

بهینه‌سازی انتخاب فناوری با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی

عدد صحیح مختلط در جزیره سیری

امیر وصالی ناصح، رامین روشندل*

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه سیستم‌های انرژی

پیام نگار: Roshandel@sharif.edu

چکیده

افزایش آلودگی زیست‌محیطی حاصل از پساب‌های صنعتی، بهداشتی و هزینه‌های بالای واحدهای آب شیرین کن و چاه آب به دلیل مصرف قابل توجه برق، نیاز به انواع فناوری‌های تصفیه پساب را بیشتر کرده است. همچنین بهبود کیفیت نفت صادراتی از نظر میزان نمک موجود در آن و کاهش هزینه‌های نمک‌زداها از دیگر مسائل پر اهمیت در بالادستی نفت و گاز است. در مقاله حاضر فناوری‌های مورد استفاده در سطوح متفاوت انرژی در بالادستی با در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی، سرمایه‌گذاری و عملیاتی به عنوان تابع هدف با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. فناوری‌ها شامل چهار دسته نمک زدای الکتروستاتیک، تصفیه پساب صنعتی، تصفیه پساب بهداشتی و آب شیرین کن‌ها می‌باشند. در هر یک از گروه‌های فناوری، شاخص‌های مقایسه بین واحدها تعیین‌کننده برتری فناوری در بازه‌های زمانی در طول سال است. با به کار بردن مدل بسط داده شده در منطقه نفتی جزیره سیری اولویت انتخاب فناوری‌ها در شرایط محیطی تعیین شده است.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط، بالادستی نفت و گاز، نمک‌زدای الکتروستاتیک، تصفیه پساب‌های

بهداشتی و صنعتی

۱- مقدمه

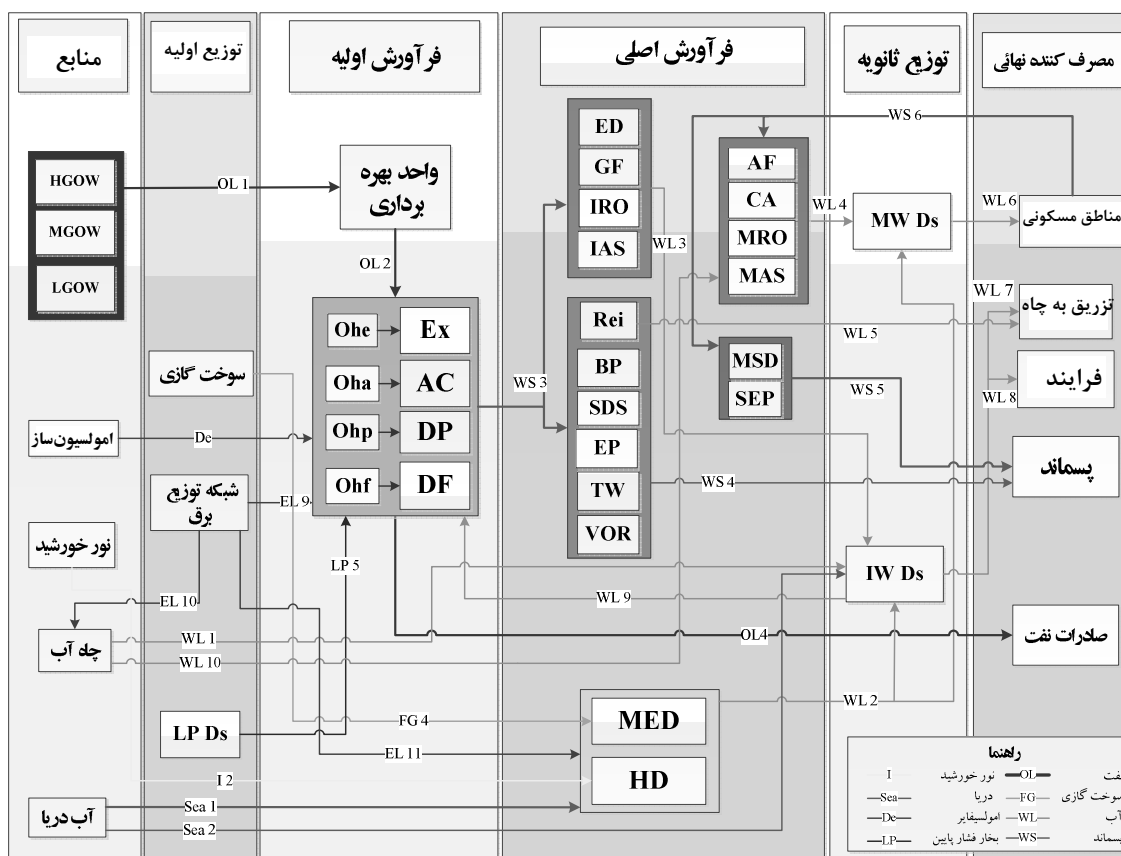
هرناندز سنکو^۱ اشاره کرد [۱]. کارهای مشابه به روش مقاله حاضر بوسیله آنتونس و همکارانش^۲ و فریدلر و همکارانش^۳ در سیستم‌های بوتیلیتی و تولید توان با تاثیر هزینه‌های زیست‌محیطی فرایندها بسط داده شده است [۳-۲]. در مقاله حاضر با مقایسه دو دسته فناوری‌های تصفیه پساب (بهداشتی و صنعتی)، فناوری‌های الکتروستاتیک نمک‌زدایی (معمولی، AC^۴، DP^۵، DF^۶) و فناوری آب

