بررسی مصرف آب در نیروگاه بخار شهید منتظرقائم و ارزیابی فنی–اقتصادی راهکارهای بازچرخانی زیرآب بویلرها

محسن اسماعیل‌پور*+، مجید قهرمان افشار، حسین قاسمی نژاد
گروه پژوهشی شیمی و فرآیند، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

چکیده: امروزه پیشرفت صنایع، بهداشت، انرژی و امنیت غذایی که جزء مؤلفه‌های اصلی توسعه پایدار جوامع به شمار می‌آید بیش از هر چیزی به آب وابسته‌اند و از سوی دیگر کمبود آب به عنوان یک معضل جدی بقای بشر و اکوسیستم طبیعی را تهدید می‌کند. میزان میانگین مصرف آب خام در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم ۲۵۰۰۰ m^3/day می‌باشد که با توجه به ظرفیت تولید و وجود برج خنک کننده‌تر در این نیروگاه قابل توجه می‌باشد. از این‌رو ارائه راهکارهای مؤثر با قابلیت اجرا به منظور اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب در این نیروگاه حائز اهمیت می‌باشد. راهکارهای پیشنهادی مؤثر با توجه به بازدید میدانی، دریافت مدارک و مستندات و مشاوره با متخصصان، کارشناسان و بهره برداران در این نیروگاه به منظور اصلاح الگوی مصرف شامل بازچرخانی (زیرآب دیگ‌های بخار، شستشوی معکوس فیلترهای شنی، نمونه‌گیرهای قسمت نمونه برداری، تخلیه مرحله نهایی شستشوی فیلترهای رزینی)، تصفیه و بازچرخانی زیرآب برج‌های خنک‌کننده، افزایش درجه تغلیظ و بهینه‌سازی برج‌های خنک‌کننده (تعویض قطره‌گیرها، تعویض نازل‌ها، تغییر زاویه لاورها و ...)، استفاده از ازون به‌منظور تصفیه آب برج خنک‌کننده‌تر، ذخیره‌سازی آب در زمان تعمیر تجهیزات بویژه در برج‌های خنک‌کننده، نصب سیستم RO در ورودی آب جبرانی برج خنک‌کن و .... می‌باشد. در نهایت با در نظر گرفتن شرایط فنی–اقتصادی، حجم و کیفیت آب، راهکار با اولویت بالا در این نیروگاه در راستای اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه منتظر قائم، زیرآب دیگ بخار، زیرآب برج خنک‌کننده، بهینه‌سازی برج‌های خنک‌کن، مبدل حرارتی، ارزیابی فنی–اقتصادی

KEYWORDS: *Montazer ghaem power plant, Boiler blowdown, Cooling tower blowdown, Improving of cooling tower, Heat exchanger, Technical-economic evaluation*

مقدمه

امروزه، پیشرفت صنایع، بهداشت، انرژی و امنیت غذایی بشر که جزء مؤلفه‌های اصلی توسعه‌ی پایدار جوامع به شمار می‌آید بیش از هر چیزی به آب وابسته‌اند و کمبود آب به عنوان یک تهدید اساسی برای بقای بشر و اکوسیستم طبیعی به حساب می‌آید [۱, ۲]. سهم آب اختصاص یافته به صنایع از کل آب مصرفی در کشورهای پیشرفته نظیر آلمان، فرانسه، ایالات متحده و کانادا به ترتیب

* عهده‌دار مکاتبات
+E- mail: mesmaeilpour@nri.ac.ir

برابر با ۶۸٪، ۶۹٪، ۴۶٪ و ۸۰٪ می‌باشد که مؤید نقش حیاتی منابع آبی در توسعه صنعتی کشورها می‌باشد. این میزان مصرف آب در صنایع کشورهایی نظیر هند، چین و برزیل به ترتیب برابر با ۴، ۷ و ۱۷ درصد می‌باشد. [۳, ۴]. مصارف عمده صنعتی آب شامل سیستم‌های خنک‌کننده صنایع کوچک و متوسط، صنایع بزرگ و صنایع مادر می‌باشد که سهم صنایع کوچک و متوسط ۵۰ مترمکعب در روز می‌باشد. کشورهای در حال توسعه در حوزه‌ی مدیریت منابع آبی سه رویکرد اساسی و اصلی در ارتباط با کاهش، بازچرخانی و بازیافت آب وجود دارد و در زمینه‌ی کاهش، تمرکز بر روی تغییرات فرآیندی و مهندسی در کل واحد صنعتی است به گونه‌ای که میزان آب مصرفی در فرآیند کاهش یابد [۴, ۵]. از این‌رو بهره‌وری آب را در هر صنعت بر حسب میزان واحد تولید محصول به آب مصرفی می‌سنجند که به‌عنوان یک شاخص فیزیکی در صنایع تولیدی مختلف شناخته می‌شود.

سهم ایران از تولید منابع تجدیدپذیر تنها ۰,۳۴ درصد از کل تولیدات انرژی تجدید پذیر در جهان می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های منابع آب، کاهش بارش‌های جوی و به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی کشور ایران و با توجه به ساکن بودن یک درصد از کل جمعیت جهان در کشور، ایران از جمله کشورهای دارای منابع آبی کم در قاره آسیا به حساب می‌آید. [۶]. فعالیت ۸۱ هزار واحد صنعتی کوچک و متوسط در کشور حجم قابل توجهی مصرف آب را به خود اختصاص داده است [۷–۹]. در ایران عمده آب مورد نیاز صنعت از منابع آب زیرزمینی و آب‌های سطحی تأمین می‌شود و بکارگیری از منابع آبی نامتعارف همچون آب‌های شور، لب‌شور، آب باران و پساب‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است [۱۰].

از این‌رو اکثر واحدهای صنعتی و کارخانه‌ها در مناطقی که دسترسی آسان به منابع آب تازه همچون رودخانه‌ها داشته باشند احداث می‌شوند. از طرف دیگر آبخوان‌ها و رودخانه‌ها به عنوان منابع اصلی تأمین آب شرب به حساب می‌آیند و با توجه مشکلات دولت در زمینه تأمین آب شرب و بحران آب پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نزدیک شاهد بحران اساسی و جدی در تأمین آب مورد نیاز صنایع و متعاقباً تعطیلی پی‌درپی واحدهای صنعتی باشیم [۶]. یکی از راهکارهای مؤثر با قابلیت اجرا به منظور برون رفت از بحران حاضر توجه به منابع آبی همچون پساب می‌باشد که علاوه بر کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از تخلیه[1] پساب صنایع، میزان قابل توجهی از نیاز صنایع به آب تازه را کاهش می‌دهد [۱۱].

