Research Paper

Detection and Analysis of Microbial Influenced Corrosion in Cooling Tower of Shahid Mofateh Power Plant

Majid Ghahraman Afshar*[1], Mohsen Esmaeilpour[1], Hossein Ghaseminejad[2], Narges Esmaeili[3]
1. Assistant Professor, Chemical and Process Engineering Department, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.
2. Lab. Technician, Chemical and Process Engineering Department, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.
3. Senior Expert, Thermal Power Plant Holding Company, Tehran, Iran.

Received: 2023/07/29
Revised: 2023/10/05
Accepted: 2023/10/11

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/jnm.2023.32200.2006

Keywords:
Microbial corrosion, Shahid Mofateh power plant, Corrosion prevention, Total bacteria count, Corrosion monitoring

Abstract

Introduction: The water of cooling tower for Shahid Moftah power plant is supplied from treated wastewater. Therefore, chemical control of water in order to control corrosion in this cycle is very complicated.

Methods: The results of the TBC (total bacteria count) test of cooling tower indicate the approximate number of bacterial colonies equal to 103 cfu/ml, which is in the light range. According to the microbial tests, the amount of TRB, IRB and APB bacteria is very high and has values of 1200, 500-2300 and 10^5 cfu/ml, respectively. Using treated wastewater as a feed of cooling tower due to the presence of high concentration of calcium ions leads to intensification of sedimentation and increase the growth of microbial organism. Moreover, the presence of high nitrate is predictable due to the origin of water supply, which causes the increase of nitrate and nitrite reducing bacteria (NRB). On the other hand, the presence of high phosphate and sulfate in the sample increase sedimentation and intensify microbial growth, especially sulfate-reducing bacteria (SRB) in the sample.

Findings: As a result, high concentrations of TRB, IRB, and APB bacteria is required to be selectively removed in the first priority. In the second priority, nitrate and sulfate ions, which are food for NRB and SRB bacteria, need to be removed by selective removal of nitrate ions using ion exchange resins and sulfate with biological regeneration method. Due to the high level of microbial agents TRB, IRB and APB as well as the high concentration of microbial agents feed, as the third priority, methods based on non-oxidizing biocides needs to be applied in this power plant.

Citation: Majid Ghahraman Afshar, Mohsen Esmaeilpour, Hossein Ghaseminejad, Narges Esmaeili, Detection and Analysis of Microbial Influenced Corrosion in Cooling Tower of Shahid Mofateh Power Plant, Quarterly Journal of New Materials. 2023; 13 (50): 46-59.

⁎**Corresponding author:** Majid Ghahraman Afshar
Address: Chemical and Process Engineering Department, Niroo Research Institute, Tehran, Iran
Tell: +989121611961
Email: mghahramanafshar@nri.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

According to the previous studies, microbial corrosion is a type of corrosion that occurs through the contact between the metal and the aqueous environment. Therefore, there is a possibility of happening microbial corrosion in the cooling tower and steam-water cycle of thermal power plants. However, due to the high temperature and pressure in thermal boilers and steam-water cycle, the possibility of the presence of macro-organisms and micro-organisms in such conditions is low. However, the possibility of the presence of bacteria and the occurrence of microbial corrosion is high according to the proper operating conditions of cooling tower, especially in power plants where the supply water is full of microorganisms.

Predictions indicate that in power plants and industries where the cooling water is supplied from the wastewater treatment, there is a possibility of the presence of high concentration of microbial factors. As a result, the incidence of microbial corrosion is higher in compared with power plant which the water is supplied from the river or fresh sources. In this research, Hamedan power plant was selected as a thermal power plant due to the supply of water required for the cooling cycle from treated wastewater a. Additionally, in the operational phase of this research, visiting the power plant, sampling, performing physical-chemical tests and microbial corrosion was conducted.

The purpose of this research is to investigate the cooling water of Shahid Mofateh Hamedan power plant from the point of view of the presence and growth of microbial agents. In this regard, a general test for measuring the total number of bacteria and specific tests for measuring specific bacteria are performed on the water sample of the cooling tower. In order to collect comprehensive and sufficient information about the cooling tower water conditions, physicochemical conditions (conductivity, salinity, pH, turbidity) and the concentration of anions and cations in the cooling water is conducted. Finally, having the concentration and type of each microbial agent and its relationship with other physicochemical parameters, corrective and preventive solutions to deal with microbial agents are presented and prioritized based on technical-economic justifications.

Experimental

In this section, a set of microbial tests was performed on the sample of cooling tower of this power plants, which includes the TBC test to measure the total number of bacteria (general test) and specific tests to measure specific bacteria. The parameters of pH, electrical conductivity, salinity percentage, hardness and water temperature are detected with a HANNA brand conductivity analyzer and thermometer (HI 2300 EC/NaCl/TDS Meter). Analyzes related to each ion were performed with standard reference methods.

In order to measure sodium and potassium ions, the flame photometer method was carried out according to the 3500-Na and 3500-K standards. Moreover, for the analysis of calcium and magnesium, 3500 Ca-B and 3500 Mg-B standards were used by atomic absorption method. The analysis of nitrates, nitrites, fluorides and phosphates in the sample was carried out according to the standard method of 4110 SMWW with spectroscopic method (UV-VIS). Analysis of chloride ion, sulfate and alkalinity of the sample was performed by Mohr titration, barium titration and titration with HCl, respectively. The standard of performing these tests is 4500 Cl, 4110 SMWW and 2320 B SMWW.

Findings and Discussion

The results of the TBC test showed the approximate number of bacterial colonies equal to 1000 cfu/ml, which is in the low range. In the APB test, medium invasion power is reported with a bacterial value of 100,000 cfu/ml. In order to perform the FP test, the kit is placed under the UV lamp, after which the solution inside the vial becomes cloudy and the fluorescence glow is observed, which indicates the positive growth of bacteria. In the IRB test, it is observed that the aggressive power is medium to high, and the formation of a black layer on the bottom of the vial indicates the population of anaerobic bacteria. The results of the NRB test and the color change from green to orange indicate the presence of NRB bacteria with medium to high functional strength, and the presence of sludge at the bottom of the vial

indicates that the type of bacteria in the sample is anaerobic.

In the Aero test, the aggressive power of bacteria is reported within the range of medium to high, and the black layer on the bottom of the vial and the bottom of the sphere indicates the activity of anaerobic bacteria. The results of the SRB test and the observation of the black color of the solution at the bottom of the vial indicate the density of the dominant anaerobic bacteria Desulfovibrio, confirms the presence of anaerobic bacteria. According to the TRB test, the yellow color indicates the positive presence of bacteria, and the average strength of this type of bacteria is reported, and the sediment on the bottom of the vial indicates the presence of anaerobic bacteria.

