Research Paper

Microbial Corrosion in Cooling Water of Lushan Shahid Beheshti Power Plant

Majid Ghahraman Afshar*[1], Hossein Ghaseminejad[2], Mohsen Esmaeilpour[1]

1. Assistant Professor, Chemistry and Process Engineering Department, Niroo Research Institute, Tehran, Iran
2. Lab. Technician, Chemical and Process Engineering Department, Niroo Research Institute, Tehran, Iran

Received: 2023/04/24
Revised: 2023/06/25
Accepted: 2023/06/28

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/jnm.2023.31802.1992

Keywords:
Microbial corrosion; Thermal power plant; Water quality control; Cooling tower: Chemical control;

Abstract

The corrosion and especially microbial corrosion in thermal power plants due to the frequent use of contaminated water sources has long been a source of economic problems, efficiency reduction, equipment and technical failure. The main reasons of these problems are a of existence of microbial organism in the water of cooling tower. In this work, the aim is to collect information on the microbial corrosion in the cooling water of Shahid Beheshti power plant of Lushan and to provide several solutions to reduce the occurrence of microbial corrosion Therefore, physicochemical properties, microbial tests and ion measurement are conducted in order to investigate the parameters affecting this phenomenon for the cooling tower of Shahid Beheshti power plant of Lushan. The microbial tests include the TBC test to measure the total number of bacteria (general test) and specific tests to measure specific bacteria such as APB, FP, IRB, NRB, Aero, SRB and TRB. Moreover, physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, salinity percentage, hardness and water temperature), anions and cations are determined. It is observed that the calcium ion in the sample is in the range of high concentration (517 ppm) which leads to increase sedimentation and retention of water in the cooling cycle. On the other hand, the high concentration of sulfate (2126 ppm) causes the growth of SRB in the sample. For this purpose, it is very important to control and tackle these problems by applying sediment-forming and destructive microbial agents in the cycle. Common methods such as chlorination and ozonation are the first priority to deal with microbial corrosion in this power plant. Due to the high concentration of sulfate ions, it is suggested that selective removal of sulfate ions counts as a second priority. High concentration of calcium ion might be resolved by applying the chemical regimes in the clarifier such as adding CaOH, FeCl3 and coagulant and control and inhibit the microbial corrosion.

Citation: Majid Ghahraman Afshar, Hossein Ghaseminejad, Mohsen Esmaeilpour. Investigating Microbial Corrosion in Cooling Water of Lushan Shahid Beheshti Power Plant, Quarterly Journal of New Materials. 2022; 13 (49): 15-26.

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

Extended Abstract

Introduction

Corrosion, as a destructive phenomenon, creates many problems for various industries. Corrosion is one of the major problems in the power industry in sectors such as corrosion in parts, equipment and facilities of power plants and power generation, transmission and distribution networks. The effects of this destructive phenomenon result in many financial losses for the power industry including the damages of replacement and repair of equipment's and the insufficient efficiency of electricity generation, transmission and distribution.

In order to increase the working life of the parts, reduce the damage caused by the corrosion of the equipment, and prevent the wastage of national capital the corrosion rate must be controlled and reduced. Designing the novel program of new corrosion control and monitoring technologies minimizes corrosion costs. This program is performed by having a coherent and practical program in a specific time frame and correctly managing measures and carrying out technological projects in the field of operationalizing control and monitoring technologies.

The main goal of this work is to investigate the parameters affecting the microbial corrosion phenomenon by relying on general tests, microbial tests and ion measurement tests for Lushan power plant. Microbial tests include the test for measuring the total number of bacteria (general test) and specific tests for measuring specific bacteria such as APB, FP, IRB, NRB, Aero, SRB and TRB. The test of physicochemical parameters and measurement of anions and cations is performed in a complementary way. According to the literatures, there is a great interest in measuring the concentration of calcium ion, sulfate as a sedimentation factor and the growth of SRB bacteria.

Experimental

In this section, a set of microbial tests is performed on the circulating cooling tower sample of power plants, which includes a test to measure TBC (general test) and specific tests to measure specific bacteria. The conditions for performing each test are in accordance with the technical note provided by Ibresco, which determines the presence and absence of any type of bacterial agent by changing the color of the test kits and comparing it with the color change of the reference sample kit.

In order to evaluate the water quality (in-situ), parameters including pH, electrical conductivity, salinity percentage, hardness and water temperature are determined by using HANNA brand conductivity analyzer and thermometer (HI 2300 EC/NaCl/TDS Meter). Important and analyzable parameters in cooling tower samples, such as ions in the sample, have been performed using standard methods used in the world.

Findings and Discussion

The results of the TBC test show the approximate number of bacterial colonies to 10,000 cfu/ml, which is in the Moderate range. The APB test indicates the high invasion power of bacteria with a value of 500,000 cfu/ml, as well as the white sediment collected at the bottom of the vial, which indicates anaerobic bacteria. In the FP test, by placing the kit under the UV lamp, the solution inside the falcon becomes cloudy and the fluorescence grow is observed, which indicates the positive growth of bacteria.

According to the results of the IRB test, very high invasive power is reported and the formation of a black layer around the sphere and the bottom of the vial indicates a diverse population of aerobic and anaerobic IRB bacteria. The bacterial population is reported to be more than 140,000 cfu/ml, which is a significant amount. In the NRB test, the color change from green to yellow indicates the presence of NRB bacteria with moderate functional strength. The Aero test indicates a medium-to-high aggressiveness, and the black layer at the bottom of the sphere indicates the activity of anaerobic bacteria. In the SRB test, the black color of the solution, which is only at the bottom of the vial, indicates the density of the dominant anaerobic bacteria Disulfovibrio. In the TRB test, the results are proved a high aggressiveness and the deposit on the bottom of the vial indicates the presence of anaerobic bacteria.

