استفاده مجدد از زیرآب برج‌های خنک کننده در مجتمع پتروشیمی رازی

مهدی گوگل[۱*] و امیر زاروی[۲]
۱-پژوهشگاه صنعت نفت- پژوهشکده توسعه و بهینه‌سازی فن‌آوری‌های انرژی
۲- مجتمع پتروشیمی رازی- ناحیه ۲ بهره‌برداری
gougolm@ripi.ir

پژوهش نفت
سال بیست و سوم
شماره ۷۳
صفحه ۱۳۳-۱۲۴، ۱۳۹۲
تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۴/۱۹

چکیده

برج‌های خنک‌کننده از نوع تر، یکی از اصلی‌ترین مصرف کنندگان 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 خنک کننده ایجاد گردید. سپس مدل بهینه در غالب دو سناریو جهت کاهش مصرف آب خام و تولید زیرآب به همراه تامین آب بدون یون (DM) موردنیاز کارخانه، ارائه شد. نتایج سناریوی مورد تایید شامل تولید ۲۰۰ m^3/hr آب بدون یون مورد نیاز مجتمع، کاهش ۷۱٪ پساب‌های املاح بالا معادل ۴۸۰ m^3/hr و کاهش معادل ۲۸۰ m^3/hr در مصرف آب کارون می‌باشد که هم اکنون کاهش ۱۰۰ m^3/hr از این مرحله، در واحد آمونیاک۱ اجرایی گردیده است. جهت تعیین ملاک اقتصادی بودن طرح از توابع IRR، NPV و Payback استفاده گردید.

واژه‌های کلیدی: برج خنک کننده، کاهش مصرف آب، بهینه‌سازی ریاضی، اقتصاد طرح

مقدمه

به دلیل نیاز بیشتر فرآیندها به سیال خنک کننده با دمای پایین‌تر از دمای محیط، عمده عمل سرمایش در صنایع توسط برج‌های خنک کننده انجام می‌شود. بخش زیادی از آب مصرفی صنایع شیمیایی، در برج‌های خنک کننده 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 درگردش 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 رسوب گذاری 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)[1] آب درگردش 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 می‌شود.

پتروشیمی رازی دارای نه برج خنک کننده واحد آمونیاک ۱، واحد آمونیاک۲، واحد آمونیاک۳، واحد اوره۱، واحد اوره۲، واحد یوتیلیتی، واحد اسید سولفوریک قدیم، واحد اسید سولفوریک جدید و واحد شیرین سازی گاز می‌باشد.

برمبنای اطلاعات زمان اجرای پروژه یعنی سال ۱۳۸٤، برج‌های خنک کننده از آب کارون کلاریفایر شده (معروف به Sump Water) به عنوان منبع تأمین آب جبرانی استفاده می‌نماید. به دلیل تخلیه زیر آب برخی از برج‌های خنک کننده در زیر زمین و دبی کم زیرآب باقی‌مانده، چهار برج خنک کننده واحد یوتیلیتی، واحد شیرین‌سازی گاز، واحد اسید سولفوریک قدیم و جدید از مطالعه حذف گردیدند.

برج‌های 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 می‌نمایند. بنابراین حجم زیادی زیرآب، مخصوصاً در شرایط نامطلوب آب کارون از برج‌ها دور ریخته می‌شود. در این پژوهش، استفاده مجدد و کاهش حجم دور ریز زیرآب برج‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. سایر منابع آب قابل استفاده مجتمع، شامل آب دور ریز دستگاه اسمز معکوس منطقه یوتیلیتی و آمونیاک سوم می‌باشد.

لازم به ذکر است که مقادیر مربوط به آب دور ریز برج‌های خنک کننده به دلیل نوسان کیفیت آب رودخانه کارون و در نتیجه تغییر سیکل غلظت برج‌ها متغیر بوده و دراین 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 پساب‌های 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 ۲۰۰ m^3/hr آب بدون یون مورد نیاز مجتمع

ب) استفاده مجدد از زیرآب برج‌های خنک کننده (به دلیل حذف یا کاهش معضل پساب‌های املاح بالا)

ج) کاهش مصرف آب کارون

لازم به ذکر است در صورت سرمایه‌گذاری بر روی سیستم تقطیری[2] جهت تأمین ۲۰۰ m^3/hr آب بدون یون از آب دریا، تنها هدف اول مجتمع محقق خواهد شد.

