

## اسید شوئی تیوب بانددل های سیستم خنک کننده آبی نیروگاه سیکل ترکیبی ایران LNG به روش فرایند Preservation

فرشید مدنی فر<sup>۱</sup>، بابک کریم پور<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی نفت-گروه مپنا

۲- کارشناس مهندسی مکانیک-گروه مپنا

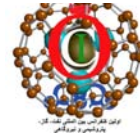
### چکیده

در تیوب بانددل سیستم خنک کننده آبی در یکی از واحد های نیروگاه سیکل ترکیبی ایران ال.ان.جی رسوب شیمیایی مشاهده گردید. بیشتر رسوبات در این سیستم که از کربن استیل می باشد از نوع زنگ زدگی تشخیص داده شد. با توجه به شرایط سیستم و کارکرد آن از روش آفلاین (Off Line) جهت رسوب زدایی این سیستم استفاده شد. ابتدا سیستم از مواد شوینده اسیدی حاوی باز دارنده تهیه شده توسط پمپ کمکی پرگردید سپس فرایند سیرکلاسیون بر حسب شرایط توسط همین پمپ انجام شد. در ادامه بعد از بررسی های لازم سیستم از مواد تخلیه شده و به ترتیب آبکشی، خنثی سازی، و پسیویشن در سطوح تمیز شده انجام گردید. چون خشک کردن میدل ها بعد از شستشوی شیمیایی عملاً مشکل و شامل هزینه های بسیار می شود لذا ما در این مقاله از فرایند حفاظت (Preservation) استفاده کردیم. در این روش با استفاده از ماده بازدارنده خوردگی (GR-C60) سیستم پر گردید و این امر باعث شد که در محیط خورنده ی مورد بحث، برای مدت طولانی تیوب بانددل ها بدون هیچگونه آسیب تا قبل از فلاشینگ باقی بمانند. در حین عملیات شستشو برای آسیب نرسیدن به بدنه اصلی با کوپن گذاری و قرار دادن نمونه تغییرات میزان خوردگی یا باز دارندگی مواد مصرفی مورد بررسی قرار گرفت. بعد از اتمام کار و تا زمانی که فلاشینگ آب شروع شود باید پارامتر های همچون PH محلول کنترل شود. این عملیات شستشو علاوه بر اینکه موجب به حداقل رساندن زمان فلاشینگ موجب کاهش هزینه ها و همچنین پیشبرد اقدامات پیش راه اندازی و راه اندازی واحد شد.

واژه های کلیدی: فرایند حفاظتی (Preservation)-نیروگاه گازی - زنگ زدگی - تیوب بانددل-اسید شوئی

1- کارشناس فرایند-شرکت نیرپارس (گروه مپنا) (Madanifar\_F@neyrperse.ir)

2- کارشناس تضمین کیفیت- شرکت نیرپارس (گروه مپنا) (Karimpour\_B@neyrperse.ir)



