

(آب، زندگی است)

بهینه سازی مصرف آب در مجتمع های فولاد با ارائه نمونه عملی مجتمع صنعتی چادرملو

۱-مقدمه

تمدن های دیرین بشری در کنار رودخانه ها و دریاچه های قابل استفاده شکل گرفته است و ادامه حیات تمدنی، وابسته به آب است. توازن میان مصرف و جایگزین سازی منابع آبی یکی از دغدغه های اساسی کشورهای مختلف بخصوص در مناطق گرمسیر و کم آب است. تمدن ایران، کشوری با قدمت باستانی شگرف، بین رودهای بین النهرین و ماوراء النهر و دریاچه خزر قرار گرفته بود که در این میان از آب های فصلی و دائمی بهره مند می شده است. هم اکنون با تغییرات جمعیتی و رشد فناوری در ایران، اهمیت آب برای زیست بوم و صنعت صدچندان گشته است و با توجه به قرارگیری کشورمان در منطقه کم آب جهان، لازم است صنعت کشور، به عنوان یکی از پر مصرف ترین نهادهای بهره بردار از آبهای مرکزی، به سمت بهینه سازی مصرف و بازیافت آب پیش برود. صنعت فولاد چون قلب تپنده صنعت کشور، می بایست در این امر پیشرو باشد و مجتمع های فولادسازی، می بایست با استفاده از بهترین فناوری ها بر اساس توانمندی های اقتصادی و توازن های مالی خویش، این مهم را به انجام برسانند.

در این مقاله بر آنیم بهینه سازی مصرف آب را شرکت معدنی و صنعتی چادرملو که یکی از بزرگترین مجتمع های فولاد کشور میباشد، مورد تدقیق قرارداده و روش های بکار برده برای بهینه سازی مصرف آب را که بر اساس مبانی علمی و درایت مدیریتی و مهندسی و شرایط زمانی در این مجتمع انجام گرفته، در دید اهل فن قرار داده تا شاید به عنوان نمونه موفق و پیشرو و بالقوه، برای سایر مجتمع ها و صنایع، که تا بحال اقدام بالفعلی را انجام نداده است سر مشق قرار گیرد.

۲- مشخصات طرح و مصارف آب

آب در کارخانه های فولاد، برای خنک کاری تجهیزات و مصارف بهداشتی و آشامیدنی کارکنان بکار می رود. در این پروژه ها آب از طریق مدارهای خنک سازی باز و بسته از جمله برج خنک کن و مبدل های حرارتی، عمل خنک سازی را انجام می دهد. بدین ترتیب حدود ۳ تا ۵ درصد آب از طریق تبخیر و تخلیه آب دوره ای برج خنک کن از دست می رود.

پروژه های مجتمع صنعتی چادرملو شامل واحد گندله سازی به ظرفیت ۴ میلیون تن، مگا مدول احیاء به ظرفیت ۱،۵۵۰،۰۰۰ واحد فولادسازی به ظرفیت یک میلیون تن در سال و واحد نیروگاه سیکل ترکیبی به ظرفیت ۵۰۰ مگا ولت آمپر و واحد نیروگاه خورشیدی با ظرفیت ۱۰ مگاوات می باشد. حجم آب در گردش دو واحد پر مصرف احیاء و فولاد سازی به ترتیب ۴۱۶۱ و ۱۰۴۷۵ متر مکعب بر ساعت است که تفصیل این ارقام در جداول ۱ و ۲ مشاهده می شود:

جدول شماره ۱- (مقدار آب در گردش واحد احیاء)

ردیف	نام	مترمکعب در ساعت	دمای ورودی C°	دمای خروجی C°
۱	غبارگیرهای تر و شستشوی گاز	۱۰۴۶	۶۴	۶۸
۲	تجهیزات پروسسی	۲۶۵۰	۳۰	۴۵
۳	ماشین آلات	۴۶۵	۴۴	۴۵
جمع :			۴۱۶۱	

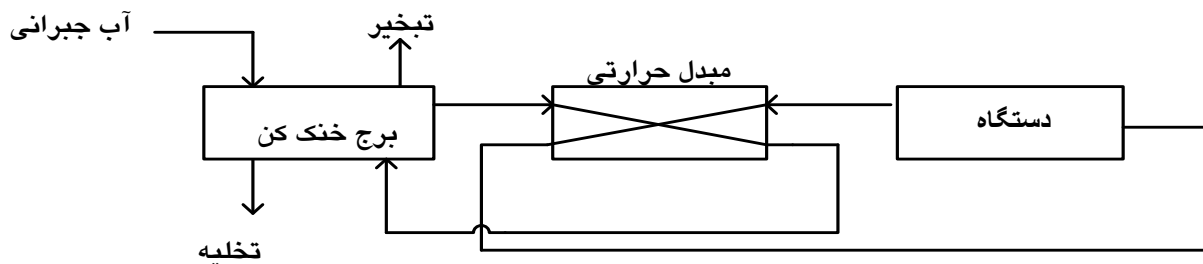
جدول شماره ۲- (مقدار آب در گردش واحد فولاد سازی)

