

جلوگیری از خوردگی و تشکیل اسید در نیروگاه‌ها

امیر توکلی

شرکت سامان انرژی اصفهان
a.tavakoli.d@gmail.com

محمد مهدی زاده

شرکت سامان انرژی اصفهان
m.mehdizadeh@me.iut.ac.ir

چکیده

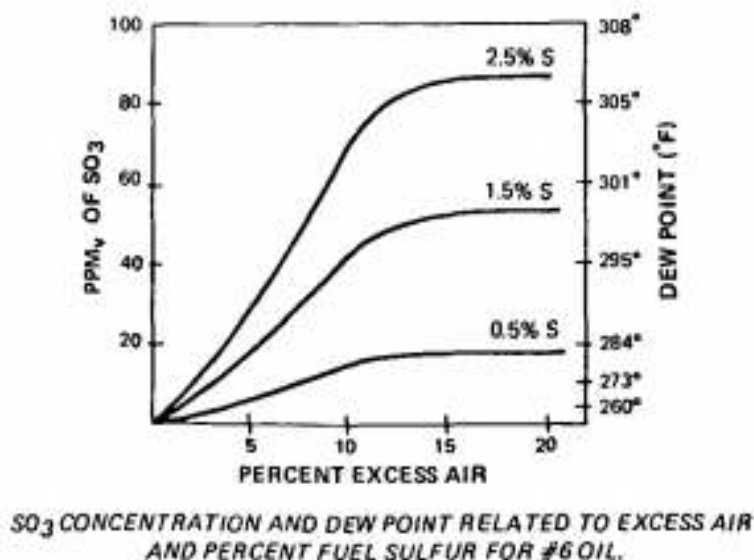
از بزرگترین مشکلات در نیروگاه‌ها، هنگام استفاده از سوخت مایع، می‌توان به تشکیل اسید در مسیر دود خروجی و خوردگی در مناطق مختلف بویلر که دمای دود پایین‌تر است، مثل خروجی ژونگستروم، اشاره نمود. در حقیقت، در این موارد به منظور جلوگیری از تشکیل اسید در مناطق سرد بویلر، دمای دود خروجی بالاتر نگه داشته می‌شود، که مانع استفاده از انرژی دود تا حداکثر ممکن می‌شود [۱ و ۲]. در این مقاله، مطالعه‌ای بر روی تولید SO_3 و تشکیل ترکیبات نسوخته حاصل از سوخته‌های سنگین انجام گرفته است. تشکیل SO_3 منتهی به خوردگی قسمتهای سرد بویلرها، از جمله سیستمهای پیشگرمایش هوا و دودکش شده و می‌تواند یک دود قابل مشاهده و آلاینده‌های اسیدی تولید کند. علاوه بر این تشکیل ذرات نسوخته ناشی از احتراق سوخته‌های سنگین نیز منجر به افزایش بیش از اندازه آلاینده‌ها و دود قابل مشاهده می‌شود. روشهای مکانیکی به تنهایی برای حذف این مشکلات کافی نیستند. استفاده از کاتالیست‌های احتراق، موجب عملکرد احتراق با هوای اضافی کم و در نتیجه کاهش میزان SO_3 ، بدون تولید هیدروکربن‌های نسوخته می‌شود. کاهش هوای اضافی موجب افزایش راندمان واحد و صرفه جویی در مصرف سوخت خواهد شد. علاوه بر آن، خنثی سازی SO_3 باقیمانده با استفاده از افزودنیهای خنثی ساز به صورت پودر، به قسمتهای سرد انتهایی^۱ بویلرها، اجازه کارکرد با دمای دود پایین را به دلیل کاهش نقطه شبنم ترکیبات دود در دودکش می‌دهد. ترکیب این دو روش موجب کارکرد بهینه بویلر در دماهای بالا به دلیل افزودن مواد شیمیایی جهت بهبود احتراق و کاهش تشکیل دوده و در دماهای پایین به دلیل استفاده از خنثی سازهای اسید می‌شود. این کار موجب صرفه‌جویی‌های قابل توجهی در واحدهایی که با سوخته‌های سنگین کار می‌کنند، می‌شود و ضمناً موجب مینیمم کردن و یا حذف آلاینده‌ها می‌شوند [۳ و ۴ و ۵].

۱- عوامل مؤثر بر تشکیل رسوب و ایجاد خوردگی

بررسی نتایج گازهای خروجی از بویلر نشان می‌دهد که در صورت استفاده از سوخت مایع، مقدار دی‌اکسید گوگرد در دود خروجی در مقایسه با سوخت گازی بالاتر می‌باشد. ترکیبات گوگردی خروجی از دودکش بویلر به علت بالا بودن دمای شبنم مازوت در مقایسه با گاز، از دودکش خارج نمی‌شود، بلکه در اثر تقطیر بخار آب، به صورت رسوب داخل دودکش جمع می‌شود. در واقع، هوای اضافی زیاد در خروجی بویلر، باعث کاهش دمای

محصولات و در نتیجه رسیدن به دمای شبنم و ایجاد قطره و در نتیجه رسوب می‌شود.

