئیات محاسبات انجام گرفته در پیوست 5 ارائه شده است.

جدول 5- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری فرآیند LSFO برای یک نیروگاه 1300 مگاواتی [2] [31] [32]

واحد	نیروگاه قدیمی	نیروگاه جدید	$(2 \times 500 + 300) MW$
دلار	۵۲۲,۰۶۹,۶۹۸	۴۳۵,۰۵۸,۰۸۱	کل هزینه سرمایه‌گذاری TCR
دلار در سال	۶,۹۳۴,۴۹۱	۶,۹۳۴,۴۹۱	هزینه جاری ثابت (FOM)
دلار در سال	-۱۴,۷۸۴,۴۰۲	-۱۴,۷۸۴,۴۰۲	هزینه جاری متغیر (VOM)
دلار در سال	۹۷,۵۳۳,۰۵۱	۷۸,۸۶۰,۵۰۱	هزینه‌های متعادل شده سرمایه‌گذاری ثابت (LCC)
دلار در سال	-۷,۸۴۹,۹۱۱	-۷,۸۴۹,۹۱۱	هزینه‌های متعادل شده جاری (LOC)
دلار در سال	۸۹,۶۸۳,۱۴۰	۷۱,۰۱۰,۵۹۰	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه (TLC)
cents/kW-hr	۱/۱۲۳	۰/۸۹۰	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)

7- مقایسه و نتیجه‌گیری

در جدول 6 هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های جاری عملیاتی و همچنین هزینه‌های یکنواخت شده سولفور زدایی نیروگاه‌های جدید و قدیمی مربوط به روش‌های منتخب MEL، LSFO، LSD و SNOx ارائه شده است.

از نظر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، کم‌ترین هزینه مربوط به روش اکسیداسیون اجباری سنگ‌آهک و بیشترین هزینه مربوط به روش سولفور زدایی SNOx تخمین زده شده است. دلایل این امر را می‌توان، اندازه بزرگ‌تر واحدهای تجاری شده LSFO، تجهیزات کمتر و سادگی فرآیند آن دانست. از نظر هزینه‌های متعادل

شده جاری و عملیاتی، کمترین هزینه جاری و عملیاتی مربوط به روش SNOx برآورد شده است. این بدان علت بوده که راهبری این روش هزینه‌ای در بر نداشته بلکه سوددهی قابل ملاحظه‌ای را نیز دارا بوده است (با توجه به تولید اسیدسولفوریک. افزایش راندمان تولید برق نیروگاه ناشی از بازیابی انرژی از دود دودکش و همچنین انرژی تولیدشده در فرآیند تولید اسید). در نهایت از نقطه نظر مجموع هزینه‌های متعادل شده (جمع هزینه‌های جاری عملیاتی و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه با توجه به طول عمر ۲۰ ساله نیروگاه‌های قدیمی و طول عمر ۳۰ ساله نیروگاه‌های جدید و با احتساب نرخ بهره ۱۸٪، در واقع این هزینه کلیه هزینه‌هایی است که نیروگاه در طی یک سال برای سولفور زدایی از دود دودکش متقبل می‌گردد) روش LSFO کمترین هزینه سولفور زدایی را داشته است.

جدول 6 هزینه‌های اقتصادی روش‌های منتخب MEL, LSFO, LSD و SNOx

واحد	SNOx	LSD	LSFO	MEL	
نیروگاه جدید					
دلار	۴۳۵,۰۵۸,۰۸۱	۲۷۴,۸۱۲,۹۲۴	۲۴۵,۸۳۰,۹۳۰	۲۵۶,۵۱۹,۶۹۹	کل هزینه سرمایه‌گذاری
دلار در سال	-۷,۸۴۹,۹۱۱	۱۴,۸۲۷,۱۰۳	۱۴,۰۶۲,۱۲۱	۱۹,۳۵۴,۳۸۶	هزینه‌های متعادل شده جاری و عملیاتی (LOC)
دلار در سال	۷۱,۰۱۰,۵۹۰	۶۴,۶۵۳,۵۶۵	۵۸,۶۲۲,۴۹۴	۶۵,۸۵۲,۲۵۱	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه
cents/kW-hr	۰/۸۹۰	۰/۸۱۰	۰/۷۳۴	۰/۸۲۵	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)
نیروگاه قدیمی					
دلار	۵۲۲,۰۶۹,۶۹۸	۳۵۶,۳۰۸,۵۱۹	۳۱۹,۰۸۳,۵۶۵	۳۳۲,۷۱۸,۰۷۱	کل هزینه سرمایه‌گذاری
دلار در سال	-۷,۸۴۹,۹۱۱	۱۴,۸۲۷,۱۰۳	۱۳,۹۸۴,۰۸۵	۱۹,۳۵۴,۳۸۶	هزینه‌های متعادل شده جاری و عملیاتی (LOC)
دلار در سال	۸۹,۶۸۳,۱۴۰	۸۱,۳۹۲,۶۵۴	۷۳,۵۹۵,۲۷۰	۸۱,۵۱۲,۷۷۰	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه (TLC)
cents/kW-hr	۱/۱۲۳	۱/۰۲۰	۰/۹۲۲	۱/۰۲۱	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)

