

استفاده مجدد از زیر آب برج‌های خنک کننده

چکیده

برج‌های خنک‌کننده از نوع تر، یکی از اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان آب در پالایشگاه‌های نفت، گاز و مجتمع‌های پتروشیمی جهت تولید سرمایش در فرآیند می‌باشند. در صورت انتخاب صحیح سیستم‌های سرمایشی در فاز طراحی و اصلاح عملیات آنها در کارخانه، امکان صرفه‌جویی چشمگیری در مصرف آب وجود دارد. امروزه، برای اصلاح و بهینه‌سازی سیستم موجود، لزومی به استفاده از روش‌های پرهزینه آزمایشگاهی یا نیمه صنعتی نیست و اجرای چنین طرح‌هایی با مدل‌سازی و بهینه‌سازی ریاضی میسر می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح و به کارگیری تجربیات بهره‌برداری، ابتدا مدل ساختار کلی شبکه برج‌های خنک‌کننده ایجاد گردید. سپس مدل بهینه در غالب دو سناریو جهت کاهش مصرف آب خام و تولید زیرآب به همراه تامین آب بدون یون (DM) مورد نیاز کارخانه، ارائه شد. نتایج سناریوی مورد تایید شامل تولید $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب بدون یون مورد نیاز مجتمع، کاهش ۷۱٪ پساب‌های املاح بالا معادل $480 \text{ m}^3/\text{hr}$ و کاهش معادل $280 \text{ m}^3/\text{hr}$ در مصرف آب کارون می‌باشد که هم‌اکنون کاهش $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ از این مرحله، در واحد آمونیاک ۱ اجرایی گردیده است. جهت تعیین ملاک اقتصادی بودن طرح از توابع IRR، NPV و Payback استفاده گردید.

مقدمه

به دلیل نیاز بیشتر فرآیندها به سیال خنک‌کننده با دمای پایین‌تر از دمای محیط، عمده عمل سرمایش در صنایع توسط برج‌های خنک‌کننده انجام می‌شود. بخش زیادی از آب مصرفی صنایع شیمیایی، در برج‌های خنک‌کننده استفاده می‌شود. در این برج‌ها حرارت از طریق تبخیر حذف شده و آب خنک می‌گردد. به ازای هر ده درجه فارنهایت اختلاف دمای میزان تبخیر یک درصد آب در گردش می‌باشد که این امر سبب تغلیظ آب در گردش می‌شود. بنابراین باید با توجه به میزان هدایت الکتریکی آب در گردش، مقداری از این آب را تخلیه کرده و برای تأمین آب از دست رفته، مقداری آب جبرانی به سیستم اضافه نمود.

عمده ناخالصی‌های موجود در آب جبرانی شامل سیلیس، سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، بی‌کربنات، کلراید، آمونیوم، روغن، SRB و سولفات می‌باشد. بر اساس مشخصات آب جبرانی، نمایه‌های رسوب‌گذاری و خوردگی و همچنین سیکل غلظت، می‌توان ترکیب آب در گردش را به دست آورد [۱].

در صورت افزایش سیکل غلظت برج خنک کننده، میزان مصرف آب جبرانی به دلیل کاهش زیرآب برج، کاهش خواهد یافت. در این راستا تعیین سیکل غلظت بهینه اقتصادی و تعیین منابع تامین کننده آب جبرانی از اهمیت زیادی برخوردار است. البته توجه به محدودیت فاکتور (LSI)^۱ آب در گردش جهت جلوگیری از تمایل خوردگی آب بسیار مهم بوده و در محاسبات تعیین سیکل غلظت بهینه، میزان این فاکتور حدود ۰ تا ۰/۲ در نظر گرفته می شود.

پتروشیمی رازی دارای نه برج خنک کننده واحد آمونیاک ۱، واحد آمونیاک ۲، واحد آمونیاک ۳، واحد اوره ۱، واحد اوره ۲، واحد یوتیلیتی، واحد اسید سولفوریک قدیم، واحد اسید سولفوریک جدید و واحد شیرین سازی گاز می باشد.

بر مبنای اطلاعات زمان اجرای پروژه یعنی سال ۱۳۸۴، برج های خنک کننده از آب کارون کلاریفایر شده (معروف به Sump Water) به عنوان منبع تامین آب جبرانی استفاده می نماید. به دلیل تخلیه زیر آب برخی از برج های خنک کننده در زیر زمین و دبی کم زیرآب باقی مانده، چهار برج خنک کننده واحد یوتیلیتی، واحد شیرین سازی گاز، واحد اسید سولفوریک قدیم و جدید از مطالعه حذف گردیدند.

برج های خنک کننده پتروشیمی رازی به دلیل نوسان غلظت آب کارون (کلراید و جامدات محلول کل) عمدتاً در سیکل غلظت حداقل ۲ و حداکثر ۵ عمل می نمایند. بنابراین حجم زیادی زیرآب، مخصوصاً در شرایط نامطلوب آب کارون از برج ها دور ریخته می شود. در این پژوهش، استفاده مجدد و کاهش حجم دور ریز زیرآب برج ها مد نظر قرار می گیرد. سایر منابع آب قابل استفاده مجتمع، شامل آب دور ریز دستگاه اسمز معکوس منطقه یوتیلیتی و آمونیاک سوم می باشد.

لازم به ذکر است که مقادیر مربوط به آب دور ریز برج های خنک کننده به دلیل نوسان کیفیت آب رودخانه کارون و در نتیجه تغییر سیکل غلظت برج ها متغیر بوده و در این مقاله بدترین شرایط برای محاسبات در نظر گرفته شده است.

تابع هدف

هدف اصلی مجتمع پتروشیمی رازی در زمان اجرای پروژه

شامل مدیریت آب، کاهش یا حذف معضل پساب های املاح بالا و کاهش وابستگی به آب کارون بوده است. یکی دیگر از نیازهای مجتمع، تولید مابقی آب بدون یون مورد نیاز کارخانه بود که این مسأله نیز در تابع هدف پروژه لحاظ گردید. بنابراین تابع هدف پروژه از موارد ذیل تشکیل شده است.