## 1- مقدمه

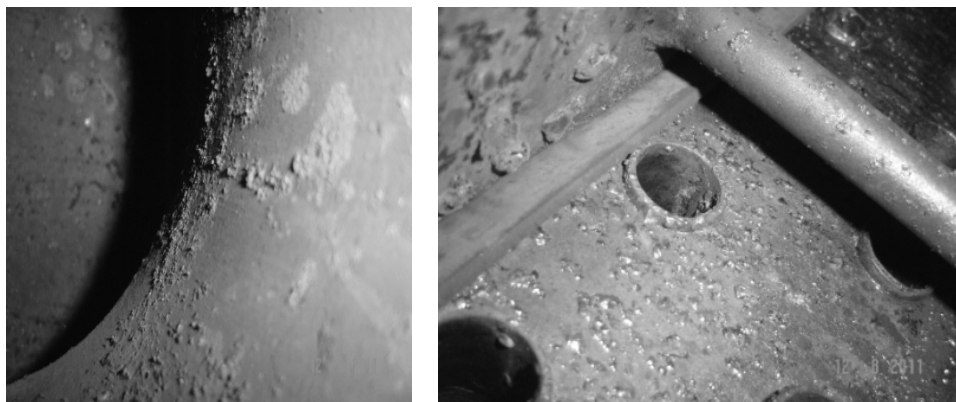
امروزه کاربرد توربین های گازی در نیروگاه ها و به عنوان مولد برق، بسیار با ارزش و حیاتی می باشد. علاوه بر آن در صنایع دیگری مانند صنایع پتروشیمی، صنایع فضایی، سکو های دریایی، ترن ها و غیره کاربرد گسترده ای پیدا کرده است. سرعت در نصب، میزان هزینه سرمایه گذاری و تعمیراتی کم، امکان کاربرد سوخت چند گانه از جمله محاسن توربین های گازی با سایر مولد های برق می باشد. یکی از مهمترین قسمت های یک نیروگاه گازی سیستم خنک کننده آبی نیروگاه یا Closed Cooling Water است که به اختصار (CCW) این سیستم به منظور خنک سازی ژنراتور و خنک سازی و روغن روانکاری توربین گاز (GT) استفاده می شود. سیستم فوق از نوع مدار بسته می باشد. در این سیستمها آب از خنک کن های ژنراتور و خنک کن های روغن روانکاری گذشته و در نتیجه حرارت تولید شده توسط سیستمهای فوق توسط آب جذب می گردد. آب خنک کاری به مجموعه ای از مبدل های حرارتی هوا/آب وارد شده که در این مبدلها گرمای ذخیره شده در آب به هوای محیط منتقل می گردد. عملاً سیستم فوق واسطی بین سیستمهای تولید گرما و منبع سرد (هوای محیط) میباشد. مایع خنک سازی آب بوده و توسط دو پمپ که بعد از مبدل حرارتی نصب شده است در سیستم می چرخد. این سیستم شامل قسمت های مختلف است از جمله: اسمبلی (Assembly) که این بخش متشکل از چهار فن اکسیال با قطر زیاد، الکتروموتور، پولی، تسمه و ساپورت می باشد و هوای مورد نیاز برای خنک کردن باندلها را فراهم می کند. پمپها گردش آب را تامین می کنند که با ایجاد فشار لازم جهت غلبه بر افت فشارهای سیستم جریان مطلوب را جهت گردش در لوله های تیوب باندل، لوله های ارتباطی و مبدل های حرارتی ژنراتور و نیز روغن روانکاری را فراهم می کنند. مخزن انبساطی (Expansion Tank) این بخش وظیفه تنظیم و جبران آب درون سیستم را برعهده دارد. استراکچر (Structure) که از بخشهایی نظیر پلت فرم (Platform)، پله ها (Ladders) و ستونها و بادبندها تشکیل شده است کلیه بخشهای اصلی دیگر را در خود جای می دهد و فضای مناسب جهت نصب فن ها به تیوب باندل را فراهم می کند و کاملاً گالوانیزه می باشند. پایپینگ (Piping) این لوله ها ارتباط بین پمپها، تیوب باندلها و تانک انبساط با هم و با مبدل های حرارتی ژنراتور و روغن را برقرار می کنند و از مجموعه ای از لوله، فلنج، زانو، ... و از آلیاژ خاصی از جنس کربن استیل تشکیل شده اند. این بخش که وظیفه کنترل و تنظیم فشار، دما، دبی و غیره را برعهده دارد از سنسورهای تشکیل شده و در مواقع لزوم زنگ خطر را نیز فعال می کند [1]. کارکرد کلی سیستم بدین صورت است که وقتی توربین در حال کار می باشد، پمپها با پمپ کردن سیال خنک شده به درون مبدل های حرارتی ژنراتور و روغن روانکاری از طریق لوله های ارتباطی، جریان سیال را که از مخلوطی از آب و الکل تشکیل شده است ایجاد نموده و بعد از بازگشت آب به تیوب باندلها، فن ها با فرمان سنسورها وارد مدار شده و هوای لازم را جهت خنک کردن آب ایجاد می نمایند سیال بعد از رسیدن به دمای تنظیم شده در لوله های فین شده به درون توربین و مبدل های روغن مجدداً پمپ شده و سیکل بهمین صورت ادامه پیدا می کند. تعداد فنهایی که وارد مدار می شوند بستگی به دمای توربین داشته و نسبت به دمای محیط و حرارت سیستم کم و یا زیاد می شوند. عمده عملیات ساخت عبارتند از فین کردن لوله ها، مونتاژ، جوشکاری، تنش گیری، گالوانیزاسیون و تست ساخت هر مجموعه بعد از تهیه مواد اولیه حدوداً 3 ماه به طول می انجامد. تیوب باندل (Tube Bundle) این بخش از تیوب های ظریف (Fined Tubes) و هدرز (Headers) تشکیل شده که با یک استراکچر گالوانیزه شده، بصورت یک دسته (Bundle) بهم مونتاژ می گردند و به صورت یک مبدل هوا - آب عمل می کنند هدرهای فوق از ورقهای کربن استیل با آلیاژ خاص، که بعد از نوردکاری و سوراخکاری بهم جوش داده شده و تنش زدایی شده است، بدست می آید و نازل های ورودی و خروجی آب نیز به آنها متصل می گردند. فین ها نوارهای آلومینیومی می باشند که به صورت محاط (Embedded) بر روی لوله ها قرار گرفته اند. تیوب باندل بعد از ساخت هیدروتست می گردند. [2]