فهرست علائم

شدت جریان جاذب [lb/hr]	FRL	هزینه مربوط به مدیریت و پشتیبانی [\$]	A&S
دبی سنگ آهک مصرفی [lb/hr]	FRL	ضریب تصحیح تجهیزات زیربنایی (%5)	A1
شدت جریان جرمی SO ₂ [lb/hr]	FRSO ₂	ضریب تصحیح تجهیز دفتر مهندسی (%10)	A2
فاکتور تورم	FTCE	ضریب تصحیح فرآیند (%5)	A3
ارزش حرارتی سوخت [Btu/lb]	HHV	هزینه اسکرابر کربن استیل با روکش لاستیک	ABSORBER 1
شدت جریان حرارتی (Btu/kWh)	HR	هزینه مربوط به اسکرابر نوع آلیاژ فلزی [\$]	ABSORBER 2
نرخ سود سالانه، میانگین 18%	i	شدت جریان گاز ورودی اسکرابر [cfm]	ACFM
هزینه مربوط به فن‌های مورد نیاز [\$]	ID FANS	شدت جریان دود خروجی از اسکرابر [cfm]	ACFM1
هزینه‌های ذخیره جاذب اضافی	Inventory	ضریب تصحیح متغیر (%15)	B
هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت متعادل	LCC	هزینه تجهیزات کمکی انتقال دود [\$]	BARE MODULE E
هزینه تعمیرات و نگهداری [\$]	ML&M	هزینه تجهیزات سیستم دفع [\$]	BAREMODULE G
مگاوات نیروگاه	MWe	هزینه تجهیزات کمکی بخش گوگرد زدایی	BARE MODULE R
عمر تأسیسات، 20 سال	N	هزینه تجهیزات کمکی [\$]	BARE MODULE w
تعداد ماژول اسکرابر	Na	مجموع هزینه‌های تجهیزات پنج بخش اصلی	BM
تعداد فن‌های مورد نیاز	Nf	هزینه تجهیزات پشتیبانی [\$]	BME
تعداد پمپ‌های موجود	Np	هزینه تجهیزات خوراک‌دهی جاذب [\$]	BMF
هزینه کارگر	OL	هزینه تجهیزات بخش کنترل دود خروجی [\$]	BMG
درصد O ₂ درون دودکش حدود 7%	P	هزینه تجهیزات جداسازی SO ₂ [\$]	BMR
هزینه انرژی مصرفی [\$]	POWER	هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها	BMW
هزینه مربوط به پمپ‌ها [\$]	PUMPS	هزینه پیمانکاری (معادل 30%)	C
فاکتور تغییرات واحدهای موجود (1/3)	RF	هزینه آسیاب و هیدروسیکلون	CB&H
هزینه بخار مصرفی [\$]	STEAM	هزینه جاذب مصرفی [\$]	CCaO
کل هزینه سرمایه‌گذاری	TCR	هزینه تانک اسید چرب	CDBA
انرژی حرارتی مورد نیاز [BTU]	TER	هزینه اسید چرب مصرفی [\$]	CDBA
هزینه تیکنر [\$]	Thickener	هزینه دفع گچ [\$]	CDS
مجموع هزینه‌های متعادل شده	TLC	فاکتور ظرفیت نیروگاه، 70/1 در سال 1392	CF
هزینه‌های جاری متعادل شده	TOM	هزینه دودکش [\$]	CHIMNEY
هزینه ساخت واحد	TPC	هزینه دودکش دارای گرم‌کن [\$]	CHIMNEY1
سرمایه‌گذاری مورد نیاز واحد	TPI	هزینه دودکش فاقد گرم‌کن [\$]	CHIMNEY2
هزینه جاری متغیر [\$]	VOM	هزینه فروش محصولات [\$]	CREDIT
هزینه سیستم انباشت گچ [\$]	W1	ضریب استهلاک یا بازگشت سرمایه	CRF
هزینه سیستم دارای لندفیل [\$]	W2	فاکتور مالی مربوط به دوره ساخت (0/1199)	FAFDC
هزینه سیستم wallboard [\$]	W3	دبی دوغاب مورد استفاده [gpm]	FGPM
درصد وزنی گوگرد در سوخت	Wt% _s	هزینه جاری ثابت	FOM

مراجع

- [1] Dr. Richard R. Lunt and John D. Cunic, "Profiles in Flue Gas Desulfurization", 2000 American Institute of Chemical Engineers
- [۲] پیمان پورمقدم؛ زهرا دلاور مقدم؛ انتخاب روش بهینه سولفور زدایی در نیروگاه‌های بخاری کشور از طریق ملاحظات فنی و اقتصادی، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۳
- [3] Lawrence K. Wang, Norman C. Pereira, Yung-Tse Hung, "Advanced Air and Noise Pollution Control", volume II, Springer, 2004
- [4] Brandy Johnson, Babcock & Wilcox Power Generation Group, "An Unbiased Comparison of FGD Technologies - Wet vs Spray Dryer vs CDS", 2010 Conference Proceedings WPCA Illinois Technical APC Seminar - Springfield, IL
- [5] Gerald T. Joseph, Scrubber Systems Operation Review Self-Instructional Manual Second Edition, 1998 Developed by North Carolina State University EPA Cooperative Assistance Agreement
- [6] Dr. Richard R. Lunt and John D. Cunic, "Profiles in Flue Gas Desulfurization", 2000 American Institute of Chemical Engineers
- [7] Karin Oskarsson, Anders Berglund, Rolf Deling, Ulrika Snellman; "A Planner's Guide for Selecting CleanCoal Technologies for Power Plants", THE WORLD BANK, 1997
- [8] Yuan Xu, Robert H. Williams and Robert H. Socolow; "China's rapid deployment of SO₂ scrubbers", Energy Environ. Sci., 2009, 2, 459-465
- [9] Sargent & Lundy; "WET FLUE GAS DESULFURIZATION TECHNOLOGY EVALUATION", PROJECT NUMBER 11311-000 PREPARED FOR NATIONAL LIME ASSOCIATION, JANUARY 2003
- [10] Mark A. Shand; "A new look at SO₂ removal", TECH CHANNEL: CHEMICALS, <http://www.risiinfo.com/magazines/april/2009/ppi/a-new-look-at-so2-removal.html>
- [11] Stephane Crevecoeur, Kevin Smith; "Evaluation of Wet FGD Technologies to meet requirements for post CO₂ removal of Flue Gas streams", CarmeUse 2010
- [12] G.V. CHILINGARIAN, surface operations in petroleum production, II (Developments in Petroleum Science, 19B), Elsevier Science Publishers, 1989

- [13] Noel de Nevers;"AIR POLLUTION CONTROL ENGINEERING", The McGraw-Hill Companies 2nd Edition 2000
- [14] R.K. Srivastava, W. Jozewicz; "Flue Gas Desulfurization: The State of the Art" J. Air & Waste Manage. Assoc. 2001 51:1676-1688
- [15] World FGD Market to exceed \$6 Billion per Year over the Next Decade;
[http://www.mcilvaineconomy.com/brochures/Alerts_for_Internet/s3%20flue/611%20World%20FGD%20Market%20to%20Exceed%20\\$6%20Billion%20per%20Year%20Over%20the%20Next%20Decade.htm](http://www.mcilvaineconomy.com/brochures/Alerts_for_Internet/s3%20flue/611%20World%20FGD%20Market%20to%20Exceed%20$6%20Billion%20per%20Year%20Over%20the%20Next%20Decade.htm)
- [16] "DRY FLUE GAS DESULFURIZATION TECHNOLOGY EVALUATION" , PREPARED FOR NATIONAL LIME ASSOCIATION, EPTEMBER 2002, PROJECT NUMBER 11311-000
- [17] B.K. PAREKH and J.G. GROppo; COAL SCIENCE AND TECHNOLOGT 21 PROCESSING AND UTILIZATION OF HIGH-SULFUR COALS V, 1993 Elsevier
- [18] Peter Schoubye and Frands E. Jensen ; SNOXTM flue gas treatment for boilers burning petcoke ...makes petcoke more attractive for power and heat generation Haldor Topsoe February 23-27, 2007
- [19]Mark J. Kaiser , James H. Gary i; "Study updates refinery investment cost curves" , Oil & Gas Journal 2007
- [۲۰] صورت جلسات هیأت تنظیم بازار برق ایران، <http://regulatory.moe.gov.ir>
- [۲۱] شرکت آب و فاضلاب روستایی استان مرکزی، قیمت آب مصارف مشترکین غیر خانگی، <http://www.abfarmarkazi.ir/node/506>
- [۲۲] شرکت مدیریت شبکه برق ایران، Igmcc.ir
- [۲۳] فروش ویژه آهک ساختمانی <http://mobadele.com>
- [۲۴] آهک صنعتی 95 درصد <http://ahak.blogfa.com/>
- [۲۵] قیمت محصولات شیمیایی در بازار جهانی (دلار/تن)؛ <http://petrotahlil.ir/>
- [26] "Documentation of EPA Modeling Applications (V. 2004) Using the Integrated Planning Model "; EPA 430 EPA Base Case 2004

