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 بیشترکرده 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، سرمایه‌گذار ی و عملیاتی به عنوان تابع هدف با استفاده از مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط مورد مقایسه قرار گرفته اند. 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 تعیین کننده 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

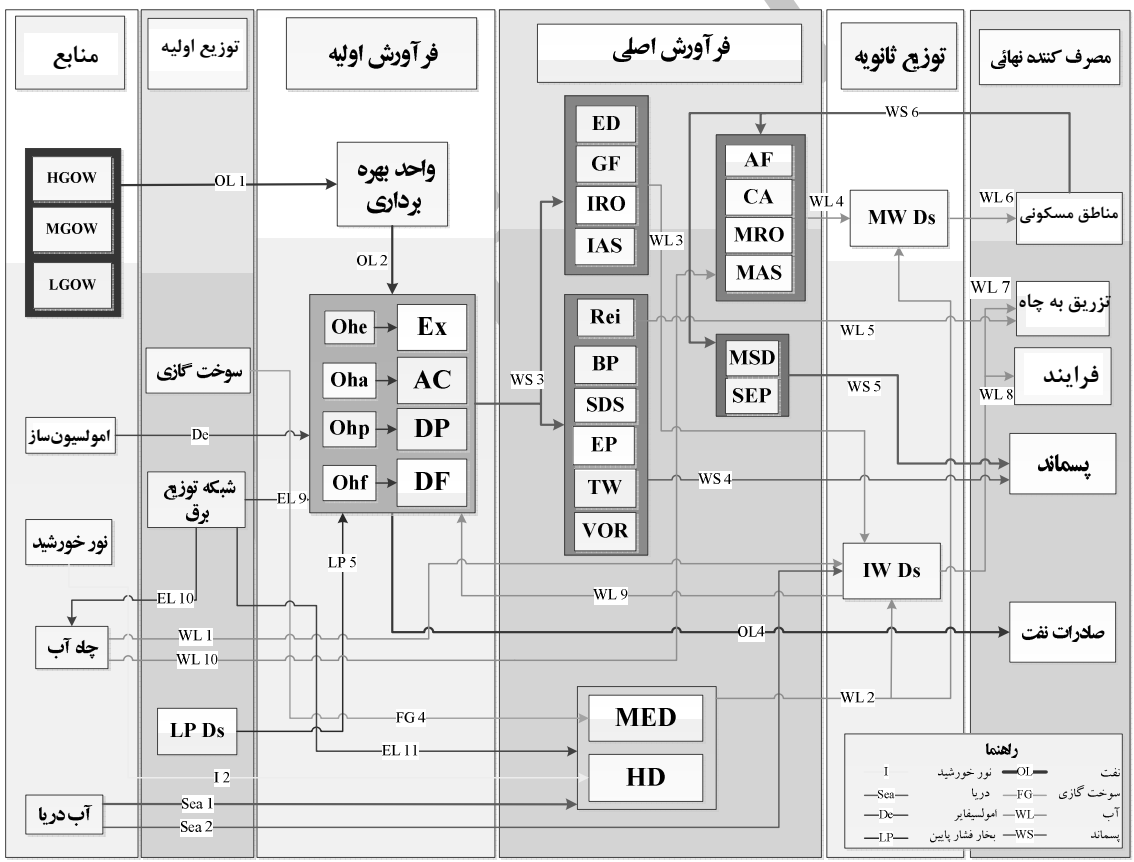
آب همراه نفت شامل مجموعه‌ای از پساب‌های صنعتی است که از کیفیت و ارزش نفت کاسته و همواره باعث آلودگی زیست‌محیطی خواهد شد. توسعه و بکارگیری فناوری‌های موجود و نوین همچنین گسترش کاربرد مدل‌سازی ریاضی برای یافتن چینش بهینه فناوری‌ها بسیار مفید خواهد بود. کارهای بسیاری در زمینه مقایسه فناوری‌های تصفیه پساب 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 هرناندز سنکو[1] اشاره کرد [۱]. کارهای مشابه به روش مقاله حاضر بوسیله آنتونس و همکارانش[2] و فریدلر و همکارانش[3] در سیستم‌های یوتیلیتی 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[4]، DP[5]، DF[6]) و فناوری آب