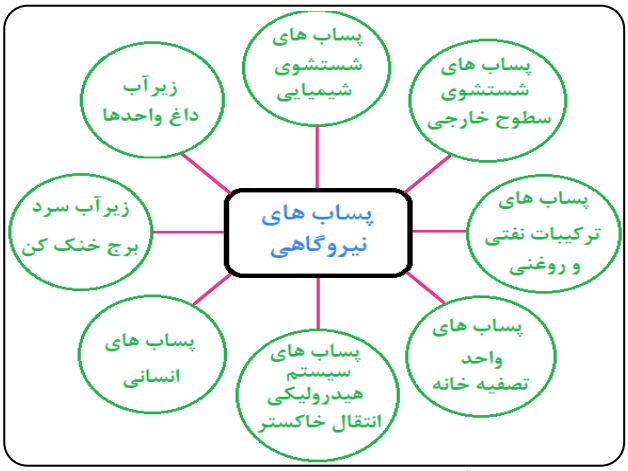
در این میان، استفاده مجدد از منابع آبی مختلف از جمله آب خاکستری (فاضلاب تولیدی از روشویی، حمام، ماشین لباسشویی و آشپزخانه‌ها) و انواع پساب‌ها و در کنار آن حفظ منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی (که با مفهوم آب آبی شناخته می‌شوند) در بین دولت‌ها و مردم از اهمیت حیاتی برخوردار شده است. اهمیت حفظ منابع آب باعث شده تا مسأله مصرف درست آب و همچنین بهینه کردن انرژی، آب و بازچرخانی آن در سال‌های اخیر مورد تحقیق فراوان قرار گیرد [۱۲].

از طرف دیگر بکارگیری روش‌های جایگزین همچون استفاده از انرژی باد جهت تولید الکتریسته و خنک کردن با هوا با توجه به مصرف بیش از ۶۰٪ آب در صنایع در زمینه خنک‌کاری و تولید برق، می‌تواند کاهش چشمگیری را در میزان مصرف آب به همراه داشته باشد [۱۳]. در صنعت نیروگاهی به ویژه در نیروگاه‌های با برج خنک‌کننده تر حجم قابل توجهی از آب مصرف می‌شود [۱۴]، لذا بررسی شرایط، میزان و نوع پساب خروجی از نقاط مختلف نیروگاه به‌منظور تعیین سهم آب مصرفی در هر بخش حائز اهمیت می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به مصارف ذیل اشاره نمود:

- ✓ زیرآب [2]سرد در برج خنک‌کن
- ✓ زیرآب داغ واحدها
- ✓ پساب‌های شستشوی شیمیایی (اسیدشویی یا قلیاشویی) لوله‌های بویلر، سوپرهیترها و سایر تجهیزات
- ✓ پساب‌های ناشی از شستشوی سطوح خارجی(سمت گاز) لوله‌های بویلر، پیش گرمکن‌ها، اکونومایز، سوپرهیتر و کوره
- ✓ پساب‌های آلوده به ترکیبات نفتی و روغنی
- ✓ پساب‌های ناشی از سیستم هیدرولیکی انتقال خاکستر در نیروگاه‌های با سوخت جامد یا زغال سنگ
- ✓ پساب‌های انسانی
- ✓ آب‌های ناشی از واحد تصفیه آب و واحد زلال‌سازی آب[3] چگالنده‌ها [۱۵–۱۸] (شکل ۱).

بنابراین در کار حاضر، در ابتدا سیکل آب، میزان مصرف و اتلاف آب در قسمت‌های مختلف سیکل نیروگاه بخار شهید منتظر قائم بررسی شده و نهایتاً با توجه به اقدامات اصلاحی صورت گرفته در نیروگاه، جمع‌بندی و اولویت‌بندی راهکارهای پیشنهادی در راستای کاهش مصرف آب و جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب با در نظر گرفتن ارزیابی فنی–اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰].

(۱) Drain
(۲) Blowdown
(۳) clarifier



شکل ۱- انواع پساب‌های نیروگاهی

آشنایی با سیکل آب نیروگاه بخار منتظرقائم و بررسی میزان مصرف و تلفات آب

نیروگاه منتظر قائم کرج واقع در استان البرز، کرج، کیلومتر ۷ جاده ملارد، با میانگین دمای ۱۶ درجه سلسیوس، رطوبت ۳۵٪ در آن منطقه و تعداد پرسنل متوسط ۵۵۰ نفر در طول شبانه روز می‌باشد که حدود ۳٪ از برق کشور را تولید می‌نماید و قابلیت تولید برق به میزان زیر را داراست:

- چهار واحد بخار؛ هر کدام به ظرفیت تولید ۱۵۶/۲۵ مگاوات.
- شش واحد گازی؛ هر کدام به ظرفیت تولید ۱۱۶/۴ مگاوات.
- سه واحد بخار سیکل ترکیبی؛ هرکدام به ظرفیت تولید ۱۰۰ مگاوات.

بر اساس تاریخچه نیروگاه، در شهریور و بهمن ماه سال ۱۳۵۰ واحدهای ۱ و ۲ و در مهرماه دو سال بعد واحدهای سه و چهار نیروگاه بخار به بهره‌برداری رسید. توسعه جامعه و رشد جمعیت، احساس نیاز بیشتر به انرژی برق را باعث شد که در پی این نیاز، در سال ۱۳۶۸، عزم بر آن شد تا واحدهای گازی احداث شوند. دو واحد در سال ۱۳۷۱ و واحدهای سوم تا ششم گازی در سال ۱۳۷۲ به شبکه برق پیوستند. در سال‌های بعد با هدف افزایش تولید برق آن هم با استفاده از حداکثر توان و جلوگیری از هدر رفتن انرژی تولید شده در واحدهای گازی، این اندیشه چهره نمود که واحدهای بخار سیکل ترکیبی احداث شود. واحد یک سیکل ترکیبی در سال ۱۳۷۸ و دو واحد دیگر آن یک سال بعد، وارد مدار شدند.

آب استحصالی مورد نیاز نیروگاه بخار شهید منتظر قائم از طریق ۷ الی ۱۰ چاه فعال تأمین می‌شود که با توجه به فصول سال تعداد چاه‌های فعال متفاوت می‌باشد. حداکثر میزان مصرف روزانه حدوداً برابر با m^3 ۳۲۰۰۰ و میانگین مصرف $m^3$۲۵۰۰۰ می‌باشد. آب خام (هدایت الکتریک µSiemens/cm ۷۰۰–۵۰۰) ابتدا وارد زلال‌کننده (۴ عدد) شده و پس از انجام تزریقات فریک‌کلرید و آهک‌زنی وارد مخزن آب زلال[1] می‌شود (شکل ۲). حدود ۹۰ درصد از این آب نرم به‌منظور مصارف برج خنک‌کننده و حدود ۱۰ درصد به‌منظور تغذیه تصفیه‌خانه استفاده می‌شود. آب ناشی از پساب زلال‌کننده به سمت کانال انتقال پساب منتقل شده و وارد استخر باغبانی می‌شود. حجم کلی تخلیه پساب و لجن ناشی از ۴ زلال‌کننده حدوداً برابر با m^3 ۶۰ در روز (۳ بار تخلیه m^3 ۵ برای هر زلال‌کننده) می‌باشد و تصفیه و بازچرخانی آن به سیکل انجام نمی‌گیرد.

سیستم ۲ تصفیه‌خانه بخار شامل ۸ فیلتر شنی، فیلترهای رزینی کاتیونی (۱۰ عدد)، آنیونی (۱۰ عدد) و بستر اختلاط یافته[2] (۱۰ عدد) مطابق با شکل ۳ می‌باشد. از دسته فیلترهای رزینی ۴ دسته فعال و ۶ دسته در حالت آماده به کار قرار دارند. میزان آب موردنیاز به‌منظور شستشوی معکوس[3] هر فیلتر شنی[4] حدوداً برابر با m^3 ۵ برای هر مرتبه می‌باشد و با توجه به تعداد ۸ مرتبه شستشوی معکوس هر فیلتر شنی در روز، حجم کلی آب مورد نیاز حدوداً برابر با m^3 ۳۲۰ می‌باشد.

