Research Paper

Investigating the destructive effects of improper control of CWT chemical regime in the operation of combined cycle power plant; a case study

Abbas Yousefpour[1*], Ali Bakhshi[2], Hossein Ghaseminejad[1], Mohsen Esmaeilpour[1], Danak kohzadi[3], Seyedeh Yas Farzaneh[3]

1. Chemistry and Process Research Department, Niroo Research Institute (NRI), Tehran, Iran

2. Power Plant Monitoring and Control Research Department, Niroo Research Institute (NRI), Tehran, Iran

3. Faculty of Petroleum and Chemical Engineering at Islamic Azad University – Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received:2025/04/30
Accepted:2025/06/08

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.71905/jnm.2025.1205436

Keywords:
Combined Cycle Power Plant, Chemical Water Treatment (CWT) Regime, Dissolved Oxygen (DO), Electrical Conductivity

Abstract

Introduction: The implementation of an effective chemical regime in combined cycle power plants is crucial for ensuring optimal performance. It plays a key role in preventing issues such as tube perforation, forced shutdowns, frequent maintenance, and reduced boiler performance and efficiency, all of which can negatively impact power generation. In this study a comprehensive instruction was proposed for high performance chemical control.

Methods: This study investigated the challenges faced in managing the Chemical Water Treatment (CWT) regime at the Fars Combined Cycle Power Plant. Through a series of water and steam cycle tests and sampling from the boiler drum outlet, it was found that certain parameters exceeded the allowable limits and did not comply with the plant's operational guidelines or EPRI standards.

Findings: The analysis of water samples, compared with international quality control standards, revealed that high pH levels in certain sections of the cycle and dissolved oxygen (DO) concentrations exceeding the permissible limit by more than four times were directly correlated with increased rates of corrosion.

Citation: Abbas Yousefpour, Ali Bakhshi, Hossein Ghaseminejad, Mohsen Esmaeilpour, Danak kohzadi, Seyedeh Yas Farzaneh, Investigating the destructive effects of improper control of CWT chemical regime in the operation of combined cycle power plant; a case study, Journal of New Materials; 2025 15 (58):16-15

***Corresponding author:** Abbas Yousefpour
Address: Niroo Research Institute (NRI), Dadman street, Tehran, Iran
Tell: +98(21)43767353
Email: ayousefpour@nri.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The use of the CWT (Combined Water Treatment) system in HRSGs (Heat Recovery Steam Generators) within Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) plants is not widespread. However, a select few units around the world have successfully implemented CWT for both drum-type HRSGs and, more commonly, for single-pass HRSGs. The application of CWT is more prevalent in once-through HRSGs due to the typical presence of a condensate system, a prerequisite for the implementation of CWT feedwater treatment. A key element for optimizing this chemical treatment process is the oxygen recirculation ratio. In the evaporator/drum, the oxygenated feedwater becomes diluted with recirculated HRSG water, resulting in a reduction of oxygen concentration downstream. To control this decrease, the ratio of feedwater/HRSG economizer oxygen to the oxygen in the downcomer must be considered under all operating conditions. This ratio, referred to as the oxygen recirculation ratio, varies depending on the design of the HRSG, pressures, and load. By closely monitoring this ratio, the maximum permissible oxygen level at the feedwater/economizer input can be determined for each load, ensuring that the oxygen in the downcomer remains below 5 ppb.

Findings and Discussion

Following thorough analyses, including repeated tests by accredited laboratories and the evaluation of operational trends, it was revealed that the tests conducted in the plant's laboratory—especially those concerning iron and silica—along with online and portable analyzers (EC, pH, and DO), require significant revision and improvement. A major cause for the unreliable results was identified as the non-standardized laboratory environment.

In light of these findings, a number of corrective actions and strategies for improvement have been suggested. The first priority is the systematic and continuous calibration of both online and portable analyzers. Additionally, iron and silica testing should be outsourced until optimal laboratory conditions are established at the plant. The operational procedures outlined in the project must be followed rigorously, and monitoring intervals should be shortened to improve data precision. Furthermore, continuous monitoring of dissolved oxygen levels during the water intake phase is critical for maintaining operational efficiency. To enhance chemical monitoring, improvements in the precision of chemical dosing procedures are necessary, alongside upgrading the performance of the deaerator system. A specialized inspection should be conducted to detect potential leakage issues. Additionally, chemical cleaning of the units is recommended to optimize the monitoring process and ensure more accurate results. Finally, the reconstruction of the sampling unit is essential due to the low reliability of the current results.

Conclusion

The findings highlight the need for revising operational guidelines and updating the acceptable ranges for key performance parameters. The priority recommendations include enhancing the performance of the chemical control unit through the upgrading of monitoring equipment, ensuring effective control of operational parameters, and implementing necessary infrastructure improvements.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

Participation in the present study was voluntary and the accomplished by the consent of all contributors, in full adherence to research ethics principles.

Funding

The costs of the present study were fully funded by the authors.

Authors' contributions

Performing tests:Yousefpour, Ghaseminejad, Kohzadi, Farzaneh
Data and result evaluation: Bakhshi, Yousefpour, Esmaeilpour
Writing: Yousefpour, Ghaseminejad, Kohzadi, Farzaneh, Bakhshi, Esmaeilpour

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی آثار مخرب کنترل نامناسب رژیم شیمیایی CWT در بهره‌برداری از نیروگاه سیکل ترکیبی؛ مطالعه موردی

عباس یوسف پور*[1]، علی بخشی[2]، حسین قاسمی نژاد[1]، محسن اسماعیل‌پور[1]، داناک کهزادی[3]، سیده یاس فرزانه[3]

۱. گروه پژوهشی شیمی و فرایند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
۲. گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
۳. دانشکده نفت و مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.71905/jnm.2025.1205436

واژه‌های کلیدی:
نیروگاه سیکل ترکیبی، رژیم شیمیایی تصفیه ترکیبی آب، اکسیژن محلول در آب، هدایت الکتریکی

چکیده

مقدمه: استفاده از رژیم شیمیایی مناسب در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی برای جلوگیری از خوردگی لوله‌ها، خاموشی‌های ناگهانی، تعمیرات مکرر و کاهش عملکرد بویلر که در نهایت منجر به افت تولید برق می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این میان، رژیم شیمیایی CWT[1] به‌عنوان یکی از روش‌های پیشرفته کنترل کیفیت آب تغذیه، نیازمند مدیریت دقیق به‌ویژه در بویلرهای HRSG[2] نیروگاه‌های سیکل ترکیبی است.

روش: در این مطالعه، چالش‌های ناشی از عدم کنترل دقیق رژیم CWT در واحدهای HRSG یک نیروگاه سیکل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، مجموعه‌ای از آزمون‌های تحلیلی بر روی چرخه آب و بخار انجام شد و نمونه‌برداری‌هایی از خروجی درام بویلر صورت گرفت. نتایج این آزمون‌ها نشان داد که مقادیر برخی پارامترهای حیاتی مانند غلظت اکسیژن محلول و هدایت یونی، از حدود مجاز تعیین‌شده در دستورالعمل‌های بهره‌برداری نیروگاه و استانداردهای EPRI[3] فراتر رفته‌اند، که این امر می‌تواند منجر به تسریع پدیده‌های خوردگی و کاهش ایمنی عملکرد سیستم گردد.