الف) تولید $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب بدون یون مورد نیاز مجتمع
ب) استفاده مجدد از زیرآب برج های خنک کننده (به دلیل حذف یا کاهش معضل پساب های املاح بالا)
ج) کاهش مصرف آب کارون

لازم به ذکر است در صورت سرمایه گذاری بر روی سیستم تقطیری^۲ جهت تامین $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب بدون یون از آب دریا، تنها هدف اول مجتمع محقق خواهد شد.

تعیین سیستم تصفیه مناسب جهت کاهش غلظت املاح

جهت تصفیه آب های صنعتی حاوی املاح، یکی از روش های تبادل یونی، تکنولوژی استفاده از غشاء (اسمز معکوس و الکترو دیالیز) و تقطیر و یا ترکیبی از این روش ها مورد استفاده قرار می گیرد. در انتخاب فرآیند مناسب برای کاهش املاح باید عواملی نظیر بازده و عملکرد فرآیند، هزینه های ثابت و عملیاتی و حجم پساب تولیدی آن بررسی شود. رزین های تعویض یونی برای حذف TDS در محلول های کم املاح، ارزان ترین روش است، اما هزینه این روش با افزایش غلظت به سرعت افزایش می یابد. با افزایش املاح به بیش از 1000 ppm ، سیستم های تبادل یونی غیر اقتصادی شده و هزینه سالیانه آنها بابت احیای رزین ها حتی بیش از هزینه سرمایه گذاری خواهد شد. دستگاه الکترو دیالیز نیز در دامنه ورودی و خروجی این پروژه قابل استفاده نمی باشد، زیرا آب هایی با TDS حداکثر 2000 ppm را می تواند با راندمان اقتصادی مناسب تصفیه نماید. همچنین دستگاه الکترو دیالیز تنها می تواند TDS آب ورودی را تا حدود 500 ppm به صورت اقتصادی کاهش دهد. اما ناخالصی های غیر یونی و کلوییدی آب باقی می ماند.

1. Langelir Saturation Index (LSI)
2. Multi Effect Distillation (MED)

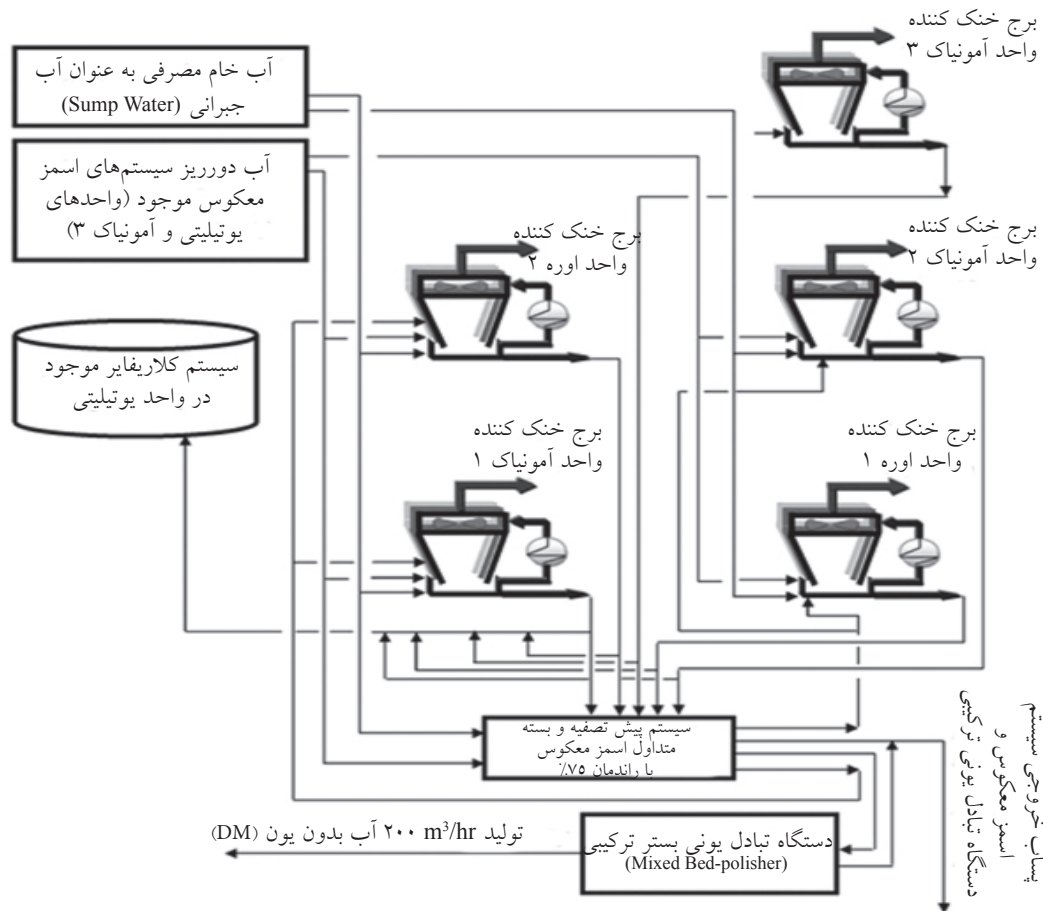
دیگر، برخوردار است

مدل ساختار کلی

مدل ساختار کلی شامل تمامی شکل‌های ممکن و مورد تأیید بهره‌برداری، برای یک شبکه مصرف‌کننده آب می‌باشد [۳ و ۴]. پس از حل تابع هدف همراه با تمامی محدودیت‌های تساوی و نامساوی، اتصالات غیر دلخواه و ناممکن از مدل ساختار کلی حذف گردیده و شکل نهایی پدیدار می‌شود. همان‌گونه که اشاره شد، پنج برج خنک کننده واحدهای آمونیاک ۱، ۲ و ۳ و همچنین واحد اوره ۱ و ۲ به همراه خروجی مرحله دوم آب دور ریز دستگاه اسمز معکوس منطقه یوتیلیتی و آمونیاک سوم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. شکل ۱ بیان‌گر ساختار کلی فرآیند از تمامی گزینه‌های ممکن و مورد تأیید بهره‌برداری در پنج برج خنک کننده مجتمع پتروشیمی رازی می‌باشد.

