

Research Article



DOI: 10.22034/ijche.2023.369608.1252

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

Technical-Economic Evaluation of the Proposed Solutions to Modify the Pattern of Water Consumption in Tarasht Power Plant

M. Esmailpour*, M. Ghahraman Afshar, M. Faghihi

Assistant Professor of Analytical Chemistry, Niroo Research Institute (NRI)

Email: mesmaeilpour@nri.ac.ir

Abstract

The average consumption of raw water in Tarasht power plant is 2800 m³/day, which is considerable, and therefore it is necessary to provide effective solutions in order to improve the consumption pattern and prevent water wastage. After technical investigations, effective solutions such as recirculation of clean drains of boilers, drains of resin filters backwash, purification and recirculation of cooling tower drains, etc. were studied. Considering the volume and quality of the produced effluent of the power plant, the solution of recirculating clean drains was chosen as the most effective method. Among the various implementation methods of clean drain recycling, two methods of fountain pool and heat exchanger were investigated as two more effective technical and economic methods. Economic studies showed that for the provision of equipment and the implementation of 8 m³/h recycling solution of boiler blowdown, it is necessary to spend 1,070,000,000 Tomans for the fountain pool method and 1,425,630,000 Tomans for the heat exchanger method, that the fountain pool method needs about 25% less cost. Also, recirculation of boiler sludge (200 m³/day) to the raw water with the fountain method (functional efficiency 75%) leads to a 5.3% reduction in water consumption and the use of the heat exchanger method (functional efficiency 95%) leads to a reduction of about 6.8% of input raw water. In addition to the economic results, technical studies showed that the fountain pool method has more advantages than other methods of recirculating boilers due to the simplicity of operation, the possibility of removing iron and hydrazine.

Received: 13 November 2022

Accepted: 15 April 2023

Page Number: 66-84

Keywords:

Tarasht power Plant,
Boiler Blowdown,
Cooling Tower
Blowdown,
Optimization of Cooling
Towers,
Heat Exchanger,
Fountain Pool,
Technical-Economic
Evaluation

Please Cite this Article Using:

Esmailpour, M., Ghahraman Afshar, M., & Faghihi, M. (2024). Technical-Economic Evaluation of the Proposed Solutions to Modify the Pattern of Water Consumption in Tarasht Power Plant. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 23(132), 66-84, [In Persian].



DOI: 10.22034/ijche.2023.369608.1252



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

ارزیابی فنی - اقتصادی راهکارهای پیشنهادی اصلاح الگوی مصرف آب در نیروگاه طرشت

محسن اسماعیل پور*، مجید قهرمان افشار، مرتضی فقیهی

استادیار شیمی تجزیه، پژوهشگاه نیرو

پیام نگار: mesmaeilpour@nri.ac.ir

چکیده

میانگین مصرف آب خام در نیروگاه طرشت به میزان $2800 \text{ m}^3/\text{day}$ چشم‌گیر است؛ از این رو ارائه راهکارهای اثربخش در راستای اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف آب ضروری است. پس از بررسی‌های فنی، راهکارهای مؤثر از قبیل بازچرخانی زهکش تمیز^۱ دمنده^۲ دیگ بخار، زهکش شست‌وشوی صافی‌های رزینی^۳، تصفیه و بازچرخانی دمنده برج‌های خنک‌کننده و غیره مطالعه شد. با توجه به حجم و کیفیت پساب تولیدی نیروگاه، راهکار بازچرخانی زهکش‌های تمیز به‌عنوان مؤثرترین روش انتخاب شد. در بین روش‌های مختلف اجرایی راهکار بازچرخانی زهکش‌های تمیز، دو روش استخر فواره‌ای و مبدل حرارتی به‌عنوان روش‌های مؤثرتر از نظر فنی - اقتصادی بررسی شد. مطالعات اقتصادی نشان داد که برای تهیه تجهیزات و اجرای راهکار بازچرخانی $8 \text{ m}^3/\text{h}$ دمنده دیگ بخار، به میزان $1/070/000$ هزار تومان برای روش استخر فواره‌ای و $1/425/630$ هزار تومان برای روش مبدل حرارتی هزینه لازم است که روش استخر فواره‌ای حدود 25% کمتر هزینه دارد. همچنین بازگرداندن دمنده دیگ بخار ($200 \text{ m}^3/\text{day}$) به آب ورودی با روش فواره‌ای (راندمان عملکردی 75%) منجر به کاهش $5/3\%$ در مصرف آب و استفاده از روش مبدل حرارتی (راندمان عملکردی 95%) منجر به کاهش حدود $6/8\%$ مصرف آب ورودی می‌شود. در کنار نتایج اقتصادی، مطالعات فنی نشان داد که روش استخر فواره‌ای به دلیل سادگی عمل، امکان حذف آهن و هیدرازین برتری‌های بیشتری از سایر روش‌های بازچرخانی دمنده دیگ بخار دارد.

کلیدواژه‌ها:

نیروگاه طرشت،
دمنده دیگ بخار،
دمنده برج خنک‌کننده،
بهینه‌سازی برج‌های خنک‌کن،
مبدل حرارتی،
استخر فواره‌ای،
ارزیابی فنی - اقتصادی

1. Clean Drain

2. Boiler Blowdown

3. Resin Filter

* تهران، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی شیمی و فرایند

استناد به مقاله:

اسماعیل پور، محسن، قهرمان افشار، مجید، و فقیهی، مرتضی. (۱۴۰۳). ارزیابی فنی - اقتصادی راهکارهای پیشنهادی اصلاح الگوی مصرف آب در نیروگاه طرشت، نشریه مهندسی شیمی ایران، ۲۳(۱۳۲)، ۶۶-۸۴.

۱. مقدمه

مسأله بحران آب و کمبود منابع یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی دولت‌هاست که تهدیدی اساسی برای زیست‌بوم طبیعی و بقای بشر محسوب می‌شود [۱]. کشور ایران جزء کشورهای با منابع محدود آب و اقلیم گرم و خشک (متوسط نزولات جوی در حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال) است و میزان بارندگی در آن از میانگین بارش جهانی کمتر است (در حدود یک سوم) [۲]. از طرف دیگر، منابع آبی تجدیدپذیر در دهه‌های اخیر با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو شده‌است که از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد:

کاهش بارندگی و دوره‌های طولانی خشکسالی، هدر رفت آب در مصارف کشاورزی و شبکه‌های آبرسانی، برداشت بیش از حد منابع آب‌های زیرزمینی، رشد جمعیت، ارتقای سطح بهداشت عمومی، نبود توازن میان عرضه و تقاضای آب، گسترش فعالیت‌های انسانی، توزیع نامناسب مکانی و زمانی منابع و مصارف آب، توسعه صنعتی و کشاورزی و تغییرات اقلیمی.

بنابراین ارائه راهکارهای مؤثر به‌منظور تحقق اهداف برای ایجاد توسعه پایدار، حفظ میراث آیندگان از منابع آبی و رفع مشکلات کم آبی از اهداف کلان دولت‌ها به حساب می‌آید [۳،۴].

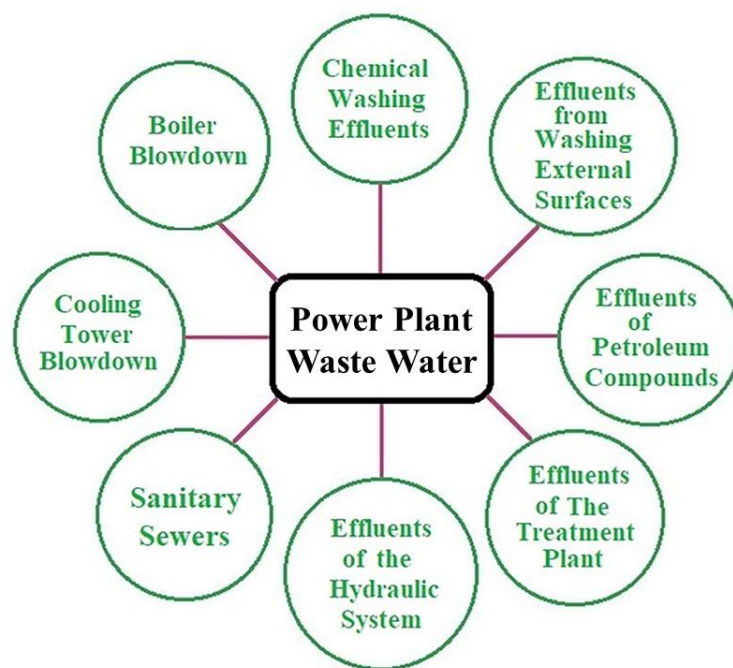
در سالیان اخیر به‌کارگیری منابع آبی غیرمترعارف همچون پساب تصفیه‌شده به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی جلب توجه کرده‌است [۵-۷]. با توجه به کاهش کیفیت آب، پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش هزینه پمپاژ آب زیرزمینی، به‌کارگیری منابع آبی غیرمترعارف ضرورتی مهم در زندگی بشر است [۸،۹]. در این میان استفاده مجدد از منابع آبی مختلف از جمله آب خاکستری (پساب تولیدی از روشویی، حمام، ماشین لباسشویی و آشپزخانه‌ها) و انواع پساب‌ها و در کنار آن حفظ منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی (که با مفهوم آب آبی شناخته می‌شوند) در بین دولت‌ها و مردم از اهمیت حیاتی برخوردار شده‌است [۱۰-۱۲]. اهمیت حفظ منابع آب باعث شده تا مسأله مصرف درست آب و همچنین بهینه‌کردن انرژی و آب و بازچرخانی آن در سال‌های اخیر موضوع تحقیقات بسیار باشد [۱۳-۱۵].

