

## بررسی تاثیر کیفیت سوخت گاز طبیعی نیروگاه سیکل ترکیبی خرمشهر بر دیواره داخلی محفظه احتراق و پره های توربین گازی V94.2 و تولید انرژی

1-سعید مظفري

SAEEDMOZAFARY90@YAHOO.COM

### خلاصه

در توربین های گازی سوخت گاز مصرفی پس از عبور از محفظه احتراق و ترکیب با هوای ورودی، محترق شده و به طرف پره های توربین حرکت کرده و باعث چرخش توربین می شود. آلودگی های موجود در سوخت و هوای ورودی با محصولات احتراق از مشعل خارج شده و روی سطوح دریافت کننده گرما رسوب می کنند که در نتیجه شرایط جهت ایجاد خوردگی های داغ آماده گردیده و از طرفی رسوبات آلاینده های جامد (Black powder) موجود در خطوط لوله نیز، روی توربین مشاهده می شوند. آلاینده ها و رسوبات نمک های خورنده و متراکم به صورت شیمیایی به آلیاژها حمله کرده و باعث تخریب اکسید محافظ پوشش فلزی می شوند. در فرآیند خوردگی شیمیایی و خوردگی سایشی، تکه های پوسته ای ضخیم و رسوبات بالکی شکل در سطح اجزای توربین گازی و تجهیزات پیرامون دیده می شوند. بدین منظور، جلوگیری و کاهش عوامل خورنده، پالایش و فیلتراسیون سوخت و فیلتراسیون هوای ورودی بسیار حایز اهمیت می باشند. در این کار تحقیقی آلاینده های سوخت گاز و اثر آنها بر خوردگی داغ و شکل گیری رسوبات روی پره های توربین آنالیز و مطالعه شد. از طرفی آلودگی های جامد روی تجهیزات واحدهای V94.2 از قبیل پره های ثابت ردیف اول، قطعات داغ و کنترل ولوها شناسایی گردید. همچنین راهکارهای کاهش و زدودن این آلودگی های سیاه رنگ جامد که عامل ایجاد دیپوزیت ها روی پره های ثابت رسوبات داغ بردیواره اتاق احتراق وسایرمشکلات بهره برداری و تعمیراتی واحدها می باشند، بررسی گردید. همچنین رابطه بین ترکیبات موجود در پودر سیاه و دیپوزیت های انباشته شده در پره های ثابت ردیف اول توربین گازی واحدهای نیروگاه سیکل ترکیبی خرمشهر مورد بحث قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** تولید انرژی، آلودگی، محفظه احتراق، پره های توربین، بهینه سازی، سوخت گاز، نیروگاه خرمشهر

### 1. مقدمه

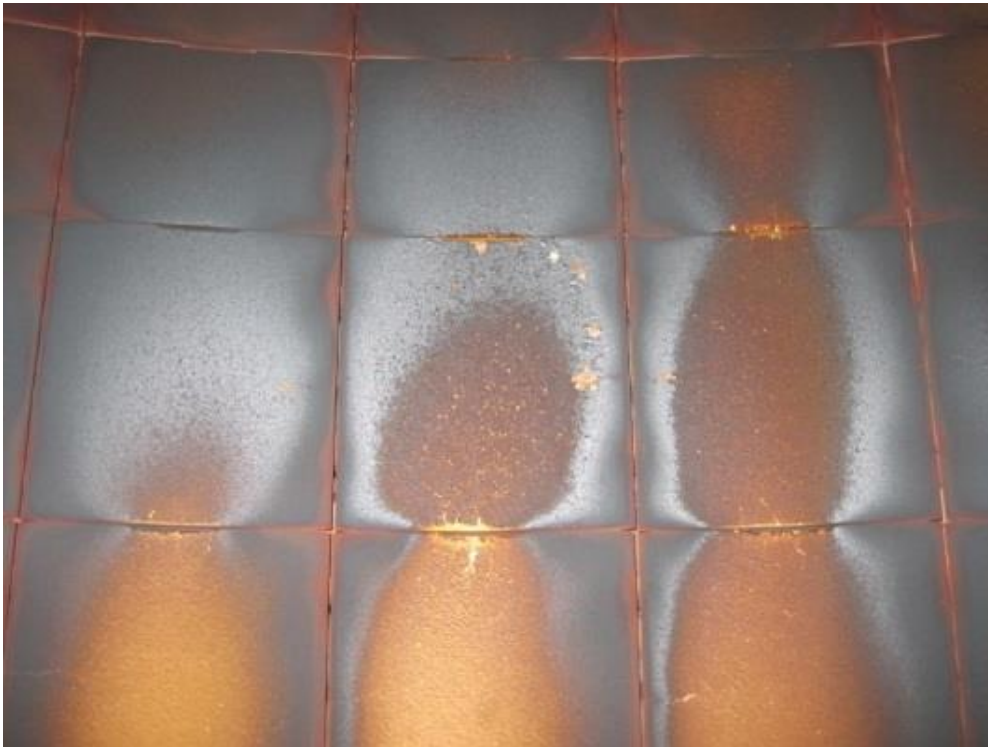
با توجه به شرایط کاری توربین های گازی، تجهیزات توربین از سوپر آلیاژهایی ساخته می شوند که مقاومت کافی در برابر عوامل خوردگی، مانند خوردگی سولفیدی، خوردگی سایشی، تردی فلزی و تجمع مواد خاکستر سوختی را داشته باشند. یکی از خصوصیات توربین های گاز سازگار بودن آن با سوخت های پاک است. مهمترین عاملی که در تعمیر و نگهداری توربین گاز باید مدنظر باشد، عدم وجود آلودگی در سوخت و روغن و هوای ورودی می باشند که از دو جهت قابل بررسی است اول آلاینده های موجود در سوخت گاز مانند سولفور، وانادیم و ترکیبات سدیمی می باشند که منجر به خوردگی