آب همراه نفت شامل مجموعه‌ای از پساب‌های صنعتی است که از کیفیت و ارزش نفت کاسته و همواره باعث آلودگی زیست‌محیطی خواهد شد. توسعه و بکارگیری فناوری‌های موجود و نوین همچنین گسترش کاربرد مدل‌سازی ریاضی برای یافتن چینه‌بینه فناوری‌ها بسیار مفید خواهد بود. کارهای بسیاری در زمینه مقایسه فناوری‌های تصفیه پساب انجام شده است، از آن جمله می‌توان به مقایسه فناوری‌های تصفیه پساب بهداشتی براساس هزینه‌های کل سیستم با تابعیت شدت جریان ورودی و غلظت پساب توسط

1. Hernandez-Sancho
2. Antunes
3. Friedler
4. Alternating Current
5. Dual Polarity
6. Dual Frequency

با توجه به اینکه در دماهای بالا جداسازی نمک از نفت سریع‌تر صورت می‌گیرد، نفت قبل از ورود به واحد نمک زدایی (DE) نیاز به یک مرحله پیشگرم کن (OP) دارد که هر کدام از فناوری‌های الکتروستاتیک نمک زدایی بسته به نوع سیستم کارکرد، به یک دمای ورودی خاصی نیاز دارد. بدین منظور فناوری‌های الکتروستاتیک در این پروژه همراه با پیشگرم کن خاص خود برای رساندن به دمای مطلوب مورد نیاز خود مقایسه می‌شوند. همچنین دلیل هزینه‌های بالای استخراج آب از چاه می‌توان از واحدهای آب شیرین کن آب دریا برای تأمین تقاضای آب مصرفی مناطق مسکونی بهره گرفت. با توجه به شکل در هر یک از واحدهای نمک‌زدایی، شیرین‌سازی آب دریا، تصفیه پساب صنعتی و تصفیه پساب بهداشتی سبب انتخاب فناوری برای بهینه کردن سیستم اتخاذ شده است، که سعی شده است از فناوری‌های نوین و پر کارآمد بهره گرفته شود. در بخش‌های بعدی علائم و اختصارات مشخص شده‌اند.

شیرین کن (خورشیدی HD¹، تقطیری MED²) با هدف کمینه کردن هزینه‌های سرمایه‌گذار، عملیاتی، زیست‌محیطی با روش برنامه ریزی عدد صحیح مختلط فناوری‌های بهینه انتخاب می‌شوند. برای چینش فناوری‌های موجود در کنار یکدیگر و ارتباط بین جریان‌های ورودی، خروجی در حالت رقابتی، دستیابی به طرح فراساختار³ فناوری ناگزیر است. شکل (۱) فراساختار چینش‌های ممکن را مشهود می‌نماید. با توجه به این شکل چینش فناوری‌های موجود بر اساس تقاضای آب صنعتی (WL₈)، آب بهداشتی (WL₆)، نفت صادراتی است. مصارف آب صنعتی شامل آب مورد نیاز فرایند (Pr)، تزریق به چاه (IW) می‌باشد. برای تأمین آب صنعتی از تصفیه کامل پساب صنعتی (IWT)، شیرین‌سازی آب دریا (DW) و چاه‌های آب (WW) بهره گرفته شده است و برای تأمین آب مناطق مسکونی از تصفیه پساب بهداشتی (MW Ds) بازگشتی از مناطق مسکونی (WL₄) و شیرین‌سازی آب دریا (WL₂) بهره گرفته می‌شود.