- [27] Gary Farrar Contributing Editor, "Nelson-Farrar Quarterly Costimating: Refinery construction indexes listed for 80+ years 2013 " , Oil And Gas Journal , 2014
- [28] Ravi K. Srivastava; "CONTROLLING SO2 EMISSIONS: A REVIEW OF TECHNOLOGIES" , EPA/600/R-00/093 November 2000
- [29] ABB ENVIRONMENTAL SYSTEMS SNOXTM FLUE GAS CLEANING DEMONSTRATION PROJECT; DOEFE-0395 JUNE 1999
- [30] E. Stratos Tavoulaareas, Wojciech Jozewicz; Multipollutant Emission Control Technology Options for Coal-fired Power Plants; EPA-600R-05034 March 2005
- [31] B.K. PAREKH and J.G. GROppo; COAL SCIENCE AND TECHNOLOGY 21 PROCESSING AND UTILIZATION OF HIGH-SULFUR COALS V, 1993 Elsevier
- [32] SNOXTM Flue Gas Cleaning Demonstration Project A DOE Assessment, U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory, DOE-NETL-20001125

پیوست (1)، روابط مورد استفاده در برآورد هزینه‌های ثابت و عملیاتی فرآیندهای سولفور زدایی

هزینه سرمایه‌گذاری ثابت و جاری

$$TCR\left(\frac{\$}{kW}\right) = \frac{TCR}{MW} \quad \text{معادله 11}$$

$$TCR(\$) = 1.02 \times TPI + \frac{FOM}{12} + \frac{VOM}{CF \times 12} + Inventory \quad \text{معادله 12}$$

$$TPI = TPC \times (F_{TCE} + F_{AEDC}) \quad \text{معادله 13}$$

$$TPC = BM \left(1 + \frac{A_1}{100} + \frac{A_2}{100} + \frac{A_3}{100}\right) \times \left(1 + \frac{B}{100}\right) \times \left(1 + \frac{C}{100}\right) \times R_F \quad \text{معادله 14}$$

$$BM = BM_F + BM_R + BM_G + BM_W + BM_E \quad \text{معادله 15}$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{معادله 16}$$

هزینه‌های متعادل شده

$$LCC = CRF \times TCR \quad \text{معادله 17}$$

$$TLC = \frac{VOM + LCC}{MW_e \times 1000 \times 8750 \times CF} \times 100 \quad \left(\frac{\text{cents}}{\text{kW-hr}}\right) \quad \text{معادله 18}$$

پیوست (2)، معادلات و روابط استفاده شده در تعیین هزینه‌های ثابت و عملیاتی فرآیند LSFO

هزینه تجهیزات خوراک‌دهی جاذب (BM_F^1) در فرآیند LSFO

هزینه تجهیزات مرتبط با حمل و نقل، فراوری و خوراک‌دهی جاذب بر اساس میزان خوراک‌دهی سنگ‌آهک تعیین می‌گردد. در روابط ارائه شده فرض شده که سنگ‌آهک مورد استفاده CaCO_3 با خلوص 95/3% و میزان استوکیومتری 1/05 در نظر گرفته شده است [2]، [26]. بر این اساس هزینه تجهیزات خوراک‌دهی با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$BM_F = -0.0034 \times \left(\frac{FR_L}{1000}\right)^4 + 2.1128 \times \left(\frac{FR_L}{1000}\right)^3 - 494.55 \times \left(\frac{FR_L}{1000}\right)^2 \quad \text{معادله 19}$$

$$+ 68164.7 \times \left(\frac{FR_L}{1000}\right) + 7118470 + C_{H\&H} + C_{LMA} \quad \text{معادله 20}$$

$$C_{H\&H} = 32.9 \times \left(\frac{FR_L}{2000}\right)^2 + 22412 \times \left(\frac{FR_L}{2000}\right) + 1854902 \quad \text{معادله 21}$$

$$C_{LMA} = 364627 \times \left[\frac{FR_{SO_2} \times \frac{0.95 \times 20}{2000 \times 8.34 \times (1+0.5) \times 60}}{FR_L} \right]^{0.283} \quad \text{معادله 22}$$

$$FR_L = FR_{SO_2} \times 1.05 \times \frac{100}{64} \times \frac{0.90}{0.953}$$

¹ Bare module capital cost of the the reagent feed equipment

$$FR_{SO_2} = \frac{Wt\% S \times 1000}{HHV} \times \frac{64}{32} \times MW_e \times HR \quad [lb/hr] \quad \text{معادله ۲۳}$$

هزینه تجهیزات بخش گوگردزایی (BMR^1) در فرآیند LSFO

هزینه تجهیزات مرتبط با جداسازی SO_2 از جریان دود دودکش (BMR) شامل هزینه اسکرابر و پمپ‌های اسپری است و به صورت زیر تعریف می‌گردد [۲]، [۲۶]:

$$BM_g = \text{BARE MODULE}_R + \text{ABSORBER} \times N_a + \text{PUMPS} \times N_p \quad \text{معادله ۲۴}$$

$$\text{BARE MODULE}_R = 0.871 \times \left(\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right)^3 - 188.2 \left(\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right)^2 + 34809 \times \left(\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right) + 1905302 \quad \text{معادله ۲۵}$$

$$\text{ABSORBER 1} = 173978 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^{0.5575} \quad \text{معادله ۲۶}$$

$$\text{ABSORBER 1} = 230064 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^{0.5638} \times N_g \quad \text{معادله ۲۷}$$

$$\text{ACFM} = \frac{1000}{10^6} \times \frac{9780}{60} \times \frac{460+295}{528} \times \frac{100}{100-6} \times MW_c \times HR \times \left(\frac{0.4}{P} + \frac{0.209}{P} \times \left(\frac{P-0.04}{0.209-P} \right) \right) \quad \text{معادله ۲۸}$$

$$\text{PUMPS} = 910.85 \times \left(\frac{F_{GPM}}{N_p} \right)^{0.5954} \times N_p \quad \text{معادله ۲۹}$$

$$N_a = \text{RoundUp} \left(\frac{MW}{900} \right) \quad \text{معادله ۳۰}$$

$$F_{GPM} = \frac{FR_L \times \frac{108}{100} + FR_L \times \frac{108}{100} \times \frac{1-0.2}{0.2}}{8.34 \times \left(\frac{1+0.2}{60} \right)} \quad \text{معادله ۳۱}$$

هزینه تجهیزات انتقال دود (BMG^2) در فرآیند LSFO

هزینه تجهیزات بخش کنترل دود خروجی به میزان جریان گاز دودکش ورودی و خروجی از اسکرابرها و تعداد اسکرابرهای موجود بستگی دارد و با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲]، [۲۶].