Conclusion

Shahid Muftah Hamedan power plant is considered a special case of a power plant because the cooling tower water is supplied from the wastewater treatment. The results indicate that sodium, potassium, and magnesium species have favorable concentrations, while calcium, nitrate, and phosphate species have very high concentrations. The high concentration of nitrate and phosphate might be attributed to the effluent of the supply water sample. On the other hand, the high concentration of nitrate also in turn intensifies the growth of NRB bacteria. On the other hand, most of the microbial factors have medium to high concentrations and the results of the total number of bacteria count test show the number of 1000 cfu/ml, which confirms the favorable conditions of the water sample of the cooling tower and subsequently treated wastewater. Moreover, in the continuation of the corrective strategies to deal with microbial population, the first priority is the selective removal of thiosulfate, iron and organic compounds, the second priority is the chemical regimen of reducing the concentration of calcium in the clarifier and the selective removal of sulfate and nitrate ions, and the third priority is the use of non-oxidizing biocide such as DBNPA and quaternary salt of quats.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design experiments and perform: Majid Ghahraman Afshar, Data processing: Ghaseminejad & Esmaeilpour, Writing abstract: Esmaeili.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

سنجش و تعیین مشخصه خوردگی متاثر از عوامل میکروبی در آب چرخه خنک کن نیروگاه شهید مفتح

مجید قهرمان افشار*[۱]، محسن اسماعیل پور[۱]، حسین قاسمی نژاد[۲]، نرگس اسماعیلی[۳]
۱- استادیار، گروه پژوهشی شیمی و فرایند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
۲- کارشناس آزمایشگاه، گروه پژوهشی شیمی و فرایند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
۳-کارشناس ارشد، شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷
تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

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

DOI:
10.30495/jnm.2023.32200.2006

واژه‌های کلیدی:
خوردگی میکروبی، نیروگاه شهید مفتح، بازداری خوردگی، شمارش تعداد کل باکتری پایش خوردگی

چکیده

مقدمه: آب چرخه خنک سازی نیروگاه شهید مفتح همدان از تصفیه فاضلاب تأمین می‌گردد. لذا کنترل شیمیایی آب به منظور کنترل خوردگی در چرخه اهمیت بالایی دارد.

روش: نتایج آزمون TBC اب چرخه خنک کن نشان دهنده تعداد تقریبی کلونی باکتری برابر با 10^3 cfu/ml بوده که در بازه پایین قرار دارد. از سوی دیگر بر اساس نتایج آزمون‌های میکروبی میزان باکتری‌های TRB، IRB و APB بسیار بالا و دارای مقادیر cfu/ml ۱۲۰۰، ۵۰۰–۲۳۰۰ و 10^5 می باشد. استفاده از آب تصفیه فاضلاب به عنوان تغذیه خنک سازی به دلیل وجود غلظت بالای یون کلسیم منجر به تشدید رسوب‌گذاری و افزایش رشد میکروبی می‌گردد. همچنین وجود نیترات بالا نیز به دلیل منشاء فاضلاب آب تامین کننده قابل پیش بینی بوده که این مقدار نیترات باعث تشدید باکتری‌های احیا کننده نیترات و نیتریت می‌گردد. از طرفی، وجود فسفات و سولفات بالا در نمونه نیز باعث افزایش رسوب‌گذاری و تشدید رشد میکروبی به ویژه باکتری‌های احیا کننده سولفات در نمونه همراه خواهد بود.

یافته‌ها: در نتیجه غلظت‌های بالای باکتری‌های TRB، IRB و APB در اولویت اول می بایست به صورت انتخاب گزین حذف گردند. در اولویت دوم، یون‌های نیترات و سولفات که خوراک باکتری‌های NRB و SRB می باشند با روش‌های انتخاب گزین حذف یون‌های نیترات با استفاده از رزین‌های تبادل یون و سولفات با روش احیا بیولوژیکی می بایست حذف گردند. با توجه با بالا بودن عوامل میکروبی TRB، IRB و APB و همچنین بالا بودن غلظت خوراک عوامل میکروبی، به عنوان اولویت سوم روش‌های بر پایه زیست کش‌های غیر اکسید کننده در دستور کار قرار می‌گیرد.

* **نویسنده مسئول:** مجید قهرمان افشار
نشانی: گروه پژوهشی شیمی و فرایند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
تلفن: ۰۹۱۲۱۶۱۱۹۶۱
پست الکترونیکی: mghahramanafshar@nri.ac.ir

مقدمه

با توجه به مطالعات صورت پذیرفته، خوردگی میکروبی به طور کلی از نوع خوردگی تر می‌باشد که از طریق تماس بین فلز و محیط آبی حاصل می‌شود. از این رو امکان خوردگی میکروبی در سیکل آب و بخار و سیستم خنک کن نیروگاه‌ها وجود دارد. با این وجود با توجه به دما و فشار بالا در بویلرهای حرارتی و سیکل آب و بخار احتمال وجود ماکرو ارگانیسم‌ها و میکروارگانیسم‌ها در چنین شرایطی پایین می‌باشد . ولی در چرخه خنک‌کن با توجه به شرایط عملیاتی مناسب، احتمال وجود باکتری‌ها و وقوع انواع خوردگی میکروبی بویژه در نیروگاههایی که آب تأمینی سرشار از میکروارگانیسم‌ها است بالا می‌باشد (۱-۶).

پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که در نیروگاه‌ها و صنایعی که آب مورد نیاز چرخه خنک‌کن از طریق فاضلاب تصفیه شده شهری تأمین می‌گردد نسبت به آنهایی که آب مورد نیاز از طریق چاه تأمین می‌گردد احتمال حضور عوامل میکروبی و در نتیجه بروز انواع خوردگی میکروبی بالاتر باشد. بنابراین در پژوهش حاضر نیروگاه همدان با توجه به تأمین آب مورد نیاز چرخه خنک‌کن از فاضلاب تصفیه شده‌ی شهری به عنوان نیروگاه منتخب برگزیده شد و فاز عملیاتی آن شامل بازدید از نیروگاه، نمونه‌برداری، انجام آزمون‌های فیزیکی-شیمیایی و سنجش خوردگی میکروبی انجام گرفت (۷-۱۱).

نیروگاه سیکل ترکیبی شهید مفتح همدان (در دشت کبودراهنگ در کیلومتر ۴۵ جاده همدان - تهران) یکی از نیروگاه‌های ایران با ظرفیت تولید ۱۰۰۰ مگاوات است که در زمینی به مساحت ۲۷۰ هکتار است. ساخت تجهیزات اصلی نیروگاه و همچنین اجرای نیروگاه توسط شرکت توانیر در سال ۱۳۶۵ شروع شده است. در سال ۱۳۷۲ به بهره برداری رسیده است. سوخت اصلی این نیروگاه گاز طبیعی است و در برخی مواقع از مازوت استفاده می‌شود. ۶۰ درصد برق تولیدی این نیروگاه در استان همدان مصرف می‌شود و ۴۰ درصد مابقی نیز به استان‌های همجوار ارسال می‌شود. (۱۲, ۱۳).

برج خنک‌کن نیروگاه از نوع تر می‌باشد که مصرف آب خام برای استفاده در برج‌های خنک کن نیروگاه از ۱۵ حلقه چاه تأمین می شود که با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کاهش سطح سفره‌های زیر زمینی، نیروگاه بار خود را محدود کرد تا در جهت صرفه‌جویی آب به مردم منطقه کمک نموده باشد. در تابستان ۹۴ پروژه‌های برج خشک و انتقال پساب تصفیه شده فاضلاب راه‌اندازی شد که مصرف آب نیروگاه از چاه ها به حداقل رساند (۶, ۱۴, ۱۵).

