

تحلیل خرابی و دینامیک سیالات محاسباتی لوله‌های سوپرهیتر پلاتن در یک نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی برای ارائه‌ی طرح چیدمان بهترین جایگزین

علی اکبر شاهی (کارشناس ارشد)

سید ابراهیم موسوی نریشی (دانشیار)

علی جهانگیری* (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی

مهندسی مکانیک شریف، (پاییز ۱۳۹۹)
دوره ۳-۳۶، شماره ۲، ص. ۱۳-۱۹

بویلرها از مهم‌ترین اجزای نیروگاه‌ها هستند. لوله‌های سوپرهیتر در بویلرها نقشی اساسی دارند. با توجه به شرایط کاری لوله‌های سوپرهیتر، معمولاً بیشتر خرابی‌ها از این قسمت گزارش می‌شود. در نیروگاه مورد مطالعه، بیشتر خرابی‌ها در خم انتهایی سوپرهیتر پلاتن اتفاق افتاده است. هدف این بررسی یافتن علت خرابی است. سپس راه حل‌های ممکن برای حل این مشکل بررسی شد. با ملاحظات علت خرابی و مزایا و معایب این روش‌ها و نیز با توجه به نوع خرابی، روش مناسب انتخاب می‌شود که بر اساس روش گزینش شده و انجام محاسبات لازم، طرح‌های پیشنهادی برای جایگزینی طرح فعلی سوپرهیتر پلاتن نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی بندرعباس ارائه شد. این طرح‌ها در مقایسه با طرح فعلی نیروگاه اعتبارسنجی می‌شود. شرط پذیرش طرح پیشنهادی، مساوی بودن طول کل لوله‌ها در طرح اولیه و طرح پیشنهادی است. برای انتخاب بهترین طرح، طرح‌های پیشنهادی تجزیه و تحلیل سیالاتی و حرارتی می‌شوند. با توجه به نتایج آنالیز طرح جایگزین انتخاب خواهد شد.

واژگان کلیدی: تحلیل خرابی، سوپرهیتر پلاتن، ضخامت لایه‌ی اکسیدی، تحلیل CFD، متالوگرافی.

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین و بحرانی‌ترین اجزای بویلر، سوپرهیترها هستند.^[۱] عدم نگهداری و بهره‌برداری مناسب باعث بروز مشکلات و خرابی‌هایی در آن‌ها می‌شود. سوپرهیترها به دلیل کار در شرایط دما و فشار زیاد، در معرض خرابی‌های زیاد، از جمله اورهیت و شکست خزشی، هستند.^[۲] با توجه به آمار منتشره از نیروگاه‌های مختلف، بیشترین خرابی در بویلر متعلق به سوپرهیترهاست؛^[۳] دما و فشار سوپرهیتر در نوع خرابی آن بسیار مؤثر است.^[۴] در بررسی‌های انجام شده، علت بیشتر این خرابی‌ها بیش‌گرمایش بلندمدت و کوتاه‌مدت، خستگی، خزش و خزش - خستگی معرفی شده است.^[۵] در گزارش‌های متعدد، از روش متالوگرافی برای بررسی علت خرابی لوله‌های سوپرهیتر استفاده شده است.^[۶] همچنین در بعضی از پژوهش‌ها از روش‌های اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ی اکسیدی^[۸] اندازه‌گیری نازک شدن ضخامت لوله^[۹] برای شناسایی علت خرابی استفاده شده است. روش دیگری که برای یافتن علل خرابی به کار می‌رود، استفاده از تحلیل حرارتی نرم‌افزاری است.^[۱۰-۱۲] برخی پژوهش‌گران دیگر، مورد مطالعاتی خود را به یک جنس لوله‌ی خاص در یک بازه

* نویسنده مسئول

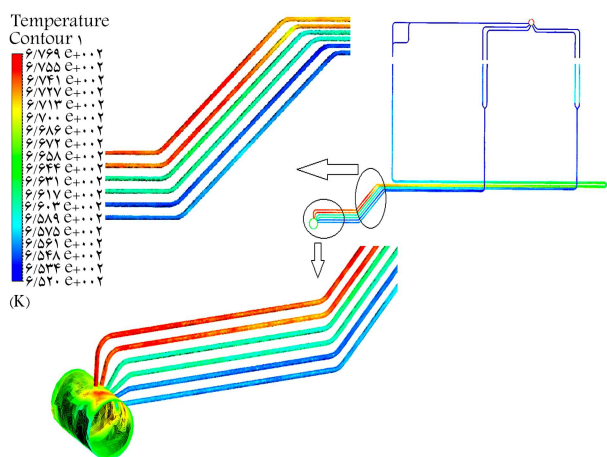
تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۸/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۹/۲/۱۲، پذیرش ۱۳۹۹/۳/۱۹.