$$BM_g = \text{BARE MODULE}_G + HD \text{ TANKS} \quad \text{معادله ۳۲}$$

$$\text{BARE MODULE}_G = -0.1195 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^2 + 777.76 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^2 + 238203 \quad \text{معادله ۳۳}$$

$$+ 0.000012 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^3 - 0.1651 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^2 + 1288.82 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)$$

$$+ 559693 - 0.2009 \times \left(\frac{\text{ACFM}_1}{1000 \times N_g} \right)^2 + 1266.4 \times \left(\frac{\text{ACFM}_1}{1000 \times N_g} \right) + 420141$$

¹ Bare module capital cost of the the SO_2 removal equipment

² Bare module capital cost of the flue gas handling equipment

$$ACFM_1 = ACFM \times \left(\frac{460 + 127}{460 + 295} \right) \times \left(\frac{100 - 6}{100 - 14} \right) \quad \text{معادله 34}$$

$$ID\ FANS = 91.24 \times \left(\frac{ACFM}{N_f} \right)^{0.6842} \times N_f \quad \text{معادله 35}$$

هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها (BMW¹) در فرآیند LSFO

هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها شامل هزینه تیکنر، دفع، ذخیره و شستشو برحسب دلار است و به صورت زیر تخمین زده می‌شود [2] ، [26].

$$BM_w = BARE\ MODULE_w + THICKENER \quad \text{معادله 36}$$

$$BM_{w1} = -4.0567 \left[\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right]^2 + 1788 \times \left[\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right] + 80700 \quad \text{معادله 37}$$

$$BM_{w2} = 0.325 \times \left[\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right]^3 - 168.77 \times \left[\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right]^2 + 29091 \times \left[\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right] + 773243 \quad \text{معادله 38}$$

$$BM_{w3} = BM_{w2} \times 1.25 \quad \text{معادله 39}$$

$$THICKENER = 9018.7 \times FR_{SO_2} \times 0.95 \times \frac{172}{64 \times 2000} + 114562 \quad \text{معادله 40}$$

هزینه تجهیزات پشتیبانی (BME²)

هزینه تجهیزات پشتیبانی شامل هزینه دودکش برحسب دلار بوده که از روابط زیر تعیین می‌شود [2] ، [26]:

$$BM_f = BARE\ MODULE_E + CHIMNEY \quad \text{معادله 41}$$

$$BARE\ MODULE_w = 0.0003 \times MW_p^3 - 1.0667 \times MW_p^2 + 1993.8 \times MW_p + 1177674 \quad \text{معادله 42}$$

$$CHIMNEY = 0.5(CHIMNEY1 + CHIMNEY2) \quad \text{معادله 43}$$

$$CHIMNEY1 = 40208 \times ACFM1^{0.3339} \quad \text{معادله 44}$$

$$CHIMNEY2 = 23370 \times ACFM1^{0.3908} \quad \text{معادله 45}$$

محاسبه هزینه‌های جاری روش LSFO

هزینه‌های جاری فرآیند LSFO شامل هزینه جاری ثابت (FOM) و هزینه جاری متغیر (VOM) است [2]. هزینه‌های جاری ثابت شامل هزینه کارگری (OL³)، هزینه نگهداری و مواد (ML&M⁴)، هزینه مدیریت و پشتیبانی (A&S⁵) بوده و هزینه‌های جاری متغیر هم شامل هزینه جاذب و اسید چرب مصرفی، هزینه دفع،

¹ The bare module capital cost of the waste handling equipment,

² Bare module capital cost of the support equipment,

³ OL is the cost of operating labor

⁴ maintenance and materials cost

⁵ administration and support cost

هزینه انرژی مصرفی و بخار است. در ادامه روابط مربوط به تخمین هر یک از هزینه‌های فوق ارائه شده است.

هزینه جاری ثابت (FOM)

برای محاسبه هزینه جاری ثابت (FOM) از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$FOM = OL + ML \& M + A \& S \quad \text{معادله ۴۶}$$

$$OL = 41.69041 \times MW_e^{-0.322307} \times \frac{MW_e \times 3.13 \times 40 \times 52}{100} \quad \text{معادله ۴۷}$$

$$ML \& M = 0.03 \times BM \quad \text{معادله ۴۸}$$

$$A \& S = 0.3 \times (0.4 \times ML \& M + OL) \quad \text{معادله ۴۹}$$

هزینه جاری متغیر (VOM)

برای محاسبه هزینه جاری متغیر (VOM) از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$VOM = C_{CaCO_3} + C_{DBA} + C_{DL} + STEAM + POWER \quad \text{معادله ۵۰}$$

$$C_{CaO} = \frac{FR_L}{2000} \times 8760 \times CF \times 18.75 \quad \text{معادله ۵۱}$$

در این رابطه هزینه جاذب مصرفی ۱۸/۷۵ دلار بر تن در نظر گرفته شده است [۲].

$$C_{DBA} = 800 \times 8760 \times CF \times FR_{SO_2} \times \frac{0.95}{2000} \times \frac{20}{2000} \quad \text{معادله ۵۲}$$

$$C_{LS} = 6 \times 8760 \times CF \times FR_{SO_2} \times 0.95 \times \frac{172}{64 \times 2000} \quad \text{معادله ۵۳}$$

در این رابطه هزینه دفع گچ ۶ دلار بر تن در نظر گرفته شده است [۲].

$$C_{DL} = 30 \times 8760 \times CF \times FR_{SO_2} \times 0.95 \times \frac{172}{64 \times 2000} \quad \text{معادله ۵۴}$$

$$C_{DS} = 2 \times 8760 \times CF \times FR_{SO_2} \times 0.95 \times \frac{172}{64 \times 2000} \quad \text{معادله ۵۵}$$

هزینه فروش گچ در این رابطه ۲ دلار بر تن در نظر گرفته شده است [۲].

$$STEAM = 0.5 \times 2.46 \times 8760 \times CF \times \frac{TER}{855.14 \times 1000} \quad \text{معادله ۵۶}$$

$$TER = 0.244 \times 25 \times ACFM_1 \times \frac{(460 + 60)}{(460 + 127)} \times 0.0765 \times 60 \quad \text{معادله ۵۷}$$

پیوست (۳)، معادلات و روابط استفاده شده در تعیین هزینه‌های ثابت و عملیاتی فرآیند MEL

هزینه تجهیزات خوراک‌دهی جاذب (BMF)

در این بخش فرض شده که آهک مورد استفاده CaO با خلوص 94% باشد. بر این اساس هزینه تجهیزات خوراک‌دهی با استفاده از رابطه زیر تعیین شده است، [2] ، [26].

$$BM_F = 170023 \times \frac{FR_L}{1000} + 3764611 + 72338 \times F_{GPM}^{0.3195} \quad \text{معادله 58}$$

$$FR_L = FR_{SO_2} \times 1 \times \frac{56}{64} \times \frac{0.98}{0.94} \quad \text{معادله 59}$$

$$FR_{SO_2} = \frac{Wt\% S \times 1000}{HHV} \times \frac{64}{32} \times MW_e \times HR \quad [lb/hr] \quad \text{معادله 60}$$

$$F_{GPM} = \frac{FR_L \times \frac{74}{56} + FR_L \times \frac{74}{56} \times \frac{1-0.3}{0.3}}{8.34 \times \left(\frac{1+0.3}{60} \right)} \quad \text{معادله 61}$$

