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. Esmaeilpour*, 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 m^3/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 m^3/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 m^3/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:

Esmaeilpour, 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].

مقـــالـــــه پـــــژوهشی

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

DOI: 10.22034/ijche.2023.369608.1252

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

محسن اسماعیل‌پور*، مجید قهرمان افشار، مرتضی فقیهی

استادیار شیمی تجزیه، پژوهشگاه نیرو

پیام نگار: mesmaeilpour@nri.ac.ir

چکیده

میانگین مصرف آب خام در نیروگاه طرشت به‌میزان ۲۸۰۰ m^3/day چشم‌گیر است؛ از این رو ارائهٔ 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[1] دمنده[2] دیگ‌بخار، زهکش شست‌وشوی صافی‌های رزینی[3]، تصفیه و بازچرخانی دمنده برج‌های خنک‌کننده و غیره مطالعه شد. باتوجه‌به 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 ازنظر فنی- اقتصادی بررسی شد. مطالعات اقتصادی نشان داد که برای تهیهٔ تجهیزات و اجرای راهکار بازچرخانی ۸ m^3/h دمنده دیگ‌بخار، به‌میزان ۱/۰۷۰/۰۰۰ هزار تومان برای روش استخر فواره‌ای و ۱/۴۲۵/۶۳۰ هزار تومان برای روش مبدل حرارتی هزینه لازم است که روش استخر فواره‌ای حدود ۲۵٪ کمتر هزینه دارد. هم‌چنین بازگرداندن دمنده دیگ‌بخار (۲۰۰ m^3/day) به آب ورودی با روش فواره‌ای (راندمان عملکردی ۷۵٪) منجربه کاهش ۵/۳٪ در مصرف آب و استفاده از روش مبدل حرارتی (راندمان عملکردی ۹۵٪) منجربه کاهش حدود ۶/۸٪ مصرف آب ورودی می‌شود. در کنار نتایج اقتصادی، مطالعات فنی نشان داد که روش استخر فواره‌ای به‌دلیل سادگی عمل، امکان حذف آهن و هیدرازین برتری‌های بیشتری از سایر روش‌های بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار دارد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶
شماره صفحات: ۶۶ تا ۸۴

کلیدواژه‌ها:
نیروگاه طرشت،
دمنده دیگ‌بخار،
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:
اسماعیل‌پور، 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

مسألهٔ 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]. ازطرف دیگر، منابع آبی تجدیدپذیر در دهه‌های اخیر با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو شده‌است که ازجمله 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، توسعهٔ صنعتی و کشاورزی و تغییرات اقلیمی.

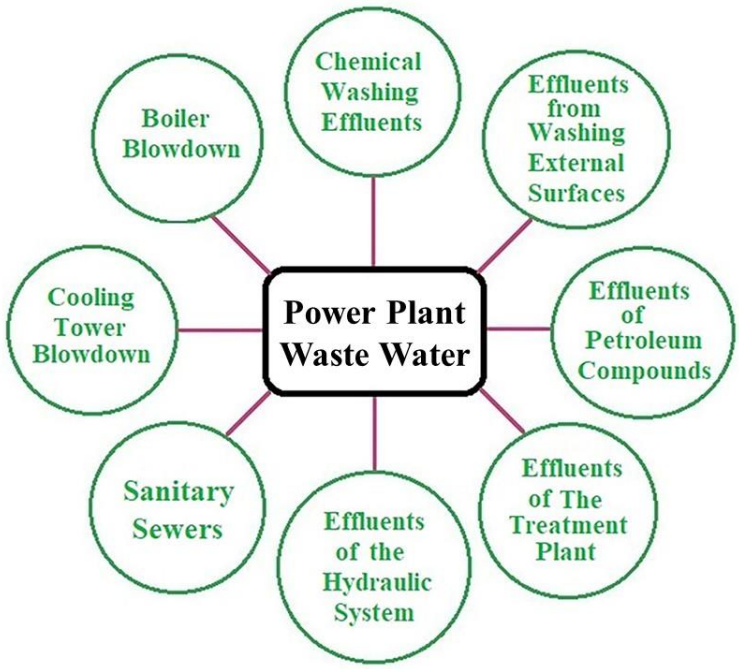
بنابراین ارائهٔ راهکارهای مؤثر به‌منظور تحقق اهداف برای ایجاد توسعهٔ پایدار، حفظ میراث آیندگان از منابع آبی و رفع مشکلات کم آبی از اهداف کلان دولت‌ها به‌حساب می‌آید[۳،۴].

در سالیان اخیر به‌کارگیری منابع آبی غیرمتعارف همچون پساب تصفیه‌شده به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی جلب توجه کرده است[۷-۵]. باتوجه‌به کاهش کیفیت آب، پایین‌آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش هزینهٔ پمپاژ آب زیرزمینی، به‌کارگیری منابع آبی غیرمتعارف ضرورتی مهم در زندگی بشر است[۸،۹]. در این میان استفادهٔ مجدد از منابع آبی مختلف ازجمله 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 شده است[۱۲-۱۰]. 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[۱۵-۱۳].

امروزه تصفیهٔ پساب‌ها در صنایع و نیروگاه‌ها، باتوجه‌به 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 باتوجه‌به اختلاف چگالی آب و روغن عمل جداسازی و تصفیه انجام می‌پذیرد. واحد تصفیهٔ پساب شامل فرایندهای اولیهٔ انعقاد و لخته‌سازی، خنثی‌سازی pH، ته‌نشینی در مخازن، ترسیب فلزهای سنگین، تغلیظ و آب‌گیری لجن ته‌نشین‌شده با روش‌های گوناگون همچون سانتریفیوژ، فیلترهای خلأ یا فیلترهای فشاری است. درنهایت کنترل pH در پساب تصفیه‌شدهٔ نهایی انجام می‌گیرد. روش‌های هوازی همچون لجن فعال نیز معمولاً به‌منظور تصفیهٔ پساب انسانی نیروگاه‌ها استفاده می‌شود که باتوجه‌به نوع روش تصفیه و کیفیت آب، قابلیت استفادهٔ مجدد در چرخه، امکان‌پذیر است[۱۷،۱۸].