یافته‌ها: طبق نتایج بدست آمده از تحقیقات انجام شده بر روی نمونه آب نیروگاه و مقایسه با دستورالعمل های کنترل کیفیت مطابق استاندارد بین المللی، میزان بالای pH برخی از نقاط سیکل و DO تا بیش از ۴ برابر حد مجاز مستقیما با میزان خوردگی ارتباط داشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از آن است که ضمن اصلاح دستورالعمل بهره‌برداری و بروزرسانی حدود مجاز پارامترهای عملکردی، پیشنهادات اولویت‌دار بهبود عملکرد واحد کنترل شیمیایی از طریق ارتقاء تجهیزات پایش پارامترهای شیمیایی و کنترل مناسب آنها و همچنین اصلاحات زیرساختی مورد نیاز واحد نیروگاهی می‌باشد.

* **نویسنده مسئول:** عباس یوسف‌پور
نشانی: تهران. بلوار دادمان. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی شیمی و فرایند
تلفن: ۰۹۱۲۸۵۰۸۳۹۶
پست الکترونیکی: ayousefpour@nri.ac.ir

[1] Combined Water Treatment
[2] Heat Recovery Steam Generator
[3] Electric Power Research Institute

مقدمه

با وجود توسعه روزافزون نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (CCGT[4]) در صنعت برق، بهره‌گیری از رژیم ترکیبی تصفیه آب CWT در بویلرهای بازیاب حرارت (HRSG) هنوز به‌صورت گسترده رواج نیافته است. در حال حاضر، تنها تعداد معدودی از واحدهای عملیاتی در سطح بین‌المللی توانسته‌اند این رژیم شیمیایی را با موفقیت در سیستم‌های دارای درام[5] و به‌ویژه درHRSG های یک‌بار گذر پیاده‌سازی کنند [۱]. از جمله دلایل اصلی محدودیت در گسترش این رویکرد، می‌توان به الزامات فنی خاص آن نظیر نصب سیستم کاندنسیت[6] اشاره کرد که به‌عنوان پیش‌نیاز اساسی، خصوصاً در بویلرهای یک‌بار گذر [7] توصیه شده است. [۱ و ۲]

در این زمینه، آنچه اجرای مؤثر رژیم CWT را چالش‌برانگیز می‌سازد، ضرورت کنترل دقیق نسبت گردش مجدد اکسیژن است؛ نسبتی که نقشی کلیدی در تنظیم میزان اکسیژن محلول در بخش‌های مختلف بویلر ایفا کرده و مستقیماً با پیشگیری از خوردگی در نواحی حساسی همچون اواپراتورها[8] مرتبط است [۳]. این نسبت، بسته به طراحی بویلر، فشار کاری و بار عملیاتی سیستم، دارای نوسان است و عدم مدیریت صحیح آن می‌تواند به افزایش میزان اکسیژن در مناطق بحرانی منجر شود و در نتیجه، پدیده‌هایی نظیر خوردگی شتاب‌یافته (FAC[9]) را به‌دنبال داشته باشد.

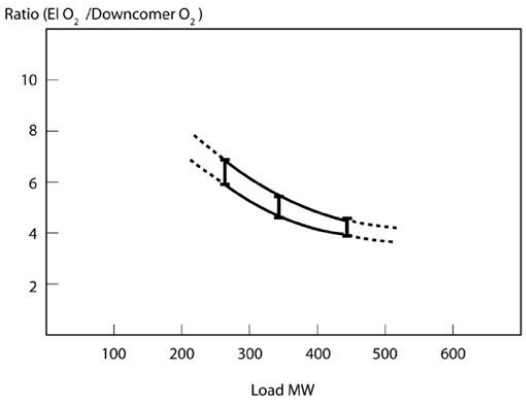
مطالعات مختلف به نقش احتمال تخریب‌های ناشی از عدم کنترل شیمیایی آب دیگ بخار و تأثیرات بالقوه چنین تخریب‌هایی بر عملکرد دیگ بخار و ثبات عملیاتی آن پرداخته است. همچنین، اقدامات مختلفی که می‌توان برای بهبود کیفیت آب دیگ بخار به منظور کاهش خوردگی از انواع مختلف (FAC، خوردگی حفره‌ای، خوردگی خستگی و ...) انجام داد، پیشنهاد شده است.[۴ و ۵]

دیدگاه های مختلف جهت بررسی عملکرد رژیم شیمیایی CWT از نظر کیفیت آب، نحوه بهره‌برداری و بروز پدیده و تأثیر دستورالعمل‌های عملیاتی در کنترل شیمیایی ، اندازه‌گیری پارامترهای کلیدی و کنترل آنها در محدوده مجاز و همچنین شرایط عملیاتی از نظر دما، فشار و نوع تجهیزات بررسی شده است. نقش اکسیژن در خوردگی لوله های مبدل حرارتی و کاهش راندمان بویلرها به دلیل بالا بودن اکسیژن نامحلول (بالای ۵۰ ppb) و همچنین عدم کنترل صحیح pH با روش های مختلف مانند شبیه سازی، تحلیل مورفولوژی لوله‌ها، بررسی طراحی اولیه بویلر و ... سنجیده شده است .[۶]

طبق مطالعات انجام شده از سال ۱۹۸۰ میلادی تاکنون، با وجود مکانیسم شناخته‌شده و اقدامات پیشگیرانه توسعه‌یافته، مشکل خوردگی بصورت FAC همچنان باقی است. در بسیاری از تحقیقات مدل‌های پیش‌بینی نرخ FAC که در مطالعات CFD به کار گرفته شده‌اند، مقایسه شده‌اند. تغییرات بر روی نوع زبری سطح و بکارگیری از پوشش‌های مختلف با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به کمک طراحان بویلرهای صنعتی به انجام رسیده است. از سوی دیگر تغییرات در طراحی لزوما منجر به کاهش پدیده خوردگی نخواهد شد. لذا، بهینه سازی در تغییرات مورفولوژی، طراحی، پوشش‌دهی، ایمنی سیستم، کاهش فرسایش و از همه مهمتر تغییرات در رژیم شیمیایی بهره‌برداری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. [۷-۹]

بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که تاکنون مطالعات تجربی و مدل‌سازی‌های دقیق درباره رفتار این نسبت در شرایط عملیاتی مختلف، بسیار محدود بوده‌اند. همچنین ارتباط مستقیم میان این نسبت و کنترل سطح اکسیژن در بخش‌هایی مانند دان‌کامر به‌طور کامل تبیین نشده است. مطالعه حاضر در پی آن است که با تمرکز بر این موضوع، مدلی تحلیلی برای تعیین سقف مجاز اکسیژن ورودی به اکونومایزر[10] در شرایط مختلف بارگذاری ارائه دهد، به‌نحوی که سطح ایمنی ۵ ppb در دان‌کامر[11] حفظ شود.