According to the analyzes carried out in the chemical laboratory of Shahid Beheshti Lushan power plant, the pH of the sample was reported as alkaline. The main reason for this is to control corrosion in the cooling tower in order to control the pH of the water. Moreover, in order to control the quality of water entering the cooling tower, electrical conductivity, salinity percentage and water hardness needs to be controlled in this sample. According to the analyzes performed on the water of the cooling tower of Lushan power plant, it is proved that the calcium ion possesses a high in the sample and this leads to increase sedimentation in the cooling tower. On the other hand, the high concentration of sulfate causes the growth of sulfate-reducing bacteria in the sample.

Conclusion

In Lushan power plant, the cooling tower water is supplied from the well, which has more favorable conditions than the supply water from the river or the sea, which show moderate amounts of sodium, magnesium and alkalinity ions. The only species that has a relatively high concentration is the precipitating calcium ion, which intensifies the growth of microbial agents. The results indicate that most of the microbial agents have average and upward values and the results of counting the total number of bacteria show 104 cfu/ml. In order to control and prevent the corrosion phenomena, the corrective strategies to deal with microbial parameters are briefly described.

In the first priority, continuous chlorination and ozonation using an ozone generator device is proposed here. As the second solution, the selective removal of sulfate ion by biological reduction method and removal of nitrate using selective ion exchange resin are recommended. Finally, the addition of coagulants such as CaOH and using electrolytic coagulants are recommended as the third solution in the chemical regiment of clarifier to reduce the concentration of calcium.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

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

Funding

The funding is supported from Niroo Research Institute.

Authors' contributions

Design experiments and perform: Majid Ghahraman Afshar, Mohsen Esmaeilpour and Hossein Ghaseminejad

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی خوردگی میکروبی در آب چرخه خنک کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان

مجید قهرمان افشار*[۱]، حسین قاسمی نژاد[۲]، محسن اسماعیل پور[۱]
۱. استادیار، گروه پژوهشی شیمی و فرایند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
۲. کارشناس آزمایشگاه، گروه پژوهشی شیمی و فرایند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴
تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

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

DOI: 10.30495/jnm.2023.31802.1992

واژه‌های کلیدی:
خوردگی میکروبی، نیروگاه حرارتی، کنترل کیفیت آب، چرخه خنک کن، کنترل شیمیایی.

چکیده

بروز پدیده خوردگی و بطور ویژه خوردگی میکروبی در نیروگاه‌های حرارتی به دلیل استفاده مکرر از منابع آب آلوده به عنوان سیال خنک کن از دیرباز حامل مشکلات اقتصادی، کاهش راندمان، خرابی تجهیزات و ایجاد نقص فنی بوده است. در این کار هدف گردآوری اطلاعات پیرامون پدیده خوردگی میکروبی در آب چرخه خنک کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان و ارائه چندین راهکار جهت کاهش بروز خوردگی میکروبی در آب خنک کن می باشد. به منظور بررسی پارامترهای اثرگذار بر پدیده خوردگی میکروبی، آزمون‌های عمومی، آزمون‌های میکروبی و آزمون‌های سنجش یون‌ها برای این نیروگاه انجام گردیده است. آزمون‌های میکروبی 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. آزمون پارامترهای فیزیک و شیمیایی (pH، هدایت الکتریکی، درصد شوری، سختی و دمای آب) و سنجش آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز به صورت تکمیلی انجام گرفت. براساس نتایج آزمون‌ها، غلظت یون کلسیم در نمونه بسیار بالا بوده (ppm ۵۱۷) و این مورد باعث افزایش رسوب‌گذاری و ماند آب در چرخه خنک کن خواهد شد. از طرفی، غلظت بالای سولفات (ppm ۲۱۲۶) عامل ایجاد رشد باکتری SRB در نمونه می‌شود. لذا، روش‌های کنترل عوامل رسوب‌گذار و میکروبی که منجر به خوردگی میکروبی می‌شوند در دستور کار قرار گرفته است. روش‌های معمول نظیر کلرزنی و ازن زنی در اولویت اول راهکارهای مقابله با عوامل میکروبی قرار می گیرد. با توجه به بالا بودن غلظت یون سولفات پیشنهاد می‌گردد به عنوان یک راهکار در اولویت دوم حذف انتخاب گزین یون سولفات در دستور کار قرار گیرد. به دلیل غلظت بالای یون کلسیم و در نتیجه آن قلیائیت بالا، رژیم‌های شیمیایی کاربردی در زلال ساز نظیر افزودن آهک، کلروفریک و منعقدکننده‌ها به عنوان راهکار در اولویت سوم قرار می‌گیرند.

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

مقدمه

محیط‌های طبیعی که منشاء اصلی خوردگی‌های صنعتی محسوب می‌گردند شامل محیط‌های خاکی و آبی می‌باشند که در تماس مستقیم با تجهیزات صنعتی هستند. در هر جریب حجمی خاک (معادل $۴۳۵۶۰FT^3$) ممکن است تا ton ۵ باکتری وجود داشته باشد که این شامل باکتری‌های مضر نیز می‌شود. بنابراین تأسیساتی مانند لوله‌های انتقال آب، سوخت و گاز که روی خاک یا درون آن قرار داشته باشند در معرض خطر بالقوه خوردگی میکروبی قرار دارند. رسوبات موجود در آب رودخانه‌ها و دریاها محیط‌های مناسب برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها[1] هستند. این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در سازه‌های دریایی از قبیل پایه‌های دکل‌های حفاری بدنه کشتی‌ها و قسمت‌های فلزی یا غیرفلزی که در تماس با آب هستند ایجاد مشکلات جدی نمایند. بر طبق بررسی‌ها، پلیمرها (نظیر پلی‌اورتان) نیز از اثرات جمعیت‌های میکروبی در امان نیستند [۱-۶].