سه رویکرد اساسی در کشورهای در حال توسعه در حوزهٔ 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 تصفیهٔ آب و رهاسازی پساب مواجه هستند، از روش بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از پساب تصفیه‌شده به‌عنوان یکی از گزینه‌های حائز اهمیت به‌منظور حفاظت منابع با ارزش آب استفاده می‌کنند[۲۳-۱۹].

باتوجه‌به 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 ازقبیل انرژی باد برای تولید الکتریسته و خنک‌کاری با هوا می‌تواند تأثیرات محسوسی برای کاهش مصرف آب به‌همراه داشته باشد[۲۴،۲۵]. ازجمله موارد اتلاف آب در نیروگاه‌ها می‌تواند شامل دمنده داغ واحدها، دمنده سرد برج خنک‌کننده، پساب‌های شست‌وشو، پساب انسانی و غیره باشد[۴،۲۲،۲۶]. طرحواره‌ای از پساب‌های نیروگاهی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. طرحواره‌ای از انواع پساب‌های نیروگاهی.

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

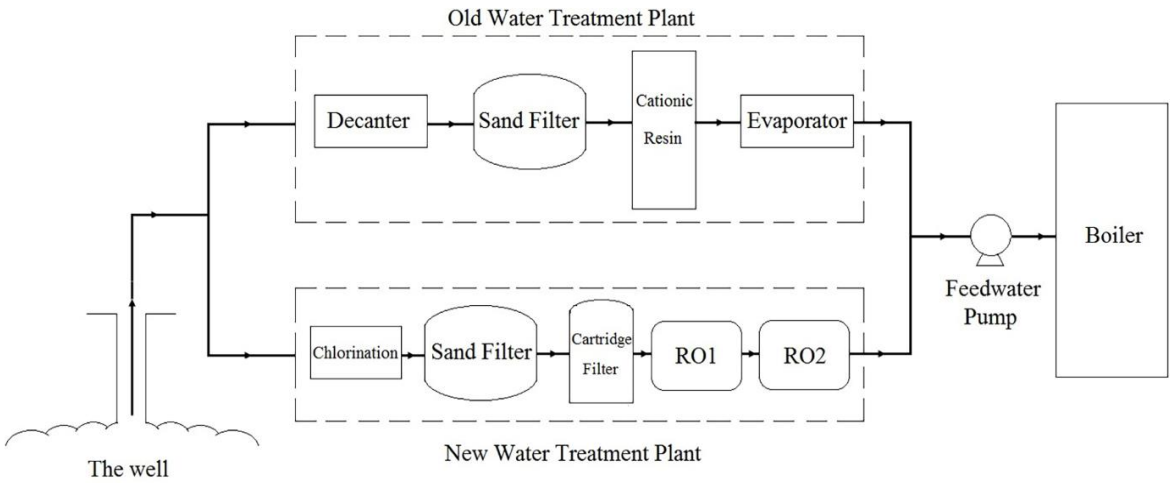
باتوجه‌به اهمیت بالای آب در کشور، در تحقیق پیش رو بحث اصلاح الگوی مصرف مد نظر قرار گرفت. از آنجایی‌که در نیروگاه‌های کشور به‌ویژه نیروگاه‌های بخاری، آب زیادی مصرف می‌شود، در کار حاضر ارزیابی فنی- اقتصادی در راستای اصلاح الگوی مصرف آب در نیروگاه طرشت مد نظر قرار گرفت. بدین منظور در ابتدا بازدیدی از نیروگاه 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 بهره برداران ترتیب داده شد، تا جمع‌بندی کاملی از موارد فنی و اقدامات اصلاحی انجام‌گرفتهٔ چرخه آب در نیروگاه به‌دست آید. پس از بررسی اطلاعات و انجام مطالعات، اولویت‌بندی راهکارهای پیشنهادی با در نظرگرفتن ارزیابی فنی- اقتصادی در راستای کاهش و اصلاح الگوی مصرف آب انجام گرفت.

۲. آشنایی با چرخهٔ 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 ۲۵ نفر و متوسط برق تولیدی سالیانه ۲۸۰۰۰ مگاوات است. برج خنک‌کننده در این نیروگاه از نوع تر اجباری[1] با اسکلت فلزی و ساختمان پلی‌استیرن و چوبی است. دیگ‌بخار در این نیروگاه از نوع درام‌دار با کورهٔ تحت مکش بوده و دبی بخار ۶۵ تن در ساعت، فشار بخار سوپرهیتر ۴۰ اتمسفر، دمای بخار سوپر هیتر ۴۵۰ درجهٔ 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) طرحوارهٔ کلی از مسیر آب ورودی به تصفیه‌خانهٔ نیروگاه و تجهیزات موجود در آن آمده است. لازم به ذکر است که جزئیات سایر تجهیزات و مسیر و چرخهٔ کلی آب در سایر بخش‌های نیروگاه در این تصویر اشاره نشده است.

منابع تأمین آب ۳ حلقه چاه در داخل نیروگاه و آب آبفاست. باتوجه‌به این‌که کنتوری در خروجی چاه‌ها وجود ندارد، تعیین دقیق میزان مصرف روزانهٔ آب ممکن نیست. براساس گزارش کارشناسان، میزان مصرف براساس محاسبات انجام‌گرفته از خروجی چاه‌ها و کنتور آب آبفا حدوداً ۲۸۰۰ m^3/day است. عمق چاه ۱۸۰ متر، قطر لولهٔ جداره ۱۲ اینچ، دور پمپ ۱۵۰۰rpm/min و از نوع گریز از مرکز

1. Forced Draft Wet Cooling Tower



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.

