



دانشگاه شهر

## بررسی علل رسوکداری در سیستم مدار ثانویه راکتور تحقیقاتی تهران و راههای جلوگیری از آن

فریدون افلاکی\*، نسرین کی نیا

سازمان ابریزی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده علوم هسته‌ای، صنایع پستی ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶

### چکیده:

ناخالصیهای موجود درآب برجهای خنک کننده موجب بروز مشکلاتی نظیر رسوک‌هی، خوردگی، ایجاد کف، آلودگی میکروبی و فاسد شدن تدریجی نرده‌های چوبی در سیستم خنک کننده می‌گردد. مشکل سیستم مدار ثانویه راکتور تحقیقاتی تهران، ایجاد رسوک در لوله‌ها و مبدل‌های حرارتی آن است. در این تحقیق با تجزیه شیمیایی آب برج خنک کننده نشان داده شد که آب آن نسبتاً خاصیت رسوک دهنی دارد. تجزیه شیمیایی رسوبات نشان دهنده وجود مقادیر بالاتر کلسیم و سیلیس نسبت به آهن و در نتیجه بیانگر تمایل بیشتر آب به رسوک دهنی است. به منظور نگهداری آب برج خنک کننده در حالت مطلوب استفاده از ستونهای تعویض یون (سختی‌گیر) و حفظ سیکل تغییط مناسب و همچنین استفاده از فیلتر فیزیکی جهت حذف مواد نامحلول وارد شده به آب در اثر فعالیت فن‌ها، توصیه شد.

واژه‌های کلیدی: برج خنک کننده، رسوک دهنی، خوردگی، تصفیه آب

### مقدمه

در صنعت به منظور گرفتن حرارت از قسمتهای فرایندی از برج خنک کننده استفاده می‌شود. سیستمهای خنک کننده بر اساس شرایط مصرف، میزان تبادل حرارت و کیفیت آب به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند [۱] :

- الف- سیستمهای خنک کننده گردشی باز
- ب- سیستمهای خنک کننده گردشی بسته
- ج- سیستمهای خنک کننده گنرا (یک طرفه)

از بین سه گروه فوق سیستمهای گردشی باز به دلیل راندمان بالاتر بطور گسترده‌ای در صنایع استفاده می‌شود. در این نوع از سیستمهای خنک کننده، آب پس از جذب حرارت اضافی به برج هایی هدایت شده، در این برجها از طریق تبخیر و فن‌های موجود خنک شده و دوباره در سیستم گردش می‌کند.

در سیستم خنک کننده (مدار ثانویه) راکتور تحقیقاتی تهران، آب راکتور (مدار اولیه) با استفاده از دو مبدل حرارتی خنک می‌گردد. دو مبدل حرارتی به صورت **shell & tube** بوده که به طریق موایی در کنار هم قرار گرفته‌اند. جنس این مبدل حرارتی از استیل انتخاب گردیده است. آبی که به منظور خنک کردن آب استخراج راکتور وارد لونه‌های مبدل حرارتی می‌گردد پس از گرم شدن، در برج خنک کننده مجددًا خنک شده و وارد آب در گردش می‌شود. دبی و اختلاف درجه حرارت آب ورودی و خروجی برج خنک کننده به درجه حرارت آب استخراج راکتور که وارد **shell** می‌



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

گردد، بستگی دارد که این درجه حرارت خود به قدرت راکتور وابسته است. در گزارش اینمی راکتور دبی و درجه حرارت آب مدار اولیه و ثانویه راکتور با قدرت ۵ مگاوات بدین صورت گزارش شده است [۲]:

**2200GMP**

دبی آب خنک شونده (مدار اولیه)

**2300GMP**

دبی آب خنک کننده (مدار ثانویه)

