پدیده کری اور در دیگ‌های بخار صنایع نیشکر و راهکارهای کنترل آن

امیر جودزاده

دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی دزفول، دانشکده تحصیلات تکمیلی، گروه مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی*

پیام نگار: **A.Joodzadeh@gmail.com**

چکیده

پدیدهٔ کری اور جزو مشکلات رایج در دیگ‌های بخار صنایع نیشکر می‌باشد که به نوبهٔ خود سهمی قابل ملاحظه در بروز انواع خرابی، استهلاک، کاهش بازدهی، تریپ خوردن، از مدار خارج شدن دیگ بخار و حتی تجهیزات مصرف‌کنندهٔ پس از آن را نیز داراست. درک اینکه چگونه پدیدهٔ کری اور شکل گرفته و روی سطوح مخزن بخار، لوله‌های سوپرهیتر، ری هیتر، پره‌های توربین بخار و دیگر تجهیزات سبب خوردگی و رسوب میشود در طراحی و بهره‌برداری از یک دیگ بخار بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

در این مقاله در ابتدا به تشریح چگونگی شکل‌گیری عارضهٔ کری اور پرداخته و علل مؤثر در این رابطه شناسایی می‌شوند. پس از آن انواع آن و اثرات مقتضی هر یک مورد بررسی قرار گرفته، سپس بحث اندازه‌گیری مقدار آن حین بهره‌برداری از دیگ بخار مطرح می‌گردد و دستورالعملی جهت نمونه‌گیری پیشنهاد می‌شود. در انتها نیز راهکارهایی جهت کاستن مقدار آن و کنترل عوارض مربوطه ارائه می‌گردد و سرانجام به اصلاحیه‌هایی که در بهره‌برداری از سیستم لازم است صورت گیرد، پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: دیگ بخار، آب تغذیه، ناخالصی، رسوب، کری اور

۱- مقدمه

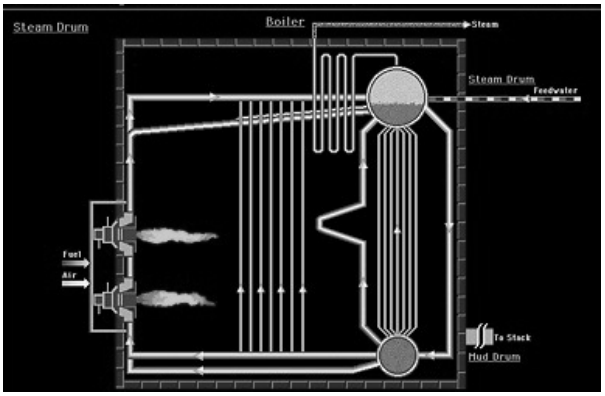
دیگ‌های بخار بنابر شرایط خاص بهره‌برداری و دارا بودن دما و فشار بالا، معمولاً بیش از سایر تجهیزات یک نیروگاه در معرض خرابی و مکانیزم‌های مختلف ناشی از آن می‌باشند. بروز اشکال در دیگ بخار معمولاً سبب عدم تولید بخار، هدر روی قابل توجه انرژی و نهایتاً خروج نیروگاه از مدار و تعطیلی فرایند خواهد گردید. بنابراین عطف به اهمیت این موضوع می‌تواند منجر به سعی در شناخت علل خرابی‌ها گشته و با ایجاد تغییرات مقتضی حین بهره برداری، از وقوع چنین حوادثی پیشگیری نمود. در همین راستا استفاده از آب تغذیه با کیفیت و درجه خلوص مناسب جهت کاهش تخریب‌های ناشی از آن از مهم ترین راه‌های حفظ صحت و سلامت عملکرد دیگ‌های بخار می‌باشد. زیرا از جمله عامل‌های مشکل ساز رایج برای دیگ‌های بخار وجود ناخالصی[1] در آب تغذیه آن‌ها می‌باشد که می‌بایست برای به حداقل رساندن این ناخالصی‌ها، بر روی آب تغذیه عملیات تصفیه فیزیکی و شیمیایی لازم را انجام داد.

۲- بیان مسئله

از جمله خطراتی که به وسیله وجود ناخالصی‌ها در آب تغذیه دیگ بخار پیش می‌آید عبارت است از:

* آدرس فعلی: اهواز، شرکت کشت و صنعت میرزاکوچک‌خان

1. Impurity



شکل ۱- سیکل تولید بخار در یک نمونه دیگ بخار [۱]

۱) تشکیل رسوب بر روی سطوح انتقال گرما (سوپرهیترها، ری هیترها، واتروال‌ها و دیگر سطوح انتقال گرما) که با مختل سازی فرایند نرمال انتقال گرما منجر به گرم شدن بیش از حد[1] بعضی از نقاط آن می‌شود و امکان خرابی تیوب‌های مذکور را به وجود می‌آورد.

۲) ایجاد انواع خوردگی در اجزای دیگ بخار

۳) ورود ناخالصی که همراه بخار از طریق سوپرهیترها به توربین برده می‌شود و ایجاد خوردگی روی پره‌های آن می‌نماید.

بهمین دلیل معمولاً عملیات شیمیایی که روی آب تغذیه دیگ‌های بخار انجام می‌شود برای کاهش دادن مقدار خوردگی آنان و نیز بمنظور کاستن از رسوبات معدنی تشکیل شده درتیوب‌های دیگ بخار که مانع از انجام انتقال حرارت لازم می‌شود انجام می‌گیرد.

بعنوان نمونه در مواردی که بخار برای تولید برق در توربین‌های بخار به کار می‌رود مقدار عناصری نظیر سیلیس و سیلیکات‌های آب تغذیه باید به حداقل ممکن برسد تا مانع تشکیل رسوبات سخت و مضر روی پره‌های توربین شود.

برای کنترل تشکیل رسوب‌های معمول نیز باید تمام نمک‌های کلسیم و منیزیم را از طریق راه‌های مطلوب نظیر استفاده از رزین از آب بیرون راند.

جهت کنترل و کاهش خوردگی، اعمال شیمیایی زیر لازم است. از جمله:

۱) بیرون راندن اکسیژن و گاز کربنیک حل شده در آب

۲) اضافه کردن کاستیک سودا (NaOH)

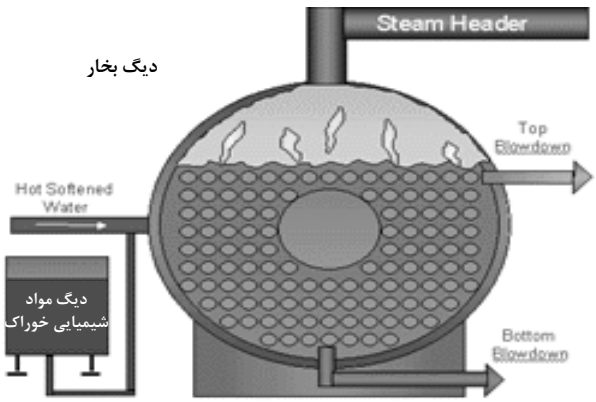
۳) افزودن ممانعت کننده[2]های خوردگی

1. Overheat
2. Corrosion Inhibitor

برای جلوگیری از خوردگی در سیستم دیگ بخار استفاده از ممانعت‌کننده‌ها بسیار رایج است، مثلاً میزان خوردگی درون دیگ بخار با افزودن تری سدیم فسفات (Na_3Po_4) به حداقل مقدار خود می‌رسد.