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

www.SID.ir

شیرین کن (خورشیدی HD[1]، تقطیری MED[2]) با هدف کمینه کردن هزینه‌های سرمایه‌گذار ی، 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 درحالت رقابتی، دستیابی به طرح فراساختار[3] فناوری ناگزیر است. شکل (۱) فراساختار چینش‌های ممکن را مشهود می‌نماید. با توجه به این شکل چینش فناوری‌های موجود بر اساس تقاضای آب صنعتی (WL_8)، آب بهداشتی (WL_6)،نفت صادراتی است. مصارف آب صنعتی شامل آب مورد نیاز فرایند (Pr)، تزریق به چاه (IW)می باشد. 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 (WL_4)و شیرین‌سازی آب دریا(WL_2) بهره گرفته می‌شود.

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 بدلیل 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 سبد انتخاب فناوری برای بهینه کردن سیستم اتخاذ شده است، که سعی شده است از فناوری‌های نوین و پر کارامد بهره گرفته شود. در بخش‌های بعدی علائم و اختصارات مشخص شده‌اند.



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

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

www.

۲- صنایع بالادستی نفت و گاز (UOG)[1]

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 بار گیری شده یا به عنوان خوراک اولیه در اختیار پالایشگاه‌های نفت قرار گیرد، در صنایع بالادستی فرآورش 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 فراورش اولیه
- سطح انتقال
- سطح فراورش اصلی
- سطح تبدیل انرژی
- سطح توزیع انرژی
- سطح مصرف‌کننده نهایی

۳- مدل ریاضی

مدل‌سازی سیستم براساس مدل برنامه ریزی 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].

$$Fc = w_1\left(CC_t + OC_{ann}F_{ann}\right) + w_2 EC_{ann}F_{ann} \quad (۱)$$

$$F_{ann} = \left((1+i)^n - 1\right) \Big/ i\,(i+1)^n \quad (۲)$$

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

$$CC_{ann} = \sum_j h_j \sum_i f_{ij} CAP_{ij} cc_i \quad (۱)$$

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

$$CC_t = \sum_i f_i CAP_i cc_i \quad (۴)$$

CAP_i، h_i، cc_i و f_i به ترتیب ظرفیت، تعداد ساعت‌های کارکرد در سال، هزینه سرمایه‌گذار ی 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.

$$OC_{ann} = GP \sum_j h_j \times \sum_k \sum_g FG_{gk} \quad (۵)$$

$$EC_{ann} = \sum_j h_j \times \sum_k EC_k \times \sum_g FG_{gkj} \quad (۶)$$

۳-۱ مدیریت تصفیه پساب بهداشتی[2]

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]

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

1. Upstream Oil and Gas (UOG)

2. Municipal Waste Water Treatments

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- هزینه واحدهای تصفیه پساب بهداشتی با تصفیه کامل[۵]

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

۳-۲ مدیریت تصفیه پساب صنعتی[1]

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 شده اند. 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 ۶۰۰ppm 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، 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]

تجهیز		هزینه ($/m^3) .day		
نماد	نوع	سرمایه‌گذاری	عملیاتی	محیط زیستی
BP	سوزاندن پساب خشک	۱۶۳/۵	۰/۰۲۳۷	۰/۰۰۳۵
SDS	دفع ساده به دریا	۹۸/۱	۰/۰۱۴۲	۰/۰۰۳۱
EP	حوض تبخیری	۹۸/۱	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۴۱
TW	دفع در نقاط دوردست	۳۲۷۰/۱	۰/۴۷۴۸	۰/۰۰۷۹
REI	تزریق دوباره	۱۶۳۵/۰۴	۰/۲۳۷۴	۰
	هزینه ($/bbl)			
نماد	نوع	سرمایه‌گذاری	عملیاتی	محیط زیستی
VOR	نیروی گریز از مرکز	۱۰۰۰	۰/۱۵	۰۵- e۲/۲