با توجه به مقادیر زیاد ترکیبات گوگرد در مازوت در مقایسه با سوخت گاز طبیعی، امکان تشکیل ترکیبات گوگردی نظیر $(SO_4)_3Fe_2$ بیشتر است. به دلیل افزایش گوگرد موجود در سوخته‌های مایع نسبت به سوخته‌های گازی، دمای نقطه شبنم محصولات گازی ناشی از احتراق مازوت، در مقایسه با دمای نقطه شبنم محصولات گازی ناشی از احتراق سوخت گازی، بسیار بالاتر است (شکل ۱)، لذا امکان تشکیل قطرات در گازهای خروجی و در نتیجه رسوبگذاری ترکیبات گوگردی در هنگام استفاده از مازوت بالا است [۶ و ۷].



شکل ۱. نقطه شبنم اسید سولفوریک در دود حاصل از سوخته‌های حاوی سولفور

در بویلر، سطوح سرد یا سطوح گیرنده حرارت، ثابت است ولی بازده آن با تجمع رسوبات^۲ و گدازه‌ها^۳ تغییر می‌کند. این تغییرات طی کارکرد طولانی پیش می‌آید و بر کارایی کلی دیگ تاثیر می‌گذارد. یکی از مشکلات اساسی که می‌تواند باعث بروز مشکل برای بویلرها باشد، خوردگی در نقاط مختلف آن است که ضمن اتلاف مقدار زیاد انرژی، آسیب‌های مکانیکی متعددی به بویلر وارد می‌کند. دو نوع خوردگی همیشه در سمت آتش تشکیل می‌شود:

۱. خوردگی در دمای بالا.^۴

۲. خوردگی در دمای پایین^۵

خوردگی در دمای بالا: این نوع خوردگی ناشی از تشکیل نمک اتصال دهنده پیروسولفات سدیم است که در اغلب سوخته‌ها وجود دارد. این نمک در مقابل فولاد بسیار خورنده است و در صورت تداوم، باعث خوردگی ناحیه زیرین رسوبات می‌گردد. وانادات‌های مختلف، ناشی از سوخته‌های مایع نیز در حالت مذاب خورنده هستند. به نظر

^۲ . Flame Emissivity

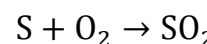
^۳ . Luminosity

^۴ . High Temp Corrosion

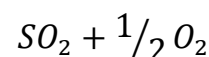
^۵ . Low Temp Corrosion

می‌رسد که مشکل اساسی، جلوگیری از ایجاد حالت مذاب نمک‌ها باشد که یکی از راه‌ها طراحی دقیق دیگ و راه دیگر استفاده از مواد شیمیایی است.

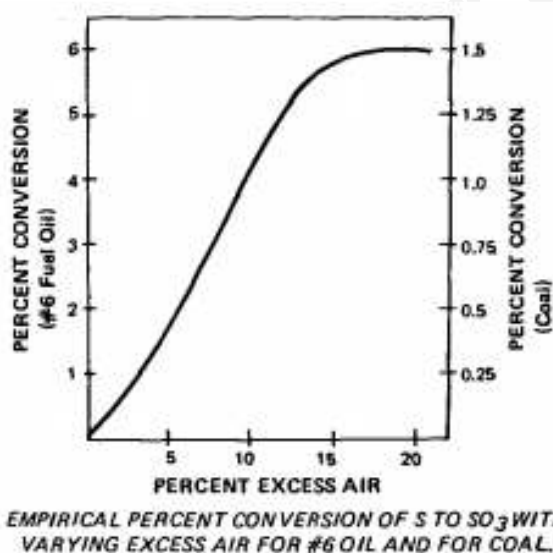
خوردگی در دمای پایین: این نوع خوردگی بسیار متداول‌تر از خوردگی قبلی است و در تمام دیگ‌ها از هر نوع و هر اندازه در شرایطی که از سوخت‌های گوگرددار استفاده می‌شود و شرایط دمایی مناسبی جهت تقطیر اسیدسولفوریک موجود باشد، اتفاق می‌افتد. قسمت عمده گوگرد موجود در سوخت به دی‌اکسید گوگرد تبدیل می‌شود:



در صورتی که اکسیژن اضافی موجود باشد، اکسیداسیون ادامه پیدا می‌کند:

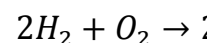


هرچه مقدار هوای اضافی بیشتر باشد مقدار SO_3 تولید شده نیز بیشتر می‌شود (شکل ۲) [۶].

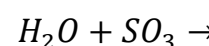


شکل ۲. نمودار میزان تبدیل گوگرد به SO_3 برحسب درصد هوای اضافی

هیدروژن موجود در سوخت اکسید شده به بخار آب تبدیل می‌گردد:



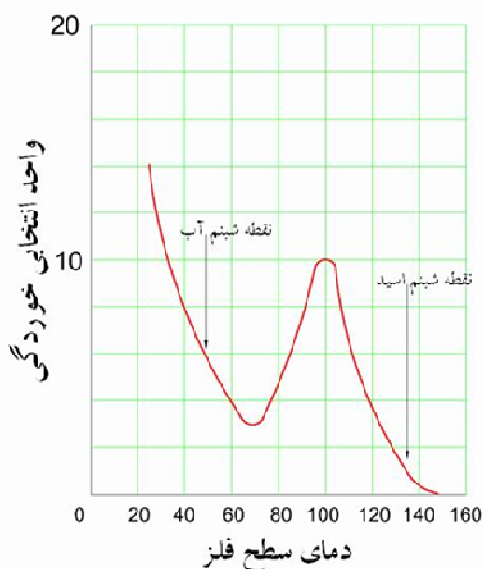
در نواحی سردتر دیگ، این بخار با SO_3 ترکیب شده و تشکیل اسید سولفوریک می‌دهد.