شکل ۱- نمودار جریان انرژی طرح پیشنهادی در بالادستی نفت و گاز

1. Humidifier-Dehumidifier
2. Multi Evaporation Distillation
3. Super structure

۲- صنایع بالادستی نفت و گاز (UOG)

صنایع بالادستی نفت و گاز عبارتی است که عمدتاً به بخش جستجو، اکتشاف، حفاری و تولید نفت خام اشاره دارد. صنایع بالادستی گاهی با نام اکتشاف و تولید نفت خام شناخته می‌شوند. به طور کلی نفت خام پس از استخراج از چاه‌های نفتی و قبل از آن که برای صادرات بارگیری شده یا به عنوان خوراک اولیه در اختیار پالایشگاه‌های نفت قرار گیرد، در صنایع بالادستی فرآوری می‌شود. بخش‌های مختلف یک منطقه نفتی را با دنبال کردن جریان انرژی در سامانه مرجع انرژی که در بخش بالادستی نفت شناسایی می‌باشند و واحدهای زیر مجموعه این سطوح به ترتیب قرار گرفتن در مسیر جریان سطح انرژی معرفی می‌شوند:

- منابع انرژی
- سطح فرآوری اولیه
- سطح انتقال
- سطح فرآوری اصلی
- سطح تبدیل انرژی
- سطح توزیع انرژی
- سطح مصرف‌کننده نهایی

۳- مدل ریاضی

مدل‌سازی سیستم براساس مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، مختلط است که تابع هدف در برنامه‌ریزی ریاضی، تابعی است که منظور از حل مدل، بهینه کردن آن است. در این پژوهش طبق رابطه کمینه کردن کل هزینه‌های همتراز شده سالانه سیستم مورد نظر است [۴].

$$Fc = w_1(CC_t + OC_{ann}F_{ann}) + w_2EC_{ann}F_{ann} \quad (1)$$

$$F_{ann} = \left((1+i)^n - 1 \right) / i (1+i)^n \quad (2)$$

هزینه سرمایه‌گذاری فناوری‌های تصفیه پساب صنعتی و آب‌شیرین کن‌ها وابسته به زمان است که از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$CC_{ann} = \sum_j h_j \sum_i f_{ij} CAP_{ij} cc_i \quad (3)$$

هزینه‌های سرمایه‌گذاری فناوری‌های تصفیه پساب بهداشتی و نمکزدای الکتروستاتیک ثابت و مستقل از زمان است:

$$CC_t = \sum_i f_i CAP_i cc_i \quad (4)$$

CC_t ، h_j ، cc_i و f_i به ترتیب ظرفیت، تعداد ساعت‌های کارکرد در سال، هزینه سرمایه‌گذاری و متغیر عدد صحیح مربوط به هر فناوری می‌باشد. هزینه‌های دیگری که سالانه برای هر فناوری تعریف می‌شود، شامل هزینه‌های عملیاتی و زیست‌محیطی است که در بازه زمانی بسته به میزان تقاضای واحد متغیر است. روابط (۵) و (۶) به ترتیب هزینه‌های عملیاتی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهند.

$$OC_{ann} = GP \sum_j h_j \times \sum_k \sum_g FG_{gk} \quad (5)$$

$$EC_{ann} = \sum_j h_j \times \sum_k EC_k \times \sum_g FG_{gkj} \quad (6)$$

۳-۱ مدیریت تصفیه پساب بهداشتی

برای تأمین آب مصرفی مناطق مسکونی از واحدهای تصفیه پساب بهداشتی و یا شیرین‌سازی آب دریا می‌توان بهره برد. لیست فناوری‌های پساب بهداشتی در جدول‌های (۱) و (۲) آمده است.

جدول ۱- هزینه واحدهای تصفیه پساب بهداشتی

با تصفیه فیزیکی [۵]

هزینه (\$/m ³)		تجهیز		
زیست‌محیطی	عملیاتی	سرمایه‌گذاری	نوع	نماد
۹/۶۱۲	۰/۳۵۴	۰	دفع ساده	MSD
۱/۹۲۲	۰/۵۳۷	۲۶۶۶/۶	مخازن سپتیک	SEP

جدول ۲- هزینه واحدهای تصفیه پساب بهداشتی

با تصفیه کامل [۵]

هزینه (\$/m ³)		تجهیز	
عملیاتی	سرمایه‌گذاری	نوع	نماد
۱/۱۸۱	۳۷۳۰	جذب با کربن	CA
۲/۰۴۱	۵۳۳۰	اسمز معکوس	MOS
۰/۲۹۳	۳۰۵۸	لجن فعال	MAS
۰/۶۹۸	۲۸۸۰	فیلتر پیشرفته	AF

۲-۲ مدیریت تصفیه پساب صنعتی^۱

پساب صنعتی در بالادستی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- پساب همراه نفت جدا شده در سکوها
- پساب همراه نفت جدا شده در خشکی
- پساب نفت تصفیه شده و یا نشده و تخلیه به دریا یا خشکی
- برای سه نوع پساب فوق فناوری‌های موجود مورد بررسی قرار گرفته‌اند، فناوری‌های تصفیه پساب صنعتی به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:
- تصفیه کامل
- تصفیه فیزیکی