DOI:10.24200/J40.2020.54621.1535

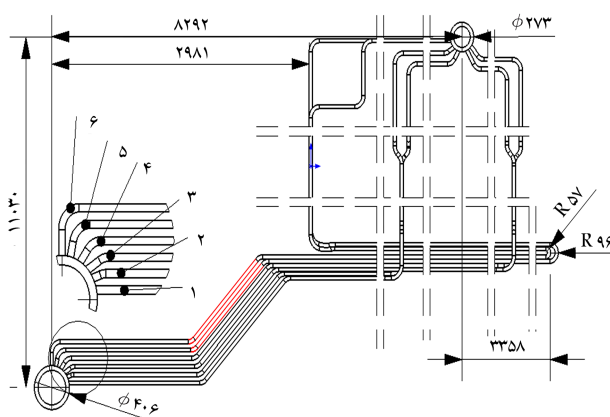
aliakbarshami@gmail.com
emoussavi@yahoo.com
a_jahangiri@ymail.com

زمانی بهره‌برداری مشخص معطوف کردند و به بررسی خرابی پرداخته‌اند.^[۱۳-۱۶] ساها^[۱۷] نیز با استفاده‌ی هم‌زمان از اندازه‌گیری ابعادی، میکروسکوپ نوری و آزمایش شیمیایی تحلیل حرارتی سوپرهیتر را انجام داده است. تعدادی دیگر به بررسی و تحلیل شرایط سوپرهیتر نیروگاه پس از گذشت یک مدت زمان کاری مشخص با استفاده از بازرسی‌های تجربی - شامل تصاویر متالوگرافی و ساختاری از لوله و تحلیل‌های نرم‌افزاری با روش اجزاء محدود^۱ FEM یا روش دینامیک محاسباتی سیال^۲ CFD - پرداخته‌اند.^[۱۸-۲۱] پژوهش‌گران دیگری نیز بررسی و تحلیل رفتار یک جنس خاص از لوله‌های سوپرهیتر را که معمولاً بیشترین کاربرد را دارند در دستور کار خود قرار داده‌اند. این کار را با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل حرارتی و سیالاتی، مقایسه‌ی ساختار لوله‌ی موجود با نمونه‌ی استاندارد عمر در هندبوک‌های مهندسی، یا مقایسه‌ی اندازه لایه‌ی اکسیدی تشکیل شده در قسمت داخلی لوله انجام دادند.^[۲۲-۲۵]

در این نوشتار، خرابی در سوپرهیتر اولیه (پلاتن) در یک نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی بررسی شده است. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که اکثر خرابی‌های سوپرهیتر این نیروگاه و واحدهای مشابه آن در یک ناحیه خاص از سوپرهیتر می‌باشد. این ناحیه در شکل ۱ با رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل ۲. دمای لوله‌های سوپرهیتر پلاتن نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی.



شکل ۱. نقشه سوپرهیتر پلاتن نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی.

۲. بیان مسئله

در این نوشتار با توجه به خرابی سوپرهیتر نیروگاه، سعی شده روشی برای جلوگیری یا کاهش این خرابی‌ها ارائه شود. در ادامه روش‌های ممکن موجود همراه با مزایا و معایب‌شان معرفی می‌شود؛ و سپس یک روش از بین آنها انتخاب می‌شود. بررسی ظاهری و متالورژیکی لوله‌های آسیب‌دیده نشان می‌دهد که دمای بهره‌برداری این لوله‌ها به مقدار قابل توجهی از دیگر لوله‌ها در موقعیت مشابه بالاتر است. با تحلیل حرارتی و روش CFD، این موضوع اثبات شده و طرح مناسب ارائه می‌شود.

نقشه سوپرهیتر پلاتن نیروگاه مورد نظر و محل خرابی آن با رنگ قرمز در شکل ۱ مشاهده می‌شود. در شکل ۲، دمای لوله‌های سوپرهیتر پلاتن یک نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی نمایش داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که در قسمت انتهایی متصل به هدر خروجی، دمای لوله‌ی شماره ۵ و ۶ از دیگر لوله‌ها بیشتر است. [۲۶] اختلاف دما بین لوله‌ی شماره ۱ و لوله‌ی شماره ۶ در این قسمت ۲۵ درجه کلوین است. در بررسی‌ها، علت اصلی خرابی، طول بلند دو لوله‌ی ۵ و ۶ نسبت به دیگر لوله‌ها معرفی می‌شود، زیرا با توجه به یکسان بودن فشار در هدر ورودی و هدر خروجی برای تمامی لوله‌ها و برابری افت فشار برای آنها، دبی در لوله‌های بلند کاهش می‌یابد. همین امر باعث کم‌تر خنک شدن لوله‌ها و بالا رفتن دمای آنها می‌شود. از طرف دیگر، طول بلندتر لوله‌ها باعث افزایش سطح انتقال حرارت آنها می‌شود و حرارت بیشتری از شعله جذب می‌کنند. هدف این نوشتار، ارائه روشی برای کاهش اختلاف دمای ۲۵ سلسیوس است. هرچه این اختلاف دما کم‌تر شود، احتمال خرابی نیز کم‌تر می‌شود و طول عمر نیروگاه افزایش می‌یابد.

برای جلوگیری از خرابی‌های مجدد راه‌های مختلف با مزایا و معایب متعدد وجود دارد:

۱. می‌توان جنس لوله‌ی بلندتر را با جنس مقاوم‌تری که دارای عناصر آلیاژی بیشتری است، عوض کرد؛ در این صورت مقاومت لوله در برابر درجه حرارت و عمر خزشی آن افزایش خواهد یافت.

۲. با تغییر در طول لوله‌ها و نوع آرایش آنها می‌توان دبی عبوری از لوله‌ها را متعادل کرد. البته باید به این نکته توجه داشت که سطح حرارتی لوله‌ها پس از تغییر طول و آرایش لوله‌ها نباید تغییر کند؛ در همین راستا چند طرح پیش‌بینی شده است.