نقطه جوش و در نتیجه نقطه تقطیر اسید سولفوریک بالاست. در مورد اسید غلیظ، در حدود ۲۹۰ درجه سانتیگراد و در مورد اسید رقیق، کمتر است. در شرایط عملکرد دیگ، این دما بین ۱۲۵ تا ۱۴۵ درجه سانتیگراد است. دمای نقطه شبنم اسید، فاکتور مهمی در عملکرد دیگ است. چون سطوحی که سردتر از این دما باشند، باعث

تقطیر اسید شده و در معرض خوردگی قرار می‌گیرند. معمولاً هرچه دمای فلز پایین‌تر باشد میزان خوردگی شدیدتر است.

چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پس از رسیدن به اوج خوردگی (در ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد پایین‌تر از نقطه شبنم)، میزان خوردگی کاهش می‌یابد. این امر به علت ایجاد مه اسیدی در محیط‌های سرد می‌باشد که باعث خارج سازی اسید از محیط می‌گردد. با کاهش بیشتر دما، خوردگی تشدید می‌شود که در دماهای پایین پیامدهای وحشتناکی بدنبال دارد. در این شرایط، به دلیل نزدیک شدن بخار آب به نقطه شبنم، حجم اسید ایجاد شده افزایش می‌یابد و اسید رقیق‌تر می‌گردد. اضافه شدن حجم اسید، باعث شسته شدن محصولات خوردگی که می‌تواند بعنوان لایه حفاظتی در مقابل خوردگی‌های بیشتر عمل کنند، می‌گردد. از طرفی اسید رقیق، فعال‌تر از اسید غلیظ عمل می‌کند [۶ و ۷].



شکل ۳. بررسی تغییرات میزان خوردگی سطوح فلزی در تماس با گازهای حاصل از احتراق با دمای سطح فلز

هرچه مقدار SO_3 بیشتر باشد، نقطه شبنم اسیدی نیز افزایش می‌یابد، گرچه این موضوع با بخار آب موجود مرتبط است.

پی‌یرس^۶ معادله پیشنهادی میرهوف^۷ را چنین عنوان کرده است [۸]:

$$\frac{100}{T} = 1.784$$

که در آن: T دمای نقطه شبنم با واحد اندازه‌گیری کلوین، P_1 فشار جزئی H_2O با واحد اندازه‌گیری بار، و P_2 فشار جزئی SO_3 است.

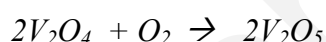
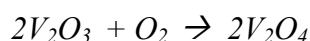
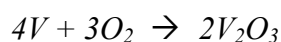
^۶ . Pearce

^۷ . Meyerhof

اگر بتوان مقدار SO_3 موجود در گازها را حدس زد از این فرمول می توان نقطه شبنم را بطور تقریبی بدست آورد. ولی با معلوم بودن نقطه شبنم نمی توان مقدار SO_3 را بدست آورد، و این امر به علت وجود سایر مواد قلیایی، خاکستر یا مواد افزودنی خنثی کننده است که بر روی دستگاه اندازه گیری نقطه شبنم نشسته و بر عدد خوانده شده تاثیر می گذارد [۷]. واضح است که تمام سطوحی که در تماس با گازهای حاصل از احتراق کوره هستند چنانچه دمایشان به کمتر از نقطه شبنم برسد در معرض خوردگی قرار می گیرند.

همانگونه که قبلا اشاره شد، وجود ناخالصی های مختلف مثل فلزات سدیم، وانادیم، نیکل و غیر فلزاتی مثل گوگرد و ازت به صورت ترکیبات آلی در سوخت های مایع، مسائل عدیده ای را باعث می شوند. از آن جمله کاهش انتقال حرارت از طریق سطوح خارجی لوله به سیال درون لوله است، که به علت تشکیل رسوبات مربوط به ناخالصی های مزبور بخصوص رسوبات فلزی بر روی لوله هاست. به همین دلیل برای رسیدن به دمای مورد نظر سیال موجود در لوله، نیاز به مصرف سوخت بیشتر است. از طرفی به دلیل نشست این رسوب ها بر روی تیوب ها مسئله خوردگی و سوراخ شدن پیش خواهد آمد.

سرچشمه خوردگی در دمای بالا وجود ترکیبات وانادیم در سوخت های سنگین می باشد که بصورت نرمال حدود ۲۵-۳۰۰ ppm در تمامی سوخت های مایع سنگین دیده شده است. در حالت بهره برداری، مقداری از این ترکیبات بر روی تیوب های بویلر رسوب می کند. هنگامی که شرایط اکسید شدن مهیا شد (اکسیژن اضافی و دمای بالا) وانادیم به ترکیبات شرح داده شده ذیل اکسید می گردد.