هزینه تجهیزات جداسازی SO₂ (BMR)

هزینه تجهیزات مرتبط با جداسازی SO₂ از جریان دود دودکش شامل هزینه اسکرابر و پمپ‌های اسپری است. که با استفاده از روابط زیر تعیین شده است، [2] ، [26].

$$BM_R = \text{BARE MODULE}_R + \text{ABSORBER} + \text{PUMPS} \quad \text{معادله 62}$$

$$\text{BARE MODULE}_R = 0.825 \times \left(0.871 \times \left(\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right)^3 - 188.2 \left(\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right)^2 + 34809 \times \left(\frac{FR_{SO_2}}{1000} \right) + 1905302 \right) \quad \text{معادله 63}$$

$$\text{ABSORBER 1} = 173978 \times 0.9 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^{0.5575} \times N_a \quad \text{معادله 64}$$

$$\text{ABSORBER 2} = 230064 \times 0.9 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^{0.5638} \times N_a \quad \text{معادله 65}$$

$$N_a = \text{RoundUp} \left(\frac{MW}{500} \right) \quad \text{معادله 66}$$

$$\text{ACFM} = \frac{1000}{10^6} \times \frac{9780}{60} \times \frac{460+295}{528} \times \frac{100}{100-6} \times MW_e \times HR \times \left(\frac{0.4}{P} + \frac{0.209}{P} \times \left(\frac{P-0.04}{0.209-P} \right) \right) \quad \text{معادله 67}$$

$$\text{PUMPS} = 910.85 \times \left(\frac{F_{GPM}}{N_p} \right)^{0.5954} \times N_p \quad \text{معادله 68}$$

$$N_p = \text{RoundUp} \left(\frac{F_{GPM}}{43,000} \right) \quad \text{معادله 69}$$

هزینه تجهیزات انتقال دود (BMG)

$$BM_G = \text{BARE MODULE}_G + \text{HD Fans} \quad \text{معادله 70}$$

$$\text{BARE MODULE}_G = -0.1195 \times \left(\begin{array}{l} \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^4 + 777.76 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^3 + 238203.02009 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000 N_d} \right)^2 \\ + 1266.4 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000 N_d} \right) + 420141 + 0.000012 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^3 \\ - 0.1651 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^2 + 1288.82 \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right) + 559693 \end{array} \right) \quad \text{معادله 71}$$

$$ACFM1 = ACFM \times \left(\frac{460 + 127}{460 + 295} \right) \times \left(\frac{100 - 6}{100 - 14} \right) \quad \text{معادله ۷۲}$$

$$Fans = 91.24 \times \left(\frac{ACFM}{N_f} \right)^{0.6842} \times N_f \quad \text{معادله ۷۳}$$

$$N_f = \text{RoundUp} \left(\frac{ACFM}{Na \times 1600000} \right) \times Na \quad \text{معادله ۷۴}$$

هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها (BMW)

هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها شامل هزینه تیکتر و تجهیزات پایدارکننده می‌گردد. بر این اساس هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها از روابط زیر تعیین شده است. [۲]، [۲۶].

$$EM_w = \text{BARE MODULE}_w + \text{THICKENER} \quad \text{معادله ۷۵}$$

$$\text{BARE MODULE}_w = 1.25 \times 0.825 \left(0.325 \left(\frac{FR_{SO2}}{1000} \right)^3 - 168.77 \left(\frac{FR_{SO2}}{1000} \right)^2 + 29091 \left(\frac{FR_{SO2}}{1000} \right) + 773243 \right) \quad \text{معادله ۷۶}$$

$$\text{THICKENER} = 9018.7 \times FR_{SO2} \times 0.95 \times \frac{172}{64 \times 2000} + 114562 \times 0.825 \quad \text{معادله ۷۷}$$

هزینه تجهیزات پشتیبانی (BME)

هزینه تجهیزات پشتیبانی شامل هزینه دودکش بوده که از روابط زیر تعیین شده است. [۲]، [۲۶].

$$EM_w = \text{BARE MODULE}_E + \text{CHIMNEY} \quad \text{معادله ۷۸}$$

$$\text{BARE MODULE}_w = 0.825 \left(0.0003 \times MW_c^3 - 1.0667 \times MW_c^2 + 1993.8 \times MW_c + 1177674 \right) \quad \text{معادله ۷۹}$$

$$\text{CHIMNEY} = \frac{(\text{CHIMNEY1} - \text{CHIMNEY2})}{2} \quad \text{معادله ۸۰}$$

$$\text{CHIMNEY1} = 40208 \times ACFM1^{0.3339}$$

$$\text{CHIMNEY2} = 23370 \times ACFM1^{0.3908}$$

محاسبه هزینه‌های جاری روش MEL

هزینه جاری ثابت (FOM)

هزینه‌های این بخش مشابه روابط ارائه شده برای فرآیند LSFO است.

هزینه جاری متغیر (VOM)

$$VOM = C_{CO} + \text{POWER} + \text{DISPOSAL} + \text{STEAM} \quad \text{معادله ۸۱}$$

$$C_{CO} = \frac{FR_t}{2000} \times 8760 \times CF \times 32 \quad \text{معادله ۸۲}$$

در این رابطه هزینه جاذب مصرفی ۳۲ دلار بر تن در نظر گرفته شده است.

$$POWER = 0.0105 \times \frac{1000 \times MW_e \times 0.8231}{1000} \times CF \times 23 \times 8760 \quad \text{معادله 83}$$

$$DISPOSAL = 30 \times 8760 \times CF \times FR_{SO_2} \times 0.95 \times \frac{172}{64 \times 2000} \quad \text{معادله 84}$$

$$STEAM = 0.5 \times 2.46 \times 8760 \times CF \times \frac{TER}{855.14 \times 1000} \quad \text{معادله 85}$$

$$TER = 0.244 \times 25 \times ACFM_1 \times \frac{(460 + 60)}{(460 + 127)} \times 0.0765 \times 60 \quad \text{معادله 86}$$

پیوست (4)، معادلات و روابط استفاده‌شده در تعیین هزینه‌های ثابت و عملیاتی فرآیند LSD

هزینه تجهیزات خوراک‌دهی جاذب (BMF)

در محاسبات این بخش درصد خلوص آهک مصرفی (CaO) 90% و نسبت استوکیومتری 1/75 در نظر گرفته شده که بر اساس آن هزینه تجهیزات خوراک‌دهی با استفاده از روابط زیر تعیین شده است [2] [26].

