

## افزایش ارتباط بین آب، انرژی و محیط زیست در یک مزرعه خورشیدی جهت تولید آب شیرین

در این مقاله توسعه مفهوم کاهش اثرات زیست محیطی پساب سیستم اسمز معکوس جهت افزایش ارتباط بین آب، انرژی و محیط زیست در یک مزرعه خورشیدی بکار گرفته شده است. از طرفی، با استفاده از سیکل ارگانیک رانکین به بررسی پیکربندی نوین بر اساس آنالیز انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی پرداخته شده است. همچنین، بهینه سازی بر اساس پیکربندی مناسب، انتخاب سیال عامل مناسب، کاهش اثرات زیست محیطی پساب و تعیین پارامترهای طراحی مزرعه‌ی خورشیدی با الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است. نتایج نشان دهنده کاهش ۱۲ درصدی اثرات زیست محیطی پساب خروجی و افزایش ۷/۵ درصدی راندمان انرژی می باشد.

علیرضا نامی نژاد<sup>۱</sup>

دکتری

محمود مهرگان<sup>۲</sup>

استاد

واژه‌های راهنما: آنالیز 4E، آب شیرین کن، اسمز معکوس، اثرات محیط زیست، بهینه سازی

### ۱- مقدمه

ارتباط بین آب و انرژی یکی از مباحث مهم در توسعه سیستم‌ها در یک منطقه می باشد [۱-۳]. در این بین توجه به ارتباط بین آب-انرژی و محیط زیست<sup>۳</sup> با توسعه تکنولوژی های آب شیرین کن بیش از پیش افزایش یافته است. ارتباط مستقیم سیستم‌های آب شیرین کن با دریاها که محل زیست بسیاری از گونه‌های جانوری می باشند تأثیر این سیستم‌ها را در اثرات زیست محیطی پر رنگ ساخته است. افزایش شوری آب و تخلیه مواد تزریقی برای پیش تصفیه، کاهش اکسیژن محلول در آب، تولید کف، تزریق پساب (براین) با دمای بالا و افزایش غلظت فلزات سنگین از جمله مواردی است که به صورت مستقیم بر روی محیط زیست جانوری تأثیرگذار است [۲]. از طرفی مصرف انرژی در سیستم‌های آب شیرین کن به خصوص غشایی موجب مصرف سوخت و افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای برای تأمین انرژی مورد نیاز می شود.

<sup>۱</sup> دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران [ali.nami1029@gmail.com](mailto:ali.nami1029@gmail.com)

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران [mehregan@shahroodut.ac.ir](mailto:mehregan@shahroodut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵

افزایش هزینه‌های و اثرات زیست محیطی یکی از چالش‌های موجود در این زمینه می‌باشد. به همین منظور تحقیقات گسترده‌ای در خصوص سیستم‌های آب شیرین کن صورت پذیرفته است. روند تحقیقات صورت گرفته از سال ۱۹۸۰ تا به امروز در خصوص سیستم آب شیرین کن ها را می‌توان در مرجع [۴] مشاهده نمود. در سال‌های اخیر در هر پنج سال روند تحقیقات دو برابر گشته و این نشان دهنده اهمیت موضوع می‌باشد. بیشتر تحقیقات صورت گرفته بر روی نوع تکنولوژی آب شیرین کن تمرکز دارند و بیش از نیمی از این تحقیقات به جنبه‌های اقتصادی تولید آب شیرین می‌پردازند. در نشریات نو ظهور جنبه‌های زیست محیطی آب شیرین کن ها بیشتر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. تا کنون کمتر به جنبه اثرات زیست محیطی پساب تولیدی، نسبت به دیگر جنبه‌های تولید آب در آب شیرین کن ها پرداخته شده است [۴].

از زمان توسعه فناوری غشایی از سال ۱۹۸۰ سهم قابل توجهی از آب شیرین تولید به این سیستم اختصاص داده شده است به طوری که در سال ۲۰۰۰ با کمک سیستم‌های حرارتی تقریباً ۱۱/۴ میلیون مترمکعب تولید آب شیرین مختص این سیستم ها بوده ولی امروزه این سیستم‌ها به حاشیه رفته و حدود ۶۹ درصد از حجم آب شیرین تولیدی در دنیا به سیستم اسمز معکوس<sup>۱</sup> اختصاص دارد که معادل ۶۵/۵ میلیون مترمکعب می‌باشد [۴].

انرژی مصرفی (حرارتی، الکتریسیته) در سیستم‌های شیرین‌سازی رایج حرارتی از سیستم RO بیشتر می‌باشد [۵-۷]. هزینه‌ی عمده مصرف انرژی برای سیستم RO بین ۳۰ الی ۵۰ درصد و مربوط به هزینه‌ی بهره برداری از سیستم است [۸،۹]. برای سیستم RO بیشترین مصرف انرژی مربوط به بخش تأمین فشار برای سیستم غشایی می‌باشد. انرژی مصرفی و قیمت آب برای آب شیرین کن RO وابسته به شوری آب، غلظت آب شیرین تولیدی، چگالی نمک<sup>۲</sup> و همچنین سیستم مورد استفاده برای بازیافت انرژی متفاوت می‌باشد. برای آب دریا میزان مصرف انرژی بدون و همراه دستگاه به ترتیب  $12 \text{ kWh/m}^3$  و  $4 \text{ kWh/m}^3$  می‌باشد. هر چند که با توسعه‌ی سیستم اسمز معکوس و بالا بردن عملکرد آن قیمت آب شیرین تولیدی تقریباً از ۲ دلار به ازای هر متر مکعب آب شیرین تولیدی به ۰/۸ دلار به ازای هر متر مکعب آب شیرین تولیدی کاهش یافته است [۵،۱۰] که بخش اعظمی از این کاهش هزینه‌ها به دلیل استفاده از دستگاه‌های بازیافت انرژی می‌باشد. به دلیل بالا بودن میزان مصرف انرژی RO و به منظور (۱) کاهش هزینه‌ها (۲) کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای (۳) افزایش بهره‌وری و (۴) کاهش اثرات زیست محیطی حاصل از براین سیستم RO می‌توان برای تولید آب شیرین از انرژی خورشیدی استفاده نمود. مورد (۴) یکی از جنبه‌هایی جدیدی است که در این مقاله بیشتر بدان پرداخته می‌شود تا با استفاده از اتلافات حرارتی اثرات زیست محیطی براین سیستم RO را کاهش داد. در سال‌های مختلف می‌توان توجه نویسندگان به مقالات و موضوعات مرتبط با انرژی خورشیدی و آب شیرین کن را مشاهده نمود. روند رو به رشد توجه به این دو موضوع عواملی همچون کاهش اثرات زیست محیطی، افزایش هزینه‌های سوخت فسیلی و توجه به مناطق دور افتاده می‌باشد. این روند رو به رشد را می‌توان در مرجع [۱۱] مشاهده نمود.

ریف و الحلابی [۱۲] به بررسی چالش‌های شیرین‌سازی و راهکار خورشید برای تولید آب شیرین پرداختند. در این مقاله براساس مناطق دارای تنش‌های آب و تقاضای مورد نیاز برای شیرین‌سازی و مطابقت این اطلاعات

<sup>۱</sup> Reverse Osmosis (RO)

<sup>۲</sup> SDI (Salt Density Index)

با انرژی دریافتی از خورشید در هر منطقه، تنها راهکار برای برون رفت از چالش آبی استفاده از انرژی خورشیدی معرفی گردید. در یک تحقیق جامع در مرجع [۱۳] الزام استفاده از انرژی خورشیدی برای هر کشور براساس شاخص تعریف شده مشخص شد. در این بررسی به هر کشور یک رتبه اختصاص داده شد که بر مبنای آن مشخص می‌شود که کدام کشورهای پتانسیل بالایی برای تولید آب شیرین با قیمت مناسب از انرژی خورشیدی را دارا می‌باشند. نتایج این بررسی براساس پارامترهای مختلفی نظیر: (۱) مقدار تنش آب در هر کشور، (۲) دسترسی به منابع آب شور، دریا، لب شور و پساب، (۳) سطح تابش سالیانه‌ی خورشید، (۴) میزان نیاز به آب شیرین در سال‌های آینده، (۵) شرایط آب و هوایی مشخص گردید. کشور ایران براساس این رتبه داری پتانسیل بالایی جهت استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید آب شیرین می‌باشد.

برداشت آب از منابع تجدیدپذیر تا سال ۲۰۱۹ برابر ۱۳۰ میلیارد مترمکعب بوده [۱۴] که براساس تحقیقات گرجیان و قبادیان [۱۴] یکی از راهکارهای کاهش برداشت از آب‌های زیر زمینی و تجدیدپذیر استفاده از شیرین سازی آب توسط انرژی خورشیدی می‌باشد. همچنین می‌توان براساس داده‌های آژانس انرژی ظرفیت تولید CO<sub>2</sub> در کشور ایران را از ۴۱ میلیون تن در سال ۱۹۷۰ به ۵۳۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۲ گزارش نمود و این روند تا سال ۲۰۲۰ به مقدار ۹۲۵ میلیون تن در سال افزایش داشته است. با افزایش روند تولید آب شیرین از طریق سیستم‌های شیرین سازی با استفاده از سوخت‌های فسیلی در ایران این موضوع تشدید خواهد شد.

احمد و همکارانش [۱۱] برای کاهش کربن تولیدی، استفاده از انرژی خورشیدی را برای تولید آب شیرین پیشنهاد دادند. در این مقاله راهکارهای سیستم خورشیدی و اسمز معکوس (PV-RO)، سیستم توربین بخار و اسمز معکوس (ST-RO) با محرک خورشیدی و همچنین استفاده از تکنولوژی‌های غشایی که با حرارت اندک خورشید نیز می‌توانند به تولید آب شیرین بپردازند اشاره شده است. در این مقاله مشخص شد که چه تکنولوژی‌هایی در مرحله‌ی تجاری‌سازی و قابل پیاده‌سازی برای تولید آب شیرین و ترکیب آن با انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. نتایج نشان داد که برای تولید آب شیرین در مقیاس بالا نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های حرارتی، RO و سیستم‌های فتوولتائیک و پنل‌های خورشیدی می‌باشد.

بیان و همکارانش [۱۵] در هند برای یک روستای کوچک با استفاده از سیستم خورشیدی به تولید آب شیرین و حرارت پرداختند. این امکان سنجی فنی و اقتصادی براساس قوانین حاکم در هند صورت پذیرفت. در بهینه سازی صورت گرفته شده هزینه‌های جاری به ۱۰ درصد کاهش یافت و در این سیستم با بهره‌مندی از آب لب شور براساس سیستم RO و به کمک سیستم بازیافت انرژی به تولید آب شیرین برای روستاهای مختلف هند پرداخته شد.

صفرینی و همکارانش [۱۶] به ارزیابی سیستم‌های تقطیری غشایی با استفاده از انرژی خورشید پرداختند. در این بررسی سیستم‌های غشایی به عنوان یک تکنولوژی قابل توسعه در آینده مورد بررسی قرار گرفته شد. در این تحقیق ساختار مختلف تکنولوژی خورشیدی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌ی این بررسی نشان داد استفاده از کلکتور خورشیدی توانایی تأمین آب شیرین با مقیاس بالا را دارد.

بررسی طرح‌های آب شیرین کن با مقیاس بزرگ از سال ۱۹۹۵ توسعه داده شد. تسلینگر و همکاران [۱۷] به بررسی سیستم‌های بزرگ نمک زدایی با انرژی خورشیدی پرداختند. توسعه‌ی این طرح‌ها به ویژه با کمک

سیستم حرارتی تقطیر چند مرحله ای را، راهکار کاهش تنش‌های آبی معرفی نمود. هافمن [۱۸] پیش از این در سال ۱۹۹۲ روش‌های مختلف ترکیب سیستم‌های خورشیدی را، در مقاله‌ی خود بررسی نمود. در این کار مقایسه‌ای بین استفاده از انرژی خورشیدی و سوخت فسیلی برحسب قیمت آب شیرین تولید شده صورت گرفت. گلوکستن [۱۹] در سال ۱۹۹۵ به بررسی پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی برای شیرین‌سازی آب دریا را مورد بررسی قرار داده است. در این تحلیل که همراه با آنالیز اقتصادی بود، سیستم‌های حرارتی و RO را تکنولوژی‌های مناسبی برای کوپل با سیستم‌های خورشیدی شناخته است. کلوگریو [۲۰] در سال ۱۹۹۸ به بررسی سیستم آب شیرین کن خورشیدی با استفاده از کلکتور پارابولیک و سیستم تقطیر چند مرحله‌ای پرداخت. نتایج نشان داد که سیستم مذکور با مساحت ۲۱۶۰ مترمربع توانایی تولید آب با قیمت ۰/۸۹ دلار به ازای هر مترمکعب را دارا می‌باشد. تریب و استین‌هاگن [۲۱، ۲۲] به بررسی تکنولوژی‌های شیرین‌سازی و ترکیب‌های آب شیرین کن‌ها با انرژی خورشیدی در خاورمیانه و شمال آفریقا پرداختند. در این بررسی سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی (CSP<sup>۱</sup>) برای تولید آب شیرین با تناژ بالا تکنولوژی‌های مقرون به صرفه‌ای معرفی شدند. در مقاله‌ای دیگر از این گروه در سال ۲۰۰۹ به بررسی یک نمونه‌ی مطالعاتی و تلفیق این نمونه با انرژی خورشیدی پرداخته شد. نتایج این دو بررسی نشان از آن دارد که انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی در دسترس می‌تواند موجب افزایش تولید و استفاده چند منظوره از نیروگاه‌های موجود برای سرمایش، گرمایش و تولید آب و برق باشد [۲۳].