لیست این فناوری‌ها در جدول ذکر شده‌اند. فرض کلی که در محاسبات مورد استناد قرار گرفته است، کیفیت نفت و روغن در واحدهای جداسازی نمک زدایی است، که پساب نفتی خروجی از این واحدها کیفیتی معادل ۶۰۰ ppm نفت و روغن دارد، که برای مقایسه تمامی فناوری‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که کیفیت پساب تخلیه شده به آب دریا و خشکی، ppm ۱۰ نفت و روغن در آب است. جدول (۳) هزینه‌های واحد تصفیه فیزیکی پساب صنعتی را مشخص می‌کند.

هزینه عملیاتی فناوری نوین نیروی گریز از مرکز ۰/۱۵ ذکر شده که اگر سود حاصل از جریان نفت برگشتی به سیستم از هزینه‌های عملیاتی سالانه کسر شود، مقدار ۰/۳۵- بشکه پساب ورودی در روز خواهد شد که در محاسبات از این مقدار به جای ۰/۲ استفاده شده است. در واحدهای تصفیه کامل با فرض تصفیه کامل پساب،

1. Industrial Waste Water Treatments

هزینه‌های زیست‌محیطی صفر در نظر گرفته شده است. جدول (۴) هزینه‌های واحدهای تصفیه کامل پساب صنعتی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- هزینه واحدهای تصفیه فیزیکی پساب

صنعتی [۵] و [۶]

هزینه (\$/m ³ day)			تجهیز	
محیط زیستی	عملیاتی	سرمایه‌گذاری	نوع	نماد
۰/۰۰۳۵	۰/۰۲۳۷	۱۶۳/۵	سوزاندن پساب خشک	BP
۰/۰۰۳۱	۰/۰۱۴۲	۹۸/۱	دفع ساده به دریا	SDS
۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۴۲	۹۸/۱	حوض تبخیری	EP
۰/۰۰۷۹	۰/۴۷۴۸	۳۲۷۰/۱	دفع در نقاط دوردست	TW
۰	۰/۲۲۷۴	۱۶۳۵/۰۴	تزریق دوباره	REI
هزینه (\$/bbl)				
محیط زیستی	عملیاتی	سرمایه‌گذاری	نوع	نماد
۰۵- e۲/۲	۰/۱۵	۱۰۰۰	نیروی گریز از مرکز	VOR

جدول ۴- هزینه واحدهای تصفیه کامل پساب صنعتی [۷]

هزینه عملیاتی (\$/m ³)	هزینه سرمایه‌گذاری (\$/m ³)	نوع	نماد
۰/۲۷۵۳	۱۸۹۶/۰۸	الکترودیالیز	ED
۰/۰۲۱۵	۱۴۷/۹۹	شناورسازی گاز	GF
۰/۰۳۱	۲۱۲/۰۸	اسمز معکوس	IOS
۰/۰۴۶۵	۳۱۸/۱۲	لجن فعال	IAS

۳-۳ نمک‌زدای الکتروستاتیکی

نفت خام استخراج شده از مخازن شامل مقادیری آب به شکل امولسیون آب در نفت می‌باشد که حاوی انواع نمک‌های معدنی از جمله سدیم، منیزیم و کلسیم کلرید است. هر چند که میزان آب

موازنه غلظت پساب در مخلوط جریان به صورت زیر است:

$$OL_{4de} X_{2de} + WS_{3ohde} X_{3de} \leq OL_{2oh} X_{f_{ohde}} \quad (11)$$

برای تأمین گرمای مورد نیاز پیشگرم کن نفت در مورد تک‌تک فناوری‌ها از بخار فشار پایین بهره گرفته شده است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$OL_{2oh} Cp_{ol2} (T_{ol3de} - T_{ol2}) f_{ohde} \leq LP_{3de} h_{lp} \quad (12)$$

$$h_{lp} = Cp_{lp} (T_{lp} - T_{lp}^{sat}) + hf g_{lp} + Cp_w (T_{lp}^{sat} - T_{lp}^{in}) \quad (13)$$

دمای نفت ورودی به هر فناوری خاص در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶- پارامترهای دیگر مقایسه نمک‌داهای

الکتروستاتیکی [۸]

بازدهی نمک زدایی (ppm/ppm)	دمای نفت T _{ol3} ورودی (°C)	نوع تجهیز
۰/۷۸	۴۹/۵	EX
۰/۸۴	۴۷/۲	AC
۰/۹۵	۴۱/۱	DP
۰/۹۸	۳۹/۸	DF

۳-۴ آب شیرین کن^۱

آب شیرین کن یکی از گزینه‌های تأمین تقاضای آب مصرفی در سیستم می‌باشد. در این بخش از دو فناوری آب شیرین کن تقطیری و آب شیرین کن‌های خورشیدی HD استفاده می‌شود.