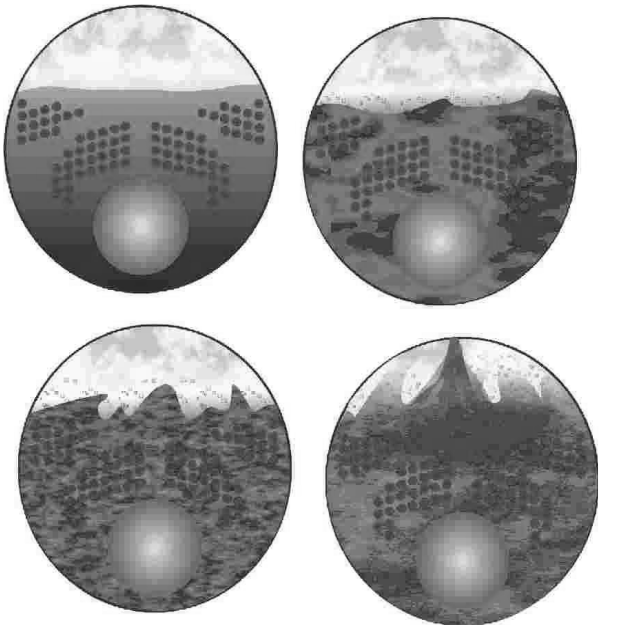
۳- تعریف کری اور[3]

اصطلاح کری آور، کف کردن[4] و غلیان آب[5] شرایطی را توصیف می‌نماید که ذرات جامد معلق[6] در آب دیگ بخار با بخار همراه شود. مخزن بخار[7]، مخزن گل[8] و سوپرهیترها اغلب حین بهره‌برداری حاوی رسوباتی می‌باشند که دلیل آن را می‌توان در دمای بالا، گرمای موضعی ورودی، کیفیت آب تغذیه، PH آب و ترکیبات آن و همچنین تزریقات شیمیایی جستجو کرد. به عنوان نمونه معمولاً اکسید آهن بصورت کریستال‌های مگنتیت سیاه در مخزن بخار رسوب کرده و در اثر کری اور وارد سوپرهیتر می‌شود. در اثر کف کردن (اصطلاح کف کردن نتیجه تشکیل حباب‌هایی در سطح آب دیگ بخار است) نمک‌هایی همچون سولفات و کربنات کلسیم و نیز فسفات منیزیم در مخزن بخار، سرعت حرکت بالا بهمراه وجود تلاطم در جریان آب و نیز بالا بودن سطح آب در مخزن بخار، کری اور می‌تواند رخ دهد. البته گاهی اوقات این مشکل بدلیل راه‌اندازی دیگ بخار با آب قندی (بخصوص در کارخانجاتی نظیر نیشکر) و یا عدم کنترل شیمیایی صحیح در نتیجه تزریق بی رویه موادی با خاصیت قلیایی نظیر کاستیک سودا و هیدرازین رخ می‌دهد.

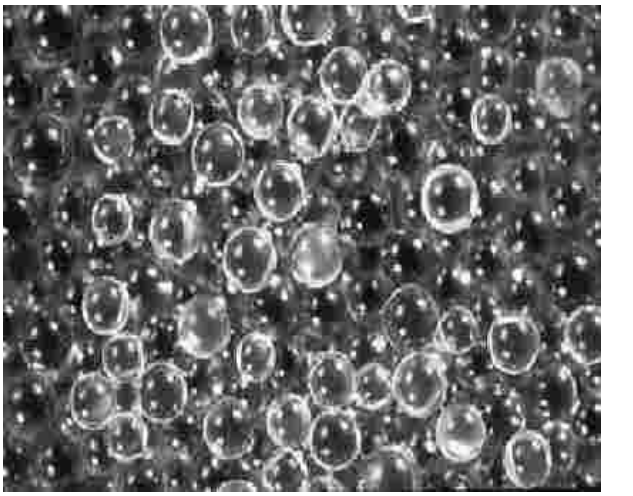


شکل ۲- طرح اجمالی از مخلوط دوفازی آب و بخار در مخزن بخار [۱]

3. Carryover
4. Foaming
5. Seething
6. Total Dissolved Solids (TDS)
7. Steam Drum
8 .Mud Drum



شکل ۳- بالا بودن سطح آب در مخزن- رخ دادن تلاطم منجر به کری اور در آب مخزن بخار [۱]

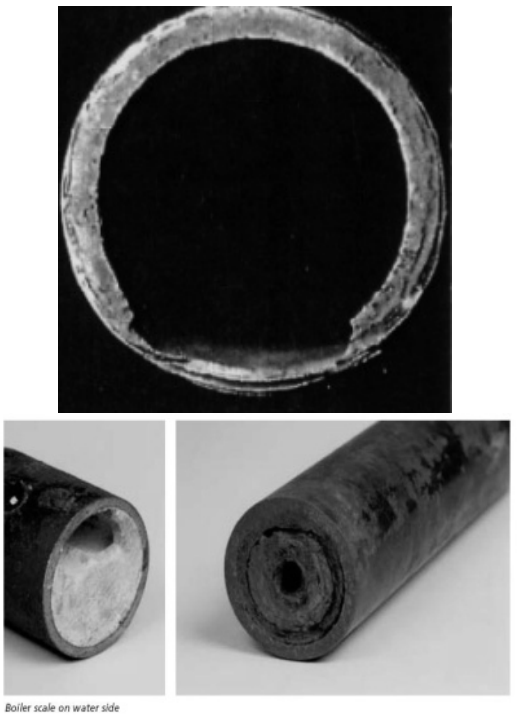


شکل ۴- کف کردن (ناشی از تشکیل حباب) بدلیل وجود نمک‌های قلیا در آب مخزن بخار [۱]

۴- اثرات کری اور

هنگامی که ذرات جامد معلق موجود در آب دیگ بخار، تبخیر شده و همراه با بخار حمل شود، رسوباتی در شیرآلات، تیوب‌های سوپرهیتر و پره‌های توربین‌های بخاری به وجود می‌آورد. این رسوبات باعث می‌شوند که تیوب‌های سوپرهیتر در هنگام کف کردن آب دیگ بخار، قرائت سطح آب در مخزن بخار را با اشتباه مواجه نمایند.