آب تأمینی مورد نیاز سیکل بخار از طریق چاه تأمین می‌گردد. این آب ابتدا از فیلترهای شنی (سه عدد)، فیلترهای کارتریجی (۸ عدد)، فیلترهای غشایی RO (۲۰۰ m3-۲)، فیلترهای کاتیونی، آنیونی و میکسبد (۳ ترین، هر ترین یک فیلتر رزینی کاتیونی، آنیونی و میکسبد) عبور می‌کند و از این طریق آب نرم مورد نیاز تغذیه بویلرها تأمین می‌گردد.

در حال حاضر تمامی آب موردنیاز برج‌های خنک کن از پساب تصفیه شده فاضلاب شهر همدان تأمین می‌شود. فاضلاب شهری تصفیه شده در نیروگاه پس از عبور از فیلترهای مشبکی ثابت و متحرک (شکل ۲) وارد مخزن ذخیره ۸۰۰۰ m3 شده و سپس توسط پمپ‌های انتقال به کف حوضچه برج‌های خنک‌کن تر انتقال می‌یابد.

استفاده از آب تصفیه فاضلاب به عنوان آب تغذیه خنک سازی به دلیل وجود غلظت بالای یون کلسیم منجر به تشدید رسوبگذاری و افزایش رشد میکروبی در برج خنک کن نیروگاه شهید مفتح همدان می گردد. بر اساس قیاس شرایط این نیروگاه از نقطه نظر رسوب گذاری با سایر نیروگاه ها نظیر نیروگاه لوشان و نیروگاه منتظر قائم که منبع تامین کننده آب آنها آب چاه می باشد، معین می گردد که یکی از عوامل اصلی رسوبگذاری و تشدید رشد عوامل میکروبی غلظت بالای کلسیم می باشد (۱۶-۱۹).

همچنین وجود نیترات بالا نیز به دلیل منشاء فاضلاب آب تامین کننده چرخه خنک کن نیروگاه شهید مفتح بر اساس مطالعات و تحقیقاتی پیشین قابل پیش بینی می باشد. این مقدار نیترات باعث تشدید رشد باکتری های احیا کننده نیترات و نیتریت می گردد. از طرفی، وجود غلظت های بالای فسفات و سولفات در نمونه نیز شرایط رسوبگذاری و تشدید رشد باکتریهای احیا کننده سولفات را بسیار مساعد می نماید (۲۰-۲۳).

شکل ۱- نمایی از تصفیه خانه نیروگاه شهید مفتح همدان

شکل ۲- نمایی از فیلترهای مشبک نیروگاه شهید مفتح همدان

در یک جمع بندی بر اساس نتایج این تحقیق قابل نتیجه گیری است که تشدید رشد عوامل میکروبی در مسیرهایی از چرخه آب خنک کن که ماند آب در آنها بیشتر است، با درصد بالاتری از احتمال روی خواهد داد. لذا بر این اساس در شرایطی از آب چرخه خنک کن که غلظت عوامل رسوبگذار نظیر کربنات و سولفات بالا است و همچنین غلظت سولفات و نیترات نیز روند افزایشی دارد، بیشترین رشد عوامل میکروبی مشاهده می گردد (۲۶-۲۴).

تنظیم pH با اسید و تزریق سولفات روی و هگزا متافسفات انجام می‌گیرد. واحدهای ۲، ۳ و ۴ این نیروگاه از برج خنک‌کن تر و واحد ۱ از برج خنک‌کن خشک و در صورت نیاز به صورت همزمان و موازی از برج خنک کن تر و خشک در حضور ۸ مبدل حرارتی استفاده می‌کند.

هدف این تحقیق بررسی آب چرخه خنک کن نیروگاه شهید مفتح همدان از نقطه نظر حضور و رشد عوامل میکروبی می باشد. در این راستا آزمون عمومی سنجش تعداد کل باکتریها[1] (TBC) و آزمونهای اختصاصی سنجش باکتری های خاص نظیر باکتری های تولید کننده اسید[2] (APB)، فلورسانس سودوموناس[3] (FP)، باکتری های مرتبط با آهن[4] (IRB)، باکتری احیاء کننده نیترات[5] (NRB)، سنجش باکتری آئروبیک[6] (Aero)، باکتری احیاء کننده سولفات[7] (SRB) و باکتری احیاء کننده تیوسولفات[8] (TRB) بر روی نمونه آب چرخه خنک کن انجام شد.

بررسی خوردگی میکروبی و تعیین مشخصه خوردگی میکروبی در این تحقیق به معنای ریخت شناسی خوردگی و تعیین مشخصه سطح تجهیز نمی باشد. در این مقاله، تمامی سعی بر آن است که عوامل موثر و بطور ویژه انواع باکتری های موثر در ایجاد خوردگی میکروبی بررسی گردد. از سوی دیگر لازم به ذکر است که خوردگی میکروبی از نقطه نظر ساز و کار از انواع خوردگی های الکتروشیمیایی محسوب می گردد. همچنین در سیستم های مستعد خوردگی میکروبی این نوع خوردگی از نقطه نظر ریخت شناسی به شکل موضعی نمایان می گردد که خود منجر به ایجاد خوردگی حفره ای و شیاری می گردد.

از سوی دیگر انجام آزمونها به منظور گردآوری اطلاعات جامع و کافی از شرایط آب چرخه خنک کن شامل شرایط فیزیکوشیمیایی (هدایت، شوری، pH، کدورت) و میزان آنیونها و کاتیونها در نمونه آب چرخه خنک کن به عنوان بخش تکمیلی در دستور کار می باشد. در نهایت با داشتن غلظت و نوع هر عامل میکروبی و ارتباط آن با سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، راهکارهای اصلاحی و پیشگیرانه به منظور مقابله با عوامل میکروبی ارائه و بر اساس توجیهات فنی-اقتصادی اولویت بندی می گردد.

پایش میکروبی نمونه آب چرخه خنک کن نیروگاه ها با سنجش تعداد کل باکتری ها و تعیین مشخصه بیش از ۷ نوع باکتری متفاوت برای اولین بار نه تنها در سطح کشور بلکه در سطح دنیا در این تحقیق به انجام رسیده است. لذا روتین کردن این روش پایش و جا انداختن نقش خوردگی‌های با منشا میکروبی در نیروگاه‌ها نیازمند زمان و تحقیق گسترده می‌باشد. در این راستا پس از پذیرش تاثیرات این نوع خوردگی در نیروگاه ها، به دنبال آن ارائه راهکار پیشگیرانه و عملیاتی نمودن آن در فاز بعدی تحقیقات در دستور کار قرار دارد.