۳-۴-۱ آب شیرین کن تقطیری

در این واحد آب شیرین کن به هر یک از مراحل تبادل حرارت بین بخار و آب دریا اثر گفته می‌شود. هر واحد آب شیرین کن تقطیری n اثره، شامل (n-1) فلشینگ باکس است. همچنین هر اثر شامل یک فضای بخار، مایع گیر، لوله‌های کندانسور و اپراتور (در قسمت میانی)، نازل‌های انژکتور پاشش آب شور دریا (در قسمت فوقانی اثر)

1. Water Desalination

موجود غالباً کمتر از ۰/۵٪ و میزان نمک آن در حدود ۴۰۰۰ الی ۲۰۰۰۰ واحد در میلیون می‌باشد، ولی وجود همین مقدار سبب بروز مشکلاتی در فرایند پالایش نفت می‌شود که از جمله مهمترین آنها می‌توان به خوردگی تجهیزات پالایش و انتقال و غیر فعال نمودن کاتالیست‌ها اشاره کرد. الکتروستاتیک نفت بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامترهای ارزیابی الکتروستاتیکی به شرح زیر است:

$$De_{de} = a_{de} OL_{2oh} \quad (7)$$

$$EL_{9de} = b_{de} OL_{2oh} \quad (8)$$

$$WL_{9de} = c_{de} OL_{2oh} \quad (9)$$

a, b و c به ترتیب ضرایب De ماده تعلیق‌کننده، EL برق مصرفی واحد و WL آب تزریقی به واحد فناوری است که تابعی از جریان نفت ورودی است. در جدول مقادیر آنها برای انواع فناوری‌های مورد استفاده در مدل آمده است.

$$f_{ohde} - f_{sohde} \leq 0 \quad (10)$$

f_{ohde} و f_{sohde} متغیر عدد صحیح عملیاتی در بازه زمانی و متغیر عدد صحیح انتخاب فناوری الکتروستاتیکی با پیشگرم کن خود است. جدول (۵) ضرایب a, b و c برای انواع فناوری‌ها را مشخص می‌سازد.

جدول ۵- ضرایب پارامترهای لازم برای مقایسه

الکتروستاتیک‌ها [۷]

نوع تجهیز	تعلیق‌کننده a (bbl/bbl OL)	برق مصرفی واحد b (kwh/bbl OL)	آب تزریقی c (bbl/bbl OL)
EX	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	۰/۱
AC	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۶
DP	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۳۶
DF	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۵

$$L_i = 2589.6 + 0.92T_{v_i} - 4.83 \times 10^{-2} T_{v_i}^2 \quad (19)$$

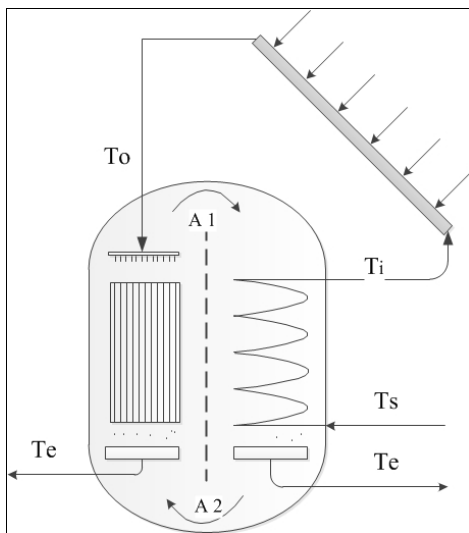
در رابطه بالا T_{v_i} دمای خروجی از اثره ام است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۹]:

$$T_{v_i} = T_i - BPE_i \quad (20)$$

در رابطه بالا T_i دمای اثره i ام و BPE_i افزایش نقطه جوش برای هر اثره به خاطر ناخالصی‌های مخلوط می‌باشد.