تعیین سیستم تصفیه مناسب جهت کاهش غلظت املاح

جهت تصفیه آب‌های صنعتی حاوی املاح، یکی از روش‌های تبادل یونی، تکنولوژی استفاده از غشاء (اسمز معکوس و الکترودیالیز) و تقطیر و یا ترکیبی از این روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در انتخاب فرآیند مناسب برای کاهش املاح باید عواملی نظیر بازده و عملکرد فرآیند، هزینه‌های ثابت و عملیاتی و حجم پساب تولیدی آن بررسی شود. رزین‌های تعویض یونی برای حذف TDS در محلول‌های کم املاح، ارزان‌ترین روش است، اما هزینه این روش با افزایش غلظت به سرعت افزایش می‌یابد. با افزایش املاح به بیش از ppm ۱۰۰۰، سیستم‌های تبادل یونی غیر اقتصادی شده و هزینه سالیانه آنها بابت احیای رزین‌ها حتی بیش از هزینه سرمایه‌گذاری خواهد شد. دستگاه الکترودیالیز نیز در دامنه ورودی و خروجی این پروژه قابل استفاده نمی‌باشد، زیرا آب هایی با TDS حداکثر ppm ۲۰۰۰ را می‌تواند با راندمان اقتصادی مناسب تصفیه نماید. همچنین دستگاه الکترودیالیز تنها می‌تواند TDS آب ورودی را تا حدود ppm ۵۰۰ به صورت اقتصادی کاهش دهد. اما ناخالصی‌های غیریونی و کلوییدی آب باقی می‌مانند.

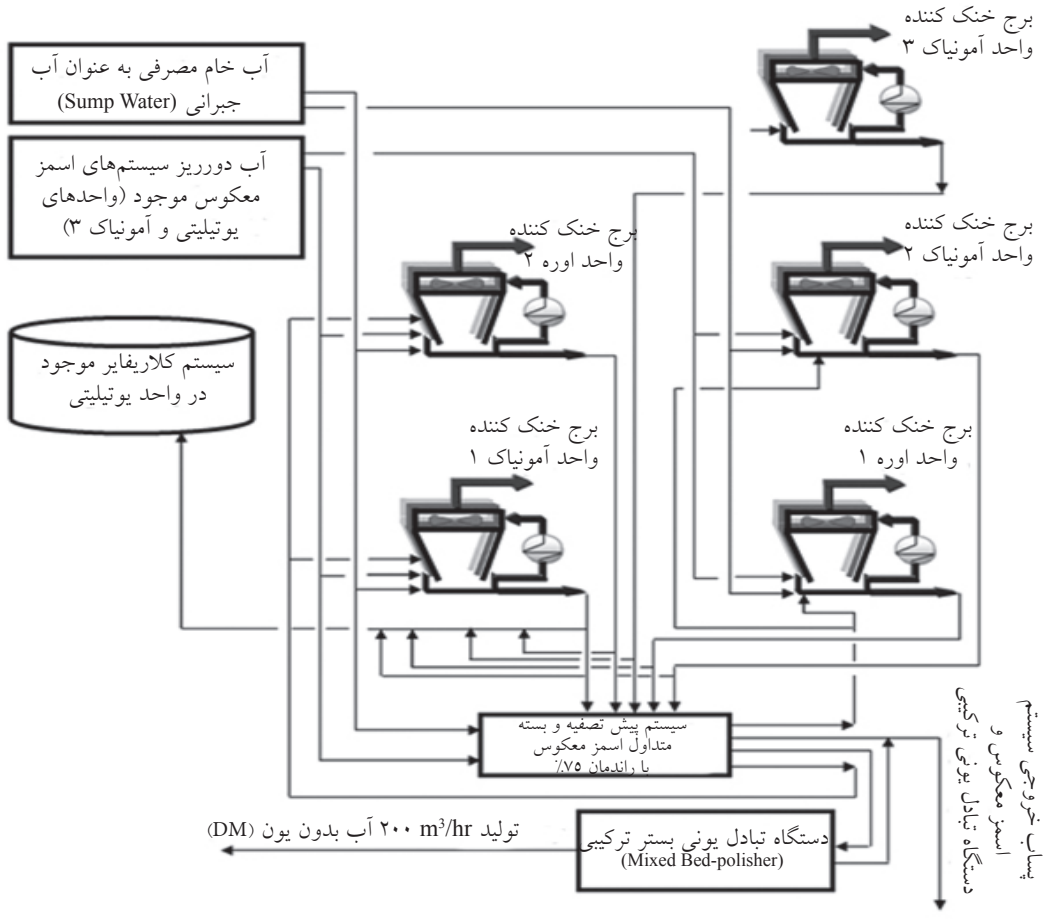
1. Langelir Saturation Index (LSI)
2. Multi Effect Distillation (MED)