تجهیزات در تماس می شوند، ثانیا محصولات خوردگی و ذرات آلاینده موجود در سوخت گاز مانند عناصر و یا ذرات Black Powder روی پره های توربین رسوب کرده و این موضوع باعث افزایش هزینه ها و کاهش عمر توربین گاز می گردد. سوپراآلیاژهای توربین در مسیر گازهای داغ و خورنده قرار داشته، بنابراین فرآیند تحلیل رفتن فلز توسط اکسیداسیون مخلوط گازی 2 و مواد راسب مطرح می شود. تخریب به دلیل مجاورت با گازهای داغ، دلیل اصلی حمله خوردگی دمای بالای سوپراآلیاژها است که تحلیل خواص مکانیکی را به همراه دارد. در حین کارکرد توربین گازی در محفظه های احتراق و بخش تولید گاز محیط های خطرناکی به وجود می آید که می توانند اکسیداسیون را شتاب دهند. حمله به سطح آلیاژ توسط انواع آلودگی ها از جمله آلودگی های گازی با مبدأ سوخت و هوا و نیز رسوبات جامد که از احتراق گاز به وجود می آیند، صورت می گیرد.

تشکیل رسوبات در توربین های گازی شامل واکنش ناخالصی های موجود در سوخت یا هوا می باشد. سوخت منبع دارای آلاینده های پودر های جامد، گوگرد، آهن، عناصر قلیایی و وانادیم و سرب است که در اثر واکنش، به اکسید گوگرد و سولفات و رسوبات بالکی شکل تبدیل می شوند. هوای احتراق یکی دیگر از منابع آلودگی است که از طرسق آن کربنات کلسیم، غبارهای معدنی، گرد و غبار، ذرات ماسه و ذرات دارای آهن است که می تواند به محفظه احتراق راه یابد. هر یک از این آلودگی ها روی سطوح قطعات رسوب کرده و مکانیسم هایی از قبیل اکسیداسیون و خوردگی داغ به دنبال دارند. برای فرآیند خوردگی داغ یک رسوب مذاب یا نیمه مذاب لازم است. رسوباتی مثل سولفات سدیم و پتاسیم به صورت مواد متراکم باعث خوردگی می شوند. این نمک های خورنده به صورت شیمیایی به سطح آلیاژ حمله کرده و باعث تخریب اکسید محافظ پوشش می شوند. در اغلب شرایط خوردگی حاصل به مرور زمان تشدید می گردد. این خوردگی بر خلاف طبیعت اکسیداسیون می تواند آلیاژ را با سرعت زیادی دچار زوال کند. اولین نشانه های خوردگی داغ در اجزا توربین گازی، ایجاد تکه های پوسته ای ضخیم به رنگ سبز است که گاهی به طور موضعی و گاهی به صورت پخش شده در کل آلیاژ دیده می شوند. انواع مکانیزم های حمله خوردگی داغ به مقدار نمک موجود، دما، ترکیب شیمیایی گاز و آلیاژ بستگی دارد. یکی از مشکلاتی که شرکت های توزیع و انتقال گاز طبیعی با آن مواجه هستند وجود عناصر آلاینده مانند وانادیم، سولفور و حجم زیاد مواد جامد زیان بار سیاه رنگ به نام Black Powder در گاز می باشد، که به تجهیزات انتقال گاز از قبیل کمپرسورها، ولوها و سایر تجهیزات آسیب رساننده و حجم زیاد اعتراضات مصرف کنندگان از کیفیت گاز طبیعی را در پی داشته است. پودر سیاه اولین بار در سال 1999 در شبکه انتقال گاز یونان مشاهده 3 گردیده، و عمدتا ریشه کربنی داشته و در اثر واکنش شیمیایی ترکیبات موجود در گاز طبیعی با فولاد در طی مراحل تولید در چاه های گاز و یا جریان گاز در خطوط لوله و سایر تجهیزات بوجود می آید. آلودگی پودر سیاه در اکثر سیستم های انتقال و توزیع گاز در سراسر جهان وجود داشته و حجم این آلودگی به کیفیت گاز، طول خطوط لوله و روشهای استفاده شده در حذف و زدودن این مواد، فشارگاز و میزان مصرف آن بستگی دارد. پودرهای سیاه به جداره لوله چسبیده یا در ته لوله جمع می شوند و با تاثیر منفی روی زبری (سطح داخلی) لوله و کاهش سطح جریان باعث افزایش افت فشارگاز، نوسان فشار و کاهش راندمان انتقال گاز می گردند. همچنین باعث گرفتگی و تخریب فیلترها، رسوب گذاری روی تجهیزات اندازه گیری، افزایش سرعت خوردگی سایشی، آسیب ولوها، افزایش هزینه های بهره برداری و تعمیرات و مسائل ایمنی می گردند .