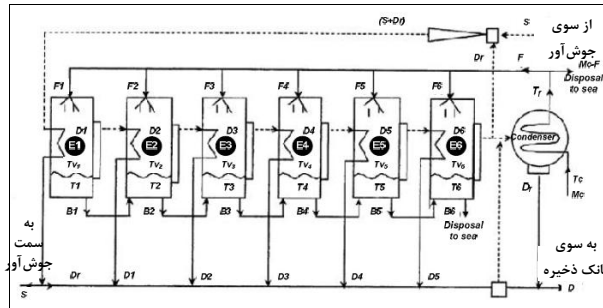
۳-۴-۲ آب شیرین کن خورشیدی

فرایند رطوبت زنی و رطوبت زدایی هوا یا به اختصار HD یکی از فناوری‌های جدید برای تولید آب شیرین است که در سالهای اخیر توسعه یافته است. این روش براین مبنا استوار است که هوا قابلیت جذب و حمل میزان قابل توجهی بخار آب را دارد. آب شیرین کن دارای سه بخش اصلی است: بخش رطوبت زنی، بخش رطوبت زدایی و منبع تأمین انرژی حرارتی مورد نیاز فرایند. شدت مصرف انرژی حرارتی این روش کمتر از روش‌های معمول تولید آب شیرین است و حتی می‌توان کل انرژی حرارتی مورد نیاز فرایند را از طریق انرژی خورشید تأمین نمود [۱۰]. شکل (۳) طرح ساده آب شیرین کن خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- طرح آب شیرین کن خورشیدی HD

و یک حوضچه آب شور (در قسمت تحتانی اثره) می‌باشد. شماره گذاری اثره‌ها از چپ به راست بر حسب جریان حرارت صورت می‌گیرد. بخار از چپ به راست در جهت کاهش فشار، جریان می‌یابد و همزمان مقادیر کنترل شده‌ای از آب دریا به هر اثره وارد می‌شود. شکل (۲) طرح اجمالی آب شیرین کن تقطیری را نشان می‌دهد [۹].



شکل ۲- یک واحد آب شیرین کن ۶ اثره [۹]

ظرفیت گرمایی آب شور در فشار ثابت و گرمای نهان بخار آب را می‌توان از روابط (۱۴) تا (۲۰) بدست آورد [۹]:

$$Cp = (A + BT + CT^2 + DT^3) \times 10^{-3} \quad (14)$$

در رابطه بالا واحد ظرفیت گرمایی در فشار ثابت $\frac{kJ}{kg K}$ و واحد دما

درجه سلسیوس است و A، B، C و D ضرایب توابعی از غلظت نمک هستند که از روابط محاسبه می‌شوند [۹]:

$$A = 4206.8 - 6.62X + 1.23 \times 10^{-2} X^2 \quad (15)$$

$$B = -1.13 - 5.42 \times 10^{-2} X + 2.27 \times 10^{-4} X^2 \quad (16)$$

$$C = 1.2 \times 10^{-2} - 5.36 \times 10^{-4} X + 1.89 \times 10^{-6} X^2 \quad (17)$$

$$D = 6.8 \times 10^{-7} + 1.52 \times 10^{-6} X - 4.43 \times 10^{-9} X^2 \quad (18)$$

در روابط بالا X غلظت نمک در آب شور و واحد آن $\frac{gr}{kg}$ است و همچنین برای گرمای نهان بخار خروجی از هر اثره می‌توان نوشت [۹]:

$$f \times CAP_l \leq WL_{out} \leq f \times CAP_u \quad (27)$$

۳-۴ آلودگی زیست‌محیطی

غلظت آلاینده‌های زیست‌محیطی در جریان خروجی تعیین‌کننده اولویت انتخاب فناوری‌های تصفیه پساب بدلیل کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی می‌باشد. همچنین میزان نمک موجود در نفت برای صادرات نفت مقدار مشخصی است. روابط (۲۸) تا (۳۰) به ترتیب حد مقادیر غلظت نمک موجود در نفت، بزرگترین آلاینده در پساب صنعتی و بزرگترین آلاینده در پساب بهداشتی را تعیین می‌کنند.

$$\sum_i X_i \leq H_{ds} \quad (28)$$

$$\sum_i Y_i \leq H_{iw} \quad (29)$$

$$\sum_i Z_i \leq H_{mw} \quad (30)$$

۵- هزینه‌های زیست‌محیطی

برای محاسبه هزینه‌های زیست‌محیطی فناوری، با توجه به نوع آلاینده تولیدی و همچنین منبع انتشار آن و شرایط محیطی که آلاینده در حال تخلیه است، می‌توان از جدول ضرایب ریالی جرایم زیست‌محیطی منتشر شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست کشور استفاده کرد. این ضرایب ریالی باید در فرمول‌های خاص تخمین میزان آلاینده‌ها وارد شوند، تا میزان هزینه‌های خارجی زیست‌محیطی بکارگیری یک فناوری بدست آید. این ضرایب بر اساس ترکیبی از هزینه‌های کنترل آلاینده‌ها، پیشگیری از انتشار آنها و هزینه پاکسازی آلاینده‌های منتشر شده در هوا، آب و خاک بدست آمده اند. میزان آلودگی زمانی که از حد مجاز تعریف شده بیشتر باشد از رابطه (۳۱) زیر بدست می‌آید [۱۱]:

$$P_i = \frac{M_i - H}{H} \quad (31)$$

با محاسبه میزان آلودگی تک‌تک آلاینده‌ها از رابطه فوق با جاگذاری بزرگترین میزان آلودگی جریمه زیست‌محیطی که معادل هزینه زیست‌محیطی هر واحد است از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۱]:

$$PS = WS \times Pm \times EI \quad (32)$$

میزان آب شیرین شده دریا از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$WL_{out} = G (X_{a2} - X_{a1}) \quad (21)$$

