

Providing Operational Solution to Reduce Water Consumption of Cooling Water Cycle in Montazer Ghaem Power Plant by Chemical Modification of Clarifier Water

Majid Ghahraman Afshar^{1*}, MohammadReza Azimi² and Nemat Habibi², Mohsen Esmaeilpour¹

¹Assistant Professor, Chemistry and Process Research Department, Niroo Research Institute (NRI),
Tehran, Iran (Corresponding Author)

mghahramanafshar@nri.ac.ir

²Lab.Tech, Chemistry Department, Montazer Ghaem Power Plant, Fardis, Karaj, Alborz

3

Abstract

Based on the previous experiences of the experts of the chemistry department of Montazer Ghaem power plant, the recovery of blowdown water to the cooling tower water doubles the water conductivity of the cooling tower water and increases the sedimentation rate. Increasing the conductivity as well as the deposition rate leads to acceleration and intensification of corrosion processes that must be controlled and prevented. In this proposed project, the main aim is to provide solutions such as adding coagulants, as well as determining the optimal concentration of reagent, reducing the conduction rate and water deposition factor of the clarifier water. Therefore, by controlling the conductivity and sedimentation rate of the clarifier water, it is possible to control and prevent the corrosion rate of the cooling tower water. According to the experimental data, the optimum chemical condition is obtained in the amount 80 ppm CaOH, 15 ppm FeCl₃, 25 ppm Na₂CO₃ and PAC as the best coagulant in 5 ppm concentration range. The retention time in this test is 50 minutes, which is performed with a fast cycle and a slow cycle. The time of 40 seconds is the initial time to complete the reaction of CaOH and Na₂CO₃ in water. In these values, the chemical conditions of the water were optimized and the turbidity is reached a value around zero. In the optimization step, the COD of clarifier water is changed within the range of 1 to 40 ppm, while the BOD (Biological Oxygen Demand) value of clarifier water and raw water are kept constant at zero level.

Keywords: Montazer Ghaem Power Plant, Recovery of Blowdown, Water Treatment, Poly Aluminum Chloride (PAC), Modifying Pattern of Water Consumption

ارائه راهکار عملیاتی کاهش مصرف آب چرخه خنک کن نیروگاه منتظر قائم از طریق اصلاح

شیمیایی آب کلاریفایر

مجید قهرمان افشار^{۱*}، محمدرضا عظیمی^۲، نعمت حبیبی^۲، محسن اسماعیل پور^۱

^۱ گروه پژوهشی شیمی و فرایند- پژوهشگاه نیرو- تهران- ایران

mghahramanafshar@nri.ac.ir

^۲ گروه شیمی- نیروگاه منتظر قائم- البرز- کرج

چکیده

اصلاح الگوی مصرف آب و انرژی در سرفصل اهداف نیروگاه منتظر قائم قرار دارد، بدین منظور بازیابی و بازگردانی آب بلودان چرخه خنک کن از اقدامات اصلی این نیروگاه در راستای نیل به این هدف می‌باشد. بازیابی و بازگردانی آب بلودان چرخه خنک کن پس از اصلاح شیمیایی آب کلاریفایر از طریق افزودن منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌ها صورت می‌پذیرد. بازگردانی آب بلودان به چرخه بدون فرآیندهای اصلاح شیمیایی آب کلاریفایر، هدایت آب چرخه را تا دو برابر (یعنی مقداری در حدود ۴۰۰۰ cm^۳) افزایش داده و نرخ رسوب‌گذاری را نیز تشدید می‌کند. افزایش میزان هدایت و همچنین نرخ رسوب‌گذاری، تسریع و تشدید فرآیندهای خوردگی را به دنبال دارد که می‌بایست کنترل و بازداری گردد. از اینرو در این پروژه پیشنهادی هدف بر آن است که با افزودن منعقدکننده شیمیایی و همچنین تعیین غلظت بهینه معرف، میزان هدایت و فاکتور رسوب‌گذاری آب چرخه خنک کن پس از بازیابی و بازگردانی بلودان کاهش داده و کنترل گردد. لذا با کنترل میزان هدایت و نرخ رسوب‌گذاری آب کلاریفایر، امکان کنترل و بازداری نرخ خوردگی مسیر چرخه آب خنک کن میسر می‌گردد. نتایج بهینه آزمایش نشان می‌دهد که استفاده از آهک مصرفی ۸۰ ppm، کلروفریک ۱۵ ppm، سودااش ۲۵ ppm و PAC به عنوان بهترین کمک منعقدکننده (۵ ppm) منجر به بهترین عملکرد در افزایش کیفیت آب خروجی کلاریفایر می‌شود. زمان ماندگاری در این آزمایش ۵۰ دقیقه است که با دور تند و دور کند صورت گرفت. زمان ۴۰ ثانیه، زمان اولیه تکمیل شدن واکنش آهک و سودااش در آب است. در این مقادیر شرایط شیمیایی آب بهینه شده و کدورت به مقداری در حدود صفر می‌رسد. در بهینه سازی پارامترهای مختلف، میزان^۱ COD آب خروجی کلاریفایر در بازه ۱-۴۰ ppm تغییر یافته و این در حالی است که مقدار^۲ BOD برای آب خام و آب خروجی کلاریفایر ثابت و برابر با صفر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه منتظر قائم، بازگردانی آب بلودان، پلی‌آلومینیوم کلرید، اصلاح الگوی مصرف آب

^۱ Chemical Oxygen Demand

^۲ Biological Oxygen Demand

۱- مقدمه

در صنعت تولید برق از آب به عنوان یک خوراک اولیه در فرآیندهای شیمیایی استفاده می‌کنند. از اینرو آب مورد نیاز به منظور تأمین آب خالص بایستی از هرگونه ناخالصی و مواد زائد عاری شود. فرآیند تصفیه آب و بهینه‌سازی در صنعت به منظور افزایش کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و فرآیند پیش تصفیه آب در تأمین آب صنعتی مؤثر می‌باشد [۱، ۲]. در راستای استفاده آب در سیستم‌های حرارتی برودتی کولینگ‌ها و آب تغذیه بویلر بایستی کاهش نمک‌ها و املاح موجود در آب و سختی‌زدایی با بکارگیری روش‌های تصفیه صنعتی انجام گیرد [۳، ۴]. بنابراین با تزریق مواد ضد خوردگی و ضد رسوب امکان کنترل پارامترهایی نظیر میزان اکسیژن محلول و pH فراهم می‌گردد [۵-۷]. در تصفیه آب صنعتی، نمک‌های محلول در آب به طور کاملاً فیزیکی حذف می‌شوند [۸-۱۰]. به طور کلی فرآیندهای تصفیه آب در صنعت شامل مراحل زیر می‌باشد:

- ✓ فرآیند ته‌نشینی (آهک، سودازنی، اکسیداسیون و انعقاد)
- ✓ فرآیند فیلترینگ (شنی، آنتراسیت و زغال اکتیو)
- ✓ فرآیند تقطیر
- ✓ فرآیند تبادل یونی
- ✓ فرآیند غشایی نظیر الکترودیالیز و اسمز معکوس^۱ (RO)