ترکیب‌های مختلف نیروگاه‌های حرارتی با CSP‌ها برای ناحیه‌ی خلیج فارس در مرجع [۲۴] مورد بررسی قرار گرفت. لی و همکارانش [۲۵] در بررسی کارهای صورت گرفته شده در این خصوص در نهایت میزان قیمت تمام شده‌ی آب برحسب تناژ تولید مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از استفاده از سیستم‌های MED و RO برای کاهش هزینه‌ها و افزایش تولید می‌باشد. نتایج نشان داد از میان تکنولوژی خورشیدی، سیستم‌های متمرکز کننده توانایی ترکیب با سیستم‌های آب شیرین کن از منظر اقتصادی را دارد. در این بررسی سیستم‌های CSP با سیستم RO و تقطیر چند مرحله‌ای (MED<sup>۲</sup>) بیشترین بازدهی از منظر تولید آب شیرین را دارا می‌باشند. ترکیب سیستم‌های خورشیدی با سیستم‌های آب شیرین کن در مقالات مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی‌ها، سیستم‌ها از منظر انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۵-۲۸].

چاندشکارا و همکارانش [۲۹] روش‌های مختلف استفاده از سیستم‌های خورشیدی برای تولید آب شیرین را مورد بازبینی و مطالعه قرار دادند. در این مقاله روش‌های مستقیم تولید آب شیرین در مقیاس پایین مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

عامر و همکارانش [۳۰] به بررسی سیستم انرژی خورشیدی با استفاده از شبکه عصبی پرداختند. توسعه‌ی سیستم‌های مختلف انرژی خورشیدی یکی از مهمترین راه‌حل‌های این سیستم می‌باشد. در این مقاله شبکه‌ی عصبی به عنوان یک سیستم مناسب برای مدل‌سازی جامع سیستم خورشیدی معرفی گردید. شایسته و عامری [۳۱] برای محرک یک MED از آینه‌های خطی فرنل و سیکل ارگانیک رانکین (ORC<sup>۳</sup>) استفاده نمودند. در

<sup>۱</sup> Concentrating Solar Power

<sup>۲</sup> Multiple-effect Distillation

Organic<sup>۳</sup> Rankin Cycle

این سیستم از دمای بخار اشباع ۷۰ درجه و MED با شاخص بی‌بعد بهره تولید برابر ۹/۸ بهره گرفته شد. در این تحلیل از آنالیز اقتصادی نیز برای بررسی سیستم استفاده شد. پارامترهایی که در تعیین بهبود عملکرد سیکل ارگانیک رانکین در جریان بازیافت انرژی تأثیر دارند عبارتند از: نحوه پیکربندی سیکل ارگانیک رانکین، سیال عامل متناسب با شرایط منبع گرمایی، قیود حاکم بر منابع دما و به کارگیری سیستم ORC برای تولید همزمان. تحقیقات مختلفی در خصوص هر یک از پارامترها به خصوص تعیین پیکربندی و انتخاب سیال عامل متناسب با شرایط منابع حرارتی صورت پذیرفته است. می‌توان به برخی از این تحقیقات در جدول (۱) اشاره نمود. در تحقیقات صورت گرفته شده مشاهده می‌شود که سیالی که دمای بحرانی آن به منبع حرارتی نزدیک تر باشد دارای بیشترین راندمان حرارتی است.

### جدول ۱- تحقیقات صورت گرفته شده در خصوص تأمین انرژی محرک سیستم اسمز مکعوس از منابع حرارتی مختلف

سال	نویسندگان	منبع حرارتی	قیمت آب تولیدی (\$/m <sup>3</sup> )	درصد ریکاوری (%)	تابع هدف
۲۰۰۵	منولاکس <sup>۱</sup> و همکارانش [۳۲]	خورشیدی	۰	۲۱-۱۸	-
۲۰۰۷	دلگاد و تورسا <sup>۲</sup> [۳۳]	خورشیدی	۰	-	-
۲۰۰۸	برونو و همکارانش [۳۴]	خورشیدی	۲/۰۳ - ۱۴/۸۵	۷۵ - ۵۰	-
۲۰۰۹	کسموداکیس <sup>۳</sup> و همکارانش [۳۵]	خورشیدی	۶/۸۵	-	-
۲۰۱۰	تچینگ <sup>۴</sup> و همکارانش [۳۶]	خورشیدی	-	-	-
۲۰۱۰	نفعی و شرفی [۳۷]	خورشیدی	۰/۹ - ۰/۶۸	-	هزینه آب شیرین شده
۲۰۱۱	کارلاس <sup>۵</sup> و همکارانش [۳۸]	خورشیدی	-	۱۵	-
۲۰۱۲	پناته و گراسیا [۳۹]	خورشیدی	-	۴۰	-
۲۰۱۳	لی <sup>۶</sup> و همکارانش [۴۰]	خورشیدی	-	۵۰	-
۲۰۱۶	مختاری و همکارانش [۴۱]	خورشیدی	۰/۵۶	۷۵	هزینه، ریکاوری
۲۰۱۷	نعمتی و همکارانش [۴۲]	بازیافت حرارت	-	۳۰	راندمان انرژی و هزینه
۲۰۱۸	عرب چادگانی و همکارانش [۴۳]	خورشیدی	-	-	-
۲۰۱۹	شایسته و همکارانش [۲]	بازیافت حرارت	۰/۵۶	۳۰	راندمان انرژی، اثرات زیست محیطی و هزینه

<sup>1</sup> Manolakos

<sup>2</sup> Delgado-Torres

<sup>3</sup> Kosmadakis

<sup>4</sup> Tchanche

<sup>5</sup> Karellas

<sup>6</sup> Li

آسایش و همکارانش [۴۴] با یک دودکش خورشیدی به تولید همزمان برق و آب شیرین پرداختند. در این کار براساس الگوریتم پرنندگان به بهینه سازی سیستم مذکور پرداخته شد. تکنولوژی انتخاب شده در شیرین سازی براساس برق تولید سیستم RO بوده و مقدار تولید آب ناچیز گزارش شده است.

دیو و همکارانش [۴۵] به بررسی سیستم آب شیرین کن جذبی پرداختند. در این سیستم که براساس ماده‌ی سیلکاژل کار می‌کند، در دو مرحله‌ی جذب و دفع آب به شیرین‌سازی آب می‌پردازد. این سیستم که یک سیستم گذرا می‌باشد به صورت پیوسته به تولید آب شیرین نمی‌پردازد، بلکه مجموعه‌ای از سیستم‌های مذکور می‌تواند مقدار ثابت آب را تولید نماید. در این مقاله مساحت کلکتور تأمین کننده‌ی حرارت برای سیستم جذبی بهینه سازی و طراحی شد. این سیستم با دمای پایین قابل بهره برداری بوده و نسبت انرژی مصرفی پایینی به آب شیرین تولیدی دارد. این نتایج برای شرایط مختلف محیطی و میزان تابش خورشید مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به موقعیت جغرافیایی هر طرح آب شیرین کن روش‌های مختلفی برای دفع پساب وجود دارد. روش کلی تزریق پساب تولید به دریا و اقیانوس‌ها می‌باشد. تقریباً ۵ الی ۱۰ کیلومتر از خط ساحلی به واسطه‌ی پساب آب شیرین کن‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند و اثرات زیست محیطی را برای منطقه به وجود می‌آورند. مرجع [۴] مقدار پساب تولید شده به فاصله از خط ساحلی در فاصله‌ی ۵ تا ۱۰ کیلومتری نشان داد شده است. نتایج نشان می‌دهد حجم زیادی از براین تولید شده در خاورمیانه و مناطق شمالی آفریقا قرار دارد. حجم تولید پساب به مراتب در این مناطق بیش از یک میلیون بشکه در روز است منطقه‌ی خاورمیانه سه تولید کننده عمده‌ی آب یعنی امارات متحده‌ی عربی، عربستان سعودی و قطر را که روزانه ۷۲ میلیون مترمکعب آب شیرین تولید می‌کنند را در خود جای داده است. براساس بررسی‌های صورت گرفته شده در مرجع [۴] سیستم RO که تکنولوژی غالب برای تولید آب شیرین می‌باشد دارای حجم براین کمی نسبت به دیگر سیستم‌هاست. تقریباً ۸۷/۹ درصد از براین از سیستم‌های با منبع آب تغذیه دریا تولید می‌شود و مابقی از منبع آبی مختلفی تولید می‌شوند.

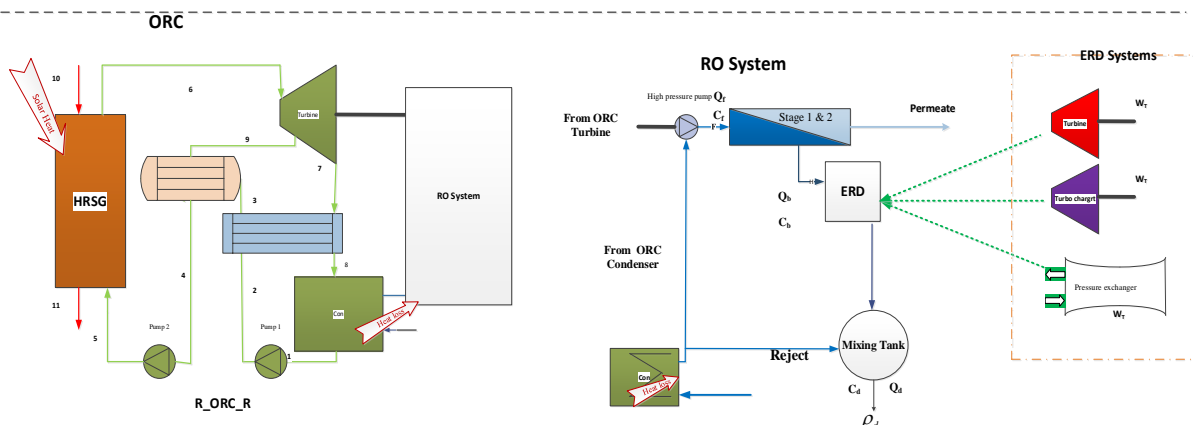
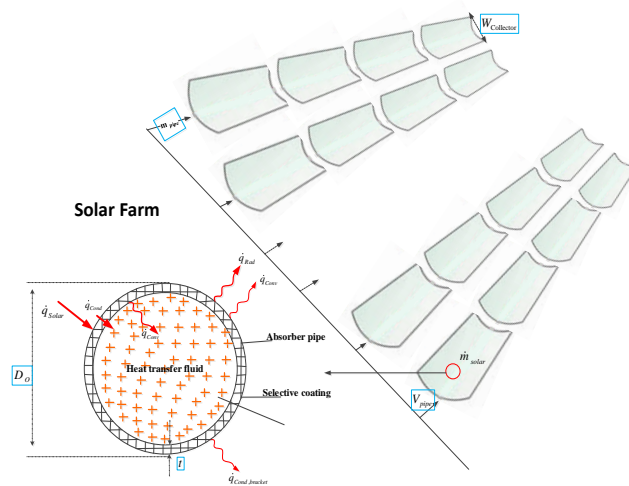
تحقیقات مختلفی در خصوص استفاده از انرژی خورشیدی به منظور تولید آب شیرین صورت پذیرفته است. تحقیق حاضر دارای نقاط برجسته‌ی زیر می‌باشد که نسبت به دیگر تحقیقات نقاط قوت تحقیق حاضر محسوب می‌شود.