## 2- شرح مشکل پدید آمده:

با توجه به جنس تیوب باندل ها که کربن استیل می باشند، بعنوان یه روش متداول پس از ساخت ، لوله ها از نیتروژن پر می گردند تا در صورت نگهداری برای مدت طولانی و یا در محیط های با خوردگی بالا ، دچار زنگ زدگی و خوردگی نشوند. پس از ورود تیوب باندل مورد مقاله به سایت مشاهده گردید که نیتروژن در این تیوب باندل موجود نمی باشد و داخل تیوبها به دلیل محیط خورنده و عدم نگهداری صحیح زنگ زدگی مشاهده می گردد (شکل 1).

شکل 1- زنگ زدگی تیوب باندل



## 3- راه حل :

با توجه به زمان باقی مانده برای نصب و احتمال زیاد بالا رفتن میزان خوردگی موجود و آسیب غیر قابل بازگشت به تجهیز، اصلاح مشکل بوجود آمده و نگهداری صحیح این تجهیز از اهمیت بسزایی برخوردار بود. با توجه به عدم دسترسی به داخل تجهیز به جهت انجام زنگ زدایی، تنها راه ممکن اسید شویی این تیوب باندل بود. در مرحله بعد تیوب باندل زنگ زدایی شده می بایست مجدداً تا زمان نصب به گونه ای حفاظت می شد که هیچ گونه زنگ زدگی در آن مشاهده نگردد. یکی از راههای انجام این امر ، روش معمول یعنی پر کردن با نیتروژن است . از آنجایی که پس از اتمام اسید شویی تجهیز توسط هوا کاملاً خشک می شود ، اجرای این روش می بایست این امر بسرعت پس از تکمیل اسید شویی انجام پذیرد. و در صورت بروز هرگونه تاخیر در این امر احتمال پدید آمدن مجدد خوردگی وجود دارد. راه حل پیشنهادی برای این امر استفاده از مواد بازدارنده خوردگی در مرحله آخر اسید شویی بجای تخلیه و خشک کردن تجهیز توسط هوا می باشد.

## 4- شرح فعالیت:

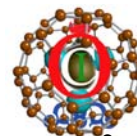
عملیات اسید شویی تیوب باندل بشرح زیر انجام پذیرفت، مدت زمان طی شده برای هر مرحله درجدول شماره 1 و PH کنترل شده در هر مرحله برای 4 تیوب باندل موضوع در جدول شماره 2 ذکر شده است [3] .