۳. قرار دادن ارفیس مناسب در ابتدای لوله‌های کوتاه باعث کم شدن جریان در آنها و توزیع یکنواخت دبی در لوله‌ها می‌شود.

۴. می‌توان لوله‌ی بلندتر را با لوله‌ی با قطر بزرگ‌تر جایگزین کرد تا کمبود دبی جبران شود.

۵. تعویض موضعی لوله‌های آسیب‌دیده به فاصله‌ی ۱ متر از خم‌ها با لوله‌ی نو، که موجب تعادل در عمر باقی‌مانده‌ی لوله‌ها می‌شود. البته این پیشنهاد به‌عنوان راه حل موقت است.

این پیشنهادها همراه با مزایا و معایب هر کدام در جدول ۱ قابل مشاهده است. با توجه به جدول ۱، که راه‌حل‌های مختلف را نشان می‌دهد، روش «تعدیل طول لوله‌ها» راه‌حلی مناسب و همیشگی به نظر می‌رسد. در ادامه سعی بر این است که طرح‌هایی متناسب با همین هدف ارائه شود.

با توجه به این که شکل نقطه‌ی تیز ندارد، پاسخ‌های تحلیل CFD از صحت بالایی برخوردارند. با توجه به شکل ۲، دمای لوله‌های سوپرهیتر پلاتن نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی در ناحیه‌ی مورد نظر را می‌توان به‌صورت جدول ۲ تشکیل داد.

در جدول ۲ دمای تحلیلی نرم‌افزار و دمای آنلاین حسگر هر لوله در قسمت منتهی به هدر خروجی آورده شده است که دمای لوله‌های ۵ و ۶ از بقیه‌ی لوله‌ها بیشتر است. محاسبات انجام شده در نرم‌افزار CFD با مقدار دمای حسگرهای نیروگاه اعتبارسنجی شد که مورد تأیید است.

۳. طرح‌های پیشنهادی

طرح‌های ارائه شده به‌عنوان طرح پیشنهادی، باید از اندازه‌های هندسی و شرایط کاری سوپرهیتر نیروگاه پیروی کنند؛ یعنی عرض لوله‌ها، ارتفاع لوله‌ها، مکان هدر ورودی و هدر خروجی و ... دست نخورده باقی بماند. به همین منظور، ویژگی‌های هندسی لازم روی طرح فعلی نیروگاه در شکل ۳ معرفی می‌شود و در طرح‌های پیشنهادی نیز بررسی و رعایت می‌شوند.

با توجه به شکل ۳ و نمادهای a و b ، می‌توان گفت:

$$L_R = 2a + b \quad (1)$$

$$L_{R,C} = 12a + 3b \quad (2)$$

$$L_T = 14a + 2b \quad (3)$$

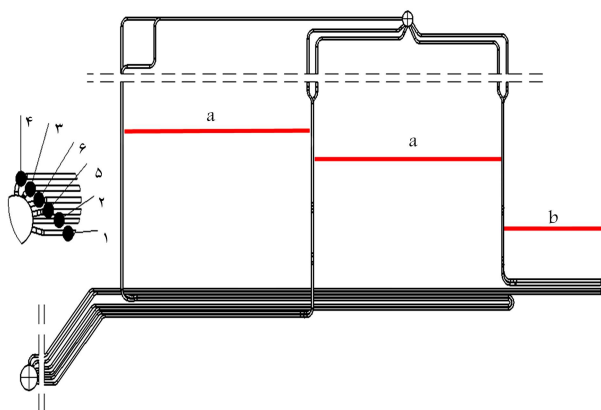
رابطه‌ی ۱ برای محاسبه طول لوله‌های تحت تشعشع مستقیم، رابطه‌ی ۲ برای محاسبه‌ی طول لوله‌های تحت انتقال حرارت هم‌زمان جابه‌جایی و تشعشع و رابطه‌ی ۳ برای

جدول ۱. راه حل‌ها با مزایا و معایب آنها.

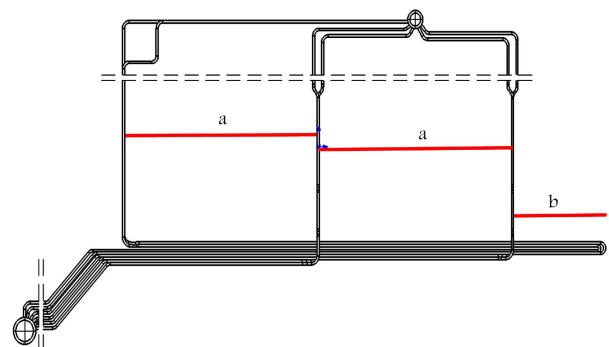
معایب	مزایا	راه حل
اختلاف دما ثابت می‌ماند، هزینه زیاد می‌شود.	تحمل دمای بیشتر	تعویض لوله با جنس بهتر
هزینه‌ی تغییر طرح و مطالعات	دمای بیشینه به دلیل تعدیل دبی کاهش می‌یابد.	تعدیل طول لوله‌ها
نیاز به انجام محاسبات بسیار دقیق برای قطر اوریفیس دارد؛ هزینه‌ی تهیه و نصب اوریفیس	دبی یکنواخت شده و در نتیجه دما کاهش می‌یابد	استفاده از اوریفیس در ابتدای لوله‌ها
نیاز به محاسبات دقیق از نظر سیالاتی و حرارتی دارد.	دبی یکنواخت شده و دما کاهش می‌یابد	افزایش قطر لوله‌ی بلندتر
موقتی است	هزینه‌ی اجرایی کمی دارد	تعویض موضعی لوله به فاصله‌ی ۱ متر از خم‌ها

جدول ۲. دمای لوله‌های سوپرهیتر در ناحیه بحرانی.