بنابراین رقابت اصلی بین دستگاه اسمز معکوس و تقطیر می‌باشد. از این بین، سیستم تقطیر در مقایسه با اسمز معکوس به دلیل راندمان پایین، حجم پساب بیشتری تولید می‌کند، لذا سیستم اسمز معکوس انتخاب می‌گردد. راندمان سیستم اسمز معکوس حدود ۷۵ الی ۸۷/۵٪ جهت زیرآب برج‌های خنک کننده می‌باشد [۲].

استفاده از سیستم MED جهت تصفیه زیرآب برج‌های خنک کننده یا هر منبع پساب از جنس آب‌های لب شورا مناسب نیست. زیرا به دلیل راندمان بسیار پایین آن، عمده آب ورودی دور ریز می‌شود. بنابراین معضل کاهش پساب‌های املاح بالا که اولین هدف پروژه است، محقق نخواهد شد. سیستم MED تنها جهت شیرین‌سازی آب دریا، عملیاتی و منطقی می‌باشد. اما سیستم اسمز معکوس از توانایی و راندمان بسیار بالایی جهت کاهش اقتصادی املاح زیرآب برج‌های خنک کننده یا هر منبع لب شور



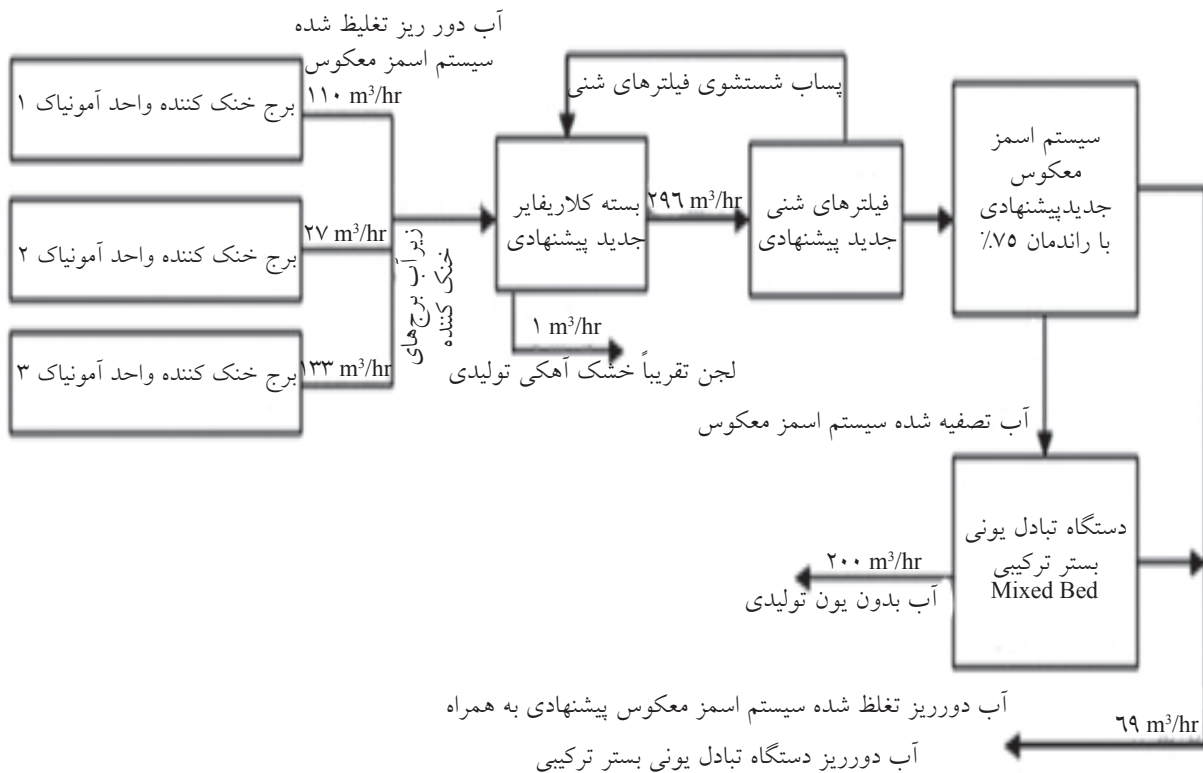
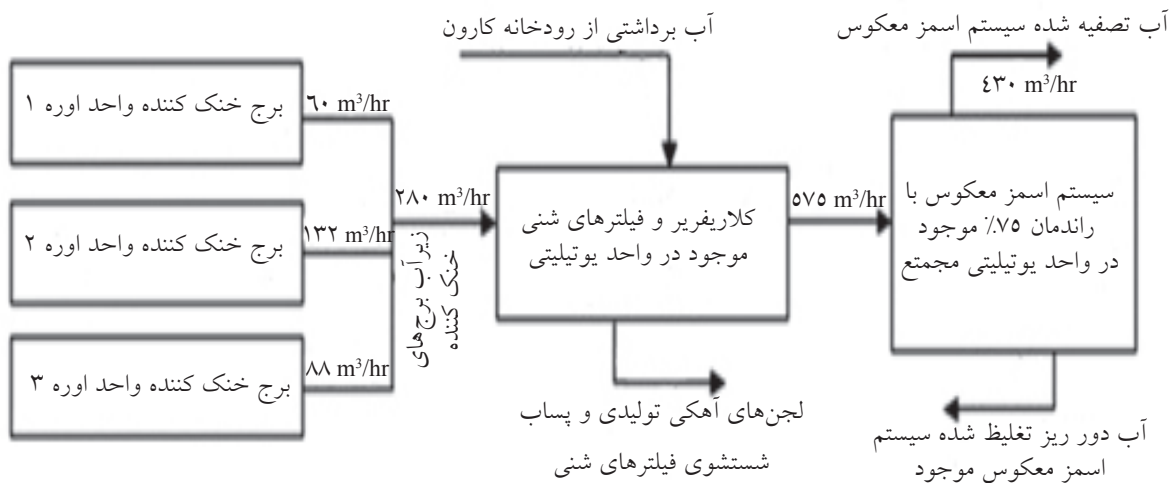
شکل ۱- مدل ساختار کلی پروژه (Superstructure Model)