[1] -Total bacteria count
[2] -Acid producing bacteria
[3] -Fluorescence pseudomonas
[4] -Iron related bacteria
[5] -Nitrate reducing bacteria
[6] -Aerobic bacteria detection
[7] -Sulfate reducing bacteria
[8] -Thiosulfate reducing bacteria

مواد و روش‌ها

در این بخش نمونه برداری و انجام آزمون‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و سنجش یونها در دستور کار قراردارد. در این راستا پس از هر بازدید نیروگاهی دسته آزمونهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی در محل و آزمونهای سنجش یونها پس از نمونه برداری در آزمایشگاه صورت می پذیرد.

نمونه گیری در این تحقیق از نمونه آب چرخه خنک کن در محل خروجی کندانسور (دارای بالاترین دما) گرفته شده است که بر اساس تحقیقات و مطالعات پیشین این نقطه مناسب‌ترین نقطه دارای بیشنه رشد عوامل میکروبی و حادترین شرایط نمونه‌ای می باشد. در این راستا پیچیده ترین نمونه آب به عنوان نماینده برای بررسی عوامل میکروبی برگزیده گردید (۲۷-۲۹).

آزمون‌های میکروبی

در این بخش مجموعه آزمونهای میکروبی بر روی نمونه آب خنک کن در گردش نیروگاه های منتخب انجام شد که این مجموعه شامل آزمون TBC سنجش تعداد کل باکتریها (آزمون عمومی) و آزمونهای اختصاصی سنجش باکتری های خاص نظیر APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB می باشد. که در ادامه هر آزمون با جزئیات شرح داده شده است. شرایط انجام هر آزمون در دستور کار ارائه شده از طرف شرکت ایبرسکو ارائه گردیده است که مطابق با دستور العمل آزمونها انجام می گردد و در نهایت با استفاده از تغییر رنگ تست کیت ها و مقایسه آن با تغییر رنگ نمونه مرجع حضور و عدم حضور و میزان هر نوع عامل باکتریایی معین می گردد. این روش یک روش مرجع دارای گواهینامه بین الملل از شرکت ایبرسکو[1] سوییس می باشد. فلذا بر اساس استاندارد، مقادیر قابل قبول از نقطه نظر مراجع بین الملل می باشد.

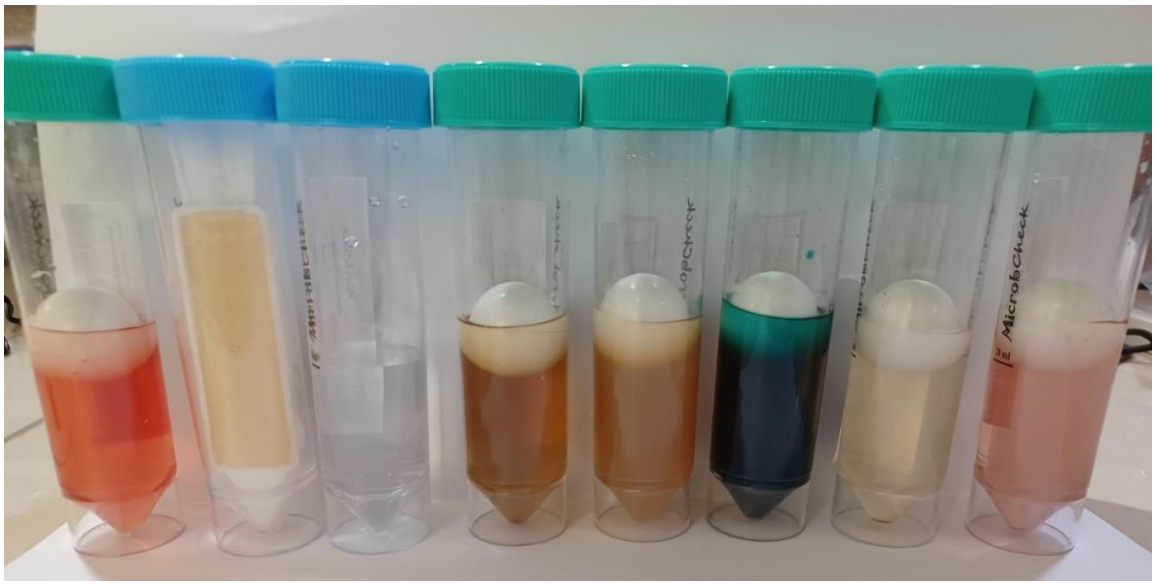
کیت میکروبی شاهد: نتایج بر هم کنش میکروبی یک نمونه در لحظه افزودن نمونه به کیت های میکروبی شامل TBC، APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB مورد بررسی قرار گرفت که به عنوان نمونه شاهد (بدون تغییر رنگ) برای استفاده های بعدی و تشخیص تغییر رنگ ها در نمونه های نیروگاهی مورد استفاده قرار خواهد گرفت (شکل شماره ۳).

آزمون‌های در محل هدایت، شوری، pH و کدورت آب خنک کن

به منظور بررسی کیفیت آب در محل، استفاده از دستگاهی که اطمینان از کالیبره بودن آن قبل از انجام آزمون حاصل شده باشد اهمیت بالایی دارد. از اینرو، پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، درصد شوری، سختی و دمای آب با دستگاه آنالیز هدایت سنجی و دماسنج برند HANNA مدل (HI 2300 EC/NaCl/TDS Meter) اندازه گیری شد.

آزمون‌های شیمیایی سنجش آنیون‌ها و کاتیون‌های آب خنک کن

پارامترهای مهم و قابل آنالیز در نمونه های آب چرخه خنک کن مانند یون های موجود در نمونه نیازمند سنجش دقیق در آزمایشگاه می باشد.



شکل ۳- کیت میکروبی شاهد شامل APB، TBC، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB (به ترتیب از چپ به راست)

[1] -Ibresco (Swiss Company)

لذا، آنالیزهای مربوط به هر یون با روش های استاندارد مرسوم در دنیا انجام شده است. به منظور سنجش یونهای سدیم و پتاسیم از روش نور سنج شعله ای طبق استاندارد 3500-Na و 3500-K انجام شده است. همچنین جهت آنالیز کلسیم و منیزیم از استاندارد 3500 Ca-B و 3500 Mg-B و با روش جذب اتمی استفاده شده است. آنالیز نیترات، نیتریت، فلوراید و فسفات موجود در نمونه مطابق روش استاندارد 4110 SMWW با روش طیف سنجی (UV-VIS) انجام شده است.

آنالیز یون کلرید، سولفات و قلیاییت نمونه نیز به ترتیب با روش تیتراسیون موهر، تیترایسیون باریم و تیراسیون با HCl انجام شده است. استاندارد انجام این آزمون ها نیز روش 4500 Cl، 4110 SMWW و 2320 B SMWW می باشد.