- ارائه‌ی یک شاخص به منظور بررسی و تحلیل اثرات زیست محیطی براین سیستم‌های آب شیرین کن و توسعه‌ی آن برای برجسته نمودن آنالیز زیست محیطی آب شیرین کن‌هایی با محرک انرژی خورشید.
- مدلسازی یک سیستم خورشیدی به همراه سیستم آب شیرین کن براساس بهینه سازی سه هدفه.
- تعیین پیکربندی بهینه ORC برای تولید توان از طریق یک مزرعه‌ی خورشیدی.
- بررسی سیستم‌های خورشیدی و سیستم‌های آب شیرین کن بر اساس آنالیز 4E.
- استفاده از تلفات حرارتی برای کاهش اثرات زیست محیطی.
- انتخاب سیال عامل و سیستم بازیافت انرژی (ERD<sup>1</sup>) در بخش آب شیرین کن در یک مزرعه‌ی خورشیدی بر اساس الگوریتم ژنتیک.

<sup>1</sup> Energy Recovery Device

## ۲- توصیف سیستم

در این مقاله نیز بر اساس آنالیز انرژی، انرژی، اقتصادی و اثرات زیست محیطی انواع پیکربندی ORC به منظور تأمین توان پمپ فشار قوی سیستم RO مورد بررسی قرار می‌گیرند. افزایش هزینه‌ها از یک سمت به دلیل اضافه نمودن اجزاء نظیر ریکوپراتور، مبدل‌های حرارتی در سیکل‌های مورد بررسی و همچنین تغییرات توان و راندمان در این گونه سیکل‌ها منجر به آن شد تا انتخاب پیکربندی سیکل و همچنین سیال عامل توسط الگوریتم ژنتیک صورت پذیرد. هزینه‌های مربوط به تأمین غشاء و طراحی پیکربندی سیستم RO با کمک الگوریتم ژنتیک به عنوان یک هدف تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه بخش اعظمی از هزینه‌ها مرتبط با مزرعه‌ی خورشیدی می‌باشد در نتیجه سیستم خورشیدی نیز همزمان با سیکل‌های دیگر بهینه شده تا پارامترهای بهینه‌ی آن نظیر قطر جاذب و عرض کلکتور تعیین گردد. الگوریتم ژنتیک بر اساس سه تابع هدف (۱) راندمان انرژی، (۲) هزینه تولید واحد آب شیرین (UPC<sup>۱</sup>) و (۳) تابع اثرات زیست محیطی بهینه سازی را انجام می‌دهد. تابع بی‌بعد براساس نسبت اختلاف چگالی آب دریا و آب برای در ریکواری تعریف شد تا دبی آب برای، غلظت و محدوده‌ی وسعت انتشار آن را به حداقل برساند.



شکل ۱- شماتیکی از سیکل مورد بررسی جهت تولید توان و آب شیرین با محرک خورشیدی

<sup>۱</sup> Unit Product Cost

در توضیح بخش سیکل ORC-RO باید اشاره نمود که آب پیش گرم شده وارد بخش پیش تصفیه می شود. با عبور آب از دو فیلتر مدیا و کربنی وارد پمپ سیستم RO می شود. براساس شاخص های مد نظر در این تحقیق و از منظر بهبود در شرایط به طراحی سیستم پرداخته می شود. تعداد مراحل و نوع سیال و غشاء از جمله پارامترهایی است که در این بررسی انتخاب خواهد شد. آب تغذیه پس از ورود به مراحل سیستم RO دو جریان تغلیظ شده و شیرین شده را تولید می کند. آب شیرین تولید شده وارد تانک ذخیره شده و جریان تغلیظ شده به واسطه فشار بالا وارد یک سیستم بازیاب حرارتی می شود. این سیستم نیز می تواند از انواع تکنولوژی نظیر توربوشارژر و یا مبدل فشار انتخاب شود که برای توضیح بیشتر این سیستم ها می توان به مرجع [۴۶] مراجعه نمود.

در نهایت آب براین خروجی با آب ریجکت شده از سیستم که در شکل مشخص است مخلوط می شود تا منجر به کاهش اثرات زیست محیطی، شوری و دمای آب ورودی به دریا شود.

شکل (۱) شماتیک سیستم خورشیدی به منظور تحویل برق به سیستم RO برای تولید آب شیرین را نشان می دهد. طراحی سیستم خورشیدی براساس ریکاوری، و تعداد ممبراین ها از نظر اقتصادی و کمترین اثرات زیست محیطی نیازمند بهینه سازی می باشد. تولید آب بیشتر منجر به افزایش شوری براین و افزایش مواد تزریقی شیمیایی می گردد. به عبارت دیگر افزایش تولید آب به طور مستقیم بر روی کاهش اثرات زیست محیطی نقشی نخواهد داشت. افزایش و کاهش غلظت و مقدار براین بر روی زمان و محدوده وسیع مخلوط شدن با آب دریا تأثیر گذار است. همچنین انتخاب سیال عامل که منجر به کاهش شاخص های زیست محیطی شود از جمله اهداف این بهینه سازی می باشد. به منظور این بهینه سازی باید چند فاکتور اصلی مد نظر باشد. سیکلی که بتواند با توجه به شرایط موجود در حالت بهینه پارامترهای بیان شده را در حد مطلوبی قرار دهد و تولید آب شیرین با کمترین قیمت تمام شده را دارا باشد. همچنین مزرعه ی خورشیدی با بیشترین راندمان و کمترین هزینه ی ممکن را طراحی نماید و اثرات زیست محیطی براین را کاهش دهد.

### ۳- مدل سازی

در این قسمت در چهار بخش به آنالیز انرژی، انرژی، اقتصادی و اثرات زیست محیطی سیستم پرداخته می شود.

#### ۳-۱- آنالیز انرژی و انرژی

در این بخش معادلات مدل سازی ORC و سیستم RO ارائه می گردد

#### ۳-۱-۱- مدل سازی ORC

روابط انرژی، انرژی و توابع اقتصادی این سیستم در جدول (۲) ارائه گردیده است. افت فشار در مسیر سیال ارگانیک ناچیز است و از تلفات دمایی در سیکل صرف نظر شده است. دمای پینچ و پروچ به ترتیب اختلاف دمای بین حالت اشباع و آب خروجی از اواپراتور و اختلاف دمای بین اشباع سیال ارگانیک ورودی با اکونومایزر می باشد.



جدول ۲- معادلات قانون اول و دوم ترمودینامیک و توابع تعیین قیمت هر جزء [۴۹، ۴۵]

اجزای سیستم	پارامتر ورودی	روابطی انرژی	روابطی انرژی	هزینه
توربین	$\eta_T$ $P_6$	$T_6 \langle K \rangle = T_{sat}(P_6)$ $\eta_T = \frac{h_6 - h_8}{h_6 - h_{8,is}}$ $W \left\langle \frac{kJ}{kg} \right\rangle = m_7(h_6 - h_7) + (1 - m_7)(h_6 - h_8)$ $\dot{W}_T \langle kW \rangle = \dot{m}_7(h_6 - h_7) + \dot{m}_8(h_6 - h_8)$	$E\dot{x}_D = E\dot{x}_6 - E\dot{x}_7 - E\dot{x}_8 - \dot{W}_T$ $E\dot{x}_F = E\dot{x}_6 - E\dot{x}_7 - E\dot{x}_8$ $E\dot{x}_P = \dot{W}_T$ $\frac{E\dot{x}_P}{E\dot{x}_F} \rightarrow \eta_{Ex} = \frac{\dot{W}_T}{E\dot{x}_6 - E\dot{x}_7 - E\dot{x}_8}$	$CC_{Turbine} = 3880.5 \dot{W}_T^{0.7} \phi_\eta \phi_T$ $\phi_\eta = \left( 1 + \left( \frac{1 - 0.95}{1 - \eta_T} \right)^4 \right)$ $\phi_T = \left( 1 + 5 \left( \exp \left( \frac{T_6 - 866}{10.42} \right) \right) \right)$
مبدل حرارتی	$\eta_{IHE}$	$\eta_{IHE} = \frac{T_8 - T_9}{T_8 - T_1}$ $A_{IHE} \langle m^2 \rangle = \frac{\dot{Q}_{IHE}}{U \times MTD}$	$E\dot{x}_D = (E\dot{x}_8 + E\dot{x}_2) - (E\dot{x}_9 + E\dot{x}_3)E\dot{x}_F$ $= E\dot{x}_3 - E\dot{x}_2$ $E\dot{x}_P = E\dot{x}_8 - E\dot{x}_9$ $\eta_{Ex} = \frac{E\dot{x}_8 - E\dot{x}_9}{E\dot{x}_3 - E\dot{x}_2}$	$CC_{IHE} = 8000 + 259.2 \times A_{IHE}^{0.91}$
کندانسور	$T_1$ $\Delta T$	$P_1 = P_{sat}(T_{con})$ $\dot{Q}_{cond} \langle W \rangle = \dot{m}_1(h_9 - h_1)$ $T_{cw,out} = T_{cw,in} + \Delta T$ $T_{cw,in} = T_{SeaWater}$ $\dot{m}_{water} \left\langle \frac{kg}{s} \right\rangle = \frac{\dot{Q}_{cond}}{Cp_{water} \Delta T}$	$E\dot{x}_D = (E\dot{x}_9 + E\dot{x}_{waterin}) - (E\dot{x}_1 + E\dot{x}_{waterout})E\dot{x}_F$ $= E\dot{x}_{waterin} - E\dot{x}_{waterout}$ $E\dot{x}_P = E\dot{x}_9 - E\dot{x}_1$ $\eta_{Ex} = \frac{E\dot{x}_9 - E\dot{x}_1}{E\dot{x}_{waterin} - E\dot{x}_{waterout}}$	$CC_{cond} = \frac{280.74 \dot{Q}_{cond}}{2200 \Delta T} + 746 \dot{m}_{water}$ $+ 70.5 \dot{Q}_{cond} \times (-0.6936 \ln(T_{cw,out} - T_{cw,in}) + 2.1897)$
پمپ	$\eta_P$ $P_7$	$h_2 = h_1 + W_p \left\langle \frac{kJ}{kg} \right\rangle$ $W_p \left\langle \frac{kJ}{kg} \right\rangle = \frac{(P_2 - P_1)}{\eta_P \rho_1}$ $P_2 = P_7$ $W_{p,1} \langle kW \rangle = \dot{m}_1(h_2 - h_1)$	$E\dot{x}_D = (\dot{W}_p + E\dot{x}_1) - E\dot{x}_2$ $E\dot{x}_F = \dot{W}_p$ $E\dot{x}_P = E\dot{x}_2 - E\dot{x}_1$ $\eta_{Ex} = \frac{E\dot{x}_2 - E\dot{x}_1}{\dot{W}_p}$	$CC_p = 549.13 (W_p)^{0.71} f_m \cdot \phi_\eta$ $\phi_\eta = 1 + \left( \frac{1 - 0.8}{1 - \eta_1} \right)^3$ $f_m = \begin{cases} \text{cast iron} = 1 \\ \text{Steel} = 1.41 \end{cases}$ $f_m : \text{Material correction factor, here: } f_m = 1.41$
گرمکن سیال ارگانیک	$P_7$	$\eta_T = \frac{h_6 - h_7}{h_6 - h_{7,is}}$ $T_7 = f(P_7, h_7)$	$E\dot{x}_D = (E\dot{x}_7 + E\dot{x}_3) - E\dot{x}_4$ $E\dot{x}_F = E\dot{x}_7 + E\dot{x}_2$ $E\dot{x}_P = E\dot{x}_4$ $\eta_{Ex} = \frac{E\dot{x}_2 - E\dot{x}_1}{\dot{W}_p}$	$CC_{OFoH} = b (\dot{Q}_{OFoH})^{0.7}$ $b = 145.315 \frac{\$}{kW^{0.7}}$
دیگ بخار بازتاب حرارت	$T_{p,p}$ $T_{app}$ $T_{oil,in}$ $\dot{m}_{oil}$	$T_{app} = T_{sat} - T_{f,o,Eco}$ $T_{p,p} = T_{oil,out,Eva} - T_{sat}$ $Eco: \dot{m}_{oil} Cp_{Gas} (T_{oil,o,Eco} - T_{oil,i,Eco}) = \dot{m}_f (h_{f,o,Eco} - h_{f,i,Eco})$ $Eva: \dot{m}_{oil} Cp_{oil} (T_{Gas,o,Eva} - T_{oil,i,Eva}) = \dot{m}_f (h_g - h_{f,o})$	$E\dot{x}_D = (E\dot{x}_{oil,in} + E\dot{x}_6) - (E\dot{x}_{oil,out} + E\dot{x}_5)E\dot{x}_F$ $= E\dot{x}_{oil,in} - E\dot{x}_{oil,out}$ $E\dot{x}_P = E\dot{x}_6 - E\dot{x}_5$ $\eta_{Ex} = \frac{E\dot{x}_6 - E\dot{x}_5}{E\dot{x}_{oil,in} - E\dot{x}_{oil,out}}$	$CC_{HRSG} = c \left[ \left( \frac{\dot{Q}_{Eco}}{LMTD_{Eco}} \right)^{0.8} + \left( \frac{\dot{Q}_{Eva}}{LMTD_{Eva}} \right)^{0.8} \right]$ $+ d \times \dot{m}_{ORC} + e \times \dot{m}_{oil}^{1.2} c$ $= 6570 \frac{\$}{(kW/K)^{0.8}}$ $d = 21276 \frac{\$}{(kg/s)}$ $e = 1184.4 \frac{\$}{(kg/s)^{1.2}}$

## ۳-۱-۲- مدل سازی سیستم RO

در قسمت تولید آب شیرین از یک سیستم اسمز معکوس استفاده شده است. مدل سازی بخش اسمز معکوس از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول طراحی شامل تعیین تعداد مراحل و نوع ممبراین است. در این بخش بر اساس مراجع [۴۵] مدل سازی صورت پذیرفته است. مدل سازی در این مقاله بر اساس روش المان به المان صورت پذیرفته است. معادلات اساسی مطابق جدول (۳) می باشد. ضریب تصحیح دما برای ممبراین شرکت DOW براساس روابط ارائه شده به صورت زیر تعریف می شود.