$$BM_F = (170023 \times \frac{FR_L}{1000} + 3764611) + (72338 \times GPM^{0.3195}) \quad \text{معادله 87}$$

$$FR_L = FR_{SO_2} \times 1.75 \times \frac{56}{64} + FR_{SO_2} \times 1.75 \times \frac{56}{64} \times \frac{1-0.9}{0.9} \quad \text{معادله 88}$$

$$F_{GPM} = \frac{FR_L \times \frac{74}{56} + FR_L \times \frac{74}{56} \times \frac{1-0.3}{0.3}}{8.34 \times \left(\frac{1+0.3}{60} \right)} \quad \text{معادله 89}$$

$$FR_{SO_2} = \frac{W\%S \times 1000}{HHV} \times \frac{64}{32} \times MW_e \times HR \quad \text{معادله 90}$$

هزینه تجهیزات بخش گوگردزایی (BMR)

$$BM_R = \text{BARE MODULE}_R + \text{SPRAY DRYERS} \quad \text{معادله 91}$$

$$\text{BARE MODULE}_R = N_s \times \left(\frac{581877809 \times W\%S^3 - 3653117 \times W\%S^2}{+693335 \times W\%S + 214198} \right) + 677421 \times W\%S^{-0.3966} \quad \text{معادله 92}$$

$$N_a = \text{Roundup} \left(\frac{MW}{275} \right) \quad \text{معادله 93}$$

$$\text{SPRAY DRYER1} = \left[-3.57 \times \left(\frac{ACFM}{N_s \times 1000} \right)^2 + 9246 \left(\frac{ACFM}{N_s \times 1000} \right) + 791896 \right] \times N_s \quad \text{معادله 94}$$

$$\text{SPRAY DRYER2} = \left[-4.85 \times \left(\frac{ACFM}{N_s \times 1000} \right)^2 + 12538 \left(\frac{ACFM}{N_s \times 1000} \right) + 1080990 \right] \times N_s \quad \text{معادله 95}$$

$$ACFM = \frac{1000}{10^6} \times \frac{9780}{60} \times \frac{460+295}{528} \times \frac{100}{100-6} \times MW_e \times HR \times \left(\frac{0.4}{P} + \frac{0.209}{P} \times \left(\frac{P-0.04}{0.209-P} \right) \right) \quad \text{معادله 96}$$

هزینه تجهیزات انتقال دود (BMG) و کنترل ذرات

$$BM_G = \text{BARE MODULE}_G + \text{ID Fans} \quad \text{معادله 96}$$

$$\text{BARE MODULE}_G = \left(1721.8 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^{0.688} + 1326.2 \left(\frac{\text{ACFM}_1}{1000} \right)^{0.121} \right) \times N_a$$

$$\left[15338 \times \left(\frac{\text{ACFM}}{1000} \right)^{0.5} + 47680 \left(\frac{\text{ACFM}_1}{1000} \right)^{0.376} + 4840.4 \left(\frac{\text{ACFM}_2}{1000} \right)^{0.5} + 2695.9 \times \left(\frac{\text{ACFM}_3}{1000} \right)^{0.5} \right] \quad \text{معادله ۹۷}$$

$$\text{ID Fans} = 91.24 \times \left(\frac{\text{ACFM}_2}{N_f} \right)^{0.6842} \times N_f \quad \text{معادله ۹۸}$$

$$\text{ACFM}_1 = \text{ACFM} \times \left(\frac{460+147}{460+295} \right) \times \left(\frac{100-6}{100-14} \right) \times \frac{29.92}{(29.4-17 \times 7.355 \times 10^{-2})} \quad \text{معادله ۹۹}$$

$$\text{ACFM}_2 = \text{ACFM} \times \left(\frac{460+147}{460+295} \right) \times \left(\frac{100-6}{100-14} \right) \times \frac{29.92}{(29.4-23 \times 7.355 \times 10^{-2})} \quad \text{معادله ۱۰۱}$$

$$\text{ACFM}_3 = \text{ACFM} \times \left(\frac{460+152}{460+295} \right) \times \left(\frac{100-6}{100-14} \right) \times \frac{29.92}{(29.4+1 \times 7.355 \times 10^{-2})} \quad \text{معادله ۱۰۲}$$

$$N_f = \text{RoundUp} \left(\frac{\text{ACFM}}{N_a \times 1600000} \right) \times N_a \quad \text{معادله ۱۰۳}$$

هزینه تجهیزات انتقال محصولات و پسماندها (*BMW*)

$$BM_W = 2051841884 \times \text{MW}_c^2 - 1443163 \times \text{MW}_c + 1026479 \quad \text{معادله ۱۰۴}$$

هزینه تجهیزات پشتیبانی (*BME*)

$$BM_E = -1.211 \times \text{MW}_c^2 + 2704.2 \times \text{MW}_c + 1354716.2 + \text{CHIMNEY} \quad \text{معادله ۱۰۵}$$

$$\text{CHIMNEY} = 23370 \times \text{ACFM}_3^{0.3908} \quad \text{معادله ۱۰۶}$$

محاسبه هزینه‌های جاری روش *LSD*

هزینه جاری متغیر (*VOM*)

$$\text{VOM} = C_{\text{chO}} + C_{\text{FL}} + \text{Power} + \text{Fresh Water Cost} \quad \text{معادله ۱۰۷}$$

$$C_{\text{chO}} = \frac{FR_L}{2000} \times 8760 \times CF \times 32 \quad \text{معادله ۱۰۸}$$

$$C_{\text{FL}} = 6 \times \frac{8760}{2000} \times CF \times \left(FR_{\text{ex}} \times \frac{129}{64} + \text{MW}_c \times 1000 \times 0.1 \times \frac{HK}{HHV} \right) \quad \text{معادله ۱۰۹}$$

$$\text{Power} = 0.007 \times 23 \times \frac{1000 \times \text{MW}_c}{1000} \times CF \times 8760 \quad \text{معادله ۱۱۰}$$

$$\text{Fresh Wter Cost} = FR_L \times 1.1 \times \frac{18}{56} \times CF \times 8760 \times 0.454 \times 1 \times \frac{1}{3.785} \times \frac{0.63}{1000} \quad \text{معادله ۱۱۱}$$

پیوست (۵)، جزئیات محاسبات انجام شده در تعیین هزینه‌های ثابت و عملیاتی فرآیند *SNOx*

جدول (پ- 1) برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری واحدهای SO_2 با ظرفیت 300 و 500 مگاوات [2] [26] [28]