ردیف	نام	متر مکعب در ساعت	دمای ورودی C°	دمای خروجی C°
۱	واحد اکسیژن	۷۶۵	۳۵	۴۵
۲	کوره قوس (تجهیزات)	۲۲۸	۳۵	۴۷
۳	کوره پاتیلی	۹۰	۳۵	۵۰
۴	شل کوره قوس	۱۹۹۴	۳۵	۵۰
۵	شل کوره پاتیلی	۴۴۱	۳۵	۵۰
۶	جمع آوری دود	۴۵۳۰	۵۵	۷۵
۷	ریخته گری (تجهیزات)	۷۳۲	۳۵	۵۰
۸	قالب	۱۰۰۰	۴۰	۴۸
۹	پاشش آب	۵۶۰	۳۵	۵۰
۱۰	کمپرسور هوا	۱۰۰	۳۵	۴۵
۱۱	SVC	۳۵	۳۵	۴۷
جمع :			۱۰۴۷۵	

با توجه به تبخیر و اتلاف درصدی از این آب در گردش، لازم است سیستم های مختلف خنک سازی آب را شناسایی نمود تا بتوان در مورد کاهش اتلافات آن اظهار نظر نمود.

۳- سیستم های خنک سازی آب

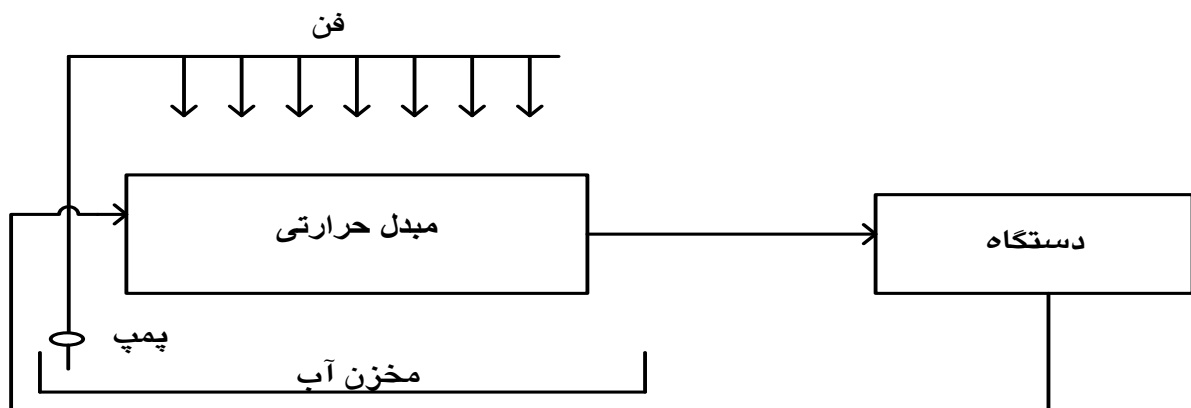
با توجه به آخرین فناوری های موجود، در صنایع سیستم های زیر جهت خنک کردن آب استفاده می شود.



شکل ۲- سرد سازی غیرمستقیم

۲-۳- برج خنک کن هیبریدی

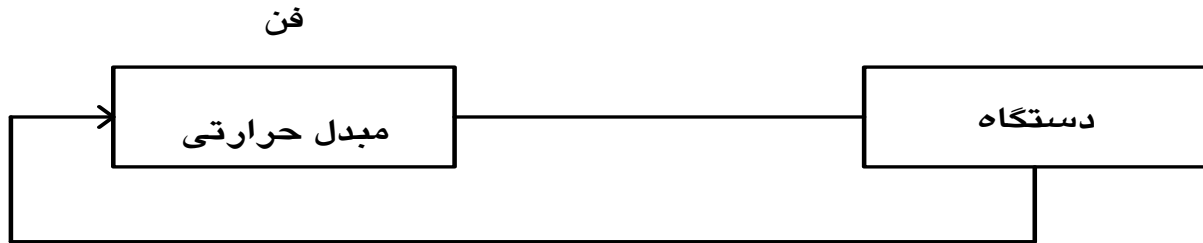
در این نوع برج خنک کن، ابتدا آب توسط هوا در مبدل حرارتی هوایی، خنک می شود و در صورتی که دمای آب به اندازه نیاز سرد نشده باشد، با پاشش آب بر روی مبدل حرارتی، دمای آب به دمای مورد نیاز کاهش می یابد.