با توجه به فشار جزئی اکسیژن موجود در محیط و بسته به شرایط دمایی، وانادیم به V_2O_3 سپس به V_2O_4 و در انتها به V_2O_5 تبدیل می شود. نقطه ذوب وانادیم در ترکیب V_2O_5 برابر ۶۵۰۰C می باشد که بیشترین مشکل را ایجاد می کند (بعلت هم دما بودن با دمای بویلر).

در قسمت های دما بالای بویلر مثل سوپر هیترها، دمای بالا باعث ذوب شدن وانادیم می شود. وانادیم ذوب شده بصورت خاکستر بر روی تیوب ها می نشیند و موجبات خوردگی در سطوح خارجی تیوب ها را فراهم می آورد. اکسیدهای وانادیم (V_2O_5) بصورت مذاب، بیشترین میزان خوردگی را بر روی تیوب های سوپر هیتر به وجود می آورند.

تجمع رسوبات در این دیگ ها منجر به ایجاد گرفتگی جریان گازهای حاصل از احتراق^۸ می شود. با توجه به

^۸ . Flue Gas

اینکه تغییر آرایش لوله ها و کم کردن دمای گازهای حاصل از احتراق مقرون به صرفه و امکان پذیر نیست، پیشنهاد می شود، مواد افزودنی شیمیایی به سوخت افزوده شود.

۲- افزودن مواد مناسب به سوخت

یکی از مواد مناسب جهت افزودن به سوخت، اکسید منیزیم (MgO)^۹ است که ممانعت از تشکیل لایه های رسوب اولیه سدیم (پیروسولفات) می کند و با ترکیبات وانادیم دار ترکیب شده و نقطه ذوب آنها را به نحو موثری افزایش می دهد. علاوه بر این استفاده از افزودنی هایی مانند بعضی از ترکیبات Mg ، در ناحیه احتراق می تواند مانعی برای اکسیداسیون SO_2 و تبدیل آن به SO_3 باشد. یکی دیگر از دلایل استفاده از این ماده شیمیایی تشکیل رسوبات سبک تر و شکننده تر است. رسوبات حاصل را می توان به آسانی با Soot Blower از دیگ خارج نمود. مثلاً نقطه ذوب وانادات سدیم ($Na_2V_2O_5$) $621^\circ C$ است که با اضافه کردن اکسید منیزیم ترکیبی ($3MgO$, V_2O_5) با نقطه جوش $1243^\circ C$ می دهد [۶ و ۷].

مواد افزودنی در کاهش مشکلات ناشی از خاکستر سوخت به شکل فولینگ^{۱۰} (ایجاد لکه روی لوله ها) در سوپرهیتر، خوردگی خاکستر در دمای بالا و خوردگی اسیدسولفوریک در دمای پایین نیز موثر است. موثرترین مواد افزودنی عبارتند از: آلومینا، دولومیت و اکسید منیزیم.

انتخاب نوع افزودنی به قابلیت دسترسی و هزینه و روش کاربرد بستگی دارد. مقدار رسوب تشکیل شده نیز از عوامل بسیار مهم، مخصوصاً از نقطه نظر تمیزکاری است. مقایسه مقادیر تشکیل شده رسوب با افزودنی های مختلف نشان داده که دولومیت بیشترین مقدار رسوب را تشکیل می دهد. آلومینا کمترین رسوب و منیزیم حد وسط است.

از مهمترین تأثیرات استفاده از افزودنی های سوخت می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ✓ کاهش میزان تشکیل SO_3 و دوده های اسیدی
- ✓ کاهش خوردگی در پیش گرمکن هوا، اکونومایزر و سوپرهیترها
- ✓ کاهش دوده در سطوح خارجی لوله ها
- ✓ کاهش هیدروکربن های نسوخته و شفاف تر شدن دود خروجی

با استفاده از افزودنی ها، سطوح داخلی بویلر تمیزتر خواهد شد و نیاز کمتری به استفاده از Soot Blower خواهد بود [۸ و ۹].

در تحقیق صورت گرفته توسط والتر^{۱۱} و میکائیل^{۱۲}، مقایسه استفاده از عنصرهای منیزیم، منگنز، کلسیم، سیلیکون و آلومینیوم و ترکیب این عناصر به عنوان مواد افزودنی به سوخت مایع انجام گرفته است، که نتایج حاصل در دو دمای ۸۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب در شکل ۴ و شکل ۵ ارائه شده است [۱۰].