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 شور[1] 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 دیگر، برخوردار است

مدل ساختار کلی

مدل ساختار کلی شامل تمامی شکل‌های ممکن و مورد تأیید بهره‌برداری، برای یک شبکه مصرف‌کننده آب می‌باشد [۳و٤]. 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 آمونیاک۱، ۲ و۳ و همچنین واحد اوره۱ و۲ 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.



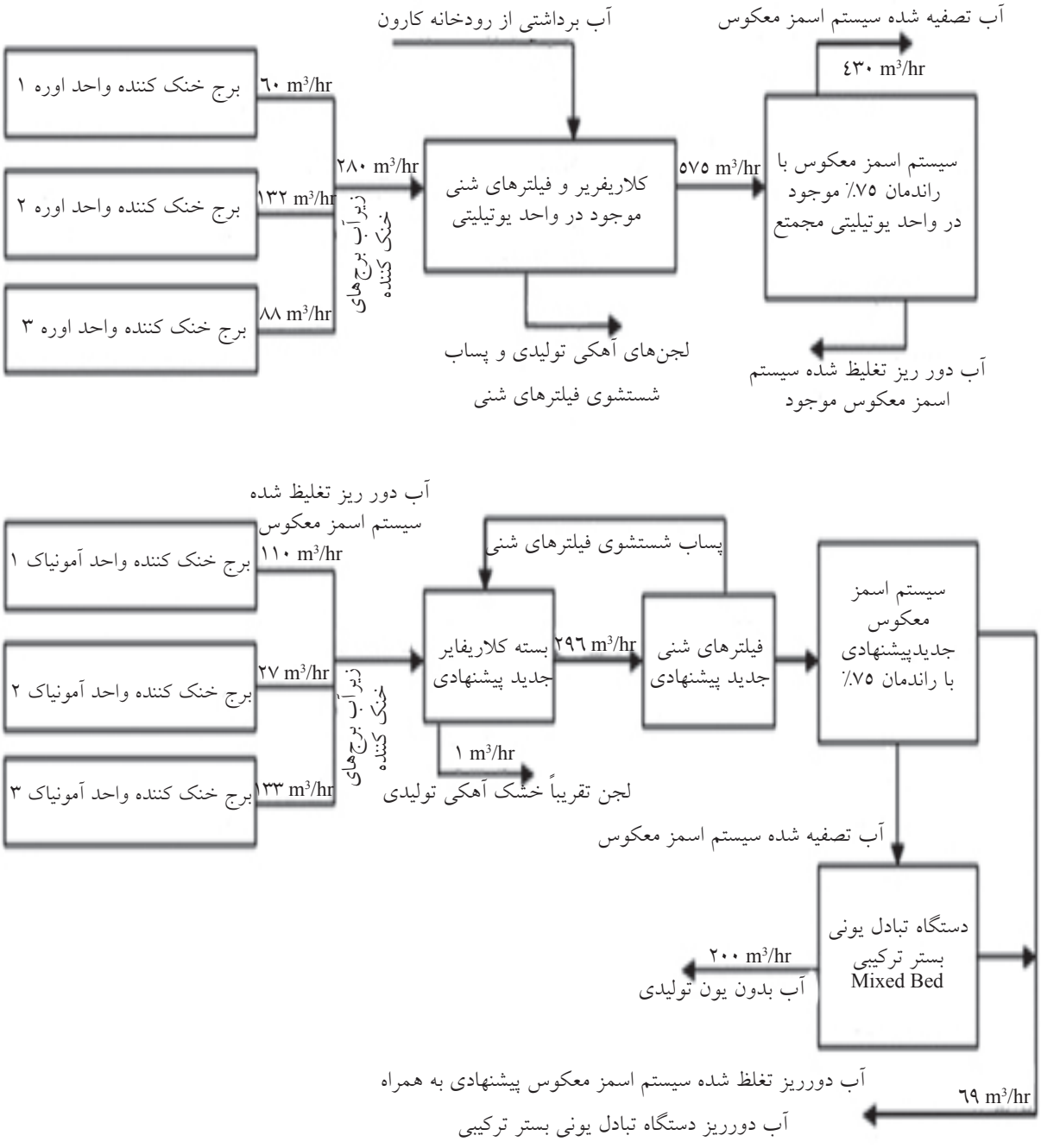
شکل ۱- مدل ساختار کلی پروژه (Superstructure Model)