**115.7 °F**

درجة حرارة آب مدار اولیه ورودی به مبدل حراري

**100 °F**

درجة حرارة آب مدار اولیه خروجي از مبدل حراري

**87 °F**

درجة حرارة آب مدار ثانویه ورودی به مبدل حراري

**102 °F**

درجة حرارة آب مدار ثانویه خروجي از مبدل حراري

سیستم خنک کننده شامل یک برج خنک کننده است که به صورت مدار نیمه باز است و آب و هوا در تماس مستقیم با هم قرار دارند. آب از برج خنک کننده بویلیه پمپ خارج می‌گردد و به مبدل حراري وارد می‌شود و پس از گرم شدن مجدداً به قسمت بالای برج برگردانده می‌شود [۳]. مشکلات زیادی در کار برجهای خنک کننده وجود دارد که از آن جمله می‌توان به خوردگی، رسوبدهی و وجود میکروارگانیسمها اشاره کرد [۴-۱۰]. مشکل مدار ثانویه راکتور تحقیقاتی تهران، ایجاد رسوب در نوشهای مبدل‌های حراري آن است. در این تحقیق با شروع به کار برج خنک کننده جدید سیستم مدار ثانویه راکتور تحقیقاتی تهران به مدت حدود دو سال تجزیه شیمیایی آب برج خنک کننده انجام شد تا وضعیت خورندگی و رسوبدهی آب سیستم خنک کننده مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با تجزیه شیمیایی رسوبات موجود در نوشهای برج خنک کننده، جنس رسوبات تشکیل شده مورد بررسی قرار گرفت. سپس با توجه به امکانات موجود، تمیز کردن سیستم و روشهای کنترل خاصیت رسوبدهی آب برج خنک کننده اجرا و یا توصیه شد.

**روش تحقیق****۱- آنالیز شیمیایی، فیزیکی و میکرو بیولوژی آب برج خنک کننده**

در این مرحله برای تعیین وضعیت آب سیستم خنک کننده در ۶ مرحله تجزیه شیمیایی آب برج خنک کننده انجام شد و پارامترهای مختلف آب از قبیل سختی آب، سختی کلسیم، مواد جامد معلق، غلظت یونهای آهن و.....اندازه گیری به عمل آمد [۱] که نتایج حاصل در جدول (۱) ارائه شده‌اند. همچنین تعداد کل باکتری‌های موجود در آب استخراج بعد از چهار ماه و یک سال از شروع فعالیت آن اندازه گیری شد که به ترتیب برابر  $58300$  و  $65700 \text{ cell/ml}$  بود.

**۲- تعیین ان迪س‌های پایداری رسوب و خوردگی**

با استفاده از نتایج آنالیز آب و با استفاده از روابط موجود، ان迪س لائزیه برای نوبتهاي مختلف تجزیه آب محاسبه شد که در جدول (۱) ارائه شده‌اند. با استفاده از این ان迪س تمایل آب به خوردگی یا رسوب دهی مشخص می‌گردد [۸]. ان迪س لائزیه یک روش برای پیشگویی **pH** اشباع آب است. در این روش اگر **pHs** واقعی آب کمتر از **pH** محاسبه شده باشد آب دارای ان迪س لائزیه منفی بوده و باعث حل شدن کربنات کلسیم خواهد شد و آب در این حالت خورنده است. چنانچه **pH** واقعی آب بیشتر از **pH** اشباع باشد آب دارای ان迪س لائزیه مثبت بوده و از کربنات کلسیم اشباع خواهد شد که آب در این حالت رسوب گذار است. وضعیت رسوب دهی با استفاده از ان迪س لائزیه به شرح زیر است [۱۱]:

ان迪س لائزیه



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

۲

آب رسوب دهی زیاد دارد

آب نسبتاً رسوب ده می باشد و کمی خوردنده است

نه خاصیت خوردگی دارد و نه رسوب دهی

آب خاصیت خوردگی داشته و رسوب دهی کم است

آب خاصیت خوردگی شدید دارد

-۲

. / ۵

۰ / ۰

-۰ / ۵

## ۳- رسوب برداری از سیستم خنک کننده و آنالیز رسوبات

یک برج خنک کننده در معرض تشکیل رسوباتی از منابع مختلف قرار دارد. مواد محلول و معلق موجود در آب ممکن است رسوب کرده و در سیستم ته نشین شوند. در سیستم های باز برج به عنوان تصفیه کننده هوا عمل می کند و به طریق فیزیکی، گرد غبار و سایر مواد جامد معلق را از آن خواهد گرفت. همچنین رسوبات ممکن است از خود سیستم حاصل شود نظیر محصولات خوردگی که درون سیستم تولید می گردد. تشکیل رسوبات در سیستم خنک کننده یکی از مشکلات عملیه برج های خنک کننده می باشد زیرا رسوبات باعث افت انتقال حرارت و کاهش راندمان می شوند در این قسمت از آزمایشات رسوب موجود در کف استخراج برج خنک کننده به روشهای جذب اتمی، **XRF** تجزیه شدند که در جدول (۲) نتایج حاصل ارائه شده است.