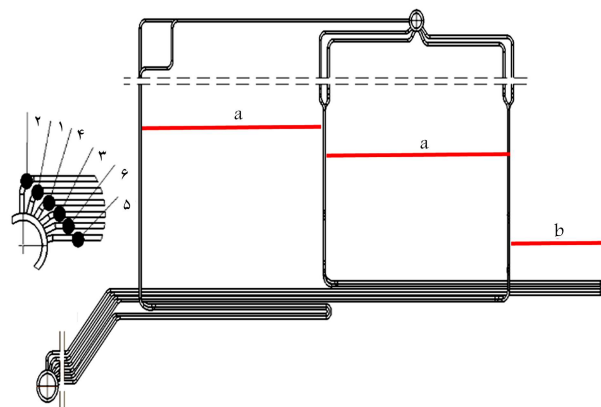
شماره لوله	دمای حسگر [K]	دمای تحلیلی [K]
۱	۶۵۳٫۲	۶۵۶
۲	۶۵۱٫۸	۶۵۲
۳	۶۵۶٫۷	۶۵۸
۴	۶۵۸٫۳	۶۵۹
۵	۶۷۳٫۵	۶۷۶
۶	۶۷۴٫۹	۶۷۷



شکل ۴. طرح پیشنهادی شماره ۱.



شکل ۳. شماتیک سوپرهیتر نیروگاه.

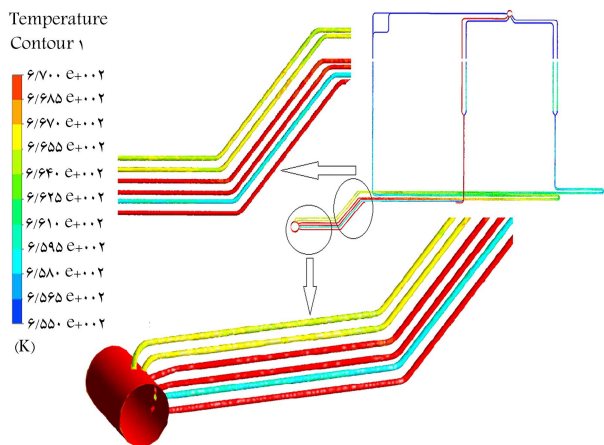


شکل ۵. طرح پیشنهادی شماره ۲.

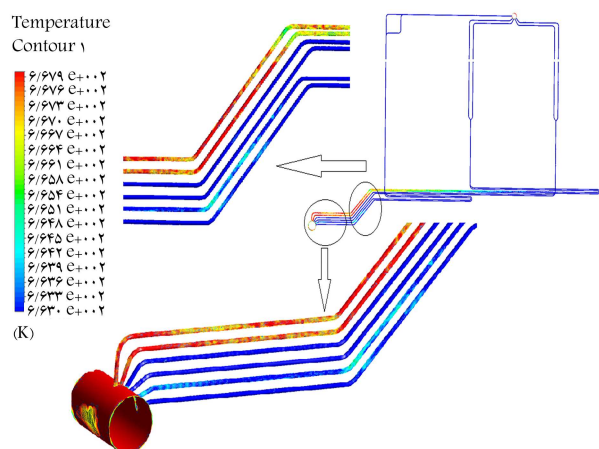
محاسبه‌ی طول کل لوله‌های قسمت پایین سوپرهیتر کاربرد دارند. با رعایت روابط بیان شده، سه طرح به‌عنوان طرح‌های پیشنهادی ارائه می‌شوند. در این طرح‌های پیشنهادی، ابتدا معیارهای هندسی بررسی می‌شود و سپس آنالیز حرارتی روی هر کدام انجام می‌گیرد تا بهترین طرح به‌عنوان جایگزین طرح فعلی نیروگاه انتخاب شود. در طرح پیشنهادی شماره ۱ (شکل ۴) که نسبت به طرح فعلی نیروگاه 32° مگاواتی یک خم 18° درجه بیشتر دارد، مقادیر روابط ۱ تا ۳ با طرح فعلی نیروگاه برابر است.

با توجه به شکل ۵، در طرح پیشنهادی شماره ۲، دو خم 18° درجه وجود دارد؛ برخلاف طرح فعلی که دارای یک خم 18° درجه بود. با این که تفاوت‌هایی در هندسه ایجاد شد اما سطوح انتقال حرارت (روابط ۱ و ۲) و همچنین طول کل لوله‌ها تغییری نکرده است.