### 4-1- اتصال تجهیزات به تیوب باندل :

در این مرحله پمپ جهت به گردش در آوردن آب و مواد شیمیایی در سیستم به ورودی و خروجی تیوب باندل توسط لوله هاب پلی اتیلن متصل می گردد. روی خز خروجی یک شیر جهت کنترل جریان و پر نگاه داشتن سیستم در هنگام شستشو نصب می گردد ضمناً شیرری نیز روی خروجی پمپ جهت تخلیه محلولها به مخزن تخلیه نصب می گردد.

## اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



### 2-4-2 چربی زدایی :

در این مرحله پس از کنترل نشستی اتصالات ، 50 کیلوگرم NaOH به آب جهت گردش در سیستم اضافه میگردد و برای مدت 2 ساعت ادامه می یابد. پس از این 2 ساعت سیستم 2 بار ، هر بار به مدت 10 دقیقه شستشو می گردد تا PH سیستم به 8.5 یا کمتر کاهش یابد.

### 3-4- شستشوی شیمیایی:

پس از اتمام شستشوی سیستم، 2.2 کیلو گرم ماده 28 Armohib جهت فعال سازی سطح داخلی تیوب باندل اضافه نموده و محلول بمدت 15 دقیقه در سیستم گردش می کند. سپس مقدار 750 کیلو گرم HCL (اسید کلریدریک) به آب موجود اضافه کرده و برای مدت 5 ساعت در داخل سیستم توسط پمپ به جریان در می آید. پس از اتمام این مدت ، NaOH به سیستم اضافه می گردد تا PH به حدود 7 برسد. سپس محلول موجود به مخزن تخلیه هدایت می گردد.. سپس شستشو آغاز می گردد تا زمانی که PH به 6 تقلیل یابد.

### 4-4- نرمال سازی :

آب دمین با مقدار 50 کیلوگرم کربنات سدیم مخلوط شده و برای مدت 1 ساعت در سیستم به چرخش در می آید. سپس محلول درون تانک تخلیه خالی گردیده و عملیات شستشو 3 بار برای تیوب باندل انجام می گردد.

### 5-4- منفعل سازی (Passivation) :

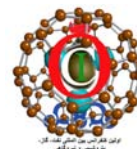
در این مرحله به جهت جلوگیری از واکنش یونهای موجود در سیستم با دیواره تیوب ها مقدار 7.5 لیتر اسید فسفریک به آب اضافه شده در درون سیستم بمدت 2 ساعت به چرخش در می آید و پس از آن PH این محلول با استفاده از NaOH نرمال شده و به تانک تخلیه هدایت می گردد.

### 6-4- حفاظت (Preservation) :

بر خلاف کلیه فرایندهای اسیدشویی که در انتها با تخلیه آب و خشک کردن سیستم همراه بود. در این روش با استفاده از ماده بازدارنده خوردگی CR-C60 سیستم پر گردید و این امر باعث شد که در محیط خورنده ی مورد بحث ، برای مدت طولانی تیوب باندل ها بدون هیچگونه آسیب تا قبل از فلاشینگ باقی بمانند. این امر با اضافه کردن 8 کیلوگرم CR-60 به آب داخل سیستم انجام می پذیرد.

جدول شماره 1- مدت زمان طی شده برای هر مرحله (ساعت)

کل فرایند	محافظة	منفعل سازی	نرمال سازی	اسید شویی	چربی زدایی	
16:45	1:00	2:00	2:45	7:00	3:00	تیوب باندل شماره 1
13:15	0:50	1:15	2:40	5:20	2:30	تیوب باندل شماره 2
14:30	1:00	1:30	3:00	5:30	2:30	تیوب باندل شماره 3
14:30	1:00	1:30	2:30	5:45	2:45	تیوب باندل شماره 4



جدول شماره 2 - PH اندازه گیری شده در مراحل مختلف

محافظة	منفعل سازی		اسید شویی		چربی زدایی		تیوب باندل شماره
	بعد از شستشو	حین عملیات	بعد از شستشو	حین عملیات	بعد از شستشو	حین عملیات	
8.6	4.1	2.5	5.8	0.73	6.5	12	تیوب باندل شماره 1
5.5	4.4	2.3	6.1	0.8	6.1	12.1	تیوب باندل شماره 2
8.5	4.9	2.45	5.8	0.76	6.5	12	تیوب باندل شماره 3
8.5	4.7	2.3	6	0.7	7	12.3	تیوب باندل شماره 4

