تحلیل اقتصادی و اجرایی تأسیسات شیرین‌سازی آب خلیج‌فارس در کنار نیروگاه هسته‌ای بوشهر با روش حرارتی MED

سعید خیراللهی
عبدالرضا صالحیان دهکردی
عزیزاله میرسمیعی
شرکت تولید و توسعهٔ انرژی اتمی ایران

مقاله علمی

چکیده

در این مقاله محاسبات مربوط به احداث و بهره‌برداری سیستم شیرین‌سازی آب در جوار نیروگاه اتمی بوشهر با استفاده از ویرایش پنجم نرم‌افزارهای DEEP و DE-TOP انجام شده است. این دو نرم‌افزار را آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تهیه کرده و برای محاسبات مربوط به سیستم‌های شیرین‌سازی آب ارائه داده است. با توجه به اینکه در این محاسبات از پارامترهای واقعی نیروگاه بوشهر استفاده شده است، نتایج آن می‌تواند در راستای تحلیل امکان‌سنجی احداث این تأسیسات در کنار نیروگاه بوشهر برای شیرین‌سازی آب خلیج‌فارس استفاده شود. در این مطالعه تحلیل اقتصادی و استخراج قیمت هر مترمکعب آب شیرین تولیدی با در نظر گرفتن پارامترهای معتبر بهره‌برداری نیروگاه بوشهر صورت گرفته و منحنی‌های تحلیل حساسیت از دیدگاه‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار DEEP بیان می‌شود. تحلیل ترموهیدرولیکی برای انتخاب محل مناسب اتصال سیستم شیرین‌سازی آب نیز با در نظر گرفتن پارامترهای متعدد مدار دوم با استفاده از نرم‌افزار DE-TOP انجام می‌شود.

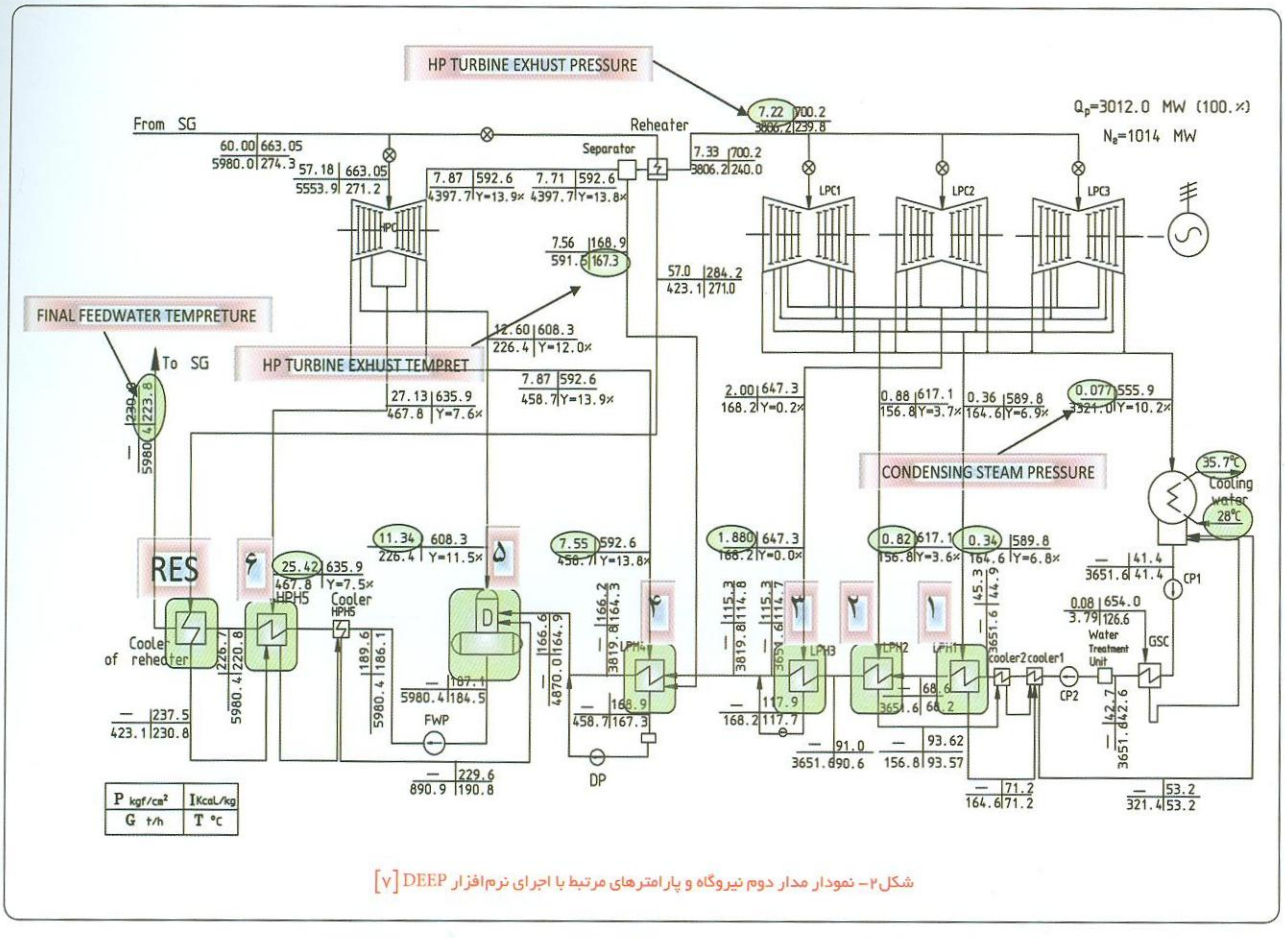
واژگان کلیدی: نیروگاه هسته‌ای، تأسیسات شیرین‌سازی آب حرارتی MED،DEEP و DE-TOP