امروزه تصفیه پساب‌ها در صنایع و نیروگاه‌ها، با توجه به نوع آلاینده‌های موجود و به‌روش‌های گوناگون شیمیایی، فیزیکی و

بیولوژیکی انجام می‌گیرد. در ابتدا پساب‌ها- به‌جز پساب‌های سوختی و روغنی- در نیروگاه جمع‌آوری می‌شود، سپس یکنواخت‌سازی اولیه و عمل هوادهی به‌منظور کاهش آلاینده‌های فرار احتمالی و آلودگی مواد آلی در ابتدای تصفیه‌خانه انجام می‌گیرد [۱۶]. جمع‌آوری پساب‌های آلوده به مواد روغنی و سوختی به‌صورت مجزا انجام می‌شود و با توجه به اختلاف چگالی آب و روغن عمل جداسازی و تصفیه انجام می‌پذیرد. واحد تصفیه پساب شامل فرایندهای اولیه انعقاد و لخته‌سازی، خنثی‌سازی pH، ته‌نشینی در مخازن، ترسیب فلزهای سنگین، تغلیظ و آب‌گیری لجن ته‌نشین‌شده با روش‌های گوناگون همچون سانتریفیوژ، فیلترهای خلاً یا فیلترهای فشاری است. در نهایت کنترل pH در پساب تصفیه‌شده نهایی انجام می‌گیرد. روش‌های هوازی همچون لجن فعال نیز معمولاً به‌منظور تصفیه پساب انسانی نیروگاه‌ها استفاده می‌شود که با توجه به نوع روش تصفیه و کیفیت آب، قابلیت استفاده مجدد در چرخه، امکان‌پذیر است [۱۷،۱۸].

سه رویکرد اساسی در کشورهای در حال توسعه در حوزه مدیریت منابع آبی شامل کاهش، بازچرخانی و بازیافت آب وجود دارد. بنابراین در مناطقی که با محدودیت‌های منابع آب تجدیدپذیر و هزینه‌های بالای ناشی از تصفیه آب و رهاسازی پساب مواجه هستند، از روش بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده به‌عنوان یکی از گزینه‌های حائز اهمیت به‌منظور حفاظت منابع با ارزش آب استفاده می‌کنند [۱۹-۲۳].

با توجه به مصرف حجم چشم‌گیری از آب در صنعت نیروگاهی، میزان و نوع پساب خروجی از نقاط مختلف نیروگاه به‌منظور تعیین سهم آب مصرفی در هر بخش حائز اهمیت است. هم‌چنین استفاده از روش‌های جای‌گزین از قبیل انرژی باد برای تولید الکتریسته و خنک‌کاری با هوا می‌تواند تأثیرات محسوسی برای کاهش مصرف آب به‌همراه داشته باشد [۲۴،۲۵]. از جمله موارد اتلاف آب در نیروگاه‌ها می‌تواند شامل دمنده داغ واحدها، دمنده سرد برج خنک‌کننده، پساب‌های شست‌وشو، پساب انسانی و غیره باشد [۲۶،۲۷،۲۸]. طرحواره‌ای از پساب‌های نیروگاهی در شکل (۱) نشان داده شده‌است.



شکل ۱. طرحواره‌ای از انواع پساب‌های نیروگاهی.

Figure 1. Schematic for all kind of waste water for power plant.

۲۵ نفر و متوسط برق تولیدی سالیانه ۲۸۰۰۰ مگاوات است. برج خنک‌کننده در این نیروگاه از نوع تر اجباری^۱ با اسکلت فلزی و ساختمان پلی‌استیرن و چوبی است. دیگ‌بخار در این نیروگاه از نوع درام‌دار با کوره تحت مکش بوده و دبی بخار ۶۵ تن در ساعت، فشار بخار سوپرهیتر ۴۰ اتمسفر، دمای بخار سوپرهیتر ۴۵۰ درجه سلسیوس و تعداد مشعل‌ها ۶ عدد است. توربین از نوع تک‌محوره، سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، سطح تبادل کندانسور ۱۴۰۰ متر مربع و جریان آب خنک‌کن ۳۷۵۰ متر مکعب در ساعت است. شکل (۲) طرحواره کلی از مسیر آب ورودی به تصفیه‌خانه نیروگاه و تجهیزات موجود در آن آمده است. لازم به ذکر است که جزئیات سایر تجهیزات و مسیر و چرخه کلی آب در سایر بخش‌های نیروگاه در این تصویر اشاره نشده است.

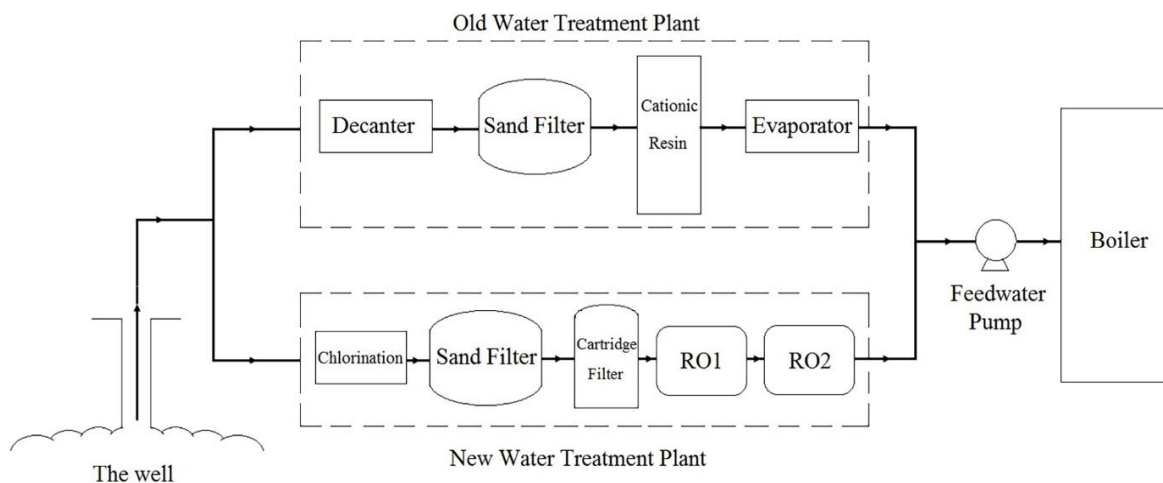
منابع تأمین آب ۳ حلقه چاه در داخل نیروگاه و آب آبفاست. باتوجه به این که کنتری در خروجی چاه‌ها وجود ندارد، تعیین دقیق میزان مصرف روزانه آب ممکن نیست. براساس گزارش کارشناسان، میزان مصرف براساس محاسبات انجام‌گرفته از خروجی چاه‌ها و کنتور آب آبفا حدوداً $2800 \text{ m}^3/\text{day}$ است. عمق چاه ۱۸۰ متر، قطر لوله جداره ۱۲ اینچ، دور پمپ $1500 \text{ rpm}/\text{min}$ و از نوع گریز از مرکز

1. Forced Draft Wet Cooling Tower

باتوجه به اهمیت بالای آب در کشور، در تحقیق پیش رو بحث اصلاح الگوی مصرف مد نظر قرار گرفت. از آنجایی که در نیروگاه‌های کشور به‌ویژه نیروگاه‌های بخاری، آب زیادی مصرف می‌شود، در کار حاضر ارزیابی فنی - اقتصادی در راستای اصلاح الگوی مصرف آب در نیروگاه طرشت مد نظر قرار گرفت. بدین منظور در ابتدا بازدید از نیروگاه طرشت انجام شد. به‌همراه اطلاعات دریافتی از بازدید، مدارک و مستندات مربوطه از نیروگاه دریافت شد. در کنار این موارد، مکالمات و جلساتی با متخصصان و بهره‌برداران ترتیب داده شد، تا جمع‌بندی کاملی از موارد فنی و اقدامات اصلاحی انجام‌گرفته چرخه آب در نیروگاه به‌دست آید. پس از بررسی اطلاعات و انجام مطالعات، اولویت‌بندی راهکارهای پیشنهادی با در نظر گرفتن ارزیابی فنی - اقتصادی در راستای کاهش و اصلاح الگوی مصرف آب انجام گرفت.

۲. آشنایی با چرخه آب نیروگاه طرشت و بررسی میزان مصرف و تلفات آب

نیروگاه طرشت واقع در غرب تهران، قدیمی‌ترین نیروگاه کشور دارای ۴ واحد بخار (ساخت شرکت آلستوم فرانسه) با ظرفیت نامی ۱۲/۵ مگاوات است. متوسط تعداد پرسنل در شیفت کاری حدود



شکل ۲. طرحواره‌ای از مسیر آب ورودی به تصفیه‌خانه و تجهیزات مرتبط با آن.

Figure 2. Schematic of the route of incoming water to the treatment plant and its related equipment.

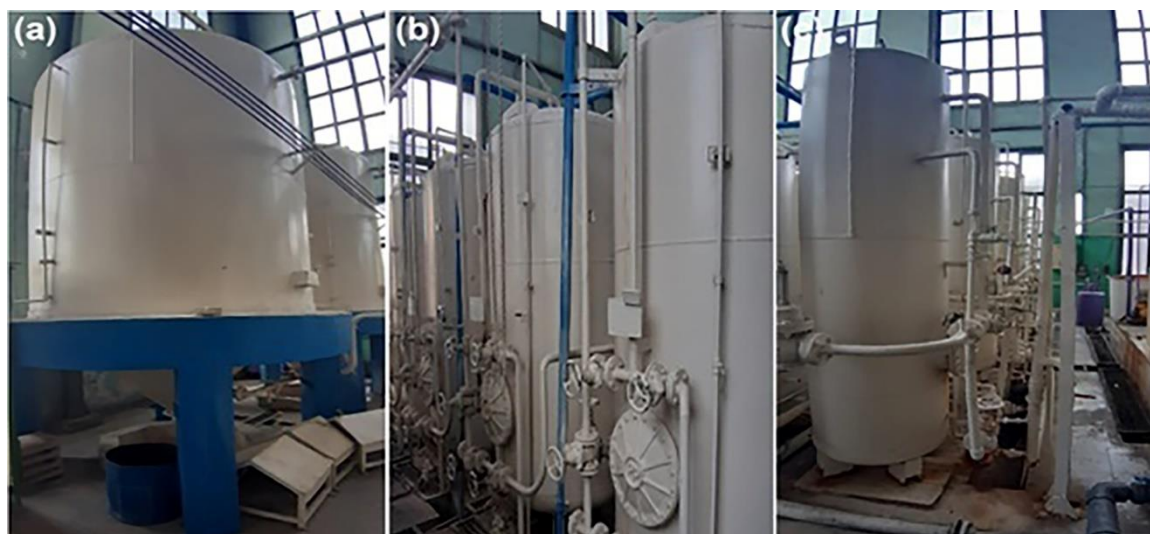
به داخل رزین منتقل و آب دارای نمک‌های سدیم و بدون سختی شده، بدین ترتیب آب نرم تولید می‌شود. عملکرد این یون‌ها به گونه‌ای است که آزاد شدن یونی، همراه با به دام‌انداختن یون دیگری همراه است. در نتیجه املاح موجود در آب خاصیت رسوب‌کنندگی خود را از دست می‌دهند. پس از احیای رزین‌ها با یون‌های کلسیم و منیزیم عمل شست‌وشوی معکوس انجام می‌گیرد. حجم آب مورد نیاز به منظور شست‌وشوی معکوس^۳ هر صافی شنی برابر با 6 m^3 است و پس از مدت زمان حدود ۳۰ ساعت عمل احیا و شست‌وشوی معکوس صافی‌های شنی انجام می‌گیرد. شایان ذکر است که صافی‌های شنی (۴ عدد) موجود در سرویس باتوجه به نیاز تولید و حجم آب دمین مورد نیاز نیروگاه در فصول مختلف متفاوت است. هم‌چنین میزان آب مورد نیاز برای هر مرتبه احیای رزین‌های سدیمی تصفیه‌خانه حدوداً برابر با 6 m^3 (هر صافی 3 m^3) است.