شکل ۳- برج خنک کن هیبریدی

۳-۳- برج هوا خنک

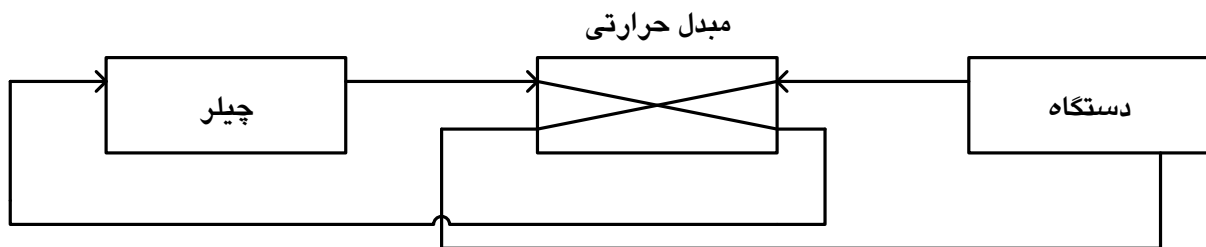
در این سیستم آب وارد مبدل حرارتی می شود که با هوا خنک می گردد. بدیهی است این سیستم دمای آب را تا حد چند درجه بالای دمای محیط کاهش می دهد. بنابراین این سیستم برای خنک کردن دستگاه هایی کارساز است که مشکلی با آب با دمای بالاتر از دمای محیط نداشته باشند.



شکل ۴- برج هوا خنک

۴-۳- چیلر

در این سیستم در ابتدا آب در چیلر به اندازه کافی سرد شده و سپس آب در گردش دستگاه توسط یک مبدل حرارتی خنک می گردد. در این سیستم نیز یک سیال خنک سازی وجود دارد که از آب خنک کننده در چیلر مجزاست.



شکل ۵- سرد سازی با چیلر

۵-۳- مقایسه سیستم های خنک سازی

برای انتخاب هر یک از سیستم های فوق مقدار سرمایه گذاری ثابت، هزینه های بهره برداری (مصرف آب و برق) و فضای مورد نیاز هر یک نسبت به برج خنک کن در جدول زیر مقایسه شده است.

جدول ۳- مقایسه سیستم های خنک سازی

نام	آب جبرانی (درصد)	مصرف برق (درصد)	سرمایه گذاری ثابت (درصد)	زیر بنای لازم (درصد)
برج خنک کن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
هیبرید	۷۵	۵۰۰	۲۰۰	۲۰۰
هواخنک	۵	۷۵۰	۱۵۰	۵۰۰
چیلر	۵	۱۲۰۰	۲۵۰	۲۵۰

۴- اثرات شرایط محیطی

علاوه بر هزینه های سرمایه گذاری ثابت و بهره برداری، انتخاب هر یک از سیستم های خنک سازی رابطه مستقیم با دما و شرایط محیط نیز دارد. بنابراین در این بخش شرایط آب و هوای منطقه مورد بررسی قرار میگیرد.

میانگین و ماکزیمم دمای خشک در ماههای مختلف سال که از ایستگاه هواشناسی عقدا (نزدیکترین ایستگاه به محل احداث پروژه ها) تهیه در جدول شماره ۴ مشاهده می شود.

از چهار سیستم سردسازی فوق الذکر سیستم برج خنک کن باز، برج خنک کن هیبریدی و سیستم چیلر به تنهایی می توانند دمای مورد نیاز برای دو پروژه فولادسازی و احیاء را تامین نمایند. اما سیستم هوا خنک به تنهایی می تواند برای واحد جمع آوری دود در فولادسازی و واحد غبارگیری های تر در واحد احیاء، مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا دمای ورودی و خروجی در واحد جمع آوری دود فولاد سازی به ترتیب ۵۰ و ۷۰ و در بخش غبارگیری های تر واحد احیاء ۶۴ و ۶۸ درجه سانتیگراد می باشد.

سیستم هوا خنک برای سایر دستگاه ها فقط در زمانی کار ساز است که دمای محیط کمتر از ۲۵ درجه سانتیگراد باشد. از اینرو سیستم هوا خنک در تمام ساعت شبانه روز فصول سرد و در فصول گرم سال عمدتاً در شبها، قابل استفاده خواهد بود.

براساس داده های ایستگاه هواشناسی عقدا، درصد بازه زمانی هر ماه که سیستم هوا خنک به تنهایی قادر می باشد که دمای آب را به دمای مورد نیاز برساند در جدول ۵ مشخص شده است.