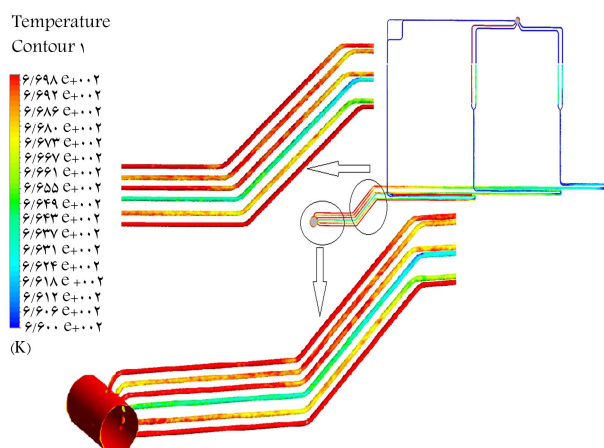
همانطور که مشاهده می‌شود در طرح پیشنهادی شماره ۳ (شکل ۶)، سه خم 18° درجه در قسمت پایینی سوپرهیتر پلاتن موجود است. با تغییرات ایجاد شده در طرح شماره ۳، باز هم مشاهده می‌شود که مقادیر روابط ۱ تا ۳ در این طرح با طرح فعلی نیروگاه یکسان است. سعی بر این بوده است که طرح‌های پیشنهادی، از نظر هندسی مشابه سوپرهیتر پلاتن فعلی نیروگاه باشد. به‌طوری معادل‌سازی طول لوله‌ها با تغییر در طول لوله‌ها



شکل ۷. دمای لوله‌های طرح پیشنهادی شماره ۱.

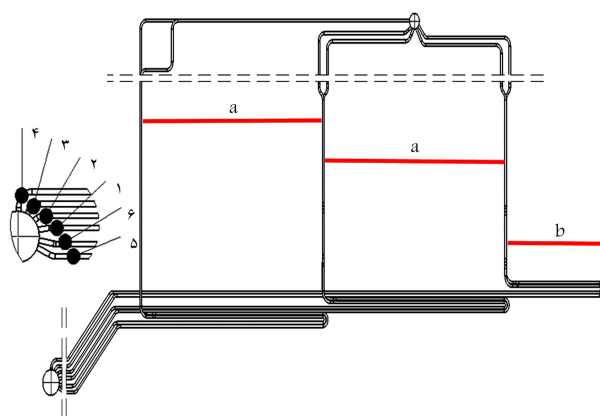


شکل ۸. دمای لوله‌های طرح پیشنهادی شماره ۲.



شکل ۹. دمای لوله‌های طرح پیشنهادی شماره ۳.

در نگاه اول، بازه دمایی ۶۵۵ تا ۶۷۰ درجه کلوین به چشم می‌خورد که نسبت به بازه دمایی طرح فعلی نیروگاه (۶۵۲ تا ۶۷۷ درجه کلوین) کوچک‌تر شده است. به عبارت دیگر اختلاف دمایی از ۲۵ درجه کلوین به ۱۵ درجه کلوین کاهش پیدا کرده است. موضوع جالب توجه دیگر این است که چهار لوله از شش لوله‌ی منتهی به هدر



شکل ۶. طرح پیشنهادی شماره ۳.

جدول ۳. طول لوله‌های سوپرهیتر از هدر ورودی تا هدر خروجی.

شماره لوله	لوله‌ی ۱ و ۲	لوله‌ی ۳ و ۴	لوله‌ی ۵ و ۶
طرح موجود	۲۷۲۰۰	۲۹۸۰۰	۳۹۲۰۰
طرح پیشنهادی ۱	۲۷۲۰۰	۳۳۰۰۰	۳۶۰۰۰
طرح پیشنهادی ۲	۳۷۵۰۰	۲۹۸۰۰	۲۸۹۰۰
طرح پیشنهادی ۳	۳۴۰۰۰	۳۳۰۰۰	۲۹۲۰۰

و تعداد خم‌ها انجام شده است؛ در حالی که مکان هدرهای ورودی و خروجی و فاصله عرضی لوله‌ها نسبت به نقشه سوپرهیتر نیروگاه بدون تغییر باقی مانده است. با توجه به طرح‌های پیشنهادی، طول لوله‌های هر طرح با لوله‌های سوپرهیتر پلاتن فعلی نیروگاه مقایسه شده است (جدول ۳). در طرح‌های پیشنهادی، سعی بر این بوده که تا حد امکان با حفظ شرایط کاری نیروگاه، اختلاف دمایی موجود کمینه شود. به عبارت دیگر، سعی شده طول لوله‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شود تا افت محسوس دبی که عامل اصلی به وجود آمدن اختلاف دما بین لوله‌هاست دیگر رخ ندهد. مقایسه‌ی آماری جدول ۳ نشان می‌دهد که طول لوله‌ها در طرح‌های پیشنهادی تعدیل شده است به طوری که در سیستم فعلی نیروگاه، بیشترین اختلاف طول طرح‌های پیشنهادی ۱، ۲ و ۳ به ترتیب به ۸۸۰۰، ۸۶۰۰ و ۸۴۰۰ کاهش یافته است. تعداد خم ۱۸۰ درجه از ۱ خم به ۲ و ۳ خم ۱۸۰ درجه رسیده است. برای بررسی بهتر سه طرح پیشنهادی، از روش CFD استفاده می‌شود.