آب نرم از رزین‌های کاتیونی به سمت تبخیرکننده (اواپراتور) آب مقطر ساز ارسال می‌شود (شکل (۴)). این آب نرم برای خنک‌سازی پمپ‌های تغذیه استفاده می‌شود و در مخازن زیرزمینی آب نرم ذخیره و سپس به سمت تبخیرکننده ارسال می‌شود. در تبخیرکننده با تزریق بخار زیرکش توربین به لوله‌ها و تبخیر آب، املاح و آنیون‌های منفی از آب، جداسازی و از این آب به منظور آب جبرانی دیگ‌بخار استفاده می‌شود. شکل (۴) نمایی از تبخیرکننده آب مقطر ساز را نشان می‌دهد.

(سانتریفیوژ) است. شرایط شیمیایی آب ورودی شامل هدایت الکتریکی $950-700 \text{ S/cm}$ ، pH برابر $8/5$ و سختی کل 400 ppm است. آب ورودی از راه ۲ تصفیه‌خانه شامل تصفیه‌خانه قدیم و جدید، تصفیه می‌شود و به عنوان آب تغذیه‌ای دیگ‌بخار ۴ واحد بخار استفاده می‌شود. تصفیه‌خانه قدیمی از راه مخازن دکانتور^۱، صافی‌های شنی^۲ و رزین کاتیونی، آب نرم مورد نیاز چرخه را تأمین می‌کند و از این تصفیه‌خانه صرفاً برای تصفیه آب ورودی آبفا استفاده می‌شود. مخازن دکانتور و صافی‌های شنی جداسازی ذرات تا 100 میکرون را امکان‌پذیر می‌سازند. هدایت الکتریکی آب خروجی از تصفیه‌خانه قدیم زیر 5 S/cm است. براساس نظرات کارشناسان و بهره‌برداران فنی نیروگاه، در حال حاضر میزان سختی و هدایت الکتریکی آب خروجی از تصفیه‌خانه، با طراحی شرکت سازنده مطابقت دارد. شکل (۳) تصاویری از (a) مخازن دکانتور، (b) صافی‌های شنی و (c) صافی‌های رزینی کاتیونی سدیمی در تصفیه‌خانه قدیمی را نشان می‌دهد. نوع فیلتر رزینی مورد استفاده در این نیروگاه از نوع رزینی سدیمی است. درون مخزن سختی‌گیر مکانیکی، ذرات رزین قرار دارند. اکثر رزین‌ها از پلی‌استایرن سولفونات ساخته شده‌اند و آب سخت از روی این رزین‌ها عبور داده می‌شود و رزین تبادل یونی، سدیم موجود خود را با کلسیم و منیزیم موجود در آب جابه‌جا می‌کند. کلسیم و منیزیم موجود در آب

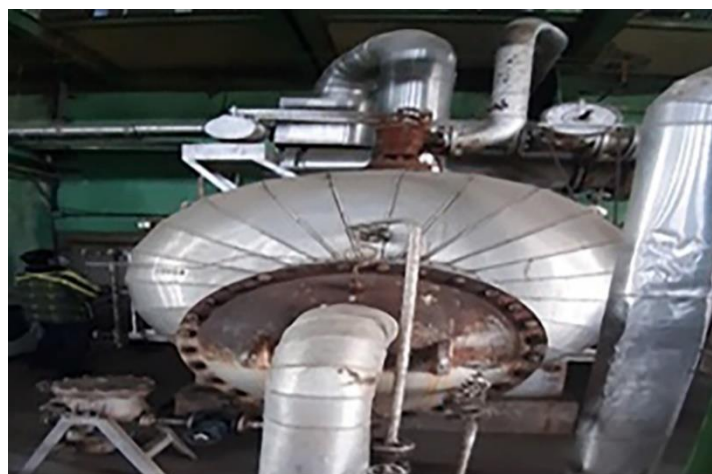
1. Decanter
2. Sand Filter

3. Backwash



شکل ۳. تصاویر (a) دکانتور (b) صافی‌های شنی و (c) رزین‌های کاتیونی سدیمی در تصفیه‌خانه قدیمی نیروگاه طرشت.

Figure 3. (a) Decanter (b) Sand Filter (c) Cationic resin in the traditional water treatment plant of Tarasht.



شکل ۴. تصویر تبخیرکننده آب مقطر ساز.

Figure 4. The image of evaporator for the water distillation plant.

(هدایت الکتریکی 4 S/cm μ). صافی‌های کارتریجی قابلیت جداسازی ذرات تا 10 میکرون را دارند که سپس آب وارد دو واحد اسمز معکوس می‌شود که در واحد اول هدایت الکتریکی به 100 S/cm μ و در واحد دوم به زیر 4 S/cm μ می‌رسد. شایان ذکر است که آب ورودی تأمین‌ی دارای هدایت الکتریکی^۲ حدود 350 S/cm - 500 S/cm μ است. میزان برگشتی صافی‌های^۳ غشایی اسمز معکوس برابر با

2. Electrical Conductivity
3. Filter Rejection

از زمانی که آب چاه به‌منظور کاهش هزینه‌های مالی به منبع آب تأمین‌ی اضافه شد، دیگر آب خروجی از تصفیه‌خانه قدیم از کیفیت لازم برخوردار نبود که منجر به گرفتگی لوله‌های دیگ‌بخار و خوردگی تجهیزات شد و به‌همین دلیل سامانه تصفیه‌خانه جدید راه‌اندازی شد. سامانه تصفیه‌خانه جدید شامل کلرزنی اولیه، صافی-های شنی، صافی‌های کارتریجی و صافی‌های غشایی اسمز معکوس^۱ بوده و آب خروجی از این تصفیه‌خانه مطابق با طراحی سازنده است

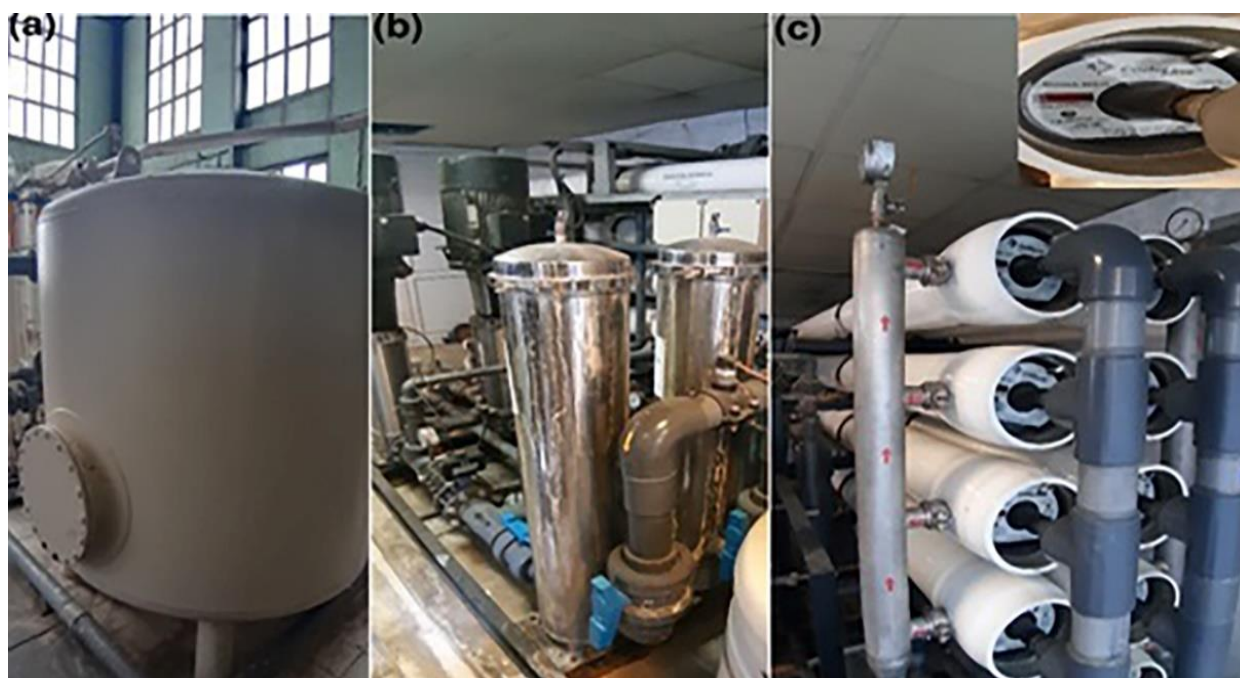
1. Reversed Osmosis

نشان می‌دهد.