جدول شماره ۵

درجه	رودیت	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	طراحی	دمای
۹۹	۹۶	۴۹	۲۶	۶۴	۷۶	۹۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۵	فولاد
۹۳	۷۲	۲۰	۱۱	۲۹	۵۱	۸۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰	احیاء

۵- انتخاب گزینه بهینه

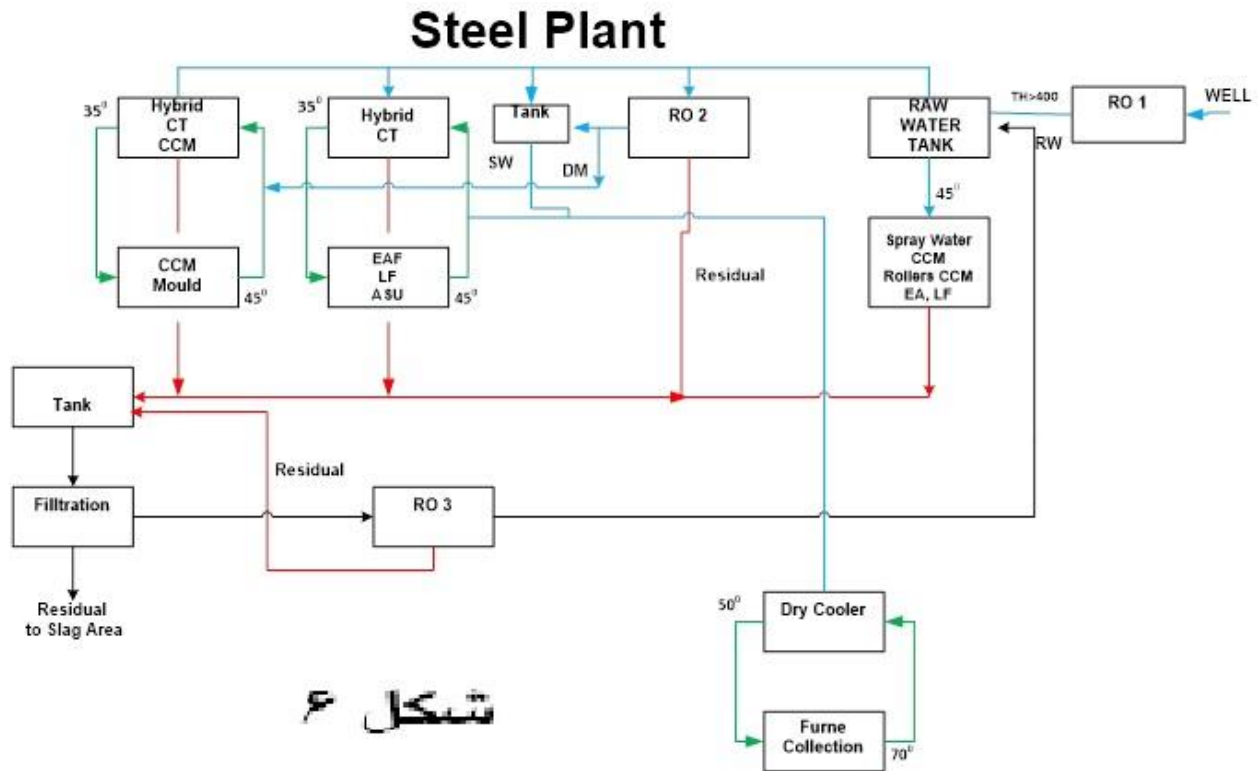
برج خنک کن بیشترین مصرف آب را در بردارد، اما به سرمایه کمتری نیاز دارد و مصرف برق آن نیز نسبتاً کم است. در حالی که سیستم چیلر کمترین مقدار مصرف آب را دارد ولی از نظر مصرف برق و سرمایه ثابت در حد بالا قرار دارد.

بنابراین در پروژه فولادسازی و احیاء ترکیبی از سیستم های فوق به عنوان گزینه بهینه استفاده شده است. در پروژه فولادسازی از دو سیستم برج خنک کن و سیستم چیلر صرفنظر شده و ترکیبی از برج خنک کن هیبریدی و برج هوا خنک استفاده شده است.