فرآیندهای ته‌نشینی و فیلترینگ از جمله روش‌های مقدماتی و روش‌های پیشرفته شامل فرآیندهای تقطیر و تعویض یونی و غشایی می‌باشند. روش تقطیر گرچه از روش آهک‌زنی قدیمی‌تر می‌باشد اما با توجه به محصول آن که آب مقطر می‌باشد به عنوان روشی پیشرفته‌تر شناخته می‌شود. همچنین استفاده از روش آهک‌زنی منجر به تولید آب یون‌دار می‌شود از اینرو به عنوان روش تصفیه مقدماتی شناخته می‌شود [۱۱، ۱۲]. سیستم‌های اسمز معکوس نسبت به سیستم‌های گرمایی دارای مصرف انرژی پایین می‌باشند و بسیاری از مشکلات همانند خوردگی که در سیستم‌های گرمایی (فرآیند تقطیر) به دلیل عملکرد در دماهای بالا وجود دارد، در این سیستم دیده نمی‌شود. همچنین روش RO از نقطه نظر آلودگی نسبت به روش تبادل یونی دارای مزیت و ارجحیت می‌باشد بخاطر اینکه تنها ناخالصی‌هایی که قبلاً در آب وجود داشته را به محیط زیست اضافه می‌کند. با این وجود بکارگیری فرآیند غشایی RO دارای معایبی از قبیل: بالابودن نسبی پساب دستگاه RO، فرآیند فیلتراسیون کند، تعویض مکرر کارتریج فیلترها، مصرف بالای برق، گرفتگی و هزینه اجرایی و عملیاتی بالا می‌باشند [۱۳]. فرآیند الکترودیالیز نیز دارای معایبی همچون ایجاد رسوب و هزینه بالای تعویض غشاهای موجود در دستگاه می‌باشد و از اینرو به منظور تصفیه آب با درجه سختی بالا کاربرد زیادی ندارد [۱۴-۱۶].

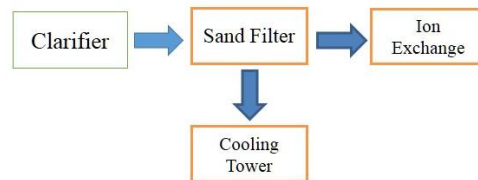
در سالیان اخیر استفاده از منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌ها در سیستم‌های تصفیه بخاطر مزایایی از قبیل اثرگذاری بالا، مقرون به صرفه بودن، سادگی عمل و بازدهی مناسب مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال بنی‌هاشمی و همکارانش بررسی و مقایسه عملکرد ماده منعقدکننده PAC^۲ با کلرید فریک و آلوم، بررسی تأثیر شرایط متغیر دمایی و مطالعه عملکرد توأم آن با کمک منعقدکننده نشاسته را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند [۱۷، ۱۸]. صمدی و همکارانش کارایی پلی‌آلومینیوم کلراید را به عنوان یک ماده منعقدکننده در تعدادی از تصفیه‌خانه‌های آب به منظور حذف فلوراید اضافی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند [۱۹، ۲۰].

همچنین افشین تكدستان و همكارانش از ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید در تصفیه‌خانه آب کیان‌آباد استفاده کردند و بررسی و مقایسه کارایی منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید با پلی‌فریک سولفات در حذف کلیرم و کدورت در تصفیه آب اهواز را انجام دادند [۲۱].

¹ Reversed Osmosis

² Poly Aluminum Chloride

در برج‌های خنک‌کننده حجم قابل توجهی از آب از طریق بلودان برج از بین می‌رود از اینرو با توجه به حجم بالای بلودان برج‌های خنک‌کننده و کاهش منابع آبی در سال‌های اخیر، تصفیه و بازیابی آن به سیکل آب لازم و ضروری می‌باشد. بنابراین بکارگیری روش‌های تصفیه مناسب به منظور کاهش کدورت و سختی آب بلودان برج‌های خنک‌کننده حائز اهمیت می‌باشد. شکل ۱ نمای کلی از فرآیند تصفیه آب در نیروگاه برق را نشان می‌دهد که آب تصفیه شده بعد از کلاریفایر و فیلترهای شنی به دو شاخه ۱- سیستم تعویض یونی و ۲- برج‌های خنک‌کننده تقسیم می‌شوند [۲۲].



شکل ۱- نمای کلی از واحد تصفیه آب.

Figure 1- The schematic of water treatment plant.

یکی از روش‌های آسان، مقرون به صرفه و مؤثر به منظور تصفیه بلودان برج‌های خنک‌کننده استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی به همراه کمک منعقدکننده می‌باشد که بهینه‌سازی و به حداقل رساندن این مواد منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های خرید خواهد شد. عدم مسمومیت در آب و قدرت انعقاد بالا از جمله خصوصیات و ویژگی‌های بارز استفاده از یک منعقدکننده ایده‌آل در تصفیه آب می‌باشد. بنابراین با بهینه‌سازی و کاهش مصرف منعقدکننده و کمک منعقدکننده می‌توان از تأثیر رسوبات ناشی از این مواد (تشکیل رسوب آهن) در تجهیزات بالادستی صرف‌نظر کرد [۲۳، ۲۴]. با افزودن ماده منعقدکننده به آب مقداری از آن در جهت تعدیل پتانسیل الکتریکی ذرات و مقداری نیز به منظور تغییر قلیائیت آب استفاده می‌شود که منجر به رشد ذرات ریز و کلونیدی و کاهش زمان ته‌نشینی می‌شود [۲۵]. مواد منعقدکننده مورد استفاده را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

۱- منعقدکننده‌های آلی

✓ فرمالدهید، ملامین و تانن‌ها: این نوع منعقدکننده‌ها از نوع جامد و پلیمری می‌باشند و عملکردی مشابه با منعقدکننده‌های معدنی در حذف رسوبات دارند. از منعقدکننده‌های آلی هنگامی استفاده می‌شود که در ترکیبات لجن وجود داشته باشد. ✓ پلی‌آمین: از این ماده به صورت متداول در تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود.

۲- منعقدکننده‌های معدنی

✓ آلومینیوم سولفات (آلوم)، فریک کلرید (قیمت پایین)، آلومینیوم کلرید، فریک سولفات، آلومینات سدیم از جمله منعقدکننده‌های متداول و پرکاربرد می‌باشند. این منعقدکننده‌ها با توجه به قیمت و بازدهی مناسب برای طیف وسیعی از آب و فاضلاب قابل استفاده بوده و کدورت کمتری در فرآیند تصفیه ایجاد می‌کنند از اینرو عموماً به منظور فرآیند تصفیه آب از منعقدکننده‌های معدنی استفاده می‌شود.