همانگونه که در مباحث قبلی اشاره گردید، سولفور موجود در سوخت در ابتدا به دی اکسید گوگرد و سهمی از

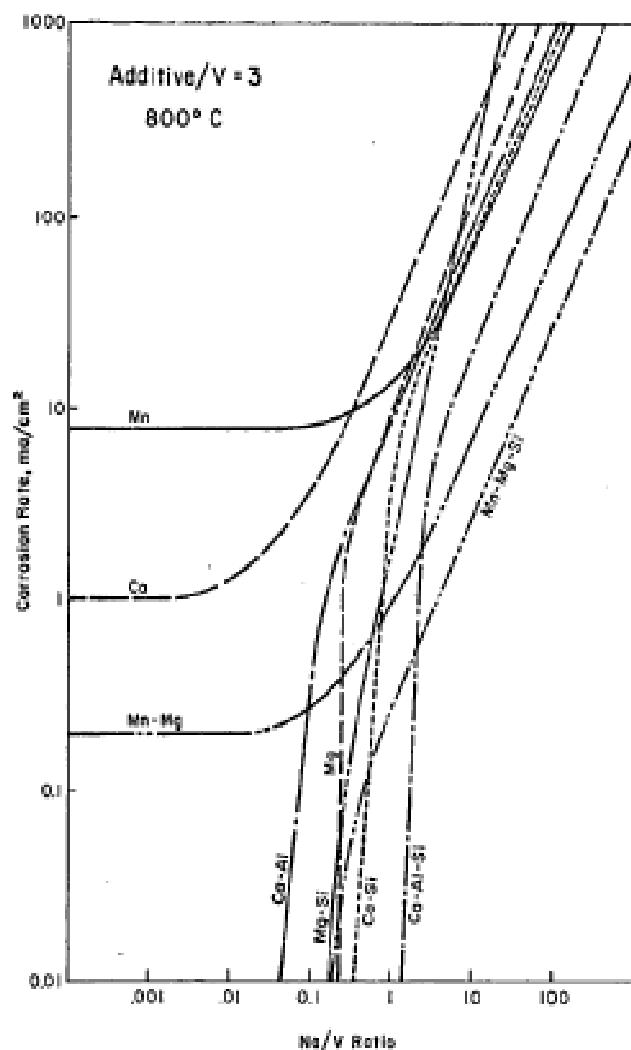
9 . Magnesia

10 . Fouling

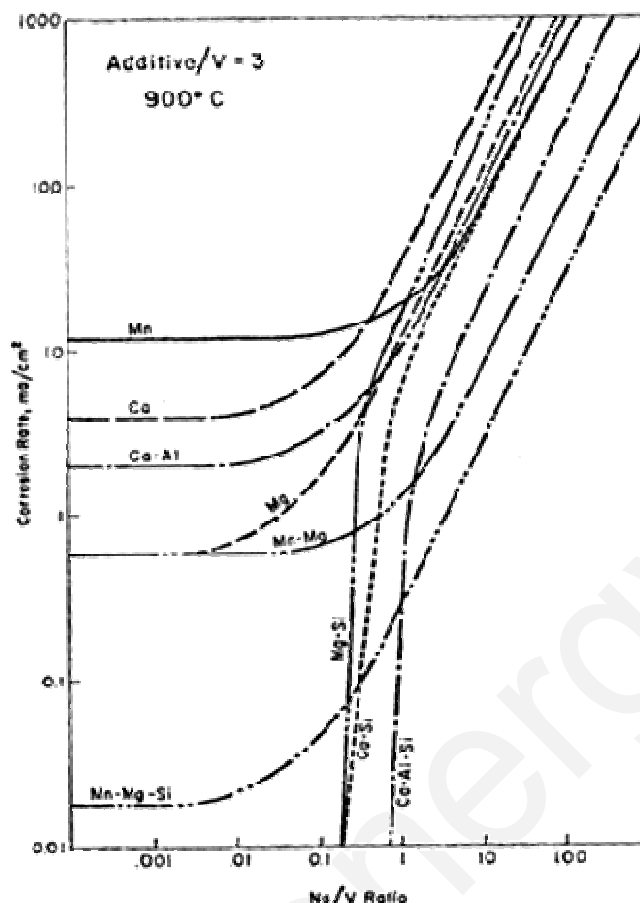
11 . Walter

12 . Michael

این دی اکسید گوگرد به تری اکسید گوگرد، تبدیل خواهد شد. میزان این تبدیل به درصد هوای اضافه و همچنین درصد کاتالیست‌های اکسیداسیون موجود در سوخت (به طور معمول وانادیم و نیکل) بستگی دارد. همچنین فلز آهن روی سطح تیوبهای بویلر نیز می تواند به عنوان کاتالیست اکسیداسیون عمل کند. مقدار این کاتالیستها در سوخته‌های مختلف متفاوت است. لذا میزان تولید تری اکسید گوگرد در سوخته‌های مختلف متفاوت بوده و تعیین دقیق دمای نقطه شبنم دود را مشکل می سازد. با کاهش هوای اضافه و یا با اضافه کردن کاتالیستهای احتراق به سوخت مایع، می توان درصد اکسیداسیون دی اکسید گوگرد به تری اکسید گوگرد را کاهش داد^{۱۳}.