شکل ۵- نمونه‌هایی از رسوب گرفتگی ناشی از کری اور در تیوب‌های سوپرهیتر [۱]



شکل ۶- نمونه‌هایی دیگر از خوردگی و رسوب ناشی از کری اور در لوله‌های دیگ بخار [۱]

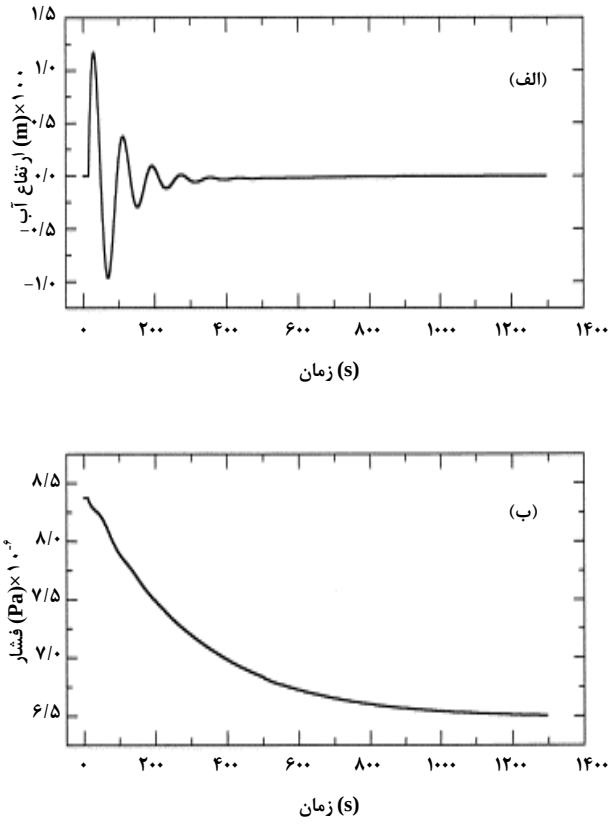
۵- علل بروز کری اور

کری اور ممکن است به علل مکانیکی یا شیمیایی و یا ترکیبی از هر دو روی دهد. مهمترین علل مکانیکی در این مورد عبارتند از:

۱) طراحی نادرست دیگ بخار (مخصوصاً مخزن بخار و اجزای آن) و یا بهره‌برداری ناصحیح

۲) بالا بودن سطح آب مخزن

۳) نوسان مکرر ظرفیت بهره برداری[1] که منجر به تلاطم و توربولانس شدید سطح آب درام می‌گردد. در نمودار زیر اثرات مطلب فوق بخوبی قابل رویت و تأمل می‌باشد.



شکل ۷- تغییر سطح آب مخزن (الف) / تغییرات فشار آب در مخزن (ب) به ازای ۵٪ تغییر ظرفیت در هنگام بهره‌برداری [۱۱]

از علل شیمیایی می‌توان موارد زیر را ذکر کرد:

۱) بالا بودن میزان املاح محلول در آب تغذیه

۲) قلیائیت بالا

۳) وجود روغن، نامناسب بودن عملیات کنترل شیمیایی داخلی و خارجی آب تغذیه (قبل و بعد از ورود به دیگ بخار)

۶- ضرورت توجه به کیفیت آب تغذیه دیگ بخار

همانگونه که قبلا اشاره شد، املاح و ذرات جامد محلول در آب قادرند پس از تبخیر همراه با بخار در سوپرهیتر جابجا گشته و سپس در مناطقی مانند پره‌های توربین رسوب نمایند.

بنابراین توجه به کیفیت آب تغذیه دیگ بخار و نیز بخار سوپرهیتر به‌همراه املاح موجود در آنان ضرورت می‌یابد. در این زمینه پارامترهای TH و TDS آب پرمیت (آب خروجی از واحد RO) و نیز پارامتر TDS بخار مافوق‌داغ خروجی در شرکت مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات آنان طی بهره‌برداری اخیر به ترتیب در شکل‌های (۸) و (۹) آمده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد پارامتر TH در آب پرمیت در طول دو بهره‌برداری اخیر تغییرات بسیار کمی داشته که چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

لیکن در مورد پارامتر TDS شیب هر دو دیاگرام طی ماه‌های مختلف تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته است. به عبارتی با بررسی دیاگرام‌ها در طول بهره‌برداری گذشته، افزایش تدریجی TDS در آب پرمیت پرواضح است. نظر به موجود بودن ذراتی همچون کلریدها و سولفات‌ها در آب طبق آنالیز شیمیایی صورت گرفته (جدول (۱)) و انتقال آنان همراه با بخار، ترکیب آنان با رطوبت موجود در توربین (بدلیل وجود آب کندانس ناشی از عدم کارکرد صحیح تله بخارها) واکنش داده و مطابق شکل (۱۰) منجر به خوردگی شدید و نیز سایش در توربین و پره‌های آن شده‌اند.

علاوه بر آن، چنانچه دیگ بخار در ظرفیت بالاتری نسبت به حداکثر ظرفیت اسمی مجاز در طراحی به کار گرفته شود نیز ممکن است موجب بروز کری اور گردد.

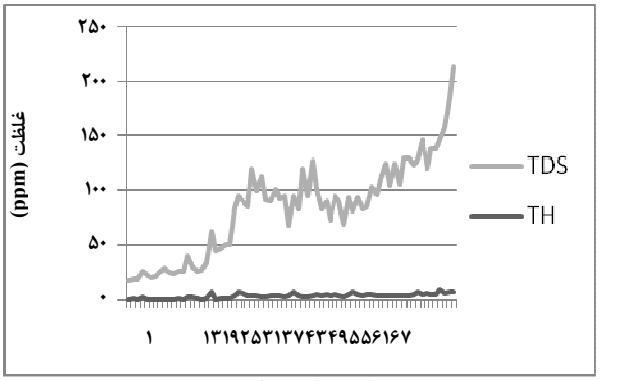
انتقال کری اور از آب دیگ بخار به بخار توسط جامدات معلق و قابل حل که قادرند درون بخار راه یابند صورت می‌گیرد. لذا مخزن‌های بخار به اجزای جداسازی آب و بخار[2] مجهز می‌شوند تا بتوانند بطور مکانیکی محتویات رطوبت بخار را کاهش دهند.