به عنوان مثال با افزودن آلوم به آب، هیدروکسید آلومینیوم چسبناک تشکیل می‌شود که در زمان ته‌نشینی منجر به حذف ذرات معلق موجود در محیط می‌شود و علاوه بر این، اسید تولیدی منجر به خنثی‌سازی قلیائیت آب می‌شود [۲۶]. سولفات آهن (III)، و کلرید آهن (III) به عنوان منعقدکننده‌های کلیدی در صنعت برق کاربرد دارند. در صورتیکه در فرآیند آهک‌زنی نیاز به منعقدکننده باشد به جای سولفات آهن (II) از سولفات و کلرید آهن (III) استفاده می‌شود بخاطر اینکه سولفات آهن (II) به منظور تشکیل لخته به اکسیژن نیاز دارد. در بعضی مواقع نیز به منظور کاهش میزان اکسیژن محلول به همراه سولفات آهن (III) از مقادیر معینی سولفات آهن (II) استفاده می‌شود [۲۷]. در صورتیکه قلیائیت آب به منظور ترکیب با اسید تولیدی مناسب نباشد به آب مواد قلیایی نظیر سودا، سود و آهک اضافه می‌کنند. با توجه به ارزانی آهک و تولید لخته‌های بهتر بکارگیری از این ماده نسبت به مواد دیگر ارجحیت دارد هر چند که منجر به افزایش سختی آب می‌شود.

به منظور افزودن مواد منعقدکننده، کنترل pH امری لازم و ضروری می‌باشد در غیر اینصورت منجر به تشکیل لخته‌های سبک، ریز و شکننده خواهد شد. همچنین عدم کنترل pH در محدوده مناسب منجر به انحلال مقدار قابل ملاحظه‌ای از آلومینیوم یا

آهن در آب خواهد شد که مشکلات جدی در مراحل بعدی ایجاد خواهد کرد. امروزه در کشورهای پیشرفته همچون ژاپن از منعقدکننده آلومینیوم کلرید استفاده می کنند که این ماده در اثر هیدرولیز منجر به حضور کلر در ساختمان لخته شده و از تولید اسید جلوگیری می کند که در نتیجه مانع از کاهش قلیائیت آب می شود [۲۸]. از اکسید منیزیم نیز به عنوان منعقدکننده در آب های طبیعی با رنگ و کدورت زیاد استفاده می شود و در صورتیکه میزان یون منیزیم در آب طبیعی به میزان قابل توجهی باشد به آن آب آهک اضافه می کنند که یون منیزیم به صورت رسوب $Mg(OH)_2$ در حین ته نشینی ذرات معلق موجود در آب را جذب و از محیط حذف کند. به منظور عملکرد مناسب اکسید منیزیم به عنوان منعقدکننده در حذف ذرات معلق باید pH محیط از ۱۰ بیشتر باشد.

جدول ۱ تعدادی از منعقدکننده های مهم و پرکاربرد صنعت برق به منظور تصفیه آب و فاضلاب را نشان می دهد. در آب های غنی از مواد رنگی و آب نرم بکارگیری از آلوم به عنوان منعقدکننده منجر به خوردگی می شود و لذا به منظور حل این مشکل از آلومینات سدیم به عنوان یک منعقدکننده قلیایی استفاده می شود. از اینرو بعضی مواقع به منظور قلیایی کردن محیط به همراه آلوم از آلومینات سدیم استفاده می شود. استفاده از منعقدکننده های معدنی منجر به تشکیل لجن حجیم شده که به آسانی آب خود را از دست نمی دهد از اینرو از منعقدکننده هایی همچون ترکیبات آهن و یا آلوم به منظور افزایش بازدهی فیلترهای فشاری و سانتریفیوژها استفاده نمی کنند [۲۹].

جدول ۱- مشخصات منعقدکننده های کاربردی در صنعت برق.

Table 1- The properties of applied coagulant in power industry.

Name	Formula	Suitable Vessel	Density (g/cm ³)	Solubility (g/l)	Concentration
Aluminum Sulfate	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	Rubber, PVC, FRP, Stainless Steel 316	1.33	653 in 10°C	Solid 17% - Liquid 49%
Iron Chloride (III)	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Glass, PVC, FRP	1.44 (40%)		Solid 60% - Liquid 37-47%
Iron Sulfate (II)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Ceramic, Rubber, PVC, Steel 8-18			Solid 55%
Iron Sulfate (III)	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$	Ceramic, Rubber, PVC, Steel 8-18		300 in 20°C	Solid 90%
Magnesium oxide	MgO	Iron, Steel			Solid 95%
Sodium Aluminate	$Na_2OAl_2O_3$	Iron, Rubber, Plastic		320 in 50°C	Solid 55%
Sodium Silicate	Na_2OSiO_2	Iron, Rubber		Completely soluble	Solid 38-42%

فسفات ها در برابر تصفیه و تغییرات بیولوژیکی مقاوم هستند و از جمله مزایای منعقدکننده های معدنی توانایی در جذب فسفات ها می باشد. اکثر منعقدکننده های معدنی شامل ترکیبات آلومینیوم و آهن می باشند که با توجه به خاصیت اسیدی منجر به کاهش pH آب می شوند و از اینرو باید با استفاده از سود یا آب آهک، pH آب را تنظیم کرد. با توجه به حجم بالای لجن در اثر کاربرد منعقدکننده های معدنی از مواد کمک منعقدکننده با توجه به مسائل اقتصادی و بازدهی عمل استفاده می شود [۳۰]. از اینرو در این تحقیق هدف اصلی بر آن است که با افزودن منعقدکننده ها و کمک منعقدکننده ها سختی آب بلودان را کاهش داده و در نهایت با بازگردانی این آب، آبی مناسب برای چرخه خنک کن نیروگاه فراهم گردد.

۲- تجربی

۲-۱- تجهیزات

دستگاه‌ها و تجهیزات استفاده شده به منظور انجام آزمون‌ها شامل دستگاه جارتست برند KTG، دستگاه تعیین کدورت HANA HI98703، دستگاه pH متر برند HANA HI98108، دستگاه کندانکتومتر HANA HI8733، دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzo 1280، دماسنج الکلی، ترازو دیجیتال چهار رقم، بورت اتومات و هیتر می‌باشد.

۲-۲- مواد شیمیایی

مواد شیمیایی به کار برده شده در این تحقیق شامل اریوکروم بلکتی، اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال، معرف MIX، اسید کلریدریک ۰/۰۲ نرمال، متیل اورانژ، محلول اتیلن دی‌آمین تترااستیک اسید (EDTA)، مور اکساید، معرف فنل فتالین، نیترات نقره، سود ۱ نرمال، کرومات پتاسیم، محلول آمینو نفتول سولفونیک اسید (ANSA)، اسید کلریدریک، اسید اگزالیک، شناسگر فروئین، معرف سولفوریک اسید-سولفات نقره، محلول استاندارد فرو آمونیوم سولفات ۰/۲۵ نرمال، محلول پتاسیم دی‌کرومات ۰/۲۵ نرمال، آهک، فریک کلرید و کربنات سدیم می‌باشد.

