تصفیه گازهای خروجی به روش پرتودهی الکترونی[1] (EBFGT)

● حمیدرضا جمشیدنیا sjamshidnia@yahoo.com
کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی شریف

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

چکیده

در این مقاله ابتدا به اهمیت کنترل آلاینده‌های منتشر شده در هوا وبه خصوص SOx و NOx که از نیروگاه‌های زغال سنگی به میزان زیادی منتشر می‌شوند اشاره می گردد. به این جهت روش های سنتی تصفیه‌گازهای خروجی مثل FGD[2] و SCR[3] به طور مختصر معرفی و به دلیل محدودیت‌هایی که دارند روش جدید تصفیه گاز خروجی به وسیله پرتودهی الکترونی و چگونگی فرآیند آن بررسی شده وسپس مزایای آن نسبت به روش های سنتی بیان می‌شود. همچنین کاربردهای گسترده این روش ونتایج مهم تحقیقاتی بیان می‌گردد. از آنجا که ملاحظات اقتصادی نقش مهمی را ایفا می کنند بعضی عوامل اقتصادی معرفی شده است. به دلیل کاهش مواد آلاینده وتولید کود شیمیایی در روش پرتودهی ونیزمزایای اقتصادی آن، این روش به عنوان روشی جهت دستیابی به توسعه پایدار و نیز حفظ محیط زیست توصیه می‌گردد.

۱-مقدمه

کیفیت هوا بوسیله انتشار آلاینده های مثل مه دود[4] که از احتراق سوخت های فسیلی در خودروها، نیروگاه ها، کارگاه‌های ریخته گری و دیگر مراکز صنعتی ناشی می‌شوند، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تحقیقات و اندازه گیری ها نشان می‌دهد که مه دود در آلودگی

هوای شهری از اهمیت بالایی برخوردار است[Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱].
مه دود موجب تحریک چشم ها، بینی و گلو کاهش ظرفیت ریه و نیز ایجاد بیماری‌های تنفسی و قلبی می شود. در این میان افراد مسن، بچه ها و بیماران قلبی و ریوی بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند. گزارشی در سال ۱۹۹۷ بیان‌کرد که درکشور چین بخاطر آلودگی هوا سالانه ۸۵۰.۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده اند و نیز ۱۰ میلیون نفر به بیماری های قلبی و تنفسی دچار شده اند. به عنوان مثال انتشار گازهای سمی، اکسیدهای سولفور و اکسید های نیتروژن از نیروگاه ها یکی از مشکلات اصلی درچین می باشد. دلیل این امر این است که به طور مثال در سال ۱۹۹۷، ٪۸۱ انرژی چین یعنی تقریباً بیشتر انرژی این کشور، از طریق نیروگاه هایی زغال سنگی تامین شده است که تولید کننده مقادیر زیادی SOx و NOx هستند .[Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

در واقع وقتی سوخت های فسیلی سوخته می‌شوند، گازهای خروجی مثل SOx و NOx بوسیله واکنش‌های فتوشیمیایی در حضور رطوبت جو به اسید سولفوریک و اسید نیتریک تبدیل می‌شوند [w,iaea]، یعنی SOx و NOx به باران اسیدی تبدیل شده و در نتیجه موجب آلودگی محیط زیست می‌شوند. در واقع باران اسیدی موجب اسیدی شدن آب دریاچه‌ها، رودخانه ها و خارج شدن فلزات از خاک (کانی شویی خاک) و نفوذ آن‌ها در آب می‌شود که هر دو مورد موجب صدمه به محیط زیست

می‌شوند. مثلاً رسوب اسید موجب از دست رفتن مواد غذایی با ارزش موجود در خاک و در نتیجه کاهش رشد درختان می شود. علاوه براین باران اسیدی موجب کاهش ظرفیت ریه و افزایش مرگ و میر ناشی از آسیب به سیستم تنفسی و قلبی می شود .[Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱].

باید توجه داشت که مقادیر زیادی از SOx و NOx از نیروگاه‌های به هوا منتشر می‌شود که عامل مستقیم باران اسیدی هستند [Watanaba M.,Wang Y.,Okino A.,Ko K.,Hotta E.,۲۰۰۵].