خوردگی میکروبی در صنایع گوناگون واقع می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به صنایع برق، نفت و گاز، صنایع آب و فاضلاب، نیروگاه‌های هسته‌ای، صنایع هواپیماسازی، کشتیرانی و صنایع فلزکاری اشاره نمود. خوردگی میکروبی می‌تواند در تمامی محیط‌ها از قبیل خاک، آب شیرین، آب دریا و صنایعی همچون نفت، تولید نیرو و صنایع دریایی روی دهد. عقیده بر این است که خوردگی میکروبی مسئول ۲۰% از خسارت ناشی از فرسایندگی می‌باشد. در اینگونه محیط‌های صنعتی خطر آلودگی میکروبی که منجر به خوردگی و فرسایش در سایر بخش‌ها می شود، از منابع طبیعی مانند آبها به چرخه نفوذ می‌کند [۷-۹]. بعضی از مثال‌های صنعتی محیط‌های در معرض خوردگی میکروبی به شرح ذیل می‌باشند [۱۰-۱۵].

- ✓صنعت نفت و پتروشیمی
- ✓کشتی‌سازی
- ✓صنایع کاغذسازی
- ✓سازه‌های دریایی
- ✓هواپیماهایی
- ✓نیروگاه‌ها

باکتری‌ها عامل تقویت فرسایندگی عمده ماشین آلات حفاری و تلمبه زنی و مخزن‌های ذخیره شمرده می‌شوند. گزارش‌ها حاکی از این است که خوردگی میکروبی نفت خام را آلوده می‌نماید که باعث افزایش سطح سولفور سوخت‌ها می‌گردد [۱۶-۱۸]. این باکتری‌ها در فرآیندهای ثانویه تصفیه نفت مهم می‌باشد که در آنجا رشد باکتری در آب ورودی می‌تواند سبب مسدود شدن لوله‌های ماشین آلات در این فرآیندها گردد [۱۹, ۲۰]. همچنین گمان بر این است که این میکروارگانیسم‌ها نقشی اساسی در تولید هیدروکربن‌های نفت ایفا می‌کنند. عدم کنترل و ازدیاد خوردگی میکروبی می‌تواند تأثیر زیست‌محیطی مخرب از قبیل آزادسازی اکسید دیوتریوم یا آب سنگین (D_2O) به محیط زیست وارد نماید [۲۱-۲۳].

خوردگی به‌عنوان پدیده‌ای مخرب که مشکلات بسیاری برای صنایع گوناگون ایجاد می‌کند در صنعت برق کشور نیز یکی از مشکلات عمده در بخش‌هایی مانند خوردگی در قطعات، تجهیزات و تأسیسات نیروگاه‌ها و شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع برق به شمار می‌رود. آثار این پدیده مخرب خسارات مالی فراوانی برای صنعت برق به دنبال دارد. این خسارت‌ها شامل خسارت‌های مربوط به تعویض و تعمیر قطعات خورده شده و بازده ناکافی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق است. کنترل و کاهش خوردگی تجهیزات منجر به افزایش عمر کاری قطعات، کاهش خسارات ناشی از خوردگی تجهیزات و ممانعت از هدر رفت سرمایه‌های ملی می‌شود [۲۴]. استفاده صحیح از فناوری‌های نوین کنترل و پایش خوردگی باعث به حداقل رساندن هزینه‌های خوردگی می‌شود و انجام این امر با داشتن یک برنامه منسجم و کاربردی در بازه زمانی مشخص و مدیریت صحیح اقدامات و انجام پروژه‌های فناورانه در این زمینه و عملیاتی نمودن فناوری‌های کنترل و پایش خوردگی در صنعت محقق می‌شود. خسارت‌های مالی ناشی از خوردگی را می‌توان به شکل زیر دسته‌بندی کرد [۲۵-۲۷].

- ✓کاهش تولید برق در اثر تعطیلی و از کار افتادن سامانه؛
- ✓هزینه‌های تعمیر و نگهداری سامانه؛
- ✓ضرر ناشی از به هدر رفتن سوخت و انرژی در اثر پایین آمدن راندمان؛
- ✓کاهش کیفیت؛
- ✓هزینه و کار زائد به علت لزوم فعالیت بیشتر در ارتباط با ساخت، انبارداری و حمل و نقل قطعات یدکی.

بررسی خوردگی میکروبیولوژیک در نیروگاه‌ها چنان قدمتی ندارد و تنها در سالیان اخیر است که به نقش میکروارگانیسم‌ها در خوردگی توجه کرده‌اند. در بعضی از نیروگاه‌ها حدوداً تا دویست فرم مختلف از باکتری‌ها شناخته شده‌اند. خوردگی حفره‌ای سطح فلزی از انواع رایج خوردگی میکروبی در نیروگاه‌ها می‌باشد. موارد خوردگی میکروبیولوژیک ممکن است در سیستم‌های آب سرویس مبدل‌های حرارتی سیستم، آب آتش نشانی و مخازن ذخیره آب بدون املاح و سیستم گوگردزدایی گازی مشاهده شود [۲۸, ۲۹].

براساس مطالعات انجام شده خوردگی‌های میکروبی عمدتاً از نوع خوردگی‌های تر هستند که در سطح تماس تجهیز فلزی با آب حادث می‌گردند. بر این اساس، احتمال وقوع خوردگی میکروبی در چرخه آب- بخار و خنک کن وجود دارد. لذا با توجه به شرایط بحرانی دما و فشار چرخه آب-بخار احتمال حضور و بقاء میکروارگانیسم‌ها و ماکرو ارگانیسم‌ها در چنین شرایطی بسیار ناچیز می‌باشد. از سوی دیگر و بر پایه این اصول، احتمال وقوع خوردگی میکروبی در چرخه خنک کن بسیار بالا می‌باشد. به دنبال آن در فاز عملیاتی این پژوهش احتمال وقوع خوردگی میکروبی در چرخه آب خنک کن با راهکار

[1]- Micro Organism

بررسی عوامل میکروبی موجود در آب مورد پایش و بررسی قرار می‌گیرد. از این رو، بررسی خوردگی میکروبی در آب چرخه خنک کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان و ارائه راهکار جهت مقابله با بروز خوردگی میکروبی در این نیروگاه هدف اصلی این پژوهش بوده است.