تعداد دفعات احیاء روزانه رزین‌های کاتیونی، آنیونی و بستر اختلاط یافته ۴ مرتبه و حجم پساب تولیدی برای هر مرتبه حدوداً برابر با m^3 ۳۵–۳۰ (مجموع پساب روزانه احیاء رزین m^3 ۱۴۰–۱۲۰) می‌باشد. پساب‌های ناشی از احیاء رزین به سمت فاز ۲ ارسال و پس از خنثی‌سازی و تصفیه مقدماتی وارد استخر باغبانی می‌شود. نهایتاً از این آب بمنظور آبیاری درختان و فضای سبز داخل نیروگاه و مازاد آن برای مصارف کشاورزی در خارج از نیروگاه استفاده می‌شود. بازچرخانی این نوع پساب‌ها نیز به سیکل آب نیروگاه نیز صورت نمی‌گیرد.

حجم زیرآب برای هر بویلر m^3/h ۲ و در مجموع برای هر ۴ بویلر روزانه حدوداً m^3 ۲۰۰ می‌باشد که از طریق کانال مطابق با تصاویر به سمت فاز ۱ منتقل شده و نهایتاً به سمت استخر باغبانی ارسال می‌گردد (شکل ۳). از این رو تصفیه و بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار به سیکل آب صورت نمی‌گیرد. همچنین در این نیروگاه بازیافت بخارات ناشی از زیرآب دیگ‌های بخار انجام نمی‌گیرد. شکل ۴ تصاویر زیرآب تانک، کانال انتقال زیرآب شفاف[5] و زیرآب دیگ‌های بخار، بخارات خروجی از دیگ‌های بخار و خروجی زیرآب از زیرآب تانک را نشان می‌دهد.

(۱) Clary Water Tank
(۲) Mixed bed
(۳) Backwash
(۴) Sand Filter
(۵) Clean Drain

شکل ۲- تصویر الف: تهیه آب آهک، ب و ج: زلال‌کننده: خروجی پساب و لجن زلال‌کننده در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم.

شکل ۳- تصویر تصفیه‌خانه نیروگاه بخار شهید منتظر قائم. الف: فیلتر شنی و ب: فیلترهای کاتیونی، آنیونی و بستر اختلاط یافته.

شکل ۴- تصویر الف: تانک زیرآب (بلودان)، ب: بخارات خروجی از تانک زیرآب و ج: کانال انتقال زیرآب و کلین تخلیه در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم.

به طور کلی در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم کلین‌تخلیه‌ها شامل زیرآب دیگ‌های بخار، آب خنک‌کاری، شستشوی معکوس و نمونه‌برداری ابتدا به سمت فاز ۱ انتقال و پس از خنثی‌سازی و جداسازی روغن به سمت استخر باغبانی ارسال می‌شود. شکل ۵ تصویر آب نمونه برداری را نشان می‌دهد که حجم کلی این آب برای هر واحد بخار ۵-۳ m^3/day (میانگین ۱۶ m^3/day برای ۴ واحد بخار) می‌باشد و بازچرخانی این آب به سیکل آب نیروگاه انجام نمی‌شود.

برخ خنک‌کننده در نیروگاه بخار منتظرقائم از نوع برج تر جریان متقاطع می‌باشد (شکل ۶). میزان آب جبرانی برای هر برج حدوداً برابر با ۳۲۰-۲۸۰ m^3/h (ماکزیمم آب جبرانی روزانه ۴ برج m^3 ۳۰۷۲۰) و میزان زیرآب هر برج حدوداً برابر ۸۰-۴۰ m^3/h (ماکزیمم زیرآب روزانه ۴ برج $m^3$۷۶۸۰) و مابقی آب از طریق تبخیر، پاشش و ... (۲۳۰۰۰ m^3/day برای ۴ برج) در برج هدر می‌رود. زیرآب برج‌ها نهایتاً از طریق خط مشخص شده در شکل ۶ مستقیم به سمت استخر باغبانی ارسال می‌شود و تصفیه و بازچرخانی آن به سیکل آب صورت نمی‌گیرد.

حجم پساب‌های ناشی از قلیاشویی و اسیدشویی هر بویلر و آب کشی بعد از آن به ترتیب حدوداً برابر با ۲۵۰ m^3 و ۸۰۰ m^3 می‌باشد.

به‌منظور آبیاری درختان و فضای سبز نیروگاه از آب خام به صورت غرقابی و قطره‌ای استفاده می‌شود.

آب و فاضلاب بهداشتی نیز به سمت فاز ۳ منتقل شده و پس از تصفیه به استخر باغبانی منتقل و به‌منظور آبیاری از آن استفاده می‌شود.

مدارک و مستندات دریافتی از طریق پرسشنامه، بازدید از نیروگاه، تجربیات کارشناسان شیمی و بهره برداران در نیروگاه بخار شهید منتظرقائم در جدول ۱ خلاصه شده است.

شکل ۵- تصویر ایستگاه نمونه‌گیری در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم.

شکل ۶- تصویر الف و ب: برج‌های خنک‌کننده تر و ج: خط خروجی زیرآب.

جدول ۱- مدارک، مستندات و اطلاعات دریافتی در بازدید از نیروگاه بخار شهید منتظرقائم

پرسش	پاسخ	توضیحات
منبع تأمین آب نیروگاه	۱۰-۷ حلقه چاه عمیق	با توجه به فصول تعداد چاه‌های فعال در نیروگاه بخار متفاوت می‌باشد.
حجم آب تأمینی	۲۵۰۰۰ m^3/day بطور میانگین (ماکزیمم حجم مصرفی در فصول گرم ۳۲۰۰۰ m^3/day)	
آیا اختلاف قابل توجهی در حجم آب استخراجی از منبع تأمینی و آب ورودی به نیروگاه دیده می‌شود؟	خیر	-
حجم تخلیه زلال‌کننده‌ها	۶۰ m^3/day برای مجمع ۴ زلال‌کننده (هر زلال‌کننده ۳ بار تخلیه روزانه با حجم ۵ m^3)	پس از جداسازی لجن‌ها و رسوبات، آب حاصل نهایتاً به سمت استخر باغبانی منتقل می‌شود
حجم آب موردنیاز شستشوی معکوس فیلترهای شنی	۳۲۰ m^3/day (هر شستشوی معکوس ۵ m^3 و تعداد شستشوی معکوس روزانه هر فیلتر ۸ مرتبه/تعداد فیلترهای شنی ۸ عدد)	آب کلین تخلیه حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی نهایتاً به سمت استخر باغبانی انتقال یافته و بمنظور آبیاری درختان و مازاد آن برای مصارف کشاورزی در خارج از نیروگاه مورد استفاده می‌گیرد.
حجم آب مورد نیاز برای احیاء فیلترهای رزینی	۱۲۰-۱۴۰ m^3/day	پس از خنثی‌سازی و تصفیه مقدماتی به سمت استخر باغبانی انتقال می‌یابد
حجم زیرآب روزانه دیگ‌های بخار	حدود ۲۰۰ مترمکعب (۴ بویلر)	زیرآب دیگ‌های بخار و برج‌های خنک‌کننده نهایتاً به سمت استخر باغبانی انتقال می‌یابند
حجم آب نمونه‌گیری	۵-۳ m^3/day برای هر واحد بخار (میانگین ۱۶ m^3/day برای ۴ واحد بخار)	آب نمونه‌گیری نهایتاً به سمت استخر باغبانی انتقال می‌یابند