از آنجا که گازهای خروجی مثل SOx و NOx و CO^{2-} عامل اصلی باران اسیدی و اثر گلخانه‌ای هستند،تصفیه گازهای خروجی از مسائل تحقیقاتی مهم و حساس در حفاظت از محیط زیست محسوب می‌شود و از اهمیت خاصی برخوردار است. [Watanaba M.,Wang Y.,Okino A.,Ko K.,Hotta E.,۲۰۰۵]

در طی ۳۰ سال اخیر به منظور کنترل و کاهش انتشار گازهای زیان آور، بسیاری از محققان و مهندسین روی تحقیق و توسعه روش های سولفور زدایی (de-SOx) و نیتروژن زدایی (de-NOx) گازهای خروجی تمرکز کرده اند و به روش های مختلفی دست یافته اند .[Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

در قسمت بعدی به معرفی تکنولوژی‌های سنتی موجود (تکنولوژی های نسل اول) و سپس روش پرتودهی الکترونی(تکنولوژی نسل دوم) پرداخته می‌شود.

۲-روش‌های‌اصلی

۲-۱-تکنولوژی‌های سنتی

دو تکنولوژی سولفورزدایی گاز خروجی (FGD) و کاهش کاتالیزوری انتخابی (SCR) از معروف‌ترین روش های تصفیه گاز خروجی به روش سنتی هستند. [Namba H., Todunaga O., Hashimoto S., ۱۹۹۵]

۲-۱-۱-سولفورزدایی گاز خروجی (FGD) :

FGD فرآیندی است که طی آن آهک یا ماده ای شبیه آهک به عنوان ماده جاذب به گاز خروجی اضافه می‌شود که ترکیبات سولفور را جذب کرده و موجب کاهش انتشار SO_2 می‌شود. این فرآیند ممکن است خشک یا تر، قابل بازیافت یا غیرقابل بازیافت باشد. معمولاً سولفور بازیافتی یا ماده جاذب واکنشی به عنوان یک ماده شیمیایی که

کاربرد صنعتی دارد قابل فروش است. قابل ذکر است که سیستم‌های FGD می‌توانند تا ٪۹۵ از سولفور را جدا کنند، در حالتی که این میزان در سیستم های خشک حدود ۷۰ الی ٪۸۰ از سولفور است [w,Pembina].

۲-۱-۲- کاهش کاتالیزوری یا غیرکاتالیزوری انتخابی (SCR یا SNCR[۵]):

SCR یا SNCR فرآیندی است که طی آن NOx موجود در گازهای خروجی که به دلیل دماهای بالای احتراق بوجود می‌آید جدا می‌شود. در روش SCR آمونیاک(NH_3) به گاز خروجی تزریق شده و سپس در حضور یک کاتالیزور امونیاک و اکسیدهای نیتروژن واکنش داده و به نیتروژن بی ضرر و بخار آب تبدیل می‌شوند. روش SNCR هم شبیه SCR است با این تفاوت که واکنش کاتالیزوری در آن وجود ندارد. لازم به ذکر است که با هر دو روش SCR و SNCR می‌توان میزان انتشار NOx را تا ٪۸۰ کاهش داد. قابل ذکر است که هر دو تکنولوژی برای واحدهایی که با سوخت گاز و یا زغال سنگ کار می‌کنند، جهت کاهش هر چه بیشتر میزان انتشار NOx قابل استفاده می‌باشند [w,Pembina]. باید توجه داشت که در روش‌های سنتی سولفور زدایی و نیتروژن زدایی، روش‌های مختلف سولفورزدایی رامی توان با SCR (جهت نیتروژن زدایی) ترکیب نمود[IAEA-TECDOC-۱۱۸۹, ۲۰۰۰].

در واقع طی سال‌های متمادی روش‌های مختلفی جهت جداسازی SOx و NOx بوجود آمده است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها جداسازی SOx بوسیله FGD به روش‌تر و جداسازی NOx با روش کاهش کاتالیزوری بوده است، اما هیچ یک از این سیستم‌ها را نمی‌توان جهت جداسازی همزمان SOx و NOx بکار برد. علاوه بر این مشکل، این روش ها بخصوص برای بویلرهایی با اندازه کوچک و متوسط از هزینه نصب و کارکرد بالایی برخوردار بوده و مقادیر زیادی آب تولید می‌کنند که باید آن را تصفیه کرد[w,iaea]، بنابراین، این روش‌ها نیاز به سیستم و تجهیزات پیچیده ای جهت تصفیه آب تولید شده دارند. [Namba H., Todunaga O., Hashimoto S., ۱۹۹۵]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

قابل ذکر است که تکنولوژی سنتی تصفیه گاز خروجی از یک غبارگیر الکترواستاتیکی[۶] فرآیند سولفورزدایی‌تر با استفاده از آهک/ سنگ آهک (گچ) و فرآیند خشک نیتروژن زدایی باکاتالیزور تشکیل شده است. به هر حال، تجهیزات سنتی سولفور زدایی از لحاظ ساخت پیچیده بوده و از عناصر کنترلی بسیار زیادی تشکیل شده است. علاوه بر این هرچند این سیستم از فرآیند خشک نیتروژن زدایی استفاده می‌کند، ولی در آن ها از کاتالیزوهای گران قیمتی که عمر کوتاهی هم دارند استفاده می شود، که باید به صورت دوره ای تعویض شوند که بالتبع هزینه سیستم را بالا برده و از نظر اقتصادی به صرفه نیستند [Namba H., Todunaga O., Hashimoto S., ۱۹۹۵].