لازم به ذکر است که با توجه به سنگینی این ذرات، حجم آلودگی ها و تخریب به میزان فشار و دبی گاز مصرفی بستگی داشته که برای نیروگاه ها که میزان فشار و دبی بالاتراز سایر مصرف کننده ها است میزان تخریب ها و مشکلات به مراتب بیشتر است. اصلی ترین ماده تشکیل دهنده پودرهای سیاه، اکسید آهن  $Fe_3O_4$  (مگنتیت) می باشد که در اثر واکنش بین آهن بدنه لوله ها و رطوبت بوجود می آید. با بررسی و آزمایش دیپوزیت های انباشته شده در نازلهای ردیف اول نیروگاه خرمشهر مشخص گردید که این حجم بالای دیپوزیت و تخریب، به واسطه وجود این آلودگی در سوخت تحویلی می باشد و

سایر مشکلات و آسیب‌ها و روش‌های کاهش آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

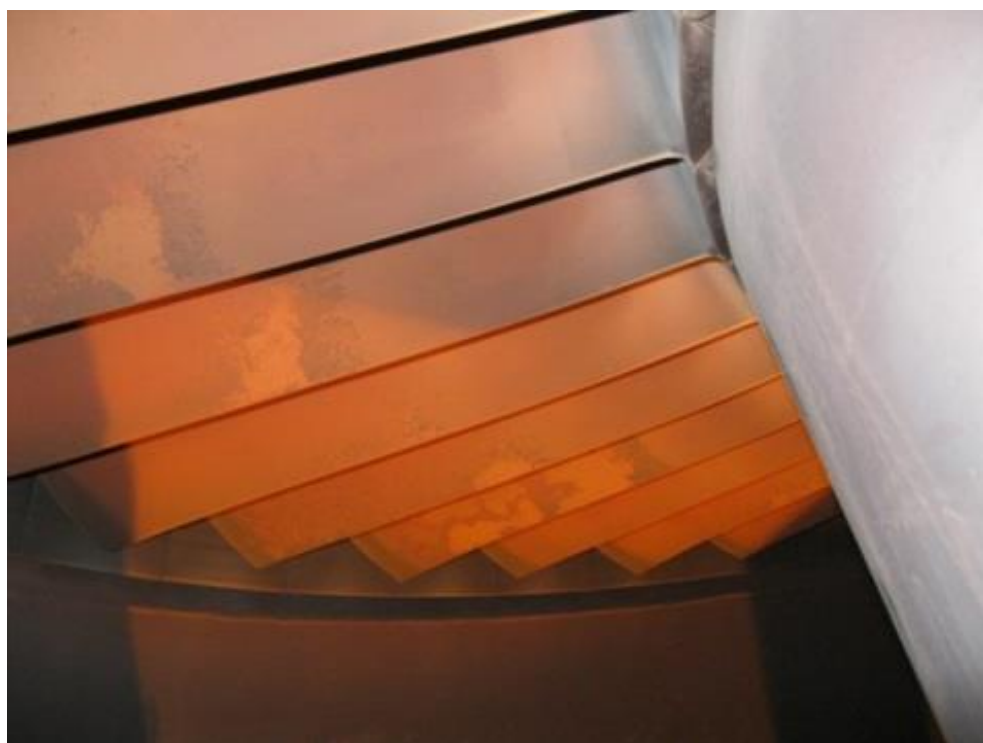


شکل 1: رسوبات تشکیل شده بردیواره محفظه احتراق واحد 1 نیروگاه خرمشهر

## 2. روش انجام آزمایش

منظور استفاده جهت ریشه‌یابی و بررسی جنس رسوبات روی پره‌های توربین، نمونه ذرات موجود در فیلترهای گاز و نمونه رسوبات، اخذ و بررسی گردید. ذرات آلاینده در فیلترهای گاز و فیلترهای سایکلونی توسط روش‌های انحلال شیمیایی و اسپکتروسکوپی آنالیز شدند. این ذرات دارای دانه بندی نامنظم می‌باشند که می‌توانند به راحتی به قطعات کوچک‌تر و به اندازه submicron نیز در آیند، که ذرات ریز از فیلترها عبور کرده و ذرات درشت‌تر در فیلتر باقی می‌مانند. (شکل 4) ذرات عبور کرده از فیلترها مجدداً در ادامه مسیر به علت خاصیت مغناطیسی به یکدیگر چسبیده و متراکم می‌شوند. 1

نمونه‌های بالکی شکل از روی پره ثابت ردیف اول توربین گازی واحد 2 نیروگاه سیکل ترکیبی خرمشهر تهیه شده و تحت بررسی قرار گرفت. برای تعیین ترکیبات موجود در نمونه‌های مورد بررسی، آنالیز ترکیبی از دو طرف رسوب با استفاده از روش XRD انجام شد. برای دقت بیشتر نتایج، زمان آزمایش برای هر نمونه دو برابر گردید. نتایج حاصل از آنالیز ترکیبی با استفاده از نرم افزار X-Pert High Score مورد بررسی قرار گرفت. شکل 7 نمای بالکی شکل رسوبات را نشان می‌دهد.