## 5- آزمایشات:

به جهت اطمینان از انجام صحیح عملیات اسید شویی به روش فوق الذکر آزمایشات زیر صورت پذیرفت:

### 5-1- نمایش تجربی (Cleaning Demonstration)

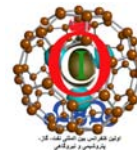
این آزمایش بوسیله قرار دادن یک قطعه فلزی زنگ زده در محلول در هنگام شروع شستشوی شیمیایی (مرحله 3-4) صورت می گیرد. جهت این کار یک قطعه فلزی زنگ زده با متریال مشابه موضوع شستشو را در مخزن اسید قرار داده و پس از اتمام این مرحله وضعیت موجود، به لحاظ ظاهری با وضعیت اولیه مقایسه می گردد. این نمایش می تواند بصورت تجربی کارایی محلول و کفایت زمان اسیدشویی را نشان دهد. نمونه آزمایش صورت گرفته برای تیوب باندل شماره 1 در شکل 2 و 3 قابل رویت می باشد.



شکل 2- قطعه فلزی نمونه قبل از قرار گرفتن در محلول



شکل 3- قطعه فلزی نمونه بعد از اتمام اسید شویی



## 5-2- کوپن خوردگی (Corrosion Coupon)

با در نظر گرفتن ماهیت اسید شویی و مواد شیمیایی بکار رفته در این فرایند کنترل کاهش ضخامت فلز در این عملیات از اهمیت بسزایی برخوردار است. جهت این امر از کوپن های خوردگی با استفاده از روش ذکر شده در استاندارد ASTM G1-90 استفاده می شود. به این منظور کوپن های خوردگی با شماره های مربوطه قبل از شروع آزمایش وزن می گردند (شکل 4). سپس هنگام شروع اسیدشویی آنها را داخل محلول برای مدت زمان این فرایند قرار می دهند. پس از آن این کوپنها مجدداً توزین شده و اختلاف وزن آنها معیار کاهش ضخامت بوجود آمده در اثر عملیات اسید شویی می باشد. فرمول شماره 1 جهت بدست آوردن میزان کاهش وزن کوپن در واحد زمان است:

$$mpy = \frac{\Delta m \times 3650 \times 1000}{S \times 7/86 \times d \times 25/4} \quad (1)$$

$mpy$  = کاهش ضخامت در واحد زمان به میل (یکهزارم اینچ) بر سال

$\Delta m$  = اختلاف وزن قبل و بعد از اسید شویی کوپن به گرم

$d$  = زمان اسید شویی به روز

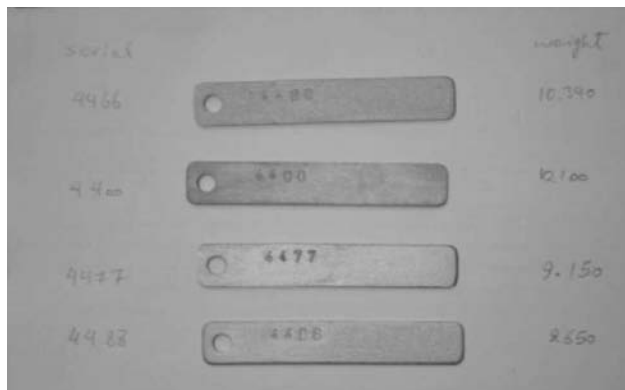
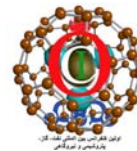
$S$  = سطح کوپن خوردگی به سانتیمتر مربع

با قرار دادن عدد بدست آمده از فرمول (1) با استفاده از تغییر یکان زیر (فرمول شماره 2) و اعمال مدت زمان اسید شویی، میزان کاهش سطح توسط اسید شویی بدست می آید. نتایج بدست آمده در 4 تیوب بندل در جدول شماره 3 قابل مشاهده می باشد.