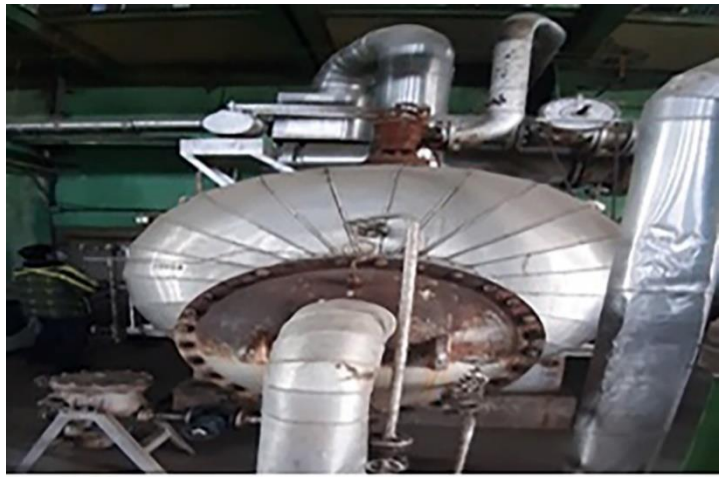
(سانتریفیوژ) است. شرایط شیمیایی آب ورودی شامل هدایت الکتریکی ۷۰۰-۹۵۰ µS/cm، pH برابر ۸/۵ و سختی کل ۴۰۰ ppm است. آب ورودی از راه ۲ تصفیه‌خانه شامل تصفیه‌خانهٔ قدیم و جدید، تصفیه می‌شود و به‌عنوان آب تغذیه‌ای دیگ‌بخار ۴ واحد بخار استفاده می‌شود. تصفیه‌خانهٔ قدیمی از راه مخازن دکانتور[1]، صافی‌های شنی[2] و رزین کاتیونی، آب نرم مورد نیاز چرخه را تأمین می‌کند و از این تصفیه‌خانه صرفاً برای تصفیهٔ آب ورودی آبفا استفاده می‌شود. مخازن دکانتور و صافی‌های شنی جداسازی ذرات تا ۱۰۰ میکرون را امکان‌پذیر می‌سازند. هدایت الکتریکی آب خروجی از تصفیه‌خانهٔ قدیم زیر ۵ µS/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 تصفیه‌خانهٔ 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 به‌داخل رزین منتقل و آب دارای نمک‌های سدیم و بدون سختی شده، بدین ترتیب آب نرم تولید می‌شود. عملکرد این یون‌ها به‌گونه‌ای است که آزادشدن یونی، همراه با به دام‌انداختن یون دیگری همراه است. درنتیجه 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 به‌منظور شست‌وشوی معکوس[3] هر صافی شنی برابر با ۰/۶ 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 باتوجه‌به 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 ۶ m^3 (هر صافی ۳ m^3) است.

آب نرم از رزین‌های کاتیونی به‌سمت تبخیرکننده (اواپراتور) آب مقطرساز 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 به‌منظور آب جبرانی دیگ‌بخار استفاده می‌شود. شکل (۴) نمایی از تبخیرکنندهٔ آب مقطرساز را نشان می‌دهد.

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 مقطرساز.

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

از زمانی‌که آب چاه به‌منظور کاهش هزینه‌های مالی به منبع آب تأمینی اضافه شد، دیگر آب خروجی از تصفیه‌خانهٔ قدیم از کیفیت لازم برخوردار نبود که منجربه گرفتگی لوله‌های دیگ‌بخار و خوردگی تجهیزات شد و به‌همین دلیل سامانهٔ تصفیه‌خانهٔ جدید راه‌اندازی شد. سامانهٔ تصفیه‌خانهٔ جدید شامل کلرزنی اولیه، صافی-های شنی، صافی‌های کارتریجی و صافی‌های غشایی اسمز معکوس[1] بوده و آب خروجی از این تصفیه‌خانه مطابق با طراحی سازنده است (هدایت الکتریکی ۴ µS/cm). صافی‌های کارتریجی قابلیت جداسازی ذرات تا ۱۰ میکرون را دارند که سپس آب وارد دو واحد اسمز معکوس می‌شود که در واحد اول هدایت الکتریکی به ۱۰۰ µS/cm و در واحد دوم به زیر ۴ µS/cm می‌رسد. شایان ذکر است که آب ورودی تأمینی دارای هدایت الکتریکی[2] حدود ۳۵۰-۵۰۰ µS/cm است. میزان برگشتی صافی‌های[3] غشایی اسمز معکوس برابر با ۵۷۶ m^3/day است که تصفیه و بازچرخانی این نوع پساب نیز در

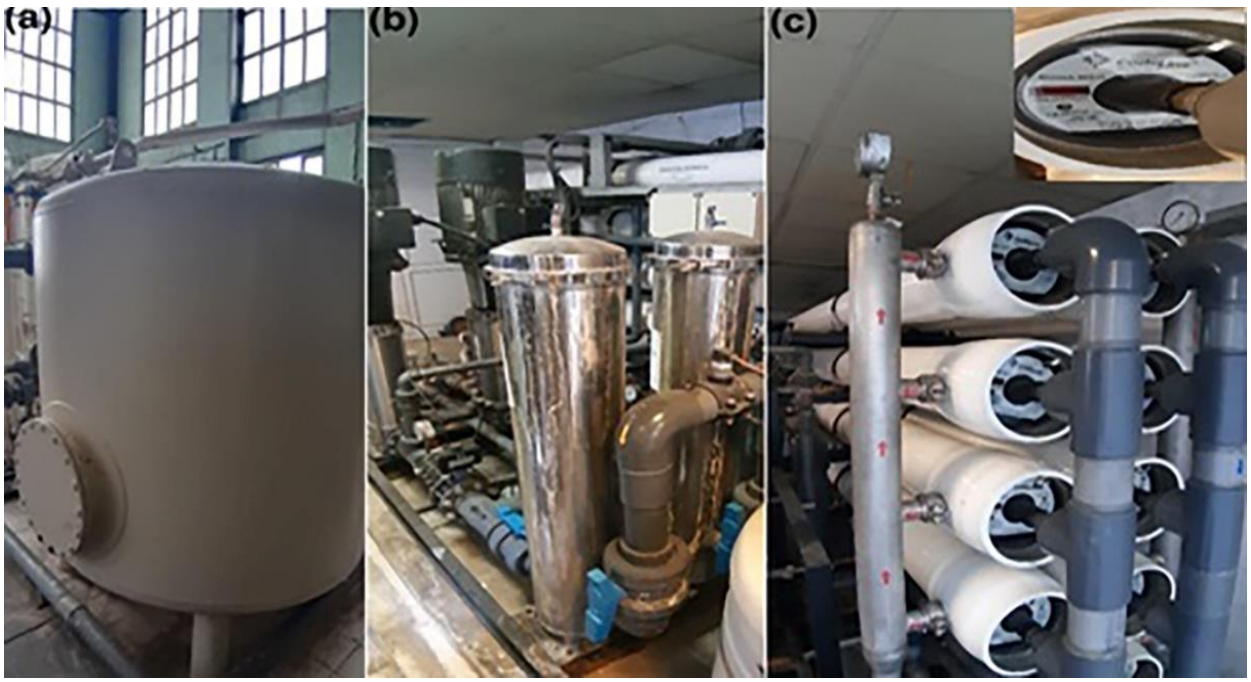
1. Reversed Osmosis

2. Electrical Conductivity
3. Filter Rejection

نیروگاه طرشت انجام نمی‌گیرد. فیلترهای غشایی از نوع مارپیچی[1] است که غشاهای کامپوزیتی فیلم نازک و ساخت شرکت فیلم‌تک[2] هستند. فشار عملکردی سامانهٔ اسمز معکوس در حدود ۱۴bar 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. عمدهٔ آب تولیدی در تصفیه‌خانه به‌وسیلهٔ سامانهٔ 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 چرخهٔ آب نیروگاه اندیشیده و راهکارهایی ارائه شود.