1. Load

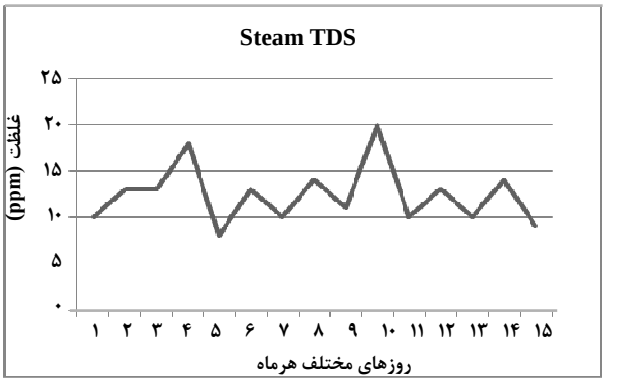
2. Separator

جدول ۱- صورت تجزیه شیمیایی آب پرمیت دیگ بخار (غلظت برحسب ppm)[۱]

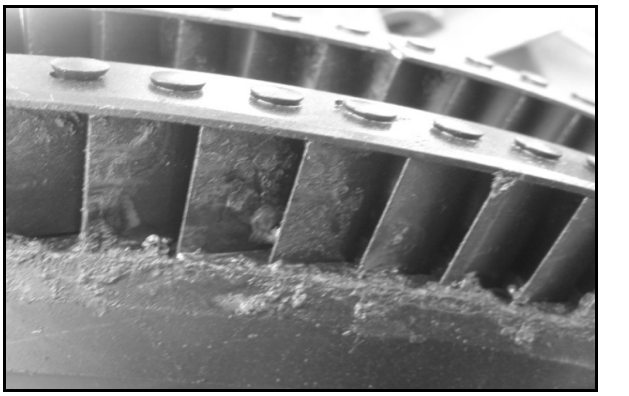
PH	EC	قلیائیت	PO_4^-	NO_3^-	SO_4^-	Cl^-	HCO_3^-	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
۶/۴۷	۳۰	۱۲/۲	۰/۵۴	۰/۰۴	۴/۵۰	۴/۵۲	۵/۵۰	۰/۲۵	۳/۶۰	۱/۲۰	۴/۰۰



شکل ۸- روند مشخصات آب پرمیت دیگ بخار- مجموع ایام بهره‌برداری سال ۱۳۹۰[۱]



شکل ۹- روند مشخصات بخار فوق‌داغ (خشک) مخزن بخار- مجموع ایام بهره‌برداری سال ۱۳۹۰[۱]



شکل ۱۰- نمایی از خوردگی‌های پره‌های توربین در اثر کری اور [۱]

۷- انواع کری اور

مقدار کری اور کل موجود در آب دیگ بخار و ناخالصی‌ها و وضعیت شیمیایی استوانهٔ دیگ‌های بخار، خلوص شیمیایی بخار را تعیین می‌کند.

کری اور ترکیبی از دو بخش می‌باشد:

۱) کری اور مکانیکی[1] (قطرات آب تغذیه درون بخار).

۲) کری اور بخارگونه[2] (بعلت فراریت ذاتی اجزای تشکیل‌دهنده ناخالصی‌ها در آب مخزن بخار).

بخش مکانیکی آن شامل کری اور قطرات آب دیگ بخار می‌شود و بخش بخارگونهٔ آن مشتمل براقسام ذرات جامد قابل حل (TDS) از جمله نمکها، اکسیدها، ناخالصی‌ها و دیگر ترکیبات شیمیایی مابین آب و بخار بوده که مدل فراری از ماده را نمایش می‌دهند. در حقیقت بخش دوم شامل همان دسته موادی است که حین فرایند تشکیل بخار از آب تغذیه مخزن بخار، تبخیر گشته و همراه با بخار به مصرف‌کننده‌ها می‌رسند.

کنترل آب تغذیهٔ دیگ بخار و افزایش مراحل تصفیه و خالص سازی آن می‌تواند ریسک مربوط به شروع خوردگی را کاهش دهد و آن را همانند بخار جهت به حداقل رساندن خطر بروز خوردگی و رسوبات در حوزهٔ چرخش بخار (ازجمله توربین)، بخوبی تنظیم کند. بدین منظور معمولاً از عنصر سدیم و نمکهای آن استفاده می‌گردد.

بنابراین، کری اور نیاز به سنجش مقدار جهت بنیاد نهادن واحد ویژه‌ای تحت عنوان راهنمای سیکل کنترل شیمیایی دارد.

مقدار کلی کری اور عنصر سدیم بصورت نسبت بخار اشباع سدیم (C_s) جمع شده به مجموع سدیم آب تغذیه مخزن بخار (C_b) تعریف می‌گردد. همچنین کری اور مکانیکی (M) بوسیلهٔ تفریق کری اور بخارگونهٔ سدیم (T) از بخار فشار قوی (V) تعیین می‌گردد.

$$T = C_s / C_b * 100 \quad (۱)$$

$$M = T - V \quad (۲)$$

1. Mechanical Carryover
2. Vaporous Carryover

کری اور مکانیکی سلسله قطرات آبی است در بخار خروجی از دیگ بخار که بستگی به شرایط تفکیک گرهای آب و بخار، کنترل سطح آب در دیگ و شرایط بهره‌برداری پایدار دارد. کری اور مکانیکی تابعی است از اختلاف چگالی بین فازهای آب و بخار در یک فشار مشخص.

کری اور بخارگونه تنها در فشار مخزن بالای 16Mpa (2300psi) برای اکثر ذرات جامد محلول در آب تغذیه دیگ بخار، بطور قابل ملاحظه‌ای آغاز شده و افزایش پیدا می‌کند. در فشارهای کمتر از این میزان، تقریبا تمامی کری اور مکانیکی است به استثنای مواد اندکی ازجمله سیلیس، اکسیدهای مس، هیدروکسیدها، ترکیبات آلومینیم و اسید بوریک که اینها هم بطور عمده کری اور بخارگونه را حتی در فشارهای نسبتاً پایین تشکیل می‌دهند. برای دیگ‌های بخار با فشار عملکرد زیر 18Mpa (2600psi) کری اور بخارگونه معمولاً کمتر از ۰/۱٪ می‌باشد.

دو جنبهٔ مهم و معین در رابطه با کری اور وجود دارد، اولی دربارهٔ تبخیرکننده‌های واحد مخزن بخار که درگیر احتمال رخ دادن مسئلهٔ خوردگی و رسوب مرتبط با مقدار کلی کری اور در سوپرهیترها، ری‌هیترها و توربین‌های بخار می‌باشند. دوم، برای شرکت‌های سازنده دیگ‌های بخار که عملکرد مخزن بخار را جهت کارآیی اجزای جداسازی آب و بخار در خصوص پیشگیری از کری اور مکانیکی طراحی می‌کنند.

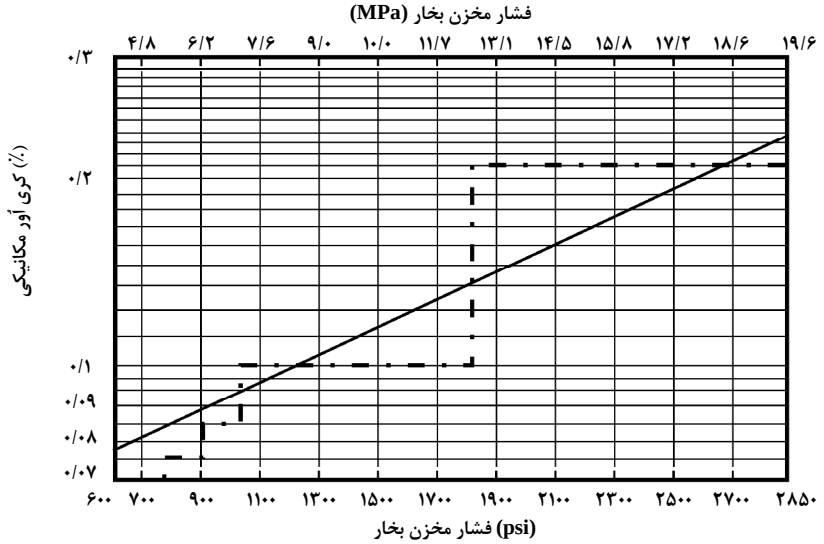
۸- ارائه دستورالعمل جهت سنجش میزان کری اور

در این بخش، تهیهٔ یک روش جهت اندازه‌گیری مقدار کری اور کل و یک توصیف از کری اور مکانیکی مخزن تفکیک گر بخار (ایراد قطرات آب تغذیه دیگ بخار، سیرکننده در بخار) و کری اور بخارگونه مد نظر است که در ادامه بدان می‌پردازیم.