به‌منظور توسعه شبکه تولید برق کشور در نیمه دوم سال ۱۳۴۸ قرارداد احداث دو واحد نیروگاه بخار هر یک به قدرت ۱۲۰MW بنام نیروگاه منجیل منعقد و در نیمه دوم سال ۱۳۵۲ وارد شبکه سراسری گردید که بعدها بنام نیروگاه شهید بهشتی لوشان نامیده شد و تاکنون بهره‌برداری از آن بعهده شرکت مدیریت تولید برق لوشان می‌باشد. نیروگاه در فاصله ۵ کیلومتری شهر لوشان در منطقه‌ای بنام جمال آباد در مسیر جاده قدیم قزوین–رشت و در کنار رودخانه شاهرود (استان گیلان، شهرستان رودبار، در کیلومتر ۹۰ جاده قدیم قزوین–رشت) در زمینی به مساحت حدود ۴۸ هکتار در ارتفاع ۳۱۰ متری از سطح دریا در استان گیلان واقع شده است. همچنین در سال ۱۳۵۶ نیز دو واحد گازی هر یک به قدرت ۶۰ MW احداث شد که جمع تولید نیروگاه را به ۳۶۰MW رساند که شامل ۲ واحد گازی۶۰MW و ۲ واحد بخار ۱۲۰MW ساخت شرکت زیمنس آلمان می‌باشد. واحدهای بخش بخار در سال ۱۳۵۱ و واحدهای بخش گاز در سال ۱۳۵۶ به بهره‌برداری رسیده‌اند. سوخت این نیروگاه گاز طبیعی و سوخت پشتیبان نفت گاز (گازوئیل) است. منبع تأمینی آب نیروگاه چاه‌های حفر شده در بستر رودخانه شاهرود می‌باشد که آب روزانه موردنیاز نیروگاه را تأمین می‌کند.

آب استحصالی مورد نیاز نیروگاه از طریق چاه فلمن (کم‌عمق) در کنار رودخانه شاهرود تأمین می‌گردد که قابلیت تأمین ۱۱۰۰ m^3/h در ماکزیمم ظرفیت طراحی خود را دارا می‌باشد. امروزه میانگین آب تأمینی مورد نیاز نیروگاه حدوداً برابر با ۷۰۰ m^3/h می‌باشد. در سال‌های اخیر میزان هدایت الکتریکی آب افزایش یافته است و بین مقادیر ۹۰۰–۲۰۰۰ µS/cm با توجه به فصول سال متغیر می‌باشد. پس از زلال ساز[1]، آب وارد حوضچه روباز با ظرفیت ۲۰۰۰ m^3 می‌شود که از این آب به‌منظور تغذیه برج‌های خنک‌کننده تر و تصفیه‌خانه استفاده می‌شود. سپس آب از حوضچه‌های روباز وارد دو فیلتر شنی شده و بعد از تصفیه به حوضچه رو بسته (ظرفیت ۲۰۰ m^3) منتقل می‌شود. تصفیه‌خانه این نیروگاه شامل دو ترین می‌باشد که هر ترین شامل ۲ فیلتر کاتیونی، ۲ آنیونی و یک فیلتر میکسدبد می‌باشد و همیشه یکی از ترین‌ها در سرویس و دیگری در حالت آماده به کار می‌باشد. این نیروگاه با توجه به نوع طراحی برج خنک‌کننده که به صورت تر جریان متقاطع می‌باشد، حدود ۹۰٪ آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد (۶ سل و ۶ فن). آب مورد نیاز برج از طریق حوضچه روباز تأمین می‌شود که میزان آب جبرانی هر دو برج برابر با ۴۵۰–۵۰۰ m^3/h می‌باشد. به منظور تفهیم اطلاعات ارائه شده، تصویر برج خنک‌کننده تر جریان متقاطع و مسیر زیرکش[2] خروجی نیروگاه لوشان در **شکل ۱** ارائه شده است.

شکل ۱- تصویر برج خنک‌کننده تر جریان متقاطع و مسیر زیرکش خروجی نیروگاه لوشان

از این رو، هدف اصلی در این کار بررسی پارامترهای اثرگذار بر پدیده خوردگی میکروبی با تکیه بر آزمون‌های عمومی، آزمون‌های میکروبی و آزمون‌های سنجش یون‌ها برای این نیروگاه بوده است. آزمون‌های میکروبی شامل آزمون سنجش تعداد کل باکتری‌ها (آزمون عمومی) و آزمون‌های اختصاصی سنجش باکتری‌های خاص نظیر APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB می‌باشد.

آزمون پارامترهای فیزیک و شیمیایی و سنجش آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز به صورت تکمیلی انجام خواهد گرفت. بر اساس آزمون‌ها، غلظت یون کلسیم، سولفات به عنوان عامل رسوب‌گذاری و رشد باکتری SRB در نمونه از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. لذا، روش‌های کنترل عوامل رسوب‌گذار و میکروبی که منجر به خوردگی میکروبی می‌شوند در دستور کار قرار گرفت.

[1] -Clarifier

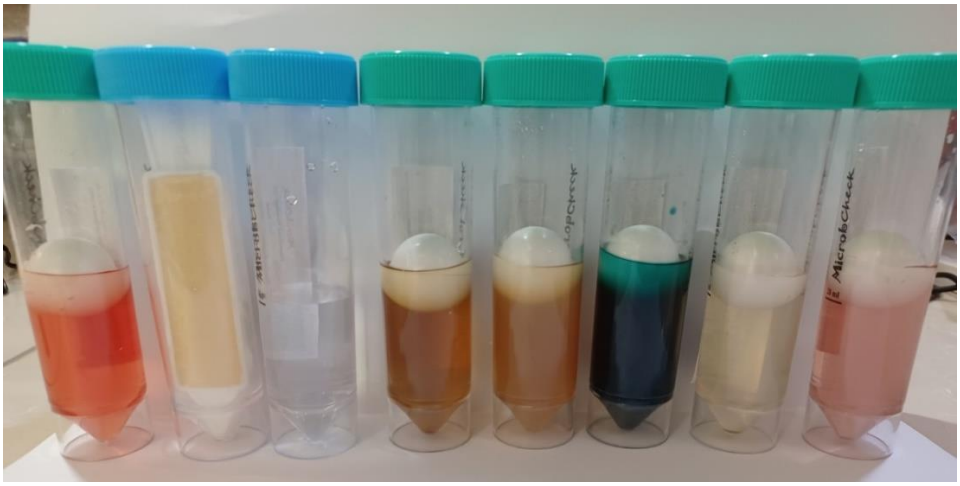
[2] -Blow down

مواد و روش‌ها

در این بخش نمونه‌برداری و انجام آزمون‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی و سنجش یون‌ها در دستور کار قراردارد. در این راستا پس از هر بازدید نیروگاهی دسته آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی در محل و آزمون‌های سنجش یون‌ها پس از نمونه‌برداری در آزمایشگاه صورت می‌پذیرد.