بیشترین پساب و اتلاف آب در این نیروگاه مربوط به برج خنک‌کننده است. باتوجه به این که برج خنک‌کننده از نوع تر است و باتوجه به نوع طراحی آن (شکل (۶))، مواردی مانند میزان تبخیر، پاشش و رانش^۳ در برج خنک‌کننده بسیار زیاد است. از آنجایی که در ورودی آب جبرانی و دمنده خروجی برج خنک‌کننده کنتوری وجود ندارد، اطلاعات دقیقی در این زمینه در دسترس نیست؛ اما باتوجه به محاسبات انجام‌گرفته از پمپها و خطوط^۴ ورودی و خروجی برج خنک‌کننده، میزان دمنده برج خنک‌کننده حدوداً $600 \text{ m}^3/\text{day}$ است که تصفیه و بازچرخانی آن به چرخه^۵ آب انجام نمی‌گیرد. میزان آب جبرانی مورد نیاز برج خنک‌کننده حدوداً برابر با $2000 \text{ m}^3/\text{day}$ ($83 \text{ m}^3/\text{h}$) و میزان هدر رفت آب از راه تبخیر، پاشش، رانش و غیره حدوداً برابر با $1400 \text{ m}^3/\text{day}$ است.

$576 \text{ m}^3/\text{day}$ است که تصفیه و بازچرخانی این نوع پساب نیز در نیروگاه طرشت انجام نمی‌گیرد. فیلترهای غشایی از نوع مارپیچی^۱ است که غشاهای کامپوزیتی فیلم نازک و ساخت شرکت فیلم‌تک^۲ هستند. فشار عملکردی سامانه اسمز معکوس در حدود 14 bar است و سامانه متشکل از چندین ماژول غشایی است که هر ماژول دارای ۷ عدد غشای اسمز معکوس است. سازوکار عملکردی این سامانه براساس اختلاف فشار است. عمده^۵ آب تولیدی در تصفیه‌خانه به‌وسیله سامانه اسمز معکوس انجام می‌گیرد. به‌دلیل نوع طراحی و گذشت حدود ۶۰ سال از راه‌اندازی نیروگاه میزان اتلاف آب از راه دمنده‌های دیگ‌بخار، برگشتی تصفیه‌خانه و برج خنک‌کننده قابل ملاحظه است. از این رو لازم است تدابیری برای کاهش اتلاف، بهبود بازیافت و به‌کارگیری مجدد در چرخه^۵ آب نیروگاه اندیشیده و راهکارهایی ارائه شود.

شکل (۵) تصاویر صافی‌های شنی، کارتریژی و غشایی اسمز معکوس (ظرفیت ۳۰ مترمکعب) را در تصفیه‌خانه جدید



شکل ۵. تصاویر (a) صافی شنی، (b) کارتریژی و (c) غشایی اسمز معکوس در تصفیه‌خانه جدید نیروگاه طرشت.

Figure 5. The images of (a) sand filter (b) cartridge (c) The membrane of reversed osmosis for new water treatment plant of Tarasht power plant.

1. Spiral Wound

2. FilmTec

3. Drift

4. Lines

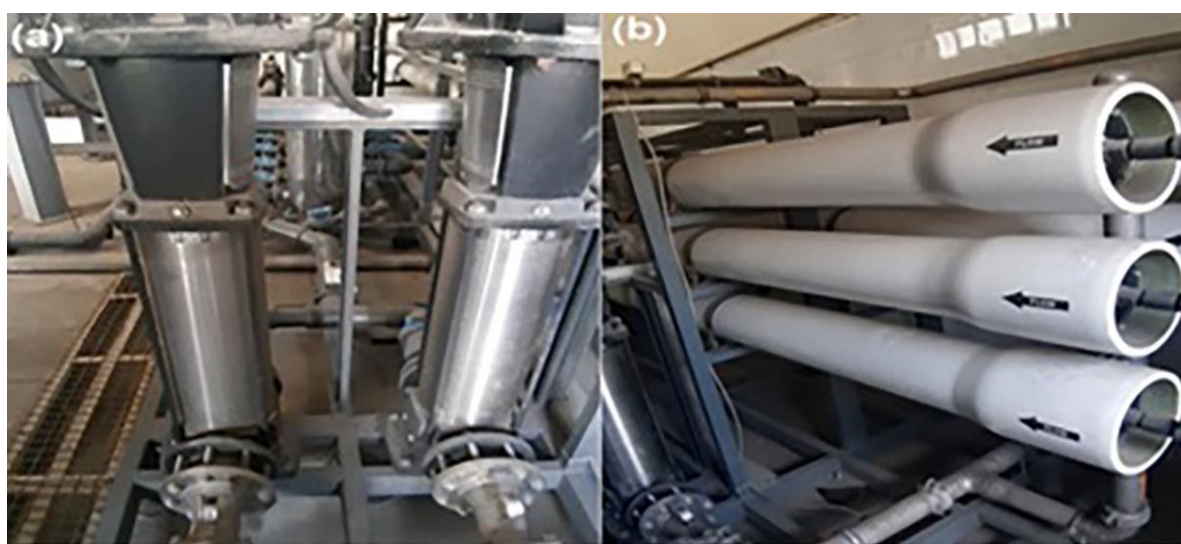


شکل ۶. تصاویر برج خنک‌کننده تر نیروگاه طرشت.

Figure 6. The images of wet cooling tower of Tarasht power plant.

استفاده شده است. در ابتدا آب خام ورودی در مخازن، کلرزی می‌شود، سپس از صافی‌های شنی و کارتریجی و نهایتاً از صافی‌های غشایی اسمز معکوس عبور می‌کند که در این مرحله هدایت الکتریکی از $1000 \mu\text{S/cm}$ به $70 \mu\text{S/cm}$ می‌رسد. شکل (۷) تصاویر صافی‌های کارتریجی و غشایی اسمز معکوس (ظرفیت ۵۰ مترمکعب) را به منظور افزایش کیفیت آب ورودی به برج خنک‌کننده نشان می‌دهد.

اخیراً طرحی برای کاهش تبخیر و اتلاف آب در برج خنک‌کننده ارائه و تجهیز آن در ضلع شرقی برج نیز نصب گردید؛ اما هنوز عملیاتی نشده و هم‌اکنون این تجهیز خارج از سرویس است و نتیجه‌ای از نحوه عملکرد و داده‌های آن گزارش نشده است. در سالیان اخیر باتوجه به نبود مخزن ته‌نشینی در تصفیه‌خانه و به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کیفیت آب از صافی‌های غشایی اسمز معکوس برای کاهش دمنده و ضریب تغلیظ



شکل ۷. تصاویر صافی‌های کارتریجی و غشایی اسمز معکوس.

Figure 7. The images of cartridge filter and the membrane of reversed osmosis.

از این رو در این نیروگاه حوضچه‌های جمع‌آوری پساب (حوضچه‌های جذبی، تخییری و غیره) وجود ندارد.

یکی از راه‌های کاهش اتلاف آب، تصفیه پساب‌های بهداشتی و قسمت‌های اداری است که در نیروگاه طرشت تصفیه این نوع از پساب نیز انجام نمی‌گیرد.

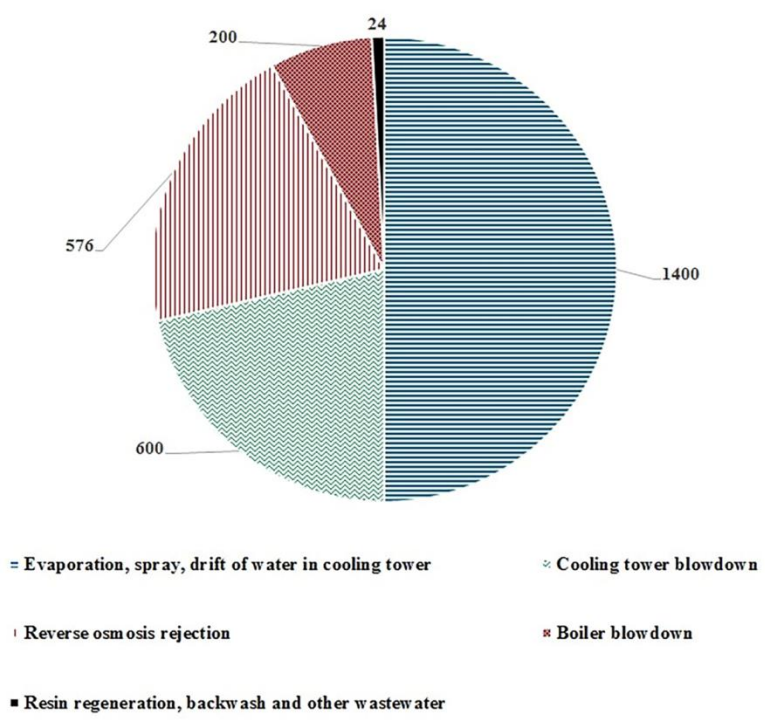
طرح بازیافت و تصفیه پساب خروجی از دیگ‌بخار، برج خنک‌کننده، برگشتی تصفیه‌خانه و غیره نیز به‌منظور به‌کارگیری از سامانه‌های اولترافیلتراسیون^۲ و صافی‌های غشایی اسمز معکوس نیز در سالیان اخیر بررسی شده که پس از برآوردهای مالی و انجام مناقصه، نهایتاً اجرایی نشد.

در سال‌های اولیه راه‌اندازی نیروگاه، تجهیزات دکانتور برای بازیافت بخار دمنده و اجکتور استفاده می‌شده است که باتوجه‌به مستهلک‌شدن و از کار افتادگی این دستگاه‌ها به‌مرور زمان، در حال حاضر بخارهای ناشی از دمنده‌های دیگ‌بخار و اجکتورها بازیافت نشده وارد چرخه آب نیروگاه نمی‌شود.

مقدار تلفات آب در بخش‌های اصلی نیروگاه که در بالا اشاره شد، در شکل (۸) نشان داده شده است.

میزان دمندگی ۴ دیگ‌بخار واحدهای بخار حدوداً $200 \text{ m}^3/\text{day}$ (حدود $2 \text{ m}^3/\text{h}$ دمندگی برای هر دیگ‌بخار) و بقیه پساب‌ها شامل برگشتی و فلشینگ صافی‌های غشایی اسمز معکوس، شست‌وشوی معکوس صافی‌ها و غیره حدوداً $200 \text{ m}^3/\text{day}$ و دمنده برج خنک‌کننده حدوداً برابر با $600 \text{ m}^3/\text{day}$ است. بنابراین از مجموع آب تأمینی نیروگاه (حدود $2800 \text{ m}^3/\text{day}$) تقریباً $1000 \text{ m}^3/\text{day}$ پساب (دمنده برج خنک‌کننده، دمنده دیگ‌بخار، برگشتی و فلشینگ صافی‌های غشایی اسمز معکوس، شست‌وشوی معکوس صافی‌ها، احیای رزین‌های کاتیونی و غیره) تولید می‌شود که تصفیه و بازچرخانی آن به چرخه آب انجام نمی‌گیرد.