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

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

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

1. Industrial Waste Water Treatments

www.
Archive of SID

موجود غالباً کمتر از ۰/۵٪ و میزان نمک آن در حدود ۴۰۰۰ الی ۲۰۰۰۰۰ 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 زیراست:

$$De_{de} = a_{de} OL_{2oh} \quad (۷)$$

$$EL_{9de} = b_{de} OL_{2oh} \quad (۸)$$

$$WL_{9de} = c_{de} OL_{2oh} \quad (۹)$$

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.

$$f_{ohde} - f_{sohde} \le 0 \quad (۱۰)$$

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

موازنه غلظت پساب در مخلوط جریان به صورت زیر است:

$$OL_{4de} X_{2de} + WS_{3ohde} X_{3de} \le OL_{2oh} X_1 f_{ohde} \quad (۱۱)$$

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:

$$OL_{2oh} Cp_{ol2} (T_{ol3de} - T_{ol2}) f_{ohde} \le LP_{5de} h_{lp} \quad (۱۲)$$

$$h_{lp} = Cp_{lp} (T_{lp} - T_{lp}^{sat}) + hfg_{lp} + Cp_w (T_{lp}^{sat} - T_{lp}^{in}) \quad (۱۳)$$

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

جدول ۶- پارامترهای دیگر مقایسه نمکزداهای الکتروستاتیکی [۸]

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

۳-۴ آب شیرین کن[1]

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.

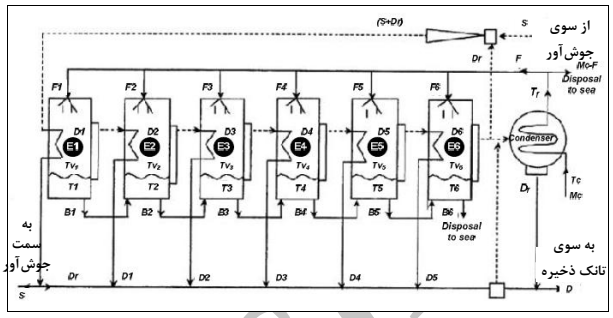
۳-۴-۱ آب شیرین کن تقطیری

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

www.SID.ir

و یک حوضچه آب شور (در قسمت تحتانی اثر) می‌باشد. شماره گذاری اثرها 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 اثر 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 شوردر فشار ثابت و گرمای نهان بخار آب را می‌توان از روابط (۱۴) تا (۲۰) بدست آورد [۹]:

$$Cp = \left(A + BT + CT^2 + DT^3\right) \times 10^{-3} \qquad (۱۴)$$

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]:

$$A = 4206.8 - 6.62X + 1.23\times10^{-2}X^2 \qquad (۱۵)$$

$$B = -1.13 - 5.42\times10^{-2}X + 2.27\times10^{-4}X^2 \qquad (۱۶)$$

$$C = 1.2\times10^{-2} - 5.36\times10^{-4}X + 1.89\times10^{-6}X^2 \qquad (۱۷)$$

$$D = 6.8\times10^{-7} + 1.52\times10^{-6}X - 4.43\times10^{-9}X^2 \qquad (۱۸)$$

در روابط بالا X غلظت نمک در آب شور و واحد آن gr/kg است و همچنین برای گرمای نهان بخار خروجی از هر اثر می‌توان نوشت[۹]:

$$L_i = 2589.6 + 0.92T_{v_i} - 4.83\times10^{-2}T_{v_i}^2 \qquad (۱۹)$$

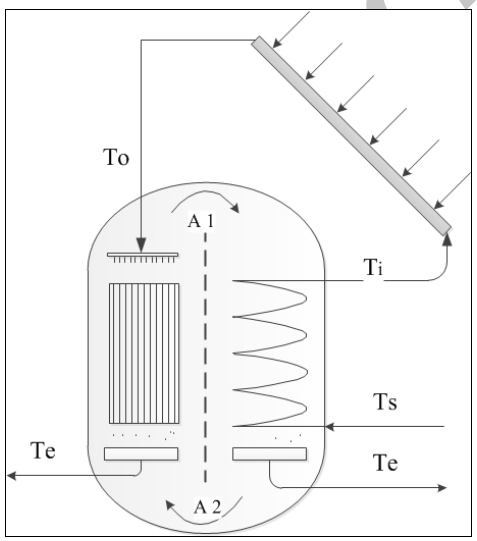
در رابطه بالا T_{v_i} دمای خروجی از اثر i ام است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۹]:

$$T_{v_i} = T_i - BPE_i \qquad (۲۰)$$

در رابطه بالا T_i دمای اثر i ام و BPE_i افزایش نقطه جوش[1] برای هر اثر به خاطر ناخالصی‌های مخلوط می‌باشد.