از آنجایی که آلودگی هوا در اروپای مرکزی و دیگر کشورهای صنعتی شدید بوده و نیازشدیدی به یک تکنولوژی جهت بهبود وضع موجود وجود دارد و نیز از طرفی روش‌های سنتی علاوه بر محدودیت های بیان شده تا حدی گسترش پیدا کرده اند که امکان کاهش زیادی در هزینه آن ها در آینده نزدیک وجود ندارد، ایجاد و توسعه تکنولوژی های نسل دوم[۷] ضروری است که در واقع تکنولوژی پرتودهی الکترونی یکی از این روش هاست[Chmielewski, A.G., Iller E., Zimek Z., ۲۰۰۳].

۲-۲- روش پرتو دهی الکترونی (EB)

تکنولوژی پرتودهی الکترونی یک تکنولوژی نسل دوم است که در آن جداسازی SOx و NOx از گازهای خروجی به صورت همزمان صورت گرفته و از محصول نهایی می توان به عنوان کود استفاده نمود. استفاده از این روش جهت کنترل آلودگی هوا در لهستان که از زغال سنگ به صورت گسترده و حتی در واحد های کوچک با ظرفیتی کمتر ۵۰MW به عنوان سوخت استفاده می شود، از پتانسیل بالایی برخوردار است.

[Chmielewski, A.G., Iller E., Zimek Z., ۲۰۰۳] در این روش گازهای خروجی در محفظه ای قرار گرفته و بوسیله الکترون های شتابدار شده تحت تابش قرار می‌گیرند، که در طی آن رادیکال های هایدروکسیل تشکیل شده. واکنش‌هایی (که

دربخش‌های آینده به تفضیل بحث می‌شوند) رخ می‌دهد که در نتیجه آن ها آلاینده‌های موجود در گازهای خروجی، جدا می‌شوند [IAEA, ۱۹۸۷, PAUR, H-R, ۱۹۹۱].

۳-سیستم تصفیه گاز خروجی به روش پرتودهی الکترونی

این سیستم تصفیه خشک گاز خروجی حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی را قبل از خروج آن ها از دودکش مهیا می‌کند [w,iaea] . در واقع در این روش عمل سولفورزدایی و نیتروژن زدایی به صورت همزمان صورت گرفته و در نتیجه از انتشار گازهای آلاینده SOx و NOx جلوگیری می‌شود [w,ebara].

۳-۱-مراحل تصفیه در روش EBFGT

در این روش گاز خروجی با آمونیاک ترکیب شده و سپس تحت تابش پرتوهای الکترونی قرار می‌گیرد. این روش از سه مرحله اصلی تشکیل شده است که به قرار ذیل اند:

۳-۱-۱- مرطوب سازی گاز خروجی و اضافه کردن آمونیاک

مرطوب سازی و سرمایش گاز خروجی داغ بوسیله پاشش آب به آن صورت می‌گیرد. جهت تقویت عمل مرطوب سازی می‌توان از بخار آب با آنتالپی کم استفاده نمود و در نتیجه از اندازه افشانه خنک کننده کاست. همچنین در این مرحله آمونیاک به گاز خروجی اضافه می شود. [IAEA-TECDOC-۱۱۸۹, ۲۰۰۰]

۳-۱-۲- پرتودهی بوسیله الکترون‌های شتاب دار شده

الف) تولید رادیکال های آزاد فعال

در این مرحله گاز خروجی تحت تابش الکترون‌های شتاب دار شده قرار می‌گیرد که در نتیجه آن رادیکال‌های آزادی که از لحاظ شیمیایی بسیار فعال هستند، تولید می‌شوند. [w,ebara]

در واقع با برخورد الکترون‌ها به مولکول های SOx و NOx، آب(H_2O)و دی‌اکسیدکربن(CO_2) موجود در گاز خروجی، رادیکال‌های آزاد فعال O, OH, HO_2 و... به صورت مداوم بوجود می‌آیند. برای مثال : [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

$$O_2, H_2e - O, OH, H_2O$$

ب) اکسیداسیون *SOx* و *NOx*

اکسیدهای سولفور SOx و اکسیدهای نیتروژن NOx موجود در گاز خروجی با رادیکال های آزاد واکنش داده و به ترتیب به اسید سولفوریک و اسید نیتریک تبدیل می‌شوند : [w,ebara]

$$SO_2 \xrightarrow{O,OH,NO_2} H_2SO_4$$
$$NO_2 \xrightarrow{O,OH,SO_2} HNO_3$$

ج) واکنش خنثی شدن

در این مرحله اسید سولفوریک و اسید نیتریک تولید شده در واکنش اکسیداسیون با آمونیاکی که به راکتور موجود در سیستم تزریق شده، واکنش داده و یک کود کشاورزی بوجود می‌آید که محصول مفید واکنش است. [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