حل مدل ساختار کلی

ساختارهای بهینه نهایی پس از عمل بهینه‌سازی ریاضی براساس برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح^۱ به دست می‌آید. جهت حل ساختار کلی پژوهش و شبیه‌سازی برج‌های خنک کننده، نرم‌افزاری به نام CTOpt1.1 طراحی گردید که پس از هماهنگی با شرایط موجود کارخانه مورد استفاده قرار گرفت [۵-۷]. در این نرم‌افزار با وارد نمودن اطلاعات مربوط به قیمت انواع منابع تأمین آب، اطلاعات مواد شیمیایی، اسید مصرفی، غلظت CaH , TDS, TFe, TH, TSS, SO_4^{2-} , SiO_2 , Cl, M.alk و در انواع منابع آب همراه با محدودیت‌های فرآیندی نظیر دبی، دما، اختلاف دمای آب رفت و برگشت، دبی آب در گردش، دمای مرطوب هوا و محدودیت‌های غلظتی حاکم ناشی از مواد شیمیایی در برنامه ریاضی خطی، مقادیر بهینه توزیع دبی انواع منابع آب، تولید زیرآب، مصرف مواد شیمیایی و میزان تبخیر محاسبه می‌شود. در این راستا هزینه عملکرد بهینه نیز ارائه خواهد شد. ضمناً کیفیت آب جبرانی و آب در گردش به همراه شرایط رسوب‌دهی و خوردگی آنها پیش‌بینی می‌گردد. بنابراین، پس از ورود شرایط متفاوت از توزیع جریان آب به نرم‌افزار مذکور براساس تابع هدف، ساختار آن تغییر نموده و اصطلاحاً بهینه می‌شود. بدین ترتیب به ازای تغییر شرایط شیمی آب و محدودیت‌های سایت، ساختارهای بهینه و عملیاتی مختلفی ارائه خواهند شد. در ذیل بررسی تفصیلی دو سناریوی بهینه مورد توجه مجتمع ارائه می‌گردد. سناریوی اول زیرآب برج‌های خنک کننده آمونیاک ۲ و ۳ و پساب مرحله دوم دستگاه اسمز معکوس واحد آمونیاک ۳ جمع‌آوری شده و به کلاریفایر بتنی پیشنهادی با دبی ورودی $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ با حجم مناسب با قابلیت حداقل نگهداشت ۵ ساعت آب، وارد می‌شود. سپس جریان خروجی از کلاریفایر به سوی فیلترهای شنی هدایت می‌گردد. جریان شستشوی فیلترهای شنی در مخزنی جمع‌آوری شده و با دبی مشخص به کلاریفایر تزریق می‌شود، تا تأثیر منفی بر TSS کلاریفایر نداشته باشد. نهایتاً جریان خروجی از فیلتر شنی به سیستم کامل اسمز معکوس و پس از آن ستون‌های تبادل یونی بستر ترکیبی^۲ جهت تولید $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب بدون

یون وارد خواهد شد. ساختار این سناریو در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین زیرآب برج‌های خنک کننده آمونیاک ۱ و اوره ۱ و ۲ به کلاریفایر خط D مجتمع تزریق می‌شود. غشاهای بسته اسمز معکوس موجود در واحد یوتیلیتی مجتمع، حداکثر تا TDS حدود ppm as CaCO_3 ۲۵۰۰ و فشار ۲۰ bar را تحمل کرده و بازیافتی حدود ۷۵٪ را ارائه می‌نماید [۸]. بر اساس مشخصات ماده شیمیایی ZP8504 تزریقی به برج‌های خنک کننده، میزان TDS آب در گردش برج‌های خنک کننده ماکزیمم تا حد مجاز ppm as CaCO_3 ۲۵۰۰ تنظیم می‌گردد. بنابراین تنها در شرایطی به حد ماکزیمم تحمل TDS غشاهای خواهیم رسید که TDS آب کارون در بدترین وضعیت ممکن و معادل ppm as CaCO_3 ۲۵۰۰ قرار داشته باشد. در هر حال جهت کنترل شرایط، چند سیستم مانیتورینگ هدایت الکتریکی در مکان آب‌های ورودی به پکیج کلاریفایر و خروجی از آن مورد نیاز است. سیگنال‌های ارسالی از سوی اندازه‌گیر هدایت الکتریکی به برنامه کنترل PLC وارد شده و با مشخص نمودن وضعیت دلخواه جهت حفظ درصد بازیافت سیستم اسمز معکوس فعلی، فرمان‌های مشخص به شیرهای کنترل ارسال می‌گردد. افزایش ناگهانی غلظت آهن در زیرآب برج‌های خنک کننده نیز توسط پکیج کلاریفایر موجود کنترل شده و یون آهن رسوب داده می‌شود. بنابراین کلاریفایر و فیلترهای شنی پس از آن، محافظ مطمئنی جهت افزایش CaH , Fe, M.alk و TSS آب‌های ورودی و کنترل غلظت آنها به شمار می‌روند. لازم به ذکر است که Zn موجود در زیرآب برج‌های خنک کننده نیز توسط کلاریفایر رسوب داده می‌شود. جریان دور ریز شستشوی فیلترهای شنی به صورت مدیریت شده به کلاریفایر برگردانده می‌شود. موضوع مهم در این سناریو، توجه ویژه به تزریق مواد سمی همانند ایزوتیازولین‌ها به برج خنک کننده در روز خاصی از ماه است که به عنوان عامل کمکی در کنار ترکیبات کلره، جهت تخریب ترکیبات بیولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1. Mixed Integer Linear Programming (MILP)
2. Mixed Bed



شکل ۲- ساختار بهینه سناریوی اول

برج های خنک کننده نمود.