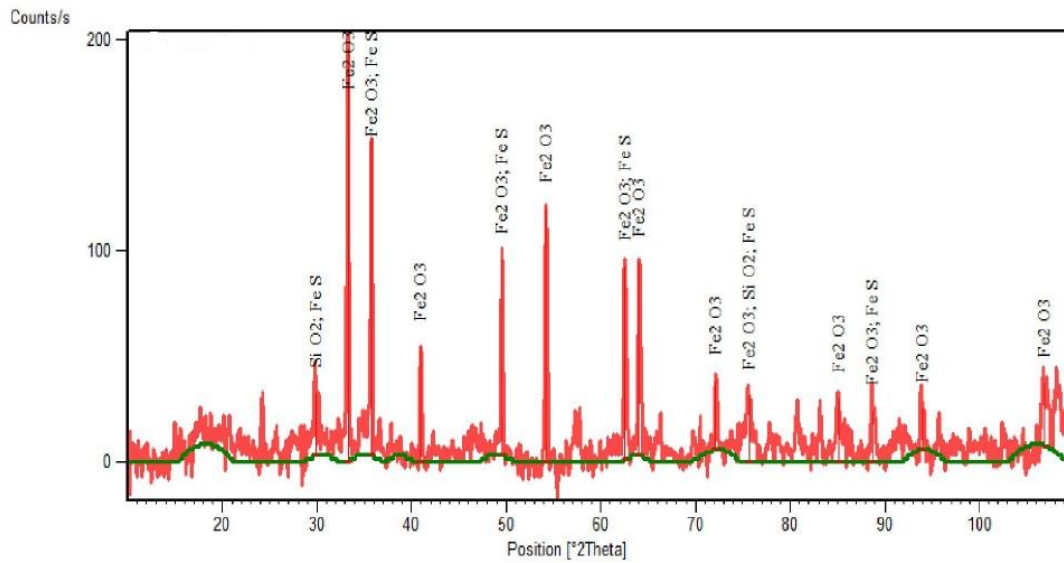


شکل 2: تشکیل رسوب و خوردگی داغ بر پره های توربین گاز واحد 2 نیروگاه خرمشهر

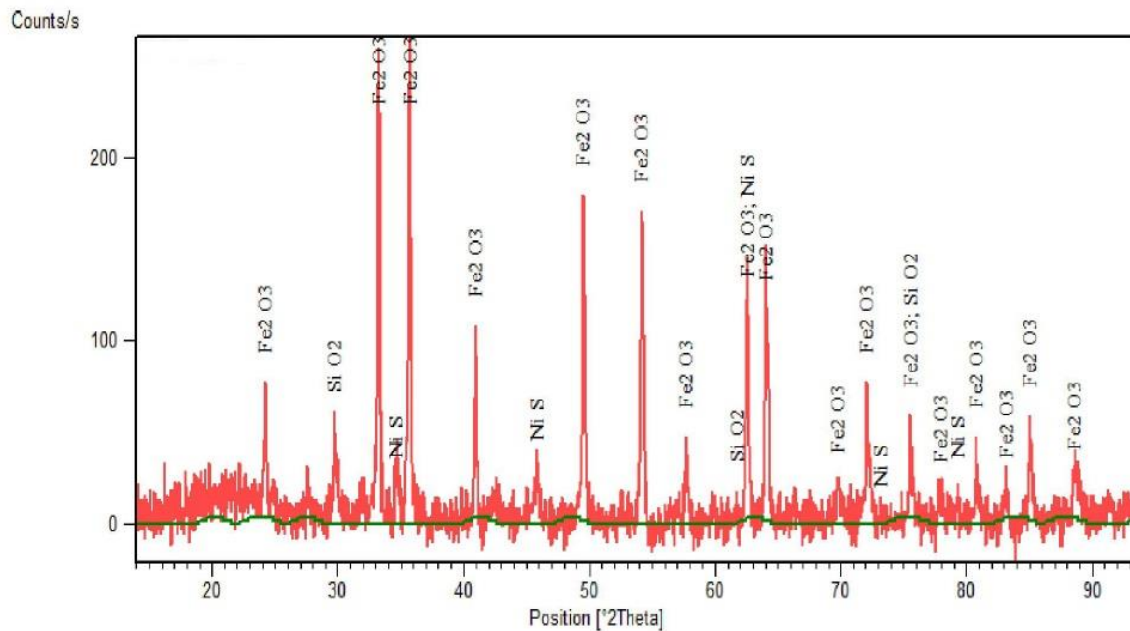
### 3. بحث و بررسی

تجمع رسوبات روی پره های ثابت ردیف اول در جهت های خاصی صورت گرفته است. شکل ظاهری و مورفولوژی رسوبات حاکی از هم راستا بودن جهت این رسوبات با هوای داغ عبوری است. بنابراین احتمال ایجاد رسوبات مذاب و تجمع آنها روی این سری از پره ها، در حین در مدار بودن توربین وجود دارد. نتایج آنالیز ترکیبی سطح بالایی رسوبات در تماس با هوای داغ عبوری در شکل‌های 3 و 4 آورده شده است. همانطوری که در شکل مشخص است ترکیب اکسید آهن  $Fe_2O_3$  بیشترین پیک های مربوط به این نمونه را پر کرده و بیشترین درصد وزنی این رسوبات را تشکیل داده است. همچنین ترکیبات سولفید آهن  $FeS$  نتایج آنالیز و سیلیس  $SiO_2$  در ترکیب این نمونه مشخص شده است را تشکیل داده است. نتایج آنالیز ترکیبی خلوص نسبتا زیاد این رسوب را نشان می دهد. در شکل 4 نتایج آنالیز ترکیبی سطح پایینی رسوب (رسوبی به ضخامت 5 میلیمتر) نشان داده شده است. ترکیبات اکسید آهن، سیلیس و سولفید آهن مهمترین ترکیبات مشخص شده در این نمونه می باشد. البته بیشترین درصد وزنی این نمونه مربوط به اکسید آهن است. همچنین آنالیز های انجام شده بر روی پودر های سیاه نشان می دهند که حجم بیشتر این ذرات از اکسیدهای آهن تشکیل شده است. مقادیر جزئی از آلومینیم، منگنز و منیزیم موجود در آلیاژ لوله ها و ولوها که در پودر های سیاه نیز وجود دارند در جدول 1 آورده شده است.





شکل 3: آنالیز ترکیبی (XRD) سطح بالایی نمونه گراف نشان دهنده بالا بودن میزان اکسید آهن می باشد.



شکل 4: آنالیز ترکیبی (XRD) سطح پائینی نمونه گراف نشان دهنده بالا بودن میزان اکسید آهن می باشد



شکل 5: اثر خوردگی بر روی برنرهای واحد 2 نیروگاه خرمشهر



شکل 6: نمونه فیلتر تعویضی در ایستگاه گاز



شکل 7: نمونه رسوب تشکیل شده در توربین واحد 2 نیروگاه خرمشهر  
 جدول 1: آنالیز پودر های سیاه. نتایج نشان دهنده حجم بالای عنصر آهن در پودرهای سیاه است.