۱- مقدمه

از سـال‌های پایانی قرن بیسـتم کمبود آب و خشک‌سالی خود را به شکل بحرانی فراگیر نشـان داد. در ۲۰۰۳ حدود ۱/۱میلیارد نفر در جهان از دسترسی به آب آشامیدنی سـالم محروم بوده‌انـد. مجامع جهانی، به‌ویژه سـازمان ملل متحد بـا پرداختن به این موضوع بر اهمیت بحران آب و ضرورت مقابله با آن تأکید کردند تاجایی‌که سـال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ با شعار آب برای زندگی نام‌گذاری شدند.

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که کشورهای با درآمد سرانهٔ کم و تنش آبی زیاد که تا ۲۰۲۵ جمعیتی معادل ۷میلیارد نفر خواهند داشت، اولین قربانیان بحران آب خواهند بود (شـکل۱). کمبود و کاهش کیفیت منابع آب آشامیدنی در جهان به بحران در بسیاری از کشـورها، به‌ویژه خاورمیانه منجر شده است. شاخص‌ها بیانگر وجود بحرانی جدی ناشی از کمبود منابع آب تجدیدشوندهٔ قابل‌استحصال، آلودگی منابع آب ناشی از فاضلاب‌های صنعتی، شـهری و کشـاورزی، افزایش مصرف آب و مسائل امنیتی در کشورهایی مانند امارات، کویت و فلسـطین اسـت. ایران نیـز با توجه به قرار گرفتن در اقلیم خشـک و کم‌بارش در معرض بحران آب قرار دارد، تاجایی‌که پیش‌بینی می‌شود در افق ۱۴۰۰ به ۱۱۳میلیارد مترمکعب آب نیاز باشد که جبران کمبود این مقدار آب باید از منابع گوناگون همچون شیرین‌سـازی آب‌های شـور مانند آب خلیج‌فارس، دریای عمان و دریاچهٔ خزر، تأمین شود[۱].

مطالعهٔ اخیر نیز با توجه به اهمیت این موضوع انجام شـده و به نظر می‌رسد بتواند در آینـدهٔ نزدیـک به منزلهٔ راهکاری مناسـب و مؤثر برای تأمین منابـع آب نامتعارف، به‌خصوص با استفاده از رآکتورهای مدولار کوچک پیشرفته استفاده شود.