1. Brackish Water

حل مدل ساختار کلی

ساختارهای بهینه نهایی پس از عمل بهینه‌سازی ریاضی براساس برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح[1] 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 قرارگرفت [۵-۷]. در این نرم‌افزار با وارد نمودن اطلاعات مربوط به قیمت انواع منابع تأمین آب، اطلاعات موادشیمیایی، اسید مصرفی، غلظت CaH, TDS, T.Fe, TH, TSS, SO_4^{2-}, SiO_2 ,Cl و M.alk 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 موادشیمیایی و میزان تبخیر محاسبه می‌شود. در این راستا هزینه عملکرد بهینه نیز ارایه خواهد شد. ضمناً کیفیت آب جبرانی و آب درگردش 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 آمونیاک۳ جمع‌آوری شده وبه کلاریفایر بتنی پیشنهادی با دبی ورودی ۳۰۰ m^3/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[2] جهت تولید ۲۰۰ m^3/hr آب بدون یون وارد خواهد شد. ساختار این سناریو در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین زیرآب برج‌های خنک کننده آمونیاک۱ و اوره ۱و۲ به کلاریفایرخط D مجتمع تزریق می‌شود. غشاءهای بسته اسمز معکوس موجود در واحد یوتیلیتی مجتمع، حداکثر تا TDS حدود ppm as $CaCO_3$ ۲۵۰۰ و فشار bar ۲۰ 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 غشاءها خواهیم رسید که TDS آب کارون در بدترین وضعیت ممکن و معادل ppm as $CaCO_3$ ۲۵۰۰ قرار داشته باشد. در هرحال 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

مواد سمی مذکور توسط جریان زیرآب برج خارج شده و به وسیله کلاریفایر و فیلترهای شنی حذف نمی‌شوند. بنابراین به غشاءها وارد گردیده و علاوه بر تخریب سطح غشاء، راندمان سیستم اسمز معکوس را نیز کاهش می‌دهند. بنابراین، جهت استفاده از این سناریو نباید از برنامه کمکی سمی نمودن آب درگردش استفاده کرد. چون در غیر این‌صورت در زمان سمی کردن آب درگردش، باید این سناریو را متوقف کرده و آب کارون را جایگزین زیرآب برج‌های خنک کننده نمود.