جدول ۳- معادلات اساسی جهت مدلسازی اجزای سیستم اسمز معکوس [۴۵]

معادلات سیستم اسمز معکوس	
$J_w = A \times TCF \left[ \left( P_f - P_p - \frac{\Delta P_f}{2} \right) - (\pi_w - \pi_p) \right] \times 10^6$	(۱)
$J_s = B (C_w - C_p)$	(۲)
$V_w = \frac{J_w + J_s}{\rho_p}$	(۳)
$C_p = \frac{J_s}{V_w} \times 1000$	(۴)
$C_w = C_p + \left( \frac{C_f + C_b}{2} - C_p \right) e^{\frac{V_w}{k}}$	(۵)
$Q_p = V_w S_m$	(۶)
$\theta$	(۷)
$C_B = \frac{Q_F C_F - Q_P C_P}{Q_B}$	(۸)

A: نفوذ پذیری آب  $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}]$ B: ضریب انتقال املاح  $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]$ C<sub>f</sub>: غلظت برای در سمت تغذیه غشاء  $[\text{kg/m}^3]$ Π: فشار اسمزی موضعی محلول  $[\text{MPa}]$ J<sub>w</sub>: شار نفوذ محلول  $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]$ J<sub>s</sub>: شار محلی محلولC: غلظت نمک  $[\text{ppm}]$ V<sub>w</sub>: سرعت محلول نمک  $[\text{m/s}]$ 

W: دیواره غشاء

F: جریان خوراک

Q: دبی جریان  $[\text{m}^3/\text{h}]$ K: ضریب انتقال جرم  $[\text{m/s}]$ 

B: جریان برای

$$TCF = EXP \left[ 2640 \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right] @ T \geq 25^{\circ}C$$

$$TCF = EXP \left[ 3020 \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right] @ T \leq 25^{\circ}C$$
(۹)

رابطه (۹) ضریب تصحیح دما می باشد. روابط افت فشار و انتقال جرم به ترتیب براساس رابطه‌ی هاگن-پوازی و عدد شرود و اشمیت مطابق مراجع [۴۹] تعیین می‌شوند. مواد افزودنی مورد استفاده و کاربرد هر یک از آن‌ها را برای سیستم اسمز معکوس بر اساس مراجع [۲] تعیین می‌گردد.

### ۳-۱-۳- مدل سازی مزرعه‌ی خورشیدی

در این مدل سازی، شبیه سازی عملکرد دریافت کننده شار خورشیدی بر مبنای بالانس انرژی بین سیال ناقل حرارت و اتمسفر انجام می‌گردد. این مدل سازی همه‌ی روابط ضروری را جهت پیش‌بینی پارامترها در بر دارد که به عواملی از قبیل نوع کلکتور مورد استفاده، شرایط لوله‌ی دریافت کننده، خواص نوری دریافت کننده و شرایط محیطی بستگی خواهد داشت. براساس قانون سرمایه‌ی نیوتن، انتقال حرارت جابجایی از سطح درونی یک لوله‌ی جاذب به سیال ناقل حرارت با معادلات زیر محاسبه خواهد شد [۴۸]:

$$\dot{q}'_{conv} = h_f D \pi (T_w - T_f)$$
(۱۰)

و برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی:

$$h_i = Nu \frac{K_f}{D}$$
(۱۱)

در این معادله دماهای  $T_w$  و  $T_f$  مستقل از جهت‌های شعاعی و طولی دریافت کننده بوده و بنابراین به خوبی می‌توان همه‌ی دماها و شرایط را در حالت یک بعدی مدل سازی نمود. عدد ناسلت به نوع سیال گذرنده از لوله‌ی دریافت کننده بستگی دارد. در شرایط بهره‌برداری عادی جریان سیال داخل دریافت کننده در اکثر طراحی‌ها به خوبی با ناحیه‌ی آشفته مطابقت داشته، ولی با این وجود در طول ساعات تاریک شبانه روز یا در زمان محاسبه‌ی افت‌های حرارتی از جزء دریافت کننده‌ی گرما، می‌تواند به دلیل ویسکوزیته‌ی سیال ناقل، در دماهای پایین جریان گذرا و یا آرام باشد. در اینجا برای کامل‌تر شدن مدل سازی همه‌ی حالت‌ها در نظر گرفته شده است. برای مدل سازی انتقال حرارت جابجایی از لوله‌ی جاذب به سیال ناقل حرارت برای جریان‌های آشفته و گذرا یعنی در اعداد رینولدز بالاتر از ۲۳۰۰، رابطه‌ی زیر برای عدد ناسلت توسط گنیللی نسکی ارائه شده است [۴۸] و استفاده می‌شود.

$$Nu = \frac{f/8(Re - 1000)Pr}{1 + 12.7\sqrt{f/8}(Pr^{2/3} - 1)} \left( \frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.11}$$
(۱۲)

که  $f$  از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$f = [1.82 \log_{10}(Re) - 1.64]^{-2} \quad (13)$$

برای حالت جریان آرام، عدد رینولدز از ۲۳۰۰ کمتر می‌باشد، عدد ناسلت ثابت بوده و برای جریان درون لوله این مقدار ۴/۳۶ خواهد بود. انتقال حرارت از لوله به اتمسفر به دو صورت جابجایی و تشعشعی صورت می‌گیرد. جابجایی می‌تواند به هر دو شکل طبیعی و اجباری انجام شود که بستگی به سرعت وزش باد دارد. انتقال حرارت تشعشعی هم به دلیل اختلاف دما بین لوله و آسمان انجام خواهد شد.

انتقال حرارت جابجایی از لوله به اتمسفر ( $\dot{q}'_{conv}$ ) بزرگترین منشأ افت حرارتی در کل سیستم متمرکز کننده سهموی می‌باشد، به خصوص در حالتی که وزش باد منجر به انتقال حرارت جابجایی اجباری گردد. بنابر قانون سرمایه‌ی نیوتن [۴۸]:

$$\dot{q}'_{conv} = h_o \pi D (T_w - T_{amb}) \quad (14)$$

$$h_o = \frac{K_{amb} \overline{Nu}_o}{D} \quad (15)$$

که در رابطه (۱۵) برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی، عدد ناسلت وابسته به وزش یا عدم وزش باد می‌باشد. در حالت عدم وزش باد انتقال حرارت جابجایی از پوشش شیشه‌ای به محیط از طریق جابجایی طبیعی خواهد بود. در این حالت روابط توسط چرچیل و چو توسعه یافته است که جهت پیش بینی عدد ناسلت استفاده می‌شود [۴۵].

$$\overline{Nu}_o = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (16)$$

برای بدست آوردن عدد رایلی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Ra = \frac{g \beta (T_w - T_{amb}) D^3}{(\alpha \nu)} \quad (17)$$

این رابطه برای مقادیر خاص عدد رایلی (بین  $10^5$  تا  $10^{12}$ ) صادق است و لوله‌ی افقی بلند را به صورت تک‌دما فرض می‌کند. همچنین خواص سیال در دمای فیلم یعنی  $\left(\frac{T_w + T_{amb}}{2}\right)$  محاسبه می‌شوند. برای حالت وزش باد انتقال حرارت جابجایی از محافظ شیشه‌ای به محیط از طریق جابجایی اجباری خواهد بود. عدد ناسلت در این حالت با رابطه‌ی زوکاکاس برای جریان‌های جابجایی اجباری خارجی روی یک استوانه‌ی تک‌دما بیان می‌شود [۴۹].

$$\overline{Nu} = C \times Re^m Pr_{amb}^n \left( \frac{Pr_{amb}}{Pr_w} \right)^{1/4} \quad (18)$$

که برای محاسبه عدد ناسلت از رابطه بالا، به مقادیر پارامترهای موجود در آن نیاز است که در جدول (۴) بیان شده است. علاوه بر پارامترهای ذکر شده در جدول فوق، مقدار  $n$  هم به این صورت می باشد که برای پرناتل های بزرگ تر از ۱۰، مقدار  $n=0.36$  خواهد بود و برای پرناتل های کوچک تر یا مساوی ۱۰ مقدار  $n=0.37$  می باشد. توجه شود رابطه (۱۸) برای مقادیر خاص اعداد رینولدز و پرناتل صادق است و همهی خواص سیال در دمای اتمسفریک محاسبه می شوند. اتلاف حرارت تشعشی در محافظ شیشه ای به دلیل تفاوت درجه حرارت بین پوشش شیشه ای و آسمان می باشد. برای تقریب زدن این موضوع پوشش شیشه ای به صورت یک شی کوچک محدب خاکستری فرض می شود که در یک جسم سیاه حفره مانند بزرگ که آسمان است، محصور می باشد. کل انتقال حرارت تشعشی بین پوشش شیشه ای و آسمان می شود [۴۹]:

$$\dot{q}'_{rad} = \sigma D \pi \varepsilon (T_w^4 - T_{sky}^4) \quad (19)$$

توجه شود که فرض جسم سیاه بودن آسمان فرض دقیقی نیست، به ویژه زمانی که آسمان ابری باشد. با این حال این فرض موجب خطای بزرگی نمی شود و قابل صرف نظر کردن می باشد. مقدار حرارت جذب شده در لوله های جاذب که با  $\dot{q}'_{SolAbs}$  مشخص می گردد، یک پدیده سطحی بوده و به عنوان شار حرارتی از رابطه زیر محاسبه می گردد [۴۹]:

$$\dot{q}'_{SolAbs} = \dot{q}'_{si} \eta_{abs} \alpha_{abs} \quad (20)$$

در این رابطه  $\alpha_{abs}$  ضریب جذب سطح لوله جاذب بوده،  $\dot{q}'_{si}$  تابش خورشیدی در واحد طول گیرنده می باشد که از ضرب مقدار تابش مستقیم خورشید در مساحت سطح مؤثر دریافت کننده و تقسیم حاصل آن بر طول دریافت کننده به دست می آید. همچنین  $\eta_{abs}$  از رابطه زیر بدست خواهد آمد [۴۹]:

$$\eta_{abs} = \eta_{env} \tau_{env} \quad (21)$$

که در رابطه (۲۱)  $\tau_{env}$  ضریب گذردهی شیشه محافظ بوده و برای محاسبه  $\eta_{env}$  از رابطه زیر استفاده می شود [۴۹]:

$$\eta_{env} = \varepsilon'_1 \varepsilon'_2 \varepsilon'_3 \varepsilon'_4 \varepsilon'_5 \varepsilon'_6 \rho_{cl} K \quad (22)$$

در رابطه فوق برای محاسبه پارامتر زاویه تابش خورشیدی،  $K$  از رابطه (۲۳) استفاده می شود [۴۹].

$$K = \cos \theta + 0.000884\theta - 0.00005369\theta^2 \quad (23)$$

جدول ۴- مقادیر پارامترهای رابطه زوکاکاس [۴۹]

Re	C	m
1 – 40	0.75	0.4
40 – 1000	0.51	0.5
1000 – 200000	0.26	0.6
200000 – 1000000	0.076	0.7

جدول ۵- ضرایب تأثیر راندمان نوری [۴۹]

$\varepsilon'_1$	۰/۹۷۴
$\varepsilon'_2$	۰/۹۹۴
$\varepsilon'_3$	۰/۹۸
$\varepsilon'_4$	reflectivity/ $\rho_{cl}$
$\varepsilon'_5$	$(1+\varepsilon'_4)/2$
$\varepsilon'_6$	۰/۹۶
$\rho_{cl}$	۰/۹۳۵

مابقی ضرایب موجود در رابطه (۲۳) در جدول (۵) موجود می‌باشد، در این جدول برخی پارامترهای اثرگذار بر راندمان نوری مؤثر را نشان می‌دهد. این جدول بر اساس اطلاعات حاصل از مدل‌سازی عملکرد نیروگاه‌های با سیستم تولید انرژی خورشیدی توسط نریل بدست آمده است [۴۹].