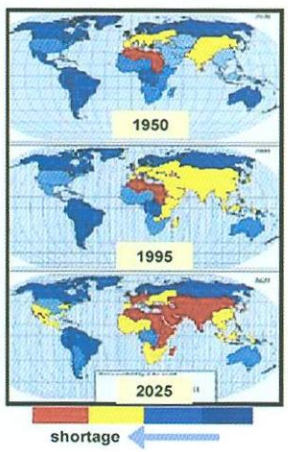
شکل۲- نمودار مدار دوم نیروگاه و پارامترهای مرتبط با اجرای نرم‌افزار DEEP [۷]

Design and Performance Characteristics	Value
Main parameters of the secondary side:	
Main steam design pressure /Live steam pressure Mpa	6/72
Main steam design tempreture /Live steam tempreture , °C	279
Steam temperature before LPC/Reheated steam tempreture, °C	240/0
Other parameters:	
Condenser design pressure/Feedwater discharge pressure (at cooling water temperature +28 °C), kPa	7/22
Expected feed water temperature/Final feedwater tempreture , °C	220
BNPP Thermal power, MWt	3000
Main condenser pump pressure head ,Bar	1/1
Condenser outlet tempreture, °C	40/4
Turbine generator efficency	98/71

جدول۱- برخی از پارامترهای اصلی استفاده‌شده در اجرای نرم‌افزارهای DEEP و DE-TOP

ردیف	تأسیسات/شهرک	میزان مصرف متوسط (m³/day)	میزان مصرف پیک (m³/day)	ملاحظات
۱	سایت نیروگاه اتمی		۹۵۷	مرداد ۱۳۹۱
۲	شهرک مروارید		۲۲۶۰	مرداد ۱۳۹۱
۳	کمپ روس‌ها		۱۴۳۴	مرداد ۱۳۹۱
۴	کمپ صدف		۴۹۷	دی ۱۳۹۱
۵	بندرگاه		۶۰۹	شهریور ۱۳۹۱
۶	شهرک هلیله		۵۶۱	مرداد ۱۳۹۱
۷	عالی‌شهر	۲۸۶۴		متوسط مصرف ۱۳۹۱
۸	چغادک	۲۴۱۹		متوسط مصرف ۱۳۹۱
۷	شهر بوشهر	۴۵۲۰۰		متوسط مصرف ۱۳۹۱
۸	استان بوشهر (مرجع)	(۱۹۰۰۰۰) ۱۴۳۰۰۰		متوسط مصرف ۱۳۹۱

جدول۲- اطلاعات جمع‌آوری‌شده دربارهٔ میزان مصارف آب منطقهٔ بوشهر و شهرک‌ها با رعایت اولویت نزدیکی به ساختگاه نیروگاه بوشهر[۳]



شکل۱- تشدید بحران آب و پیش‌بینی چگونگی فراگیر شدن آن تا ۲۰۲۵

طرح‌واره
با طرح بارگذاری موثر تماس کنید

۲- فرضیات

در مراحل اجرای نرم‌افزارهای DEEP[1] و DE-TOP[2] فرض‌هایی به این شرح رعایت شده‌اند:

- تأخیرات زمانی طولانی که در روند ساخت و بهره‌برداری نیروگاه بوشهر اتفاق افتاده، تا حدود زیادی لحاظ نشده‌اند؛
- نرخ‌های تورم و تنزیل با توجه به شرایط اقتصادی ناپایدار در کشور و فقدان مرجع قابل‌اتکا و شرایط خاص پروژه‌های صنعتی، به‌طورمشورتی با کارشناسان برنامه‌ریزی و اقتصادی استخراج شده است[۴]؛
- در اجرای نرم‌افزارهای DEEP و DE-TOP شرایط نیروگاه از لحاظ بهره‌برداری، شرایط عادی و بر اساس قدرت ۱۰۰درصد در نظر گرفته شده و شرایط گذرا و حادثه در اجرای آنها مطرح نیست[۲]؛
- به لحاظ در دسترس بودن فنّاوری طراحی و ساخت سیستم‌های آب‌شیرین‌کن حرارتی MED[3] در کشور، سیستم شیرین‌سازی آب از نوع MED در نظرگرفته شده است[۱]؛
- به لحاظ مصرف فعلی استان بوشهر ۱۴۳ m^3/dayهزار و برآورد رشد سالانهٔ شش‌درصدی، برای پنج سال آینده، ظرفیت آب شیرین موردنیاز استان ۱۹۰ m^3/dayهزار برآورد شده است[۳]؛
- بر اساس مطالعات آزمایشگاهی روی آب خلیج‌فارس TDS این آب معادل ۴۵هزارمیلی‌گرم در لیتر است[۶]؛
- به‌طورمتوسط هر دلار امریکا معادل ۳۰۰۰۰ریال در نظر گرفته شده است؛

برخی از مهم‌ترین پارامترهای استفاده‌شده در اجرای این دو نرم‌افزار در جدول ۱ و شکل ۲ آمده است[۷].