شکل (۵) تصاویر صافی‌های شنی، کارتریجی و غشایی اسمز معکوس (ظرفیت ۳۰ مترمکعب) را در تصفیه‌خانهٔ جدید نشان می‌دهد.

بیشترین پساب و اتلاف آب در این نیروگاه مربوط به برج خنک‌کننده است. باتوجه‌به این‌که برج خنک‌کننده از نوع تر است و باتوجه‌به نوع طراحی آن (شکل (۶))، مواردی مانند میزان تبخیر، پاشش و رانش[3] در برج خنک‌کننده بسیار زیاد است. از آنجایی‌که در ورودی آب جبرانی و دمنده خروجی برج خنک‌کننده کنتوری وجود ندارد، اطلاعات دقیقی در این زمینه در دسترس نیست؛ اما باتوجه‌به محاسبات انجام‌گرفته از پمپ‌ها و خطوط[4] ورودی و خروجی برج خنک‌کننده، میزان دمنده برج خنک‌کننده حدوداً ۶۰۰ m^3/day است که تصفیه و بازچرخانی آن به چرخهٔ آب انجام نمی‌گیرد. میزان آب جبرانی مورد نیاز برج خنک‌کننده حدوداً برابر با ۲۰۰۰ m^3/day (۸۳ m^3/h) و میزان هدر رفت آب از راه تبخیر، پاشش، رانش و غیره حدوداً برابر با ۱۴۰۰ m^3/day است.



شکل ۵. تصاویر (a) صافی شنی، (b) کارتریجی و (c) غشایی اسمز معکوس در تصفیه‌خانهٔ 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.

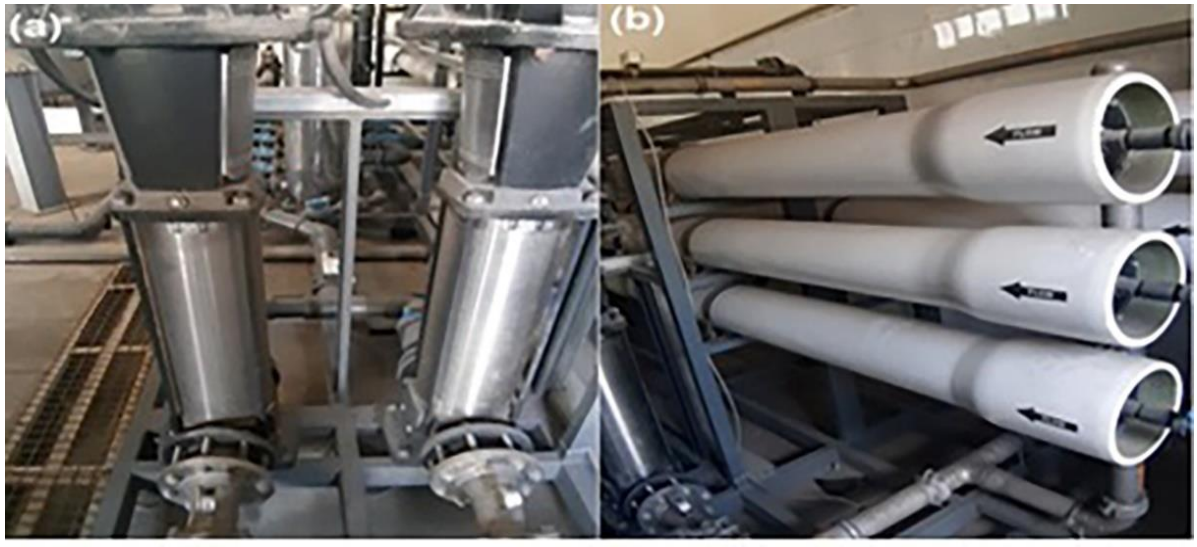
1. Spiral Wound
2. FilmTec
3. Drift
4. Lines

شکل ۶. تصاویر برج خنک‌کنندهٔ تر نیروگاه طرشت.

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

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 نحوهٔ عملکرد و داده‌های آن گزارش نشده است.

در سالیان اخیر باتوجه‌به 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 استفاده شده است. در ابتدا آب خام ورودی در مخازن، کلرزنی می‌شود، سپس از صافی‌های شنی و کارتریجی و نهایتاً از صافی‌های غشایی اسمز معکوس عبور می‌کند که در این مرحله هدایت الکتریکی از ۱۰۰۰ µS/cm به ۷۰ µS/cm می‌رسد. شکل (۷) تصاویر صافی‌های کارتریجی و غشایی اسمز معکوس (ظرفیت ۵۰ مترمکعب) را به‌منظور افزایش کیفیت آب ورودی به برج خنک‌کننده نشان می‌دهد.



شکل ۷. تصاویر صافی‌های کارتریجی و غشایی اسمز معکوس.

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

میزان دمندگی ۴ دیگ‌بخار واحدهای بخار حدوداً ۲۰۰ m^3/day (حدود ۲ m^3/h دمندگی برای هر دیگ‌بخار) و بقیهٔ پساب‌ها شامل برگشتی و فلشینگ صافی‌های غشایی اسمز معکوس، شست‌وشوی معکوس صافی‌ها و غیره حدوداً ۲۰۰ m^3/day و دمنده برج خنک‌کننده حدوداً برابر با ۶۰۰ m^3/day است. بنابراین از مجموع آب تأمینی نیروگاه (حدود ۲۸۰۰ m^3/day) تقریباً ۱۰۰۰ m^3/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 چرخهٔ آب انجام نمی‌گیرد.