حجم پساب تولیدی از اسیدشویی و قلیاشویی واحدها که هر چند سال یک‌بار انجام می‌شود حدوداً برابر با $300 \text{ m}^3/10\text{year}$ است. هم‌چنین حجم آب نمونه‌گیر^۱ ناچیز و تقریباً برابر با $0.2 \text{ m}^3/\text{day}$ است. باتوجه‌به نظرهای کارشناسان نیروگاه و کیفیت تقریباً مناسب پساب‌های تولیدی ($1800\text{S}/\text{cm} - 2000\text{S}/\text{cm}$ در فصول گرم)، از این آب بدون تصفیه برای آبیاری فضای سبز داخل نیروگاه و مابقی در اختیار شهرداری تهران به‌منظور آبیاری فضای سبز قرار می‌گیرد.



شکل ۸. مقدار تلفات آب در بخش‌های اصلی نیروگاه طرشت.

1. Sampling

2. Ultrafiltration

Figure 8. The value of wastewater (m³/day) in the main part of Tarasht power plant.

اطلاعات کلی درخصوص آب ورودی، مصارف نیروگاه و تلفات آب براساس مدارک و مستندات، بازدید از نیروگاه، تجربه‌های کارشناسان شیمی و بهره‌برداران در نیروگاه طرشت در جدول (۱) خلاصه شده است. بررسی اطلاعات نشان می‌دهد که حجم دمنده برج خنک‌کننده زیاد است. این موضوع به دلیل طراحی برج خنک‌کننده است که از نوع تر است و نسبت به برج خشک مصرف آب و دمنده بالایی دارد. هم‌چنین حجم تبخیر و رانش آب از برج تر بسیار بالاست و یکی از منابع هدررفت آب در این نیروگاه است. جای‌گزینی برج تر با برج خشک نیاز به طراحی، بررسی اقتصادی و تأمین بودجه دارد.

جدول ۱. مدارک، مستندات و اطلاعات دریافتی در بازدید از نیروگاه طرشت.

Table 1. Document and information of Tarasht power plant.

Question	Response	Description
Power plant water supply source	Abfa water-well water (3 rings)	
Supply water volume	2800 m ³ /day	Due to the fact that there is no meter at the exit of the wells, it is not possible to accurately determine the amount of daily consumption
Is there a significant difference in the volume of water extracted from the supply source and the water entering the power plant?	No	-
The volume of water required for reverse washing of sand filters	0.6 m ³ each time of reverse washing of each sand filter (30 hours in one regeneration service)	According to the required amount of water from the power plant, the number of backwashing and sand filters available in the service is different in different seasons.
The volume of water required for regeneration of sodium resin filters	6 m ³ for each regeneration of 2 filters	According to the required amount of rainwater, the number of regenerations of sodium resins is different in different seasons
The return rate of reverse osmosis membrane filters	576 m ³ /day	According to the required amount of rain water, the operating hours of reverse osmosis membrane filters are different in different seasons.
The volume of boilers	200 m ³ /day (about 2 m ³ /h for each boiler)	Purification and recirculation of below down does not take place in the water cycle and this water is used to irrigate green spaces.
Sampler water volume	0.2 m ³ /day	-
Cooling tower compensation water volume	2000 m ³ /day (83 m ³ /h 83)	-
The size of the Blowdown of cooling Tower	600 m ³ /day	From this water, without treatment, it is used to irrigate the green spaces inside the power plant, and the rest is provided to Tehran Municipality for the purpose of irrigating the green spaces. Therefore, recycling and reuse of this type of wastewater is not done in the water cycle of the power plant
The volume of evaporation, spraying, thrust, etc. of water in cooling towers	1400 m ³ /day	-
The volume of wastewater resulting from acid washing and alkaline	300 m ³ in 10 years	-

Question	Response	Description
washing of units		
Total average volume of power plant effluent	1046 m ³ /day	According to the appropriate quality of the output effluent according to experts' opinions (1800-2000 μS/cm), this water is used for irrigation of the green spaces inside the power plant and the rest is provided to Tehran Municipality for the purpose of irrigating the green spaces.
Is the power plant effluent treated? (Brief description of the water purification process)	No	-
In the case of wastewater treatment, for what purpose is the treated water used?	-	-
What is the source of water supply for green space irrigation, how to irrigate, wash passages, clean and wash elements, fire department and administrative cooling systems in the power plant?	To irrigate the green area of the complex, the waste water from the power plant is used Fire extinguishers are used to extinguish fire in the administrative complex	The average production of gray water for each person is about 5 liters, which is used to irrigate green spaces.

استفاده در آبیاری شده که از هدررفت آب جلوگیری می کند. (ه) استفاده از لوازم بهینه کننده مصرف در سرویس های بهداشتی: برای این امر استفاده از فناوری های مختلف برای کاهش مصرف آب در سرویس های بهداشتی مورد نظر بوده است. (و) به کارگیری فلاش مخزن های کم مصرف دومرحله ای: استفاده از فناوری های جدید برای این امر مد نظر قرار گرفته است. حجم پساب کلی در نیروگاه طرشت حدوداً برابر با ۳۱۰۰۰ m³/month است. به کارگیری و استقرار سامانه اسمز معکوس در سال های اخیر به منظور افزایش کیفیت مورد نیاز چرخه آب، تأثیرات بسزایی در کاهش دمنده های دیگ بخار و برج خنک کننده داشته است. هم چنین در سال های اخیر به کارگیری و استقرار واحد گازی G12 با توان اسمی ۲۵ مگاواتی تأثیر بسزایی در کاهش میزان آب استحصالی مورد نیاز نیروگاه و جلوگیری از اتلاف آب داشته است. از طرف دیگر مطابق با صحبت های کارشناس شیمی این نیروگاه، طرح جایگزینی واحدهای ۱ و ۲ بخار با ۶ واحد گازی در سال ۱۴۰۰ اجرایی خواهد شد که اجرای این طرح تأثیر چشم گیری در کاهش میزان آب تأمین نیروگاه و کاهش مصرف هدررفت آب خواهد داشت. مطابق با نظر کارشناسان نیروگاه با توجه به کیفیت پساب خروجی و زهکش تمیز^۱ نیروگاه، از این آب

1. Clean Drain

۳. نتایج و دستاوردهای تجربی، اقدامات اصلاحی انجام گرفته و میزان اثربخشی آن ها در نیروگاه طرشت برای اصلاح الگوی مصرف آب
برای اصلاح الگوی مصرف آب در نیروگاه طرشت، اقدامات اصلاحی زیر انجام گرفته است:

- (الف) استقرار سامانه اسمز معکوس برای تأمین چرخه آب: در مجموعه تصفیه خانه ورودی از سامانه اسمز معکوس برای افزایش کیفیت آب تغذیه دیگ بخار و در نتیجه کاهش دمنده دیگ بخار استفاده شده است. به علاوه در ورودی آب جیرانی به برج خنک کننده، سامانه اسمز معکوس نصب شده تا موجب بهبود کیفیت آب ورودی و کاهش دمنده شود.
- (ب) استقرار واحد گازی G12: با توجه به مصرف نشدن آب در واحدهای گازسوز، استفاده از این نوع واحدها در کاهش مصرف آب مؤثر است.
- (ج) جایگزینی واحد بخار با موتورهای گازسوز: با توجه به مصرف نشدن آب در واحد گازسوز، این جایگزینی در کاهش مصرف آب بسیار مؤثر است. اگرچه موتورهای گازسوز می توانند برخی آلودگی های گازی را ایجاد کنند؛ اما به دلیل اهمیت مصرف آب و کاهش منابع آبی کشور، نیروگاه این تصمیم را گرفته است.
- (د) بازیافت آب برای آبیاری فضای سبز: این امر موجب برگشت آب و

۴. جمع‌بندی راهکارهای پیشنهادی

در این بخش به جمع‌بندی راهکارهای پیشنهادی خواهیم پرداخت که در جدول (۲) خلاصه شده است. شایان ذکر است که روش‌های مختلف و طریقه پیاده‌سازی راهکارهای پیشنهادی با در نظر گرفتن شرایط فنی و اقتصادی ارائه شده است.

برای آبیاری فضای سبز استفاده می‌شود. از این رو، در حال حاضر تصفیه و بازچرخانی پساب‌های تولیدی (همچون دمنده دیگ‌بخار $200 \text{ m}^3/\text{day}$)، دمنده برج خنک‌کننده ($600 \text{ m}^3/\text{day}$)، برگشتی صافی غشایی اسمز معکوس ($576 \text{ m}^3/\text{day}$)، نمونه‌گیر ($0.2 \text{ m}^3/\text{day}$)، احیای صافی‌های سدیمی (6 m^3 هر بار احیای ۲ صافی) و شست‌وشوی معکوس صافی‌های شنی (0.6 m^3 هر صافی) و هم‌چنین پساب‌های ناشی از شست‌وشوی واحدها و به‌خصوص زهکش تمیز به چرخه آب نیروگاه انجام نمی‌گیرد و لذا اقدامات اصلاحی مؤثری برای کاهش مصرف آب و جلوگیری از اتلاف آن انجام نمی‌پذیرد.

جدول ۲. جمع‌بندی راهکارهای پیشنهادی برای اصلاح الگوی مصرف در نیروگاه طرشت.

Table 2. Conclusion of proposed solution of improving water consumption pattern in Tarasht power plant.