نمودار نسبت گردش مجدد اکسیژن باید مطابق شکل ۱ رسم شود. چنین شکلی، کنترلی را برای تعیین حداکثر سطح اکسیژن ارائه می دهد که می‌تواند در ورودی اکونومایزر مجاز باشد تا حد اکسیژن اواپراتور (downcomer 5ppb) را برآورده کند.



شکل ۱- نمونه‌ای از نسبت گردش مجدد اکسیژن رسم شده برای یک بویلر معمولی در بارهای مختلف

این مقاله با تکیه بر دستورالعمل‌های معتبر بهره‌برداری از واحدهای تحت کنترل شیمیایی اکسیژنی، رویه نوآورانه مبتنی بر کاهش احتمال خوردگی تجهیزات را پیشنهاد می‌نماید. در این رویه علاوه بر رعایت محدوده‌های مجاز عملیاتی پارامترهای شیمیایی سیکل آب و بخار، به

4 Combined Cycle Gas Turbine
5 Drum
6 Condensate
7 Once-through Boilers
8 evaporator
9 Flow-Accelerated Corrosion
10 Economizer
11 downcomer

شرایط بهره‌برداری چندین ساله نیروگاه پایلوت و همچنین نقش سیستم خنک‌کن بر روی پارامترهای سیکل نیز پرداخته شده است.
همانطور که پیش‌تر اشاره شد، کنترل سیکل حین استفاده از رژیم شیمیایی اکسیژنی در به حداقل‌رسانی احتمال خوردگی بسیار موثر است، لذا در این مقاله بصورت مشخص برای یک نیروگاه هدف، ابعاد مختلف کنترلی به منظور افزایش ضریب دسترسی واحد شناسایی شده و حدود عملکرد تبیین شدند.

اصول و مبانی (استانداردسازی بهره‌برداری)

عملکرد عادی CWT برای اواپراتور/درام (SALP[12]، IP[13] و HP[14])

در بویلرهای درام‌دار HRSG، رژیم CWT از نظر رویکرد کنترلی و اهداف شیمیایی، شباهت زیادی به رژیم AVT[15] دارد. عملیات عمده شامل نظارت برای اطمینان از حفظ کنترل کیفیت آب مناسب، رسیدگی به گردش‌ها در صورت تجاوز از محدودیت‌های کنترلی، یا اقدام زمانی که نظارت بر روند نشان می‌دهد که اقداماتی مورد انتظار است، می‌باشد. هدایت کاتیونی باید به عنوان کنترل اصلی برای درام HRSG که بر روی CWT کار می‌کند در نظر گرفته شود. کلرید به عنوان پارامتر اصلی در ارتباط با هدایت کاتیونی تعیین می‌شود. سدیم یک "پارامتر اساسی" است و باید به طور مداوم پایش و کنترل شود تا کلرید و سولفات به میزانی وجود داشته باشد که پتانسیل آسیب هیدروژن و خوردگی بیش از حد به حداقل برسد (تعادل سدیم). کنترل اکسیژن آب تغذیه برای نگه داشتن اکسیژن در لوله های واتروال[16] بویلر کمتر از ppb ۱۰ مورد نیاز است. pH آب اواپراتور/درام توسط pH آب تغذیه و خوراک آمونیاک کنترل می شود.

حد اکسیژن آب اواپراتور/درام کمتر از ppb ۵ باید روی نمونه آب از یک اواپراتور دان‌کامر اعمال شود. حفظ این حد اکسیژن باعث می‌شود که اکسیژن در لوله‌های اواپراتور به حداقل برسد. این منطقه از HRSG جایی است که آلاینده های متمرکز بیشترین آسیب خورنده را ایجاد می‌کنند و اکسیژن اضافی در این منطقه شرایط خورندگی را تشدید می‌کند. از دست دادن خوراک اکسیژن برای مدت کوتاه تأثیر نسبتاً جزئی بر مقاومت خوردگی سیستم آب تغذیه با استفاده از CWT دارد. تلاش‌های معمول تعمیر و نگهداری باید برای بازیابی تغذیه اکسیژن انجام شود. سطح مطلوب نرمال کمتر از ppb ۵ در نمونه دان‌کامر است.

تغذیه بیش از حد اکسیژن می‌تواند عواقب جدی در پی داشته باشد که منجر به خوردگی تسریع شده بخش‌های اواپراتور/درام HRSG شود. اگر اکسیژن باقیمانده از ppb ۵ در نمونه دان‌کامر بیشتر شود و در حال افزایش باشد، تغذیه اکسیژن باید فوراً قطع شود و دریچه‌های هوازدا (دی‌اریتور[17]) باز شوند.

تصفیه آب خوراک در رژیم CWT

مقادیر سیکل شیمی و سطوح عملکرد تصفیه آب تغذیه اکسیژن‌دار (CWT) برای HRSGهای یکبار گذر و درام‌دار متفاوت است. بویلرهای یکبار گذر با آب خوراک با مقادیر هدف اکسیژن بالاتر (ppb ۵۰–۲۰۰) و pH کمتر (۹–۸/۵) کار می‌کنند. در مقابل، آب تغذیه HRSGهای درام‌دار دارای سطوح بالاتر آمونیاک به منظور دستیابی به pHهای بالاتر (۱۰–۹/۶) و مقادیر هدف اکسیژن کمتر (ppb ۳۰–۵۰) است. HRSGهای درام‌دار به pH و قلیاییت بالاتری نیاز دارند تا از شرایط اسیدی در اواپراتور HP جلوگیری شود که می‌تواند ناشی از غلظت سطوح پایین آلاینده‌ها در آب خوراک باشد و همچنین برای محافظت در برابر پدیده FAC[18] و خوردگی آهن در درام های LP[19] و IP[20] که در آن سطح اکسیژن کاهش می یابد، به طوری که فقط pH عمل محافظت را انجام می‌دهد.

با تنظیم مناسب pH و غلظت اکسیژن (بر اساس نوع HRSG)، دستورالعمل‌های آب خوراک CWT برای تمام چرخه‌های آب تغذیه و الزامات خلوص بخار اعمال می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر هدف هدایت کاتیونی و سدیم برای HRSGهای درام و یکبار گذر یکسان می‌باشد.

متالورژی سیستم آب تغذیه در CWT باید تمام آهنی باشد (آلیاژهای حاوی مس فقط در کندانسور قابل قبول هستند). واحد CPP[21] (بستر عمیق یا رزین پودری) یک جزء حیاتی برای واحدهایی است که با شیمی CWT کار می‌کنند تا از مدیریت صحیح خلوص آب تغذیه اطمینان حاصل شود [۱۰].