بازدهی کلکتور متغیر و تابعی از توان تابشی و دمای محیط است.

$$\eta_{col} = 0.8 - 6.8 \left(\frac{T_o - T_{amb}}{I_r} \right) \quad (22)$$

۴- محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مدل شامل چهار دسته زیر می‌باشند:

- بازدهی جداسازی پساب یا نمک از نفت
- بازدهی تصفیه پساب بهداشتی
- ظرفیت کارکرد هر فناوری
- حداکثر آلودگی زیست‌محیطی

۱-۴ راندمان جداسازی

محدودیت‌های نوع اول و دوم برای نمکزدای الکتروستاتیکی، تصفیه پساب صنعتی و بهداشتی مورد استفاده، به ترتیب زیر است:

$$X_{2ds} - X_1(1 - \eta_{ds}) = 0 \quad (23)$$

$$Y_{2iw} - Y_1(1 - \eta_{iw}) = 0 \quad (24)$$

$$Z_{2mw} - Z_1(1 - \eta_{mw}) = 0 \quad (25)$$

η_{ds} ، η_{iw} و η_{mw} به ترتیب بازدهی نمکزدایی از نفت، بازدهی تصفیه پساب صنعتی فیزیکی و بازدهی تصفیه پساب بهداشتی فیزیکی هستند.

۲-۴ ظرفیت

بیشترین جریان عبوری از فناوری در زمان‌های متوالی ظرفیت فناوری را مشخص می‌کند:

$$WS_{3j} \leq CAP_{ohde} \quad (26)$$

۶- مورد مطالعاتی

نمونه مطالعاتی انتخاب شده برای بکارگیری مدلی که توسعه داده شده است، منطقه نفتی جزیره سیری واقع در خلیج فارس است، این واحد به طور میانگین حدود ۳۶/۸۶ هزار بشکه در روز فرایندهای صنعتی و حدود ۲۲/۲۶ هزار بشکه در روز در مناطق مسکونی مصرف می‌کند. میانگین تقاضای تزریق به چاه ۶۵ هزار بشکه در روز است [۱۲].

۷- نتیجه و جمع‌بندی

با جمع‌آوری اطلاعات و جایگذاری در مدل انتخاب فناوری بهینه، شرایط محیطی و عملیاتی سیستم در بازه‌های زمانی ماهیانه تعیین خواهند شد. میزان تاثیر هزینه‌های زیست‌محیطی با توجه به ضرایب وزنی w_1 و w_2 در تابع هدف تعیین می‌شوند. مقادیر ضرایب وزنی با توجه به جدول (۷) در سه سناریوی ارزیابی مدل که به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ می‌باشند بررسی شده است.

جدول ۷- سناریوهای ارزیابی مدل ریاضی

سناریو			
۳	۲	۱	
۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	w_1
۰/۷۵	۰/۵	۰/۲۵	w_2

با توجه به جدول (۸) در سه سناریو نمکزدای الکتروستاتیک DP به عنوان انتخاب بهینه فناوری برگزیده شده است. با در نظر گرفتن اینکه هزینه‌های بالای عملیاتی و سرمایه‌گذاری سیستم‌های تصفیه پساب بهداشتی کامل، سیستم‌های فیزیکی اولویت انتخاب را دارند. ولی بدلیل هزینه‌های بالای آب شیرین‌کن‌ها برای تأمین آب مصرفی مناطق مسکونی، سیستم‌های تصفیه پساب بهداشتی کامل، کل تقاضای آب بهداشتی را تأمین می‌کند. در نتیجه مقدار ۶۱۵ متر مکعب در روز با سیستم لجن فعال انتخاب شده و ۴۴۱ متر مکعب در روز از پساب بهداشتی با روش دفع ساده، دور ریخته می‌شود و در سناریو ۳ این مقدار با روش مخازن سپتیک انجام خواهد شد.

جدول ۸- نتایج حاصل از تغییر ضرایب وزنی

موجود در تابع هدف

سناریو			تجهیز
۳	۲	۱	
DP	DP	DP	الکتروستاتیک
SEP	MSD	MSD	تصفیه بهداشتی فیزیکی
MAS	MAS	MAS	تصفیه بهداشتی کامل
VOR-SDS-REI	VOR-SDS	VOR-SDS	تصفیه صنعتی فیزیکی
IOS	IOS	IOS	تصفیه صنعتی کامل
-	-	-	آب شیرین کن

بدلیل تأمین آب مصرفی سیستم بوسیله سیستم‌های تصفیه پساب بهداشتی و هزینه‌های بالای شیرین‌سازی آب دریا، از سیستم‌های شیرین‌سازی آب دریا استفاده نمی‌شود.