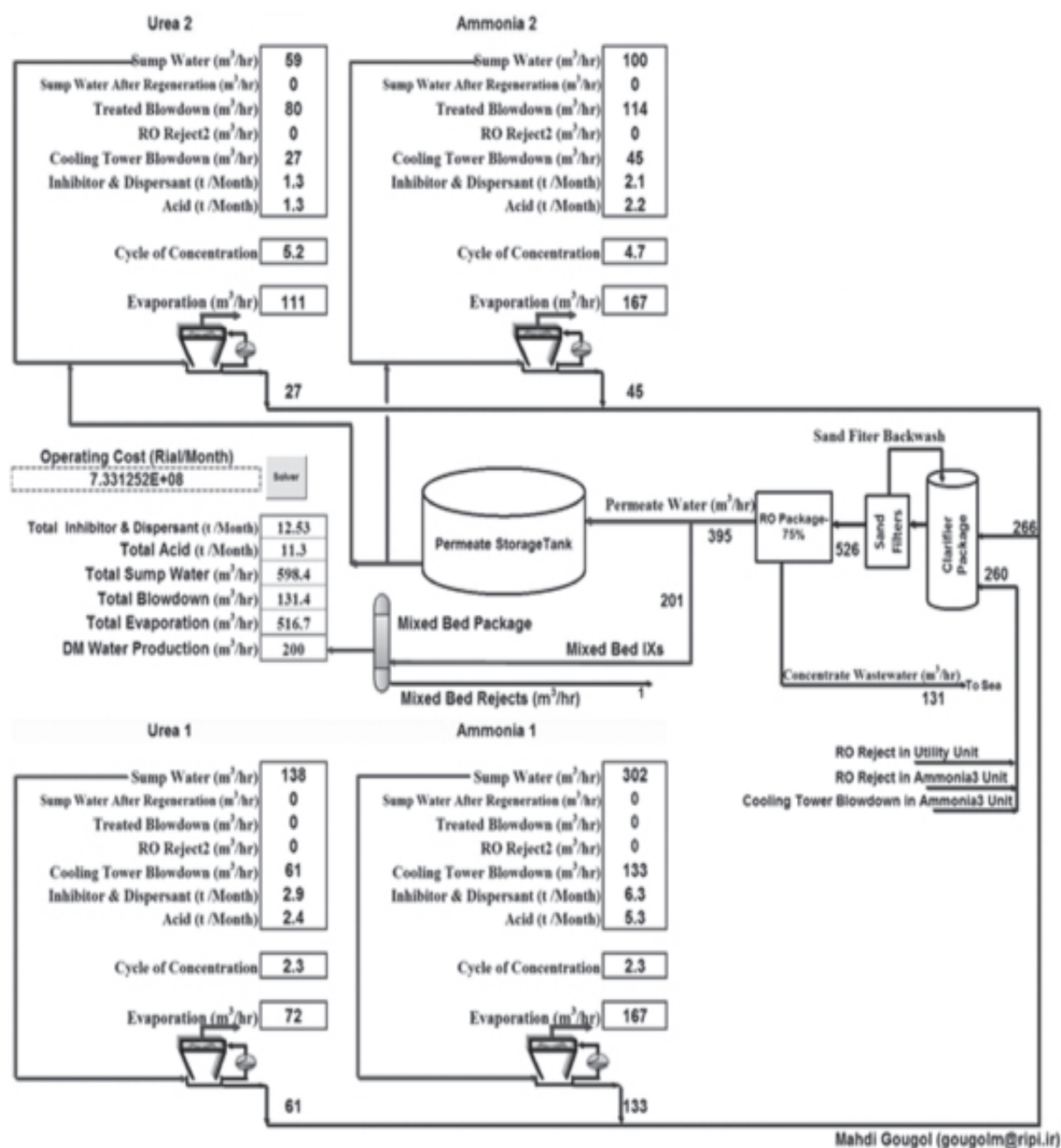
سناریوی دوم

زیر آب برج های خنک کننده آمونیاک ۱، ۲ و ۳ و همچنین اوره ۲ به همراه پساب مرحله دوم دستگاه های اسمز معکوس واحد آمونیاک ۳ و یوتیلیتی جمع آوری گردیده و به سیستم تصفیه جدید شامل کلاریفایر، فیلترهای شنی و پکیج کامل اسمز معکوس تزریق می گردد. جریان خروجی

مواد سمی مذکور توسط جریان زیر آب برج خارج شده و به وسیله کلاریفایر و فیلترهای شنی حذف نمی شوند. بنابراین به غشاءها وارد گردیده و علاوه بر تخریب سطح غشاء، راندمان سیستم اسمز معکوس را نیز کاهش می دهند. بنابراین، جهت استفاده از این سناریو نباید از برنامه کمکی سمی نمودن آب در گردش استفاده کرد. چون در غیر این صورت در زمان سمی کردن آب در گردش، باید این سناریو را متوقف کرده و آب کارون را جایگزین زیر آب

بدیهی است که پس از تزریق آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس به برج‌های خنک کننده آمونیاک ۲ و اوره ۲، سیکل غلظت در این برج‌ها افزایش یافته و میزان زیر آب کمتری (پس از شرایط پایدار) تولید می‌شود. لذا آب جبرانی که از آب کارون تأمین می‌شود، کاهش می‌یابد. بنابراین، سناریوی دوم به صورت غیر مستقیم سبب کاهش مصرف آب کارون خواهد شد.