غلظت ناخالصی‌های موجود در درون رسوبات لوله اواپراتور (اکسیدهای آهن، اکسیدهای نیکل و روی و مس و غیره) می‌تواند منجر به شکسته شدن مگنتیت محافظ شده و منجر به خرابی لوله HRSG "زیر رسوبی" به خصوص با مکانیسم آسیب هیدروژن، در HRSG درام‌دار بدون در نظر گرفتن رژیم تصفیه آب اواپراتور/درام شود [۱۱].

مقادیر هدف تصفیه آب خوراک در رژیم CWT

برای واحدهای درام‌دار دو دلیل برای محدوده pH بالا ۱۰–۹/۶ و یک منطق برای غلظت اکسیژن کمتر (ppb ۳۰–۵۰) برای آب خوراک وجود دارد. محدوده pH بالا برای به حداقل رساندن FAC و خوردگی عمومی آهن در درام های LP و IP به دلیل نیاز به اجرای تصفیه آب

12 Standalone Low Pressure
13 Intermediate Pressure
14 High Pressure
15 All Volatile Treatment
16 Water Wall

17 Deaerator
18 Flow-Accelerated Corrosion
19 Low Pressure
20 Intermediate pressure
21 Condensate Polishing Plant

اواپراتور/درام AVT هنگام استفاده از تصفیه آب تغذیه CWT اعمال می‌گردد. منطق دوم pH و منطق محدوده اکسیژن مرتبط هستند، و آنها باید از شرایط اسیدی و غلظت اکسیژن بیشتر از ppb ۱۰ در لوله های اواپراتور HRSG اجتناب کنند، زیرا این دو مورد به صورت هم‌افزایی عمل می کنند و منجر به خوردگی تسریع شده می شوند.

دستورالعمل کنترل شیمیایی نیروگاه سیکل ترکیبی پایلوت برای رژیم CWT مطابق با استاندارد مرجع به شرح زیر ارائه می‌شود. جدول‌های زیر نشان‌دهنده تمامی پارامترهای مجاز در بخش‌های مختلف جهت بهره‌برداری صحیح می‌باشند.

جهت آبگیری سیکل بخارضروری است آب دارای کیفیتی منطبق با جدول ۱ باشد [۱۱].

جدول ۱-کیفیت آبگیری واحد [۱۱]

پارامتر	حد مجاز
Specific Conductivity (µs/cm)	≤۰/۱
Sodium (ppb)	≤۲
Chloride (ppb)	≤۳
Sulphate (ppb)	≤۳
Silica (ppb)	≤۱۰
TOC (ppb)	≤۱۰۰

ابتدای راه‌اندازی می‌بایست از باز بودن دریچه تخلیه گاز [۲۲]اطمینان حاصل گردد. پس از باز شدن دایورتر متناسب با نمونه آب تغذیه، تزریق آمونیاک ۱ درصد مستقیما به درام LP، همچنین متناسب با pH نمونه آب درام‌های HP و IP تزریق سود ۰/۰۵ درصد جهت رسیدن به حالت pH نرمال مطابق جدول ۲ آغاز می‌گردد [۱۲].

جدول ۲- میزان pH نرمال واحد [۱۲]

LOCATION	
FEED WATER	**8-8.3**
IP DRUM	**9-9.5**
HP DRUM	**8-8.5**

لازم است کیفیت آب در بخش فوق منطبق با محدوده مجاز پارامترهای موجود در جداول زیر باشد. جهت دستیابی به pH در محدوده مورد نظر، تنظیم مقدارتزریق پمپهای آمونیاک همزمان با باز کردن دریچه تخلیه گاز به اندازه مورد نیاز (به تشخیص بهره بردار ومتناسب با میزان انحراف) کفایت می‌کند.

جدول ۳- محدوده مجاز پارامترهای عملکردی قبل از CPP

پارامتر	محدوده مجاز
Cation conductivity (µs/cm)	**≤0.3**
pH	**7.7-8**
Sodium (ppb)	**<2**
Dissolved oxygen (ppb)	**<20**

جدول ٤- محدوده مجاز پارامترهای عملکردی بعد از CPP

پارامتر	محدوده مجاز
Total Fe (ppb)	≤10
Aluminium (ppb)	≤5
Silica (ppb)	≤10
Na (ppb)	<2
Cation conductivity (µs/cm)	≤0.15

جدول ٥- محدوده مجاز پارامترهای عملکردی آب تغذیه

پارامتر	محدوده مجاز
Cation Conductivity (µs/cm)	≤0.15
pH	8-8.3
Dissolved Oxygen (ppb)	30-50
Ammonia (ppb)	~(18-60)
Specific Conductivity (µs/cm)	~(0.28-1)
Total Fe (ppb)	≤2
Sodium (ppb)	≤2

جهت دستیابی به محدوده مجاز pH در جدول فوق لازم است میزان تزریق آمونیاک به بخش بعد از CPP توسط پمپهای دوزینگ مربوطه، تنظیم گردد. همچنین غلظت اکسیژن مورد نیاز نیز از طریق تنظیم مقدار فلوی گاز عبوری از روتامتر نصب شده در مدول تزریق کاملا قابل دسترس می‌باشد.

جدول ٦- اقدامات اصلاحی موردنیاز هنگام آلودگی سیکل [۱۲]

اقدامات مورد نیاز	بازه مقداری کاتیون کنداکت
افزایش بلودان درام ها بدون توقف تزریق اکسیژن تا نرمال شدن پارامتر	بین ۰/۱۵ و ۰/۳
توقف تزریق اکسیژن همراه با بازکردن دریچه تخلیه گاز، یافتن منشاء آلودگی	بیشتر از ۰/۳

همچنین کیفیت آب در قسمت IP Drum و HP Drum باید در محدوده مجاز پارامترهای موجود در جداول ۷ و ۸ باشد. جهت تنظیم pH درام از محلول سود ۰٫۰۵٪ استفاده می‌شود [۱۳].

[22] Degasser vent

جدول ۷ : محدوده مجاز پارامترهای عملکردی IP Drum [۱۳]

پارامتر	*محدوده مجاز*
pH	9.1-9.4
Specific conductivity (µs/cm)	3.2-6.4
Dissolved Oxygen (ppb)	<5
Silica (ppm)	≤6
Chloride (ppm)	≤0.8
Sulphate (ppm)	≤1.6
Sodium (ppm)	≤2.1
Fe (ppb)	≤5

جدول ۸- محدوده مجاز پارامترهای عملکردی HP Drum [۱۳]

پارامتر	*محدوده مجاز*
pH	8-8.5
Specific conductivity (µs/cm)	0.25-1
Dissolved Oxygen (ppb)	<5
Silica (ppm)	≤0.57
Chloride (ppm)	≤0.15
Sulphate (ppm)	≤0.3
Sodium (ppm)	≤0.75
Fe (ppb)	≤5

کیفیت سیال بخار در این قسمت لازم است در محدوده مجاز پارامترهای جدول ۹ باشد.