علاوه بر این، آئروسل‌ها و نیز سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم به صورت پودر تولید می‌شوند : [w,ebara]

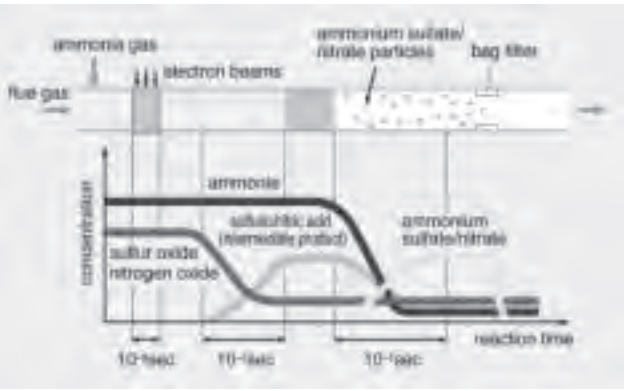
$$HNO_3 + NH_3 \rightarrow NH_4NO_3$$
$$H_2SO_4 + 2NH_3 \rightarrow (NH_4)SO_4$$

۳-۱-۳- جمع آوری محصولات

در این مرحله محصولات تولیدی بوسیله جمع‌کننده[۸] و آئروسل‌های بوجود آمده بوسیله

سایت اینترنتی انجمن متخصصان محیط زیست ایران : www.irsen.org

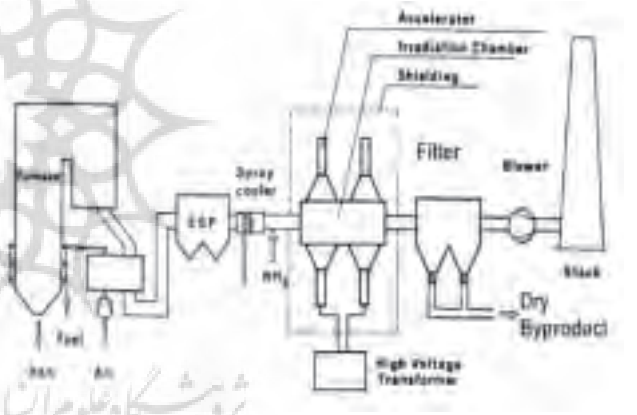
یک غبارگیر الکترواستاتیکی و یا فیلتر کیسه‌ای[۹] جمع‌آوری شده و گاز خروجی تمیز از دودکش خارج می‌شود [IAEA-TECDOC-۱۱۸۹, ۲۰۰۰].



شکل۱-نمودار دیاگرام واکنش [w, eb-tech]

۳-۲-دیاگرام جریان

در شکل دیاگرام جریان مربوط به مراحل مختلف را مشاهده می‌کنید.



شکل۲-دیاگرام ساده شده جریان درفرآیند EB Q [IAEA-TECDOC-۱۱۸۹, ۲۰۰۰]

۳-۳-موارد کاربرد:

جالب توجه است که با روش پرتودهی با الکترون‌های شتاب دار شده گازهای خروجی مختلفی را می‌توان تصفیه کرد، از جمله : [H.-R, SCHIKARSKI W., ۲۰۰۳ PAUR,]

۱-گازهای خروجی SOx و NOx

۲-ترکیبات آلی فرار (VOCs)

۳-گازهای خروجی بودار (H_2S)

۴-گازهای خروجی زباله سوزها (دیوکسان)

۵-گاز خروجی تونلی

قابل ذکر است که از این روش جهت تصفیه گازهای خروجی متنوعی که شامل اکسیدهای نیتروژن و سولفور هستند استفاده می‌شود، از جمله گاز خروجی حاصل از :[w,ebara]

۱-سوختن نفت سنگین

۲-سوختن ذغال سنگ با درصد گوگرد بالا

۳-سوختن ذغال سنگ با درصد گوگرد پائین

۴-درهم جوشی (کلوخه سازی) آهن / فولاد

۳-۴-مزایا:

نتایج حاصل از تحقیقات و آزمایشات انجام شده روی واحدهای آزمایشگاهی و نیز واحدهای نیمه صنعتی نشان می‌دهد که روش پرتودهی الکترونی در مقایسه با روش‌های شنتی از مزایای زیادی برخوردار است. [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱] عمده مزایای فرآیند EB به قرار زیر است: [IAEA-TECDOC -۱۱۸۹, ۲۰۰۰, Chmielewski A.G., ۲۰۰۰]

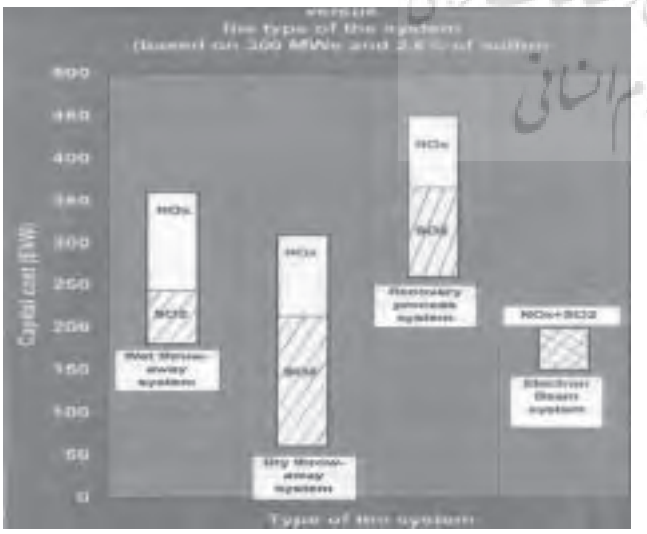
۱-این فرآیند گازهای SOx و NOx را همزمان و در یک مرحله از فرآیند جدا می‌سازد.

۲-طی این فرآیند یک محصول قابل استفاده و با ارزش تولید می‌شود که از آن در تولید کود کشاورزی استفاده می‌شود.

۳-این فرآیند یک فرآیند خشک است زیرا در محصولات خروجی آن آب زائد تولید نمی‌شود و بدین جهت نیاز به سیستم تصفیه آب ندارد.

۴-این فرآیند نیاز به کاتالیزور (که معمولاً گران است) ندارد.

۵-مطالعات اقتصادی نشان می‌دهد که هزینه های سرمایه گذاری و کارکرد و نیز هزینه



شکل۳-هزینه سرمایه در روش‌های مختلف [Chmielewski A.G., ۲۰۰۰]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

سرمایه[۱۰] در این فرآیند، به گونه‌ای است که با دیگر روش‌ها قابل رقابت است. (شکل...) علاوه بر این، سودحاصل از فروش محصول مفید بدست آمده، موجب جبران درصد زیادی از هزینه‌های تصفیه گاز خروجی در قیاس با تکنولوژی های سنتی دیگر می‌شود.

۶-مصرف انرژی در این فرآیند وقتی جهت تصفیه گازهای خروجی که غلظت So_2 در آن‌ها بالاست بکار رود، کم می‌باشد.

۷-این فرآیند با توجه به بازده مورد نظر برای جداسازی SO_2 در گستره دمایی بسیار وسیعی (۹۰- ۵۵) کار می‌کند که برای دیگر فرآیند ها و بخصوص فرآیندهای‌تر که در آن ها از گچ به عنوان ماده جاذب استفاده می‌شود امکان‌پذیر نیست. بنابراین، در این فرآیند، در آرایش‌های خاص، از مصرف انرژی جهت گرمایش مجدد گاز خروجی جلوگیری شده و یا میزان آن به حداقل می‌رسد.

۸-این فرآیند نه تنها برای نیروگاه‌هایی با اندازه کوچک و یا متوسط که جریان الکتریکی را در مواقع اوج مصرف تامین می‌کنند بکار می‌رود بلکه برای نیروگاه های بزرگ هم قابل استفاده است.

قابل ذکر است که مزایای بالقوه این روش موجب تحقیقات بر روی این فرآیند و در نتیجه توسعه آن شده است .[IAEA-TECDOC-۱۱۸۹, ۲۰۰۰]

باید توجه داشت که در این راستا تحقیقات عمده‌ای در کشورهای ژاپن، آلمان، آمریکا، لهستان و چین انجام گرفته است .[w,iaea]