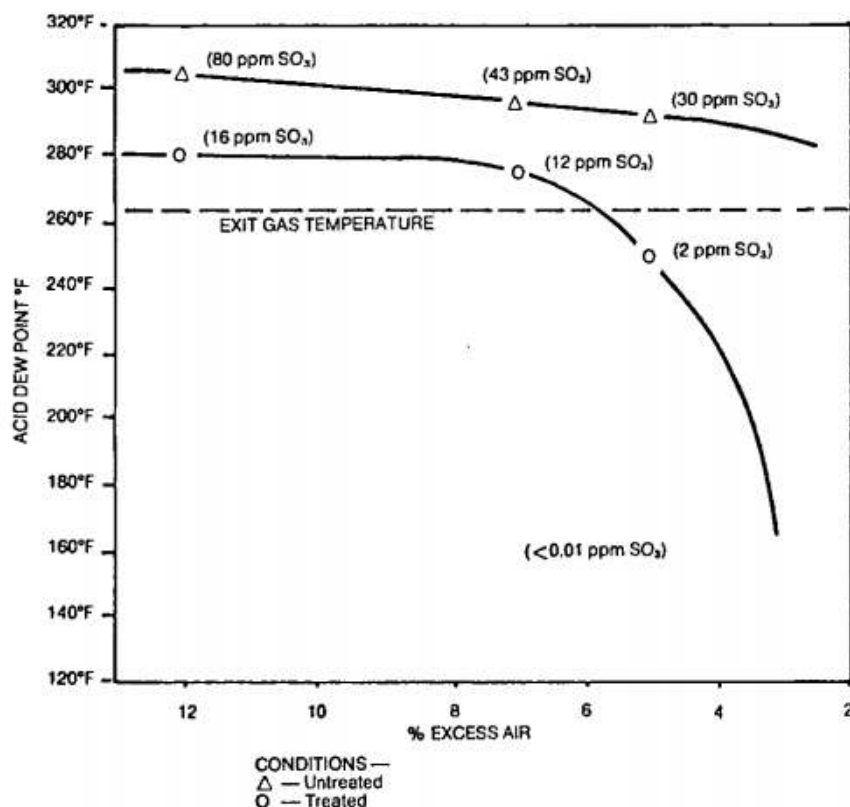
شکل ۴. مقایسه سرعت خوردگی با تغییرات نسبت سدیم به وانادیم برای چند نوع مواد افزودنی در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد



شکل ۵. مقایسه سرعت خوردگی با تغییرات نسبت سدیم به وانادیم برای چند نوع مواد افزودنی در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد

در شکل ۶، تاثیر اضافه کردن یک نمونه افزودنی به منظور کاهش نقطه شبنم و دمای دود مجاز خروجی، بر تغییرات دمای نقطه شبنم اسید بر حسب درصد هوای اضافه نشان داده شده است. کاهش میزان هوای اضافه از ۱۲٪ به ۵٪ موجب کاهش میزان تری اکسید گوگرد از ۸۰ ppm به ۳۰ ppm شده است. اما هنوز نقطه شبنم ۲۹۰ درجه فارنهایت (۱۴۳ درجه سانتیگراد) می‌باشد. ولی با اضافه کردن کاتالیست منگنز به سوخت، میزان تری اکسید گوگرد از ۱۶ ppm به ۲ ppm رسیده است، که در این حالت دمای مجاز برای دود خروجی ۲۶۵ درجه فارنهایت (۱۲۹ درجه سانتیگراد) می‌باشد [۶].

در این تحقیق تاثیر اضافه کردن کاتالیست منگنز به سوخت با جزئیات کامل مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است [۶].



شکل ۶. تاثیر میزان هوای اضافی در نقطه شبنم اسید در بار ثابت

جدول ۱. میزان صرفه جویی سوخت در اثر کاهش هوای اضافی مجاز ضمن افزودن کاتالیست منگنز به سوخت

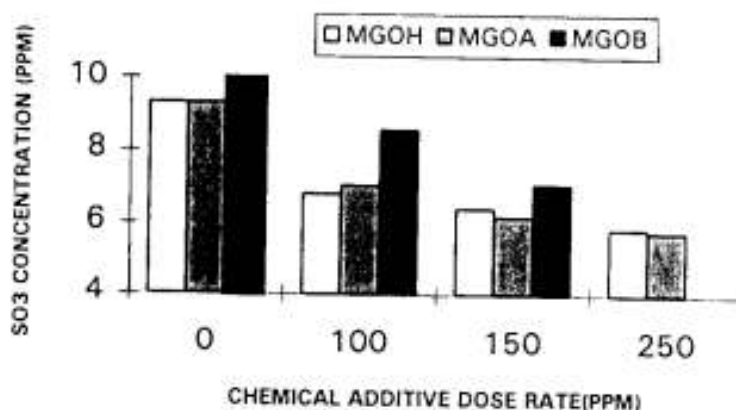
Unit:	100 MW
Fuel:	#6 fuel oil with a heat value of 18,500 BTU/lb.
Fuel Use Rate:	Average 52,500 gallons/day
Excess Air:	30% Initial: 18.50 lbs. air/lb. of fuel 8% Final: 15.73 lbs. air/lb. of fuel/diff. = 2.77 lbs air
Additive:	31% Mn slurry at rate of 1 gallon/12,000 gallons fuel
Heat Capacity:	0.237 BTU/lb. of air/°F
Average Heat Loss:	Air to preheater = 85°F (ambient) Exit gas temp. = 275°F (average) ΔT = 190°F
BTU Savings:	(2.77 lbs. air/lb. fuel) (0.237 BTU/lb. air/°F) (190°F) = 124.7 BTU/lb. fuel oil Oil consumed (avg.) = 52,500 gal./day @ 8 lbs./gal. = 420,000 lbs./day @ 124.7 BTU/lb. = 52,374,000 BTU/day (saved)
Fuel Saved:	$\frac{52.374 \times 10^6 \text{ BTU/day}}{148,000 \text{ BTU/gal.}} = 353.88 \text{ gal./day (saved)}$ At current price of \$11/bbl., this is worth \$92.62/day.