جدول ۹- محدوده مجاز پارامترهای عملکردی Superheated Steam [۱۳]

پارامتر	**محدوده مجاز**
Cation Conductivity (µs/cm)	0.1
Silica (ppb)	5
Sodium (ppb)	2
Total Fe (ppb)	5

حدود کلی پارامترهای عملکردی در رژیم CWT مطابق دستورالعمل EPRI

در جدول ۱۰ حدود کلی پارامترهای عملکردی در رژیم CWT مطابق دستورالعمل EPRI تعریف شده توسط سازنده نیروگاه سیکل ترکیبی ارائه شده است [۱۴].

جدول ۱۰- پارامترهای عملکردی در رژیم CWT مطابق دستورالعمل [۱۴]

محل/ پارامتر	**مقادیر هدف/ نرمال**
تخلیه پمپ کندانسیت (CPD)	
هدایت بعد از تبادل کاتیونی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۰/۱۵ >
اکسیژن محلول (PPB)	۲۰ >
سدیم (PPB)	۲ >
ورودی اکونومایزر IP/HP / تخلیه پمپ تغذیه (آب بویلر LP)، ورودی پیش‌گرمکن	
آهن (PPB)	۲ >
هدایت بعد از تبادل کاتیونی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۰/۱۵ >
مس (PPB)	۲ >
اکسیژن محلول (PPB)	۳۰-۵۰
سدیم (PPB)	۲ >
درام IP (۱/٤ تا ٤/۱ مگاپاسکال)	
هدایت (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۹-۲۵
هدایت بعد از تبادل کاتیونی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۲۵ >
pH	۹/۵ -۹/۸
اکسیژن محلول (PPB)	۵ >
سدیم (PPB)	بیشتر از ۶۰ بر واحد ۱ میکروزیمنس بر سانتیمتر هدایت کاتیونی و کمتر از ۲۱۰۰
سیلیکا (PPB)	۶۰۰۰ >
کلرید (PPB)	۸۰۰ >
سولفات (PPB)	۱۶۰۰ >
آهن (PPB)	۵ >
درام HP (۱۲/٤ مگاپاسکال)	
هدایت (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۲/۷-۲۰
هدایت بعد از تبادل کاتیونی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۴/۵ >
PH	۹/۲ -۹/۸
اکسیژن محلول (PPB)	۵ >

سدیم (PPB)	بیشتر از ۶۰ بر واحد ۱ میکروزیمنس بر سانتیمتر هدایت کاتیونی و کمتر از ۷۵۰
سیلیکا (PPB)	۵۷۰ >
کلرید (PPB)	۱۵۰ >
سولفات (PPB)	۳۰۰ >
آهن (PPB)	۵ >
بخار فوق گرم (SH) LP/IP/HP / بخار ری‌هیت (RH)	
سدیم (PPB)	۲ >
هدایت بعد از تبادل کاتیونی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۰/۱۵ >
سیلیکا (PPB)	۱۰ >
کلرید (PPB)	۲ >
سولفات (PPB)	۲ >
کربن آلی کلی (PPB)	۱۰۰ >

بخش تجربی

با توجه به موارد ذکر شده در بندهای پیشین در این بند به صورت میدانی و تجربی موارد اختلافی بین دستورالعمل فعلی و دستورالعمل پیشنهادی این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، میزان رعایت دستورالعمل توسط بهره‌بردار و همچنین عبور از محدوده مجاز کنترلی طی جدول زیر بررسی می‌گردد.

ذکر این نکته ضروری است که، عدم تحقق محدوده پیشنهادی در دستورالعمل اصلاحی منجر به تشدید فرایند خوردگی، افزایش دفعات خروج واحد و همچنین آسیب‌های جبران‌ناپذیر تجهیزاتی خواهد شد.

جدول ۱۱ – اختلاف دستورالعمل اجرایی با دستورالعمل پیشنهادی تیم پروژه

آیتم اجرایی	اختلاف دستورالعمل فعلی و پیشنهادی
میزان سدیم در آبگیری واحد هنگام استارت	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۳ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲ ppb درج شده است
میزان هدایت کاتیونی در استارت توربین بخار	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۰/۵ و بیشتر از ۰/۳۵ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۰/۲ µs/cm درج شده است
میزان سیلیکا در استارت توربین بخار	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۴۰ و بیشتر از ۳۰ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۱۰ µg/kg درج شده است
میزان آهن کل در استارت توربین بخار	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۴۰ و بیشتر از ۳۰ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲۰ µg/kg درج شده است
میزان سدیم در استارت توربین بخار	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲ µg/kg درج شده است
میزان کلرید در استارت توربین بخار	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲ µg/kg درج شده است
میزان سولفات در استارت توربین بخار	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۳ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲ ppb درج شده است
میزان سدیم قبل از CPP در شرایط بهره‌برداری نرمال	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲۰ ppb درج شده است
میزان اکسیژن محلول قبل از CPP در شرایط بهره‌برداری نرمال	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۰/۱۵ µs/cm درج شده است
میزان هدایت کاتیونی بعد از CPP در شرایط بهره‌برداری نرمال	در دستورالعمل فعلی ۱۵۰–۳۰ و در دستورالعمل پیشنهادی ۵۰–۳۰ ppb درج شده است
میزان اکسیژن محلول آب تغذیه در شرایط بهره‌برداری نرمال	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۲۰ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲ ppb درج شده است
میزان آهن کل آب تغذیه در شرایط بهره‌برداری نرمال	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۲ ppb درج شده است
میزان سدیم آب تغذیه در شرایط بهره‌برداری نرمال	در دستورالعمل فعلی ۱۰–۹/۶ و در دستورالعمل پیشنهادی ۹/۴–۹/۱ درج شده است
میزان pH در IP Drum	در دستورالعمل فعلی ۲۵–۱۰ و در دستورالعمل پیشنهادی ۶/۴–۳/۲ µs/cm درج شده است
میزان هدایت ویژه در IP Drum	در دستورالعمل فعلی ۴–۱/۶ ppm درج شده است و در دستورالعمل پیشنهادی در نظر گرفته نمی‌شود
میزان NaOH در IP Drum	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۵ ppb درج شده است
میزان Fe در IP Drum	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۱۰ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۵ ppb درج شده است
میزان اکسیژن محلول در IP Drum	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۱۰ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۵ ppb درج شده است
میزان اکسیژن محلول در HP Drum	در دستورالعمل فعلی ۰/۱۵–۰/۰۴ ppm درج شده است و در دستورالعمل پیشنهادی در نظر گرفته نمی‌شود
میزان NaOH در HP Drum	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۱/۲ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۰/۵۷ ppm درج شده است
میزان سیلیکا در HP Drum	

میزان کلرید در HP Drum	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۰/۳ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۰/۱۵ ppm درج شده است
میزان سولفات در HP Drum	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۰/۶ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۰/۳ ppm درج شده است
میزان سدیم در HP Drum	در دستورالعمل فعلی کمتر از ۱/۲ و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۰/۷۵ ppm درج شده است
میزان Fe در HP Drum	در دستورالعمل فعلی در نظر گرفته نمی‌شود و در دستورالعمل پیشنهادی کمتر از ۵ ppb درج شده است
موارد و توصیه‌ها به منظور عملکرد مناسب هنگام خروج	موارد ذکر شده در بندهای مذکور علاوه بر خلاصه دستورالعمل می‌باشد که متمرکز بر شیوه بهره‌برداری است که در حال حاضر بصورت مدون در نیروگاه موجود نیست