مگنتیت-سیلیس- کوارتز	اجزا اصلی
FeO(OH) ژئوتیت	اجزا فرعی
MnSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>6</sub> بمنتیت	
Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub> کوردریت	
اکسید منگنز آلبیت	
اکسیژن و آهن	عناصر اصلی
سیلیس و آلومینیوم	عناصر فرعی
منگنز کلسیم سدیم منیزیم گوگرد	عناصر کم مقدار
0.3 تا 30 میکرو متر و دانشیته 1.7 گرم بر مترمکعب گاز در شرایط متعارفی	اندازه ذرات





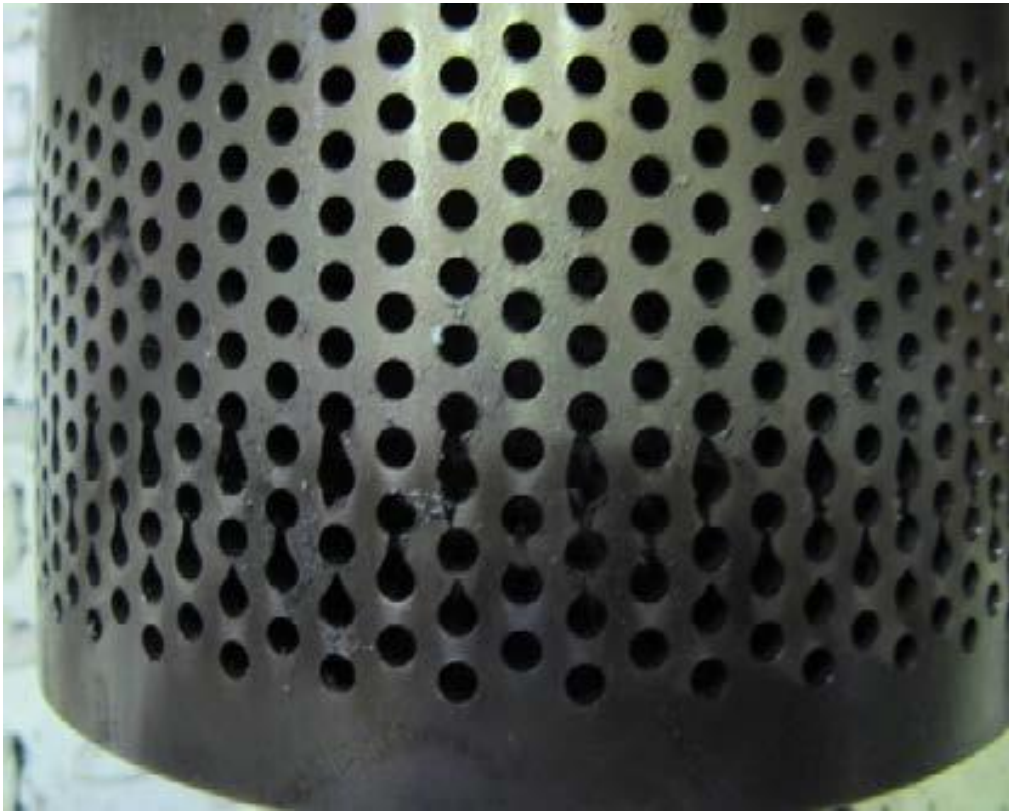
همانگونه که در نتایج آنالیز مشاهده گردید، ترکیب دو نمونه رسوب بالا و پائین پره های ثابت ردیف اول توربین تقریباً یکسان است. بنابراین مکانیزم تخریب و تجمع رسوبات در دوران در مدار بودن توربین گازی مورد نظر یکسان بوده است. تغییر محسوسی در مکانیزم خوردگی داغ پره ها و محفظه احتراق صورت نگرفته است. همچنین بیشترین درصد وزنی پودرهای سیاه را محصولات حاصل از خوردگی لوله ها (اکسید آهن) به همراه سایر مواد جامد از قبیل ذرات ریز شن، ذرات برشکاری، سرباره های جوشکاری و در بعضی از نمونه ها کربنات و سولفید آهن (که بیشتر در گازهای ترش وجود دارد) تشکیل می دهد.

#### 4. تاثیر و مشکلات پودر سیاه در سوخت گاز واحدهای گازی V94.2 نیروگاه سیکل ترکیبی خرمشهر<sup>6</sup>:

مشکل اصلی سوخت گاز در این نیروگاه حجم زیاد پودرهای سیاه همراه با سوخت گاز تحویلی به این نیروگاه می باشد که در سال های اخیر این آلودگی ها به شدت افزایش یافته است. با توجه به توضیحات قبل در مورد ماهیت پودرهای سیاه و تاثیرات مخرب کلی آن، مشکلات ایجاد شده بواسطه این آلودگی ها روی واحدهای گازی نیروگاه دماوند به شرح ذیل می باشد:

- 1- افزایش بی سابقه گرفتگی، تغییر شکل فیلترهای کارتریج و فعالیت های تعمیراتی مرتبط
- 2- افزایش حجم ورود پودرهای سیاه به مخزن فیلترهای سایکلونی که برای نمونه در یکی از واحدها در کمتر از یک هفته مقدار 400 کیلوگرم پودر سیاه از مخزن فیلتر سایکلونی تخلیه گردید.
- 3- افزایش فعالیت های مربوط به سرویس ولوهای گاز به علت وجود Passing در اکثر ولوها
- 4- آسیب دیدگی و خوردگی Cage مربوط به کنترل ولوهای سوخت گاز که با توجه به عدم سهولت ساخت و تهیه این قطعات باعث افزایش مشکلات و هزینه ها شده است.
- 5- وجود بی سابقه دیپوزیت های انباشته شده روی پره های ثابت ردیف اول و سایر قسمت های اتاق احتراق
- 6- افزایش نوسانات فشار گاز در بهره برداری نرمال
- 7- افزایش هزینه های نیروگاه به علت تهیه فیلتر و لوازم یدکی وغیره