آزمون‌های میکروبی

در این بخش مجموعه آزمون‌های میکروبی بر روی نمونه آب خنک‌کن در گردش نیروگاه شهید بهشتی لوشان انجام می‌پذیرد که این مجموعه شامل آزمون[1] (TBC) سنجش تعداد کل باکتری‌ها (آزمون عمومی) و آزمون‌های اختصاصی سنجش باکتری‌های خاص نظیر باکتری‌های تولید کننده اسید[2] (APB)، فلورسانس سودوموناس[3] (FP)، باکتری‌های مرتبط با آهن[4] (IRB)، باکتری احیاءکننده نیترات[5] (NRB)، سنجش باکتری آئروبیک[6] (Aero)، باکتری احیاءکننده سولفات[7] (SRB) و باکتری احیاءکننده تیوسولفات[8] (TRB) می‌باشد 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 دستورالعمل آزمون‌ها انجام می‌گردد و در نهایت با استفاده از تغییر رنگ تست کیت‌ها و مقایسه آن با تغییر رنگ نمونه مرجع حضور و عدم حضور و میزان هر نوع عامل باکتریایی تعیین می‌گردد. کیت میکروبی شاهد: نتایج بر همکنش میکروبی یک نمونه در لحظه افزودن نمونه به کیت‌های میکروبی شامل TBC، APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB مورد بررسی قرار گرفت که به عنوان نمونه شاهد (بدون تغییر رنگ) برای استفاده‌های بعدی و تشخیص تغییر رنگ‌ها در نمونه‌های نیروگاهی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. تمامی کیت های تهیه شده از شرکت ایبرسکو استریل می باشد. همچنین، برای نمونه برداری از آب چرخه خنک کن ظروف نمونه برداری ۳ بار توسط آب چرخه کر داده می شود[9] تا نمونه ها مشخصه های میکروبی آب چرخه را داشته باشند. هر آزمون میکروبی به تعداد ۳ بار تکرار صورت پذیرفته و نتایج میانگین گرفته شده و ارائه گردیده است.



شکل ۲- کیت میکروبی شاهد شامل TBC، APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB

آزمون‌های در محل هدایت، شوری، pH و کدورت آب خنک‌کن

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، به منظور بررسی کیفیت آب، برخی پارامترها همچون pH، هدایت الکتریکی، درصد شوری، سختی و دمای آب با بکارگیری دستگاه آنالیز هدایت‌سنجی و دماسنج برند HANNA مدل (HI 2300 EC/NaCl/TDS Meter) مورد بررسی قرار گرفتند.

آزمون‌های شیمیایی سنجش آنیون‌ها و کاتیون‌های آب خنک‌کن

پارامترهای مهم و قابل آنالیز در نمونه‌های آب چرخه خنک‌کن مانند یون‌های موجود در نمونه نیازمند سنجش دقیق در آزمایشگاه می‌باشد.

[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
[9] -Making dirty the sampling vessel

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

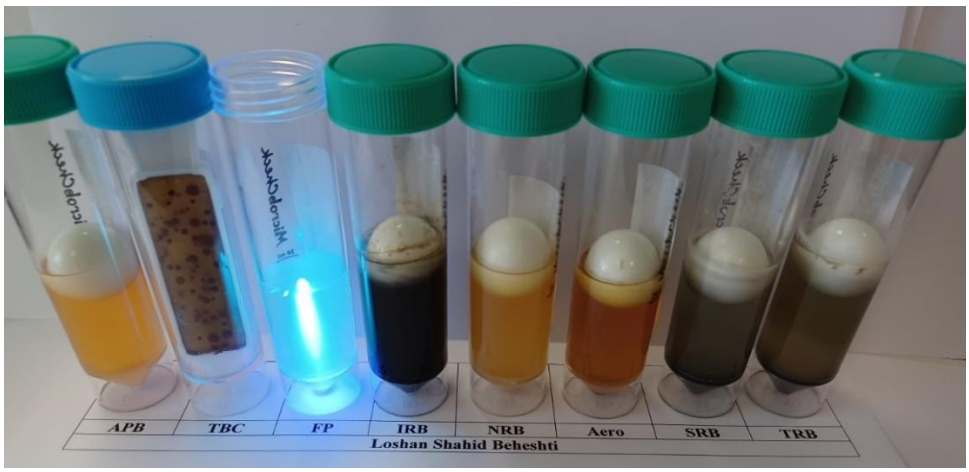
آنالیز یون‌های کلرید، سولفات و قلیاییت نمونه نیز به ترتیب با روش تیتراسیون موهر، تیترایسیون باریم و تیتراسیون با HCl اندازه‌گیری شده است. استاندارد انجام این آزمون‌ها نیز روش Cl 4500، 4110 SMWW و 2320 B SMWW می‌باشد.

نتایج

ساده‌ترین راهکار برای شناسایی خوردگی میکروبی، شناخت میکروارگانیسم‌های دخیل در این پدیده (محلول در آب) می‌باشد. از مهمترین عوامل خوردگی میکروبی می‌توان به باکتری آهن، باکتری سولفور و باکتری احیاءکننده سولفات اشاره نمود. با انجام آزمون‌های میکروبی و با بهره‌گیری از کیت‌های میکروبی و محیط کشت انواع میکروب‌ها و باکتری‌ها می‌توان به تعداد میکرواورگانیسم‌های موجود در یک نمونه پی برد. درک صحیح از تعداد و نوع میکروب‌ها و میکرواورگانیسم‌ها در نمونه قابلیت بررسی و کنترل رژیم شیمیایی را به همراه خواهد داشت. از این رو، انجام آزمون‌های میکروبی به منظور استفاده از راهکار دقیق و صحیح در کنترل شیمیایی ضرورت بالایی دارد.