۴-برخی از نتایج اصلی تحقیقات انجام شده

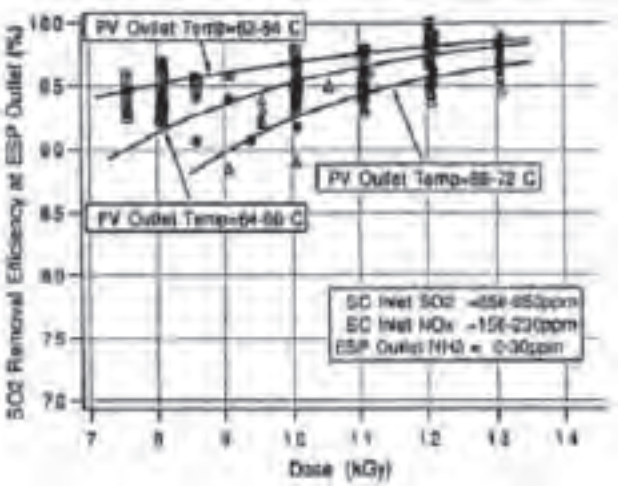
تحقیقات و آزمایشات مختلف نشان داده است که با طراحی و ساخت سیستم پرتودهی الکترونی می‌توان به نتایج خوب و مفیدی جهت سولفور زدایی و نیتروژن زدایی گازهای خروجی دست یافت. در ذیل به نتایج مهم حاصل از تحقیقات انجام شده در مورد چگونگی ارتباط بین پارامترهای مختلف و بهبود بازده این سیستم اشاره می‌شود : [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

۴-۱- ارتباط بین درصد جداسازی SOx و NOx با میزان تابش

همانطورکه در شکل(۴) مشاهده می‌شود تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش دز (میزان) تابش، درصد جداسازی SOx و NOx افزایش می‌یابد.

۴-۲- وابستگی بازده جداسازی SO۲ با دمای گاز خروجی

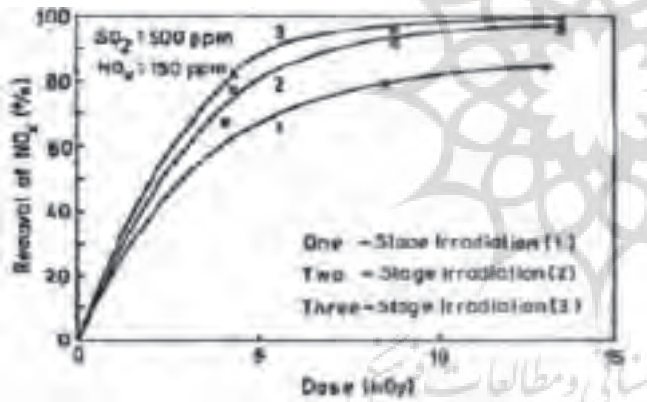
تحقیقات نشان می‌دهد که با کاهش دمای گاز خروجی میزان جداسازی بهبود می‌یابد. (شکل ۴)



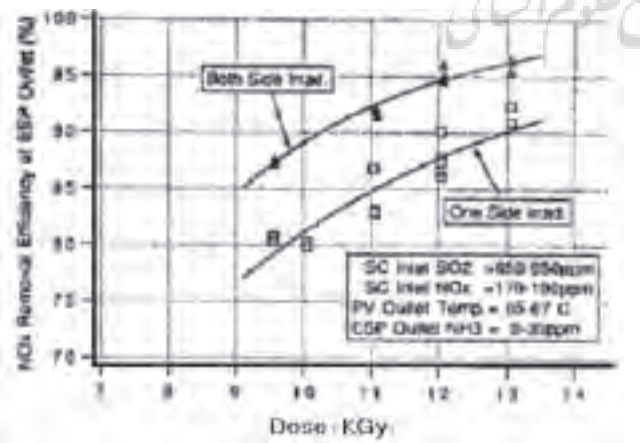
شکل۴-وابستگی بازده جداسازی به دز تابشی در دماهای مختلف [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

۴-۳- پرتودهی چند مرحله‌ای

با پرتودهی گازهای خروجی در چند مرحله بازده سولفور زدایی و نیتروژن زدایی افزایش می‌یابد. (شکل۵)



شکل۵-بهبود بازده جداسازی Nox با دو و سه بار پرتودهی [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]



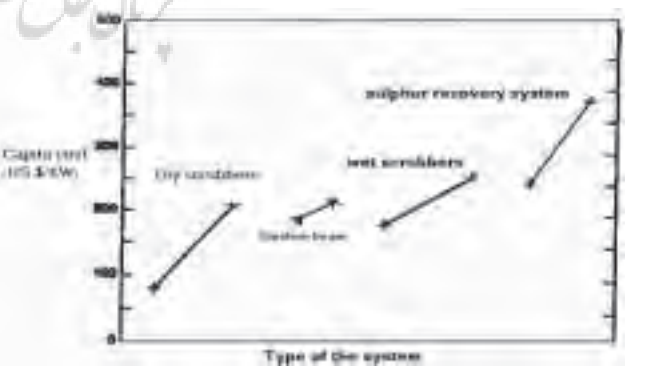
شکل۶-بازده جداسازی NOx در تابش یک طرفه و دو طرفه [Ji Pei Y., and others, ۲۰۰۱]

۴-۴- پرتودهی دوطرفه

با تابش پرتوها از دو طرف بازده جداسازی SOx و NOx افزایش می‌یابد. (شکل ۶.)