۳- نتایج اجرای نرم‌افزارهای DEEP و DE-TOP

با توجه به نتایج اجرای نرم‌افزار DEEP که در شکل۳ آمده است، قیمت هر مترمکعب آب حدود ۱/۶دلار به‌طورخالص (بدون در نظر گرفتن مدار میانی و هزینهٔ حمل‌ونقل) به‌دست می‌آید که هزینهٔ ریالی آن معادل ۴۸۰۰۰ریال خواهد بود. درنهایت قیمت هر لیتر آب خروجی از سیستم شیرین‌سازی آب معادل ۴۸ریال است. لازم به ذکر است این هزینه، هزینهٔ ساخت به مدت ۵۰ماه، بهره‌برداری، تعمیرات و نگهداری برای ۲۰سال یک سیستم آب‌شیرین‌کن با ظرفیت ۱۹۰هزار مترمکعب آب است[۳و۴].

پس از آنالیز حساسیت با استفاده از نرم‌افزار DEEP مطابق شکل۴، به‌روشنی می‌توان مشاهده کرد در صورت افزایش ظرفیت تولید آب به ۲۷۰هزار مترمکعب در روز، در قیمت واحد آب تغییر چندانی مشاهده نخواهد شد و مقدار عددی دلار در حد یک‌صدم تغییر خواهد داشت.

نرم‌افزار DE-TOP چهار مرحلهٔ ورودی اطلاعات و اجرا دارد که پس از اجرای همهٔ این مراحل همان‌طور که در شکل۵ مشاهده می‌شود، این نرم‌افزار نمودار مدار دوم نیروگاه بوشهر را به آن صورت شبیه‌سازی می‌کند و ارائه می‌دهد.

در قسمت پایین نمودار، الزاماتی برای انتخاب محل ورودی آب و بخار از مدار دوم به تأسیسات شیرین‌سازی آب محاسبه و بیان می‌شود که بر اساس این الزامات، باید محل ورودی آب و بخار بر نمودار مشخص شود. خروجی محاسبه‌شده که در شکل قابل‌مشاهده است، حداقل دمای موردنیاز برای ورود آب و بخار به سیستم آب شیرین را ۸۰/۵درجهٔ سانتی‌گراد مشخص می‌کند که این حداقل دما با دریافت بخار از زیرکش سوم توربین فشار ضعیف (شکل۵) برآورده خواهد شد.

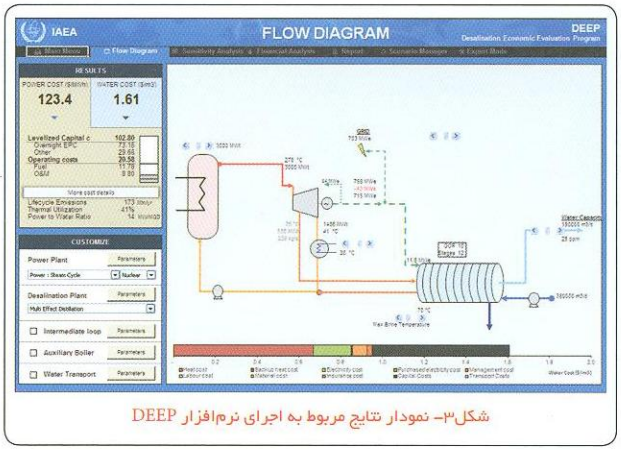
برای ایجاد حداقل اتلاف و هدررفت انرژی حرارتی در نیروگاه و به‌خصوص مدار دوم، خروجی آب و بخار تأسیسات شیرین‌سازی آب باید به نزدیک‌ترین پیش‌گرم‌کننده تزریق شود[۲ و ۳].