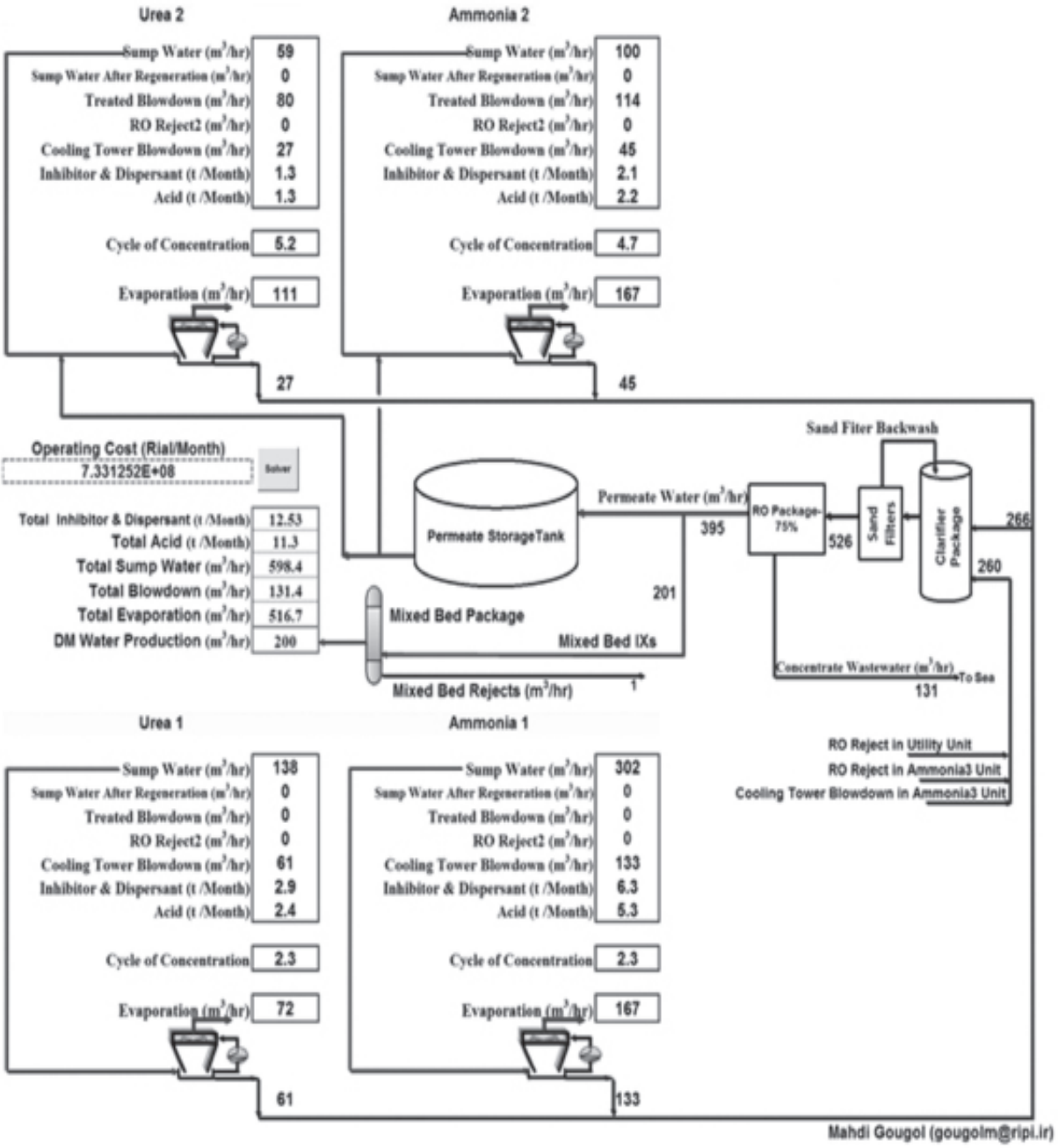
سناریوی دوم

زیرآب برج‌های خنک کننده آمونیاک۱،۲و۳ و همچنین اوره ۱و۲ به همراه پساب مرحله دوم دستگاه‌های اسمز معکوس واحد آمونیاک۳ و یوتیلیتی جمع آوری گردیده و به سیستم تصفیه جدید شامل کلاریفایر، فیلترهای شنی و پکیج کامل اسمز معکوس تزریق می‌گردد. جریان خروجی

از پکیج اسمز معکوس جدید به دو قسمت تقسیم می‌شود. بخش اول جهت تولید ۲۰۰ m^3/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 آمونیاک۲ و اوره۲ در نظر گرفته می‌شود.

ساختار این سناریو در شکل ۳ نمایش داده شده است.

بدیهی است که پس از تزریق آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس به برج‌های خنک کننده آمونیاک۲ و اوره۲، 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.



شکل ۳- ساختار بهینه سناریوی دوم

سودهای حاصل از اجرای پروژه

سود حاصل از تولید ۲۰۰ m^3/hr آب DM با قیمت معادل ۱/٦ دلار بر مترمکعب در هر دو سناریو مد نظر قرارگرفته است.