شکل 8: آسیب Cage کنترل ولو اصلی گاز



شکل 9: پرشدن مخزن فیلتر سایکلونی

## 5. مشکلات پودر سیاه در اتاق احتراق

در بازدیدهای دوره ای که به تازگی در واحدهای گازی نیروگاه خرمشهر انجام شد، حجم زیاد انباشتگی دیپوزیت روی پره های ثابت ردیف اول و سرامیک های اتاق احتراق مشاهده گردید، که با آنالیز ترکیبات جامد موجود در خطوط لوله و پشت فیلترها همخوانی دارند. نتایج این آزمایشات که در پژوهشگاه صنعت نفت انجام گردیده<sup>5</sup> در جدول زیر آمده است:

درصد	ترکیب
74.7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8.5	SiO <sub>2</sub>
6.8	CaO
6.4	MgO
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.28	TiO <sub>2</sub>
0.25	So <sub>3</sub>
0.16	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

جدول 2: آنالیز دیپوزیت های پره های ثابت

با توجه به جدول فوق مشخص است که این دیپوزیت ها نتیجه مستقیم ورود پودر سیاه به داخل اتاق احتراق است، به طوری که اکسید سیاه رنگ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> در اثر واکنش با اکسیژن موجود در اتاق احتراق طی اکسیداسیون مجدد بصورت Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در می آید. این مواد که به صورت مذاب در محصولات احتراق وجود دارند، روی پره های ثابت ردیف اول که تحت عملیات خنک کاری بوده، همچنین سرامیک ها و خصوصا در فضای بین دو سرامیک که خنک کاری می شود، به صورت جامد انباشته می گردند و باعث افزایش زبری سطح پره های ثابت و کاهش سطح جریان و راندمان و توان تولیدی توربین می گردند. بخشی از این ترکیبات با سرد شدن پس از استارت مجدد به صورت ذرات جامد در داخل اتاق احتراق ریخته شده و باعث اختلال در سوراخ های خنک کاری قسمت های داغ می گردند.



شکل 10: اثر پودر سیاه روی پره های ثابت واحد 2

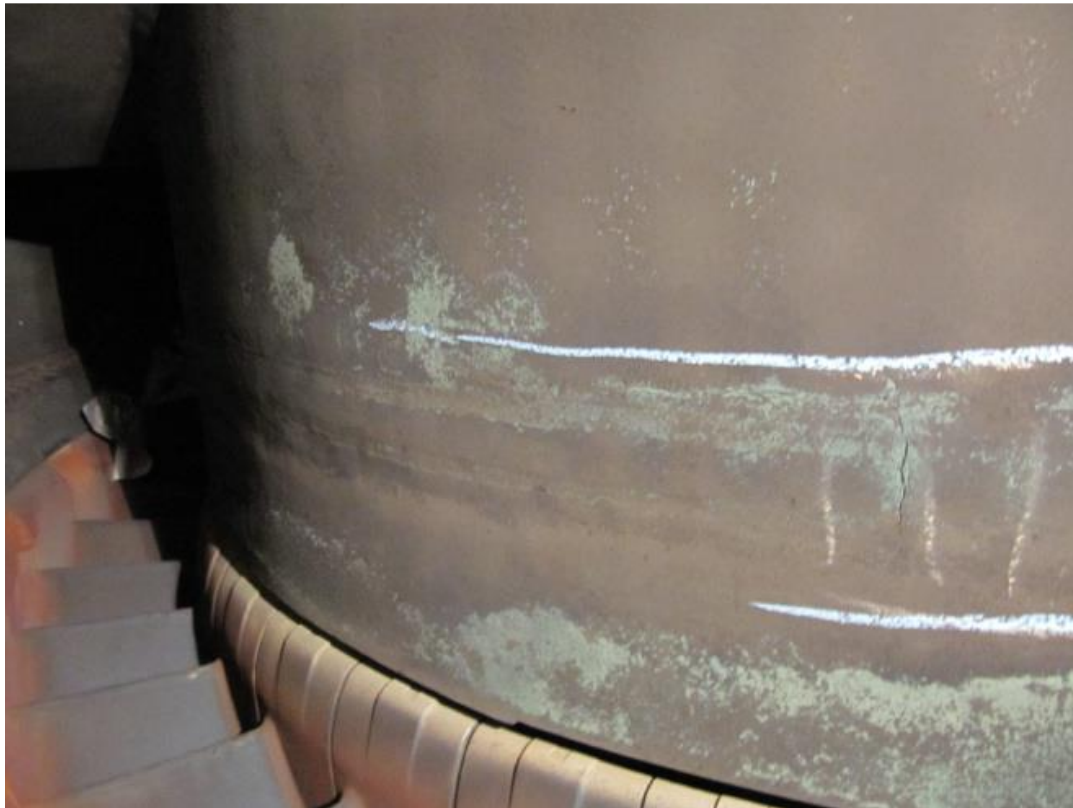
این موارد باعث کاهش زمان بین تعمیرات اساسی شده و در صورت عدم زدودن این مواد از پره های ثابت و انباشتگی بیش از حد آنها، به عملکرد توربین آسیب می رسد. (شکل 10 و 11) لذا می بایست این مواد را از پره ها جدا نمود. این عملیات به سادگی امکان پذیر نبوده زیرا می بایست از ورود این مواد به سمت Stage های بعدی جلوگیری نمود. همچنین امکان پاکسازی کامل دیپوزیت ها به دلیل احتمال آسیب به پوشش TBC میسر نمی باشد. لازم به ذکر است وجود پوشش TBC خود باعث افزایش میزان انباشتگی دیپوزیت ها می گردد. در شکل 7 تمیزکاری پره ها پیش از پوشاندن فضای بین پره های ثابت و متحرک نشان داده شده است.