آزمون های میکروبی آب خنک‌کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان

نتایج آزمون TBC تعداد تقریبی کلونی باکتری در ۱ mL برابر با ۱۰۰۰۰ cfu/ml را نشان می‌دهد که در رنج میانی[1] قرار دارد. آزمون APB نشان‌دهنده قدرت تهاجم بالای باکتری‌ها دارای مقدار cfu/ml ۵۰۰۰۰۰ می‌باشد و همچنین رسوب سفید رنگ در کف ویال جمع شده که نشان‌دهنده باکتری های بی‌هوازی می‌باشد. در آزمون FP با قرار دادن کیت زیر لامپ UV محلول درون فالکون کدر شده و درخشش فلوئورسانس مشاهده می‌گردد که این پدیده بیانگر رشد مثبت باکتری‌ها می‌باشد. براساس نتایج آزمون IRB قدرت تهاجمی بسیار بالا گزارش می‌گردد و تشکیل لایه سیاه رنگ در اطراف گوی و کف ویال نشان‌دهنده جمعیت متنوع از باکتری‌های IRB هوازی و بی-هوازی می‌باشد. میزان جمعیت باکتری بیش از cfu/ml ۱۴۰۰۰۰ گزارش می‌گردد که مقدار قابل توجهی محسوب می‌گردد. در آزمون NRB تغییر رنگ از سبز به زرد نشان‌دهنده حضور باکتری NRB با قدرت عملکردی متوسط می‌باشد. آزمون Aero نشان‌دهنده قدرت تهاجمی متوسط رو به بالا می‌باشد که لایه سیاه در پایین گوی نشان-دهنده فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی است. در آزمون SRB رنگ سیاه محلول که فقط در کف ویال است نشان‌دهنده تراکم باکتری‌های بی-هوازی غالب دیسولفو ویبریو[2] می‌باشد. در آزمون TRB نتایج نشان-دهنده قدرت تهاجمی بالا می‌باشد و رسوب کف ویال نشان‌دهنده حضور باکتری‌های بی‌هوازی است.



شکل ۳- کیت میکروبی نیروگاه شهید بهشتی لوشان شامل TBC، APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB

[1]- Moderate

[2] - Desulfovibrio

آزمون‌های در محل هدایت، شوری، pH و کدورت آب خنک کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان

با توجه به آنالیزهای انجام شده در آزمایشگاه شیمی نیروگاه شهید بهشتی لوشان pH نمونه قلیایی گزارش شده است. دلیل اصلی این موضوع کنترل خوردگی در چرخه خنک‌کن به منظور کنترل pH آب می‌باشد. همچنین جهت کنترل کیفیت آب ورودی خنک‌کن، هدایت الکتریکی، درصد شوری و سختی آب نیز در این نمونه کنترل گردیده و در **جدول ۱** قابل مشاهده است.

آزمون‌های شیمیایی سنجش آنیون‌ها و کاتیون‌های آب خنک‌کن نیروگاه شهید بهشتی لوشان

با توجه به آنالیزهای انجام شده بر آب چرخه خنک‌سازی نیروگاه لوشان، قابل مشاهده است که یون کلسیم در نمونه بالا بوده و این مورد باعث افزایش رسوب‌گذاری در چرخه خنک‌کن خواهد شد. از طرفی، غلظت بالای سولفات عامل ایجاد رشد باکتری‌های احیاکننده سولفات در نمونه می‌شود.

جدول ۱- مجموع نتایج آزمون‌های میکروبی، پارامترهای فیزیک و شیمیایی و سنجش یون‌ها در نیروگاه شهید بهشتی لوشان

Ions Concertation		Physicochemical Properties		Microbial Test	
Na^+/ ppm	570.0				
K^+/ ppm	12.0			TRB/cfu/ml	>6800000
Ca^{2+}/ ppm	517.0	pH at 25°C	8.2	SRB/cfu/ml	>6800000
Mg^{2+}/ ppm	128.5	T/°C	27.6	Aero/cfu/ml	61000-575000
NO_3^-/ ppm	27.6	Cond/ms	4.79	NRB/cfu/ml	متوسط
Cl^-/ ppm	629.2	Salt/%NaCl	8.0	IRB/cfu/ml	>140000
SO_4^{2-}/ ppm	2126.0	Hardness/g/L	2.38	FP/cfu/ml	+
NO_2^-/ ppm	0.04	T-Alka/ppm	80.8	TBC/cfu/ml	104
PO_4^{3-}/ ppm	1.6			APB/cfu/ml	500000
F^-/ ppm	0.8				

در این بخش اطلاعات جامع و کاملی درباره حضور ۷ نوع عامل میکروبی شامل APB، FP، IRB، NRB، Aero، SRB و TRB و همچنین شمارش تعداد کل باکتری‌ها (TBC) در آب چرخه خنک‌کن در آب جرخه خنک‌کن در نیروگاه لوشان بدست آمده است. همچنین بصورت ویژه تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی شامل هدایت، pH، شوری، کدورت، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های خورنده و محصول خوردگی بر روی وجود و میزان هر عامل میکروبی مورد بررسی قرار گرفته است. لذا، در شرایط کنونی با پیش‌بینی احتمال رشد سریع عوامل میکروبی، سنجش و پایش عوامل میکروبی و به دنبال آن ارائه راهکارهای مقابله با آن از درجه اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

راهکار اصلاحی شیمیایی پیشگیرانه خوردگی میکروبی در نیروگاه شهید بهشتی لوشان

در نیروگاه لوشان، آب تأمینی از چاه تأمین می‌گردد که میزان یون کلسیم و در نتیجه قلیاییت بالایی دارد. یون کلسیم رسوب‌گذار می‌باشد که این عامل رشد عوامل میکروبی را تشدید می‌نماید. نتایج حاکی از آن است که عمده عوامل میکروبی دارای مقادیر متوسط رو به بالا و نتایج آزمون شمارش تعداد کل باکتری عدد ۱۰۴ cfu/ml را نشان می‌دهد که براساس مطالعات، بالا بودن سطح TBC تا حدود زیادی به غلظت یون کلسیم و سولفات وابسته است.