۳-۴-۲ آب شیرین کن خورشیدی

فرایند رطوبت زنی و رطوبت زدایی هوا یا به اختصارHD 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 سادهٔ آب شیرین کن خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- طرح آب شیرین کن خورشیدی HD

1. Boiling Point Elevation

میزان آب شیرین شده دریا از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$WL_{out} = G\left(X_{a2} - X_{a1}\right) \quad (۲۱)$$

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

$$\eta_{Col} = 0.8 - 6.8\left(\frac{T_o - T_{amb}}{I_r}\right) \quad (۲۲)$$

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 آلایندگی زیست‌محیطی

۴-۱ راندمان جداسازی

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

$$X_{2ds} - X_1\left(1-\eta_{ds}\right) = 0 \quad (۲۳)$$

$$Y_{2iw} - Y_1\left(1-\eta_{iw}\right) = 0 \quad (۲۴)$$

$$Z_{2mw} - Z_1\left(1-\eta_{mw}\right) = 0 \quad (۲۵)$$

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.

۴-۲ ظرفیت

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

$$WS_{3j} \le CAP_{ohde} \quad (۲۶)$$

$$f \times CAP_l \le WL_{out} \le f \times CAP_u \quad (۲۷)$$

۴-۳ آلودگی زیست‌محیطی

غلظت آلاینده‌های زیست‌محیطی در جریان خروجی تعیین‌کنندهٔ 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.

$$\sum_i X_i \le H_{ds} \quad (۲۸)$$

$$\sum_i Y_i \le H_{iw} \quad (۲۹)$$

$$\sum_i Z_i \le H_{mw} \quad (۳۰)$$

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]:

$$P_i = \frac{M_i - H}{H} \quad (۳۱)$$

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

$$PS = WS \times Pm \times EI \quad (۳۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

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

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 سرمایه‌گذار ی سیستم‌های تصفیه پساب بهداشتی کامل، سیستم‌های فیزیکی اولویت انتخاب را دارند. ولی بدلیل هزینه‌های بالای آب شیرین کن‌ها 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

تجهیز	سناریو		
	۱	۲	۳
الکتروستاتیک	DP	DP	DP
تصفیه بهداشتی فیزیکی	MSD	MSD	SEP
تصفیه بهداشتی کامل	MAS	MAS	MAS
تصفیه صنعتی فیزیکی	VOR-SDS	VOR-SDS	VOR-SDS-REI
تصفیه صنعتی کامل	IOS	IOS	IOS
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 سرمایه‌گذار ی 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 در 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 اب بهداشتی منتقل خواهد شد.

۸- فهرست علائم

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

Archive of SID

www.

OL	حجم نفت تولیدی، (bbl/day)
F_{ann}	ضریب همتراز شده سالیانه
f	متغیر عدد صحیح
CAP	ظرفیت واحد، (m^3/day)
H	حد مجاز آلایندگی، ppm
P_i	میزان آلودگی
Pm	ضریب ریالی الاینده، ($/$m^3$)
LP	بخار فشار پایین، (kg/s)
i	نرخ تنزیل
n	طول عمر
G	شدت جریان هوا، (kg/s)
T_{amb}	دمای محیط، ^oC
X	غلظت نمک در نفت، ppm
Y	غلظت نفت در پساب،ppm
Z	غلظت پساب بهداشتی، ppm
I_r	توان تابشی، (kw/m2)
T_o	دمای خروجی کلکتور، ^oC
CAP_u	ظرفیت حداکثرواحد،
CAP_l	ظرفیت حداقل واحد
M_i	مقدار اندازه‌گیری شده ppm
PS	جریمه ماهیانه، ($/month)
EI	ضریب حساسیت محیط
h_{lp}	آنتالپی بخار فشار پایین،
	علائم یونانی
η	بازدهی واحد

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

Archive of SID

www.SID.ir