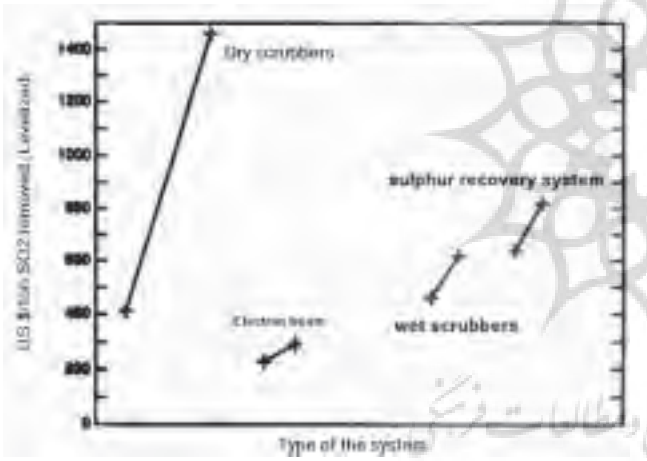
۵-بررسی‌های اقتصادی

به منظور مقایسه اقتصادی این روش با روش‌های دیگر یکی از گزارش‌های EPRI[۱۱] (موسسه تحقیقات نیروی برق- آمریکا) اطلاعات مفیدی را راجع به فرآیندهای مختلف تصفیه گاز خروجی در اختیار قرار می دهد که گزیده آن را در شکل ۷ مشاهده می‌کنید که در آن هزینه‌های سرمایه‌ای (US،/KW) نمایش داده شده‌اند. این داده ها درواقع راهنمایی برای داروی جهت رقابتی بودن روش پرتودهی الکترونی در قیاس با دیگر روش‌هاست [Frank N.W., ۲۰۰۳].



شکل ۷- مقایسه هزینه سرمایه روش های مختلف

[Coal and Synfuels Technology, ۱۹۹۱ (Source: Electric Power Research Institute)]



شکل ۸- مقایسه هزینه جداسازی یک تن SO۲ در روش‌های مختلف (بر اساس MW ۳۰۰ و ٪۲.۶ سولفور)

Technology, ۱۹۹۱, (Source: Electric Power Research Institute)]

[Coal and Synfuels

شکل ۸ میزان هزینه مربوط به جداسازی SO۲ را برای سیستم های مختلف FGD و روش EB نشان می‌دهد. باید توجه داشت که این منحنی فقط هزینه مربوط به واحدهای سولفور زدایی را درنظر گرفته و هیچ هزینه‌ای که مربوط به جداسازی NOx باشد را در نظر نمی‌گیرد. همانطور که مشاهده می‌شود هزینه مربوط به روش پرتودهی الکترونی در قیاس با سایر روش‌ها بسیار کم است [Frank N.W., ۲۰۰۳].

قابل ذکر است که در روش پرتودهی الکترونی، عوامل اقتصادی مختلف مثل هزینه‌های مربوط به تاسیسات EBFGT و صرفه‌جویی‌های عمده عملیاتی به

سایت اینترنتی انجمن متخصصان محیط زیست ایران : www.irsen.org

قیمت منابع انرژی وابسته هستند[w.terasengas].

مخارج اصلی روش EBFGT به قرار زیرند:

۱-هزینه های سرمایه گذاری برای کل تاسیسات EBFGT

۲-هزینه های مربوط به الکتریسیته و آب (شتاب‌دهنده و غبارگیر الکترواستاتیکی)

۳-هزینه های نگهداری

۴-هزینه های مربوط به آمونیاک

قابل ذکر است که با استفاده از موارد زیر می توان هزینه های فوق را کاهش داد:

[Edinger R., ۲۰۰۶]

۱-استفاده از سایر منابع سوختی بجای استفاده از سوخت گاز طبیعی

۲-فروش محصول جنبی (کود کشاورزی)

نتیجه‌گیری:

با توجه به لزوم جلوگیری هر چه بیشتر از انتشار گازهای آلاینده خروجی ونیز با در نظر گرفتن مزایای روش پرتودهی الکترونی در مقایسه با روش های سنتی مثل جداسازی همزمان NOx و SOx، تولید محصول جنبی که دارای ارزش زیادی است و نیزداشتن هزینه های کارکرد کم، می‌توان از روش پرتودهی جهت تصفیه این گازها که ازبازده بالایی هم برخوردار است استفاده کرد. با توجه به کاربرد گسترده این روش درتصفیه گازهای آلاینده، تولید همزمان برق و کود کشاورزی و نیز پاک بودن این روش می توان نتیجه گرفت که استفاده از آن گامی به سوی دستیابی به توسعه پایدار در سطح ملی و بین المللی است و سرمایه‌گذاری هر چه بیشتر جهت تحقیق، توسعه و استفاده هر چه بیشتر از آن ضروری است.