یک مثال از چگونگی تغییرات کری اور مکانیکی برحسب فشار در شکل (۱۱) نمایش داده شده است که بصورت مصور نشان می‌دهد کری اور مکانیکی تا چه حد می‌تواند مهم باشد. بعنوان نمونه در یک فشار خاص (۲۵۰۰psi) ۱۷/۲Mpa، ممکن است کری اور مکانیکی به بالای ۰/۲٪ برسد. سازندگان دیگ بخار می‌توانند اطلاعات واقعی طراحی را به منظور استفاده در دیگ بخار مخصوص خود عرضه بدارند، همانند آنچه که در شکل (۱۱) می‌توان مشاهده نمود.

کری اور بخارگونه در ترکیبات ذاتاً فرار موجود در آب تغذیه مخزن بخار رخ می‌دهد. برخی ترکیبات آمونیاک و آمین، تعمدا به آب و بخار سیرکوله تحت عنوان کنترل شرایط شیمیایی اضافه می‌شوند که به‌همین علت بخار شدنی (فرار) بوده و قادرند آب و بخار سیرکوله بخش‌های مختلف مخزن بخار را طی دورهٔ بهره‌برداری و نیز شرایط بی باری و خارج از مدار بودن محافظت نمایند.

به غیر از طرح‌های کنترل شیمیایی مورد اشاره و چند مادهٔ نمونهٔ خاص مانند سیلیس، اکسیدهای مس، هیدروکسیدها، ترکیبات آلومینیم و اسید بوریک، کری اور بخارگونه در فشارهای کمتر از (۲۳۰۰psi) ۱۶Mpa ناچیز و قابل چشم پوشی است.



شکل ۱۱- نمونه درصدهای کری اور مکانیکی به عنوان تابعی از فشار دیگ بخار (خط توپر). اطلاعاتی ویژه برای دیگ بخار که می‌تواند بشکلی بسیار دقیق‌تر توسط سازندگان فراهم گردد. خط نقطه چین نمایانگر نمونه است [۲]

ناخالصی‌های مولکولی در آب دیگ بخار قادرند به‌همراه بخار، تبخیر شوند. (کری اور بخارگونه) درجهٔ کری اور بخارگونه بصورت نرخ توزیع[1] مجموع ترکیبات یا ناخالصی‌ها در بخار به آن در آب دیگ بخار تعریف می‌شود. نرخ توزیع تابع آیتم‌های زیر می‌باشد:

۱. فشار استوانهٔ مخزن بخار

۲. TDS آب دیگ بخار

۳. PH آب دیگ بخار و فعل و انفعالات مابین ناخالصی‌های موجود.

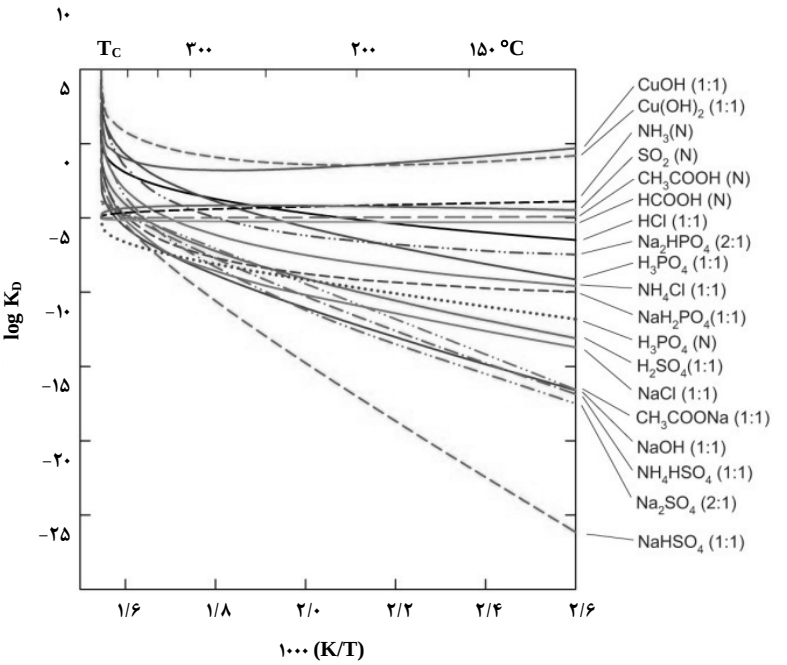
بنابراین، در مورد نمک‌ها و اسیدهای مربوطه و قلیاهای موجود در آب دیگ بخار همانند کلرید سدیم، اسید هیدروکلریک، هیدروکسید سدیم (کاستیک سودا)، آمونیاک، کلرور آمونیوم، اسید سولفوریک، سدیم و سولفات آمونیوم و بی سولفیت‌ها فراتر از محدودهٔ دمایی دلخواه، نیاز به آنالیز جهت کسب اطلاعات می‌باشند.

نتایج می‌تواند برای مدلسازی شیمیایی اطراف آب و بخار سیرکوله تحت رژیم شیمیایی در هر دمایی، همچنین PH یا ترکیبات آب دیگ بخار بکار رود. تجمعات ناخالصی‌های مجاز در آب دیگ بخار از بخارات گرفته تا مقادیر کری اور مکانیکی و بخارگونه نیز قابل محاسبه است.

در گذشته محتویات بخارگونه (V) کری اور کل از طریق دیاگرام نرخ توزیع (که معمولاً تحت عنوان ray-diagram ارجاع داده می‌شد) تخمین زده می‌شد. البته نظارت و مونیتورینگ در کارخانجات بی‌شماری نشان می‌دهد که دیاگرام ray قصور و کاستی‌های بسیاری داشته و بدلیل عدم ثبوت در شرایط بهره برداری، روش‌های سختگیرانه تری مورد نیاز می‌باشد.

بعد از طی شدن بیش از ۱۵ سال تحقیق در[2] IAPWS (موسسه بین المللی جهت ارائه خصوصیات آب و بخار)، اکثر جزئیات ثابت برای ترکیبات مهم آب دیگ بخار بدست آمده است.