$$1 \text{ mpy} = 0.001 \frac{\text{inch}}{\text{year}} \times 25.4 \frac{\text{millimeter}}{\text{inch}} = 0.0254 \frac{\text{mm}}{\text{year}} \quad (2)$$

جدول شماره 3- نتایج حاصله از محاسبات کوپن خوردگی

تیوب بندل شماره	میزان تغییر وزن کوپن (گرم)	نرخ خوردگی (mpy)	کاهش ضخامت در طول مدت اسید شویی (میلیمتر)
1	0.023	90	0.0013
2	0.030	120	0.0017
3	0.028	110	0.0015
4	0.026	105	0.0015



شکل 4- کوپن های خوردگی

بر اساس مدرک ASM metal handbook<sup>1</sup> معیار پذیرش ضخامت از دست رفته برای فولاد mpy400 میباشد (در صورتی که ضخامت اجزای فولادی بیشتر باشند مقادیر بالاتر نیز قابل قبول خواهد بود) ولی در این مدرک بهترین حالت زمانیست که مقادیر زیر 200 mpy باشند.[4]

### 3-5- کنترل PH:

پس از تزریق موارد بازدارنده خوردگی (CR-C60) در مرحله حفاظت (Preservation) جهت جلوگیری از تغییر PH محیط و آسیب رساندن به تجهیز، PH می بایست هر دو هفته یکبار کنترل شود. در صورت مشاهده PH غیر نرمال، محیط می بایست نرمال شده و مجدداً مواد بازدارنده خوردگی به آن تزریق شود.

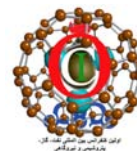
### 9- نتیجه گیری

از مهمترین اقدامات در مرحله پیش راه اندازی یک واحد نیروگاهی فلاشینگ سیستم خنک کننده آبی می باشد. در این مرحله با توجه به میزان تمیزی خطوط آب و تیوب باندها چندین روز به طول می انجامد. بدیهی است که اگر موارد ذکر شده فاقد رسوبات شیمیایی و دیگر ناخالصی ها باشد این مدت زمان کاهش می یابد. پس از اسید شوئی به روش فوق مشاهده گردید مدت زمان لازم جهت فلاشینگ به حداقل خود رسید و باعث پیشرفت در برنامه پیش راه اندازی و راه اندازی واحد گردید و در پی آن کاهش هزینه ها را به دنبال داشت. در فرایند اسید شوئی تیوب باندها به روش معمولی در مرحله آخر سیستم تخلیه و خشک می گردد که عملاً بسیار مشکل و هزینه زیادی را شامل می شود که با توجه به انجام فرایند حفاظت به جای خشک کردن می توانیم بر این مشکلات غلبه کنیم. ضمناً پیشنهاد میگردد برای به حداقل رساندن زمان فلاشینگ آب و همچنین برای بالا بردن کیفیت سیستم اقدامات مشابه برای سایر پایپینگ موجود در سیستم آب خنک کننده انجام گیرد.

<sup>1</sup> American Society of Metal

# اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی را از جناب آقای مهندس فدائی مدیریت محترم پروژه نیروگاه ایران ال.ان.جی به عمل می آورد. همچنین از زحمات جناب مهندس حقیقتیان سرپرست و مهندس اخروی معاونت محترم کارگاه ومهندسين کيانوش نوروزی،عباس آصفی ، حسین گل پورکمال تشکر و قدردانی را داریم.

## مراجع

[1] ملک پور، مهدی ، ( 1390 ) ، ”نیروگاه سیکل ترکیبی“ ، جلد اول، چاپ اول، انتشارات علیمردان.

[2] Elliot ,Thomas, (1997) “Standard Handbook Of Power Plant Engineering “ 2 edition ,McGraw-Hill Professional;

[3] ASTM Standard G1-90:Standard Practice For Preparing Cleaning and Evaluating Test Specimens,Annual Book of Standards ,ASTM International, West Conshohocken ,PA,19482.

[4] Lawrence J.korb ,ASM International ,(1987) ,Volume 13a-Corrosion, 9 Edition, American Society Of Metal , Gauge country oh