## بحث و نتیجه گیری

در بررسی نتایج آنالیز آب از بین عوامل شیمیایی مختلف، دما **pH**، قلیاییت کل و سختی کلسیم مورد بررسی قرار گرفت. خوردگی فلز با کاهش مقدار **pH** سرعت بیشتری می باید و در **pH** های کمتر از ۴، عامل اصلی خوردگی فلز، **pH** است. در **pH** های بین ۴-۱۰ سرعت خوردگی نسبتاً ثابت بوده و در **pH** های بالاتر از ۱۰، سرعت خوردگی به میزان زیادی کم می شود. بررسی تغییرات **pH** آب برج نشان می دهد که مقدار آن بین ۸/۷-۸/۲ بوده یعنی آب نسبتاً در حالت قلیایی است. در آنالیزهای انجام شده دمای آب برج عموماً زیر ۱۸۶ درجه فارنهایت بوده که در نتیجه تغییرات **pH** و دمای آب نشان دهنده این نکته است که سرعت خوردگی فلز باید پایین باشد [۹]. در حالتی که آب برج در حالت قلیایی باشد مراجع موجود محلوده مناسب را برای قلیایی **ppm** و سختی کلسیم **ppm** ۱۰۰-۸۰۰ گزارش شده است تا آب به لحاظ رسوب گناری و خوردگی در و ضعیت مناسبی باشد. با توجه به مقدار گزارش شده در جدول ۱، در اکثر موارد قلیاییت و سختی کلسیم در محلوده مذکور قرار دارد لذا انتظار براین است که آب برج خنک کننده اثر خوردگی یا رسوبدهی شدید ندارد. همچنین با محاسبه اندیس لائزله برای نوبت های مختلف آنالیز (جدول ۱) مشخص گردید که انحراف **pHs** واقعی از **pH** زیاد نبوده لذا آب برج خنک کننده ناپایداری زیادی ندارد و این امر که خاصیت رسوبدهی و خوردگی آن شدید نمی باشد را مورد تأیید قرار می دهد.

در برنامه کنترل میکروبی سیستمهای خنک کننده آبی، حد مجاز باکتری های موجود در سیستم باز **cell/ml** ۱۰۰/۰۰۰ می باشد [۱]. اندازه گیری تعداد باکتری های موجود در برج خنک کننده در دو نوبت مختلف کمتر از حد مجاز فوق اعلام گردید لذا برج خنک کننده به برنامه کنترل میکروبی منظمی نیاز ندارد.



دانشگاه زیست

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

در بررسی نتایج حاصل از تجزیه رسوبات موجود در نویمهای سیستم خنک کننده دو نکته حائز اهمیت بود. نخست آنکه درصد کلسیم در رسوبات بسیار بیشتر از درصد آهن بود. این امر نشانگر آن است که محصولات رسوب گذاری نسبت به محصولات خوردگی بیشتر بوده و تمایل آب به رسوب گذاری را نشان می‌دهد. دوم آنکه درصد سیلیس رسوبات بسیار بیشتر از عناصر دیگر است. منبع تامین آب جبرانی برج خنک کننده، آب نونه‌کشی شهر تهران است و مقدار سیلیسی موجود در آن ناچیز ( $2 \text{ ppm}$ ) است. همچنین مقدار سیلیس آب برج خنک کننده در نوبت‌های مختلف تجزیه کمتر از  $14 \text{ ppm}$  به دست آمده است. مقدار مجاز سیلیس در آب برج خنک کننده چنانچه کمتر از  $200 \text{ ppm}$  باشد مشکل رسوب گذاری در برج وجود نخواهد داشت [۱]. بدین ترتیب مقدار قابل توجه سیلیس در رسوب برج خنک کننده می‌تواند از فعالیت فن‌های برج خنک کننده ناشی شود که گردوغبار و دیگر ذرات موجود در هوا را به درون آب برج خنک کننده وارد کرده و باعث ایجاد رسوب در سیستم می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق فوق مکانیسم‌های زیر جهت کنترل رسوب گذاری در برج خنک کننده راکتور تحقیقاتی تهران می‌تواند مد نظر قرار گیرد:

الف- کنترل سیکل تغییظ: در حین اجرای فرایند خنکسازی مقداری از آب برج خنک کننده تبخیر می‌شود که باعث افزایش غلظت املاح آب برج خنک کننده می‌گردد. با خارج کردن قسمتی از آب برج خنک کننده و جایگزینی آن با آب جبرانی می‌توان تا حدود زیادی غلظت آب در گردش را کاهش داد. این فرایند به دورریز معروف است و در اکثر برجهای خنک کننده برای کنترل وضعیت رسوب گذاری و خوردگی به کار گرفته می‌شود. نسبت جامدات حل شده (نظری یون کلرید) در آب در گردش برج خنک کننده به جامدات حل شده در آب جبرانی به سیکل تغییظ معروف است. با افزایش سیکل تغییظ می‌توان در مصرف آب جبرانی برج خنک کننده صرفه‌جویی نمود. عموماً برجهای خنک کننده در سیکل تغییظ ۳ کار می‌کنند زیرا در سیکلهای بالاتر، درصد آب جبرانی مورد نیاز سیستم جهت ایفای نقش خنک کننده برج تقریباً ثابت است و با افزایش سیکل تغییظ تغییر چندانی در کاهش آب جبرانی حاصل نمی‌گردد [۱، ۱۲]. با توجه به نتایج تجزیه آب برج خنک کننده و سیکل تغییظ تعیین شده (سیکل تغییظ  $> 3$ ، با استفاده از فرایند دورریز کردن می‌توان غلظت آب در گردش را کنترل نمود

ب- استفاده از رزین تبادل یونی (سختی‌گیر): متأولترین شکل تبادل یونی، نرم‌سازی آب است که در آن سختی محلول از طریق مبادله یونهای کلسیم و منیزیم با یون سدیم کنترل می‌شود و به سختی‌گیر معروف است. رزین تبادل یونی یونهای کلسیم و منیزیم را از آب گرفته و یون نرم سدیم را وارد آب می‌کند. بعد از مدتی که این جابجایی صورت می‌گیرد به تدریج یونهای سدیم موجود در رزین تمام شده و یون سخت جای آنرا می‌گیرد که در این حالت رزین اشباع می‌شود. مدت زمان لازم برای اشباع شدن رزین‌ها را سیکل کار کرد گویند. با استفاده از سختی‌گیر می‌توان سختی آب را به حد مطلوب (حدود  $100 \text{ ppm}$ ) رساند. با توجه به نصب بودن سختی‌گیر در برج خنک کننده، می‌توان از آنها جهت کنترل سختی آب استفاده نمود

پ- فیلتر کردن فیزیکی آب: انتخاب یک برنامه صحیح بر طرف ساختن رسوبات، احتیاج به در برداشتن یک سری عوامل مختلف است که می‌بایست مد نظر قرار گرفته و به کار برده شود. گاهی اوقات، تنها کنترل بر روی نسبت تخلیه آب برج جهت کاهش مقدار رسوب کافی است. برنامه‌های پیچیده‌تر شامل استفاده از مواد شیمیایی بازدارنده رسوب گذاری و خوردگی و تعدیلات مکانیکی مانند نصب یک سیستم جنبی صاف کردن جریان در حال کار می‌باشد. گردوغبار موجود در هوا از طریق فعالیت فن‌های برج خنک کننده وارد آب برج خنک کننده شده و موجب ایجاد رسوب



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

در برج خنک کننده می گردد. همچنین شن‌های ریز موجود در آب در اثر برخورد با بدن مبدل حرارتی، ایجاد سائیدگی و در قسمت هایی که سرعت آب در مبدل حرارتی ماکریم است باعث سوراخ شدن مبدل حرارتی می گردد. با نصب یک فیلتر فیزیکی، گرد و غبار و شن‌های ریز آب برج خنک کننده از مدار خارج می گردد. در تجزیه آب برج خنک کننده در تاریخ ۸۴/۱۰/۱ میزان کل جامدات معلق برج خنک کننده **۹۴ ppm** تعیین شد. در منابع علمی نیز هنگامی که مقدار مواد معلق موجود در آب خنک کننده از حد **۴۰ ppm** فراتر یابد فیلتر کردن آب توصیه شده است [۱، ۱۲].