(۱)

$$۲۰۰\ m^3/hr \times (۲٤ \times ۳٦٥)\ hr/yr \times ۱/٦\ \$/m^3 = ۲ر۸۰۳ر۲۰۰\ \$/yr$$

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 ۱۰۰۰ریال 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 ۷ تن در ماه و اسید مصرفی حدود ۵ تن در ماه به دلیل افزایش سیکل غلظت برج‌های خنک کننده اوره ۲ و آمونیاک ۲ در سناریوی دوم به صورت زیر محاسبه شده است.

Inhibitor ZP8504: ((۱۹/۵–۱۲/۵) ton/ month ×۱۲ month/yr ×۲٦۲۰ $/ton) = ۲۲۱ ر٦۰٦ $/yr (۲)

Acid: ((۱٦/٦–۱۱/۳) ton/month ×۱۲ month/yr × ۲٤$ /ton)= ۱ر٥۲٦ $/yr (۳)

هزینه کل سرمایه گذاری

هزینه سرمایه گذاری سناریوی اول از یک شرکت کانادایی با شرایط مهندسی، خرید، ساخت، نصب و راه‌اندازی[1] در زمان اجرای پروژه در سال ۱۳۸٤ استعلام گردید. عمده تجهیزات دو سناریو شامل پکیج اسمز معکوس، پمپ‌های فشار بالا، کلاریفایر، فیلترهای شنی، دستگاه‌های تبادل یونی بستر ترکیبی، لوله‌کشی، ابزاردقیق و مخازن ذخیره، مشابه یکدیگر بوده و تنها ظرفیت آنها با هم متفاوت می‌باشد. بنابراین، با استفاده از رابطه ٤ هزینه سرمایه‌گذاری سناریوی دوم به دست می‌آید. در جدول ۲ هزینه سرمایه‌گذاری هر سناریو آورده شده است.

$$\left(\frac{\text{Capacity 1}}{\text{Capacity 2}}\right)^n = \left(\frac{\text{Price 1}}{\text{Price 2}}\right) \qquad (٤)$$

هزینه بهره‌برداری

هزینه بهره‌برداری شامل هزینه‌های ثابت[2] و هزینه‌های متغیر[3] می‌باشد. هزینه‌های ثابت متشکل از هزینه‌های تعمیر و نگهداری، تعویض غشاءها، تعویض المنت‌های کارتریج 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 ($/hr)
سناریوی اول	۰	۲۸۰	۲۰۰	۳ر۰۷۲ر۷۳۸
سناریوی دوم	۷	۳٤۰	۲۰۰	۳ر۳٥۲ر۱۰۳

*. مبنای محاسبات اقتصادی مربوط به زمان اجرای پروژه در سال ۱۳۸٤ براساس ارزش هردلار ۹۱۰ تومان می‌باشد.

جدول ۲– هزینه سرمایه‌گذاری سناریوهای اول و دوم

شماره سناریو	هزینه کل سرمایه گذاری (دلار)
سناریوی اول	٤ر۷۰۰ر۰۰۰
سناریوی دوم	۷ر۷۰۰ر۰۰۰

1. EPCC
2. Fixed Cost
3. Variable Cost

هزینه‌های ثابت سناریوی اول

۱- هزینه پرسنلی

درصورت حضور یک نفر در سایت و یک نفر در اتاق کنترل در چهار شیفت کاری با حقوق، مزایا و بیمه ماهانه ۴٫۰۰۰٫۰۰۰ تومان به ازای هر نفر نیاز خواهد بود.