Suggested solutions to modify the pattern of water consumption	Description
Recirculation of clean drains such as blowdown boilers, reverse washing of sand filters of the refinery, sampler water and the drain of the final step of washing resin filters into the water cycle.	
Refining the cooling tower sludge and recirculating it into the water cycle	
Purification and recycling of reverse osmosis membrane filters to the water cycle	
Optimization of cooling towers	Replacing drippers, replacing nozzles and optimizing water distribution to increase tower efficiency
Increasing the degree of concentration of the cooling tower	
Optimization and regular and periodic monitoring of cooling tower compensation water flow	
Performing water operations in the cooling tower	Using appropriate amounts of biocide, corrosion inhibitors and anti-sediments
Changing the design and material of the fan blades from aluminum to fiberglass with wider blades	It provides the possibility of increasing the air flow rate and reducing the electricity consumption
Changing the angle of the louvres	It leads to the reduction of water drops from the body of the tower
Use of thicker drippers in the tower	It leads to the reduction of water drops from the tower
Changing the type of drippers to polypropylene	Reducing the complications of failure and water loss
Using a rotating nozzle	Increasing the time and speed of water droplets hitting the air and as a result more heat transfer
Use of ozone to purify the cooling tower water	
Reducing the emergency exit of steam units and water storage resulting from being out of service, especially in boilers and cooling towers.	
Steam condensate from the cooling tower	
System for automatic change of tower fan speed	

Suggested solutions to modify the pattern of water consumption	Description
Use of quality consumable parts and spare parts	
Periodic and regular inspection according to the risk of the equipment (Risk Based Inspection)	Due to the depreciation of the equipment and the high age of this power plant, in order to prevent leakage and wastage of water in the connections, equipment inside the tanks such as pumps, valves, tires, etc., forming a technical minimum for leak detection and fixing the leakage permanently. In the power plant, as well as periodic regular inspections are necessary and necessary due to the risk of the equipment (equipment under pressure, high temperature and injections of chemical substances, etc.)
Using corrosion coupons to monitor corrosion	
Optimizing and precise chemical control of chemical injections in order to reduce noise and corrosion in boilers	
Treatment of sanitary effluents and wastewaters of the administrative sector for the purpose of irrigation of green spaces and water supply for firefighting.	
Irrigation of the green space around the office buildings in the power plant by using advanced methods such as drip and...	
Increasing the cooling capacity of the cooling tower	Pre-cooling of water entering the tower by air coolers using HYSYS software
The use of magnetic hardener in the cooling tower	
Condensate steam from boilers with regular monitoring and control of the spray system	
Reuse of purified sanitary wastewater in the compensation water of the cooling tower	Using the A ² O system, secondary sedimentation, ozonation, sand filter and finally activated carbon
Treatment of wastewater resulting from the regeneration of cationic resins in the treatment plant	
Treatment of wastewater resulting from chemical washing of units	
Changing the chemical control regime from AVT to CWT	Injections of substances including ammonia and hydrazine and the type of chemical control regime used (AVT) have led to the creation of many corrosions and leaks, especially at the bottom of the boiler.
Replacing steam units with gas engines with high operational efficiency	
Change of cross flow cooling towers to direct dry towers	

۵. ارزیابی فنی - اقتصادی راهکارهای با اولویت بالا در نیروگاه طرشت

از جمله راهکارهای با اولویت بالا به منظور جلوگیری از اتلاف آب در نیروگاه طرشت بازچرخانی دمنده دیگ بخار است، لذا در ادامه ابتدا به بررسی روش‌های مختلف اجرای این راهکار خواهیم پرداخت و

در آخر روش بهتر پیشنهاد خواهد شد.

۵-۱ روش‌ها و راهکارهای بازچرخانی دمنده دیگ بخار

باتوجه به کیفیت بالا و حجم قابل توجه دمنده دیگ بخار (هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰ μS/Cm) بازچرخانی دمنده منجر به کاهش جدی در میزان مصرف آب خام ورودی، افزایش کیفیت آب ورودی

در این روش آب تغذیه از پمپ تغذیه وارد مبدل حرارتی اول می‌شود و پس از تبادل حرارت با آب خروجی از دمنده وارد مبدل حرارتی دوم می‌شود و پس از تبادل حرارت با بخارهای دمنده و ونت دی اریاتور^۱ از مبدل حرارتی ۲ خارج و وارد دیگ بخار می‌شود، اما زهکش‌های دیگ بخار هم به‌طور پیوسته وارد دمنده شده، در دمنده قسمتی از آب‌ها به دلیل فشار و دمای بالا تبدیل به بخار می‌شود که این بخارها با دمای ۹۸ درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر از بالای دمنده وارد مبدل حرارتی ۲ می‌شود و پس از مایع شدن وارد مبدل حرارتی ۱ می‌شود. آب خروجی از دمنده با دمای ۹۸ درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر از پایین مخزن دمنده وارد مبدل حرارتی ۱ می‌شود و پس از تبادل حرارت از مبدل حرارتی ۱ خارج و با دمای مناسب و مطلوب به سمت تصفیه‌خانه ارسال می‌شود. یکی از دلایل انتخاب این نوع از مبدل‌های حرارتی، تعمیرات راحت‌تر آن نسبت به مدل‌های دیگر است. شایان ذکر است که این طرح در نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون مطالعه و اجرایی شده است [۲۸].

۵-۱-۵ چیلرهای جذبی

استفاده از گرمای دمنده دیگ بخار به منظور تأمین انرژی مورد نیاز چیلرهای جذبی و کاهش دمای دمنده منجر به بازیابی حرارت اتلاف شده آب دمنده، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف آب در نیروگاه می‌شود. خنک‌ساختن آب دمنده قبل از ورود به تصفیه‌خانه منجر به افزایش کارایی و طول عمر رزین‌های تبادل یونی، افزایش زمان کارکرد تصفیه‌خانه، کاهش مصرف مواد شیمیایی برای احیا، کاهش هزینه انرژی مصرفی، مصرف آب و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خواهد شد [۲۹].

از بین روش‌های بالا استفاده از روش فواره‌ای و به‌کارگیری مبدل‌های حرارتی باتوجه به سادگی، تأثیرگذاری و تجربه اجرایی در نیروگاه‌های دماوند، نیروگاه سیکل ترکیبی قم و سیکل ترکیبی کازرون به لحاظ فنی - اقتصادی و عملکردی مورد توجه هستند.

۵-۲ بررسی فنی - اقتصادی بازچرخانی دمنده دیگ بخار با

به‌کارگیری مبدل حرارتی

یکی از راهکارهای مؤثر در این زمینه استفاده از مبدل حرارتی است

به تصفیه‌خانه، کاهش فشار و افزایش کارکرد در صافی‌های تصفیه‌خانه و در نتیجه منجر به کاهش جدی در مصرف مواد شیمیایی خواهد شد. یکی از مشکلات موجود در بازچرخانی دمنده‌ها دمای بالای آن‌هاست که منجر به تخریب صافی‌های موجود در تصفیه‌خانه می‌شود، لذا کاهش دمای دمنده دیگ بخار قبل از ورود به تصفیه‌خانه آب خام بسیار حائز اهمیت است. از جمله روش‌های مؤثر برای بازچرخانی دمنده دیگ بخار در زیر آورده شده است.

۵-۱-۱ استخر فواره‌دار

به‌کارگیری روش فواره‌ای و انجام فرایند تبخیر در خنک‌سازی آب، منجر به بازگردانی حدود ۶۵ درصد از کل دمنده به چرخه آب می‌شود. هم‌چنین نتایج بررسی‌ها گویای آن است که با اضافه شدن آب دمنده دیگ بخار به آب خام به‌طور کلی حدود ۲۵٪ از مصرف آب خام کاسته خواهد شد. هم‌چنین یکی دیگر از راهکارها برای کاهش درجه حرارت دمنده دیگ بخار، اسپری با آب خام و ذخیره‌سازی در مخازن بتنی است. در صورتی که کیفیت آب دمنده دیگ بخار در محدوده استانداردهای لازم نباشد، بعد از عبور از یک صافی کارتریجی از نو به مخزن‌های آب خام ارسال می‌شود [۲۷].

۵-۱-۲ مبدل حرارتی

به‌کارگیری مبدل حرارتی در خروجی دمنده مخزن منجر به کاهش دمای دمنده و افزایش حرارت آب تغذیه‌ای دیگ بخار می‌شود.

۵-۱-۳ برج‌های خنک کننده

یکی از راهکارهای خنک‌کاری پساب دمنده دیگ بخار به‌کارگیری برج‌های خنک کننده است. در این روش نوع مواد برج خنک کننده، افزودن بازدارنده‌های خوردگی و مواد ضد رسوب باتوجه به رسوبات و خوردگی‌های موجود حائز اهمیت است. استفاده از این روش نسبت به روش اول شامل کاستی‌هایی همچون مصرف انرژی و ناتوانی در حذف یون‌های موجود و هزینه بالای تعمیرات و نگهداری است. ضمن این که استفاده از خود برج خنک کننده می‌تواند موجب هدررفت بخشی از آب شود.

۵-۱-۴ سامانه خنک‌کاری و بازیابی همزمان آب و بخارهای دمنده

دیگ بخار نیروگاهی

1. Deaerator

مورد نیاز در جدول (۳) خلاصه شد. پیرو استعلام گرفته شده از شرکت‌های متخصص در زمینه مبدل‌های حرارتی، مبدل حرارتی اول از نوع هسته پوسته با دبی $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ورودی، جنس پوسته A 516، جنس لوله‌ها S.S 304L با طراحی تولید مطابق با استاندارد API660 پیشنهاد شد که قابلیت کاهش دمای 30°C درجه سلسیوس آب ورودی را داشته باشد. هم‌چنین مبدل حرارتی دوم از نوع صفحه‌ای آب به آب M10B-PLss316-856 KW و مواد تمامی صفحات حرارتی از نوع S.S 316L با ضخامت 0.5 و جنس تمامی واشرها EPDM (مقاومت حرارتی بالا) پیشنهاد شد. برآورد هزینه تخمینی وسایل و تجهیزات و هزینه مازاد و اجرایی (30%) خلاصه شده در جدول زیر برابر با $1,130,070$ هزار تومان است (جدول (۳)).