حجم پساب تولیدی از اسیدشویی و قلیاشویی واحدها که هر چند سال یک‌بار انجام می‌شود حدوداً برابر با ۳۰۰ $m^3/10year$ است. هم‌چنین حجم آب نمونه‌گیر[1] ناچیز و تقریباً برابر با ۰/۲ m^3/day است. باتوجه‌به نظرهای کارشناسان نیروگاه و کیفیت تقریباً مناسب پساب‌های تولیدی (۱۸۰۰-۲۰۰۰ µS/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.

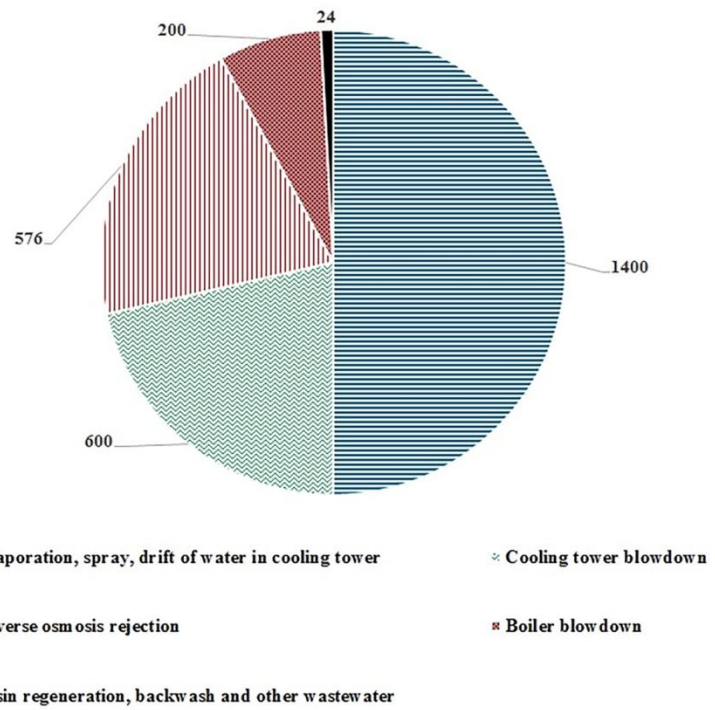
از این رو در این نیروگاه حوضچه‌های جمع‌آوری پساب (حوضچه‌های جذبی، تبخیری و غیره) وجود ندارد.

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

طرح بازیافت و تصفیهٔ پساب خروجی از دیگ‌بخار، برج خنک‌کننده، برگشتی تصفیه‌خانه و غیره نیز به‌منظور به‌کارگیری از سامانه‌های اولترافیلتراسیون[2] و صافی‌های غشایی اسمز معکوس نیز در سالیان اخیر بررسی شده که پس از براوردهای مالی و انجام مناقصه، نهایتاً اجرایی نشد.

در سال‌های اولیهٔ 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 بازیافت‌نشده وارد چرخهٔ آب نیروگاه نمی‌شود.

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



شکل ۸. مقدار تلفات آب (m^3/day) در بخش‌های اصلی نیروگاه طرشت.

Figure 8. The value of wastewater (m^3/day) in the main part of Tarasht power plant.

1. Sampling
2. Ultrafiltration

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 به‌دلیل طراحی برج خنک‌کننده است که از نوع تر است و نسبت‌به 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 m3/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 washing of units	300 m^3 in 10 years	-

Question	Response	Description
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.

۳. نتایج و دستاوردهای تجربی، اقدامات اصلاحی انجام‌گرفته و میزان اثربخشی آن‌ها در نیروگاه طرشت برای اصلاح الگوی مصرف آب

برای اصلاح الگوی مصرف آب در نیروگاه طرشت، اقدامات اصلاحی زیر انجام گرفته است:

الف) استقرار سامانهٔ اسمز معکوس برای تأمین چرخهٔ آب: در مجموعهٔ تصفیه‌خانهٔ ورودی از سامانهٔ اسمز معکوس برای افزایش کیفیت آب تغذیهٔ دیگ‌بخار و درنتیجه کاهش دمنده دیگ‌بخار استفاده شده است. به‌علاوه در ورودی آب جبرانی به برج خنک‌کننده، سامانهٔ اسمز معکوس نصب‌شده تا موجب بهبود کیفیت آب ورودی و کاهش دمنده شود.

ب) استقرار واحد گازی G12: باتوجه‌به مصرف نشدن آب در واحدهای گازسوز، استفاده از این نوع واحدها در کاهش مصرف آب مؤثر است.

ج) جای‌گزینی واحد بخار با موتورهای گازسوز: باتوجه‌به مصرف نشدن آب در واحد گازسوز، این جای‌گزینی در کاهش مصرف آب بسیار مؤثر است. اگرچه موتورهای گازسوز می‌توانند برخی آلودگی‌های گازی را ایجاد کنند؛ اما به‌دلیل 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 استفاده در آبیاری شده که از هدررفت آب جلوگیری می‌کند.

ه) استفاده از لوازم بهینه‌کنندهٔ مصرف در سرویس‌های بهداشتی: برای این امر استفاده از فناوری‌های مختلف برای کاهش مصرف آب در سرویس‌های بهداشتی مورد نظر بوده است.

و) به‌کارگیری فلاش‌مخزن‌های کم‌مصرف دومرحله‌ای: استفاده از فناوری‌های جدید برای این امر مد نظر قرار گرفته است.