فرهان^{۱۴} و غمدی^{۱۵}، سه ترکیب از منیزیم را به عنوان مواد افزودنی به سوخت در بویلرهای نیروگاهی ایالتی در غرب عربستان سعودی که سوخت (Fuel oil#6) با درصد سولفور بالا (تقریباً ۳/۵٪) و درصد وانادیم پایین (تقریباً ۴۰ ppm) مصرف می‌کند، مورد آزمایش قرار دادند [۱ و ۲].

سه ترکیب مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر می باشد.

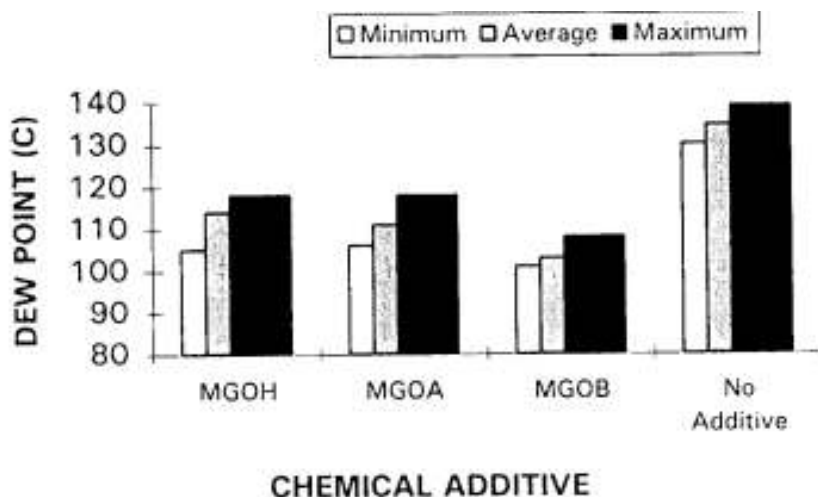
۱. هیدروکسید منیزیم: یک ترکیب معدنی که در حلال آلی پراکنده شده است.
۲. اکسید منیزیم A: یک افزودنی بر پایه اکسید منیزیم که در حلال آلی پراکنده شده است.
۳. اکسید منیزیم B: یک نوع خاص از پودر اکسید منیزیم که به طور موضعی در آب بدون یون پراکنده شده است.

نتایج حاصل از تحقیق صورت گرفته به صورت نمودار در شکل ۷ و شکل ۸ نمایش داده شده است. در شکل ۷ تغییرات میزان تری اکسید گوگرد تولیدی برای مقادیر مختلف از افزودنی‌ها نسبت به سوخت، نشان داده شده است.



شکل ۷. تغییرات تولید تری اکسید گوگرد برای مقادیر مختلف سه ترکیب از منیزیم

همانگونه که از نمودارهای ارائه شده مشخص است، با اضافه کردن نسبت افزودنی به سوخت، میزان تشکیل تری اکسید گوگرد کم خواهد شد. در مقایسه انجام گرفته بین سه ترکیب مورد مطالعه، ترکیب سوم (MgOB) بیشترین تاثیر را در کاهش دمای نقطه شبنم اسید داشته است (شکل ۸، شکل ۸).



شکل ۸. بررسی میزان تاثیر در کاهش دمای نقطه شبنم اسید با افزودن سه ترکیب مختلف از منیزیم به سوخت

در جدول ۲ یک نمونه افزودنی تجاری به سوخت جهت کاهش خوردگی به همراه مشخصات فیزیکی آن ارائه شده است [۱۱].