(ماه در سال ۱۲ × تومان بر ماه ۴٫۰۰۰٫۰۰۰× ۴شیفت × نفر ۲)

دلار بر سال ۴۲۱٫۹۷۸ = تومان بر دلار ۹۱۰ /

۲- هزینه تعویض غشاءها هر سه سال یکبار

[(۶۰غشاء در ظرف×(۱۳غشاء مرحله اول+۲۶ غشاء مرحله دوم]

دلار بر سال ۷۰٫۹۸۰= (سال)۳ / دلار بر ممبران ۹۱۰ ×

۳- هزینه تعویض المنت‌های کارتریج فیلتر

در سال ۴×تومان بر المنت ۳۷٫۰۰۰×المنت در هر فیلتر ۸۰×فیلتر۳)

دلار بر سال ۳۹٫۰۳۳ = 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= ۴٫۷۰۰٫۰۰۰ دلار × ۰/۰۷

هزینه‌های متغیر سناریوی اول

۱- هزینه تعویض رزین‌های دستگاه تبادل یونی بستر ترکیبی

دلار بر سال ۶۳۰۰ = شارژ و جبران رزین از دست رفته

دلار بر سال ۲۶۰۰۰ = تعویض رزین‌های آنیونی

۲- هزینه مواد شیمیایی سناریوی اول که در دستگاه کلاریفایر جدید، بسته اسمز معکوس پیشنهادی و دستگاه 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 دستگاه اسمز معکوس جدید (۵۵ kW) و پمپ‌های انتقال آب تصفیه شده به سمت مخزن نگهداری آب بدون یون (۵۰ kW).

جدول ۳- هزینه مصرف مواد شیمیایی در سناریوی اول*

نام ماده شیمیایی	مقدار مورد نیاز (kg/yr)	قیمت واحد (Toman/kg)	هزینه ($ /yr)
H_2SO_4 98%	۴۶۸۳۵/۶	۲۴	۱۲۳۵
Anti-Scalant	۳۰۷۴/۷	۳۱۹۰	۱۰۷۷۸/۵
$FeCl_3$	۷۸۸۴۰	۱۸۰	۱۵۵۹۴/۷
Flocculent	۴۷۳/۰۴	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	۴۶۸۰۶
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_2SO_4 98% for IXs Regeneration	۲۰۸۰۵۰	۲۴	۵۴۸۷
DM Water for IXs Backwash	۱۹۱۰۱	۱۴۵۶	۳۴۰۶۷

*. مبنای محاسبات اقتصادی مربوط به زمان اجرای پروژه در سال ۱۳۸۴ براساس ارزش هردلار ۹۱۰ تومان می باشد.

**. هردو روز یک‌بار به مدت ۴ ساعت

با احتساب قیمت برق معادل ۰/۰۴۵ $/Kwh (در زمان اجرای پروژه) هزینه محاسباتی مصرف برق به صورت زیر است.

(۵۳۳ kW×(۲۴×۳۶۵)hr/yr)×۰/۰۴۵ $/Kwh=۲۱۰ر۱۰۸ دلار برسال

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 ۳۳۲ر۸۸۲ 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 ۱۲۰ × دلار بر تن بخار ۲/۲ × تن در ساعت ۷/۵ ×

دلار بر سال ۴۷ر۵۲۰ = ساعت در روز ۲۴

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

هزینه بهره‌برداری (دلار بر سال)	شماره سناریو
۱ر۳۶۰ر۰۰۰	سناریوی اول
۱ر۵۸۹ر۰۰۰	سناریوی دوم

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.

$$\frac{(1+i)^n-1}{i\times(1+i)^n} \qquad (۵)$$

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

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

قیمت آب بدون یون (دلار بر مترمکعب)	شماره سناریو
۰/۷	سناریوی اول
۰/۹	سناریوی دوم

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٪

سناریوی دوم	سناریوی اول	پارامتر اقتصادی
۲۱ر۱۵۷ر۲۳۶ دلار	۲۰ر۵۴۳ر۱۱۹ دلار	Sum 12-Yr. Savings
۴/۴ سال	۲/۷ سال	Payback
۵ر۱۷۳ر۰۳۹ دلار	۷ر۵۹۳ر۷۱۵ دلار	NPV
۱/۷	۲/۷	B/C Ratio
٪۲۰	٪۳۵	IRR

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 قرارگرفت.

بر اساس جدول ۱، سناریوی دوم همانند سناریوی اول ۲۰۰ m^3/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 صرفه جویی 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: قلیاییت کل (توسط تیتراسیون اسید سولفوریک در کنار معرف متیل اورانژ تا 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.

[۵]. 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.

[٦]. 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 ۱۳۸٦.

[۷]. 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.