با استفاده از جدول (۵) می‌توان ضرایب رابطه (۲۲) را محاسبه و میزان تابش جذب شده خورشید توسط لوله جاذب  $\dot{q}'_{SolAbs}$  را محاسبه نمود، در این رابطه تمام پارامترها مستقل از دما فرض شده‌اند.

### ۳-۲- آنالیز انرژی

جریان در هر نقطه‌ی سیکل دارای دو ترم انرژی فیزیکی و شیمیایی می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود. در این مقاله از دیگر جریان‌های انرژی صرف نظر شده است [۵۰، ۵۱].

$$\dot{E}x = \dot{E}x^{PH} + \dot{E}x^{CH} \quad (24)$$

انرژی فیزیکی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۵۰، ۵۱].

$$ex_{ph} = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (25)$$

اگرژی شیمیایی آب دریا به صورت زیر محاسبه می شود که بر اساس تابع انرژی گیبس و ترکیبات آن تعیین می شود [۲]:

$$\mu_w = \frac{\partial G_{sw}}{\partial m_w} = g_w - w_s \frac{\partial g_{sw}}{\partial w_s} \quad (26)$$

$$g_{sw} = h_{sw} - (T - 273.15)s_{sw} \quad (27)$$

انرژی گیبس را می توان بر اساس همبستگی بین آنتالپی و انتروپی محاسبه نمود. این همبستگی به صورت زیر ارائه شده است:

$$\frac{\partial g_{sw}}{\partial w_s} = \frac{\partial h_{sw}}{\partial w_s} - (T - 273.15) \frac{\partial s}{\partial w_s} \quad (28)$$

تفاوت آنتروپی آب خالص و آنتروپی آب شور بر اساس غلظت نمک تعیین می شود. اگرژی شیمیایی آب شور به شرح زیر می باشد:

$$ex_{sw}^{ch} = \sum_{i=1}^n w_i (\mu_i - \mu_0) \quad (29)$$

با نوشتن معادله‌ی بالانس اگرژی در یک سیستم می توان مقدار تخریب اگرژی را در هر تجهیز محاسبه نمود [۴۹،۵۱].

$$\dot{E}x_Q + \sum_i \dot{m}_i ex_i = \sum_e \dot{m}_e ex_e + \dot{E}x_W + \dot{E}x_D \quad (30)$$

راندمان اگرژی را می توان بنا به تعریف اگرژی سوخت، مطابق مرجع [۴۹] به صورت زیر تعریف نمود:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}x_p}{\dot{E}x_{f,int,Plant}} \xrightarrow{Eq(23)} = 1 - \frac{\dot{E}x_D + E\dot{x}_L}{\dot{E}x_{f,int,Plant}} \quad (31)$$

### ۳-۳- آنالیز اقتصادی (3E)

با محاسبه‌ی هزینه‌ی خرید تجهیزات که شامل تجهیزات بخش ORC و سیستم اسمز معکوس و خورشیدی می باشد می توان معادلات آنالیز اقتصادی را مقاردهی نمود. بنا به جدول (۲) برای بخش های مختلف، هزینه مزرعه خورشیدی نیز ۳۵۰ دلار به ازای هر مترمربع در نظر گرفته شده است [۵۱]. هزینه‌های بخش سیستم اسمز معکوس نیز براساس روابط پیشنهادی در مرجع [۴۶] و هزینه‌های بازیاب حرارتی نیز از مرجع [۵۲]

تعیین می‌شود. هزینه‌های RO شامل تعویض ممبراین‌ها، هزینه‌های سالیانه‌ی بهره برداری که شامل: آزمایشگاه، تعمیرات، بیمه، مواد افزودنی شیمیایی می‌باشد در نظر گرفته شده است. هزینه‌ی بهره برداری دیگر اجزاء نیز با توجه به مرجع [۵۱] محاسبه شده است. در نهایت مجموع سالیانه‌ی بهره برداری به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$AOC_{Total} = AOC_{Other} + AOC_{RO} \quad (32)$$

هزینه‌ی کلی نرمال شده نیز از رابطه‌ی (۳۳) تعیین می‌گردد [۵۵]:

$$TAC = \frac{TCI}{CRF} + AOC_{Total} \quad (33)$$

هزینه سرمایه گذاری (CRF) وابسته به نرخ بهره و عمر تخمین زده تجهیزات است که از رابطه (۳۴) تعیین می‌شود [۵۵].

$$CRF = \frac{i(1+i)^{year}}{(1+i)^{year} - 1} \quad (34)$$

که در آن  $year$  سال عمر مفید طرح و  $i$  ضریب بهره می‌باشد که برای هر دو سیستم آب شیرین کن یکسان در نظر گرفته شده است. در نهایت مقدار هزینه واحد تولید آب شیرین به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$UPC = \frac{TAC}{\dot{Q}_p \times 365 \times 24 \times f_c} \quad (35)$$

این رابطه UPC بیان کننده میزان هزینه آب تولید شده براساس مجموعه هزینه‌های سالیانه‌ی بخش ORC و RO می‌باشد که براساس دبی آب تولید شده و ضریب عملکرد سیستم ( $f_c$ ) در طول سال براساس مرجع [۵۰] ۰/۹ در نظر گرفته شده است، محاسبه می‌گردد.

### ۳-۴- آنالیز زیست محیطی (4E)

#### ۳-۴-۱- بخش تولید توان

براساس استاندارد *ASHRAE Standard 34* می‌توان بنا به دو فاکتور میزان مسمویت و اشتعال پذیری سیالات مختلف را به عنوان سیالاتی که می‌توانند مورد بررسی قرار بگیرند انتخاب نمود [۵۸].

#### ۳-۴-۲- بخش سیستم اسمز معکوس

اثرات زیست محیطی در این بخش شامل (۱) مواد شیمیایی افزودنی برای پیش تصفیه‌ی سیستم اسمز معکوس و (۲) براین آب خروجی از RO می‌باشد. در این مقاله سعی شده است با افزایش دمای خوراک ورودی به سیستم



اسمزمعکوس هم تولید آب بر این افزایش یابد و هم اثرات زیست محیطی تخلیه بر این به دریا کاهش یابد. با افزایش تأثیر بیشتر دمای آب بر روی چگالی تا غلظت آب شور می توان دریافت که با افزایش نیروی بویانسی حجم بر این در محدوده کمیتری از دریا قرار خواهد گرفت و عمل اختلاط با سرعت بیشتری صورت خواهد پذیرفت. از طرفی افزایش دما پساب های تخلیه به دریا نیز دارای محدودیت می باشد. تابع بی بعد  $\zeta$  براساس مواردی که بیان شد به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\zeta = R \frac{\rho_{sw} - \rho_{1d}^*}{\rho_{2d}^* - \rho_{sw}} \rightarrow \text{Where } \begin{cases} \rho_{sw} = f(C_{sw}, T_{sw}) \\ \rho_{1,d}^* = f(C_{sw}, T_d) \\ \rho_{2,d}^* = f(C_d, T_{sw}) \end{cases} \quad (36)$$

به عبارت دیگر در این رابطه در صورت کسر اختلاف چگالی جریان رقیق شده در غلظت ثابت (مخلوط جریان آب بر این به همراه جریان ریجکت شده از سیستم) به اختلاف چگالی جریان ها براساس اختلاف غلظت در دماهای ثابت می باشد. ترم  $R$  که معرف بازیافت می باشد بیان کننده ی کاهش میزان دبی حجمی بر این تولید شده است. هر چه مقدار این تابع افزایش یابد بدین معنا است که اختلاف چگالی به وجود آمده موجب کاهش اثرات زیست محیطی بر این RO می شود. این افزایش اختلاف چگالی در رابطه به سمتی خواهد رفت که برای ماکسیمم شدن مقدار  $\zeta$  مقدار غلظت تخلیه به دریا کاهش و دمای بر این تخلیه شده براساس محدودیت ممبراین مورد استفاده در سیستم افزایش یابد. از طرفی برای کاهش حجم بر این تولید شده نیز پارامتر بازیافت حرارتی در این تابع لحاظ گردیده است.

#### ۴- بهینه سازی

جهت بهینه سازی یک سیستم ترمودینامیکی نیاز به تعیین متغیرهای تصمیم، تابع هدف و تعیین مشخصه های بهینه سازی برای الگوریتم ژنتیک است.

متغیرهای تصمیم در این مقاله بر اساس جدول (۶) بیان شده اند. برای تعیین پیکره بندی و ممبراین های به هر یک از آنها یک عدد صحیح اختصاص داده شده است که با انتخاب آن از سمت الگوریتم ژنتیک غشا مورد نظر انتخاب و تحلیل می گردد.

در تعیین تابع هدف همانطور که بیان شد میزان قیمت نهایی آب تولید شده و راندمان انرژی در بهینه سازی دو هدفه در نظر گرفته شده است. که به ترتیب از روابط (۳۱) و (۳۵) تعیین می شوند و در بهینه سازی سه هدفه علاوه بر دو تابع قبلی تابع اثرات زیست محیطی ( $\zeta$ ) نیز در نظر گرفته می شود که مطابق رابطه ی (۳۶) محاسبه می شود.

#### ۵- اعتبارسنجی

با توجه به این که سیکل مورد نظر از دو بخش تشکیل شده است اعتبارسنجی کار حاضر نیز در دو بخش مختلف ارائه می گردد.

جدول ۶- پارامترهای تصمیم گیری با حد بالا و پایین [۵۷، ۵۲، ۲]

توضیحات	حد پایین	حد بالا	واحد	پارامتر
-	۵۵۰	۴۲۰۰	kPa	فشار ورودی توربین
-	۴۰	۵۰	°C	دمای کندانسور
-	۱۰	۱۴۰	°C	دمای پینچ
-	۴	۹	°C	دمای اپروچ
بر اساس توصیه شرکت سازنده	۹	۵۳	%	بازیاب
-	۱	۲	-	تعداد مراحل
بر اساس پیشنهاد سازنده غشاء	۲	۸	-	تعداد غشاء در هر لوله
بر اساس پیشنهاد سازنده غشاء	۱	۹	-	مدل غشاء در مرحله اول
-	۴	۹	°C	اختلاف دمای آب ورودی و خروجی
-	۰	۸۵	%	درصد آب ریجکت شده
-	۷۵۰	۳۸۰۰	kPa	فشار مبدل حرارتی
	۱۵	۸۰	mm	قطر جاذب
	۱۰	۲۰	mm	ضخامت لوله جاذب
	۲/۵	۸	m	عرض کلکتور
-	۱/۵	۲/۲۵	m/s	سرعت اولیه سیال در لوله

## ۵-۱- بخش خورشیدی

کلکتور خورشیدی تحت شرایط بهره برداری مختلف مورد آزمایش قرار می‌گیرد که در جدول (۷) نشان داده شده است. سیال کاری Syltherm 800 می‌باشد. جدول (۷) نشان می‌دهد که میانگین خطای محاسبه دمای خروجی برابر با ۰/۱۲ درصد است. این خطای کوچک نشان‌دهنده دقت بالای مدل حرارتی توسعه یافته است.

جدول ۷- نتایج اعتبارسنجی با مرجع [۵۷]

حالت	شدت تشعشع $\left(\frac{W}{m^2}\right)$	سرعت باد $\left(\frac{m}{s}\right)$	محیط دمای $(K)$	دمای ورودی $(K)$	دبی $\left(\frac{L}{min}\right)$	$T_{out}(K)$		
						مرجع	مقاله حاضر	خطا (%)
۱	۹۳۳/۷	۲/۶	۲۹۴/۲	۳۷۵/۲	۴۷/۷	۳۹۷	۳۹۷/۸	۰/۲
۲	۹۶۸/۲	۳/۷	۲۹۵/۴	۴۲۴/۲	۴۷/۸	۴۴۶/۳	۴۴۷/۱	۰/۱۸
۳	۹۸۲/۳	۲/۵	۲۹۷/۳	۴۷۰/۵	۴۹/۱	۴۹۲/۵	۴۹۳/۳	۰/۱۶
۴	۹۰۹/۵	۳/۳	۲۹۹/۳	۵۲۳/۷	۵۴/۷	۵۴۲/۴	۵۴۲/۷	۰/۰۵
۵	۹۳۷/۹	۱	۲۹۹/۲	۵۷۰/۸	۵۵/۵	۵۸۹/۴	۵۹۰/۳	۰/۱۵
۶	۸۸۰/۶	۲/۹	۳۰۱/۸	۵۷۲	۵۵/۶	۵۹۰/۲	۵۸۹/۲	۰/۰۱

**۵-۲- بخش ORC**

خواص سیال ارگانیک بر اساس نرم افزار *Refprop* استخراج شده است. اعتبار سنجی بخش سیکل ارگانیک رانکین با مرجع [۲] برای سیستم صورت پذیرفته است. همان طور که در جدول (۸) مشاهده می شود خطای در این بخش نیز قابل قبول می باشد.