جدول ۲. مشخصات فیزیکی LMG-30B یک نمونه افزودنی تجاری به سوخت جهت کاهش خوردگی

LMG-30B®

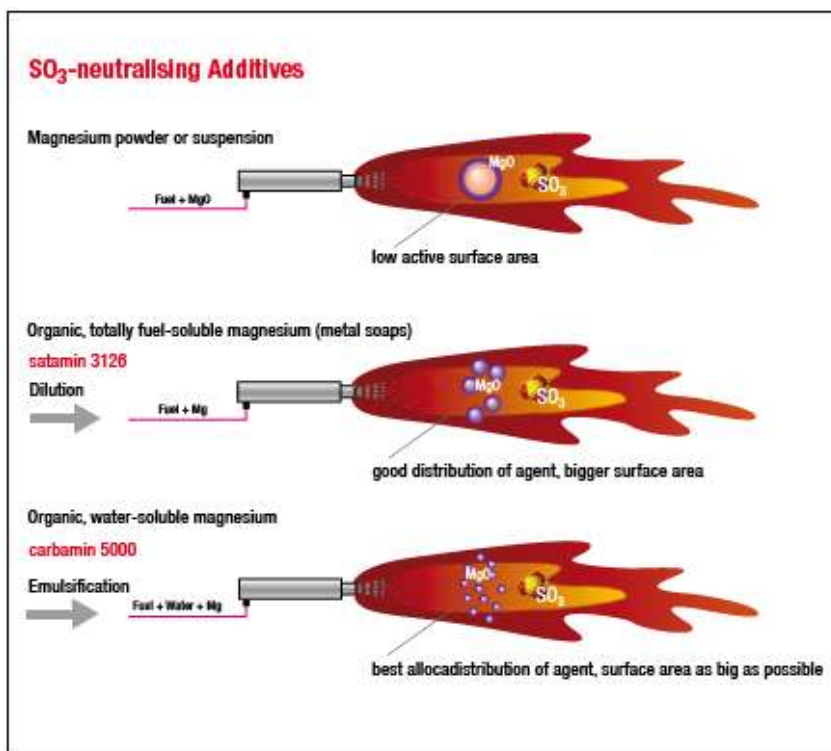
Vanadium Corrosion and SO₃ Inhibitor Additive

TYPICAL PROPERTIES

Magnesium, wt%	30.0 min.
Magnesium Base	Carboxylate
Appearance	Dark brown liquid
Density at 60°F (16°C)	11.5 – 12.3 lbs/gal
Spec. Grav. at 60°F (16°C)	1.40 – 1.48
Flash Point	150°F (66°C) min.
Pour Point	<10°F (<23°C)
Viscosity	
@ 100°F (38°C)	< 150 cSt
@ 60°F (16°C)	< 450 cSt
Compatibility with Fuel	Miscible
Water	Nil Wt%

در ارتباط با تأثیر افزودنیها بر راندمان بویلر، گزارشات متفاوتی وجود دارد. بعضی از گزارشها حکایت از افزایش راندمان دارد [۸ و ۹] و بعضی دیگر، راندمان بویلر را بدون تغییر گزارش نموده‌اند [۱،۲].

دمای دود خروجی از بویلر نیز نسبت به حالتی که از افزودنیها استفاده نمی‌شود، افزایش می‌یابد، که تأثیر این افزایش در راندمان بویلر ناچیز است. دلیل این امر نیز، پوشیده شدن سطوح خارجی لوله‌ها با اکسید منیزیم (MgO) و کاهش میزان انتقال حرارت گزارش شده است. باید به این نکته توجه نمود که میزان رطوبت موجود در دود، ضمن استفاده از افزودنیها کاهش می‌یابد [۱،۲]. در شکل ۹ نحوه شارژ افزودنیها درون سوخت مصرفی نیروگاه نمایش داده شده است. میزان مناسب جهت افزودنیها، حدود ۳۵۰ ppm (۰/۰۳۵٪) است.



شکل ۹. نحوه شارژ افزودنی‌ها به سوخت مصرفی نیروگاه [۱۱]

مراجع

- [1] "Evaluation of Fuel Chemical Additive to Reduce Corrosion and Stack Emission in SWCC Power"; M.M Rahman, A.G.Dalvi, K.A.Rabbani, 4th SWCC Acquired Experience Symposium; Jaddah, 2005.
- [2] "Evaluation of Fuel Chemical Fuel Additive to Control Corrosion and Emission in Dual Purpose Desal/Power Plants"; P.C.Mayan Kutty, A.G.Dalvi; IDA Conference; Abu Dhabi, 1995.
- [3] U.S. Patent 3,837,820
- [4] Buchanan, B.O., Gardiner, C.R., Sanders, G.G., ASME Paper No. A-52-161
- [5] Lee, S.Y., Young, W.E., ASME Paper No. 75-WAICD-1
- [6] "CHEMICAL REDUCTION OF SULFUR TRIOXIDE AND PARTICULATES FROM HEAVY OILS", Robert P. Bennett, Apollo Chemical Corporation, Whippany. New Jersey 0798
- [7] "Report ob view of available information corrosion and deposits in coal fired boilers and gas turbines to the American". Land. T., J. Inst. Fuel 1977 50:pp-75
- [8] "White Plume Removal Using Fuel Additives in Thermal Power Plants"; B.K.Lee, S.W.Cho, S.K.Chun;
- [9] "Additive to Control Stack Emission in Utility Boilers"; M.Y. Corpuz, G.M.Reggiani; Betzdearborn Inc; 1998.
- [10] "High-Temperature Corrosion In Gas Turbines And Steam Boilers By Fuel Impurities" ,Part Viii. Evaluation Of The Effects Of Manganese, Calcium, And Several Heavy Metals On Corrosion And Slag Formation, Walter R. May, Michael J. Zetlmeisl, Robert R. Annand, David F. Laurence, TRETOLITE DIVISION/PETROLITE CORPORATION, 369 Harshall Avenue, St. Louis, NO. 63119
- [11] "Fuel Additive for Efficient, Environmentally Friendly Industrial energy Production Using Fossil Fuels"; ERC Gmbh; www.erc-online.com.