تطبیق جداول پایه با شرایط سیستم خنک‌کن

در سیستم‌های خنک‌کن حاوی لوله‌های آلومینیومی، بخشی از آب گردشی به عنوان آب تغذیه مورداستفاده قرار می‌گیرد و حاوی محصولات خوردگی آلومینیوم می‌باشد. از اینرو می‌بایست این موضوع مورد پایش قرار گیرد. مقادیر بالای آلومینیوم می‌تواند باعث ایجاد رسوب در لوله‌های بویلر/ اواپراتور و یا بلیدهای توربین HP گردد. برای جلوگیری از این رسوبات، مقادیر آلومینیوم در آب تغذیه می‌بایست پایش گردد [۱۵–۱۸]. حدود آن به فشار بویلر و شیمی کنداسیت بستگی دارد. مطالعات حاکی از آن است که مقدار آلومینیوم کمتر از ۵ ppb در درام بویلرها/ اواپراتورها، آب بویلر کمتر از ۱ ppm و بخار کمتر از ۵ ppb محدوده مجاز به شمار می‌آید. برای بویلرها با فشار درام کمتر از ۱۰ مگاپاسکال، حدود بیشتری از آلومینیوم قابل در نظر گرفتن است [۱۸]. برای دستیابی به میزان آلومینیوم موردنظر دو راهکار برای شیمی سیکل وجود دارد[۱۸]:

الف) گزینه pH پایین با pH کنداسیت ۸–۷/۷، با توجه به pH آب تغذیه ۸/۳–۸.

ب) گزینه pH بالا با pH کنداسیت ۸/۷–۸/۴، با توجه به pH آب تغذیه ۹–۸/۷.

به منظور بررسی دقیق پارامترهای ذکر شده در بخش قبل، انجام برخی آزمون‌ها در محل نیروگاه و همچنین انجام نمونه‌برداری و پایش برخی عناصر مهم در آب بویلر در محل آزمایشگاه در دستور کار قرار گرفت که منتج به نتایج مهمی شدند. لازم به ذکر است، تجهیزات مورد استفاده برای انجام آزمون‌های در محل از این قرار بوده است:

- دستگاه اکسیژن متر EZDO مدل 7031 با محدوده قابل اندازه گیری ppb ۱ در دمای صفر تا ۵۰ درجه سانتی گراد ساخت کشور تایوان
- دستگاه هدایت‌سنج هانا مدل HI2300 دارای رنج اندازه‌گیری EC بین ۰/۰۰ میکروزیمنس تا ۵۰۰/۰ میلی زیمنس در دمای ۲۰- تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد ساخت کشور ایتالیا
- دستگاه pH متر هانا مدل HI2211 با دقت بالای اندازه گیری اسیدیته به میزان ۰،۰۱ pH ± ، ساخت کشور ایتالیا

همچنین پس از نمونه‌برداری از آب بخش‌های مختلف در اتاق نمونه‌گیری نیروگاه، میزان آهن موجود در نمونه با دستگاه ICP-MS Agilent 7500 اندازه‌گیری شد. کمترین حد قابل محاسبه برای نمونه های محلول حدودا تا ۱۰ ppb و برای نمونه های جامد بین ۰،۲ الی ۰،۵ ppm می باشد.

بحث و نتایج

در ادامه تمامی نتایج آنالیزهای در محل و انجام شده در آزمایشگاه جهت مقایسه و ارائه راهکار مناسب بهره برداری گزارش شده است.

جدول ۱۲- نتایج آنالیزهای انجام شده در آزمایشگاه و در محل نیروگاه

بویلر	موقعیت نمونه	آزمایشگاه EC	نیروگاه EC	آزمایشگاه pH	نیروگاه pH
بویلر ۱ و ۲	Before CPP	۰،۷۸	0.129	۷،۴۵	۸،۲
بویلر ۱ و ۲	After CPP	۰،۴۹	0.228	۷،۳۵	8.4
بویلر ۱	Feed	۰،۳۴	0.072	۷،۳۳	8.4
بویلر ۱	IP water	۱۰،۹۲	14.6	۸،۹۵	9.75
بویلر ۱	HP water	۰،۶۸	1.5	۸،۵۳	8.75
بویلر ۱	IP Super	-	0.075	-	8.55
بویلر ۱	HP Super	-	0.078	-	8.5
بویلر ۲	Feed	۰،۳۱	0.058	۸،۱۶	8.4
بویلر ۲	IP water	-	15.2	-	9.8

بویلر ۲	HP water	۲,۲۵	3.56	۸,۵۱	9.05
بویلر ۲	IP Super	۰,۲۸	0.072	۸,۰۲	8.3
بویلر ۳ و ۴	Before CPP	۰,۲۹	0.104	۷,۸۸	7.9
بویلر ۳ و ۴	After CPP	۰,۲۷	0.073	۷,۶۸	8
بویلر ۳	Feed	۰,۳۱	0.096	۷,۵	7.8
بویلر ۳	IP water	۸,۶۵	9.2	۸,۸۵	9.45
بویلر ۳	HP water	۰,۴۱	0.905	۷,۱۹	8.5
بویلر ۳	IP Super	۰,۳	0.066	۷,۵۲	8
بویلر ۴	Feed	-	0.067	-	7.7
بویلر ۴	IP water	۷,۴۸	10.3	۸,۷۵	9.5
بویلر ۴	HP water	۰,۶۲	1.11	۷,۹۹	8.7
بویلر ۴	IP Super	۰,۵۳	0.098	۸,۲۵	7.7
بویلر ۵ و ۶	Before CPP	۰,۳۷	0.208	۸,۰۶	8.2
بویلر ۵ و ۶	After CPP	۰,۳۵	0.506	۷,۹۸	8.3
بویلر ۵	Feed	۰,۴۴	0.073	۷,۸۳	8.1
بویلر ۵	IP water	۲۱,۷	17.4	۹,۴۴	9.7
بویلر ۵	HP water	۰,۴۶	0.52	۸,۴۵	8.4
بویلر ۵	IP Super	۰,۴	0.095	۸,۲۲	8.25
بویلر ۶	Feed	۰,۴۹	0.09	۸,۱۲	8.2
بویلر ۶	IP water	۱۲,۹۲	14.3	۸,۲۹	9.7
بویلر ۶	HP water	۰,۵۱	0.873	۸,۴۳	8.4
بویلر ۶	IP Super	۰,۳۴	0.049	۷,۲۹	8.05