**۵-۳- بخش سیستم RO**

هر شرکت بر اساس ممبراین هایی که تولید نموده نرم افزاری را توسعه داده است که به صورت پیش فرض در پایگاه اطلاعاتی نرم افزار، اطلاعات ممبراین شرکت خود را قرار داده شده است. در این بخش کد توسعه داده شده با نرم افزار MATLAB با نرم افزار شرکت DOW با نام تجاری ROSA اعتبار سنجی شد و نتایج در جدول (۹) قابل مشاهده می باشد.

**جدول ۸- اعتبارسنجی خروجی کار حاضر با مرجع [۲]**

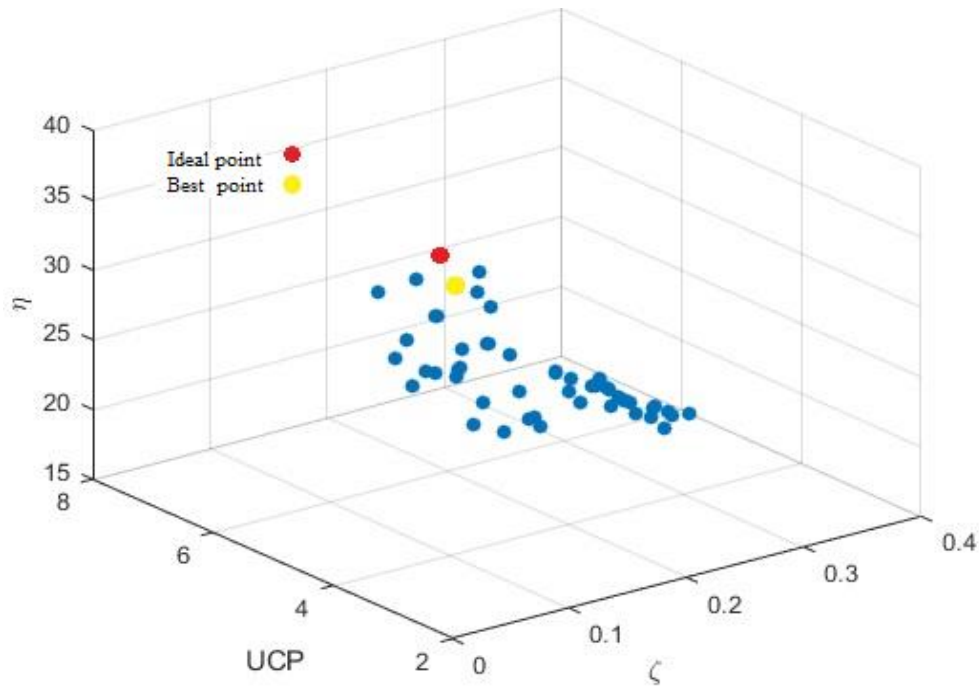
پارامتر	واحد	تحقیق حاضر	مرجع [۲]
ظرفیت اواپراتور	kW	۲۴۹	۲۵۲
ظرفیت کندانسور	kW	۱۹۵/۷	۱۹۶
توان توربین	kW	۶۰/۸	۶۲
توان پمپ	kW	۳/۸۹	۴/۰۶
توان خروجی	kW	۵۶/۱۱	۵۷/۹۴
بازده حرارتی	%	۲۱/۵	۲۲/۹۹
دبی جرمی سیال ارگانیک	kg/s	۱/۹۳	۱/۹۶

**جدول ۹- نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج ROSA6.1**

متغیر	برنامه توسعه داده شده	ROSA6.1	واحد
SEC	۷/۷۴۹	۷/۷۶	$\frac{kWh}{m^3}$
$W_P$	۱۱۳۰	۱۱۳۱/۴۲	kW
$\dot{m}_f$	۴۸۵/۹	۴۸۵/۹	$\frac{m^3}{h}$
$\dot{m}_b$	۳۴۰/۱	۳۴۰/۱۵	$\frac{m^3}{h}$
$C_b$	۶۴۱۸۰	۶۲۰۰۵	ppm
$C_p$	۲۵۰	۲۸۳/۸۳	ppm
$\Delta P$	۶۸۴۴	۶۶۷۰	kPa

## ۶- نتایج

براساس الگوریتم پیشنهادی سیستم، توابع هدف بیان شده به صورت سه هدفه بهینه سازی می گردد و منحنی پرتو آن در شکل (۲) نشان داده شده است. از کل انرژی تولید شده تقریباً ۵۸ درصد انرژی بازیافت گردیده که این امر از تخریب انرژی سیستم جلوگیری نموده است. در صورت عدم استفاده از این تجهیز انرژی با کیفیت بالا از سیستم خارج شده و منجر به افزایش  $ExL$  سیستم خواهد شد. یکی دیگر از عوامل افزایش هزینه‌ها کاهش دمای پینچ می‌باشد. با کاهش این دما مقدار بازیافت افزایش یافته و دمای روغن خروجی نیز کاهش یافته است. این امر دو تأثیر منفی بر روی سیکل خواهد داشت. در بخش اول با کاهش دمای روغن ورودی به مزرعه خورشیدی به طول و تعداد شاخه‌های بیشتری برای تامین انرژی نیاز است و این موضوع با توجه به اینکه بخش اعظمی از هزینه‌ها را طراحی و اجرای مزرعه‌ی خورشیدی به خود اختصاص می‌دهد، بسیار کاربردی می‌باشد. در بخش دوم منجر به افزایش هزینه‌های تجهیزات سیکل ORC به خصوص مبدل و توربین می‌شود که در سیکل ORC درصد قابل توجهی از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. هزینه مبدل و توربین به ترتیب برابر ۴۹ و ۱۸ درصد کل سیستم ارگانیک رانکین می‌باشد. مزرعه‌ی خورشید با طول ۲۰۰ متر و با قطر داخلی لوله‌ی جاذب برابر ۷۳/۵ mm، تعداد شاخه‌ها برابر ۱۲ عدد و عرض کلکتور برابر ۵/۳۵m متر در طرح پیشنهاد شده است. با این طراحی درصد هزینه‌های کل سیستم (TAC) به ترتیب برای مزرعه خورشیدی، سیکل ORC و سیستم RO در نقطه‌ی بهینه‌ی به ترتیب برابر ۷۶/۸۲٪، ۱۹/۶۴٪ و ۳/۵٪ می‌باشد. مشاهده می‌گردد در اکثر نقاط بهینه‌ی یافت شده براساس ریکواری، منبع آب و توان موجود برای پمپ فشار قوی پیکربندی سیستم RO به صورت تک مرحله‌ای صورت پذیرفته است. غشا در این پیکربندی از مدل SW30XLE-400i انتخاب شده است، تعداد ممبراین‌ها در هر لوله فشار برابر ۶ عدد انتخاب شده است. جدول (۱۰) خروجی‌های ناشی از بهینه‌سازی سه هدفه سیستم را نمایش می‌دهد. ریکواری انتخاب شده متأثر از فشار پمپ RO می‌باشد. در منحنی پرتو می‌توان مشاهده نمود که در یک توان تقریباً ثابت در منحنی پرتو با کاهش ۱۲ درصدی فشار ورودی ریکواری به میزان ۲۰ درصد کاهش یافته است. غشا انتخاب شده حداکثر تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر فشار ۸۰ بار را می‌تواند تحمل نمایند. با این قیود می‌توان مشاهده نمود که دما آب ورودی به سیستم برابر ۳۲/۶ درجه سانتی‌گراد و فشار ۶۴/۵ بار انتخاب شده است. پایین بودن فشار یکی از عوامل پایین بودن ریکواری می‌باشد. دلیل این امر به واسطه‌ی تابع بی‌بعد زیست محیطی است. با وجود این تابع برای کاهش آن از مقدار غلظت برای RO به واسطه‌ی کاهش ترم چگالی استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک با انتخاب سیستم RO یک مرحله‌ی باعث کاهش غلظت برای RO شده است. همچنین با در نظر گرفتن ۱۸ درصدی ریجکت بخش کندانسور برای رقیق سازی آب برای می‌توان مشاهده نمود که غلظت کاهش یافته است که نقش به‌سزایی در کاهش اثرات زیست محیطی دارد. با توجه به تابع  $\gamma$ ، تعادل بین حجم برای و نسبت چگالی‌ها منجر به افزایش سهم غلظت توسط الگوریتم ژنتیک گردیده است. در تحلیل اثرات زیست محیطی این سیستم‌ها می‌توان دریافت که در هر یک از نقاط در صورتی که مقدار برای کاهش یابد مقدار غلظت افزایش خواهد یافت. براساس ترم  $\frac{\rho_{sw} - \rho_{1d}^*}{\rho_{2d}^* - \rho_{sw}}$  در نقطه‌ی بهینه حدود ۰/۲۷ و مقدار ریکواری حدود ۰/۲۸ انتخاب شده است. این امر منجر به تأثیر سهم غلظت برای تولیدی در اثرات زیست محیطی خواهد شد.