شکل (۱۲) یک چنین گردآوری و پردازش اطلاعات به‌همراه دیگر مثال‌های مصور در مرجع‌های [۲] و [۳] را نشان می‌دهد. در بالاترین فشار ممکن، کری اور بخارگونه را می‌توان از ضرایب پخش (K_D) برای انواع مواد شیمیایی بکار رفته در یک دسته معادلات مقتضی استنتاج نمود. این پارامتر در تخمین توانایی بالقوهٔ انتقال آلاینده‌های موجود در محلول‌های آبی در تماس با سطوح، زیر سطوح و ذرات در حال تعلیق بکار می‌رود.



شکل ۱۲- ضرایب پخش (K_D) برای بعضی انواع مواد شیمیایی برحسب معکوس دما (برحسب کلوین) ترسیم گردیده است. [۳و۲] مثال‌های دیگری از ضرایب پخش را می‌توان در مرجع‌های [۲] و [۳] مشاهده نمود.

1. Distribution Ratio
2. International Association for the Properties of Water and *Steam*

۹- تشریح متدولوژی

یک نمونه بخار اشباع از یک نازل نمونهٔ محرک در لینک‌های ارتباطی راهنما از مخزن بخار بسمت بخار خشک‌کن اولیه برداشته می‌شود. این بخار نمونه، کندانس شده و مجموع سدیم موجود در آن سنجیده می‌شود. یک نمونه از آب دیگ بخار نیز از مخزن بخار در همان زمان گرفته شده و مجموع سدیم آن نیز اندازه‌گیری می‌شود. مجموع سدیم بخار در کنار مجموع سدیم موجود در آب مخزن بخار روی هم نمایانگر مقدار کلی کری اور هستند.نمونه آب مخزن بخار باید از خط بلودان که مستقیماً از مخزن بخار می‌آید، گرفته شود. آب بلودان مخلوط نسبتاً همگنی از آب تغذیه (توزیع شده بطور یکنواخت در طول درام) و نیز مخلوط آب و بخار برگشتی از تیوب‌های تبخیرکننده و همچنین رایزرهای تقسیم شده در امتداد طول درام می‌باشد. مخزن بخار دیگ‌های بخار فسیلی و قدیمی نسبتا دراز و نازک هستند لذا فرایند اختلاط[1] معمولاً با مشکلی مواجه نمی‌شود.

اجزای درونی مخزن بخار اگرچه ممکن است بشکلی نادرست نصب شوند اما این مشکلات معمولاً کشف شده و حین فرایند راه‌اندازی و بهره‌برداری رفع می‌گردند. بطور متداول وسایل نمونه‌گیری جهت نمونه‌برداری از آب و بخار در بالا و پایین سطح آب درام وجود دارند. آنها گاهی اوقات و بطور موقت در واحدهای تازه ای بقصد درجه‌بندی یا رفع اشکالات با کنترل کننده‌های سطح آب نصب میگردند و می‌توانند برای دستیابی به نمونه‌های آبی که در تماس آنی با بخار است، استفاده گردند. لیکن تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شدهٔ کری اور به اندازهٔ کافی قابل توجه نیست تا مجوز نصب دائمی این وسایل صادر گردد.

۱۰- استفاده از سدیم در تشخیص کری اور

نمک‌های سدیم از جمله Na_3PO_4 و یا NaOH جهت تصفیهٔ آب دیگ بخار مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدین علت که بخوبی در آب دیگ بخار قابل حل بوده و فراریت اندکی در بخار دارند، همین ویژگی آنان را به ردیاب‌های مناسبی برای تعیین مقدار کری اور کل تبدیل می‌کند.

مجموع سدیم لازم برای دیگ‌های بخار مورد تصفیه با فسفات بطور نرمال بین ppm (۵-۱) و جهت دیگ‌های بخار مورد تصفیه با کاستیک، بالای ppm ۱ می‌باشد. این مقادیر معمولاً جهت سنجش میزان کری اور (یک اندازه‌گیری اصولی از مجموع اثرات سدیم در بخار) کفایت می‌کند علی الخصوص اگر میزان تجمع سدیم از حد بالای محدوده مجاز، بالاتر رود.

تزریق اضافی سدیم برای دیگ‌های بخاری که تصفیه شیمیایی را با استعمال فسفات و کاستیک انجام می‌دهند، لازم نیست.

برای دیگ‌هایی که اکسیژن جهت تصفیه استعمال می‌کنند (OT) و یا تصفیهٔ تمام فرار (AVT)[2]، تجمع سدیم تحت فشار باید بعنوان مقدار ماکزیموم تجمع قابل قبول سدیم در آب دیگ بخار تعیین گردد. تجربه بر پایهٔ چنین آزمایشاتی، جامع، کامل و قابل قبول می‌باشد.

علاوه بر آن هر رفتار گذرا و ناپایدار یا دیگر زوایای پنهان عیوب مرتبط با اضافه نمودن مقدار سدیم می‌بایست بوسیلهٔ انجام آزمایش‌هایی در شرایط ثابت و پایدار بهره برداری، نرمالیزه گردد. به عبارت دیگر، سیستم باید به شرایط پایا و ماندگار آورده شود و سپس نمونه‌برداری‌ها انجام گردد. اگر نگرانی‌هایی راجع به تاخیر زمانی در نمونه‌گیری و آنالیز آن ایجاد گردید، انتخاب‌های دیگری نظیر نمونه‌گیری و آنالیز نمونه در مجاورت محوطهٔ مخزن بخار وجود دارد.

۱۱- روش نمونه‌گیری

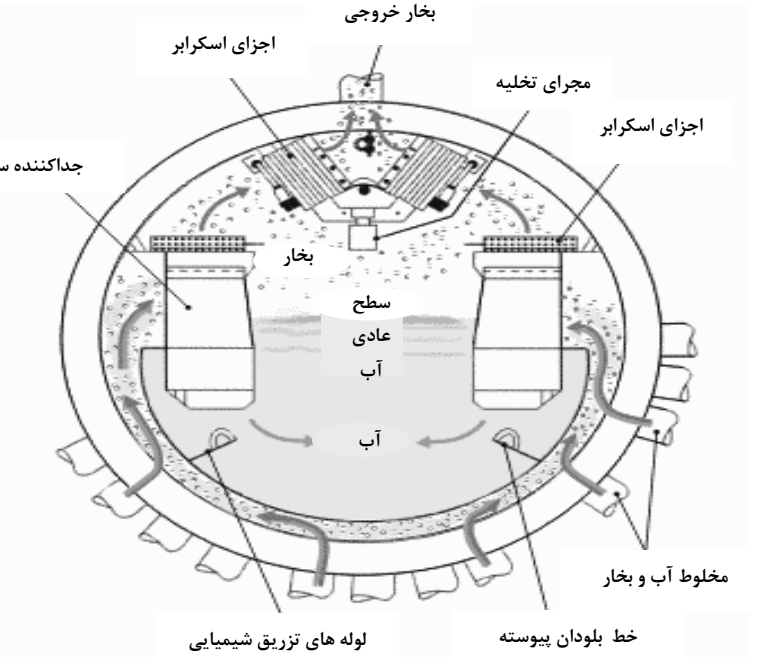
دیگ‌های بخار درام دار می‌توانند نازل‌های متعددی برای نمونه‌گیری درجه خلوص بخار داشته باشند (تا ۶ عدد در مسیر عبوری) که در خطوط ارتباطی مابین درام بخار و ورودی سوپرهیترهای اولیه واقع می‌شوند.