بر اساس نتایج آنالیز یونی آب چرخه خنک کن نیروگاه لوشان، مجموع غلظت یونی در حدود متوسطی قرار دارد. از سوی دیگر غلظت یون کلسیم و یون سولفات دارای مقادیر بسیار بالایی به ترتیب ۵۱۷ ppm و ۲۱۲۶ ppm می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز میکروبی شرایط آب نیروگاه از نقطه نظر حضور عوامل میکروبی بحرانی نمی‌باشد و روش‌های معمول نظیر کلرزنی و ازن زنی در اولویت اول راهکارهای مقابله با عوامل میکروبی قرار می‌گیرد.

با بررسی نتایج آنالیز یونی همانطور که مشاهده می‌گردد غلظت یون سولفات دارای مقادیر بسیار بالایی است که میزان حضور باکتری SRB دارای مقادیر بیش از ۶۸۰۰۰۰۰ حاکی از این مطلب می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد به عنوان یک راهکار در اولویت دوم حذف انتخاب‌گزین یون سولفات در دستور کار قرار گیرد. بر این اساس با حذف و یا کاهش غلظت یون سولفات تا حدود بسیار زیادی می‌توان میزان فعالیت SRB را کنترل نموده و کاهش داد. همچنین روش بهینه برای حذف

انتخاب‌گزین یون سولفات روش احیاء بیولوژیکی آن با ترسیب مس می‌باشد.

در ادامه با بررسی نتایج آنالیز یونی، غلظت بالای یون کلسیم و در نتیجه آن قلیائیت بالا منجر به تشدید رسوب‌گذاری در چرخه خنک‌کن می‌گردد. رسوب‌گذاری در چرخه از عوامل اصلی ماند آب در چرخه و تشدید رشد عوامل میکروبی می‌باشد. بدین منظور الزامی به نظر می‌رسد به عنوان راهکار در اولویت سوم با رژیم‌های شیمیایی کاربردی در زلال ساز نظیر افزودن آهک، کلروفریک و منعقدکننده‌ها، تا حد ممکن غلظت یون کلسیم رسوب‌گذار را کاهش داده و از ماند آب جلوگیری کرده و رشد عوامل میکروبی کنترل و بازداری گردد. براساس مطالعات پیشین و روش‌های کاربردی در نیروگاه‌ها، روش‌های بر پایه افزودن منعقدکننده و کمک منعقدکننده‌ها در زلال ساز مقرون به صرفه ترین روش‌ها در راستای کاهش عوامل رسوب‌گذار می‌باشند.

نتیجه گیری

در نیروگاه لوشان، آب مورد نیاز از چاه تأمین می‌گردد که نسبت به آب تأمینی از رودخانه و یا دریا شرایط مساعدتری را دارد که میزان یون‌های سدیم، منیزیم و قلیاییت مقادیر متوسطی را نشان می‌دهند. تنها گونه‌ای که غلظت به نسبت بالایی دارد یون کلسیم رسوب‌گذار می‌باشد که این عامل رشد عوامل میکروبی را تشدید می‌نماید. نتایج حاکی از آن است که عمده عوامل میکروبی دارای مقادیر متوسط رو به بالا و نتایج آزمون شمارش تعداد کل باکتری عدد ۱۰۴ cfu/ml را نشان می‌دهد. همچنین در ادامه راهکارهای اصلاحی مقابله با عوامی میکروبی به اختصار شرح داده شده است.

با بررسی انجام شده و ارائه راهکارهای نهایی، بهبود عملکرد چرخه خنک‌کن و همچنین عمر طولانی قطعات فلزی موجود در چرخه قابل دستیابی می‌باشد. بدین منظور، بررسی دوره‌ای پارامترهای ارائه شده در این کار و همچنین تولید و استفاده از کیت‌های میکروبی دقیق می‌تواند حائز اهمیت باشد. لذا، پیشنهاد می‌گردد نیروگاه‌هایی که از آب چاه، رودخانه و یا آب دریا به منظور خنک‌سازی استفاده می‌کنند، ضمن دقت در انجام فرآیندهای ارائه شده در جدول ۲، بررسی فیزیک و شیمیایی آب چرخه را در دستور کار قرار داده تا مانع مشکلات احتمالی از وجود میکروب‌ها و میکرواورگانیسم‌ها در چرخه خنک‌کن شوند.

جدول ۲- اولویت‌بندی راهکارهای مبارزه با عوامل میکروبی در نیروگاه شهید بهشتی لوشان

اولویت	روش
اولویت اول	روش کلرزنی به صورت پیوسته و ازن‌زنی با استفاده از دستگاه ازن‌ساز[1]
اولویت دوم	حذف انتخاب‌گزین سولفات به روش احیاء بیولوژیکی و ترسیب مس و حذف نیترات با استفاده از رزین تبادل یونی انتخاب‌گزین
اولویت سوم	رژیم شیمیایی کاهش غلظت کلسیم در زلال ساز افزودن منعقدکننده‌های نظیر آهک و کمک منعقدکننده‌های الکترولیتی

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

حامی مالی

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مالی شرکت مادر تخصصی برق حراراتی و پژوهشگاه نیرو مراتب قدردانی را به عمل آورده و ضمناً از همکاری و مساعدت مسئولین نیروگاه شهید بهشتی لوشان در راستای نمونه‌برداری و مشاوره‌های فنی کمال تشکر را دارند.

مشارکت نویسندگان

انجام آزمایش‌ها : قهرمان افشار و قاسمی نژاد.