نتایج

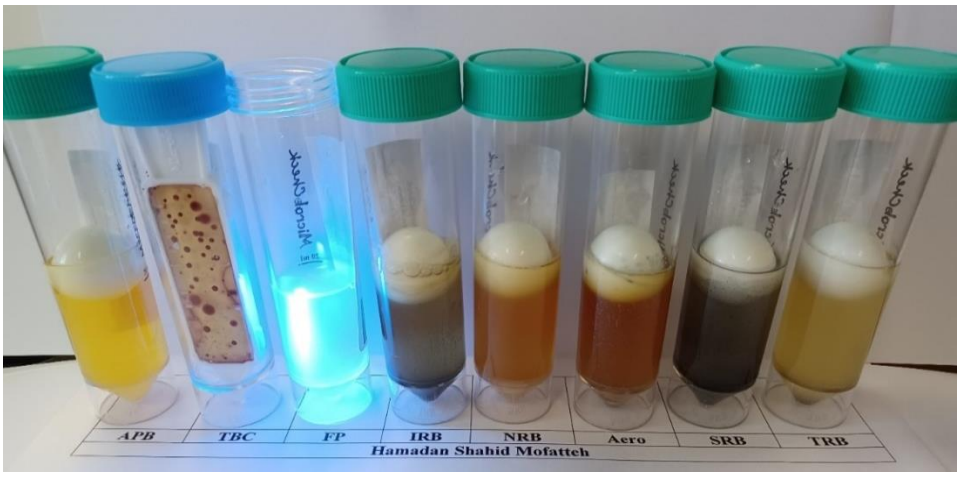
در این فاز از این تحقیق، نتایج آزمونهای میکروبی مورد بررسی و آنالیز قرار می گیرد. در مرحله بعد، بررسی و مطالعه پارامترهای فیزیکوشیمیایی و آنالیز کمی و کیفی یونها در دستور کار قرار دارد. در نهایت بر اساس بررسی نتایج آزمونهای میکروبی و مطالعه همه جانبه خوراک عوامل میکروبی، راهکارهای اصلاحی و پیشگیرانه ارائه می گردد.

آزمون‌های میکروبی آب خنک کن نیروگاه شهید مفتح همدان

نتایج آزمون TBC نشان دهنده تعداد تقریبی کلونی باکتری برابر با ۱۰۰۰ cfu/ml بوده که در محدوده پایین قرار دارد. در آزمون APB قدرت تهاجم متوسط دارای مقدار باکتری ۱۰۰۰۰۰ cfu/ml گزارش می گردد. به منظور انجام آزمون FP کیت زیر لامپ UV قرار گرفته و به دنبال آن محلول درون ویال کدر شده و درخشش فلوئورسانس مشاهده می گردد که این پدیده بیانگر مثبت بودن رشد باکتری ها می باشد. در آزمون IRB قدرت تهاجمی متوسط رو به بالا مشاهده می گردد که تشکیل لایه سیاه رنگ در کف ویال نشان دهنده جمعیت باکتری های بی هوازی می باشد. نتایج آزمون NRB و تغییر رنگ از سبز به نارنجی نشان دهنده حضور باکتری NRB با قدرت عملکردی متوسط رو به بالا می باشد که حضور لجن در کف ویال بیانگر بی هوازی بودن نوع باکتری موجود در نمونه می باشد. در آزمون Aero قدرت تهاجمی باکتری متوسط رو به بالا گزارش می گردد که لایه سیاه در کف ویال و پایین گوی نشان دهنده فعالیت باکتری های بی هوازی است. نتایج آزمون SRB و مشاهده رنگ سیاه محلول در کف ویال نشان دهنده تراکم باکتری بی هوازی غالب دسولفوویبریو[1] می باشد که حضور باکتری های بی هوازی را تأیید می کند. با انجام آزمون TRB رنگ زرد نشان دهنده مثبت بودن حضور باکتری بوده و قدرت متوسط این نوع باکتری گزارش می گردد و رسوب کف ویال نشان دهنده حضور باکتری های بی هوازی است.

آزمون‌های در محل هدایت، شوری، pH و کدورت آب خنک کن نیروگاه شهید مفتح همدان

همانطور که ذکر شد، آب چرخه خنک سازی نیروگاه شهید مفتح همدان از تصفیه فاضلاب تامین می گردد. لذا کنترل شیمیایی آب به منظور کنترل خوردگی در چرخه اهمیت بالایی دارد. با توجه به آنالیزهای انجام شده در آزمایشگاه شیمی نیروگاه شهید مفتح همدان ، pH نمونه در محدوده قلیایی حفظ شده است. همچنین جهت کنترل کیفیت آب ورودی خنک کن، هدایت الکتریکی، درصد شوری و سختی آب نیز در این نمونه کنترل گردیده و در جدول قابل مشاهده است.



شکل ۴- کیت میکروبی نیروگاه شهید مفتح همدان شامل TBC، APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB

[1] -Desulfovibrio

آزمون‌های شیمیایی سنجش آنیون‌ها و کاتیون‌ها آب خنک کن نیروگاه شهید مفتح همدان

استفاده از آب تصفیه فاضلاب به عنوان تغذیه خنک سازی در نیروگاه همدان باعث وجود غلظت بالای کلسیم در نمونه شده است. از این رو، رسوبگذاری بیشتر به دلیل وجود این یون باعث رشد میکروبی در نمونه خنک سازی خواهد شد. همچنین وجود نیترات بالا نیز قابل پیش بینی بوده و باعث تشدید باکتری های احیا کننده نیترات و نیتریت خواهد شد. از طرفی، وجود فسفات و همچنین سولفات بالا در نمونه نیز نتیجه استفاده از تصفیه فاضلاب بوده و باعث رسوبگذاری بالا در چرخه می شود که با افزایش رشد میکروبی به ویژه باکتریهای احیا کننده سولفات در نمونه همراه خواهد بود. (جدول شماره ۱)

از آنجایی که عوامل میکروبی منشأ ایجاد و تسریع انواع خوردگی‌های الکتروشیمیایی می‌باشند از اینرو هدف اصلی پژوهش حاضر شناسایی عوامل میکروبی موجود در چرخه خنک‌کن نیروگاه همدان می‌باشد. شایان ذکر است که از طریق ریخت‌شناسی خوردگی نمی‌توان به عوامل میکروبی پی‌برد و خوردگی‌های ناشی از عوامل میکروبی به صورت خوردگی‌های الکتروشیمیایی در سیکل خنک‌کن پدیدار می‌شوند. با داشتن اطلاعات از غلظت عوامل میکروبی نظیر SRB، NRB، APB، TRB، IRB، Aero و FP و سنجش تعداد کل باکتری‌ها می‌توان خوردگی الکتروشیمیایی ناشی از عوامل میکروبی را شناسایی و در راستای حذف آنها، ارائه راهکارهای شیمیایی مؤثر و اصلاح فرآیندها در جهت جلوگیری از خوردگی اقدام نمود. بنابراین اطلاعات جامع و کامل از تعداد کل باکتری‌ها و عوامل میکروبی از چرخه خنک‌کن نیروگاه همدان گردآوری شد و اثرات عوامل فیزیکوشیمیایی نظیر کدورت، شوری، pH، محصول خوردگی و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های خورنده بر عوامل میکروبی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. سپس جمع‌بندی نتایج با توجه به آزمون‌های میکروبی، آزمون‌های عمومی (کدورت، pH، شوری و هدایت) و آزمون‌های سنجش یون‌ها (کلرید، منیزیم، سدیم، فلوراید، قلیاییت، کلسیم، فسفات، سولفات، نیترات، پتاسیم و نیتریت) در این نیروگاه انجام گرفت.