۴. تحلیل حرارتی

طرح‌های پیشنهادی ابتدا به صورت سه‌بعدی مدل شده‌اند. پس از مش‌زنی به روش چهارضلعی، شرایط هدر ورودی به صورت جریان جرمی با مقدار ۲۹۳/۳۳ کیلوگرم بر ثانیه و دمایی ورودی ۶۳۸ درجه کلوین تنظیم می‌شود. شرایط مرزی دیواره ترکیبی بوده تا هم جابه‌جایی و هم تشعشع را لحاظ کند. ضریب انتقال حرارت ۱۰۷۵، دمایی جریان آزاد ۱۹۲۳ درجه کلوین و دمایی تشعشع خارجی ۱۰۲۳ درجه کلوین اعمال شده است. پس از بررسی استقلال از شبکه، روابط حاکم (روابط بقاء جرم، اندازه حرکت و انرژی) بر مبنای شرایط مرزی گفته شده حل می‌شود و توزیع دمایی سیال داخل لوله و نیز دما در سطح خارجی و ضخامت لوله‌ها به دست آمده است. در شکل‌های ۷ تا ۹ توزیع دمایی سیال داخل لوله‌ها در شرایط پایدار مشاهده می‌شود.

جدول ۴. مقایسه‌ی دمایی نیروگاه فعلی و طرح‌های پیشنهادی.

نام	اختلاف دما [K]	بازه دمایی [K]	دمای میانگین [K]
طرح فعلی سوپرهیت‌های پلاتن	۲۵	۶۷۷-۶۵۲	۶۶۵٫۵
طرح پیشنهادی شماره ۱	۱۵	۶۷۰-۶۵۵	۶۶۲٫۵
طرح پیشنهادی شماره ۲	۵	۶۶۸-۶۶۳	۶۶۵٫۵
طرح پیشنهادی شماره ۳	۱۰	۶۷۰-۶۶۰	۶۶۵

جدول ۵. مقایسه‌ی طرح پیشنهادی ۲ و ۳.

نام	بازه دمایی [K]	اختلاف دما [K]	دمای میانگین [K]	اختلاف طول [mm]
طرح پیشنهادی شماره دو	۶۶۸-۶۶۳	۵	۶۶۵٫۵	۸۶۰۰
طرح پیشنهادی شماره سه	۶۷۰-۶۶۰	۱۰	۶۶۵	۴۸۰۰

این طرح‌های پیشنهادی سعی شده دمای کمینه افزایش و دمای بیشینه کاهش یابد؛ این امر در هر سه طرح پیشنهادی به وضوح قابل مشاهده است. البته باید این امر با توجه به دمای میانگین هدر خروجی انجام گیرد تا عملکرد آن تغییر محسوسی نکند.

با توجه به جداول ۴ و ۵ بیشترین اختلاف دما بین لوله‌های سوپرهیت‌ر پلاتن در طرح پیشنهادی شماره ۱ با مقدار ۱۵ درجه کلون رخ داده است که حتی همین بیشترین اختلاف دما در طرح‌های پیشنهادی از طرح فعلی لوله‌های سوپرهیت‌ر ۱۰ درجه کلون کم‌تر است. در این میان طرح پیشنهادی شماره دو با ۵ درجه کلون اختلاف دما بین لوله‌های سوپرهیت‌ر پلاتن، کم‌ترین اختلاف دما و مطلوب‌ترین آن‌ها را ارائه می‌دهد.

در بین طرح‌های پیشنهادی ارائه شده، طرح پیشنهادی شماره ۲ دقیقاً دمای میانگین هدر خروجی برابر با طرح فعلی نیروگاه به مقدار ۶۶۵٫۵ درجه کلون را تأمین می‌کند. همچنین طرح پیشنهادی شماره ۳ نیز با اختلافی جزئی دمای میانگین هدر خروجی ۶۶۵ درجه کلون را نمایش می‌دهد که بسیار نزدیک به طرح فعلی نیروگاه است.

بیشترین دمای به دست آمده در طرح‌های پیشنهادی در بدترین حالت مقدار ۶۷۰ درجه کلون را گزارش می‌دهد که این مقدار در مقایسه با بیشترین دمای لوله‌های سوپرهیت‌ر پلاتن نیروگاه بندرعباس که ۶۷۷ درجه کلون است، ۷ درجه کلون اختلاف دارد.

۶. پیشنهاد

برای انتخاب بهترین طرح از بین سه طرح ارائه شده بر اساس موارد مورد بحث، مشکلی در انتخاب بین طرح پیشنهادی شماره ۲ و ۳ وجود دارد، که در ادامه با دقت بیشتری از جهات مختلف این دو طرح مقایسه می‌شوند.

بازه دمایی در طرح پیشنهادی شماره ۲ به دلیل کم‌تر بودن دمای بیشینه (۶۶۸ درجه کلون در مقابل ۶۷۰ درجه کلون) مناسب‌تر است و این که اختلاف دمای ۵ درجه کلون در مقابل اختلاف دمای ۱۰ درجه کلون، دمای همه لوله‌ها را تقریباً در یک سطح دمایی فراهم کرده است.

دمای میانگین هدر خروجی در طرح پیشنهادی شماره ۲ دقیقاً برابر با مقدار

خروجی در بازه دمایی ۶۶۸ تا ۶۷۰ درجه کلون قرار دارند که برای سیستم چندان مطلوب نیست.