**جدول (۱) تأثیر عوامل شیمیایی آب برج خنک کننده راکتور تحقیقاتی تهران**  
**(مقادیر TDS، قلیافت کل و یونها بر حسب mg/lit CaCO<sub>3</sub> و همایت بر حسب میکروزیمنس می باشد)**

تاریخ	PHs	هفتا	اندیس لائزنه	pH	TDS	T(°F)	Cl <sup>-</sup>	T.Alkanity	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K+Na
۸۳/۳/۲۴	۷/۳	۱۲۳۰	۰/۸	۸/۲	۸۶۲	۶۶	۱۱۶	۱۴۴	۱۳۶	۲۲۲	۱۱۵	۱۰۳
۸۳/۷/۲۰	۷/۳	۱۱۷۰	۰/۸	۸/۱	۸۳۵	۷۶	۱۲۱	۱۴۸	۱۴۶	۲۴۲	۱۳۴	۹۲
۸۳/۱۱/۱۸	۷/۴	۱۲۳۰	۰/۶	۸	۸۴۶	۶۵	۱۲۹	۱۶۰	۱۵۳	۲۳۱	۱۶۳	۱۰۴
۸۴/۳/۱۸	۷/۴	۱۱۸۰	۰/۵	۷/۹	۷۳۰	۵۷	۱۰۸	۱۴۰	۱۵۲	۲۲۹	۸۲	۱۱۸
۸۴/۶/۳۰	۷/۴	۱۱۷۰	۰/۸	۸/۲	۷۶۵	۶۲	۱۱۴	۱۴۹	۱۵۰	۲۱۹	۸۵	۹۹
۸۴/۱۰/۱	۷/۲	۱۵۱۰	۱/۱	۸/۳	۹۶۹	۶۸	۲۱۴/۶	۱۱۵	۱۶۷	۳۷۵	۹۶	۱۲۷
۸۳/۳/۲۴ (آب شهر)	۷/۸۵	۴۰۰	-۰/۲۵	۷/۶	۲۲۶	۷۵	۲۴	۱۲۴	۵۴	۱۰۳	۴۲	۲۶
۸۴/۱۰/۱ (آب شهر)	۷/۸۳	۴۰۵	-۰/۱۳	۷/۷	۲۵۷	۶۳	۳۲	۱۱۰	۴۶	۱۳۱	۴۷	۳۱

**جدول (۲) درصد عناصر موجود در رسوبات کف استخرو درصد خاکستر رسوبات کف و دیواره استخر**

Mg	Ca	Si	Al	Zn	Cu	Fe	Ni
۰.۲/۱	۶/۱۵	۰.۶/۲۵	۳۱/۴	۵۷/۰	۲۹/۱	۶۷/۲	۰/۰۴
Mn	Cr	Na	K	S	P	Pb	Cd
۳۵/۰	۷/۲	۸۷/۰	۸۵/۰	۵۱/۰	۰.۵/۰	۰.۲/۰	۰/۰۲



دانشگاه شهریور

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶ ، یزد



انجمن هسته‌ای ایران

### منابع

#### 1) Betz, Hand Book of Water Conditioning,1981

(۲) نسرین کی نیا سیستم خنک کننده مدار ثانویه راکتوره شهریور ۱۳۸۲

#### 3) Degremont, Water Treatment Handbook ,Six Edition Paris 1991

#### 4) Metals Handbook Asm,Vol 13,1987,B.Boffardi, Control of Environmental Variable in Water Recirculating System ,pp492-495

(۵) سیداحمد پیشمندی، اردکان، نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع، چاپ اول، ۱۳۷۷،

(۶) سید محمد سید رضی، کنترل خوردگی در صنایع، چاپ دوم، ۱۳۷۶، انجمن خوردگی ایران

(۷) بهروزان، خوردگی میکروبی، ۱۳۷۸،

#### 8)P.R. Puckorius ,J.M Brooke,A New Practical Index For Calcium

Carbonate Scale Prediction in Cooling Tower Systems , corrosion,  
Vol .47 , No.4, 1991,P.280

#### 9)W. Withman ,Effect of pH on Corrosion of Water , Ind.Eng.Chem. Vol.16,1924

#### 10)C.R.Asoese , D.I.Bain ,Take Advantages Of Effective Cooling Water Treatment Program, Chemical Engineering Progress, Vol.94, No.3, 1998,P.49

(۱۱) سید محمد سید رضی، کنترل خوردگی و رسوب دهی در آبهای خنک کن صنایع و عوامل موثر بر آن، پنجمین

کنگره ملی خوردگی دانشگاه صنعتی شریف شهریور ۱۳۷۶

#### 12)Dail Aqua CO. Cooling Water Chlorination System Design Manul, 2001