سپس راهکارهای شیمیایی اصلاحی و پیشگیرانه با توجه به در اختیار داشتن اطلاعات جامع از حضور عوامل میکروبی و نتایج حاصل از سنجش عملیاتی پارامترهای میکروبی ارائه گردیدند و این راهکارها از لحظ فنی-اقتصادی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به شرایط نیروگاه راهکار با اولویت بالا با ارزیابی فنی-اقتصادی و توجیهات صورت گرفته به منظور جلوگیری از خوردگی میکروبی در چرخه خنک‌کن و تمایز بین خوردگی‌های میکروبی و غیرمیکروبی ارائه گردید.

با توجه به مطالعات صورت گرفته آزمون هدایت‌سنجی در مبحث پارامترهای شیمیایی آب تشابه زیادی با آزمون تعداد کل باکتری‌ها در آزمون‌های میکروبی دارد. هنگامی که هدایت آب بالا باشد در راستای یافتن کاتیون و یا آنیون بحرانی، سنجش تک تک کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آزمایشگاه انجام می‌گیرد و در ارتباط با آزمون TBC هنگامی که تعداد کل باکتری‌ها از حد مجاز فراتر رود به منظور یافتن عامل بحرانی تأثیرگذار بر افزایش تعداد کل باکتری‌ها، انجام آزمون‌های میکروبی نظیر SRB، NRB، IRB، Aero، APB، TRB و FP مورد توجه قرار می‌گیرد. نهایتاً با توجه به بررسی و ارزیابی میزان عوامل میکروبی در نمونه آب چرخه خنک‌کن نیروگاه‌های حرارتی توصیه می‌گردد که دستورالعمل‌های خاص در جهت انجام آزمون‌های میکروبی تدوین، تصویب و به صورت دوره‌ای در نیروگاهها اجرایی گردند.

راهکار اصلاحی شیمیایی پیشگیرانه خوردگی میکروبی در نیروگاه شهید مفتح همدان

آب چرخه خنک نیروگاه شهید مفتح همدان که از محل تصفیه فاضلاب شهری تامین می گردد. نتایج حاکی از آن است که گونه های سدیم، پتاسیم و منیزیم غلظت مساعد و در مقابل گونه های کلسیم، نیترات و فسفات غلظت های بسیار بالایی را دارند. از سوی دیگر عمده عوامل میکروبی دارای غلظت متوسط رو به بالا می باشند و نتایج آزمون شمارش تعداد کل باکتری عدد ۱۰۰۰ cfu/ml را نشان می دهد که تایید کننده مساعد بودن شرایط نمونه آب چرخه خنک کن و متعاقبا پساب شهری تصفیه شده می باشد (۳۰, ۳۱).

جدول ۱- مجموع نتایج آزمون‌های میکروبی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی و سنجش یون‌ها در نیروگاه شهید مفتح همدان

Ions Concertation	
Na^+/ ppm	1240.0
K^+/ ppm	200.0
Ca^{2+}/ ppm	921.8
Mg^{2+}/ ppm	315.3
NO_3^-/ ppm	656.0
Cl^-/ ppm	1435.7
SO_4^{2-}/ ppm	3646.0
NO_2^-/ ppm	0.05
PO_4^{3-}/ ppm	5.4
F^-/ ppm	1.2

Physicochemical Properties	
pH at 25 °C	7.83
T/ °C	22.2
Cond/ ms	9.87
Salt/ %NaCl	16.5
Hardness/ g/L	4.94
T-Alka/ ppm	105.0

Microbial Test	
TRB/ cfu/ml	1200
SRB/ cfu/ml	>6800000
Aero/ cfu/ml	61000-575000
NRB/ cfu/ml	متوسط رو به بالا
IRB/ cfu/ml	500-2300
FP/ cfu/ml	+
TBC/ cfu/ml	10^3
APB/ cfu/ml	100000

آب چرخه خنک کن نیروگاه همدان از نقطه نظر تعداد کل باکتری ها در حدود متوسطی قرار دارد. از سوی دیگر بر اساس نتایج آزمونهای میکروبی میزان باکتری های TRB، IRB و APB بسیار بالا و دارای مقادیر ۱۲۰۰، ۲۳۰۰–۵۰۰ و ۱۰۰.۰۰۰ می باشد. در نتیجه غلظت های بالای این سه باکتری، عوامل خوراک این باکتری ها در اولویت اول می بایست به صورت انتخاب گزین حذف گردند. حذف انتخاب گزین یون تیوسولفات به عنوان خوراک عامل باکتریایی TRB، حذف انتخاب گزین یون آهن به عنوان خوراک IRB و درنهایت حذف ترکیبات آلی (ناشی از منشا پساب آب چرخه) به عنوان خوراک APB در اولویت اول راهکارهای مقابله با عوامل میکروبی قرار دارد.

روشهای متداول و رایج حذف یون تیوسولفات شامل استفاده از ذرات اکسید تیتانیوم به عنوان جاذب، استفاده از نانوذرات مغناطیسی کی لیت شده به عنوان جاذب و روش بیولوژیکی می باشد. سنتز ترکیب نانوذرات مغناطیسی کی لیت شده در مقیاس صنعتی بسیار هزینه بر و همچنین اعمال روشهای بیولوژیکی در سیستم های خنک کن نسبت به روش کاربرد جاذب بسیار پیچیده می باشد. از بین تمامی روشهای ارایه شده، روش استفاده از ذرات اکسید تیتانیوم به عنوان جاذب به دلیل ارزان بودن نسبت به سایر و در دسترس بودن ذرات اکسید تیتانیوم روش بسیار ایده آل با توجیهات فنی–اقتصادی می باشد. لذا به منظور حذف انتخاب گزین یون تیوسولفات روش استفاده از ذرات اکسید تیتانیوم به عنوان جاذب در اولویت اول قرار دارد.

روشهای بسیار زیادی از گذشته تا کنون به منظور حذف انتخاب گزین یون آهن مورد بررسی قرار گرفته است که سه مورد از متداول ترین آنها روش فیلتراسیون پس از اکسیداسیون، هوادهی و روش کربن کاتالیز می باشد. از بین تمامی روشها، روش فیلتراسیون پس از اکسیداسیون طی فرایند ازن زنی نسبت به سایر بسیار مقرون به صرفه می باشد، زیرا روش کربن کاتالیز نیازمند معرف و روش هوادهی نیازمند تجهیزات می باشد. از مزایای دیگر روش فیلتراسیون می توان به کوپل شدن آن با روش ازن زنی اشاره نمود که طی مراحل ازن زنی به منظور گند زدایی آهن رسوب کرده و در مرحله بعد به آسانی با فیلتراسیون جدا می گردد که از نقاط مثبت جنبه فنی این روش محسوب می گردد. لذا به منظور حذف انتخاب گزین یون آهن روش فیلتراسیون پس ازاکسیداسیون طی فرایند ازن زنی در اولویت اول قرار می گیرد.