حجم پساب کلی در نیروگاه طرشت حدوداً برابر با ۳۱۰۰۰ m^3/month است. به‌کارگیری و استقرار سامانهٔ اسمز معکوس در سال‌های اخیر به‌منظور افزایش کیفیت مورد نیاز چرخهٔ آب، تأثیرات بسزایی در کاهش دمنده‌های دیگ‌بخار و برج خنک‌کننده داشته است. هم‌چنین در سال‌های اخیر به‌کارگیری 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. ازطرف دیگر مطابق با صحبت‌های کارشناس شیمی این نیروگاه، طرح جای‌گزینی واحدهای ۱ و۲ بخار با ۶ واحد گازی در سال ۱۴۰۰ اجرایی خواهد شد که اجرای این طرح تأثیر چشم‌گیری در کاهش میزان آب تأمینی نیروگاه و کاهش مصرف و هدررفت آب خواهد داشت. مطابق با نظر کارشناسان نیروگاه باتوجه‌به کیفیت پساب خروجی و زهکش تمیز[1] نیروگاه، از این آب برای آبیاری فضای سبز استفاده می‌شود. از این رو، در حال حاضر

1. Clean Drain

تصفیه و بازچرخانی پساب‌های تولیدی (همچون دمنده دیگ‌بخار (۲۰۰m^3/day)، دمنده برج خنک‌کننده (۶۰۰m^3/day)، برگشتی صافی غشایی اسمز معکوس (۵۷۶ m^3/day)، نمونه‌گیر (۰/۲ m^3/day)، احیای صافی‌های سدیمی (۶ m^3 هر بار احیای ۲ صافی) و شست‌وشوی معکوس صافی‌های شنی (۰/۶ m^3 هر صافی) و هم‌چنین پساب‌های ناشی از شست‌وشوی واحدها و به‌خصوص زهکش تمیز به چرخهٔ آب نیروگاه انجام نمی‌گیرد و لذا اقدامات اصلاحی مؤثری برای کاهش مصرف آب و جلوگیری از اتلاف آن انجام نمی‌پذیرد.

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 طریقهٔ پیاده‌سازی راهکارهای پیشنهادی با درنظر گرفتن شرایط فنی و اقتصادی ارائه شده است.

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	
Use of quality consumable parts and spare parts	

Suggested solutions to modify the pattern of water consumption	Description
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^2O 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

ازجمله راهکارهای با اولویت بالا به‌منظور جلوگیری از اتلاف آب در نیروگاه طرشت بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار است، لذا در ادامه ابتدا به بررسی روش‌های مختلف اجرای این راهکار خواهیم پرداخت و درآخر روش بهتر پیشنهاد خواهد شد.

۵-۱ روش‌ها و راهکارهای بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار

باتوجه‌به کیفیت بالا و حجم قابل توجه دمنده دیگ‌بخار (هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰ µS/Cm) بازچرخانی دمنده منجربه کاهش جدی در میزان مصرف آب خام ورودی، افزایش کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه، کاهش فشار و افزایش کارکرد در صافی‌های تصفیه‌خانه و درنتیجه منجربه کاهش جدی در مصرف مواد

شیمیایی خواهد شد. یکی از مشکلات موجود در بازچرخانی دمنده‌ها دمای بالای آن‌هاست که منجربه تخریب صافی‌های موجود در تصفیه‌خانه می‌شود، لذا کاهش دمای دمنده دیگ‌بخار قبل از ورود به تصفیه‌خانهٔ آب خام بسیار حائز اهمیت است. ازجمله روش‌های مؤثر برای بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار در زیر آورده شده است.

۵-۱-۱ استخر فواره‌دار

به‌کارگیری روش فواره‌ای و انجام فرایند تبخیر در خنک‌سازی آب، منجربه بازگردانی حدود ۶۵ درصد از کل دمنده به چرخهٔ آب می‌شود. هم‌چنین نتایج بررسی‌ها گویای آن است که با اضافه‌شدن آب دمنده دیگ‌بخار به آب خام به‌طور کلی حدود ۲۵٪ از مصرف آب خام کاسته خواهد شد. هم‌چنین یکی دیگر از راهکارها برای کاهش درجهٔ حرارت دمنده دیگ‌بخار، اسپری با آب خام و ذخیره‌سازی در مخازن بتنی است. درصورتی‌که کیفیت آب دمنده دیگ‌بخار در محدودهٔ استانداردهای لازم نباشد، بعد از عبور از یک صافی کارتریجی ازنو به مخزن‌های آب خام ارسال می‌شود[۲۷].

۵-۱-۲ مبدل حرارتی

به‌کارگیری مبدل حرارتی در خروجی دمنده مخزن منجربه کاهش دمای دمنده و افزایش حرارت آب تغذیه‌ای دیگ‌بخار می‌شود.

۵-۱-۳ برج‌های خنک کننده

یکی از راهکارهای خنک‌کاری پساب دمنده دیگ‌بخار به کارگیری برج‌های خنک‌کننده است. در این روش نوع مواد برج خنک‌کننده، افزودن بازدارنده‌های خوردگی و مواد ضدرسوب باتوجه‌به رسوبات و خوردگی‌های موجود حائز اهمیت است. استفاده از این روش نسبت‌به روش اول شامل کاستی‌هایی همچون مصرف انرژی و ناتوانی در حذف یون‌های موجود و هزینهٔ بالای تعمیرات و نگهداری است. ضمن این‌که استفاده از خود برج خنک‌کننده می‌تواند موجب هدررفت بخشی از آب شود.

۵-۱-۴ سامانهٔ خنک‌کاری و بازیابی همزمان آب و بخارهای دمنده دیگ‌بخار نیروگاهی

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 اریتور[1] از مبدل حرارتی ۲ خارج و وارد دیگ‌بخار می‌شود، اما زهکش‌های دیگ‌بخار هم به‌طور پیوسته وارد دمنده شده، در دمنده قسمتی از آب‌ها به‌دلیل فشار و دمای بالا تبدیل به بخار می‌شود که این بخارها با دمای ۹۸ درجهٔ سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر از بالای دمنده وارد مبدل حرارتی۲ می‌شود و پس از مایع‌شدن وارد مبدل حرارتی ۱ می‌شود. آب خروجی از دمنده با دمای ۹۸ درجهٔ 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 به‌سمت تصفیه‌خانه ارسال می‌شود. یکی از دلایل انتخاب این نوع از مبدل‌های حرارتی، تعمیرات راحت‌تر آن نسبت‌به 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 دیگ‌بخار به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز چیلرهای جذبی و کاهش دمای دمنده منجربه بازیابی حرارت اتلاف‌شدهٔ آب دمنده، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف آب در نیروگاه می‌شود. خنک‌ساختن آب دمنده قبل از ورود به تصفیه‌خانه منجربه افزایش کارایی و طول عمر رزین‌های تبادل یونی، افزایش زمان کارکرد تصفیه‌خانه، کاهش مصرف مواد شیمیایی برای احیا، کاهش هزینهٔ 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 باتوجه‌به سادگی، تأثیرگذاری و تجربهٔ اجرایی در نیروگاه‌های دماوند، نیروگاه سیکل ترکیبی قم و سیکل ترکیبی کازرون به‌لحاظ فنی- اقتصادی و عملکردی مورد توجه هستند.