۴- نتیجه‌گیری

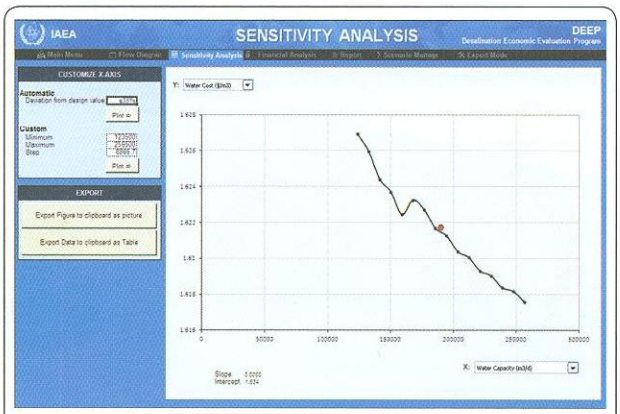
با اتصال سیستم شیرین‌سازی آب از نوع MED با ظرفیت تولید ۱۹۰هزار مترمکعب در روز (برای استان بوشهر) به زیرکش سوم توربین فشار پایین و دریافت آب شورخلیج‌فارس با TDS ۴۵۰۰۰میلی‌گرم در لیتر(ppm)، می‌توان آب شیرین با TDS ۵میلی‌گرم در لیتر به قیمت هر لیتر ۴۸ریال تولید کرد.

لازم به ذکر است بر اساس محاسبات با نرم‌افزار DE-TOP، میزان افت قدرت الکتریکی نیروگاه اتمی بوشهر با تولید این میزان آب شیرین، معادل ۱۱/۴درصد خواهدبود.

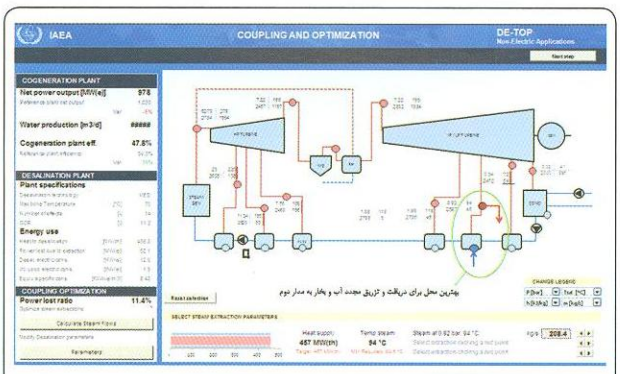
1. Desalination Economic Evaluation Program
2. Desalination Thermodynamic Optimization Program
3. Multi Effect Desalination



شکل۳- نمودار نتایج مربوط به اجرای نرم‌افزار DEEP



شکل۴- نمودار خروجی آنالیز حساسیت تأثیر افزایش ظرفیت بر قیمت



شکل ۵ - نمودار شبیه‌سازی مدار دوم نیروگاه بوشهر

منابع و مراجع

۱- ادیب فراکبر، مبانی و روش‌های شیرین‌سازی آب، آذر۱۳۸۹؛

۲- شرکت بهره‌برداری نیروگاه اتمی بوشهر، گزارش خلاصه وضعیت عملکرد واحد اول نیروگاه اتمی بوشهر، دی ۱۳۹۱؛

۳- اطلاعات جمع‌آوری‌شده از سازمان آب و فاضلاب منطقه بوشهر و بخش آب‌رسانی نیروگاه اتمی بوشهر، اسفند ۱۳۹۱؛

۴- اطلاعات اخذشده دربارهٔ نرخ‌های اقتصادی رسمی و قیمت سوخت و تغییرات آنها؛

۵- قرارداد تأمین سوخت نیروگاه اتمی بوشهر؛

6- INCO-Physical baseline measurements and analysis in adjacent Waters of the Bushehr Nuclear Power Plant- 1388;

7- FSAR-Chapter 10-part 1;

8- International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2000-Technical Report Series No. 400.

9- International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2006-Computer Manual Series No. 19.

مخاطب فرهیخته! دیدگاه‌های ارزشمند خود را دربارهٔ «مقاله‌های علمی» با تحریریهٔ «تازه‌های انرژی» در میان بگذارید.
تلفن: ۸۸۵۳۰۰۲۰، دورنگار: ۸۸۵۴۲۶۸۸، پیامک: ۳۰۰۰۵۹۱۱۲۲