واحد	مگاوات نیروگاه‌های موجود		مگاوات نیروگاه‌های جدید		
	300	500	300	500	
HR	۸۸۲۰	۸۸۲۰	۸۸۲۰	۸۸۲۰	شار حرارتی نیروگاه
HHV	۱۷۴۳۳	۱۷۴۳۳	۱۷۴۳۳	۱۷۴۳۳	ارزش حرارتی سوخت بر اساس
MWe	۳۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۵۰۰	سایز نیروگاه یا بویلر
%	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	درصد وزنی گوگرد در سوخت
دلار	۲۵۹,۹۵۳	۴۱۱,۶۷۹,۰۰۶	۲۵۹,۹۵۳	۴۱۱,۶۷۹,۰۰۶	تهیه و انتقال مواد خام (آمونیاک)
دلار	۱۴,۴۶۰,۱۱۰	۲۲,۹۰۰,۰۰۰	۱۴,۴۶۰,۱۱۰	۲۲,۹۰۰,۰۰۰	بخش جداسازی SO_2
دلار	۹,۹۷۶,۸۴۵	۱۵,۸۰۰,۰۰۰	۹,۹۷۶,۸۴۵	۱۵,۸۰۰,۰۰۰	بخش جداسازی NO_x
دلار	۲۴,۲۷۹,۰۰۹	۳۸,۴۴۹,۸۶۷	۲۴,۲۷۹,۰۰۹	۳۸,۴۴۹,۸۶۷	سیستم خنک‌کن دود و مبدل بازیاب GGH
دلار	۲۲,۹۶۲,۵۱۹	۳۶,۳۶۴,۹۸۴	۲۲,۹۶۲,۵۱۹	۳۶,۳۶۴,۹۸۴	سیستم فراوری اسیدسولفوریک
دلار	۳,۳۷۹,۳۹۰	۵,۳۵۱,۸۲۸	۳,۳۷۹,۳۹۰	۵,۳۵۱,۸۲۸	سیستم‌های جانبی
دلار	۷۵,۳۱۷,۸۲۶	۱۱۹,۲۷۸,۳۵۸	۷۵,۳۱۷,۸۲۶	۱۱۹,۲۷۸,۳۵۸	مجموع هزینه‌های تجهیزات (A)
دلار	۷,۵۳۱,۷۸۳	۱۱,۹۲۷,۸۳۶	۷,۵۳۱,۷۸۳	۱۱,۹۲۷,۸۳۶	هزینه‌های زیربنایی (B معادل 10% از A)
دلار	۷,۵۳۱,۷۸۳	۱۱,۹۲۷,۸۳۶	۷,۵۳۱,۷۸۳	۱۱,۹۲۷,۸۳۶	هزینه‌های تجهیز دفتر مهندسی (C معادل 10% از A)
دلار	۲۲,۵۹۵,۳۴۸	۳۵,۷۸۳,۵۰۷	۲۲,۵۹۵,۳۴۸	۳۵,۷۸۳,۵۰۷	هزینه‌های احتمالی پروژه (D معادل 25% از A+B+C)
دلار	۱۱۲,۹۷۶,۷۳۹	۱۷۸,۹۱۷,۵۳۶	۱۱۲,۹۷۶,۷۳۹	۱۷۸,۹۱۷,۵۳۶	هزینه ساخت واحد
دلار	۴,۲۹۳,۱۱۶	۶,۷۹۸,۸۶۶	۴,۲۹۳,۱۱۶	۶,۷۹۸,۸۶۶	هزینه‌های پیمانکاری
دلار	۱۱۷,۲۶۹,۸۵۵	۱۸۵,۷۱۶,۴۰۳	۱۱۷,۲۶۹,۸۵۵	۱۸۵,۷۱۶,۴۰۳	کل سرمایه‌گذاری واحد
دلار	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	F: هزینه‌های مربوط به راه اندازی واحد (دو ماه)
دلار	۶,۵۶۷,۰۳۷	۱۰,۴۰۰,۰۰۰	۶,۵۶۷,۰۳۷	۱۰,۴۰۰,۰۰۰	G: هزینه‌های مربوط به ذخیره مواد اولیه و کاتالیست
دلار	۱۲۵,۸۳۶,۸۹۲	۱۹۸,۱۱۶,۴۰۳	۱۰۴,۸۶۴,۰۷۷	۱۶۵,۰۹۷,۰۰۲	کل هزینه سرمایه‌گذاری $(TCR = TPI + F + G)$
\$/kw	۴۱۹	۳۹۶	۳۵۰	۳۳۰	هزینه سرمایه‌گذاری یکنواخت شده
دلار بر سال	۱,۵۰۶,۳۵۷	۲,۳۸۵,۵۶۷	۱,۵۰۶,۳۵۷	۲,۳۸۵,۵۶۷	هزینه تعمیر و نگهداری $(M = 0.02 * A)$
تومان در ماه	۱۲۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	دستمزد کارگر
دلار بر سال	۲۱۹,۰۰۰	۲۱۹,۰۰۰	۲۱۹,۰۰۰	۲۱۹,۰۰۰	هزینه کارگری (8 نفر سال)
دلار بر سال	۱,۷۲۵,۳۵۷	۲,۶۰۴,۵۶۷	۱,۷۲۵,۳۵۷	۲,۶۰۴,۵۶۷	هزینه جاری ثابت (FOM)
	۰/۷۰۱	۰/۷۰۱	۰/۷۰۱	۰/۷۰۱	CF فاکتور ظرفیت نیروگاه
Rial/kw.hr	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	قیمت برق
kWhr/MW-year	۱۸۴,۳۱۶	۱۸۴,۳۱۶	۱۸۴,۳۱۶	۱۸۴,۳۱۶	میزان برق مصرفی

ادامه جدول (پ-۱) ...

واحد	مگاوات نیروگاه‌های موجود		مگاوات نیروگاه‌های جدید		
	300	500	300	500	
دلار بر سال	۱,۲۶۷,۱۷۴	۲,۱۱۱,۹۵۷	۱,۲۶۷,۱۷۴	۲,۱۱۱,۹۵۷	هزینه برق مصرفی
دلار بر تن	۴۵۴	۴۵۴	۴۵۴	۴۵۴	قیمت آمونیاک
Ton/MW	۹	۹	۹	۹	میزان آمونیاک مصرفی
دلار بر سال	۱,۲۲۷,۶۹۷	۲,۰۴۶,۱۶۱	۱,۲۲۷,۶۹۷	۲,۰۴۶,۱۶۱	هزینه آمونیاک مصرفی
kscf/MW	۷۹۸	۷۹۸	۷۹۸	۷۹۸	میزان سوخت کمکی (گاز طبیعی)
\$/kscf	۰,۹۴۴	۰,۹۴۴	۰,۹۴۴	۰,۹۴۴	قیمت گاز طبیعی
دلار بر سال	۲۲۶,۰۲۷	۳۷۶,۷۱۱	۲۲۶,۰۲۷	۳۷۶,۷۱۱	هزینه گاز طبیعی
\$/MW	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	قیمت کاتالیست SCR برای هر مگاوات
\$/MW	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	قیمت کاتالیست DeSOx برای هر مگاوات
دلار بر سال	۴۲۰,۰۰۰	۷۰۰,۰۰۰	۴۲۰,۰۰۰	۷۰۰,۰۰۰	هزینه کاتالیست SCR
دلار بر سال	۳۳۰,۰۰۰	۵۵۰,۰۰۰	۳۳۰,۰۰۰	۵۵۰,۰۰۰	هزینه کاتالیست DeSOx
\$/kgal	۰,۶۳۰,۹	۰,۶۳۰,۹	۰,۶۳۰,۹	۰,۶۳۰,۹	قیمت آب چاه
kgal/MW	۱۲۸	۱۲۸	۱۲۸	۱۲۸	میزان آب مصرفی
دلار بر سال	۲۴,۱۶۵	۴۰,۲۷۵	۲۴,۱۶۵	۴۰,۲۷۵	هزینه آب مصرفی
دلار بر تن	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	قیمت اسید سولفوریک
تن بر سال بر مگاوات	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	میزان اسید سولفوریک تولیدی
دلار بر سال	-۴,۷۹۵,۹۶۲	-۷,۹۹۳,۲۶۹	-۴,۷۹۵,۹۶۲	-۷,۹۹۳,۲۶۹	سود ناشی از فروش H2SO4
MW/MW	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	میزان انرژی بازیابی شده برای هر مگاوات
دلار بر سال	-۲۱۱۰,۸۸۶	-۳۵۱۸,۱۴۴	-۲۱۱۰,۸۸۶	-۳۵۱۸,۱۴۴	سود ناشی از انرژی بازیابی شده
دلار بر سال	-3,411,785	-5,686,309	-3,411,785	-5,686,309	هزینه جاری متغیر (VOM)
سال	۲۰	۲۰	۳۰	۳۰	عمر واحد
%	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	نرخ سود سالانه (i)
	۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	۰/۱۸۱	۰/۱۸۱	ضریب استهلاک (CRF)
دلار بر سال	23,508,846	37,012,103	19,008,114	29,926,193	هزینه‌های متعادل شده سرمایه گذاری ثابت (LCC)
دلار بر سال	-1,686,429	-3,081,741	-1,686,429	-3,081,741	هزینه‌های متعادل شده جاری (LOC)
دلار بر سال	21,822,417	33,930,361	17,321,685	26,844,452	مجموع هزینه‌های متعادل شده سالانه (TLC)
cents/kW-hr	1/185	1/105	0/940	0/874	مجموع هزینه‌های متعادل شده (TLC)