شکل 11: پره های ثابت پس از تمیزکاری

همچنین یکی دیگر از نکات حائز اهمیت در ایجاد این دیپوزیت ها، تاثیر میزان ذرات گرد و خاک هوای ورودی کمپرسور و بالا بودن  $\Delta P$  فیلترهای ایراینتیک بر افزایش میزان دیپوزیت ها روی نازل های ردیف اول توربین است. آلودگی های موجود در سوخت گاز در سایر قسمت های اتاق احتراق از قبیل Inner Casing و Mixing Chamber نیز تاثیر گذاشته ولی به علت دمای بالای قطعات، (این مواد موجود در محصولات احتراق) امکان جامد شدن و انباشتگی روی آنها وجود ندارد ولی به صورت خوردگی های سطحی و پوسته شدن به رنگ سبز خود را نشان می دهد.



شکل 12: تاثیر آلودگی سوخت گاز بر Inner Casing

### 6. نتیجه گیری

برای جلوگیری از خوردگی داغ در محفظه احتراق توربین گازی باید حد مجاز عناصر آلوده کننده و ناخالصی ها کنترل شود. به طور تقریبی درصد گوگرد کمتر از یک درصد وزنی و مجموع مقدار سدیم و پتاسیم کمتر از 0.6 ppm باید رعایت شوند. درصد محدودیت ناخالصی های ذکر شده با اعمال پوشش سوپرآلیاژ و وجود مقادیری کمتر از بازدارنده های خوردگی مثل منیزیم تغییر می کند. اگر هوای مصرفی حاوی آلودگیهای صنعتی یا غبارهای معدنی باشد فیلتراسیون هوا برای کاهش آلودگی ها مؤثر است. در اکثر موارد تجربی ناخالصی های سوخت مصرفی بیشتر از حد مجاز، ذکر شده است. شکل ظاهری و مورفولوژی رسوبات جمع شده روی پره ثابت ردیف اول حاکی از تجمع رسوبات در حالت مذاب می باشد .



شکل 13: نمونه خوردگی موجود در واحد 2 نیروگاه خرمشهر

احتمال حفره دار شدن سطوح پره‌ها بدلیل تشکیل رسوبات مذاب سطحی وجود دارد. بیشترین درصد وزنی ترکیبات نمونه‌های رسوبات را ترکیب اکسید آهن تشکیل داده است. با توجه به مطالب فوق اهمیت کیفیت گاز در عملکرد و افزایش عمر توربین‌های گاز و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری توربین‌های گاز کاملاً مشخص می‌گردد. شناسایی ماهیت شیمیایی پودرهای سیاه در صنعت اولین گام در رفع این معضل متداول در تمام نقاط جهان می‌باشد.

در نیروگاه خرمشهر با توجه به اوج میزان آلودگی سوخت گاز در مهر و آبان 90 و 91 و 95 بهار 96 و 97 و 1402 در سالهای بعد با مرتفع شدن این مهم در پیک مصرف شبکه، با تمیزکاری و دفع آلودگی‌ها از پره‌ها و اتاق احتراق، از مسدود شدن سوراخ‌های خروج هوای خنک‌کاری در لبه فرار پره و Over Heat شدن پره‌ها و آسیب رسیدن جدی به واحدها ممانعت گردید.

شرکت‌های گاز یونان و قطر در زمینه زدودن پودرهای سیاه از گاز طبیعی تحقیقات و نتایج خوبی کسب کرده‌اند و باید با استفاده از این نتایج فعالیت بیشتر و موثرتری در زدودن این مواد زیانبار انجام پذیرد. سوخت گازوییل با توجه به عملکرد مناسب تانک‌های ذخیره در ته‌نشینی و کاهش آلودگی سوخت و چند مرحله فیلتراسیون عملکرد خوبی دارد.



## 7. پیشنهادات

منبع آلودگی های اکسید آهن و سیلیس را میتوان با آنالیز هوای ورودی، سوخت مصرفی و گاز خروجی مشخص کرد. در این تحقیق به دلیل اطلاعات محدود در مورد شرایط کارکرد و ظاهر سطحی پره ها نمی توان به یقین در مورد مکانیزم های تخریب و تنزل خواص مکانیکی پره ها اظهار نظر کرد و پیشنهاد می شود بررسی های شکست نگاری، خواص مکانیکی و تغییرات ریزساختاری روی پره های کارکرده انجام شود. باتوجه به موارد فوق لازم است که علاوه بر توجه به کمیت گاز تحویلی به نیروگاه ها، به کیفیت و شرایط گاز نیز دقت کافی داشت Purge. گاز از خطوط لوله با توجه به مشکلات مربوط به فیلترهای هوا و جلوگیری از افزایش DP فیلترهای Air Intake و آلودگی محیط و تجهیزات دیگر در داخل نیروگاه مناسب نمی باشد. شرایط و امکانات عملیات پیگ رانی نیز در نیروگاه فراهم نمی باشد ولی بهترین روش، استفاده از فیلترهای دوقلو سایکلونی اضافه و دقت و توجه کافی به فیلترهای کارتریج و کیفیت گاز مصرفی است. تعبیه درین با ابعاد مناسب و پیت جمع آوری مناسب برای درین به موقع فیلترهای سایکلونی (سایز لوله درین و محل پیت درین در اغلب نیروگاهها مناسب نیست) الزامی است.