۵-۲ بررسی فنی- اقتصادی بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار با به‌کارگیری مبدل حرارتی

یکی از راهکارهای مؤثر در این زمینه استفاده از مبدل حرارتی است که علاوه‌بر کاهش دمای دمنده منجربه افزایش دمای آب تغذیهٔ دیگ‌بخار و صرفه‌جویی در انرژی می‌شود. ازطرف دیگر به‌کارگیری این روش به‌دلیل نداشتن اتلاف آب (تبخیر، پاشش و غیره) منجربه

1. Deaerator

بازچرخانی با راندمان بالا می‌شود، بنابراین به‌منظور پیاده‌سازی این روش در ابتدا یک مبدل حرارتی در خروجی دمنده مخزن قرار می‌گیرد که منجربه 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 به‌سمت تصفیه‌خانه ارسال می‌شود. درصورتی‌که هم‌چنان دما بالا باشد، به‌منظور کاهش دما در تصفیه‌خانه از یک مبدل حرارتی ثانویه استفاده می‌شود که علاوه‌بر کاهش دمای زهکش تمیز منجربه افزایش حرارت آب خام ورودی به حدود ۳۵ درجهٔ سلسیوس (بهترین عملکرد صافی‌ها) و درنتیجه افزایش راندمان و عملکرد تصفیه‌خانه می‌شود. بنابراین باتوجه‌به تجارب نیروگاه سیکل ترکیبی قم درزمینهٔ بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار و مشاورهٔ انجام‌شده با شرکت‌های تولیدکنندهٔ مبدل‌های حرارتی (تهران مبدل، مهتاب گستر، سماسازان) ارزیابی اقتصادی و براورد هزینهٔ 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 (۸ m^3/h، هر دیگ‌بخار ۲ m^3/h) در نیروگاه طرشت در ابتدا ارزیابی اقتصادی روش به‌کارگیری از مبدل حرارتی، انجام و لیست وسایل و تجهیزات مورد نیاز در جدول (۳) خلاصه شد. پیرو استعلام گرفته‌شده از شرکت‌های متخصص در زمینهٔ مبدل‌های حرارتی، مبدل حرارتی اول از نوع هسته پوسته با دبی ۲ m^3/h ورودی، جنس پوسته A 516، جنس لوله‌ها 304L S.S با طراحی تولید مطابق با استاندارد API660) پیشنهاد شد که قابلیت کاهش دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس آب ورودی را داشته باشد. هم‌چنین مبدل حرارتی دوم از نوع صفحه‌ای آب به آب M10B-PLss316-856 KW و مواد[1] تمامی صفحات حرارتی از نوع 316L S.S با ضخامت ۰/۵ و جنس تمامی واشرها EPDM (مقاومت حرارتی بالا) پیشنهاد شد. براورد هزینهٔ تخمینی وسایل و تجهیزات و هزینهٔ مازاد و اجرایی (۳۰٪) خلاصه‌شده در جدول زیر برابر با ۱,۱۳۰,۰۷۰ هزار تومان است (جدول (۳)).

هزینهٔ اجرای حوضچهٔ بتنی و اتاقک زهکش تمیز شامل گودبرداری، تسطیح زمین به‌وسیلهٔ کارگر، اجرای بتن مگر، اجرای دیوار برشی و فوندانسیون استخر بتنی (۳×۵×۸)، سقف حوضچهٔ بتنی، اجرای اتاقک زهکش تمیز (۴×۳) شامل دیوار برشی و سقف اتاق حدوداً برابر با ۲۹۵/۵۶۰ هزار تومان است. از این رو مجموع هزینه‌های وسایل و تجهیزات، اجرای حوضچهٔ بتنی و اتاقک زهکش تمیز به‌منظور بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار با به‌کارگیری مبدل حرارتی در نیروگاه طرشت برابر با ۱/۴۲۵/۶۳۰ هزار تومان است. لازم به ذکر است که تمامی قیمت‌ها مربوط به بهار سال ۱۴۰۱ است.

جدول ۳. براورد 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**

1. Materials

۳-۵ بررسی فنی- اقتصادی بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار با استخر فواره‌دار

باتوجه‌به سادگی و عملکرد مؤثر، روش استخر فواره‌دار به‌منظور کاهش دمای دمنده پیشنهاد می‌شود. از آنجایی‌که در دمنده برگشتی آهن، آمونیاک و هیدرازین وجود دارد با استفاده از این روش امکان تبدیل Fe^{2+} به Fe^{3+} و رسوب‌کردن آن و جداسازی اکسیدهای آهن تولیدی از راه صافی‌های موجود در تصفیه‌خانه و هم‌چنین تجزیهٔ 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 مخلوط‌شدن با آب خام غلظت آن تا حد صفر کاهش می‌یابد که نتایج آزمایش‌های در نیروگاه دماوند مؤید این موضوع است. باقی‌ماندهٔ 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 باقی‌ماندهٔ احتمالی نیز در صافی‌های کاتیونی و آنیونی حذف می‌شوند. ازسوی دیگر به‌کارگیری روش فواره‌ای و انجام فرایند تبخیر در خنک‌سازی آب، منجربه بازگردانی حدود ۷۰-۶۵ درصد از کل دمنده به چرخهٔ آب می‌شود. هم‌چنین استفاده از برج‌های خنک‌کننده در مقایسه با استخر فواره‌دار برای خنک‌کاری، دارای کاستی‌هایی مانند هزینهٔ بالای تهیه، تعمیرات و نگهداری، مصرف انرژی و درنهایت ناتوانی در حذف یون‌های موجود است. ازطرفی باتوجه‌به این‌که دمنده‌ها شامل مواد شیمیایی و یون‌ها هستند، نوع مواد تشکیل دهندهٔ برج خنک‌کننده، افزودن بازدارنده های خوردگی و مواد ضدرسوب باتوجه‌به رسوبات و خوردگی‌های موجود حائز اهمیت است، لذا باتوجه‌به سادگی طرح و کارایی بالای استخر، این راهکار در مقایسه با روش برج خنک‌کننده در اولویت قرار گرفته است.