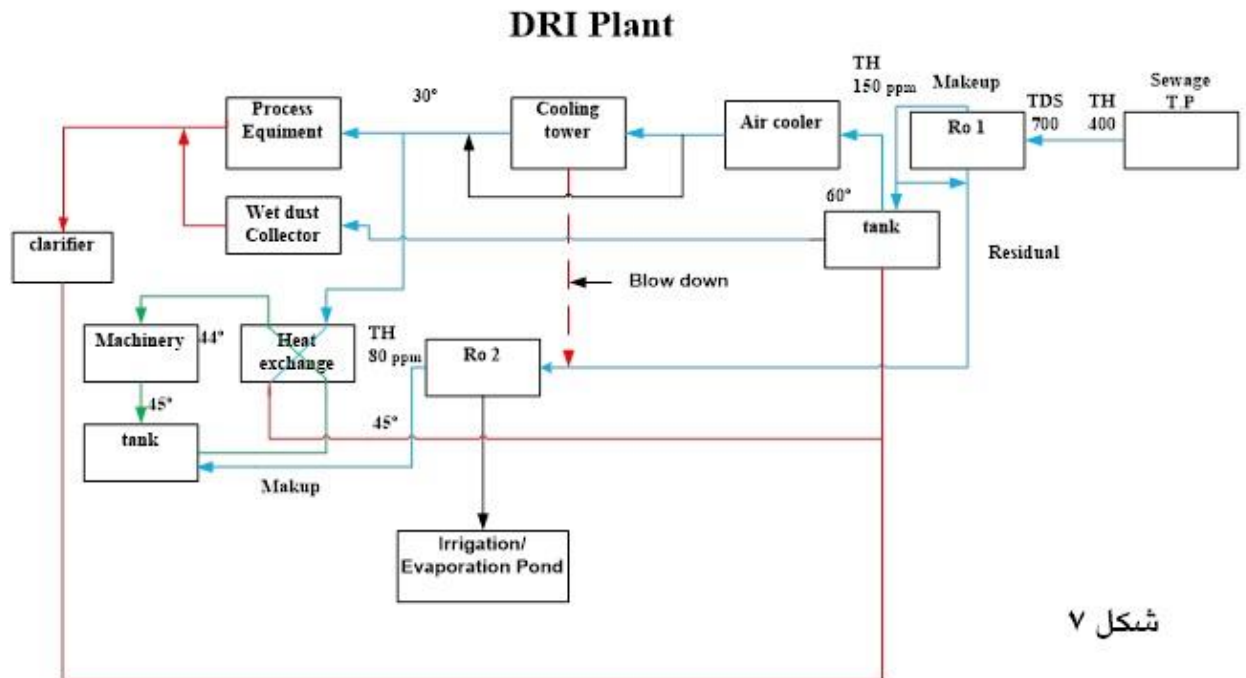
در پروژه مگا مدول احیاء چادرملو با توجه به این که آب در بخش هایی از جمله شستشوی گازهای پروسسی جزئی از روند تولید به حساب می آید و همچنین به دلایل اطمینان بخشی بیشتر و سایر مسائل فنی، از دو سیستم برج خنک کن و سیستم هوا خنک استفاده شده است.

در ضمن آب ناشی از تخلیه برج خنک کن ها و آبهای خروجی دیگر از سیستم های خنک سازی از جمله آب پاشی بر روی شمش ها، جمع آوری می شود و پس از تصفیه مجدداً به مدار آب برگشت داده می شوند، بدین ترتیب درصد دیگری از آب مصرفی کاهش می یابد.

مدار آب در دو پروژه در شکل ها ۶ و ۷ نشان داده شده اند.



شکل ۶- فرایندهای آب در کارخانه فولادسازی



شکل ۷- فرایندهای آب در کارخانه احیاء

۶- مقایسه گزینه بهینه با سیستم های متداول

پارامترهای گزینه های مختلف نسبت به روش متداول خنک سازی یعنی برج خنک کن در واحدهای فولادسازی و احیاء به ترتیب در جدول ۶ و ۷ با هم مقایسه شده اند.

جدول ۶- مقایسه روش های خنک سازی در فولاد سازی

موضوع	سیستم متداول	گزینه دوم	گزینه بهینه	گزینه چهارم
برج خنک کن	هیبرید + هوا خنک	هیبرید + هوا خنک	هیبرید + هوا خنک	چیلر+هیبرید+هواخنک تصفیه مجدد
آب m^3/hr	۵۵۰	۱۶۰	۱۳۰	۱۱۵
برق Kw	۶۲۸۰	۷۷۰۰	۸۰۰۰	۱۵۰۰۰
مواد مصرفی kg/hr	۱۲/۵	۵	۵/۵	۵
زیربنا m^2	۴۰۰۰	۹۰۰۰	۹۵۰۰	۷۰۰۰

جدول ۷- مقایسه مصارف آب در روش های مختلف در فرایند احیاء

روش	سیستم متداول	گزینه دوم	گزینه بهینه	گزینه چهارم
برج خنک کن	برج خنک کن + هواخنک	برج خنک کن + هواخنک	برج خنک کن + هواخنک + تصفیه مجدد	چیلر+هیبرید+ تصفیه مجدد
آب m^3/hr	۲۵۲	۱۳۶	۱۲۵	۱۰۸

نتیجه: مشاهده می شود که با ترکیب سیستم های خنک سازی و تصفیه مجدد فاضلاب، مصرف آب در پروژه

فولاد سازی به کمتر از یک چهارم و در واحد مگا مدول به کمتر از نصف تقلیل یافته است.

کلیه ارقام این مطالعات بر اساس ارقام عملی مجتمع چادرملو بوده که در نهایت جمع بندی بالا حاصل گردیده است. علاوه بر سیستم خنک سازی، سایر عملیات در مجتمع، حین طراحی و همچنین بهبودهای حین بهره

برداری موجب شده مصرف آب در مجتمع، پایین تر از مقادیر پیشگفته نیز برسد که به تفصیل در ادامه این فرایند بهینه سازی را مرور می کنیم.