برای کنترل و کاهش غلظت ترکیبات یونی آلی روشهای الکترودیالیز با استفاده از مایعات یونی، استخراج مایع–مایع و روش استفاده از جاذب های CNT متداول می باشد. الکترودیالیز با کاربرد مایعات یونی دارای پتانسیل بهینه می باشد و از دسته روشهای کم هزینه نسبت به استخراج مایع–مایع و کاربرد CNT ها می باشد. زیرا در روش کاربرد جاذب CNT هزینه خرید جاذب و در روش استخراج مایع–مایع هزینه تامین حلالهای استخراج به مراتب بالاتر از هزینه های روش الکترودیالیز در پتانسیل بهینه می باشد. لذا روش الکترودیالیز از توجیهات اقتصادی لازم برخوردار است. همچنین از نقطه نظر عملیاتی کاربرد پتانسیل های بهینه و پایین (عدم نیاز به کاربرد پتانسیل های بالا و تحمیل شرایط پیچیده الکتروشیمیایی نظیر اکسیداسیون آب) از مزایای فنی این روش می باشد. لذا به عنوان روش با اولویت بالا برای حذف یون های آلی روش الکترودیالیز با استفاده از مایعات یونی پیشنهاد می گردد.

بر اساس نتایج آنالیز یونی، کلسیم، نیترات، سولفات و فسفات دارای مقادیر بسیار بالا ۹۲۱ ppm، ۶۵۶ ppm، ۳۶۴۶ ppm و ۵ ppm می باشد. بالا بودن این مقادیر را می توان به پساب بودن منشا آب تامینی نسبت داد. همانطور که پیش از این شرح داده شد، یون کلسیم عامل اصلی رسوبگذاری می باشد و می بایست در کلاریفایر با ایجاد رژیم شیمیایی مناسب حذف گردد. از سوی دیگر یونهای نیترات و سولفات عامل خوراک باکتریهای NRB و SRB می باشند که روشهای انتخاب گزین حذف یونهای نیترات با استفاده از رزین های تبادل یون و سولفات با روش احیا بیولوژیکی در اولویت دوم مقابله با عوامل میکروبی قرار دارد.

در نهایت با توجه با بالا بودن عوامل میکروبی TRB، IRB و APB و همچنین بالا بودن غلظت خوراک عوامل میکروبی نظیر کلسیم، نیترات، سولفات و فسفات منشا تشدید رشد عوامل میکروبی TRB و SRB، روشهای سنتی مقابله با عوامل میکروبی نظیر کلرزنی ، برم زنی و ازن زنی کارایی مناسب نخواهد داشت. در نتیجه، به عنوان اولویت سوم روشهای بر پایه زیست کش های غیر اکسید کننده در دستور کار قرار می گیرد. که بدین منظور زیست کش DBNPA و نمک چهارتایی کواتس می تواند گزینه بسیار مناسبی برای رسیدن به این هدف باشد (۳۲).

نتیجه گیری

نیروگاه شهید مفتح همدان یک مورد خاص نیروگاهی محسوب می گردد زیرا اب چرخه خنک کن از محل تصفیه فاضلاب شهری تامین می گردد. نتایج حاکی از آن است که گونه های سدیم، پتاسیم و منیزیم غلظت مساعد و در مقابل گونه های کلسیم، نیترات و فسفات غلظت های بسیار بالایی را دارند. غلظت بالای نیترات و فسفات را می توان به پساب بودن نمونه آب تامینی نسبت داد. از سوی دیگر غلظت بالای نیترات نیز به نوبه خود رشد باکتری های NRB را نیز تشدید می کند. از سوی دیگر عمده عوامل میکروبی داری غلظت متوسط رو به بالا می باشند و نتایج آزمون شمارش تعداد کل باکتری عدد 10^3 را نشان می دهد که تایید کننده مساعد بودن شرایط نمونه آب چرخه خنک کن و متعاقبا پساب شهری تصفیه شده می باشد. از سوی دیگر مطالعات الکتروشیمیایی نظیر انجام آزمون‌های پلاریزاسیون تافل و اسپکتروسکوپی امپدانس نیز می تواند در بررسی ساز و کار و ریخت شناسی خوردگی های میکروبی می تواند بسیار کارآمد باشد. همچنین در ادامه راهکارهای اصلاحی مقابله با عوامی میکروبی به اختصار شرح داده شده است. (جدول شماره ۲)

جدول ۲- اولویت بندی راهکارهای مبارزه با عوامل میکروبی در نیروگاه شهید مفتح همدان

اولویت	روش
اولویت اول	حذف انتخاب گزین تیوسولفات، آهن و ترکیبات آلی – حذف انتخاب گزین یون تیوسولفات با استفاده از ذرات تیتانیوم اکسید به عنوان جاذب، حذف انتخاب گزین یون آهن به روش فیلتراسیون پس از اکسیداسیون آهن به روش ازن زنی و حذف انتخاب گزین ترکیبات آلی به روش الکترودیالیز با استفاده از مایعات یونی
اولویت دوم	رژیم شیمیایی کاهش غلظت کلسیم در کلاریفایر و حذف انتخاب گزین یونهای سولفات و نیترات – حذف انتخاب گزین یون سولفات با روش احیاء بیولوژیکی سولفات و ترسیب مس و حذف انتخاب گزین یون نیترات با استفاده از رزین تبادل یونی انتخاب گزین برای نیترات
اولویت سوم	کاربرد زیست کش غیر اکسید کننده نظیر DBNPA و نمک چهارتایی کواتس

با توجه به این موضوع که نتایج حاصل از پایش عوامل میکروبی و سنجش تعداد کل باکتری‌ها در نیروگاه همدان غلظت‌های بالایی از باکتری‌ها و عوامل میکروبی در چرخه خنک‌کن نیروگاه را نشان می‌دهد. همچنین با عنایت به نقش اساسی عوامل میکروبی در تشدید و تسریع خوردگی‌های الکتروشیمیایی و تحمیل هزینه‌های سنگین خوردگی، پیشنهاد می‌شود که بررسی و پایش عوامل میکروبی با بکارگیری از تست کیت‌ها و بویژه سنجش تعداد کل باکتری‌ها مورد توجه و دستور کار نیروگاه شهید مفتح همدان قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

انجام آزمایش‌ها : مجید قهرمان افشار

تحلیل داده‌ها و نتایج و نوشتن مقاله: مجید قهرمان افشار، محسن اسماعیل پور، حسین قاسمی نژاد و نرگس اسماعیلی.

تعارض منافع

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

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت های مالی شرکت مادر تخصصی برق حراراتی و پژوهشگاه نیرو مراتب قدردانی را به عمل آورده و ضمنا از همکاری و مساعدت مسئولین نیروگاه شهید مفتح همدان در راستای نمونه برداری و مشاوره های فنی کمال تشکر را دارند.