به‌منظور ارزیابی اقتصادی اجرای راهکار استخر فواره‌دار از تجربیات کارشناسان نیروگاه دماوند استفاده شد و پیرو مکاتبات مختلف انجام‌گرفته با شرکت‌های متخصص در زمینهٔ تصفیه و بازچرخانی آب، هزینهٔ تخمینی انجام گرفت که در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طورکه در جدول (۴) پیداست، اعداد اشاره‌شده برحسب واحد ساخت (متر، متر مربع و مترمکعب) است. برای محاسبهٔ جزئیات و براورد دقیق هزینه، نیاز به طراحی و براورد واحد ساخت است که

جدول ۴. براورد 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 دیگ‌بخار و خطوط انتقال آب، از مشخصه‌های مهم در براورد هزینه است که شرکت سازنده باتوجه‌به ۸ m^3/h دمنده برای ۴ عدد دیگ‌بخار، محاسبات را انجام داده است. پیرو استعلام قیمتی گرفته‌شده از شرکت متخصص، مراحل اجرا شامل گودبرداری، آرماتوربندی و بتن‌ریزی حوضچهٔ بتنی و اتاقک زهکش تمیز، ساخت فواره، ساخت استخر خنک‌کننده، پمپ‌ها، اجرای لوله‌کشی، داربست، بک‌فیلد و هزینه‌های مازاد و اجرا (۳۰٪) به‌منظور اجرا در نیروگاه طرشت برای بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار (۸ m^3/h، ۴ دیگ‌بخار) حدوداً برابر با ۱،۰۷۰،۰۰۰ هزار تومان تخمین زده شده است. تمامی قیمت‌ها مربوط‌به بهار سال ۱۴۰۱ است.

باتوجه‌به نوع کنترل شیمیایی در این نیروگاه و وجود آلاینده‌هایی همچون آمونیاک، آهن و هیدرازین در دمنده دیگ‌بخار و از طرف دیگر سادگی و عملکرد مؤثر روش استخر فواره‌ای به‌منظور بازچرخانی دمنده به‌عنوان یک راهکار ارجح پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین باتوجه‌به قدمت این نیروگاه و خوردگی‌های موجود در دیگ‌بخار، میزان آهن در دمنده دیگ‌بخار چشم‌گیر است که

با استفاده از روش فواره‌ای امکان تبدیل Fe^{2+} به Fe^{3+} و ایجاد رسوب هیدروکسی وجود خواهد داشت که منجربه تجزیهٔ هیدرازین در معرض اکسیژن هوا می‌شود (تجزیه به N_2 و H_2O). تمامی این موارد برتری روش استخر فواره‌ای نسبت‌به روش مبدل حرارتی را نشان می‌دهد. هم‌چنین غلظت باقی‌ماندهٔ هیدرازین و آهن در مخلوط با آب خام به کمترین مقدار خواهد رسید که به‌آسانی از راه صافی‌های موجود در تصفیه‌خانه قابل جداسازی است. البته میزان برگشت و بازچرخانی دمنده دیگ‌بخار در روش فواره‌ای حدود ۷۵٪ و در روش مبدل حرارتی در حدود ۹۵٪ تخمین زده می‌شود، اما باتوجه‌به سادگی و مقرون به‌صرفه 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 درحالی 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 نسبت‌به روش مبدل حرارتی منطقی است. از این رو روش فواره‌ای باتوجه‌به هزینهٔ اقتصادی اجرایی اولیهٔ پایین، سادگی اجرا، قابلیت حذف آلاینده‌های آهن و هیدرازین و عملکرد مؤثر از لحاظ فنی و اقتصادی به‌منظور 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، منجربه کاهش جدی در سطح آبخوان‌ها شده‌است. بنابراین باتوجه‌به سیاست‌های وزارت نیرو، تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط با اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف آب در سال‌های اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته‌است. ازطرف دیگر باتوجه‌به این موضوع که حجم چشم‌گیری از مصارف نیروگاهی به‌دلیل وجود برج خنک‌کنندهٔ تر است، لذا در کار حاضر نیروگاه طرشت به‌عنوان نمونه به‌منظور 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 درنظرگرفتن میزان و کیفیت آب، روش بازچرخانی زهکش‌های تمیز به‌عنوان راهکاری مؤثر در کاهش مصرف آب نیروگاه طرشت انتخاب شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بازچرخانی زهکش‌های تمیز (دمنده دیگ‌بخار، شست‌وشوی معکوس صافی‌های شنی، آب نمونه‌گیر، زهکش نهایی احیای رزین‌ها) منجربه اثرات محسوسی در کاهش مصرف آب خام ورودی، افزایش ساعات کارکرد رزین‌ها، کاهش فشار برروی 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 خنک کننده 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 به‌دلایل سادگی، تأثیرگذاری بالا، تجربهٔ اجرایی در نیروگاه‌های کشور و مقرون‌به‌صرفه 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 $8m^3/h$ دمنده دیگ‌بخار، برای تهیهٔ تجهیزات، اجرا و پیاده‌سازی روش استخر فواره‌ای ۱،۰۷۰،۰۰۰ هزار تومان و برای روش مبدل حرارتی ۱،۴۲۵،۶۳۰ هزار تومان هزینه نیاز است که میزان هزینه برای روش استخر فواره‌ای حدود ۲۵٪ کمتر از روش مبدل حرارتی است. ازطرفی به‌دلیل قدمت نیروگاه طرشت و خوردگی در دیگ‌بخار، روش استخر فواره‌ای باعث اکسایش، رسوب و حذف آهن موجود در آب می‌شود. به‌علاوه در روش استخر فواره‌ای، هیدرازین در معرض هوا قرار می‌گیرد و به دو ترکیب بی‌خطر آب و نیتروژن تبدیل می‌شود. درنهایت باید بیان کرد که بررسی روش‌های گوناگون بازچرخانی زهکش‌های تمیز با ارزیابی‌های فنی و اقتصادی نشان می‌دهد که روش استخر فواره‌ای نسبت‌به سایر روش‌ها به‌دلایل هزینهٔ اقتصادی کمتر، سادگی روش، امکان تجزیهٔ هیدرازین و حذف آهن مناسب‌ترین انتخاب است.

۷. سپاس‌گزاری

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

مراجع

[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. *Sustainiblity, 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 tretment 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.

[2] 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., Gharaie, 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 Managemant*, 2(3): 46-53, In Persian.