۲-۳- روش انجام کار

به منظور بدست آوردن شرایط بهینه آب خروجی کلاریفایر، هر ماده منعقد کننده و بهبود دهنده به طور جداگانه و در پله های غلظتی به نمونه آب کلاریفایر اضافه می‌گردد. در نهایت نتایج جار تست به منظور یافتن منعقد کننده بهینه و غلظت آن گزارش می‌گردد و در ادامه منعقد کننده بعدی با حفظ این شرایط افزوده می‌گردد. در این روش هر ماده منعقد کننده شامل آهک، فریک کلرید و کربنات سدیم به صورت جداگانه در پله‌های غلظتی ۱۰۰-۰ ppm به نمونه آب اضافه گردیده و غلظت بهینه معرف براساس ارزیابی پارامترهای سختی کل، یون کلسیم در آب، قلیائیت فنل فتالین P، قلیائیت، مقدار سیلیس در آب، یون کلرید و کل اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی BOD مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳- بحث‌ها و نتایج

در این تحقیق هدف اصلی بازگرداندن آب بلودان به چرخه خنک‌کن می‌باشد. این در حالی است که افزودن آب بلودان به چرخه خنک‌کن بدون فرآیندهای اصلاح شیمیایی، هدایت آب چرخه خنک‌کن را حدوداً تا ۲ برابر افزایش می‌دهد و نرخ رسوب‌گذاری و رشد عوامل میکروبی را بسیار تشدید می‌کند. بر این اساس و با طراحی‌های ویژه آزمایش‌ها، منعقدکننده‌های آهک، فریک کلرید و کربنات سدیم به صورت جداگانه در پله‌های غلظتی گسترده به نمونه آب کلاریفایر اضافه می‌گردند و در نهایت غلظت بهینه این عوامل براساس سنجش پارامترهای کلیدی آب نظیر سختی کل، غلظت کلسیم، قلیائیت، مقدار سیلیس در آب، یون کلرید در آب و BOD بررسی می‌گردد.

۳-۱- مقدار بهینه آهک

در این مرحله غلظت‌های پله‌ای از آهک به شرح زیر به ارلن‌های شیردار دستگاه جارتست اضافه گردیده و پس از آنالیز کردن خروجی این دستگاه مقادیر زیر بدست آمد و در نهایت با بررسی پارامترهای کلیدی خواص آب، غلظت بهینه به شرح جدول شماره ۲ محاسبه گردیده است. حجم آب مورد آزمایش ml ۱۰۰۰ می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر جارتست برای آهک بهینه.

Table 2- The amount of Jar test for CaOH optimum value.

B No	CaOH/ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	0	8.5	555	270	205	70	0	123	0
2	60	9.5	450	200	162	65	5	18	8
3	70	9.8	440	194	140	63	7	22	15
4	80	10.2	423	187	125	60	12	30	25
5	90	10.6	410	183	120	58	21	43	34
6	100	10.9	430	190	135	56	30	50	52

در این جارتست مقدار بهینه آهک ۸۰ و ۹۰ بدست آمد. مقدار COD آب خام برابر ۶۰ و مقدار BOD آب خام برابر ۰ می‌باشد. از سوی دیگر مقدار COD نمونه آب دارای آهک ۸۰ ppm برابر ۵۵ و مقدار COD نمونه آب حاوی آهک ۹۰ ppm برابر ۵۰ می‌باشد. با انجام دادن آنالیز خروجی از جارتست مشاهده شد که با تزریق آهک مقدار COD نیز کاهش می‌یابد ولی مقدار کدورت بدلیل نبودن منعقدکننده تا حدودی بالاتر از حد مجاز محاسبه گردید.

۳-۲- مقدار بهینه کلرو فریک (آزمون I) - بهینه‌سازی کلروفریک در سطح آهک ۸۰ ppm

سپس بررسی اثر منعقدکننده کلروفریک در حضور مقادیر آهک ۸۰ و ۹۰ مورد بررسی قرار گرفت و به دلیل نزدیک بودن نتایج در خروجی جارتست اول برای بدست آوردن نتیجه بهتر از هر دوی این دو مقدار استفاده گردید. حجم آب مورد آزمایش ۱۰۰۰ ml می‌باشد. ابتدا مقدار آهک ۸۰ ppm برای انجام آزمون مورد استفاده قرار گرفت. در این غلظت کلروفریک با مقادیر مختلف در جارتست قرارداد شد و نتایج به شرح جدول شماره ۳ محاسبه گردید.

جدول ۳- مقادیر جارتست برای کلروفریک بهینه ۱.

Table 3- The amount of Jar test for optimum value of FeCl₃ test 1.

B No	CaOH/ ppm	FeCl ₃ / ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	0	10.2	423	187	125	60	12	30	25
2	80	5	10	414	185	123	68	10	25	22
3	80	10	9.8	431	186	124	68	7	20	18
4	80	15	9.6	438	189	126	70	5	19	12
5	80	20	9.5	441	190	131	72	4	20	19
6	80	25	9.4	458	195	134	72	3	27	24

در این جارتست مقدار بهینه برای فریک کلرید برابر ۱۵ ppm است که بهترین شرایط فیزیکوشیمیایی را دارا می‌باشد. مقدار COD این آزمایش برای کلروفریک ۱۵ ppm برابر با ۴۰ می‌باشد.

۳-۳- مقدار بهینه کلروفریک (آزمون II) - بهینه‌سازی کلروفریک در سطح آهک ۹۰ ppm

این آزمایش با مقدار ثابت آهک ۹۰ ppm و کلروفریک متغیر مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. حجم آب مورد آزمایش ۱۰۰۰ ml می‌باشد. در این آزمایش نیز مقدار کلرو فریک بهینه در سطح آهک ثابت و براساس سنجش پارامترهای کلیدی آب مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت و به شرح جدول شماره ۴ می‌باشد.

جدول ۴- مقادیر جارتست برای کلروفریک بهینه ۲.

Table 4- The amount of Jar test for optimum value of FeCl₃ test 2.

B No	CaOH/ ppm	FeCl ₃ /ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	90	0	10.6	410	183	120	58	21	43	34
2	90	5	10.5	421	180	125	60	20	36	30
3	90	10	10.3	411	178	118	65	14	27	26
4	90	15	10.3	417	180	121	63	11	24	21
5	90	20	9.9	425	180	125	68	8	20	27
6	90	25	9.3	416	180	125	70	2	18	32

در این جارتست نیز مقدار بهینه کلروفریک ۱۵ ppm محاسبه گردید. همچنین مقدار COD در این آزمایش برای کلروفریک ۱۵ ppm برابر ۴۲ و میزان BOD عدد صفر بدست آمد. در این دو نمونه جارتست مقادیر بهینه برای آهک ۸۰ و ۹۰ ppm می باشد و مقدار بهینه برای کلروفریک ۱۵ ppm می باشد. در ادامه سایر پارامترها با ثابت نگاه داشتن غلظت آهک در بازه ۸۰ و ۹۰ ppm و همچنین کلروفریک در بازه غلظتی ۱۵ ppm مورد بررسی قرار می گیرد. افزودن سایر منعقدکننده ها در راستایی است که به آهک کمک کنند که عملیات قلیاکننده و منعقدکننده را به صورت بهینه تر انجام دهد. جداول ۵، ۶ و ۷ نتایج آنالیز آب خروجی از کلاریفایر را در سطح غلظتی کلروفریک ۱۵ ppm و آهک در بازه ۸۰-۹۰ ppm را نشان می دهد که به شرح جدول شماره ۵، ۶ و ۷ می باشد.