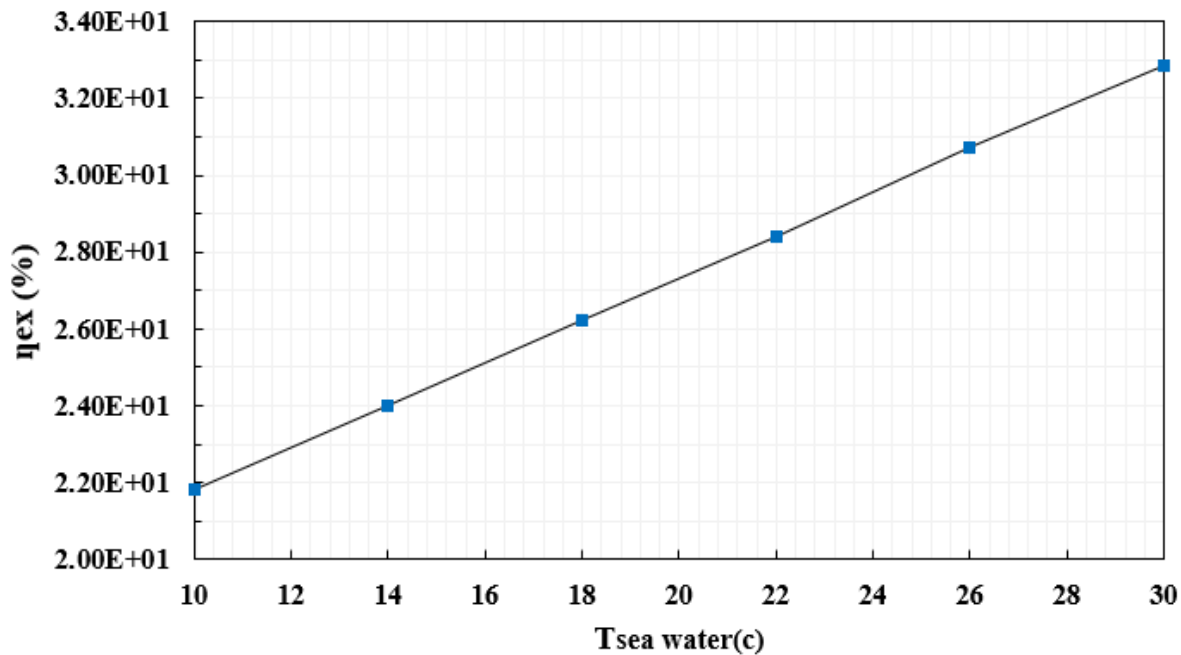


شکل ۲- منحنی پرتو سه هدفه براساس توابع هدف راندمان انرژی،  $\zeta$  و  $UPC$

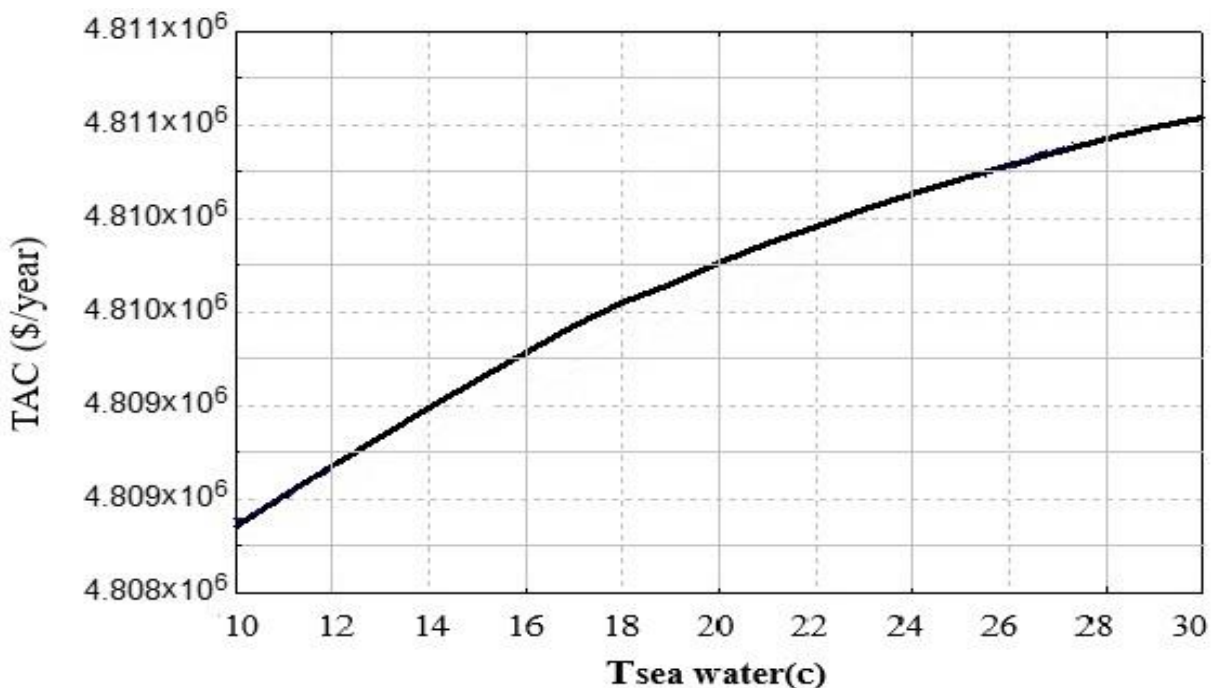
جدول ۱۰ - خروجی های حاصل از بهینه سازی سه هدفه

پارامتر	نماد	خروجی بهینه
سیال کاری	-	R123
هزینه های کلی سالیانه (\$/year)	TAC	$4/8 \times 10^6$
(%) بازده کلی انرژی	$\eta_{Ex}$	30/08
(%) بازده انرژی سیکل توان	$\eta_{Th}$	15/87
( $m^3/h$ ) آب شیرین تولیدی	$\dot{Q}_p$	180/12
(bars) فشار تغذیه ورودی	$P_f$	64/47
(ppm) غلظت محلول	$C_p$	181/4
(%) بازیافت	R	28/38
(MW) تخریب کلی انرژی	$E \dot{x}_D$	9/34
(\$/ $m^3$ ) هزینه تولید واحد	UPC	3/38
مدل غشا	-	SW30XLE-400i
تعداد مراحل	-	1
(ppm) غلظت براین	$C_b$	63102
( $m^3/h$ ) تولید براین	$\dot{Q}_b$	454/5
(ppm) غلظت رقیق شده	$C_d$	59031
( $m^3/h$ ) دبی جرمی جریان رقیق شده	$\dot{Q}_d$	142
اثرات زیست محیطی	$\zeta$	0/076

در نقطه‌ی بهینه به آنالیز حساسیت سیستم پرداخته شده است. میزان راندمان اگزرژی براساس تغییر دمای آب دریا در شکل (۳) مشاهده می‌شود. با افزایش دمای آب دریا به واسطه‌ی کاهش تخریب اگزرژی در کندانسور مقدار راندمان اگزرژی افزایش می‌یابد. در شکل (۴) میزان هزینه اعمال شده به سیستم با تغییرات دمای آب دریا مشاهده می‌گردد. با افزایش دمای آب دریا با توجه به نیاز به تجهیزات بیشتر و سطح انتقال حرارت بالاتر در کندانسور هزینه‌ها به صورت جزئی افزایش خواهد داشت.

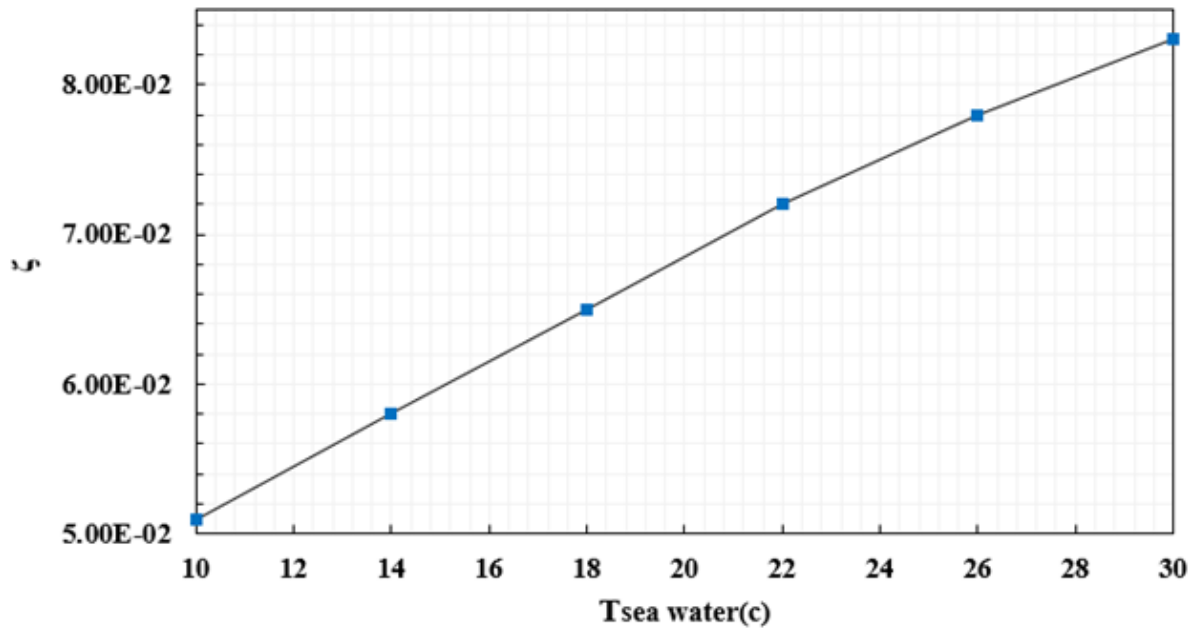


شکل ۳- تغییرات راندمان اگزرژی بر حسب تغییرات دمای آب دریا

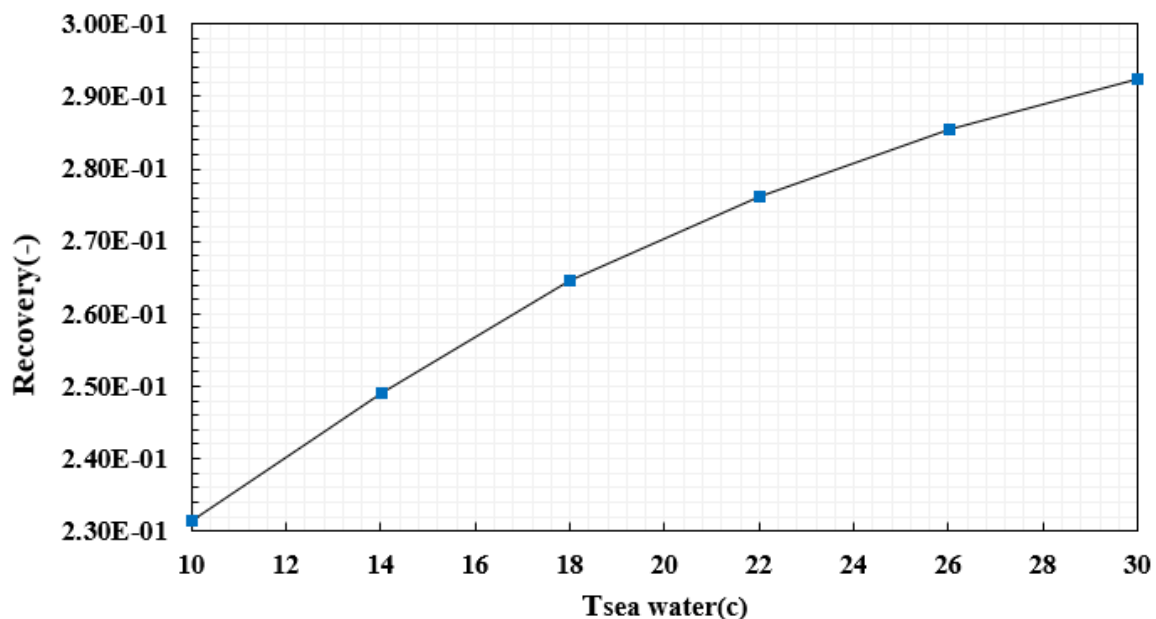


شکل ۴- تغییرات TAC بر حسب تغییرات دمای آب دریا

تغییر دمای آب دریا بیشتر بر روی راندمان انرژی و تابع بی بعد اثرات زیست محیطی تأثیر گذار خواهد بود به صورتی که مقدار تابع بی بعد زیست محیطی ۵۵٪ و راندمان انرژی ۶۰٪ تغییرات خواهد داشت و تولید آب تنها ۷۲٪ کاهش دارد. شکل (۵) نشان دهنده تأثیر تغییرات دمای آب دریا بر روی تابع بی بعد اثرات زیست محیطی برای این می باشد. همانگونه که مشاهده می گردد کاهش دمای آب خروجی از سیستم به دریا باعث کاهش نیروی بویانسی و اختلاط برای آب دریا و به دنبال آن افزایش اثرات مخرب زیست محیطی برای این گردیده است.