از پکیج اسمز معکوس جدید به دو قسمت تقسیم می‌شود. بخش اول جهت تولید $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب بدون یون مورد نیاز مجتمع وارد سیستم تبادل یونی می‌گردد و مابقی آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس به عنوان بخش عمده آب جبرانی برج‌های خنک کننده آمونیاک ۲ و اوره ۲ در نظر گرفته می‌شود. ساختار این سناریو در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳- ساختار بهینه سناریوی دوم

سودهای حاصل از اجرای پروژه

سود حاصل از تولید $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب DM با قیمت معادل $1/6$ دلار بر متر مکعب در هر دو سناریو مد نظر قرار گرفته است.

(۱)

$200 \text{ m}^3/\text{hr} \times (24 \times 365) \text{ hr/yr} \times 1/6 \text{ \$/m}^3 = 2803200 \text{ \$/yr}$
کاهش پساب املاح بالا به صورت سود مالی لحاظ نگردیده و به عنوان یک دستاورد زیست محیطی در هر دو سناریو محسوب می‌شود. کاهش مصرف آب کارون با قیمت آب 1000 ریال بر متر مکعب محاسبه خواهد شد. مجموع سود حاصل از سناریوی اول و دوم در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است کاهش مصرف ماده شیمیایی ZP8504 معادل 7 تن در ماه و اسید مصرفی حدود 5 تن در ماه به دلیل افزایش سیکل غلظت برج‌های خنک کننده اوره 2 و آمونیاک 2 در سناریوی دوم به صورت زیر محاسبه شده است.

Inhibitor ZP8504: $((19/5 - 12/5) \text{ ton/month} \times 12 \text{ month/yr} \times 2620 \text{ \$/ton}) = 221606 \text{ \$/yr}$ (۲)

Acid: $((16/6 - 11/3) \text{ ton/month} \times 12 \text{ month/yr} \times 24 \text{ \$/ton}) = 10526 \text{ \$/yr}$ (۳)

هزینه کل سرمایه گذاری

هزینه سرمایه گذاری سناریوی اول از یک شرکت کانادایی با شرایط مهندسی، خرید، ساخت، نصب و راه‌اندازی^۱ در

زمان اجرای پروژه در سال 1384 استعلام گردید. عمده تجهیزات دو سناریو شامل پکیج اسمز معکوس، پمپ‌های فشار بالا، کلاریفایر، فیلترهای شنی، دستگاه‌های تبادل یونی بستر ترکیبی، لوله کشی، ابزار دقیق و مخازن ذخیره، مشابه یکدیگر بوده و تنها ظرفیت آنها با هم متفاوت می‌باشد. بنابراین، با استفاده از رابطه 4 هزینه سرمایه گذاری سناریوی دوم به دست می‌آید. در جدول 2 هزینه سرمایه گذاری هر سناریو آورده شده است.

$$\left(\frac{\text{Capacity 1}}{\text{Capacity 2}}\right)^n = \left(\frac{\text{Price 1}}{\text{Price 2}}\right) \quad (4)$$

هزینه بهره‌برداری

هزینه بهره‌برداری شامل هزینه‌های ثابت^۲ و هزینه‌های متغیر^۳ می‌باشد. هزینه‌های ثابت متشکل از هزینه‌های تعمیر و نگهداری، تعویض غشاهای، تعویض المنت‌های کارتريج فیلترها و هزینه‌های پرسنلی می‌باشد. هزینه‌های متغیر شامل هزینه مصرف مواد شیمیایی و مصرف برق و در صورت نیاز هزینه مصرف بخار در زمستان خواهد بود. به طور نمونه نحوه محاسبه هزینه بهره‌برداری در سناریوی اول در این مقاله ارائه شده است.

جدول ۱- سود سناریوی اول و دوم*

شماره سناریو	کاهش مصرف مواد شیمیایی برج‌های خنک کننده (تن در ماه)	کاهش مصرف آب کارون (m^3/hr)	تولید آب DM (m^3/hr)	سود ($\text{\$/hr}$)
سناریوی اول	۰	۲۸۰	۲۰۰	۳۰۷۲۷۳۸
سناریوی دوم	۷	۳۴۰	۲۰۰	۳۳۵۲۱۰۳

*. مبنای محاسبات اقتصادی مربوط به زمان اجرای پروژه در سال 1384 براساس ارزش هر دلار 910 تومان می‌باشد.

جدول ۲- هزینه سرمایه‌گذاری سناریوهای اول و دوم

شماره سناریو	هزینه کل سرمایه گذاری (دلار)
سناریوی اول	۴۷۰۰۰۰۰
سناریوی دوم	۷۷۰۰۰۰۰

1. EPCC
2. Fixed Cost
3. Variable Cost

هزینه‌های ثابت سناریوی اول

۱- هزینه تعویض رزین‌های دستگاہ تبادل یونی بستر

ترکیبی

دولار بر سال ۶۳۰۰ = شارژ و جبران رزین از دست رفته
 دولار بر سال ۲۶۰۰۰ = تعویض رزین‌های آنیونی
 ۲- هزینه مواد شیمیایی سناریوی اول که در دستگاہ کلاریفایر جدید، بسته اسمز معکوس پیشنهادی و دستگاہ تبادل یونی بستر ترکیبی مصرف می‌گردد، در جدول ۳ آورده شده است.

۳- هزینه مصرف برق

عمده برق مصرفی پروژه عبارتند از: برق مصرفی توسط پکیج اسمز معکوس (مجموعاً ۴۰۰ kW)، الکترو موتور کلاریفایر جدید (۵ kW)، پمپ‌های انتقال جریان زیرآب برج‌های خنک کننده به سمت کلاریفایرها (۲۳ kW)، پمپ انتقال جریان خروجی فیلترهای شنی جدید به سمت دستگاہ اسمز معکوس جدید (۵۵ kW) و پمپ‌های انتقال آب تصفیه شده به سمت مخزن نگهداری آب بدون یون (۵۰ kW).