حجم آب جبرانی برج‌های خنک‌کننده تر نیروگاه بخار	۲۶۸۸۰–۳۰۷۲۰ m^3/day (۴ برج) (میانگین روزانه ۲۸۸۰۰ m^3/day)	۲۸۰–۳۲۰ m^3/h برای هر برج
حجم زیرآب برج‌های خنک‌کننده نیروگاه بخار	۳۸۴۰–۷۶۸۰ m^3/day (میانگین روزانه ۴۸۰۰ m^3/day)	۴۰–۸۰ m^3/h برای هر برج
حجم تبخیر، پاشش، دریفت و ... آب در برج‌های خنک‌کننده	میانگین روزانه ۲۳۰۰۰ m^3/day	با توجه به نوع طراحی برج خنک‌کننده میزان اتلاف و هدر رفت آب از طریق تبخیر، پاشش، رانش و ... فراوان می‌باشد.
حجم پساب ناشی از اسیدشویی و قلیاشویی واحدها	قلیاشویی و اسیدشویی ۲۵۰ m^3 ۸۰۰ m^3 برای هر بویلر	هر ۱۰ سال یکبار انجام گرفته و حجم آب مصرفی برای هر دیگ بخارحدوداً برابر با ۱۲۵۰ m^3 می‌باشد
حجم کلی پساب نیروگاه	۵۰۰۰ m^3/day	–
آیا تصفیه پساب خروجی نیروگاه انجام می‌گیرد؟ (شرح مختصر فرآیند تصفیه آب)	بله – جداسازی رسوبات آهکی – خنثی‌سازی – تصفیه بیولوژیکی – جداسازی روغن	–
در صورت تصفیه پساب، از آب تصفیه به چه منظور استفاده می‌شود؟	– فضای سبز و – مقداری استفاده مجدد در فرآیند تولید	–
منبع تأمینی آب جهت آبیاری فضای سبز، نحوه آبیاری، شستشوی معابر، نظافت و شستشوی بخش، واحد آتشنشانی و سیستم‌های خنک کننده اداری در نیروگاه چیست؟	– فضای سبز و آبیاری: پساب تصفیه شده و آب خام و زیرآب برج‌های خنک‌کننده – نحوه آبیاری: بصورت قطره‌ای و غرقابی – آتشنشانی: آب برج‌های خنک‌کننده و آب خام – سیستم‌های خنک‌کننده: آب خام	حجم دقیقی از آب مورد نیاز برای این مصارف در دسترس نمی‌باشد

بررسی میزان اثربخشی اقدامات اصلاحی انجام گرفته در جهت کاهش آب مصرفی در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم

حجم کلی پساب در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم به ترتیب برابر با ۱۵۰۰۰۰ $m^3/month$ می‌باشد. در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم آب حاصل از پساب‌ها و کلین تخلیه‌ها تصفیه نشده و بازچرخانی آن به سیکل آب صورت نمی‌گیرد. در سالیان اخیر از آب کلین‌تخلیه‌ها پس از انتقال به استخر باغبانی در جهت آبیاری درختان و فضای سبز استفاده می‌شود. با توجه به طراحی و بکارگیری برج‌های خنک‌کننده تر در نیروگاه بخار، حجم قابل ملاحظه‌ای از آب (بیش از ۹۰٪ آب تأمینی، ماکزیمم آب تأمینی ۹۶۰۰۰۰ $m^3/month$، حجم آب جبرانی برج‌های خنک کننده ۸۶۴۰۰۰ $m^3/month$) از طریق زیرآب برج‌ها، تبخیر، پاشش، رانش و .... هدر می‌رود و اقدامات اصلاحی به‌منظور کاهش تبخیر و بازچرخانی زیرآب برج‌ها انجام نگرفته است.

جمع‌بندی و اولویت‌بندی راهکارهای پیشنهادی

در این بخش به جمع‌بندی و اولویت‌بندی 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 گردیده است.

ارزیابی فنی–اقتصادی راهکارهای با اولویت بالا در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم

از جمله راهکارهای با اولویت بالا به منظور جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب در نیروگاه بخار منتظر قائم بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار می‌باشد لذا در ادامه ابتدا به بررسی روش‌های مختلف اجرا این راهکار خواهیم پرداخت و نهایتاً روش ارجح تر پیشنهاد خواهد شد.

روش‌ها و راهکارهای بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار

با توجه به کیفیت بالا و حجم قابل توجه زیرآب دیگ‌های بخار (هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰ µS/Cm) بازچرخانی زیرآب منجر به کاهش جدی در میزان مصرف آب خام ورودی، افزایش کیفیت آب ورودی به تصفیه خانه، کاهش فشار و افزایش کارکرد در فیلترهای تصفیه‌خانه

جدول ۲- جمع‌بندی و اولویت‌بندی راهکارهای پیشنهادی در جهت کاهش مصرف آب و اصلاح الگوی مصرف در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم.