۷- بهینه سازی مصرف آب در مجتمع چادرملو

کاهش مصرف آب از بدو مهندسی پایه و تفصیلی و حتی دوره بهره برداری از کارخانجات تولیدی مجتمع صنعتی چادرملو (از سال ۱۳۹۰) به علت کمبود آب در منطقه سر لوحه فعالیت ها، قرار گرفته و با استفاده از طراحی و بکار گیری تجهیزات به روز با توجه به فناوری جهانی در بهینه سازی مصرف آب، مصرف آب در مجموعه واحدها از ۲۱۵ لیتر در ثانیه به ۱۰۰ لیتر کاهش یافته است و در راستای این فرآیند بهینه سازی شرکت معدنی و صنعتی چادرملو در سال ۱۳۹۸، از طرف وزیر نیرو لوح تقدیر بعنوان پیشگام در مصرف آب در صنایع فولاد گردیده است.

چکیده فعالیت های صورت گرفته به منظور بهینه سازی مصرف آب به شرح زیر است:

- ۱- تغییر سیکل های آب مدار باز به بسته
- ۲- استفاده از مبدل های هیبرید به جای برج خنک کن
- ۳- کاهش بلودان
- ۴- بازیابی آب بلودان
- ۵- تصفیه پساب های صنعتی و بهداشتی و برگردان آنها به چرخه تولید

۷-۱- روش های بهینه سازی مصارف آب در واحدهای مجتمع

۱- بهینه سازی مصرف آب در واحد گندله سازی

در مهندسی تفصیلی شرکت کوبه استیل ژاپن بعنوان تکنولوگ پروژه، مصرف آب کارخانه برای تولید نامی، ۱۱ لیتر در ثانیه برآورد شده که بعد از راه اندازی و بیش از یک دهه بهره برداری با طرح های اصلاحی مصرف آب بمقدار ۵ لیتر در ثانیه معادل ۴۵٪ نسبت به طرح اولیه بشرح زیر صرفه جوئی داشته است.



الف) با اجرای سیستم تصفیه آب رزینی جهت کنترل سختی مدار آب سیستم آب خنک کننده اصلی واحد گندله سازی، با حذف بلودان، ۱ لیتر در ثانیه صرفه جوئی گردیده است.



شکل ۸- سیستم تصفیه آب رزینی

ب) بخش عمده مصرف آب صنعتی در واحد گندله سازی برای خنک سازی و کیوم پمپ های مربوط به ناحیه بازیافت بوده. که با اجرای سیستم مدار بسته آب خنک کاری آنها و با بکار گیری برج خنک کننده هیبریدی ۳/۶ لیتر در ثانیه آب بازچرخانی و صرفه جویی گردید.

ج) با جایگزینی برجهای مدار بسته هیبریدی، با برج های سنتی در سیستم آب خنک کننده اصلی واحد گندله سازی حدوداً نیم لیتر در ثانیه در مصرف آب صرفه جوئی نیز گردیده است.

۲- بهینه سازی مصرف آب در واحد فولادسازی



فناوری بخش کوره ذوب در کارخانه فولادسازی توسط شرکت تنوا ایتالیا و بخش ریخته گری توسط شرکت اس.ام.اس کانکست آلمان ارائه گردیده است. در مهندسی پایه مصرف آب فولاد سازی ۴۳۰ متر مکعب در ساعت (۱۲۰ لیتر در ثانیه) برآورد گردیده که با توجه به کمبود آب در منطقه و سیستم خنک کاری مجزا برای هر مدار، این مهم توسط برج های هیبریدی و مبدل های هوا خنک (مدار غبار گیر) در نظر گرفته شده است. این تجهیزات از ایتالیا (شرکت پرت و دکزا) تامین و نصب شده است. با انجام این تغییرات مصرف آب فولاد سازی به ۱۳۳ متر مکعب (۳۷ لیتر در ثانیه) و یا ۶۹ درصد مصرف کاهش یافته است.