۱- هزینه پرسنلی

در صورت حضور یک نفر در سایت و یک نفر در اتاق کنترل در چهار شیفت کاری با حقوق، مزایا و بیمه ماهانه ۴۰۰۰۰ تومان به ازای هر نفر نیاز خواهد بود.

(ماه در سال ۱۲ × تومان بر ماه ۴۰۰۰۰ × ۴ شیفت × نفر ۲)
 دولار بر سال ۹۷۸/۲۱ = تومان بر دلار ۹۱۰ /

۲- هزینه تعویض غشاءها هر سه سال یکبار

[۶] غشاء در ظرف (۱۳) غشاء مرحله اول + ۲۶ غشاء مرحله دوم]
 دولار بر سال ۹۸۰/۷۰ = (سال) ۳ / دلار بر ممبران ۹۱۰ ×

۳- هزینه تعویض المنت‌های کارت ریج فیلتر

در سال ۴ × تومان بر المنت ۳۷۰۰ × المنت در هر فیلتر ۸۰ × فیلتر (۳)
 دولار بر سال ۳۹۰/۳۳ = تومان بر دلار ۹۱۰ / (تعویض

۴- هزینه تعمیر و نگهداری

هزینه تعمیر و نگهداری کل سیستم را معادل ۷ درصد کل هزینه سرمایه‌گذاری در نظر می‌گیریم.

۳۲۹/۰۰۰ دلار بر سال = ۴۷۰/۰۰۰ دلار × ۰/۰۷

هزینه‌های متغیر سناریوی اول

جدول ۳- هزینه مصرف مواد شیمیایی در سناریوی اول*

نام ماده شیمیایی	مقدار مورد نیاز (kg/yr)	قیمت واحد (Toman/kg)	هزینه (\$/yr)
H ₂ SO ₄ 98%	۴۶۸۳۵/۶	۲۴	۱۲۳۵
Anti-Scalant	۳۰۷۴/۷	۳۱۹۰	۱۰۷۷۸/۵
FeCl ₃	۷۸۸۴۰	۱۸۰	۱۵۵۹۴/۷
Flocculent	۴۷۳۲/۰۴	۳۱۲۲	۱۶۲۲/۸۹
Biocide (NaClO)	۱۲۷۳۵۶/۹	۴۹	۶۸۵۷/۶
MBS	۱۴۱۹۱/۲	۳۱۹	۴۷۷۴/۸
EDTA	۱۲۰	۲۵۰۰	۳۲۹/۶
Citric Acid	۱۲۰	۱۱۴۵	۱۵۰
PC55	۶۵۷۰**	۶۴۸۳	۴۶۸۰/۶
NaOH for New Clarifier	۲۸۳۸۲۴	۹۷	۳۰۲۵۳/۷
Excess NaOH for Clarifier of Train D	۳۸۵۴۴۰	۹۷	۴۱۰۸۵/۳
NaOH for IX Regeneration	۹۲۴۶۶	۹۷	۹۸۵۶
H ₂ SO ₄ 98% for IXs Regeneration	۲۰۸۰۵۰	۲۴	۵۴۸۷
DM Water for IXs Backwash	۱۹۱۰۱	۱۴۵۶	۳۴۰/۶۷

*. مبنای محاسبات اقتصادی مربوط به زمان اجرای پروژه در سال ۱۳۸۴ براساس ارزش هر دلار ۹۱۰ تومان می‌باشد.

** هر دو روز یکبار به مدت ۴ ساعت

با احتساب قیمت برق معادل $0.045 \text{ \$/Kwh}$ (در زمان اجرای پروژه) هزینه محاسباتی مصرف برق به صورت زیر است.

دلار بر سال $210108 = 0.045 \text{ \$/Kwh} \times (24 \times 365) \text{ hr/yr} \times (533 \text{ kW})$
در صورت نیاز به نصب پمپ‌های جدید به صورت سری در کنار پمپ‌های افزایش فشار فعلی در واحد یوتیلیتی به دلیل افزایش TDS، جهت اطمینان همان میزان مصرف برق فعلی معادل 332882 دلار بر سال را مجدداً در نظر می‌گیریم.

(۴) هزینه مصرف بخار فشار پایین

مصرف بخار به منظور حفظ دمای آب ورودی در ماه‌های سرد سال است.

روز در سال $120 \times \text{دلار بر تن بخار} \times 2/2 \times \text{تن در ساعت} \times 7/5$

دلار بر سال $47520 = \text{ساعت در روز} \times 24$

به همین ترتیب، می‌توان هزینه‌های ثابت و متغیر را برای سناریوی دوم محاسبه نمود. هزینه بهره‌برداری سناریوهای اول و دوم در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- هزینه بهره‌برداری سناریوهای اول و دوم

شماره سناریو	هزینه بهره‌برداری (دلار بر سال)
سناریوی اول	1360000
سناریوی دوم	1589000

بررسی اقتصادی دو سناریو و انتخاب ساختار بهینه نهایی جهت محاسبه قیمت آب بدون یون، ابتدا کل هزینه بهره‌برداری طی ۱۲ سال را با در نظر گرفتن نرخ بهره ۸٪ و عمر مفید ۱۲ سال، توسط رابطه زیر به هزینه سرمایه‌ای تبدیل کرده و با هزینه کل سرمایه‌گذاری جمع می‌نماییم. سپس عدد حاصل را بر کل تولید آب بدون یون طی ۱۲ سال تقسیم می‌کنیم. همان‌گونه که در جدول ۵ آمده، هزینه آب بدون یون تولیدی در سناریوی اول کمتر از سناریوی دوم است.

$$(5) \quad \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n}$$

در این رابطه i نرخ بهره و n عمر مفید سیستم می‌باشد.