راهکارهای پیشنهادی در جهت اصلاح الگوی مصرف آب	توضیحات
بازچرخانی زیرآب های تمیز همچون زیرآب دیگ بخار، آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی تصفیه‌خانه بخار، آب نمونه‌گیرهای نمونه برداری‌ها [۱] و تخلیه مرحله نهایی شستشوی فیلترهای رزینی به سیکل آب	
تصفیه و بازچرخانی زیرآب برج خنک‌کننده به سیکل آب	
بهینه‌سازی برج‌های خنک‌کن	تعویض قطره‌گیرها، تعویض نازل‌ها و بهینه‌سازی در توزیع آب جهت افزایش راندمان برج
افزایش درجه تغلیظ برج خنک‌کننده	
کندانس بخارات زیرآب دیگ‌های بخار با پایش منظم و کنترل سیستم اسپری	
بهینه‌سازی و پایش منظم و دوره‌ای دبی آب جبرانی برج خنک کننده	
انجام عملیات آبی در برج خنک‌کن تر	استفاده از دوزهای مناسب زیست کش، بازدارنده‌های خوردگی و ضد رسوب‌ها
تغییر طرح و جنس پره فن از آلومینیوم به فایبر گلاس با پره‌های پهن تر	امکان افزایش دبی هوا و کاهش برق مصرفی را فراهم می‌نماید
تغییر زاویه لاورها	منجر به کاهش خروج قطرات آب از بدنه برج می‌شود
استفاده از قطره‌گیرها با ضخامت بیشتر در برج	منجر به کاهش خروج قطرات آب از برج می‌شود
تغییر جنس قطره‌گیرها به پلی‌پروپیلن	کاهش عوارض شکست و اتلاف آب
استفاده از نازل چرخان [۱۹, ۲۰]	افزایش زمان و سرعت برخورد قطرات آب با هوا و در نتیجه انتقال حرارت بیشتر
استفاده از ازون به منظور تصفیه آب برج خنک‌کننده تر [۲۱, ۲۲]	
ذخیره‌سازی آب در زمان تعمیرات و خارج شدن از سرویس به‌ویژه در دیگ‌های بخار و برج‌های خنک‌کن	
نصب سیستم RO در ورودی آب جبرانی برج خنک‌کن [۲۳]	به‌منظور کاهش سختی آب و افزایش زمان دوره تغلیظ در برج خنک‌کن
کاندنس بخار خروجی از برج خنک‌کننده	
سیستم تغییر اتومات دور فن برج	
ایجاد و راه‌اندازی جدا کننده روغن [۲] جهت بازیافت آبها با آلودگی روغن [۲۴]	
استفاده از قطعات و لوازم یدکی مصرفی با کیفیت	
استفاده از آب کلین تخلیه واحدها به‌منظور آبیاری درختان و فضای سبز و مصارف آتشنشانی	
در این نیروگاه از آب خام نیز بمنظور آبیاری درختان و فضای سبز و مصارف آتشنشانی استفاده می‌شود که در صورت تصفیه پساب و یا بکارگیری از کلین تخلیه‌ها نیاز به آب خام جهت این مصارف از بین می‌رود.	
بازرسی مبتنی بر مدیریت بر مبنای ریسک [۳]	تشکیل کمینه فنی نشت‌یابی و رفع نشتی بصورت دائمی در نیروگاه
بهینه‌سازی تزریق مواد شیمیایی بمنظور کاهش زیرآب و خوردگی‌های موجود در دیگ‌های بخار	
تعویض رزین‌های مستهلک با رزین‌های نو	با توجه به مستهلک بودن رزین‌های کاتیونی، آنیونی و میکسد بد، تعداد احیاء روزانه این فیلترها (۴ مرتبه در روز، مجموع پساب روزانه حدوداً m^3 ۱۴۰-۱۲۰) افزایش یافته است در نتیجه میزان مصرف آب مورد نیاز به‌منظور احیاء و پساب تولیدی به شدت افزایش یافته است.
تصفیه پساب‌های بهداشتی و فاضلاب‌های بخش اداری	
آبیاری فضای سبز داخل نیروگاه با بکارگیری روش‌های پیشرفته همچون قطره‌ای، اسپرینگ و ...	
افزایش ظرفیت سرمایش برج خنک‌کننده تر	پیش سرمایش روی آب ورودی به برج توسط کولرهای هوایی با بکارگیری نرم افزار هایسیس

(۱) Sampling
(۲) Oil Separator
(۳) Based Inspection Risk

کندانس بخارات زیرآب دیگ‌های بخار	
استفاده از سختی‌گیر مغناطیسی در برج خنک‌کننده تر	
استفاده مجدد از فاضلاب بهداشتی تصفیه شده در آب جبرانی برج خنک‌کن	بکارگیری سیستم A^2O، ته‌نشینی ثانویه، ازون‌زنی، فیلتر شنی و نهایتاً کربن فعال
تصفیه پساب و بازچرخانی آب حاصل از احیا رزین‌های کاتیونی، آنیونی و میکسد بد تصفیه‌خانه بخار	
تصفیه پساب حاصل از شستشوی شیمیایی واحدها و بازچرخانی آن به سیکل آب	
تغییر رژیم کنترل شیمیایی از AVT به CWT	
تغییر برج‌های خنک‌کننده تر جریان متقاطع به برج‌های خشک مستقیم (ACC)	عمده مصرف آب در این نیروگاه ها مربوط به مصرف در برج‌های خنک‌کننده می‌باشد. بدیهی است که با نصب و جایگزینی با برج‌های خشک مصرف آب نیروگاهی به مقدار حداقلی می‌رسد. شایان ذکر است که با توجه به بررسی مقالات علمی و با توجه به افزایش هزینه آب و کاهش شدید منابع آب تأمینی در سالیان اخیر بازگشت هزینه طی چند سال انجام خواهد شد.

و در نتیجه منجر به کاهش جدی در مصرف مواد شیمیایی خواهد شد. یکی از مشکلات موجود در بازچرخانی زیرآب‌ها دمای بالای آنها می‌باشد که منجر به تخریب فیلترهای موجود در تصفیه خانه خواهد شد لذا کاهش دمای زیرآب دیگ‌های بخار قبل از ورود به تصفیه خانه آب خام بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از جمله روش‌های مؤثر در جهت بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار در زیر آورده شده است.

استخر فواره‌دار

بکارگیری روش فواره‌ای و انجام فرآیند تبخیر در خنک‌سازی آب، منجر به بازگردانی حدود ۷۵–۶۵ درصد از کل زیرآب به سیکل آب خواهد شد. همچنین نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که با اضافه شدن آب زیرآب دیگ‌های بخار به آب خام به طور کلی حدود ۲۵٪ از مصرف آب خام کاسته خواهد شد. همچنین یکی دیگر از راهکارها جهت کاهش درجه حرارت زیرآب دیگ‌های بخار، اسپری با آب خام و ذخیره‌سازی در مخازن بتنی می‌باشد. در صورتیکه کیفیت آب زیرآب دیگ‌های بخار در محدوده استانداردهای لازم نباشد بعد از عبور از یک فیلتر کارتریجی مجدداً به تانک‌های آب خام ارسال می‌گردد. از جمله مزایای استفاده از روش فواره‌ای می‌توان به سادگی اجرا، استهلاک عملیاتی پایین و امکان حذف آهن و هیدرازین از زیرآب‌های بویلرهای حرارتی اشاره کرد [۲۵, ۲۶]. شایان ذکر است که این روش در نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند اجرایی شده است.

مبدل حرارتی

بکارگیری مبدل حرارتی در خروجی زیرآب تانک منجر به کاهش دمای زیرآب، افزایش حرارت آب تغذیه‌ای بویلر و راندمان عملکردی بالا می‌شود. از این روش به منظور بازچرخانی بلودان بویلرها در نیروگاه سیکل ترکیبی قم استفاده شده است.

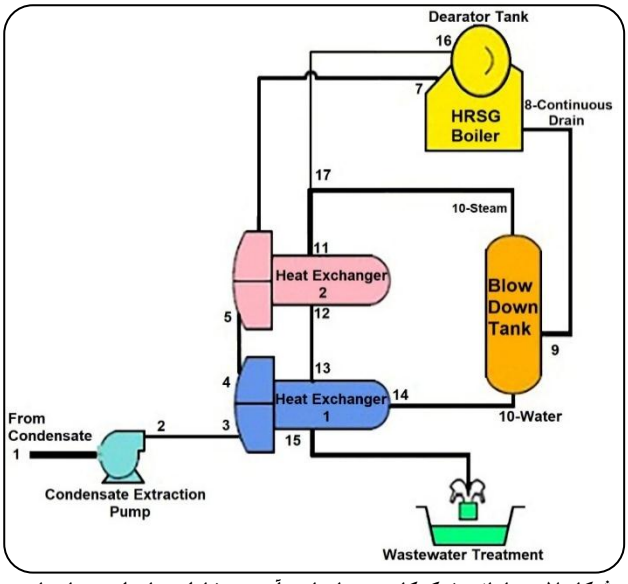
برج‌های خنک کننده

یکی از راهکارهای خنک‌کاری پساب زیرآب دیگ‌های بخار بکارگیری برج‌های خنک‌کننده می‌باشد. در این روش نوع متریال برج خنک‌کننده، افزودن بازدارنده‌های خوردگی و مواد ضدرسوب با توجه به رسوبات و خوردگی‌های موجود حائز اهمیت می‌باشد. استفاده از این روش نسبت به روش اول شامل معایبی همچون مصرف انرژی و عدم توانایی در جهت حذف یون‌های موجود و هزینه بالای تعمیرات و نگهداری می‌باشد.