شکل ۹- برج خنک کن مدار بسته هیبریدی



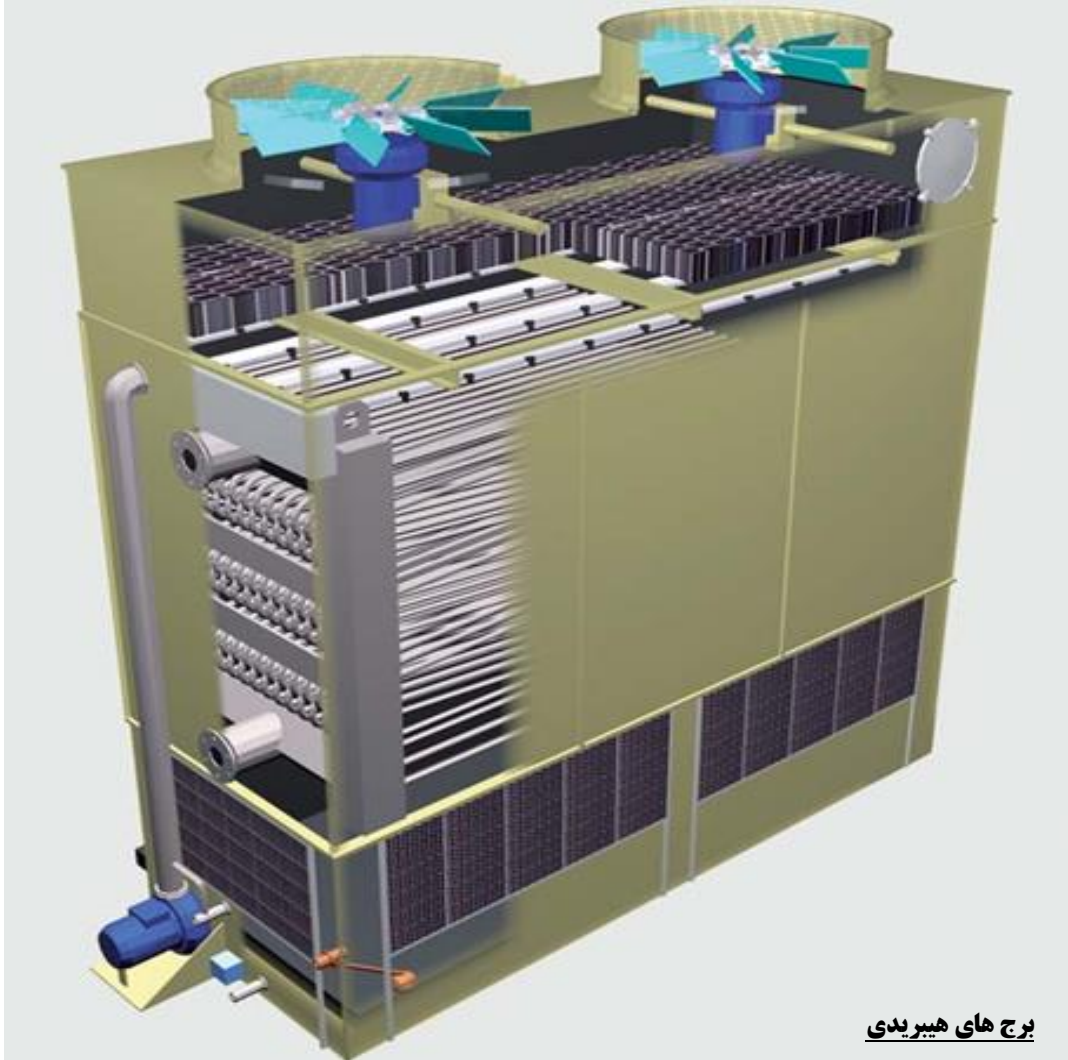
در فرآیند عملیاتی برج های خنک کننده مدار بسته هیبریدی استفاده شده در واحد فولادسازی از کوئل های فین دار استفاده شده که به صورت مکرر خم شده و هر کوئل دارای طول لوله ۲۳۰۰ متر می باشد. هر برج خنک کن هیبرید با دو عدد کوئل و ۲ عدد فن دور بالا و یک عدد پمپ برای اسپری آب بر روی کوئل ها تشکیل شده است که با تبخیر مستقیم آب بر روی لوله های مبدل، دما را به سرعت پایین آورده و در مواقعی که دمای هوا پایین می باشد اسپری آب قطع شده و برج هیبریدی به برج هواخنک تبدیل شده و مصرف را به شدت کاهش می دهد. در برج های هیبریدی استفاده شده در این مجموعه سیستم بلودان و آب جبرانی اتوماتیک بوده و آب بلودان شده دوباره توسط واحد اسمز معکوس به مدار برگشت داده می شود. از جمله مزیت های این برج های هیبریدی توانایی دمایی مجزا برای مدارهای آبی مختلف می باشد.



شرکت مهندسی ارکان تدبیر صنعتی
ARKAN TADBIR INDUSTRIAL ENG. CO

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:



برج های هیبریدی

شکل ۱۰- برش خنک کن هیبریدی

۳- بهینه سازی مصرف آب در نیروگاه سیکل ترکیبی

در طرح توجیهی و مهندسی پایه نیروگاه سیکل ترکیبی سرو چادرملو با ظرفیت اسمی ۵۰۰ مگاوات و با دو واحد گازی و یک واحد بخار میزان آب مصرفی ۵ لیتر در ثانیه پیش بینی گردیده است.