جدول ۵- آنالیز خروجی آب کلاریفایر.

Table 5- The water analysis of clarifier outlet.

Cations	Ion/ ppm	CaCO ₃ /ppm	EPM
Ca ²⁺	45	105	2.1
Mg ²⁺	12.2	51	1.02
Na ⁺	13	28	0.56
K ⁺	0.9	1	0.02
Total Cations	67.9	185	3.7

جدول ۶- آنالیز خروجی آب کلاریفایر.

Table 6- The water analysis of clarifier outlet.

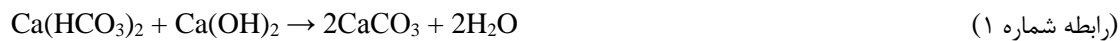
Anions	Ion/ ppm	CaCO ₃ / ppm	EPM
Cl ⁻	42	59	1.18
SO ₄ ²⁻	58.4	60.8	1.21
NO ₃ ⁻	44.8	36.2	0.73
HCO ₃ ⁻	0	0	0
CO ₃ ²⁻	14.4	24	0.48
OH ⁻	1.7	5	0.1
Total Anions	160.5	185	3.7

جدول ۷- آنالیز خروجی آب کلاریفایر.

Table 7- The water analysis of clarifier outlet.

Parameters	Ion/ ppm	CaCO ₃ / ppm	EPM
SiO ₂	13.1	17.2	0.34
P		17	
M		29	
pH		10	
Cond		450	

مقادیر بدست آمده از کربنات و بی کربنات خروجی کلاریفایر در غلظت بهینه آهک و کلروفریک بیانگر نسبت نامناسب استوکیومتری کربنات و بی کربنات می باشد. دلیل اصلی این عدم تعادل غلظتی، کافی نبودن مقدار بی کربنات در خروجی کلاریفایر است. بدین منظور و برای برقراری تعادلات یونی می بایست بی کربنات اضافی به محیط وارد گردد که به دنبال آن تبدیلات بی کربنات به کربنات صورت پذیرد. در نتیجه شرایط بهینه تری بر اساس واکنش های مطابق روابط ۱ تا ۵ ایجاد می گردد.



همانطور که مشاهده می شود آهک هیدراته (هیدروکسید کلسیم) با سختی کربنات موجود در آب به عنوان سختی غیر کربناتی و با منیزیم سولفات یا کلرید منیزیم واکنش می دهد. برای کاهش سختی کلسیم در واکنش های ۱-۵ با واکنش های ۶ و ۷ می توان از کربنات سدیم استفاده کرد:



بر اساس واکنش های مرحله اول، ترکیبات مختلف در واقع به صورت یونی در آب موجود هستند. علاوه بر این آهک هیدراته $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ابتدا با استفاده از قلیائیت با بی کربنات واکنش می دهد تا یون کربنات تشکیل شود که به نوبه خود با یون کلسیم واکنش دهد. از سوی دیگر، غلظت کلسیم با استفاده از آهک هیدراته توسط رابطه قلیایی، با آزاد شدن بی کربنات کلسیم آب محدود شده است. استفاده از آهک در مقادیر کافی برای واکنش قلیایی بی کربنات، می تواند باعث سختی کلسیم در حدود ppm ۳۵ شود که در این حدود سختی، CaCO_3 تقریباً محلول است. بنابراین، می توان دریافت که میزان ۱ درجه کاهش بیشتر داشته است، بنابراین حد قلیائیت کربنات باید وجود داشته باشد که در این حالت افزودن کربنات سدیم لازم و ضروری است.

۳-۴ - مقدار بهینه کربنات سدیم (آزمون I) - بهینه سازی کربنات سدیم در سطح آهک ۸۰ ppm

آزمایش با مقادیر بهینه آهک ۸۰ ppm، کلروفریک ۱۵ ppm و مقادیر متغیر کربنات سدیم به منظور تشخیص بهینه غلظت کربنات سدیم ادامه می یابد. در این آزمایش مقادیر بدست آمده در آزمایشات قبل را برای دو ماده اولیه ثابت در نظر گرفته و حجم آب مورد آزمایش ۱۰۰۰ ml می باشد.

جدول ۸- مقادیر جارتست برای کربنات سدیم بهینه ۱.

Table 8- The amount of Jar test for optimum value of Na_2CO_3 test 1.

B No	CaOH/ ppm	FeCl ₃ / ppm	Na ₂ CO ₃ / ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	0	9.6	417	170	115	70	9	26	12
2	80	15	5	9.7	411	165	108	75	7	22	11
3	80	15	10	9.7	409	170	110	70	6	21	11
4	80	15	15	9.8	409	160	110	68	7	20	10
5	80	15	20	9.8	407	160	100	68	7	20	9
6	80	15	25	9.9	406	150	95	66	6	20	8

بر اساس نتایج این جارتست مقدار بهینه کربنات سدیم برابر با ۲۵ ppm می باشد که در این مقدار کربنات سدیم بهینه داده های فیزیکوشیمیایی بویژه TH و CaH بدست می آید. مقدار COD در این آزمایش برابر با ۳۸ محاسبه می گردد.

۳-۵ - مقدار بهینه کربنات سدیم (آزمون II) - بهینه سازی کربنات سدیم در سطح آهک ۹۰ ppm

این آزمایش با مقادیر آهک ۹۰ ppm، کلروفریک ۱۵ ppm و مقادیر متغیر کربنات سدیم در بازه غلظتی ۰-۴۰ ppm در حجم آب ۱۰۰۰ ml انجام گرفت و نتایج آزمون‌ها در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹- مقادیر جارتست برای کربنات سدیم بهینه ۲.

Table 9- The amount of Jar Test for optimum value of Na₂CO₃ test 2.

B No	CaOH/ ppm	FeCl ₃ / ppm	Na ₂ CO ₃ / ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	90	15	0	10.2	411	167	127	70	11	23	34
2	90	15	5	10.3	409	165	117	70	13	24	28
3	90	15	10	10.3	408	160	110	65	13	25	21
4	90	15	15	10.3	405	156	110	65	14	25	18
5	90	15	20	10.3	405	154	109	65	13	25	15
6	90	15	25	10.3	399	150	95	65	13	25	12
7	80	15	30	9.5	417	162	105	68	5	17	10
8	80	15	35	9.7	431	160	101	63	7	22	12
9	80	15	40	9.8	433	150	94	69	7	24	12
10	90	15	30	10.2	432	165	108	69	13	25	16
11	90	15	35	10.2	435	157	100	66	13	25	16
12	90	15	40	10.2	432	151	100	68	13	25	17

بر اساس نتایج این جارتست مقدار بهینه کربنات سدیم برابر با ۲۵ ppm می باشد. مقدار COD در این آزمایش برابر با ۳۹ و مقدار BOD صفر محاسبه می گردد. در جارتست با اضافه کردن مقادیر بیش از ۲۵ ppm کربنات سدیم به مقادیر ثابت آهک و کلروفریک مشاهده گردید که تغییری در پارامترهای کلیدی صورت نپذیرفته و ضمناً کدورت نیز بسیار افزایش پیدا کرد. بر این اساس مقدار آهک ۸۰ ppm، کلروفریک برابر ۱۵ ppm و کربنات سدیم در حدود ۲۵ ppm با توجه به نتایج، بهترین شرایط را ایجاد می کنند و شرایط بهینه را ایجاد می کنند. در این مرحله و پس از بهینه سازی غلظت آهک، کلروفریک و کربنات سدیم، به منظور رسیدن به شرایط ایده آل، از کمک منعقدکننده مناسب که بتواند بهترین شرایط و خروجی را ایجاد کند استفاده خواهد شد.