سامانه خنک‌کاری و بازیابی همزمان آب و بخارات زیرآب دیگ‌های بخاری نیروگاهی

در این روش آب تغذیه از پمپ تغذیه وارد مبدل حرارتی اول می‌گردد و پس از تبادل حرارت با آب خروجی از زیرآب وارد مبدل حرارتی دوم می‌گردد و پس از تبادل حرارت با بخارات زیرآب و خروج از دی اریتور از مبدل حرارتی ۲ خارج و وارد دیگ بخار HRSG [۱] می‌گردد. اما تخلیه‌های دیگ بخار هم بطور پیوسته وارد زیرآب شده و در زیرآب قسمتی از آبها بدلیل فشار و دمای بالا تبدیل به بخار می‌گردد که این بخارات با دمای ۹۸ درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر از بالای زیرآب وارد مبدل حرارتی۲ می‌گردد و پس از کندانس وارد مبدل حرارتی ۱ می‌گردد. آب خروجی از زیرآب با دمای ۹۸ درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر از پایین مخزن زیرآب وارد مبدل حرارتی ۱ می گردد و پس از تبادل حرارت از مبدل حرارتی ۱ خارج و با دمای مناسب و مطلوب به سمت تصفیه‌خانه ارسال می‌گردد. یکی از دلایل انتخاب

(۱) Heat Recovery Steam Generators



شکل ۷- سامانه خنک‌کاری و بازیابی آب و بخارات بلودان بویلرهای نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون.

این نوع از مبدل‌های حرارتی، تعمیرات راحت‌تر آن نسبت به مدل‌های دیگر می‌باشد. شایان ذکر است که این طرح در نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون مطالعه و اجرایی شده است. با این وجود بکارگیری از این روش با توجه به پیچیدگی اجرا و هزینه بالا چندان مورد توجه نمی‌باشد. شماتیک کلی سامانه خنک کاری همزمان آب و بخارات زیر آب دیگ‌های بخار در نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون در زیر آورده شده است [۲۷].

چیلرهای جذبی

استفاده از گرمای زیرآب دیگ‌های بخار به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز چیلرهای جذبی و کاهش دمای زیرآب منجر به بازیابی حرارت اتلاف‌شده‌ی آب زیرآب، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف آب در نیروگاه می‌شود. خنک‌ساختن آب زیرآب قبل از ورود به تصفیه‌خانه منجر به افزایش کارایی و طول عمر رزین‌های تبادل یونی، افزایش زمان کارکرد تصفیه‌خانه و کاهش مصرف مواد شیمیایی جهت احیا خواهد شد. همچنین منجر به کاهش هزینه‌ی انرژی مصرفی، مصرف آب و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خواهد شد. با این وجود استفاده از چیلرهای جذبی با توجه به معایبی نظیر ضریب عملکردی پایین، تبلور، رسوب گرفتگی، خوردگی، نشتی، مصرف بالای آب و گرانی بیش از حد چندان توصیه نمی‌شود.

از بین روش‌های فوق الذکر استفاده از روش فواره‌ای و بکارگیری مبدل‌های حرارتی با توجه به سادگی، تأثیرگذاری و با توجه به تجربه اجرایی در نیروگاه‌های دماوند، نیروگاه سیکل ترکیبی قم و سیکل ترکیبی کازرون به لحاظ فنی–اقتصادی، سادگی و عملکردی مورد توجه می‌باشند [۲۸, ۲۹].

بررسی فنی–اقتصادی بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار با بکارگیری مبدل حرارتی در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم

در این بخش به بررسی روش‌های استخر فواره‌ای و مبدل حرارتی به عنوان روش‌های با اولویت بالا در جهت بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار (۸ m^3/h، هر بویلر ۲ m^3/h) در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم پرداخته شد و به منظور ارزیابی راهکار ارجح‌تر در ابتدا برآورد هزینه تخمینی بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار با بکارگیری مبدل حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. پیرو استعلام قیمتی وسایل و تجهیزات از شرکت‌های متخصص در زمینه تصفیه و بازچرخانی، مبدل حرارتی اول از نوع Shell-Tube با دبی ۲ m^3/h و جنس پوسته A ۵۱۶ و جنس تیوب‌ها S.S L ۳۰۴ (طراحی تولید مطابق با استاندارد API ۶۶۰) با قابلیت کاهش دما ۳۰ درجه سلسیوس پیشنهاد شد. مبدل حرارتی دوم از نوع صفحه‌ای آب به آب M10B-PLss316-856 KW و متریال تمامی صفحات حرارتی از نوع S.S L ۳۱۶ با ضخامت ۰,۵ و جنس تمامی واشرها EPDM با قابلیت دمایی بالا پیشنهاد شد. برآورد هزینه تخمینی وسایل و تجهیزات شامل لوله‌های ۴ اینچ S.S ۳۰۴ بدون درز، لوله‌های کربن استیل ۴ اینچ بدون درز، مبدل حرارتی هسته–پوسته، مبدل حرارتی صفحه‌ای و سایر تجهیزات (گسکت، فلنج، ولو، پیچ و مهره و .....) و هزینه‌های مازاد و اجرایی (۳۰٪) برابر با ۱,۱۳۰,۰۷۰,۰۰۰ خواهد شد (جدول ۳). لازم به ذکر است که تمامی اطلاعات مربوط به هزینه‌ها و قیمت‌های واحد با میانگین نرخ ارز در دی‌ماه سال ۱۴۰۱ برآورد شده است.

هزینه اجرا حوضچه بتنی شامل گودبرداری، تسطیح زمین توسط کارگر، اجرای بتن مگر (شن و ماسه، سیمان سیاه و اجرا)، اجرا دیوار برشی و پی استخر بتنی (۳×۵×۸) (میلگرد ۱۴، سیم آرماتور پیچی، تسمه قالب بندی، هزینه اجرا فوندانسیون، هزینه اجرای دیوار برشی، هزینه بتن آماده)، سقف حوضچه بتنی (تیرچه، بلوک سقفی یا فوم، میلگرد ۱۴، هزینه اجرای سقف، بتن ریزی (بتن آماده)) حدوداً برابر با ۳۶۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان خواهد شد. همچنین هزینه اجرا تاقک کلین تخلیه (۴×۳) شامل دیوار برشی (میلگرد ۱۲، تسمه دیوار برشی، اجرای دیوار برشی و بتن آماده) و سقف اتاق (تیرچه، بلوک، اجرا سقف اتاق، وال پست همراه با نبشی و اجرا تقریبی، سفال، اجرا دیوار سفال، سیمان و ماسه جهت اجرای دیوار سفال، عایق کاری توسط ایزوگام همراه با نصب، کرایه حمل و نقل تقریبی)

جدول ۳- برآورد هزینه‌های تخمینی بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار با بکارگیری مبدل حرارتی