در طرح پیشنهادی شماره ۲، بازه دمایی از ۶۶۳ تا ۶۶۸ درجه کلون است که در مقایسه با بازه دمایی طرح فعلی نیروگاه (۶۵۲ تا ۶۷۷) درجه کلون کاهش فوق‌العاده‌ی داشته است؛ به طوری که اختلاف دما را از ۲۵ درجه کلون به ۵ درجه کلون کاهش داده است و این یعنی طرح پیشنهادی شماره ۲، یک‌پنجم اختلاف دمای طرح فعلی نیروگاه را ارائه می‌دهد.

نکته‌ی جالب توجه در این طرح که آن را خاص می‌سازد این است که میانگین دمایی هدر خروجی در طرح پیشنهادی شماره ۲ برابر با ۶۶۵٫۵ درجه کلون است که دقیقاً برابر با میانگین دمایی نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی است و در نتیجه بازه تغییراتی نخواهد کرد. این موضوع در کنار کاهش اختلاف دما به یک‌پنجم مقدار اولیه واقعاً بی‌نظیر است.

همچنین در طرح پیشنهادی شماره ۲، چهار لوله در بازه دمایی ۶۶۳ تا ۶۶۴ درجه کلون و دو لوله‌ی دیگر در بازه دمایی ۶۶۶ تا ۶۶۸ درجه کلون مشاهده می‌شود. البته بیشترین دمای لوله‌هایی که قرمز رنگ هستند مقدار ۶۶۸ درجه کلون را نمایش می‌دهد که در مقایسه با طرح فعلی نیروگاه که دارای بازه دمایی ۶۵۲ تا ۶۷۷ درجه کلون است، دمایی کاملاً مناسب به نظر می‌رسد.

پس از تحلیل طرح پیشنهادی شماره ۳، بازه دمایی ۶۶۰ تا ۶۷۰ درجه کلون قابل مشاهده است که در مقایسه با بازه دمایی نیروگاه (۶۵۲ تا ۶۷۷) درجه کلون کاملاً مناسب است. اختلاف دما در این طرح ۱۰ درجه کلون است که در مقایسه با اختلاف دمای لوله‌ها در سوپرهیت‌ر پلاتن نیروگاه فعلی مطلوب است.

در این طرح میانگین دمایی هدر خروجی ۶۶۵ درجه کلون است که در مقایسه با میانگین دمایی هدر خروجی نیروگاه (۶۶۵٫۵ درجه کلون) ۰٫۵ درجه کلون کم‌تر است. با دقت در طرح پیشنهادی شماره ۳ مشاهده می‌شود که چهار لوله از شش لوله‌ی منتهی به هدر خروجی در بازه دمایی ۶۶۸ تا ۶۷۰ درجه کلون قرار دارند که این موضوع چندان مناسب نیست.

۵. مقایسه‌ی نتایج طرح‌ها

بازه دمایی طرح‌های پیشنهادی نسبت به طرح فعلی نیروگاه کاهش یافته است. در

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی و ارائه سه پیشنهاد برای کاهش مشکل خرابی لوله‌های آسیب دیده در بخش انتهایی لوله‌های سوپرهیتر پلاتن (اولیه) یک نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی، پرداخته شد. با ملاحظات مزایا و معایب طرح‌ها، علت و نوع خرابی (وجود پیش‌گرمایش بلندمدت)، طرح شماره ۲ به‌عنوان روش مناسب جایگزین، پیشنهاد شد. در طرح پیشنهادی شماره ۲ علاوه بر آن که بازده حفظ می‌شود، بازه دمایی کاهش یافته و اختلاف دما بین لوله‌ها از ۲۵ درجه کلوین به ۵ درجه کلوین خواهد رسید. همین امر باعث خواهد شد تا رخداد خرابی‌هایی از این نوع، در لوله‌های سوپرهیتر پلاتن نیروگاه کاهش یابد.

تقدیر و تشکر

در این پژوهش از خدمات «سامانه رایانش موازی دانشگاه شهید بهشتی» (سرمد) استفاده شده است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از خدمات این سامانه تقدیر و تشکر کنند.

پانوشتها

1. Finite Element Method
2. Computational Fluid Dynamic

منابع (References)

1. David, F., *Metallurgical failures in fossil fired boilers*, New York: A Wiley Interscience Publication (2000).
2. layer, J. and Adler, T. "Failure analysis and prevention", ASM International, **11**, pp.19-40(2002).
3. Jones, D.R.H. "Creep failures of overheated boiler, superheater", *Engineering Failure Analysis*, **11**, pp. 873-893 (2004).
4. Neves, D.L.C. and Seixas, J.R.C. "Stress and integrity analysis of steam superheater", *Material Research*, **7**(1), pp. 155-161 (2004).
5. Viswanathan, R. "An overview of failure mechanisms in high temperature components in power plants", *Electric Power Research Institute*, **122**, pp. 246-255 (2000).
6. Psyllaki, P.P., Pantazopoulos, G. and Lefakis, H. "Metallurgical evaluation of creep-failed superheater tubes", *Engineering Failure Analysis*, **16**, pp. 1420-1431 (2009).
7. Begum, S., Karim, A.N.M., Zamani, A.S.M. and et al. "Wall thinning and creep damage analysis in boiler", *Journal of Mechatronics*, **1**, pp. 1-6 (2013).
8. Pramanick, A.K., Das, G., Das, S.K. and et al. "Failure investigation of super heater tubes of coal fired power