بویلر ۱	درین اکونومایزر LP	۰,۵۳	۷,۸۹	8.2
بویلر ۱	درین اکونومایزر IP	۸,۴	۸,۷	
بویلر ۱	درین اواپراتور IP	۹,۶۴	۹,۱۴	
بویلر ۳	درین اواپراتور LP	۸,۷۱	۹,۲۷	
بویلر ۳	درین اکونومایزر IP	۸,۷۲	۹,۰۹	
بویلر ۳	درین اواپراتور IP	۱۱,۵۶	۹,۳۶	
بویلر ۵	درین اواپراتور LP	۵,۰۳	۸,۸۴	
بویلر ۵	درین اواپراتور IP	۶۲,۸	۱۰,۲۵	
بویلر ۵	درین اکونومایزر HP	۸,۰۴	۹,۰۳	
بویلر ۲	HP Super	-	-	
بویلر ۳	HP Super	۰,۳۲	۸,۲۳	
بویلر ۴	HP Super	۰,۴۲	۷,۸۸	
بویلر ۵	HP Super	۰,۳	۷,۵۹	
بویلر ۶	HP Super	۰,۳۶	۷,۵۹	

با در نظر گرفتن مقادیر بدست آمده در تست‌های انجام شده، نتایج تحلیلی زیر ارائه گردید:

- میزان هدایت محاسبه شده در نیروگاه و تیم پروژه اختلاف معناداری دارند که این موضوع پس از تست مجدد با تجهیز سوم تائید گردید. این امر نشان از نقص عملکرد آنالایزرهای آنلاین موجود در نمونه‌برداری دارد.
- اختلاف ناچیز بین میزان هدایت قبل و بعد از CPP (به خصوص در واحدهای ۲ و ۳) نشان از عملکرد نامناسب این تجهیز دارد.

- مطابق نتایج آنالیز نیروگاه و آزمایشگاه هدایت IP water در محدوده مجاز قرار ندارد و نیازمند بررسی جدی است.
- هدایت HP water در واحدهای ۱ و ۲ در محدوده غیرمجاز/مرزی قرار دارند و نیازمند بررسی جدی است.
- هدایت درین بویلرها در محدوده مجاز نیستند.
- میزان pH محاسبه شده در نیروگاه و آزمایشگاه اختلاف معناداری دارند که این امر نشان از لزوم بررسی عملکرد pHمتر موجود در نیروگاه دارد.
- میزان pH در before CPP در محدوده مجاز واقع نشده است.
- میزان pH آب تغذیه صرفا در بویلر ۶ مطابق محدوده مجاز گزارش شده است.
- مطابق نتایج آنالیز نیروگاه و تیم پروژه IP water pH تمامی واحدها در محدوده مجاز قرار ندارد و نیازمند بررسی جدی است.
- HP water pH در واحدهای ۱ و ۲ در محدوده غیرمجاز قرار دارند و نیازمند بررسی جدی است.
- میزان pH درین بویلرها نشان وضعیت نامناسب این تجهیز دارد.

جدول ۱۳- مقایسه میزان DO نیروگاه و تیم پروژه

بویلر	موقعیت نمونه	تست ۱ آزمایشگاه	تست ۲ آزمایشگاه	تست ۳ آزمایشگاه	تست ۱ نیروگاه	تست ۲ نیروگاه	تست ۳ نیروگاه
بویلر ۱ و ۲	Before CPP	380		430	186	190	170
بویلر ۱ و ۲	After CPP	240	160	370			
بویلر ۱	Feed	230	50	180	180	192	166
بویلر ۱	IP water	350		50			
بویلر ۱	HP water	180		20			
بویلر ۲	Feed		90	180	190	172	160
بویلر ۲	IP water		40	0			
بویلر ۲	HP water	130		0			
بویلر ۳ و ۴	Before CPP		100		190	210	160
بویلر ۳ و ۴	After CPP		30				
بویلر ۳	Feed	160		180	187		165
بویلر ۳	IP water	0					
بویلر ۳	HP water	0					
بویلر ۴	Feed	270		170	199		140
بویلر ۴	IP water	0					
بویلر ۴	HP water	0					
بویلر ۵ و ۶	Before CPP	170		127	142		130
بویلر ۵ و ۶	After CPP	70					
بویلر ۵	Feed	140		142	119		186
بویلر ۵	IP water	10					
بویلر ۵	HP water	40					
بویلر ۶	Feed	50		120	126		200
بویلر ۶	IP water	110					

مطابق دستورالعمل، اکسیژن تمامی نقاط خارج از محدوده مجاز می‌باشد و نیازمند بازنگری جدی در نحوه بهره‌برداری است [۱۸].

تغییرات بی‌قاعده در میزان اکسیژن در نقاط مختلف سیکل نشانگر عدم کنترل مناسب این پارامتر حیاتی در رژیم CWT می‌باشد. این چالش می‌بایست با فوریت بررسی و مرتفع گردد.

جدول ۱۴- مقایسه میزان Fe نیروگاه و آزمایشگاه

بویلر	موقعیت نمونه	آزمایشگاه (ppb)	نیروگاه (ppb)
بویلر ۱	Feed	<5	44.6
بویلر ۱	IP water	40	224.5
بویلر ۲	Feed	10.1	41.6
بویلر ۲	IP water	-	373
بویلر ۳	Feed	<5	38.7
بویلر ۳	IP water	<5	556
بویلر ۴	Feed	-	44.9
بویلر ۴	IP water	6	417.3
بویلر ۵	Feed	<5	56.4
بویلر ۵	IP water	26	534
بویلر ۶	Feed	<5	24.9
بویلر ۶	IP water	92	616.9
بویلر ۱	درین اکونومایزر IP	270.30	
بویلر ۱	درین اواپراتور IP	457.10	
بویلر ۳	درین اواپراتور LP	83.80	

997.50	درین اکونومایزر IP	بویلر ۳
246.40	درین اواپراتور IP	بویلر ۳
73.40	درین اواپراتور LP	بویلر ۵
306.30	درین اواپراتور IP	بویلر ۵
128.00	درین اکونومایزر HP	بویلر ۵

- میزان آهن در آب تغذیه مطابق آزمایش‌های صورت گرفته صرفا در بویلر ۲ خارج از محدوده مجاز می‌باشد، لیکن داده‌های نیروگاه حاکی از قرارگیری این پارامترها در همه واحدها در محدوده غیرمجاز است. لذا تست در نیروگاه می‌بایست صحت‌سنجی شود.

- میزان آهن در IP water تمامی واحدها در محدوده غیرمجاز قرار دارد، لیکن اختلاف معناداری بین مقادیر اندازه‌گیری شده توسط تیم پروژه و نیروگاه وجود دارد و نیاز است شرایط تست در نیروگاه بازنگری گردد.

- میزان آهن HP water در بویلر ۱ خارج از محدوده مجاز می‌باشد.