References

۱. García K, Barrero C, Morales A, Greneche J. Lost iron and iron converted into rust in steels submitted to dry–wet corrosion process. Corrosion Science. 2008;50(3):763-72. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.09.003

۲. Pan P, Chen H, Liang Z, Zhao Q. Experimental study on corrosion of steels for flue gas reheaters in a coal-fired power plant. Applied Thermal Engineering. 2017;115:267-79. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.066

۳. Hendrey GR. Aquatics task force on environmental assessment of the Atikokn Power Plant: effects on aquatic organisms. Brookhaven National Lab., Upton, NY (USA);1978.

۴. Ilhan-Sungur E, Çotuk A. Microbial corrosion of galvanized steel in a simulated

recirculating cooling tower system. Corrosion Science. 2010;52(1):161-71.

https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.049

۵. Shuangchen M, Jin C, Kunling J, Lan M, Sijie Z, Kai W. Environmental influence and countermeasures for high humidity flue gas discharging from power plants. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017;73:225-35.

https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.143

۶. Lekbach Y, Liu T, Li Y, Moradi M, Dou W, Xu D, et al. Microbial corrosion of metals: The corrosion microbiome. Advances in microbial physiology. 78: Elsevier; 2021. p. 317-90.

https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2021.01.002

۷. Jiang G, Zhou M, Chiu TH, Sun X, Keller J, Bond PL. Wastewater-enhanced microbial corrosion of concrete sewers. Environmental science & technology. 2016;50(15):8084-92.

https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02093

۸. Loto C. Microbiological corrosion: mechanism, control and impact—a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017;92(9-12):4241-52.

http://www.corrosionclinic.com/Retrieved: 28 12. 2016

۹. Jana A, Sarkar TK, Chouhan A, Dasgupta D, Khatri OP, Ghosh D. Microbiologically influenced corrosion of wastewater pipeline and its mitigation by phytochemicals: Mechanistic evaluation based on spectroscopic, microscopic and theoretical analyses. Journal of Molecular Liquids. 2022;364:119960.

https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119960

۱۰. Jia R, Unsal T, Xu D, Lekbach Y, Gu T. Microbiologically influenced corrosion and current mitigation strategies: a state of the art review. International biodeterioration & biodegradation. 2019;137:42-58.

https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.11.007

۱۱. Crini G, Lichtfouse E. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. Environmental Chemistry Letters. 2019;17:145-55.

https://doi.org/10.1007/s11157-005-1246-z

۱۲. Tork A, Azmi A, Moradi OA. Evaluation of the Effects of Shahid Mofateh Power Plant on Hamedan on the Surrounding Villages. Journal of Rural Research. 2022;13(1):122-39.

10.22059/JRUR.2022.331422.1681

۱۳. AKBARI V, GOODARZI M, JAVAHERDEH K, SHALUDEGI H. THE EFFECT OF INLET WATER TEMPERATURE ON THE AMOUNT OF EVAPORATED WATER IN COOLING TOWERS OF SHAHID MOFATEH POWER PLANT. 2015.

۱۴. Plant HSSMP. The effect of inlet water temperature on the amount of evaporated water in cooling towers of Shahid Mofateh power plant.

۱۵. Moradi M, Ghiara G, Spotorno R, Xu D, Cristiani P. Understanding biofilm impact on electrochemical impedance spectroscopy analyses in microbial corrosion and microbial corrosion inhibition phenomena. Electrochimica Acta. 2022;426:140803.

https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140803

۱۶. Dhokai C, Palkar RR, Jain V. Water saving in thermal power plant by use of membrane filter in cooling tower treatment. AIMS Environmental Science. 2022;9(3):21-28.

۱۷. Yang Y, Kim H, Starikovskiy A, Fridman A, Cho YI. Application of pulsed spark discharge for calcium carbonate precipitation in

hard water. Water research. 2010;44(12):3659-68.

https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.024

۱۸. Hawthorn D, Wilson DI. Calcium phosphate scale formation in power station condensers fed by cooling towers: a case of when not to use scaling indices. Heat Transfer Engineering. 2018.

https://doi.org/10.1080/01457632.2018.1522082

۱۹. Fernández-Nava Y, Maranon E, Soons J, Castrillón L. Denitrification of wastewater containing high nitrate and calcium concentrations. Bioresource Technology. 2008;99(17):7976-81.

https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.048

۲۰. Al-Nakshabandi G, Saqqar M, Shatanawi M, Fayyad M, Al-Horani H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Agricultural Water Management. 1997;34(1):81-94.

https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01287-

۲۱. Fernández-Nava Y, Marañón E, Soons J, Castrillón L. Denitrification of high nitrate concentration wastewater using alternative carbon sources. Journal of Hazardous Materials. 2010;173(1-3):682-8.

https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.140

۲۲. Ruiz G, Jeison D, Chamy R. Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration. Water research. 2003;37(6):1371-7.

https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00475-X

۲۳. Alphenaar PA, Visser A, Lettinga G. The effect of liquid upward velocity and hydraulic retention time on granulation in UASB reactors treating wastewater with a high sulphate content. Bioresource Technology. 1993;43(3):249-58.

https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90038-D

۲۴. El Hajj H, Abdelouas A, Grambow B, Martin C, Dion M. Microbial corrosion of P235GH steel under geological conditions. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2010;35(6-8):248-53.

https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.04.007

۲۵. Scotto V, Di Cintio R, Marcenaro G. The influence of marine aerobic microbial film on stainless steel corrosion behaviour. Corrosion science. 1985;25(3):185-94.

https://doi.org/10.1016/0010-938X(85)90094-0

۲۶. Al-Ahmad M, Aleem FA, Mutiri A, Ubaisy A. Biofuoling in RO membrane systems Part 1: Fundamentals and control. Desalination. 2000;132(1-3):173-9.

https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)00146-6

۲۷. Torres-Sanchez R, Magana-Vazquez A, Sanchez-Yanez J, Gomez L. High temperature microbial corrosion in the condenser of a geothermal electric power unit. Materials performance. 1997;36(3):21-28.

۲۸. Carvalho L, Cristiani P, editors. Experiences of on-line monitoring of microbial corrosion and antifouling on copper alloys condenser tubes. Proceedings of International Conference on Heat Exchangers Fouling and Celaning, Crete Island, Greece; 2011.

۲۹. Attia SI. The influence of condenser cooling water temperature on the thermal

efficiency of a nuclear power plant. Annals of Nuclear Energy. 2015;80:371-8.

https://doi.org/10.1016/j.anucene.2015.02.023

۳۰. Ghahraman Afshar M, Esmaeilpour M, Ghaseminejad H. Investigation of water consumption in Shahid Montazer Ghaem steam power plant and technical-economic evaluation of the boilers' blowdown recycling solutions. Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran. 2023.

۳۱. قهرمان افشار م, قاسمی نژاد ح. بررسی خوردگی میکروبی در آب چرخه خنک کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان. فصلنامه علمی-پژوهشی مواد نوین. ۱۳;۲۰۲۲(۴۹):۲۶-۱۵.

10.30495/JNM.2023.31802.1992

۳۲. Afshar MG ,Azimi M, Habibi N, Masihi H, Esameilpour M. Batch and Continuous Bleaching Regimen in the Cooling Tower of Montazer Ghaem Power Plant. Journal of Hazardous Materials Advances. 2023:100339.

https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100339