۳-۶- بررسی اثر حلالیت کمک منعقد کننده‌ها

با توجه به یافته‌ها و بررسی مقالات پیشین که روی حلالیت انواع کمک منعقدکننده‌ها مطالعه کردند، می توان دستورالعمل جامعی را برای حل کردن و استفاده بهینه از پلی الکترولیت‌ها و دیگر کمک منعقدکننده‌های پلیمری مطابق لیست زیر ارائه نمود [۳۱]. در جدول ۱۰ سه نوع کمک منعقدکننده مناسب و پرکاربرد از نظر حلالیت در شرایط دمایی و pH مناسب مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱۰- حلالیت کمک منعقدکننده‌ها نسبت به pH

Table 10- The solubility of coagulant with pH.

Coagulant	Minimum solubility 20°C		Minimum solubility 5°C	
	pH	mg/l Al	pH	mg/l Al
Alum	6	16	6.2	3
PAS ¹	6	28	6.4	6
PAC ²	6.7	101	7.6	53

¹ Poly Aluminum Sulphate

² Poly Aluminum Chloride

۳-۶-۱- افزودن کمک منعقدکننده K_2FeO_4 ، PAS، آلوم، PAC

کمک منعقد کننده K_2FeO_4 به راحتی در آب حل نمی‌شود و فرآیند انحلال می‌بایست با افزایش دما و هم زدن همراه گردد. حجم آب مورد آزمایش ۱۰۰۰ ml در pH برابر با ۶ می‌باشد. مقدار بهینه در این جارتست برای مقدار کمک منعقدکننده K_2FeO_4 به میزان ۱۰ ppm می‌باشد. میزان COD در این آزمایش ۱۵ و میزان BOD به صفر می‌رسد. در این آزمایش COD به طرز قابل توجهی پایین آمد. قابلیت دیگری که K_2FeO_4 دارد، گندزدا بودن این منعقدکننده است که به صورت عمده در تصفیه فاضلاب بکار می‌رود (جدول ۱۱).

در آزمون بعدی از ترکیب PAS به عنوان منعقدکننده استفاده گردید. به منظور افزایش انحلال‌پذیری این کمک منعقدکننده، دما را افزایش داده و pH تا ۵ کاهش داده شد. در این pH بیشترین انحلال‌پذیری ترکیب PAS مشاهده می‌گردد. در این آزمایش PAS به میزان ۵ ppm (غلظت بهینه) می‌باشد که در این غلظت میزان COD برابر با ۱۲ و میزان BOD برابر با صفر می‌باشد.

به عنوان کمک منعقدکننده بعدی ترکیب آلوم^۱ استفاده گردید. به منظور افزایش انحلال‌پذیری این کمک منعقدکننده دما را افزایش داده و pH تا ۶ افزایش داده می‌شود که بهترین شرایط انحلال برای این کمک منعقدکننده در این pH بدست آمد. مقدار آلوم بهینه براساس نتایج جارتست برابر با ۱۰ ppm می‌باشد که در این مقدار آلوم مقدار COD برابر با ۱۰ و میزان BOD برابر با ۰ بدست آمد. زمان حل شدن آلوم برابر با ۶ ساعت بود که نسبت به سایر منعقدکننده‌ها راحت تر انحلال یافت (جدول ۱۱).

یکی از پرکاربردترین کمک منعقدکننده‌ها ترکیب PAC است که با درجات یونیزاسیون مختلف در دسترس است. این ترکیب برای هر نوع آب با هر خلوصی و لخته‌ای وزن مولکولی متفاوتی را خواهد داشت. به منظور افزایش انحلال‌پذیری ترکیب PAC، دما را افزایش داده و pH به ۵ رسانده می‌شود. مقدار بهینه PAC براساس نتایج جارتست برابر با ۵ ppm و در این میزان PAC مقدار COD برابر با ۴ بدست آمد. براساس نتایج آزمون‌ها، در میزان مصرف کم از PAC نتیجه آزمایش بدون کدورت بود و شرایط بهینه‌ای در این آزمایش حاصل گردید (جدول ۱۱).

¹ Alum

جدول ۱۱- مقادیر جارتست برای کربنات سدیم K_2FeO_4 , PAS, Alum و PAC بهینه.

Table 11- The value of Jar Test for K_2FeO_4 , PAS, Alum and PAC.

B No	CaOH/ppm	FeCl ₃ /ppm	Na ₂ CO ₃ /ppm	K ₂ FeO ₄ /ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	30	0	9.5	417	153	97	67	3	19	10
2	80	15	30	2.5	9.65	412	150	95	67	4	21	9
3	80	15	30	5	9.68	413	150	95	65	4	21	9
4	80	15	30	7.5	9.7	408	150	95	65	6	22	9
5	80	15	30	10	9.55	408	148	93	65	5	20	8
6	80	15	30	12.5	9.6	413	148	95	65	5	20	8
B No	CaOH/ppm	FeCl ₃ /ppm	Na ₂ CO ₃ /ppm	PAS/ ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	30	0	9.1	403	150	97	69	2	19	10
2	80	15	30	2.5	9.47	414	149	95	65	5	24	6
3	80	15	30	5	9.38	415	150	95	65	3	23	6
4	80	15	30	7.5	9.43	415	150	99	68	4	25	7
5	80	15	30	10	9.45	411	150	100	63	2	24	9
6	80	15	30	12.5	9.2	413	153	100	67	1	23	9
B No	CaOH/ppm	FeCl ₃ /ppm	Na ₂ CO ₃ /ppm	Alum/ ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	30	0	9.3	410	150	98	68	2	19	10
2	80	15	30	2.5	9.2	408	150	96	68	6	24	5
3	80	15	30	5	9.2	404	149	96	70	4	24	5
4	80	15	30	7.5	9.1	402	149	97	71	5	25	6
5	80	15	30	10	9.1	400	150	97	72	3	23	8
6	80	15	30	12.5	9.1	398	150	97	73	2	23	8
B No	CaOH/ppm	FeCl ₃ /ppm	Na ₂ CO ₃ /ppm	PAC/ ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	25	0	9.8	405	150	95	65	5	19	8
2	80	15	25	2.5	9.78	400	148	94	64	5	19	3
3	80	15	25	5	9.75	398	146	92	62	5	18	0
4	80	15	25	7.5	9.73	397	154	90	61	6	18	0
5	80	15	25	10	9.7	395	143	88	60	6	17	0
6	80	15	25	12.5	9.69	390	140	85	60	6	18	0