پی نوشت:

1-Electron Beam Flue Gas Treatment (EBFGT)
2- Flue Gas Desulphurization (FGD)
3-Selective Catalytic Reduction (SCR)
4- Smog
5-Selective None Catalytic Reduction (SNCR)
6- Electrostatic Precipitator (ESP)
7-Second Generation Technology
8-Collectors
9-Bag Filters
10-Capital cost
11-Electric Power Research Institute

مراجع:

1- Chmielewski, Andrzej G.,2000, "Lecture on a review of purification the flue gas from coal fired power plants in the world in USTC"., Hefei, China, Nov. 2000.

2- Chmielewski A.G., Iller E., Zimek Z., 2003,(Institute of Nuclear Chemistry and Technology ,Warsaw, Poland) and LICKI J.
(Institute of Atomic Energy, Otwock, Poland),2003, " Laboratory and Industrial Research Installations for Electron Beam Flue Gas Treatment , Invited Paper, IAEA-SM-325/124.

3-Coal and Synfuels Technology, 1991, Parsha Publications, Arlington, VA

4-Edinger Ralf, 2006," Electron beam treatment of flue gases to reduce sulfur and nitrogen oxide emissions": second generation accelerators and chemical reactors, PAVAC Industries Inc., Richmond, British Columbia, Canada.

5-Frank N.W.,2003, Electron Beam Processing of Flue Gases-Technical and economic considerations, Invited paper, IAEA-SM-325/168.

6-International Atomic Energy Agency, 1987," Electron Beam Processing of Combustion Flue Gases" (Proc. Consultants Mtg Karlsruhe, 1986), IAEA-TECDOC-428, Vienna (1987).

7- International Atomic Energy Agency, 2000, " Radiation processing of flue gases: guidelines for feasibility studies"IAEA-TECDOC-1189, Vienna (2000).

8-Ji Pei Yuan, and others(Li Ge, Wang Xiang Qi , Zhang Yun Wu , Fen Guang Yao g , Wang Yong , Wei Wei, Hong Yili, Fu Shaojun, Hui Gao , Li Yu Xiong , Hong Jun Zhou, Tian Yang Cao , Lei Shang, LiDong Xiao , Dong Sai , Sheng Liu Si), 2001," A low cost and high efficiency facility for removal of SO2 and NOx in the flue gas from coal power plant",- Proceedings of the 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science & Technology of China, Hefei, Anhui, 230029 P.R. China

9-Namba Hideki, Togunaga Okihiro, Hashimoto Shoji et al., 1995, "Pilot scale test for electron beam purification of flue gas from coal-combustion boiler.", Radiat. Phys.Chem, Vol.46, No.4-6, PP.1103-1106 (1995).

10-PAUR, H.-R, 1991, "The EBDS process", Sulphur Dioxide and Nitrogen Oxides in Industrial Waste Gases: Emission, Legislation and Abatement (VAN VELZEN, D., Ed.), Kluwer, Amsterdam (1991) 183-203 (and references cited therein).

11- PAUR, H.-R, SCHIKARSKI W., 2003" Electron Beam Induced Purification of Industrial Emissions", Laboratorium fur Aerosolphysik und Filtertechnik I, Kernforschungszenrtum Karlsruhe Gmbh, Karlsruhe, Germany

12-Watanabe M, Wang Y., Okino A.,. Ko K. C *, Hotta E. ,(2005) ,"Development of compact gas treatment system using secondary emission electron gun" Department of Energy Sciences, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, JAPAN.

* Department of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University, Seoul, KOREA

Internet sources:

1-www.ebara.co.jp, Ebara Corporation, Konan, Minato-ku, Tokyo, Japan, Japanese Advanced Environment Equipment

2- www.eb-tech.com

3-www.iaea.or.at/worldatom/program/tc/ ", Clean Air for Poland", International Atomic Energy Agency,

4-www.terasengas.com/LargeIndustrial/IndexPriceInformation/default.htm, TERASEN GAS, 2006, "Large Industrial Price Information".

5- www.pembina.org, (2001), "A comparison of combustion technologies for electricity generation", Pembina Institute Release.