جدول ۵- قیمت آب بدون یون (DM) سناریوهای اول و دوم

شماره سناریو	قیمت آب بدون یون (دلار بر مترمکعب)
سناریوی اول	0.7
سناریوی دوم	0.9

برای بررسی پارامترهای اقتصادی پروژه از محیط توابع مالی نرم افزار اکسل استفاده شده است. میزان عمر مفید کارکرد پروژه در هر دو سناریو، دوازده سال و نرخ بهره ۸٪ در نظر گرفته شده است. محاسبات توابع اقتصادی در جدول ۶ ارائه شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، سناریوی اول از پتانسیل و جذابیت اقتصادی مطلوب‌تری نسبت به سناریوی دوم برخوردار است. بنابراین ساختار بهینه نهایی همان سناریوی اول می‌باشد.

جدول ۶- بررسی پارامترهای اقتصادی سناریوهای اول و دوم در نرخ بهره ثابت ۸٪

پارامتر اقتصادی	سناریوی اول	سناریوی دوم
Sum 12-Yr. Savings	20543119 دلار	21057236 دلار
Payback	2.7 سال	4.4 سال
NPV	7093715 دلار	5173039 دلار
B/C Ratio	2.7	1.7
IRR	35٪	20٪

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییر آنالیز منابع آب و پساب همراه با محدودیت‌های سایت، سناریوهای مختلفی پس از بهینه‌سازی ریاضی شبکه ساختار کلی در کنار تجربیات بهره‌برداری پیشنهاد گردید که در نهایت دو سناریوی بهینه مورد توجه مجتمع قرار گرفت.

بر اساس جدول ۱، سناریوی دوم همانند سناریوی اول $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ آب بدون یون مورد نیاز را تولید می‌نماید. اما پساب املاح بالای کارخانه را به میزان زیادتری کاهش داده و صرفه‌جویی بیشتری در مصرف آب کارون به دنبال دارد. با این وجود سناریوی دوم به عنوان سناریوی بهینه انتخاب نشد.

سناریوی دوم با وجود صرفه‌جویی بیشتر در مصرف آب کارون و کاهش بیشتر پساب املاح بالا، از دیدگاه اقتصادی توانایی رقابت با سناریوی اول را ندارد. دلیل این امر این است که میزان سود حاصل از این سناریو هم‌زمان به اندازه افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری رشد نداشته است.

ضمناً قیمت آب بدون یون تولیدی در سناریوی اول کمتر از قیمت آب بدون یون تولیدی در سناریوی دوم خواهد بود. بنابراین سناریوی اول به عنوان جواب بهینه نهایی انتخاب می‌گردد.

علائم و نشانه‌ها

LSI: اندیس اشباع لانجلیر (Langelier Saturation Index) که توسط محاسبات آن می‌توان تمایل به رسوب‌گذاری یا خورنده بودن آب مورد نظر را به طور کیفی تعیین نمود.

Payback: زمان بازگشت سرمایه

NPV: خالص ارزش حال سرمایه‌گذاری

IRR: نرخ بازدهی داخلی (به عبارتی *IRR* نرخ بهره‌ای است که به ازای آن *NPV* مساوی صفر می‌شود)

B/C: نسبت سود بر هزینه

TH: سختی کل

CaH: سختی کلسیم

TDS: املاح محلول کل

TSS: کل ذرات معلق

M.Alk: قلیابیت کل (توسط تیتراسیون اسید سولفوریک در کنار معرف متیل اورانژ تا $\text{pH}:4.3$ تعیین می‌شود)

SRB: باکتری‌های احیا کننده سولفات

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیر عامل محترم مجتمع پتروشیمی رازی جناب آقای مهندس علی اکبر احمدی دشتی، ریاست محترم وقت یوتیلیتی مجتمع جناب آقای مهندس گرامیان و همچنین ریاست محترم پژوهش و توسعه مجتمع جناب آقای مهندس مجید پورسعادت، جهت راهنمایی‌های فنی و کاربردی ایشان به منظور دستیابی به طرح بهینه اقتصادی تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1]. Hensley J. C., (1985) *Cooling Tower Fundamentals*, 2nd ed., SPX Cooling Technologies, Inc., pp.7-33., 2006.
- [2]. Frank N. Kemmer, *The NALCO water handbook*, McGraw-Hill Inc., 2nd ed., 1988.
- [3]. Gololo K.V. and Majozi T., "On synthesis and optimization of cooling water systems with multiple cooling towers", *Ind. & Eng. Chem. Res. Journal.*, 2010
- [4]. Majozi T. and Moodley A., "Simultaneous targeting and design for cooling water systems with multiple cooling water supplies", *Computer and Chemical. Eng.*, Vol.32, pp.540-551. 2008.
- [5]. گوگل م.، کوهگرد، ب و کاظمی، ا.، «استفاده مجدد از آب‌های صنعتی و کاهش پساب با استفاده از روش انتگراسیون جرمی در پالایشگاه نفت تهران» پژوهشگاه صنعت نفت، گزارش نهایی، بهمن ۱۳۸۲.
- [6]. گوگل م.، دزواره، ح.، علاقه‌بند، م و با تقوی، ح.، «استفاده بهینه از مازاد بخار LP و استفاده مجدد از پساب‌های High TDS در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد(خانگیران)» پژوهشگاه صنعت نفت، گزارش نهایی، اسفند ۱۳۸۶.
- [7]. گوگل م.، زاروی، ا و گرامیان م.، «استفاده مجدد از زیرآب برج‌های خنک کننده با استفاده از روش بهینه‌سازی ریاضی در شرکت مجتمع پتروشیمی رازی» پژوهشگاه صنعت نفت، گزارش نهایی، خرداد ۱۳۸۵.
- [8]. Chichou and ST Dizier, "Operating Manual for Reverse Osmosis in Water Treatment Plant "D" Train of Razi Petrochemical Company", Degremont Co., pp. 7-24, 1997.