۳-۶-۲- افزودن پلی‌الکترولیت آنیونی و کاتیونی

به منظور بهبود شرایط آب برج خنک‌کن از کمک منعقدکننده آنیونی استفاده می‌گردد و به منظور انحلال بالاتر این کمک منعقدکننده آنیونی دما را افزایش داده و pH تا ۴ کاهش داده می‌شود. مقدار بهینه در این جارتست برای پلی‌الکترولیت آنیونی برابر ۵ ppm و در این میزان پلی‌آکریل آمید^۱ (PAC)، مقدار COD برابر با ۷ و میزان BOD برابر با ۰ بدست آمد. همچنین زمان بسیار طولانی برای انحلال پلی‌الکترولیت آنیونی صرف می‌گردد. به منظور انحلال این کمک منعقدکننده حدود ۴۸ ساعت زمان صرف می‌گردد و دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و pH تا ۴ واحد کاهش داده می‌شود که در غیر این صورت استفاده از این کمک منعقدکننده مقدور نیست و آب را به صورت ژله‌ای در می‌آورد (جدول ۱۲).

به منظور بیشتر کردن حلالیت کمک منعقدکننده کاتیونی^۲ (Cat. PE) دما را افزایش داده و pH به ۵ رسانده می‌شود. مقدار بهینه در این جارتست برای پلی‌الکترولیت کاتیونی برابر ۱۰ ppm و در این میزان پلی‌الکترولیت کاتیونی، مقدار COD برابر با ۸ و میزان BOD برابر با ۰ بدست آمد. برای حل کردن این کمک منعقدکننده زمانی در حدود ۴۰ ساعت صرف گردید و pH تا حدود ۵ کاهش داده شد. این نوع از کمک منعقدکننده‌ها هم مانند پلی‌الکترولیت‌های آنیونی در غیر این شرایط کارایی ندارند و آب را به صورت ژله‌ای در می‌آورند (جدول ۱۲).

¹ Polyacrylamide

² Cationic Polyelectrolyte

جدول ۱۲- مقادیر جارتست برای مقادیر بهینه پلی الکترولیت آنیون و کاتیونی.

Table 12- The value of Jar Test for anionic and cationic polyelectrolyte.

B No	CaOH/ppm	FeCl ₃ /ppm	Na ₂ CO ₃ /ppm	PAM/ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	25	0	9.8	405	150	95	65	5	19	8
2	80	15	25	2.5	9.78	400	148	94	64	5	19	3
3	80	15	25	5	9.75	398	146	92	62	5	18	0
4	80	15	25	7.5	9.73	397	145	90	61	6	18	0
5	80	15	25	10	9.7	395	143	88	60	6	17	0
6	80	15	25	12.5	9.69	390	140	85	60	6	17	0

B No	CaOH/ppm	FeCl ₃ /ppm	Na ₂ CO ₃ /ppm	Cat. PE/ppm	pH	Cond	TH	CaH	Cl	P	M	TDS
1	80	15	25	0	9.9	410	152	97	67	7	20	8
2	80	15	25	2.5	9.89	408	150	96	66	7	20	6
3	80	15	25	5	9.88	406	149	93	64	7	20	2
4	80	15	25	7.5	9.83	403	148	91	63	6	19	0
5	80	15	25	10	9.8	401	146	89	62	6	19	0
6	80	15	25	12.5	9.78	399	143	88	61	6	19	0

با توجه به نتایج بدست آمده و یافته‌های این تحقیق و همچنین مراجع علمی که روی انواع کمک منعقدکننده‌ها مطالعه کرده اند، دستورالعمل جامعی را برای بهینه نمودن شرایط آب با داشتن بهینه غلظت آهک، فریک کلرید و کربنات سدیم با افزودن پلی الکترولیت‌ها و دیگر کمک منعقد کننده های صورت می‌پذیرد. از جمله این کمک منعقدکننده‌ها می‌توان به آلوم (Alum)، پلی‌آلومینیوم سولفات (PAS¹)، پلی‌آلومینیوم کلراید، پلی‌الکترولیت‌های آنیونی و کاتیونی اشاره نمود.

۴- نتیجه گیری

کمبود و بحران آب در کشور و تأمین نیاز مصارف گوناگون از طریق آب شیرین منجر به کاهش چشمگیر سطح آبخوان‌ها شده است. از اینرو در سال‌های اخیر پژوهش‌ها و تحقیقات در راستای سیاست‌های وزارت نیرو به منظور اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب رشد چشمگیری داشته است. بنابراین در راستای تحقق این اهداف و با توجه به مصرف بالای آب در برج‌های خنک‌کننده تر، نیروگاه بخار منتظر قائم به عنوان نیروگاه منتخب انتخاب شد و اصلاح شیمیایی بروی آب کلاریفایر برج‌های خنک‌کننده به منظور بازچرخانی آن و جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب انجام گرفت. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که بهترین کیفیت آب خروجی کلاریفایر زمانی حاصل می‌شود که از آهک، فریک کلرید و سدیم کربنات به ترتیب با مقادیر ۸۰-۹۰ ppm، ۱۵ ppm و ۲۵ ppm استفاده گردد. همچنین بکارگیری کمک منعقدکننده‌هایی نظیر آلوم (Alum)، پلی‌آلومینیوم سولفات (PAS)، پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) و K₂Fe₂O₄ در آب کلاریفایر نشان می‌دهد که استفاده از PAC در مقادیر مصرفی کم منجر به بهترین عملکرد در افزایش کیفیت آب خروجی کلاریفایر خواهد شد. نهایتاً بررسی پلی الکترولیت‌های کاتیونی و آنیونی در حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر از آب کلاریفایر نشان می‌دهد که زمانی که از پلی الکترولیت کاتیونی و آنیونی PAM با مقادیر به ترتیب ۱۰ ppm و ۵ ppm استفاده گردد کیفیت آب افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند و لذا با تزریق مواد شیمیایی در مقادیر بهینه امکان بازچرخانی حجم قابل توجهی از آب در این نیروگاه به سیکل آب امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین در جمع بندی کلی می‌توان بیان نمود که در بهینه سازی پارامترهای مختلف، میزان COD در بازه ۴۰-۱ ppm تغییر یافته و این در حالی است که مقدار BOD برای آب خام و آب خروجی کلاریفایر ثابت و برابر با صفر می‌باشد. با توجه به بحران شدید آب در سطح کشور ایران، ارائه راهکار عملیاتی در راستای اصلاح الگوی مصرف در چرخه آب خنک کن بویژه با کاربرد منعقد کننده های PAC, PAS و آلوم در کلاریفایر بسیار مورد نیاز صنعت برق می‌باشد. از سوی دیگر کاربرد این کمک منعقد کننده ها در چرخه آب صنایع نیروگاهی می‌تواند راهگشای حل بحران مصرف آب باشد.