تحلیل داده‌ها و نتایج: قهرمان افشار و اسماعیل‌پور.

تعارض منافع

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

[1]- Ozone Generator

References

1.Bai, P., Zhao, H., Zheng, S., and Chen, C. (2015). Initiation and developmental stages of steel corrosion in wet H2S environments. Corrosion Science, 93, 109-119.

2.Lee, W., Lewandowski, Z., Nielsen, P.H., and Hamilton, W.A. (1995). Role of sulfate-reducing bacteria in corrosion of mild steel: a review. Biofouling, 8(3), 165-194.

3.Kip, N. and Van Veen, J.A. (2015). The dual role of microbes in corrosion. The ISME journal, 9(3), 542-551.

4.Iverson, W.P. (1987). Microbial corrosion of metals. Advances in applied microbiology, 32, 1-36.

5.Little, B., Wagner, P., and Mansfeld, F. (1991). Microbiologically influenced corrosion of metals and alloys. International Materials Reviews, 36(1), 253-272.

6.Zuo, R. (2007). Biofilms: strategies for metal corrosion inhibition employing microorganisms. Applied microbiology and biotechnology, 76, 1245-1253.

7.Ashrafi, A. (2023). Biosensors, mechatronics, & microfluidics for early detection & monitoring of microbial corrosion: A comprehensive critical review. Results in Materials, 100402.

8.Kokilaramani, S., Al-Ansari, M.M., Rajasekar, A., Al-Khattaf, F.S., Hussain, A., and Govarthanan, M. (2021). Microbial influenced corrosion of processing industry by re-circulating waste water and its control measures-A review. Chemosphere, 265, 129075.

۹- ده بزرگی، م. و بازرگان لاری، ر. (۱۳۹۸). بررسی اثر استفاده از رنگ های حاوی اکسید مس و اکسید روی (زینک ریچ) بر رفتار خوردگی میکروبی لوله های فاضلاب، فصلنامه علمی-پژوهشی مواد نوین، ۹، ۲۶-۱۵.

10.Crolet, J.L. (2005). Microbial corrosion in the oil industry: a corrosionist's view. Petroleum microbiology, 143-169.

11.Loto, C. (2017). Microbiological corrosion: mechanism, control and impact—a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92(9-12), 4241-4252.

12.El-Shamy, A.M. (2020). A review on: biocidal activity of some chemical structures and their role in mitigation of microbial corrosion. Egyptian Journal of Chemistry, 63(12), 5251-5267.

13.Zhu, X. and Logan, B.E. (2014). Copper anode corrosion affects power generation in microbial fuel cells. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 89(3), 471-474.

14.Li, Y. and Ning, C. (2019). Latest research progress of marine microbiological corrosion and bio-fouling, and new approaches of marine anti-corrosion and anti-fouling. Bioactive materials, 4, 189-195.

۱۵- خادم مدرسی، ز.، بازرگان لاری، ر. و .بختیاری، ف. (۲۰۱۲). بررسی خوردگی میکروبی شبکه فاضلاب رو بتنی شهرستان مرودشت با توجه به غلظت سولفید هیدروژن. فصلنامه علمی-پژوهشی مواد نوین، ۳(۸)، ۹۴-۱۰۴.

16.Mardani, S., The Effect of Edge-of-Field Nutrient Management Practices on Microbial Concentrations in Subsurface Drainage Water and the Associated Risk of Antibiotic Resistance Dissemination. 2019: South Dakota State University.

17.Zalesny, R.S., Casler, M.D., Hallett, R.A., Lin, C.-H., and Pilipović, A., Bioremediation and soils, in Soils and landscape restoration. 2021, Elsevier. p. 237-273.

18.Hoai Bac, V., Effects of antibiotics on the intestinal microcirculation in septic rats. 2006.

19.Cristiani, P. and Perboni, G., Corrosion monitoring in microbial environments, in

Techniques for corrosion monitoring. 2021, Elsevier. p. 335-377.

۲۰- قربانی، ر. و جعفری، ا. (۱۳۹۷). بررسی خوردگی در برج احیا آمین پالایشگاه دوم پارس جنوبی با استفاده از شبیه ساز فرآیندی در واحد شیرین سازی گاز و کاهش نرخ خوردگی به کمک کنترل متغیرهای فرآیندی، فصلنامه علمی-پژوهشی مواد نوین، ۱۰، ۹۱-۱۰۴.

21.Song, X., Yang, Y., Yu, D., Lan, G., Wang, Z., and Mou, X. (2016). Studies on the impact of fluid flow on the microbial corrosion behavior of product oil pipelines. Journal of Petroleum Science and Engineering, 146, 803-812.

22.Wu, T., Xu, J., Sun, C., Yan, M., Yu, C., and Ke, W. (2014). Microbiological corrosion of pipeline steel under yield stress in soil environment. Corrosion Science, 88, 291-305.

23.Wu, T., Yan, M., Xu, J., Liu, Y., Sun, C., and Ke, W. (2016). Mechano-chemical effect of pipeline steel in microbiological corrosion. Corrosion Science, 108, 160-168.

24.Eid, M.M., Duncan, K.E., and Tanner, R.S. (2018). A semi-continuous system for monitoring microbially influenced corrosion. Journal of microbiological methods, 150, 55-60.

25.Industry, P., Industry, M., and Industry, W. (1972). corrosion control.

26.Szymański, K., Hernas, A., Moskal, G., and Myalska, H. (2015). Thermally sprayed coatings resistant to erosion and corrosion for power plant boilers-A review. Surface and Coatings Technology, 268, 153-164.

27.Javaherdashti, R. (2000). How corrosion affects industry and life. Anti-corrosion methods and materials, 47(1), 30-34.

28.Spiegel, M., Zahs, A., and Grabke, H. (2003). Fundamental aspects of chlorine induced corrosion in power plants. Materials at high temperatures, 20(2), 153-159.

29.Bordenet, B. (2008). Influence of novel cycle concepts on the high-temperature corrosion of power plants. Materials and corrosion, 59(5), 361-366.