این نازل‌ها می‌توانند بطور مجزا با خطوط لوله نمونه‌گیری و شیرهای ایزوله در نظر گرفته شوند. جهت بهره‌برداری نرمال، خطوط نمونه‌گیری درون یک هدر جمع‌کننده تخلیه می‌گردند و از میان یک خنک‌کن نمونه بقصد نظارت مجزا در پانل ابزار نمونه‌گیری شیمیایی عبور می‌کنند.

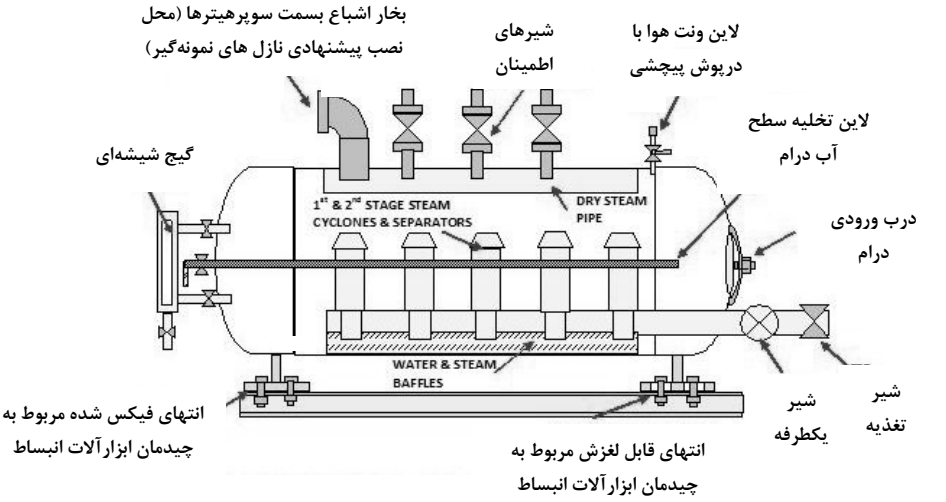
روش پیشنهادی هنگام ارزیابی خلوص بخار (مخصوصاً برای مرتبهٔ اول) مستقل نمودن لاین نازل‌های نمونه گیر و آنالیز یک نمونه از هر لاین می‌باشد. آزمایش‌های عملکرد اولیه باید شامل یک توصیف از رفتار کری اور باشد.

1. Mixing

2. All-Volatile Treatment



شکل ۱۳- چیدمان تجهیزات درون یک مخزن بخار [۹]



شکل ۱۴- نمایی دیگر از اجزای درونی یک مخزن بخار [۱۰]

بنابراین بخار اشباع نمونه‌برداری شده می‌بایست حداقل از هر۴ نقطه در امتداد طول درام بدست آمده باشد. این کار همچنین به بنا نهادن ملزومات نمونه‌گیری طی آزمایشات آینده و نیز نمونه‌گیری مداوم درجه خلوص بخار کمک می‌نماید.

۱۲- شرایط نمونه گیری

عملکرد اجزاء درونی مخزن بخار (و مقدارکری اور کل) اصولا وابسته به میزان بارگیری (شدت جریان بخار)، فشار بهره‌برداری و سطح آب می‌باشد. همانطور که می‌دانیم شدت جریان بخار و فشار بر روی

سرعت سیال و لذا عملکرد تفکیک‌گرها تأثیرگذار است. کری اور معمولاً تا رسیدن به میزان گذر جریان بخار نزدیک به نقطه‌ای که شرایط بهره‌برداری کامل می‌شود، (برای یک فشار طراحی خاص) کم (بطور قابل ملاحظه‌ای زیر محدودهٔ طراحی) و ثابت می‌باشد.

مهم است که اپراتورهای واحد دیگ بخار از عملکرد اجزای درونی مخزن بخار مانند کارکرد سطح آب دیگ آگاه باشند. یک افزایش در سطح آب بالاتر از حد نرمال، باعث کاهش ارتفاع بین سطح آب و تفکیک گرهای نهایی (درایرها) می‌شود. از اینرو جدایش ثقلی بین قطرات آب از بخار را کاهش می‌دهد. این مسئله می‌تواند اثر زیانباری روی کارآیی تفکیک گر بگذارد.

تارگت[1]های سطح آب جهت آزمایشات کری اور باید به نحوی انتخاب شوند که بتوانند در محدودهٔ مرزهای ایمن مورد تخمین بوسیلهٔ هشداردهنده‌های کنترل سطح آب و نیز تجارب گذشته، عالی عمل کنند. از اینرو آزمایشات خلوص بخار می‌تواند در شرایط مختلف انجام شود. یک مثال جهت نشان دادن تاثیر فاکتورهای مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است. هرچند، برای تعیین هدف طراحی یا کارکرد پیش بینی شدهٔ مخزن بخار یا سیستم تفکیک گر بخار، آزمایشات کری اور باید در شرایط بهره‌برداری کامل (ظرفیت نامی) صورت پذیرد.

۱۳- پیشگیری از وقوع کری اور

نمی توان ادعا نمود که پدیده کری اور بطور کامل قابل حذف است. حتی طراحی بهترین دیگ‌های بخار و اعمال عالی ترین رژیم کنترل شیمیایی آب نیز میزانی از کری اور را بر جای می‌گذارد. لیکن تلاش برای جداسازی هرچه بیشتر بین فاز آب و بخار معمولاً از جمله راهکارهای مؤثر در زمینه کاستن از احتمال وقوع آن می‌باشد. بهمین منظور در دیگ‌های بخار با ظرفیت تولید بخار پایین و فشار عملیاتی کم (معمولاً نوع فایر تیوب) راهکار پیشنهاد شده در این زمینه بطور عمده بر پایهٔ جداسازی ثقلی بین آب و بخار می‌باشد. در فشار ۲۰۰psig، چگالی آب ۱۱۵ برابر بزرگتر از بخار می‌باشد. در این حالت بخار با خلوص بالا و دقیق مدنظر نیست در نتیجه صرفا نصب درایرها (لوله‌های خشک‌کننده) تقریباً در بالای دیگ، جداسازی مابین آب و بخار را بر طبق آمار افزایش می‌دهد.

۱. تارگت (Target) بمعنی قطعه‌ای است که برای آزمون درون خط لوله قرار گرفته و پس از طی زمان مشخص با توجه به خوردگی یا رسوبات ایجاد شده در آن، وجود ناخالصی در سیال ارزیابی می گردد.