- مطابق استاندارد می‌بایست میزان آهن HP water نیز اندازه‌گیری و پایش گردد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج آنالیزهای انجام شده، تکرار آزمایش‌ها توسط آزمایشگاه‌های معتبر و تجهیزات دیگر و همچنین تحلیل روند تغییرات پارامترهای عملکردی، می‌توان گفت، تست‌های انجام شده در آزمایشگاه نیروگاه (خصوصا آهن و سیلیس) و همچنین آنالایزرهای آنلاین و پرتابل (EC، pH و DO) همگی می‌بایست مورد بازنگری جدی قرار گیرند.

یکی از دلایل عدم صحت عملکرد نتایج بدست آمده در آزمایشگاه نیروگاه، استاندارد نبودن فضای آزمایشگاهی می‌باشد.

اقدامات اصلاحی و راهکارهای بهبوددهنده از این قرار اعلام می‌گردد:

- کالیبراسیون نظام‌مند و مداوم آنالایزرهای آنلاین و پرتابل
- برونسپاری تست‌های مهم نظیر آهن و سیلیس تا حصول شرایط آزمایشگاهی بهینه در نیروگاه
- اجرای دقیق دستورالعمل پیشنهاد شده در مقاله
- کاهش فواصل زمانی پایش جهت کنترل بهتر رژیم شیمیایی مورد استفاده
- رصد مداوم روند تغییرات اکسیژن همزمان با آبگیری واحد
- بررسی موشکافانه در بخش تزریقات مواد شیمیایی
- اصلاح عملکرد و حصول اطمینان از هواگیر
- بررسی تخصصی نشتی احتمالی و جلوگیری از بروز نشتی
- شستشوی شیمیایی واحدها به منظور تدقیق فرایند پایش
- بازسازی واحد نمونه‌برداری[۲۳] با توجه به ضریب اطمینان پایین نتایج

بطور کلی می‌توان گفت، بهره‌برداری از رژیم شیمیایی CWT مستلزم دقت فرایندی بسیار بالا می‌باشد. از این‌رو توصیه می‌گردد نیروگاه‌هایی که تمایل به استفاده از این رژیم را دارند ابتدا زیرساخت قابل اعتماد پایش و کنترل را در نیروگاه مستقر نمایند و دستورالعمل بهره‌برداری را با الگوبرداری از دستورالعمل سازنده و همچنین مستندات علمی بروزرسانی نمایند. همچنین در این نوع رژیم شیمیایی، کنترل اکسیژن نامحلول در آب بویلر بالاترین عامل ایجاد خوردگی در بخش های مختلف می باشد. لذا، کنترل دقیق رژیم شیمیایی با استفاده از تزریقات مناسب و همچنین استفاده از هوازدا در ورودی بویلر کمک شایانی به کاهش آسیب های جدی مانند خوردگی و رسوب در بویلر خواهد کرد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

سپاسگزاری

تیم تحقیقاتی مقاله بابت همکاری و همراهی مستمر از شرکت مولد نیروگاهی تجارت فارس و در راس آن آقای مهندس محمودی (مدیر عامل محترم)، آقای مهندس مجتبوی، خانم دکتر ولایی و همکاران محترم نیروگاه سیکل ترکیبی فارس صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

انجام آزمایش‌ها: عباس یوسف‌پور، حسین قاسمی‌نژاد، داناک کهزادی، سیده یاس فرزانه

تحلیل داده‌ها و نتایج: عباس یوسف‌پور، محسن اسماعیل‌پور، علی بخشی

نگارش نهایی: عباس یوسف‌پور ، علی بخشی، حسین قاسمی‌نژاد، محسن اسماعیل‌پور، داناک کهزادی، سیده یاس فرزانه

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

[23] Sampling

References

1. HRGS tube failure statistics, Tara Engineering, https://tetra-eng.com.
2. Kotwica, David. "Analysis of Heat Recovery Steam Generator Tube Failures." In NACE CORROSION, pp. NACE-03487. NACE, 2003.
3. W. Zhang, B. Brown, D. Young, M. Singer, pitting mechanism of mild steel in marginally sour environments-part II: pit initiation based on the oxidation of the chemisorbed iron sulfide layers, Corros. Sci. 184 (2021) 109337.
4. Ibrahim AO, Ighodaro OO, Waheed MA. Boiler Water Chemistry: A Critical Mechanism for Boiler Tube Failure. Journal of Energy Technology and Environment. 2025 Mar 13;7(1):128-33.
5. Subramanian C, Zamindar S, Baneerjee P. Oxygen corrosion of reboiler tube served in production of dilution steam from heat exchanger of petrochemical refinery. Engineering Failure Analysis. 2024 Oct 1;164:108664.
6. Khunphakdee P, Chalermsinsuwan B. Review of flow accelerated corrosion mechanism, numerical analysis, and control measures. Chemical Engineering Research and Design. 2023 Sep 1;197:519-35.
7. W. Faes, J. Van Bael, S. Lecompte, K. Verbeken, M. De Paepe, Optimization of heat exchanger design taking corrosion into account, Therm.
8. Godakanda I, Gamage M. Boiler corrosion and suggestions for better efficiency, 2023.
9. Dooley, Barry, and B. Anderson. "HRSG assessments identify trends in cycle chemistry, thermal transient performance." Power Plant Chemistry (2009).
10. Yousefpour, Abbas, et al. "Investigating corrosion caused by improper operation in CWT regime of a combined cycle power plant; Causes and solutions." Energy Equipment and Systems 13.1 (2025): 35-57.
11. Ding, Q., X.-F. Tang, and Z.-G. Yang, Failure analysis on abnormal corrosion of economizer tubes in a waste heat boiler. Engineering Failure Analysis, 2017, 73: p. 129-138.
12. Dooley, Barry, and Bob Anderson. "Trends in HRSG Reliability–A 10-Year Review." Power Plan t Chem 21 (2019): 158-88.
13. Pankov, V. and E. Smirnov, Methods to Combat the Causes of Damage to the Steam-Forming Pipes of the Low-Pressure Circuit in CCPP Heat Recovery Steam Generators. Power Technology and Engineering, 2019, 52(6): p. 698-702.
14. Polonsky, V., D. Tarasov, and D. Gorr, The Effect of Heat-and-Mass Transfer and Flow Hydrodynamics on the Flow Accelerated Corrosion Rate in Evaporators of Combined-Cycle Unit Heat-Recovery Steam Generators. Thermal Engineering, 2020. 67: p. 396-404.
15. Jackson, P.S., D.S. Moelling, and J.W. Malloy, Strategies for Inspecting HRSGs in Two-Shift and Low-Load Service. Power, 2014. 158(8): p. 46-49.
16. Dooley, B. and D. Lister, Flow-Accelerated Corrosion in Steam Generating Plants. Power Plant Chemistry, 2018. 20(4): p. 194-244.
17. Pleshanov, K., et al., Investigation into Factors Causing Damage to Low-Pressure Loop Evaporating Tubes of Large-Capacity Heat-Recovery Steam Generators. Thermal Engineering, 2020. 67(8): p. 543-553.
18. Dooley, R. Barry. "Flow-accelerated corrosion in fossil and combined cycle/HRSG plants." Power Plant Chemistry 10 (2008).