¹ Poly Aluminum Sulfate

نویسندگان این اثر علمی بدین وسیله از حمایت های مالی و علمی پژوهشگاه نیرو و نیروگاه منتظر قائم در راستای انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی خود را اعلامی می دارند.

مراجع

- [1] Shao, W., Feng, J., Liu, J., Yang, G., Yang, Z., Wang, J. (2017). Research on the status of water conservation in the thermal power industry in China. *Energy Procedia*, 105: pp. 3068-3074.
- [2] Yazdi, H. (2016). Recovaery and management of wastewater for the water palntin thermal power plant with reverced osmosis. *Human and Environment*, 16: pp. 31-23, In Persian.
- [3] Esmailpour, M., Ghahraman Afshar, M., Noroozi Tisseh Z., Ghahremanzadeh, R. (2023). Evaluation of the performance of MnFe₂O₄ nanoparticles functionalized with N-phosphonomethyl amino diacetic acid as an effective magnetic nanosorbent for the removal of Ni(II), Pb(II), V(V) ions from aqueous solutions. *Journal of Iranian chemical engineering*, In Persian.
- [4] Ghahraman Afshar, M., Esmailpour, M. (2023). Preparation, characterization, and adsorption properties of bis-salophen schiff base ligand immobilized on Fe₃O₄@SiO₂ nanoparticles for removal of cadmium (II) from aqueous solutions. *Journal of Iranian chemical engineering*, In Persian.
- [5] Niknam, E., Afshar, M.G., Ghaseminejad, H., Esameilpour, M. (2022). Pharmaceutical Pollutants Removal by Using Electrochemical Oxidation Technique. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*, 33(4): pp. 71-81.
- [6] Afshar, M.G., Tercier-Waeber, M., Wehrli, B., Bakker, E. (2017). Direct sensing of total alkalinity profile in a stratified lake. *Geochem. Perspect. Lett*, 3(1): pp. 85-93.
- [7] Bakker, E., Tercier-Waeber, M.-L., Cherubini, T., Crespi, M.C., Crespo, G.A., Cuartero, M., Afshar, M.G., Jarolimova, Z., Jeanneret, S., Mongin, S. (2014). Environmental sensing of aquatic systems at the University of Geneva. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 68(11): pp. 772-777.
- [8] Binnie, C., Kimber, M., Smethurst, G., *Basic water treatment*. Vol. 473. 2002: Royal society of chemistry Cambridge.
- [9] Ansari, M. (2017). The novel approach for the waste water treatment (case study, Neishaboore power plant). *The Sience and Technology*, 4(19): pp. 73-85, In persian.
- [10] Afshar, M.G., Azimi, M., Habibi, N., Masihi, H., Esameilpour, M. (2023). Batch and continuous bleaching regimen in the cooling tower of Montazer Ghaem power plant. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 11: pp. 100339-100345.
- [11] Eggeman, T., Elander, R.T. (2005). Process and economic analysis of pretreatment technologies. *Bioresource technology*, 96(18): pp. 2019-2025.
- [12] Arunkumar, S., Prakash, R., Jeeva, N., Muthu, M., Nivas, B. (2014). Boiler blowdown heat recovery. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE)*, 11: pp. 83-85.
- [13] Ghahraman Afshar, M., Esmailpour, M., Faghihi, M. (2023). Technical-economic evaluation of the proposed solutions to modify the pattern of water consumption in Tarasht power plant. *Journal of Iranian chemical engineering*, In Persian.
- [14] Silva, S., Cardoso, V.V., Duarte, L., Carneiro, R.N., Almeida, C.M. (2022). A look to surface water and wastewaters in Beira Baixa, Portugal: wastewater treatment plants and environmental risk. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 8(10): pp. 2326-2341.
- [15] Massoud, M.A., Tarhini, A., Nasr, J.A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1): pp. 652-659.

- [16] Ghahraman Afshar, M., Esmailpour, M. (2023). The investigation of water consumption in Montazer Ghaem power plant. *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran*, 19: pp. 21-27, In Persian.
- [17] Sohrabi, Y., Rahimi, S., Nafez, A.H., Mirzaei, N., Bagheri, A., Ghadiri, S.K., Rezaei, S., Charganeh, S.S. (2018). Chemical coagulation efficiency in removal of water turbidity. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 10(3): pp. 188-194.
- [18] Ghahraman Afshar, M., Esmailpour, M. (2022), The investigation of microbial corrosion in the Loshan Power Plant. *Journal of New Material*, 49: pp. 15-26, In Persian.
- [19] Ng, M., Liana, A.E., Liu, S., Lim, M., Chow, C.W., Wang, D., Drikas, M., Amal, R. (2012). Preparation and characterisation of new-polyaluminum chloride-chitosan composite coagulant. *Water research*, 46(15): pp. 4614-4620.
- [20] Samadi, M.T. The investigation of PAC application as a novel material for fluoride removal. *Water Research Technology*, 48: pp. 462-471, In Persian.
- [21] Takdastan, A., Shirzadi, Sh. (2015). The application of PAC and PFS in removal of choliform. *Nashrieh Daneshgah Oloom Pezeshki Alborz*, 4: pp. 266-277, In Persian.
- [22] Feeley III, T.J., Skone, T.J., Stiegel Jr, G.J., McNemar, A., Nemeth, M., Schimmoller, B., Murphy, J.T., Manfredi, L. (2008). Water: A critical resource in the thermoelectric power industry. *Energy*, 33(1): pp. 1-11.
- [23] Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P., Cao, X. (2020). Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC advances*, 10(34): pp. 20231-20244.
- [24] Jain, R., Nigam, H., Mathur, M., Malik, A., Arora, U.K. (2021). Towards green thermal power plants with blowdown water reuse and simultaneous biogenic nanostructures recovery from waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 168: pp. 105283-105289.
- [25] Farahani, M.H.D.A., Borghei, S.M., Vatanpour, V. (2016). Recovery of cooling tower blowdown water for reuse: The investigation of different types of pretreatment prior nanofiltration and reverse osmosis. *Journal of Water Process Engineering*, 10: pp. 188-199.
- [26] Glaze, W.H., Kang, J.-W., Chapin, D.H. (1987). The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. 152: pp. 21-23.
- [27] Krishna, K.B., Aryal, A., Jansen, T. (2016). Comparative study of ground water treatment plants sludges to remove phosphorous from wastewater. *Journal of Environmental Management*, 180: pp. 17-23.
- [28] Cao, B., Gao, B., Liu, X., Wang, M., Yang, Z., Yue, Q. (2011). The impact of pH on floc structure characteristic of polyferric chloride in a low DOC and high alkalinity surface water treatment. *Water research*, 45(18): pp. 6181-6188.
- [29] Johnson, P.N., Amirtharajah, A. (1983). Ferric chloride and alum as single and dual coagulants. *Journal- American Water Works Association*, 75(5): pp. 232-239.
- [30] Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., Kumar, A.V. (2011). Application of plant based coagulants for waste water treatment. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1(1): pp. 88-92.
- [31] Pernitsky, D.J., Edzwald, J.K. (2003). Solubility of polyaluminium coagulants. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 52(6): pp. 395-406.