هزینه اجرای حوضچه بتنی و اتاقک زهکش تمیز شامل گودبرداری، تسطیح زمین به وسیله کارگر، اجرای بتن مگر، اجرای دیوار برشی و فوندانسیون استخر بتنی ($3 \times 5 \times 8$)، سقف حوضچه بتنی، اجرای اتاقک زهکش تمیز (3×4) شامل دیوار برشی و سقف اتاق حدوداً برابر با $295/560$ هزار تومان است. از این رو مجموع هزینه‌های وسایل و تجهیزات، اجرای حوضچه بتنی و اتاقک زهکش تمیز به منظور بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار با به‌کارگیری مبدل حرارتی در نیروگاه طرشت برابر با $1/425/630$ هزار تومان است. لازم به ذکر است که تمامی قیمت‌ها مربوط به بهار سال 1401 است.

که علاوه بر کاهش دمای دمنده منجر به افزایش دمای آب تغذیه دیگ‌بخار و صرفه‌جویی در انرژی می‌شود. از طرف دیگر به‌کارگیری این روش به دلیل نداشتن اتلاف آب (تبخیر، پاشش و غیره) منجر به بازچرخانی با راندمان بالا می‌شود، بنابراین به‌منظور پیاده‌سازی این روش در ابتدا یک مبدل حرارتی در خروجی دمنده مخزن قرار می‌گیرد که منجر به کاهش دمای دمنده و افزایش حرارت آب تغذیه‌ای دیگ‌بخار می‌شود، سپس این آب در یک مخزن زهکش تمیز مخزن، ذخیره و پس از اختلاط با آب نمونه‌گیر و شست‌وشوی معکوس صافی‌های شنی به سمت تصفیه‌خانه ارسال می‌شود. در صورتی که هم‌چنان دما بالا باشد، به‌منظور کاهش دما در تصفیه‌خانه از یک مبدل حرارتی ثانویه استفاده می‌شود که علاوه بر کاهش دمای زهکش تمیز منجر به افزایش حرارت آب خام ورودی به حدود 35°C درجه سلسیوس (بهترین عملکرد صافی‌ها) و در نتیجه افزایش راندمان و عملکرد تصفیه‌خانه می‌شود. بنابراین با توجه به تجارب نیروگاه سیکل ترکیبی قم در زمینه بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار و مشاوره انجام شده با شرکت‌های تولیدکننده مبدل‌های حرارتی (تهران مبدل، مهتاب گستر، سماسازان) ارزیابی اقتصادی برآورد هزینه تخمینی اجرای این راهکار در نیروگاه منتخب طرشت برای کاهش دمای دمنده با به‌کارگیری مبدل‌های حرارتی انجام گرفت. از این رو به‌منظور بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار ($8 \text{ m}^3/\text{h}$) هر دیگ‌بخار ($2 \text{ m}^3/\text{h}$) در نیروگاه طرشت در ابتدا ارزیابی اقتصادی روش به‌کارگیری از مبدل حرارتی، انجام و لیست وسایل و تجهیزات

جدول ۳. برآورد هزینه‌های تخمینی بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار با به‌کارگیری مبدل حرارتی.

Table 3. Estimation of expense for the water recycling from boiler blowdown by using heat exchanger.

Tools and Equipment	Number	Unit price (thousand tomans)	Cost (thousand tomans)
Pipe 4" 304 S.S Seamless Sch 80	14	30.100 (6 meters)	421.400
Pipe 4" C.S Seamless Sch 80	50	6.380 (6 meters)	319.000
Elbow 4" 304 S.S Seamless Sch 80	14	3.200	44.800
Elbow 4" A234 C.S Seamless Sch 80	20	830	16.600
Pentax pump U18S-250/3T (3.5 bar)	4	13.300	53.200
Shell and tube heat exchanger	4	19.200	76.800
Plate heat exchanger	1	111.200	111.200
Other equipment (flange, gasket, valve, bolt and nut, ... (15% of equipment cost)	-	-	133.385

Surplus and executive fee (30%)	-	-	260.785
Total cost of equipment and implementation			1.130.070

۵-۳ بررسی فنی - اقتصادی بازچرخانی دمنده دیگ بخار با استخر فواره‌دار

باتوجه به سادگی و عملکرد مؤثر، روش استخر فواره‌دار به منظور کاهش دمای دمنده پیشنهاد می‌شود. از آنجایی که در دمنده برگشتی آهن، آمونیاک و هیدرازین وجود دارد با استفاده از این روش امکان تبدیل Fe^{2+} به Fe^{3+} و رسوب کردن آن و جداسازی اکسیدهای آهن تولیدی از راه صافی‌های موجود در تصفیه‌خانه و همچنین تجزیه هیدرازین در معرض هوا میسر است. شایان ذکر است که هیدرازین در معرض اکسیژن و حرارت تبدیل به آب و N_2 می‌شود و پس از مخلوط شدن با آب خام غلظت آن تا حد صفر کاهش می‌یابد که نتایج آزمایش‌های در نیروگاه دماوند مؤید این موضوع است. باقی‌مانده احتمالی هیدرازین نیز در صافی‌های کاتیونی و آنیونی حذف می‌شود. در مورد فسفات و آمونیاک نیز همین وضعیت صادق است و مقدار این ترکیبات در آب مخلوط تا حد صفر کاهش می‌یابد و باقی‌مانده احتمالی نیز در صافی‌های کاتیونی و آنیونی حذف می‌شوند. ازسوی دیگر به کارگیری روش فواره‌ای و انجام فرایند تبخیر در خنک‌سازی آب، منجر به بازگردانی حدود ۶۵-۷۰ درصد از کل دمنده به چرخه آب می‌شود. هم‌چنین استفاده از برج‌های خنک‌کننده در مقایسه با استخر فواره‌دار برای خنک‌کاری، دارای کاستی‌هایی مانند هزینه بالای تهیه، تعمیرات و نگهداری، مصرف انرژی و درنهایت ناتوانی در حذف یون‌های موجود است. از طرفی باتوجه به این که دمنده‌ها شامل مواد شیمیایی و یون‌ها هستند، نوع مواد تشکیل دهنده برج خنک‌کننده، افزودن بازدارنده‌های خوردگی و مواد ضد رسوب باتوجه به رسوبات و خوردگی‌های موجود حائز اهمیت است، لذا باتوجه به سادگی طرح و کارایی بالای استخر، این راهکار در مقایسه با روش برج خنک‌کننده در اولویت قرار گرفته است.

به منظور ارزیابی اقتصادی اجرای راهکار استخر فواره‌دار از تجربیات کارشناسان نیروگاه دماوند استفاده شد و پیرو مکاتبات مختلف انجام گرفته با شرکت‌های متخصص در زمینه تصفیه و بازچرخانی آب، هزینه تخمینی انجام گرفت که در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۴) پیداست، اعداد اشاره شده برحسب واحد ساخت (متر، متر مربع و مترمکعب) است. برای محاسبه جزئیات و برآورد دقیق هزینه، نیاز به طراحی و برآورد واحد ساخت است که

جدول ۴. برآورد هزینه تخمینی برای انجام استخر فواره‌دار.

Table 4. Estimation of the expense to perform fountain pool.

Cost	Unit	Price (thousand tomans)
Excavation	m ³	250
Backfield	m ³	150
Reinforcement	m ²	750
Concreting	m ³	1.250
scaffolding	m ²	90
4 inch polyethylene pipe	m	550
Pipeline implementation	m	200
Construction of cooling pool	m ³	2.000
Building a fountain	m	1.200
Total price	-	6.440

این موارد از شرکت سازنده استعلام شده است. میزان بازچرخانی دمنده، تعداد دیگ بخار و خطوط انتقال آب، از مشخصه‌های مهم در برآورد هزینه است که شرکت سازنده باتوجه به $8 \text{ m}^3/\text{h}$ دمنده برای ۴ عدد دیگ بخار، محاسبات را انجام داده است. پیرو استعلام قیمتی گرفته شده از شرکت متخصص، مراحل اجرا شامل گودبرداری، آرماتوربندی و بتن‌ریزی حوضچه بتنی و اتافک زهکش تمیز، ساخت فواره، ساخت استخر خنک‌کننده، پمپ‌ها، اجرای لوله‌کشی، داربست، بک‌فیلد و هزینه‌های مازاد و اجرا (۳۰٪) به منظور اجرا در نیروگاه طرشت برای بازچرخانی دمنده دیگ بخار $(8 \text{ m}^3/\text{h})$ ، ۴ دیگ بخار) حدوداً برابر با ۱,۰۷۰,۰۰۰ هزار تومان تخمین زده شده است. تمامی قیمت‌ها مربوط به بهار سال ۱۴۰۱ است.

باتوجه به نوع کنترل شیمیایی در این نیروگاه و وجود آلاینده‌هایی همچون آمونیاک، آهن و هیدرازین در دمنده دیگ بخار و از طرف دیگر سادگی و عملکرد مؤثر روش استخر فواره‌ای به منظور بازچرخانی دمنده به عنوان یک راهکار ارجح پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین باتوجه به قدمت این نیروگاه و خوردگی‌های موجود در دیگ بخار، میزان آهن در دمنده دیگ بخار چشم‌گیر است که

بازچرخانی زهکش‌های تمیز (دمنده دیگ‌بخار، شست‌وشوی معکوس صافی‌های شنی، آب نمونه‌گیر، زهکش نهایی احیای رزین‌ها) منجر به اثرات محسوس در کاهش مصرف آب خام ورودی، افزایش ساعات کارکرد رزین‌ها، کاهش فشار بر روی صافی‌ها و کاهش مواد شیمیایی مورد نیاز برای احیای رزین‌ها می‌شود. در ادامه روش‌های اجرایی بازچرخانی زهکش‌های تمیز مطالعه شد که از آن جمله می‌توان به روش مبدل حرارتی، استخر فواره‌ای، چیلرهای جذبی، برج خنک‌کننده و غیره اشاره کرد. مطالعات فنی و بررسی‌های نیروگاهی نشان داد که در بین روش‌های مختلف بازچرخانی زهکش‌های تمیز، دو روش استخر فواره‌ای و مبدل حرارتی به دلایل سادگی، تأثیرگذاری بالا، تجربه اجرایی در نیروگاه‌های کشور و مقرون به صرفه بودن از سایر روش‌ها مناسب‌تر هستند. در ادامه، مطالعات فنی و اقتصادی برای دو روش استخر فواره‌ای و مبدل حرارتی برای اجرا در نیروگاه طرشت انجام گرفت. نتایج مطالعات اقتصادی نشان داد که برای بازچرخانی $8 \text{ m}^3/\text{h}$ دمنده دیگ‌بخار، برای تهیه تجهیزات، اجرا و پیاده‌سازی روش استخر فواره‌ای $1,070,000$ هزار تومان و برای روش مبدل حرارتی $1,425,630$ هزار تومان هزینه نیاز است که میزان هزینه برای روش استخر فواره‌ای حدود 25% کمتر از روش مبدل حرارتی است. از طرفی به دلیل قدمت نیروگاه طرشت و خوردگی در دیگ‌بخار، روش استخر فواره‌ای باعث اکسایش، رسوب و حذف آهن موجود در آب می‌شود. به علاوه در روش استخر فواره‌ای، هیدرازین در معرض هوا قرار می‌گیرد و به دو ترکیب بی‌خطر آب و نیتروژن تبدیل می‌شود. در نهایت باید بیان کرد که بررسی روش‌های گوناگون بازچرخانی زهکش‌های تمیز با ارزیابی فنی و اقتصادی نشان می‌دهد که روش استخر فواره‌ای نسبت به سایر روش‌ها به دلایل هزینه اقتصادی کمتر، سادگی روش، امکان تجزیه هیدرازین و حذف آهن مناسب‌ترین انتخاب است.