Address: No.28, Shabnam Alley, Rafi Alley,
East Atefi St., Nelson Mandela Blvd, Tehran,
IRAN
Tel: +98 21-26201567-9 Fax: +98 21-22058516
www.arkantadbir.com info@arkantadbir.com



آدرس: تهران، بلوار نلسون ماندلا، بالاتر از ظفر
خیابان عاطفی شرقی، کوچه شبانم، پلاک ۲۸

تلفن: ۰۲۱-۲۶۲۰۱۵۶۷-۹ فکس: ۰۲۱-۲۲۰۵۸۵۱۶



در واحد بخار این نیروگاه بجای سیستم خنک کنندگی هلر از سیستم (Air Condensate Cooling) ACC استفاده گردیده است.

با انجام اصلاحات زیر در طول بهره برداری مصرف آب به ۱/۵ لیتر کاهش یافته است.

- کاهش بلودان پیوسته
- بازیابی آب بلو دان
- بازیافت آب درین آنالایزرهای واحد سمپلینگ
- استفاده از آب فلاشینگ سیستم اسمز معکوس و بکواش فیلترهای شنی برای مصارف فضای سبز
- بازیافت آب سیستم کولینگ کمکی از طریق درین پیوسته و هدایت آن به مخازن ذخیره.

۴- بهینه سازی مصرف آب در واحد مگامدول احیاء

براساس فناوری شرکت میدرکس و مهندسی تفصیلی ارائه شده توسط شرکت کوبه استیل ژاپن مصرف آب مگامدول احیاء چادرملو ۲۸۰ متر مکعب در ساعت ($1.4 \text{ m}^3/\text{t product}$) پیش بینی شده است که برای اولین بار در ایران، و شاید در دنیا با استفاده از سیستم های ترکیبی همزمان مدار باز و بسته (ACHE) مصرف آب به ۱۵۵ متر مکعب ($0.8 \text{ m}^3/\text{t product}$) و یا به عبارتی ۴۵٪ کاهش یافته است.

در سیستم (ACHE (AIR COOLING HEAT EXCHANGER علاوه بر وجود فن و ایجاد جریان اجباری مکانیکی، سازه برج خنک کننده بصورتی طراحی گردیده که جریان هوا به صورت طبیعی به حرکت در می آید، این نوع برج های خنک کننده بعنوان خنک کننده های جریان مرکب شناخته می شوند.



در طرح اصلی که توسط تکنولوگ (کوبه ژاپن و میدرکس امریکا) پیشنهاد گردیده بود، برج خنک کن های مدار باز به گونه ای بود که از تماس آب و هوا بخش زیادی از آب تبخیر می گردید که تقریباً ۹۰٪ از مصرف آب واحد احیاء، در این قسمت مصرف می گردید، که با سرد نمودن دمای آب داغ از ۶۵ به حدود ۲۵ درجه سانتیگراد با استفاده از برج خنک کن های مدار باز، آب زیادی تبخیر می گردید ولی در کارخانه مگا مدول احیاء چادرملو با استفاده از سیستم نوین خنک کاری آب فرآیند در مدار بسته (ACHE SYSTEM) که اساس کار آن بر مبنای ایجاد سطح تماس بیشتر بین جریان آب گرم و هوای سرد بوسیله مبدل های انتقال حرارت و فن و در نتیجه تبادل حرارتی بین این دو می باشد، در ابتدا دمای آب را از ۶۵ به ۵۰ درجه سانتیگراد



کاهش داده و آب با دمای 50°C وارد سیستم مدار باز می شود و با توجه به ΔT کمتر، مصرف آب نیز کمتر می شود.

۸- نتیجه گیری و پیشنهاد

همانطور که دیدیم بهینه سازی مصرف آب در مجتمع های فولاد در مراحل طراحی، انتخاب فناوری ها و بهره برداری خود را نشان می دهد و با نگاه مهندسی و بلند مدت بیشتر، می توان این ماده حیاتی که هم اکنون ارزش های استراتژیک و امنیتی زیادی پیدا کرده است را با بهترین روش ها، در بهینه ترین مقدار مصرف کرد و ارزش افزوده بالاتری ایجاد کرد.

این مشاور، با تجربه بسیار زیاد در این پروژه و سایر پروژه های اجرایی خویش، آماده است تجربه خود را برای کاهش مصرف آب در مجتمع های وابسته فولادسازی در اختیار کلیه عزیزان فعال در این صنعت قرار دهد. با توجه به مشکلات عدیده این روزها در تقابل مصرف آب در کارخانجات فولادسازی و مصارف شهری و تبعات اجتماعی، سیاسی برآمده، پیشنهاد می شود در کلیه کارخانه های فعال در فرایندهای فولادسازی در همه مناطق کشور، با ایجاد کمیته مهندسی بهینه سازی مصرف آب، از تجربیات و روش های نوین بهینه سازی برای کاهش مصرف آب بهره گیرند.