هدر خروجی سوپرهیتر پلاتن در طرح فعلی است، که در طرح پیشنهادی شماره ۳ این مقدار ۶۶۵ درجه کلوین است. این اختلاف بسیار جزئی است اما وجود دارد. اختلاف طول بین لوله‌ها در طرح پیشنهادی شماره ۳ مطلوب‌تر است و طول لوله‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند. اما وجود سه خم ۱۸۰ درجه در این طرح باعث شده است که از نظر دمایی طرح پیشنهادی شماره ۳ چندان مطلوب و مناسب نباشد. دما از هدر ورودی تا هدر خروجی در طرح پیشنهادی شماره ۲ سیبی ملایم و بدون نوسان دارد که کاملاً مطلوب به نظر می‌رسد. اما در طرح پیشنهادی شماره ۳ بلافاصله پس از هدر ورودی، چند لوله دارای دمایی شدیداً بالا هستند و نوسان دمایی زیادی تا هدر خروجی وجود دارد؛ که این امر به هیچ وجه برای استفاده در شرایط کاری نیروگاه مناسب نیست.

در پایان بهترین طرح جایگزین برای لوله‌های سوپرهیتر پلاتن نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی از نظر نویسنده طرح شماره ۲ است؛ زیرا در کنار این که همان بازده تأمین می‌شود، بازه دمایی کاهش چشم‌گیری داشته و اختلاف دما بین لوله‌ها از ۲۵ درجه کلوین به ۵ درجه کلوین رسیده است. همین امر باعث خواهد شد تا دیگر شکست و خرابی مشابهی به این صورت در لوله‌های سوپرهیتر پلاتن نیروگاه ۳۲۰ مگاواتی رخ ندهد.

plant", *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, **9**, pp. 17-26 (2017).

9. Movahedi-Rad, A., Plasseyed, S.S. and Attarian, M. "Failure analysis of superheater tube", *Engineering Failure Analysis*, **48**, pp. 94-104 (2015).
10. Othman, H., Purbolaksono, J. and Ahmad, B. "Failure investigation on deformed superheater tubes", *Engineering Failure Analysis*, **16**, pp. 329-339 (2009).
11. Purbolaksono, J., Ahmad, J., Khinani, A. and et al. "Failure case studies of SA213-T22 steel tubes of boiler through", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **23**, pp. 98-105 (2010).
12. Al-Kayiem, H.H. and Albarody, T.M.B. "Numerical investigation of superheater", *WTT Transactions on Engineering Sciences*, **106**, pp. 1743-3533 (2016).
13. Liang, Z., Jin, X. and Zhao, Q. "Investigation of overheating of the final super-heater", *Engineering Failure Analysis*, **45**, pp. 59-64 (2014).
14. Purbolaksono, J., Ahmad, J., Beng, L.C. and et al. "Failure analysis on a primary superheater tube of a power plant", *Engineering Failure Analysis*, **17**, pp. 158-167 (2010).
15. Dehnavi, F., Eslami, A. and Ashrafzadeh, F. "A case study on failure of superheater tubes in an industrial power", *Engineering Failure Analysis*, **80**, pp. 368-377 (2017).
16. Fetni, S., Toumi, A., Mkaouar, I. and et al. "Microstructure evolution and corrosion behaviour of an ASTM A213 T91 tube after long term creep exposure", *Engineering Failure Analysis*, **79**, pp. 575-591 (2017).

17. Saha, A. and Roy, H. "Failure investigation of a secondary super heater tube in a 140 MW thermal power plant", *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, **7**, pp. 57-60 (2017).
18. Liang, Z., Jin, X. and Zhao, Q. "Investigation of overheating of the final super-heater", *Engineering Failure Analysis*, **45**, pp. 59-64 (2014).
19. Moussavi Torshizi, S.E. and Jahangiri, A. "Analysis of fatigue-creep crack growth in the superheater header of a power plant boilers and estimation of its remaining lifetime", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, **18**, pp. 189-198 (2018).
20. Dehnavi, F., Eslami, A. and Ashrafizadeh, F. "A case study on failure of superheater tubes in an industrial power", *Engineering Failure Analysis*, **80**, pp. 368-377 (2017).
21. Fetni, S. Toumi, A., Mkaouar, I. and et al. "Microstructure evolution and corrosion behaviour of an ASTM A213 T91 tube after long term creep exposure", *Engineering Failure Analysis*, **79**, pp. 575-591 (2017).
22. Tibba, G.S. and Altenbach, H. "Modelling creep behaviour of superheater materials", *Energy Procedia*, **93**, pp. 197-202 (2016).
23. Goyal, S., Mariappan, K., Shankar, V. and et al. "Studies on creep-fatigue interaction behaviour of Alloy 617M", *Materials Science and Engineering: A*, **730**, pp. 16-23 (2018).
24. Qi, J. Zhou, K. Huang, J. and et al. "Numerical simulation of the heat transfer of superheater tubes in power plants considering oxide scale", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **122**, pp. 929-938 (2018).
25. Kauppila, P., Kouhia, R., Ojanpera, J. and et al. "Sorjonen, a continuum damage model for creep fracture and fatigue analyses", *Procedia Structural Integrity*, **2**, pp. 887-894 (2016).
26. Shami, A.A., Moussavi Torshizi, S.E. and Jahangiri, A. "Experimental and computational investigation of platen superheater failure in 320 MW power plant", *Modares Mechanical Engineering*, **20**(2), pp. 509-514 (2020).