وسایل و تجهیزات	تعداد	قیمت واحد (تومان)	هزینه (تومان)
Pipe 4” 304 S.S Seamless Sch 80	۱۴	۴۸,۱۶۰,۰۰۰ (۶ متری)	۶۷۴,۲۴۰,۰۰۰
Pipe 4” C.S Seamless Sch 80	۵۰	۱۰,۲۱۰,۰۰۰ (۶ متری)	۵۱۰,۵۰۰,۰۰۰
Elbow 4” 304 S.S Seamless Sch 80	۱۴	۵,۱۲۰,۰۰۰	۷۱,۶۸۰,۰۰۰
Elbow 4” A234 C.S Seamless Sch 80	۲۰	۱,۳۲۸,۰۰۰	۲۶,۵۶۰,۰۰۰
Pentax pump U18S-250/3T (۳,۵ بار)	۴	۲۱,۲۰۰,۰۰۰	۸۴,۸۰۰,۰۰۰
مبدل حرارتی پوسته و لوله (طراحی و تولید شرکت مهتاب گستر)	۴	۳۰,۷۲۰,۰۰۰	۱۲۲,۸۸۰,۰۰۰
مبدل حرارتی صفحه‌ای (طراحی و تولید شرکت مهتاب گستر)	۱	۱۷۸,۱۰۰,۰۰۰	۱۷۸,۱۰۰,۰۰۰
سایر تجهیزات (فلنج، گسکت، ولو، پیچ و مهره،.... (۱۵ درصد هزینه تجهیزات)	–	–	۱۸۱,۴۱۰,۰۰۰
هزینه مازاد و اجرایی (۳۰ درصد)	–	–	۵۵۵,۰۵۱,۰۰۰
مجموع هزینه تجهیزات و اجرا			۲,۴۰۵,۲۲۱,۰۰۰

حدوداً برابر با ۱۰۷,۰۰۰,۰۰۰ خواهد شد. بنابراین مجموع هزینه تخمینی وسایل و تجهیزات و اجرا حوضچه بتنی و اتاقک کلین تخلیه و هزینه های پیش بینی نشده به منظور بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار ($8\ m^3/h$ برا ۴ بویلر) در نیروگاه بخار شهید منتظرقائم برابر با ۲,۸۷۲,۲۲۱,۰۰۰ تومان می‌باشد.

بررسی فنی–اقتصادی بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار با استخر فواره‌دار در نیروگاه بخار منتظر قائم

با توجه به سادگی و عملکرد مؤثر استفاده از استخر فواره‌دار به منظور کاهش دمای زیرآب و از آنجایی که در زیرآب برگشتی آهن 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 طریق فیلترهای موجود در تصفیه خانه و همچنین تجزیه هیدرازین در معرض هوا میسر می‌باشد. 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 صورت گرفته در نیروگاه دماوند مؤید این موضوع می‌باشد. باقیمانده احتمالی هیدرازین نیز در فیلترهای کاتیونی و آنیونی حذف می‌گردد. در مورد فسفات و آمونیاک نیز همین وضعیت صادق می‌باشد و مقدار این ترکیبات در آب مخلوط تا حد صفر کاهش می‌یابد و باقیمانده احتمالی نیز در فیلترهای کاتیونی و آنیونی حذف می‌گردند.

به منظور ارزیابی اقتصادی اجرای راهکار استخر فواره‌دار از تجربیات کارشناسان نیروگاه دماوند استفاده شد و پیرو مکاتبات مختلف صورت گرفته با شرکت‌های متخصص در زمینه تصفیه و بازچرخانی آب، هزینه تخمینی انجام گرفت که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول۴- برآورد هزینه تخمینی جهت انجام استخر فواره‌دار.

هزینه	واحد	قیمت (تومان)
گودبرداری	متر مکعب	۳۵۰,۰۰۰
خاکریزی	متر مکعب	۲۱۰,۰۰۰
آرماتوربندی	متر مربع	۱,۱۵۰,۰۰۰
بتن‌ریزی	متر مکعب	۱,۷۵۰,۰۰۰
داربست‌بندی	متر مربع	۱۱۲,۵۰۰
لوله پلی اتیلن ۴ اینچ	متر طول	۶۸۷,۵۰۰
اجرای لوله‌کشی	متر طول	۳۰۰,۰۰۰
ساخت استخر خنک کننده	متر مکعب	۳,۵۰۰,۰۰۰
ساخت فواره	متر طول	۱,۹۸۰,۰۰۰
قیمت کل		۱۰,۰۴۰,۰۰۰

به منظور بررسی و ارزیابی اقتصادی بازچرخانی زیرآب دیگ‌های بخار ($8\ m^3/h$، ۴ بویلر) با بکارگیری استخر فواره‌ای در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم، استعلام قیمتی از شرکت مهندسی کیمیا صنعت آکام به منظور انجام مراحل گودبرداری، آرماتوربندی و بتن‌ریزی حوضچه بتنی و اتاقک کلین تخلیه، ساخت فواره، ساخت استخر خنک‌کننده، پمپ‌ها، اجرای لوله‌کشی، داربست، بک‌فیلد و هزینه‌های مازاد برابر با ۱,۲۷۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان و هزینه تخمینی اجرا ۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان برآورد شده است که مجموع هزینه‌ها ۱,۷۷۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان می‌باشد.

پیرو بررسی‌ها و بازدید حضوری از نیروگاه و وجود خوردگی در دیگ‌های بخار به دلیل نوع رژیم کنترل شیمیایی و قدمت نیروگاه، میزان آهن و آلاینده‌هایی همچون هیدرازین و آمونیاک در زیرآب دیگ‌های بخار قابل توجه می‌باشد. بنابراین با توجه به سادگی اجرا و عملکرد مؤثر، هزینه اجرایی اولیه پایین‌تر روش استخر فواره‌دار نسبت به روش مبدل حرارتی و قابلیت حذف آلاینده‌ها بکارگیری

از این روش در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم به عنوان روش ارجح پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

آب مورد نیاز برای مصارف گوناگون در کشور اغلب از طریق آب‌های شیرین زیرزمینی تأمین می‌شود و با توجه به بحران و کمبود آب در کشور این امر منجر به کاهش چشمگیر سطح آبخوان‌ها شده است. لذا در سال‌های اخیر با توجه به سیاست‌های وزارت نیرو، تحقیقات و پژوهش‌های مؤثر در راستای اصلاح الگوی مصرف و جلوگیری از اتلاف و هدررفت آب رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است و با توجه به این موضوع که نیروگاه‌های با برج خنک‌کننده تر حجم قابل توجهی از آب مصرف می‌کنند، از این‌رو در کار حاضر نیروگاه بخار شهید منتظر قائم به عنوان یک نیروگاه پایلوت به منظور اصلاح الگوی مصرف آب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بازچرخانی کلین تخلیه‌ها همچون زیرآب دیگ‌های بخار، آب نمونه برداری، شستشوی معکوس فیلترهای شنی و تخلیه نهایی احیا رزین‌ها می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش مواد شیمیایی مورد نیاز جهت احیا رزین‌ها، کاهش مصرف آب خام ورودی، کاهش فشار بروی فیلترها و افزایش ساعات کارکرد رزین‌ها داشته باشد. در نهایت بررسی و ارزیابی فنی-اقتصادی روش‌های بازچرخانی کلین تخلیه‌ها انجام گرفت و نتایج حاکی از آن است که بکارگیری از راهکار استخر فواره‌ای به دلایل هزینه اقتصادی پایین‌تر، سادگی روش و امکان تجزیه هیدرازین و حذف آهن نسبت به سایر روش‌ها به ویژه مبدل حرارتی مناسب‌تر می‌باشد.

قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های معاونت پژوهشی پژوهشگاه نیرو و نیروگاه شهید منتظرقائم صمیمانه تشکر می‌نمایند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

منابع

[۱] ناجی طبسی س.، مدیریت آب در صنایع غذایی، هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، (۱۳۹۲).

[2] Jebel Ameli F., Goodarzi Farahani Y., The Effect of Targeted Subsidy on Demand Rate of Urban Water in Qom City, *Econ. Model.*, 7(22): 101-119 (2013).

[3] Bakker K., Cook C., Water Governance in Canada: Innovation and Fragmentation, *J. Water Resour. Dev.*, 27(02): 275-289 (2011).

[4] Francisco F., Bavar M., Pessoa F., Queiroz E., Asgharnejad H., Sarrafzadeh, M., Developing Water Source Diagram Method for Effective Utilization of Regeneration Unit in Water Networks: Multiple-Contaminant Problems, *J. Water Process. Eng.*, **47**: 102758-102763 (2022).

[5] Unesco W.W.A.P., Managing water under uncertainty and risk , *Inform. Hum. World.*, (2012).

[۶] صراف زاده م.، اصغرنژاد ه.، مقایسه مدیریت مصرف آب صنایع در ایران و جهان و نقش آن در توسعه پایدار، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، (۱۳۹۵).

[7] Wu B., Zeng W., Chen H., Zhao Y., Grey Water Footprint Combined with Ecological Network Analysis for Assessing Regional Water Quality Metabolism, *J. Clean. Prod.*, **112**: 3138-3151 (2016).

[۸] مرتضی ت.، ارزش اقتصادی، رویکردی برای مدیریت تقاضای آب در مصارف صنعتی (مطالعه موردی: صنایع تولید مواد شیمیایی)، (۱۳۹۴).

[۹] خزاعلی ح.، مدیریت مصرف آب در صنایع به وسیله جایگزینی سیستم یاز خنک کاری با سیستم بسته: مطالعه موردی: کارخانه ایسکرالتوالکتریک، همایش ملی الگوهای توسعه پایداردر مدیریت آب، (۱۳۸۸).

[۱۰] صرافزاده م.، اصغرنژاد ه.، مطالعه فرآیند استخراج شکر از نیشکر از منظر مصرف آب و ارائه راه کارهایی به منظور کاهش مصرف با استفاده از منابع آب نامتعارف، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، **۴(۳)**: ۵۰-۶۰ (۲۰۱۹).

[11] Bavar M., Sarrafzadeh M., Asgharnejad H., Norouzi-Firouz H., Water Management Methods in Food Industry: Corn Refinery as a Case Study, *J. Food Eng.*, **2**(38): 78-84 (2018).

[۱۲] رضائی م. , صرافزاده ص., بررسی ویژگی‌های آب خاکستری و روش‌های بازیابی آن, *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۲۱(۱۲)**: ۸۹-۱۰۸ (۲۰۲۰).

[13] FAO F., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, *URL: http://faostat. fao. org*: (2018).

[۱۴] صراف زاده ص.، رویکردهایی جهت کاهش مصرف آب در صنایع فرآیندی با تاکید بر صنعت پالایش نفت, *فصلنامه علمی*، **۱۲(۶۰)**: ۶۶-۸۵ (۲۰۱۸).

[15] Panjeshahi M., Ataei A., Gharaie M., Parand R., Optimum Design of Cooling Water Systems for Energy and Water Conservation, *Chem. Eng. Res. Des.*, **87(2)**: 200-209 (2009).

[16] Mariolakos I., Water Resources Management in the Framework of Sustainable Development, *Desalination*, **213(1-3)**: 147-151 (2007).

[17] Schultz T., Water Reuse and Conservation in the CPI, *Chem. Eng.*, **1(9)**: 15-44 (2008).

[18] Vanrolleghem P., Benedetti L., Meirlaen J., Modelling and Real-Time Control of the Integrated Urban Wastewater System, *Environ. Model. Softw.*, **20(4)**: 427-442 (2005).

[۱۹] زینی وند ه.، اصل شیرین س.، فلاحی یکتا م.، اسکندری ف.، بررسی سیستم آب خنک کننده پالایشگاه شازند و روش‌های کاهش مصرف آب جبرانی، چهارمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی شیمی، (۱۴۰۰).

[20] Mann J., Liu Y., Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization, New York: McGraw Hill, (1999).

[۲۱] احمدپور ا.، کلباسی م.، قنواتی ن.ا.، بررسی تصفیه آب برج‌های خنک کننده توسط فرآیند ازن زنی، نخستین همایش چیلر و برج خنک کن ایران، (۱۳۸۹).

[۲۲] قاضی میرسعید س.، عطایی آ.، ندافی ی.، امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از ازن در برج‌های خنک‌کن‌تر با هدف کاهش مصرف آب و مواد شیمیایی و انرژی، سومین کنفرانس مدیریت انرژی و محیط زیست، (۱۳۹۲).

[۲۳] فتوحی م.، رضاخانی ن.، روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در برج‌های خنک‌کننده مرطوب، *مهندسی شیمی ایران*، **۱۶(۹۲)**: ۸۲-۸۹ (۲۰۱۷).

[۲۴] سعادتی ج.، پاکیزه م.، مروری بر روش‌های تصفیه پساب‌های روغنی با تأکید بر روش‌های غشایی، *نشریه علمی فرآیند نو*، **۱۰(۵۲)**: ۵۲-۷۷ (۲۰۱۶).

[۲۵] شریف زاده م.، قربانی م.، مسعودی ر.، شریفی م.، تحلیل برگشتی مبتنی بر جابه جایی مغار نیروگاه تلمبه ذخیره یی سیاه بیشه با استفاده از روش اجزای مجزا، *مهندسی علم مواد*، **۴۷**: ۴۹-۵۷ (۱۳۸۸).

[۲۶] مصطفی نژاد س.، تحقیق در بازیابی درینهای گرم نیروگاه بخاری و سیکل ترکیبی نکا بمنظور استفاده مجدد در نقاط بهینه مصرف، پنجمین کنفرانس نیروگاه‌های برق، (۱۳۹۱).

[27] Yuan D., Anthis A., Ghahraman Afshar M., Pankratova N., Cuartero M., Crespo G., Bakker E., All-Solid-State Potentiometric Sensors with a Multiwalled Carbon Nanotube Inner Transducing Layer for Anion Detection in Environmental Samples, *Anal. Chem.*, **87(17)**: 8640-8645 (2015).

[۲۸] کازرونی و.، کریمی غ.، کاهش آب جبرانی مورد نیاز در برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز با استفاده از چیلرهای جذبی و کولرهای هوایی، اولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، (۱۳۸۸).

[29] Elberry M., Elsayed E., Teamah M., Abdel-Rahman A., Elsafty A., Performance Improvement of Power Plants Using Absorption Cooling System, *Alex. Eng. J.*, **57(4)**: 2679-2686 (2018).