جدول ۲- یک مثال از شرایط آزمایش بمنظور اندازه‌گیری مقدار کل کری اور (بیشینهٔ نرخ توالی یا بارگیری نسبت به ظرفیت دیگ بخار = MCR[2])

شماره آزمایش	درصد بارگیری از دیگ بخار (%MCR)	فشار عملکرد دیگ (aPM)	سطح آب، انحراف معیار از وضعیت استاندارد (mm)
۱	۱۰۰	بیشینه	۰
۲	۱۰۰	اسمی	۰
۳	۱۰۰	اسمی	۱۰۰
۴	۱۰۰	اسمی	+۵۰
۵	۱۰۰	اسمی	-۵۰
۶	۱۰۰	اسمی	-۱۰۰
۷	۱۰۵ (peak)	اسمی	۰
۸	۷۵	متناسب	۰
۹	۵۰	متناسب	۰

بمنظور دستیابی به بخار سوپرهیت مورد نیاز توربین، نیازمندی به خلوص بخار، سخت تر و دقیق تر می‌گردد. بهمین جهت در دیگ‌های بخار فشار بالا از نوع واتر تیوب، ادوات مکانیکی جداسازی داخلی نظیر سیکلون‌ها و یا چیورون‌ها (نوعی کاسه نمد) بهتر است جهت جداسازی دو فاز آب و بخار برای دستیابی به دیگ با اندازهٔ مقرون به صرفه در فشارهای بالا نصب گردند.

۱۴- راهکارهای اصلاحی حین بهره برداری

۱- هنگامی که تجمع آب سرریز دیگ بخار موجب کری اور گردد، افزایش دادن شدت جریان آب بلودان می‌تواند عموماً راه‌حلی ساده و مقتضی باشد.

۲- از آنجایی که نوسانات ظرفیت بخاردهی سبب ایجاد تلاطم و توربولانس در سطح آب مخزن تفکیک گر بخار می‌گردد و ایجاد غلیان در سطح آب می‌نماید، حتی‌المقدور می‌بایست بهره‌برداری از دیگ بخار در ظرفیت ثابت انجام گیرد و تناژ بخار را به آرامی افزایش یا کاهش داده شود. ضمنا سطح آب درام نیز نباید از حدود ۶۰٪ ظرفیت مخزن تجاوز نماید.

2. Maximum Continuous Rating

۳- هنگامی که سطح بالایی از ناخالصی‌ها در آب تغذیه جمع شوند، افزایش تزریق مواد شیمیایی بمنظور عملیات تصفیه آب اضافی می‌تواند یک راه حل باشد.

۴- پس از هر بار توقف دیگ بخار، می‌بایست با آب کندانس اقدام به شستشوی آن نمود و این کار را تا زمانی ادامه داد که خلوص آب خروجی از دیگ بخار (پس از شستشو) با آب ورودی همسان گردد.

۵- روغن و سایر مواد آلی موجود در آب همانطور که اشاره شد نقش مهمی در تولید این مشکلات دارند. با هدف حل این معضل، پاک نمودن مکرر آلودگی‌های آب تغذیه ضروری است.

۶- علاوه بر موارد فوق، استفاده از عامل‌های ضدکف[1] مؤثر می‌تواند بطور عمده گرایش به کری اور را کاهش دهد. از جمله این مواد می‌توان هلامین فرانس[2] که یک مادهٔ بسپاری ضد رسوب و خوردگی در دیگ بخار بر پایه پلی آمین بوده و جدیدا بطور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است را نام برد.

۱۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همانگونه که قبلا نیز اشاره شد حتی بهترین دیگ‌های بخار به لحاظ طراحی و نیز شرایط بهره‌برداری توام با برنامه تصفیه آب کاملا کنترل شده حداقل مقدار اندکی کری اور تولید خواهد کرد. کلید اصلی این است که بدانیم مقدار کری اور با چه میزان تلرانسی قابل قبول است و پس از آن سیستم دیگ بخار بمنظور تولید بخار با درجهٔ خلوص مورد نظر راه اندازی گردد. میزان مذکور با توجه به شرایط بهره‌برداری و عمدتا بصورت تجربی تعیین می‌گردد. علاوه بر آن اگرچه اجرای آزمایشات کری اور بین هر شش ماه تا دوازده ماه یکبار یک فاصلهٔ زمانی رضایت بخش برای دیگ‌های بدون تجربه در زمینه مشکل کری اور محسوب می‌شود، لیکن در دیگ‌های صنایع قند و نیشکر با توجه به بروز مستمر این معضل، انجام منظم و روتین نمونه‌گیری (ترجیحا بصورت روزانه) با استفاده از تجهیزات ابزار دقیق و ارسال گزارشات آنلاین به واحد آزمایشگاه جهت پایش وضعیت روزانه در ایام بهره‌برداری از دیگ بخار توصیه می‌گردد.

مراجع

[۱] آرشیو فنی شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک‌خان، کیلومتر ۷۵ جاده اهواز، خرمشهر، خوزستان.

[2] Dooley, R. B., Ball, M., Bursik, A., Rziha, M., and Svoboda, R., "Water Chemistry in Commercial Water-Steam Cycles", in Aqueous Systems at Elevated Temperatures and Pressures: Physical chemistry in Water, Steam and Hydrothermal Solutions (D.A. Palmer, R. Fernández-Prini and A.H. Harvey, eds.), Elsevier, Ch. 17, (2004).

[3] Palmer, D. A., Simonson J. M., and Jensen, J. P., "Partitioning of Electrolytes to Steam and their Solubilities in Steam", in Aqueous Systems at Elevated Temperatures and Pressures: Physical Chemistry in Water, Steam and Hydrothermal Solutions, (Palmer, D.A., Fernández-Prini, R., and Harvey, A.H., eds.), Elsevier, Ch. 12, (2004).

[4] Srisukvatananan, P., Lister, D. H., Svoboda, R., and Daucik, K., "Assessment of the State of the Art of Sampling of Corrosion Products from Water and Steam Cycles", Power Plant Chemistry 9, 613,(2007).

[5] Standard Practice for Sampling Steam, ASTM D1066, (1995).

[6] Standard Practice for Flow Control and Temperature Control for On-Line Water Sampling Analysis, ASTM D5540, (1995).

[7] Port, D. R., Herro, M. H., "The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis", Nalco Chemical Company, (1991).

[8] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. I: "Power Boilers" Pub. American Society of Mechanical Engineering, (1995).

[9] [Online].<http://onnyapriyahanda.com/komponen-boiler-pip aair.html>.

[10] [Online].http://www.brighthubengineering.com/marine-engines machinery /74949-inspection-carried-out-in-boiler superheater -and-in-steam-drum.html>.

[11] Adam, E. J., Marchetti, J. L., "Dynamic simulation of large boilers with natural recirculation", Volume 23, Issue 8, Pages 1031–1040, (August 1999)

1. Anti Foaming
2. Helaminfrance