لازم به ذکر است که تمیزکاری و درین به موقع فیلترهای سایکلونی و نصب فیلترهای سایکلونی دوقلو اضافه و دقت کافی در تعویض و نوع فیلترهای کارتریج، نقش بسیار مهمی در کاهش آسیب ها و هزینه های تعمیرات واحدها ایفا می کند. مواردی که در طراحی و انتخاب فیلتراسیون مناسب باید در نظر داشت این است که فیلتر بایستی قابلیت جداسازی ذرات ریز میکرون را دارا باشد و برای جداسازی آب و یا میعانات گازی همراه با پودرهای سیاه(که به صورت لجن سیاه در خطوط وجود دارد) طراحی شده و به سیستم های خودکار اندازه گیری DP و سهولت در تعویض فیلترها در طراحی فیلتراسیون توجه شود. بایستی به این موضوع مهم توجه کرد که فیلتراسیون فقط یک راه حل مقطعی و موقتی برای جلوگیری از معضلات پودرهای سیاه محسوب می شود و کاهش در مبدا تشکیل این پودرها یک راه حل دائمی است. روش های متداول استفاده شده شامل، عملیات پیگرانی (Pigging), purge, گاز، فیلترهای گریز از مرکز (cyclone Filter) می باشد.

زیرا تمیزکاری و درین مناسب فیلتر های سایکلونی تاثیر به سزایی در کاهش هزینه تعویض فیلترهای کارتریج و کیفیت گاز مصرفی دارد و لازم است در قراردادهای تامین گاز نیروگاه ها با شرکت گاز کیفیت گاز نیز مد نظر قرار بگیرد. در بررسی های شرکت Wood Group روی نمونه های ارسالی از پره های ثابت ردیف اول و چهارم توربین نیروگاه دماوند در سال های 88 و 93 و 97، موارد ذیل عنوان گردید: ممکن است تجمع رسوبات به دلیل ناخالصی های موجود در هوای مصرفی و اجزایی مثل ماسه که باعث مسدود شدن فیلترها می شوند، باشد. همچنین ممکن است تجمع این رسوبات روی پره ها به دلیل خرابی و از کار افتادگی burner head بوده و این شرکت پدیده فوق را در نیروگاه های کرمان و گیلان نیز مشاهده کرده است، در این موارد رسوبات اخذ شده از نیروگاه کرمان و لوشان با رسوبات مشاهده شده در نیروگاه خرمشهر یکسان می باشد.

سولفیداسیون در نمونه های تهیه شده از محفظه داخلی Inner casing، یکی از واکنش های عمده خوردگی داغ محسوب می شود. وجود ناخالصی هایی نظیر سیلیس، هماتیت و گوگرد با هر منبع اولیه ای در محصولات احتراق و خوردگی وجود دارد. همچنین عناصر سدیم و کلسیم در نمونه رسوب روی پره مشاهده گردیده است. قابل ذکر است، این رسوبات با سمباده زنی دقیق توسط کاغذ سمباده ای نرم برطرف می شوند. ذرات جدا شده باید جمع آوری شوند ولی ذرات ریز می توانند در حین کارکرد توربین خارج شوند. در نهایت شرکت مذکور اعلام نمود برای پیش بینی عمر پره های ردیف اول و مکانیزم های دقیق خوردگی صورت گرفته در زمان بهره برداری، به بررسی سطح پره و بررسی های ریز ساختاری و خواص



مکانیکی پره و شکست نگاری نیاز است. بدینسان در صورت مشاهده ترک در حین رشد، می توان از شکست پره های مشابه در توربین واحد های دیگر جلوگیری کرد و زمان تعمیرات بعدی را در پره های مشابه تعیین نمود.

## 9. قدردانی

در پایان بر خود لازم میدانم که از واحد تعمیرات و همکاران بهره برداری نیروگاه خرمشهر که با ارایه مدارک و مستندات لازم و نیز شرکت ملی گاز با بررسی و آنالیز کیفیت سوخت تحویلی کمک شایانی در زمینه تهیه و تکمیل این مقاله به بنده مبدول داشتند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم.

## 8. مراجع

- 1.Chaker M, Meher-Homji CB, and Mee TR. Inlet fogging of gas turbine engines Part A: Droplet Thermodynamics, Heat Transfer and Practical Considerations. Proc. of ASME Turbo Expo 2002; Paper No. 2002-GT-30562
2. M. Chaker, C.B. Meher-Homji, T.R. Mee  
Inlet fogging of gas turbine engines: Experimental and Analytical Investigations on Impaction Pin Fog Nozzle Behavior
3. A. Rehman, R.P. Deepak, P. Rajesh  
Alternate fuel for gas turbine: Esterified jatropha oil-diesel blend
4. D. Sanchez, R. Chacartegui, J.M. Munoz, A. Munoz, T. Sanchez  
Performance analysis of a heavy duty combined cycle power plant burning various syngas fuels
- 5.Baldwin . R. M. Black powder problem in Gas industry.
- 6.Black powder Removal from Gas public corporation (DEPA) SA GREECE.
- 7.Technical Report – improved Black powder Removal From Gas Pipeline – B j Services.
8. نتایج آنالیز سوخت گاز توسط پژوهشگاه صنعت نفت
9. مدارک و گزارشات بازدید و نتایج آزمایشات در نیروگاه خرمشهر