شایان ذکر است که کلیه هزینه‌ها با استفاده از ضریب تصحیح نلسون فراز برای سال ۲۰۱۲ بروز شده‌اند.

Technical feasibility and economical and environmental assessment of the application of FGD technologies in power plant

Authors: Peyman Pourmoghaddam, Susan Davari, Zahra delavar moghaddam

In this article, Technical and economic assessment of SO₂ removal from flue gas of power plant is studied. During the surveys on the 18 FGD process containing Wet Scrubbier desulfurization and dry and semidry desulfurization technologies, three process of lime stone forced oxidation, lime spray drier and catalytic SNO_x in terms of technical issues have better capability for application in Iran's power plants and selected as superior methods for further economical evaluation. The results of this assessment depicts that the minimum initial investment costs beyond the 3 mentioned methods is related to limestone forced oxidation and maximum costs is related to the SNO_x catalytic convertor process. On the other hand the lowest operating cost is related to the SNO_x process. In term of total levelized cost of desulfurization in power generation, lime stone forced oxidation has lowest costs among other process.

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

گردآورنده: زهرا دلاورمقدم^۱

همانطور که در نشریه شماره ۱ ذکر شد 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 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 صرفه جویی 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.

در ادامه به تعدادی از واژگان مصوب در فرهنگستان زبان و ادب پارسی که در حیطه فعالیت گروه محیط زیست و انرژی قرار می‌گیرند، اشاره می‌شود. امید است که در شماره‌های آتی به دیگر واژگان اشاره گردد.:

۱- کارشناس پژوهشی گروه محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Zdelavar@mri.ac.ir

نام مصوب	واژه بیگانه	تعریف
پشته پسماند	Windrow	مواد فسادپذیر انباشته شده در حجم زیاد
پسماند خانگی	Household Waste, Domestic Waste, Residential Waste	پسماند تولیدشده در واحدهای مسکونی
پسماند ناسازگار	Incompatible Waste	پسماند خطرناکی که به خودی خود در محل یا در مجاورت یا اختلاط با مواد یا پسماندهای دیگر ممکن است واکنش دهد و اثرات نامطلوب بر جای گذارد
شیرابه	Leachate	مایعات حاصل از بر روی هم ماندن پسماندهای جامد در محل دفع
شاخص استاندارد آلودگی هوا	Pollutant Standard Index	شاخصی برای یک یا چند آلاینده که می‌توان از آن در شهرهای بزرگ برای آگاه کردن عموم از اثرات نامطلوب آلودگی هوا بر سلامتی انسان استفاده کرد
گوگردزدایی	Desulfurization	زدودن گوگرد از سوخت‌های فسیلی برای کاهش آلودگی
کل ذرات معلق	Total Suspended Particles (TSP)	مجموع مقدار ذرات موجود در هوا که با روش وزن‌سنجی تعیین می‌شود
گازهای گلخانه‌ای	Greenhouse Gases	گازهایی که مانع از عبور تشعشعات زمین به فضا می‌شوند
گاز دودکش	Flue Gas	گاز و مواد حاصل از احتراق که از راه دودکش یا مجرا از کوره خارج می‌شود
ضریب انتشار	Emission Factor	نسبت میزان آلودگی تولیدشده به واحد مواد خام فراوری‌شده

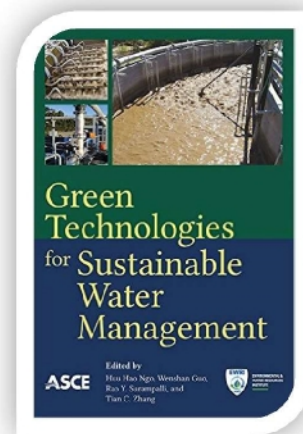
Title: Green Technologies for Sustainable Water Management

Edited by Huu Hao Ngo, Wenshan Guo

عنوان فارسی: فن آوری های سبز برای مدیریت پایدار آب

سال انتشار: ۲۰۱۶

ناشر: ASCE



در این کتاب اصول و چالش‌های علمی و پیشرفت فن‌آوری‌های سبز برای حل مشکلات زیست‌محیطی ارائه شده است. مهم‌ترین راهکارها در حل چالش‌های مدیریت پایدار آب که امروزه با آن روبرو هستیم، توسعه فرآیندهای دوستدار محیط‌زیست و فرآیندهایی است که دارای راندمان بالای انرژی در تصفیه و حفاظت از منابع محدود آب در جهان است. روش‌های موفق دارای بهره‌وری بالای حذف آلاینده بوده درحالی‌که ردپای کربن این فرایندها کم، ضایعات تولیدی آن‌ها به حداقل رسیده و به‌کارگیری آن‌ها موجب حفاظت از سلامت انسان و محیط‌زیست شده است.

این کتاب در ۲۸ فصل تدوین شده است که در آن اطلاعات کاملی در مورد جدیدترین فن‌آوری‌های سبز در ارتباط با توسعه پایدار آب و مدیریت فاضلاب در کنار جنبه‌های مختلف پیشگیری از تولید و انتشار آلودگی و روش‌های تصفیه ارائه شده است.