۷. سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از حمایت‌های معاونت پژوهشی پژوهشگاه نیرو و نیروگاه طرشت صمیمانه تشکر می‌کنند.

با استفاده از روش فواره‌ای امکان تبدیل Fe^{2+} به Fe^{3+} و ایجاد رسوب هیدروکسی وجود خواهد داشت که منجر به تجزیه هیدرازین در معرض اکسیژن هوا می‌شود (تجزیه به H_2O و N_2). تمامی این موارد برتری روش استخر فواره‌ای نسبت به روش مبدل حرارتی را نشان می‌دهد. همچنین غلظت باقی‌مانده هیدرازین و آهن در مخلوط با آب خام به کمترین مقدار خواهد رسید که به آسانی از راه صافی‌های موجود در تصفیه‌خانه قابل جداسازی است. البته میزان برگشت و بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار در روش فواره‌ای حدود 75% و در روش مبدل حرارتی در حدود 95% تخمین زده می‌شود، اما با توجه به سادگی و مقرون به صرفه بودن و با عنایت به مقادیر بالای آهن در دمنده‌ها، روش فواره‌ای ارجح است. در روش فواره‌ای آهن اکسید و رسوب می‌شود و هم‌چنین هیدرازین نیز از چرخه حذف می‌شود. این در حالی است که آهن زیاد در آب می‌تواند در دراز مدت، خوردگی و آسیب جدی در مبدل ایجاد کند و از این منظر نیز انتخاب روش فواره‌ای نسبت به روش مبدل حرارتی منطقی است. از این رو روش فواره‌ای با توجه به هزینه اقتصادی اجرایی اولیه پایین، سادگی اجرا، قابلیت حذف آلاینده‌های آهن و هیدرازین و عملکرد مؤثر از لحاظ فنی و اقتصادی به منظور بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار در نیروگاه طرشت پیشنهاد می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

در سالیان اخیر بحران و کمبود آب در کشور و تأمین آب مورد نیاز مصارف گوناگون از راه آب‌های شیرین زیرزمینی، منجر به کاهش جدی در سطح آبخوان‌ها شده است. بنابراین با توجه به سیاست‌های وزارت نیرو، تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط با اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف آب در سال‌های اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. از طرف دیگر با توجه به این موضوع که حجم چشم‌گیری از مصارف نیروگاهی به دلیل وجود برج خنک‌کننده تر است، لذا در کار حاضر نیروگاه طرشت به عنوان نمونه به منظور بررسی و ارزیابی راهکارهای اصلاح الگوی مصرف آب انتخاب شد. در این پژوهش روش‌های مختلف راهکارهای اصلاح مصرف آب نیروگاه دسته‌بندی شد. با بررسی شرایط نیروگاه و در نظر گرفتن میزان و کیفیت آب، روش بازچرخانی زهکش‌های تمیز به عنوان راهکاری مؤثر در کاهش مصرف آب نیروگاه طرشت انتخاب شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که

- [1] Larsen, S. T. (2004). Lack of freshwater throughout the world. *Part of Water is Life. University of Wisconsin-Eau Claire, USA*.
- [2] Pira, Ch., & Hasani, A. (2018). Inventing and investigating a new method in the extraction and collection of rainwater. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5(4): 1-14, In Persian.
- [3] Jenab, M., & Nazari, B. (2018). Estimating of Wheat Yield and Water Productivity Gap Using GYGA Protocol in Qazvin Province. *Research in Water of Agriculture*, 32(1): 41-54, In Persian.
- [4] Mariolakos, I. (2007). Water resources management in the framework of sustainable development. *Desalination*, 213(1-3): 147-151.
- [5] Khanjani, M., & Rezaie, H. (2020). A Review of the Use of Unconventional Waters in the Aquaculture Industry. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 5(1): 4-13, In Persian.
- [6] Sheikh, V. (2019). Role of governments in expansion of household rainwater harvesting systems: introduction to experiences of some countries. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 7(3): 46-49, In Persian.
- [7] Mohajeri, Z., & Pakravan, M. (2021). Unconventional Hydrocarbon Resources: Environmental Impact and Future Challenges. *Sustainability, Development and Environment*, 2(2): 1-19, In Persian.
- [8] PoorMohammadi, S., Dastoorani, H., & Rahimian, M. (2008). Introducing the desalination method to use unconventional waters in times of drought. *Regional Conference on Drought, Consequences and Solutions to Deal with It*, In Persian.
- [9] Salehi, A. (2020). Strategic approach to the use of unconventional waters in agricultural lands South of Tehran. *The System of Agricultural Scientific Management Publications*, 5(5): 23-29, In Persian.
- [10] Rezaie, N., & Sarafzadeh, A. (2020). A Review of Greywater Characteristics and Treatment Methods. *Journal of Environmental and Technology Science*, 21(12): 81-89, In Persian.
- [11] Nabati, J. (2017). Introduction on management solution in the Salty condition. *The First Conference on Salty Condition*, In Persian.
- [12] Sarafzadeh, S., & Asgharnejad, H. (2019). Studying the Process of Sugar Extraction from Sugarcane and Proposing Solutions to Reduce Water Consumption through Water Reuse. *Journal of Water and Waste Water Science and Technology*, 4(3): 50-60, In Persian.
- [13] Sarafzadeh, S. (2018). Approaches to decrease water consumption in process industries with an emphasis on the oil refining industry. *FrayandNo*, 12(60): 85-66, In Persian.
- [14] Sarafzadeh, S., & Sarhadi, M. (2021). Studying Water Network Optimization Plans in a Process Industry to Reduce Water Consumption: Comparing Direct Reuse and Regeneration-Reuse Approaches. *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran*, 40(2): 247-257, In Persian.
- [15] Francisco, F. S., Bavar, M., Pessoa, F. L., Queiroz, E. M., Asgharnejad, H., & Sarrafzadeh, M.-H. (2022). Developing Water Source Diagram method for effective utilization of regeneration unit in water networks: Multiple-contaminant problems. *Journal of Water Process Engineering*, 47: 102758 .
- [16] Torabian, A., Hasani, A., & Babaie, H. (2005). Treatment of waste water for the chemical washing of thermal power plant of Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 6(2): 45-55, In Persian.
- [17] Heydari, K., & Kasraee Nezhad, M. (2022). Investigation on Aspects of the Clean Development Mechanism (CDM) and its Position in Iran's Electricity Industry. *Human & Environment*, 20(1): 19-36 .
- [18] Baraie, I., Farzadkia, M., & Jafarzadeh, N. (1389). The investigation of loading organic materials on the performance of water treatment plant of Abadan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 2(12): 79-88, In Persian.
- [19] Unesco, W. W. A. P. (2012). *Managing water under uncertainty and risk: Unesco*.
- [20] Yousefinejad, M., Larijani, M., Shobeiri, M., & Rezaei, M. (2022). Designing a Model of Virtual Water Education in the Agricultural Sector with the Approach of Resistance Economy and Sustainable Development. *Sustainability, Development and Environment*, 3(2): 87-112, In Persian.
- [21] Shakeri, H., & Nazif, S. (2015). Development of a Risk-based Algorithm for Selection of the Best Wastewater Reuse Alternative. *Journal of Water Recycling*, 2(2): 103-118, In Persian.
- [22] Schultz, T. (2008). Water Reuse and Conservation in the CPI. *Chemical Engineering*, 115(9): 44-56.
- [23] Guglielmi, G., Saroj, D. P., Chiarani, D., & Andreottola, G. (2007). Sub-critical fouling in a membrane bioreactor for municipal wastewater treatment: experimental investigation and mathematical modelling. *Water research*, 41(17): 3903-3914.
- [24] Bavar, M., Sarrafzadeh, M. -H., Asgharnejad, H., & Norouzi-Firouz, H. (2018). Water management methods in food industry: Corn refinery as a case study. *Journal of Food Engineering*, 238: 78-84.
- [25] Frenken, K. (2012). Irrigation in Southern and Eastern Asia in figures: AQUASTAT Survey-2011. *Water Reports*, 37(2): 45-53.

- [26] Panjeshahi, M., Ataei, A., Gharai, M., & Parand, R. (2009). Optimum design of cooling water systems for energy and water conservation. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(2): 200-209.
- [27] Kahani, Z., & Farokhi, M. (2020). Thermal Evaluation of Using Thermosyphon Heat Exchangers Instead of Ljungstrom in Boiler of Mashhad Steam Power Plant. *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran*, 39(2): 273-289, In Persian.
- [28] Mohammadpoor, A., & Shafiei, M. (2020). Effect of Leakage Modification and Cooling Flow Rate Increase of Water-Cooled Condenser on NVD System Performance Equipped with Vacuum Tube Collectors. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(8): 389-404, In Persian.
- [29] Seifoori, S., & Ameri, M. (2012). Analysis of Integrated Refrigeration Systems with Microturbine and Absorption Chiller. *Scientific Journal of Energy Engineering and Management*, 2(3): 46-53, In Persian.