در سیستم‌های تصفیه پساب صنعتی بدلیل هزینه‌های بالای عملیاتی و سرمایه‌گذاری در مقایسه با هزینه‌های زیست‌محیطی از روش تصفیه پساب فیزیکی بیشتر استفاده می‌شود بدین گونه که از مقدار ۲۰۸۳۵۳۵ متر مکعب پساب صنعتی، ۱۰۵۳۴۵۶ متر مکعب پساب در روز با استفاده از روش نیروی گریز از مرکز تصفیه خواهد شد و ۶۳۰۰۷۹ متر مکعب در روز با استفاده از جداسازی فیزیکی جزیره به دریا ریخته می‌شود. اگر بخواهیم آب مصرفی مناطق مسکونی از طریق این سیستم تأمین شود ۴۰۰۰۰۰ متر مکعب آب تصفیه صنعتی با روش اسمز معکوس به شبکه تأمین آب بهداشتی منتقل خواهد شد.

۸- فهرست علائم

حجم آب در روز، (m^3/day)	WL
حجم پساب در روز، (m^3/day)	WS
برق مصرفی، kwh	EL

مراجع

- [1] Hernandez-Sancho, F., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., "Cost modelling for waste water treatment processes", *Desalination* 268(1-3), 1-5, (2011).
- [2] Antunes, C., Martins, A., Brito, I., "A multiple objective mixed integer linear programming model for power generation expansion planning", *Energy* 29(4), 613–627, (2004).
- [3] Friedler, E., Pisanty, E., "Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making" *water research* 40(20), 3751- 3758, (2006).
- [4] Aguilar, O., Perry S, J., Kim, J. K., Smith, R., "Design and optimization of flexible utility systems subject to variable conditions, part 2: Methodology and Applications", *Journal of Chemical Engineering Research and Design* 85(8), 1149-1168, (2007).
- [5] Peter Clinch, J., Healy, J. D., "Cost- benefit analysis of domestic energy efficiency", *Energy Policy* 29(2), 113-124, (2001).
- [6] Ahmadun, F.R., Pendashteh, A., Abdullah, C. L., Dayang, R.A.B., Madaeni, S.S., Abedini, Z.Z., "Review of technologies for oil and gas produced water treatment", *Journal of Hazardous Materials* 170(2-3), 530–551, (2009).
- [7] Lawrence., Orlando. E., "Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities For Petroleum Refineries", U.S. Environmental Protection Agency, (2005).
- [8] Gudger, W. M., Barker D. C., "Chapter IV - Methods for environmental cost-benefit analysis for agricultural lending", 103,T0719, (1993).
- [9] Watson Ian, C., Morin, O.J., Lisa H., "Desalination and water purification research and development program", report No.72, *Desalting Handbook for planners*, 3th edition, (2003).
- [10] Al-Hallaj, S, Parekh, S, Farid, M.M. "Solar desalination with humidification -dehumidification cycle: Review of economics", *Desalination* 195(1-3), 169–186, (2006).
- [۱۱] آئین‌نامه جرائم زیست‌محیطی سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۷۹)
- [12] <http://www.shana.ir/newsprint.aspx?lang=fa&newsid=175254>

حجم نفت تولیدی، (bbl/day)	OL
ضریب همتراز شده سالیانه	F_{am}
متغیر عدد صحیح	f
ظرفیت واحد، (m^3/day)	CAP
حد مجاز آلاینده‌گی، ppm	H
میزان آلودگی	P_i
ضریب ریالی آینده، ($\$/m^3$)	P_m
بخار فشار پایین، (kg/s)	LP
نرخ تنزیل	i
طول عمر	n
شدت جریان هوا، (kg/s)	G
دمای محیط، $^{\circ}C$	T_{amb}
غلظت نمک در نفت، ppm	X
غلظت نفت در پساب، ppm	Y
غلظت پساب بهداشتی، ppm	Z
توان تابشی، (kw/m^2)	I_r
دمای خروجی کلکتور، $^{\circ}C$	T_o
ظرفیت حداکثر واحد،	CAP_u
ظرفیت حداقل واحد	CAP_l
مقدار اندازه‌گیری شده ppm	M_i
جریمه ماهیانه، ($\$/month$)	PS
ضریب حساسیت محیط	EI
آنتالپی بخار فشار پایین،	h_{lp}
علائم یونانی	
بازدهی واحد	η