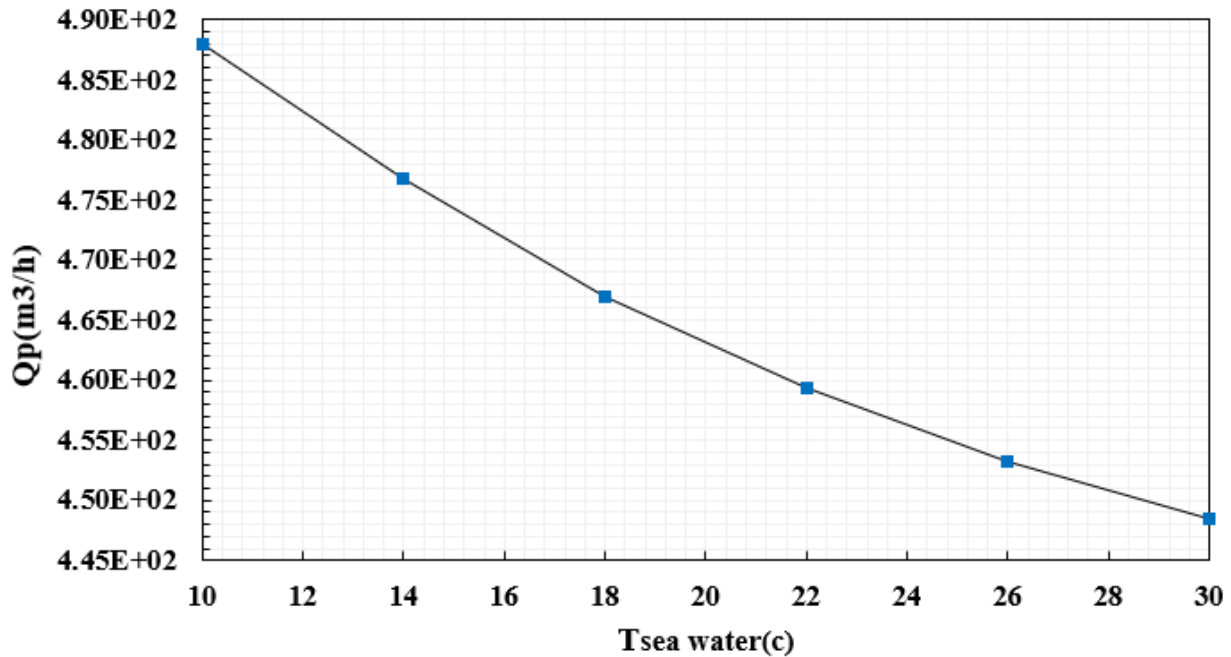


شکل ۵- تغییرات تابع بی بعد اثرات زیست محیطی نسبت به تغییرات دمای آب دریا

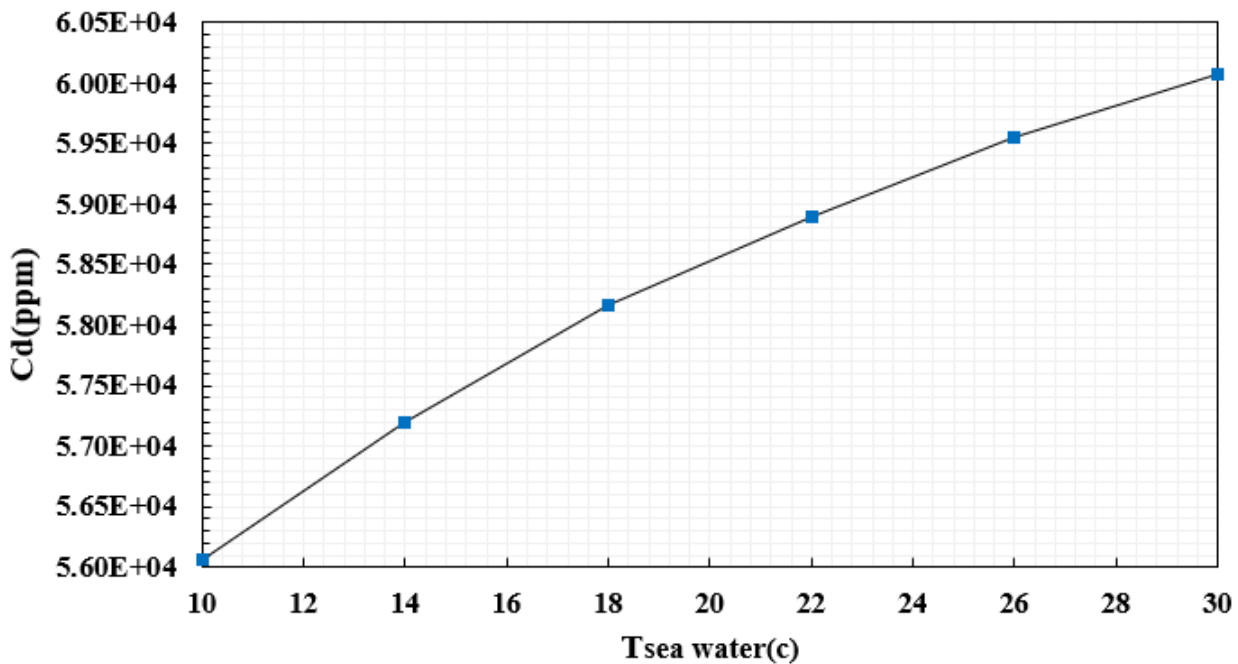


شکل ۶- تغییرات ریکاوری بر حسب تغییرات دمای آب دریا

شکل (۶) تاثیر تغییرات آب دریا بر روی ریکاوری را نمایش می دهد. افزایش ریکاوری به واسطه‌ی کاسته شدن از دبی آب تغذیه و افزایش دمای آب دریا می باشد که به نسبت آب شیرین تولید دارای تغییرات بیشتری می باشد. با توجه به ضریب تصحیح دما در معادلات، افزایش دما منجر به کاهش دبی آب شیرین تولید و غلظت آب شور تولید شده در سیستم می گردد. شکل های (۷) و (۸) مؤید این مطلب هستند که با افزایش دمای آب دریا دبی آب شیرین تولید کاهش یافته و غلظت آب شور تخلیه شده به دریا نیز افزایش می یابد. اثرات زیست محیطی را نیز به نسبت افزایش خواهد یافت.



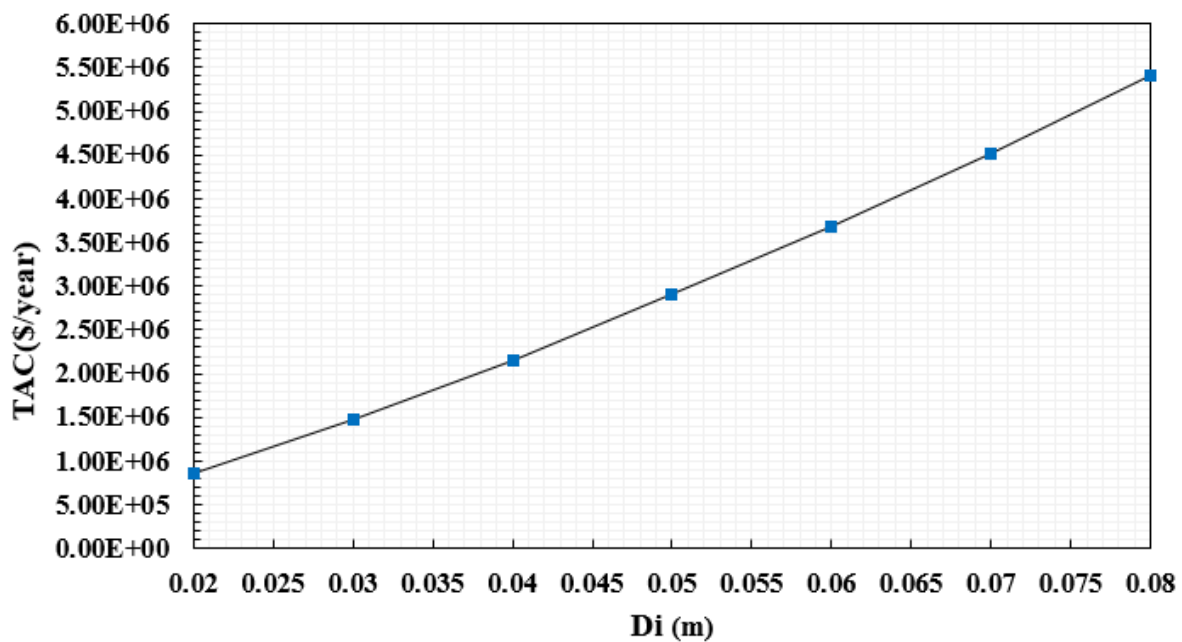
شکل ۷- تغییرات دبی آب شیرین تولید شده با توجه به دمای آب دریا



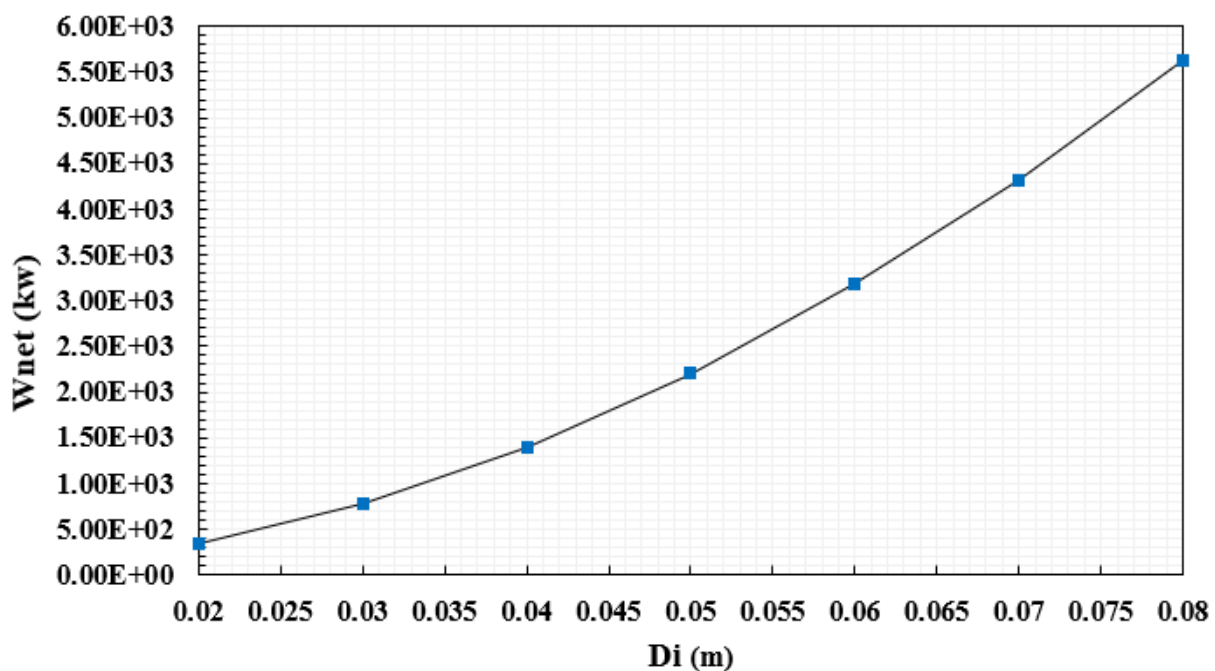
شکل ۸- تغییرات غلظت برای این رقیق شده با توجه به دمای آب دریا



اثرات تغییر قطر لوله جاذب در مزرعه‌ی خورشیدی بر میزان هزینه تحمیل شده به سیستم را در شکل (۹) می‌توان مشاهده نمود. همانگونه که مشاهده می‌گردد افزایش قطر منجر به افزایش هزینه‌ها و افزایش توان تولیدی می‌گردد. با تولید توان بیشتر می‌توان به تولید آب شیرین بیشتری دست یافت. راندمان انرژی سیستم نیز افزایشی خواهد بود. این امر منجر به کاهش قیمت آب شیرین تولیدی می‌شود. به همین منظور الگوریتم ژنتیک مقدار سرعت روغن را برابر  $1/9$  متر بر ثانیه در قطر  $73/5$  میلیمتر انتخاب نموده است.



شکل ۹- تغییرات TAC بر حسب تغییرات قطر داخلی لوله جاذب در مزرعه‌ی خورشیدی



شکل ۱۰- تغییرات توان تولیدی بر حسب تغییرات قطر داخلی لوله جاذب در مزرعه‌ی خورشیدی

## ۷- نتیجه گیری

در این مقاله براساس تعریف تابع  $\zeta$  به تحلیل و بررسی اثرات زیست محیطی برای سیستم RO از منظر 4E پرداخته شد. همان گونه که اشاره شد شاخصی که بتواند در توابع هدف به صورت مشخص تعیین کننده اثرات زیست محیطی برای این باشد، در مقالات معدودی بدان پرداخته شده است. برای بیان بهتر مفهوم تابع  $\zeta$  این شاخص در یک مزرعه‌ی خورشیدی که توان تولید توسط آن جهت شیرین سازی آب دریا استفاده می گردد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که استفاده از تابع  $\zeta$  می تواند منجر به بهبود اثرات زیست محیطی هم در کاهش غلظت و هم در افزایش نیروی بیویانسی برای کاهش زمان اختلاط و کاهش محدوده‌ی انتشار برای این شود. همچنین با توجه به حضور پارامتر ریکواری در این تابع تعادل بین راندمان انرژی، تولید آب شیرین و قیمت نهایی با دیدگاه اثرات زیست محیطی به وجود می آید. الگوریتم ژنتیک توانست شاخص‌های مد نظر را بهبود بخشد. ترم  $\frac{\rho_{sw} - \rho_{1d}^*}{\rho_{2d}^* - \rho_{sw}}$  در تابع  $\zeta$  در بهینه سازی حدود ۰/۲۷ می باشد هر چه این مقدار کمتر باشد اثرات زیست محیطی برای RO نیز کاسته می شود. نتایج نشان داد که برای کاستن از افزایش غلظت برای این سیستم تک مرحله‌ای RO استفاده شده و با افزایش دمای آب دریا به میزان ۱۲ درجه می توان حداقل اثرات زیست محیطی برای این به همراه راندمان انرژی مطلوب را داشت. در صورتی که سیال روغن با دمای کم وارد سیکل ارگانیک رانکین گردد منجر به افزایش هزینه‌های سیستم خواهد شد. از دست آوردهای این مقاله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- استفاده از حرارت اتلافی کندانسور برای کاهش اثرات زیست محیطی سیستم RO.
- افزایش راندمان انرژی به همراه کاهش قیمت با استفاده از تابع اثرات زیست محیطی تعریف شده در این مقاله.
- کاهش ۱۲ درصدی اثرات زیست محیطی، افزایش راندمان انرژی ۷/۵ از جمله اثرات بهینه سازی سه هدفه می باشد.

## مراجع

- [1] M. Li, "Optimization of Multi-stage Hybrid RO-PRO Membrane Processes at the Water-energy Nexus," *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 137, pp. 1-9, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.06.042>.
- [2] A. A. Shayesteh, O. Koohshekan, A. Ghasemi, M. Nemati, and H. Mokhtari, "Determination of the ORC-RO System Optimum Parameters based on 4E Analysis; Water-Energy-Environment Nexus," *Energy Conversion and Management*, Vol. 183, pp. 772-790, 2019/03/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.119>.
- [3] M. W. Shahzad, M. Burhan, L. Ang, and K. C. Ng, "Energy-water-environment Nexus Underpinning Future Desalination Sustainability," *Desalination*, Vol. 413, pp. 52-64, 2017/07/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.009>.

- [4] E. Jones, M. Qadir, M. T. H. van Vliet, V. Smakhtin, and S. m. Kang, "The State of Desalination and Brine Production: A global Outlook," *Science of The Total Environment*, Vol. 657, pp. 1343-1356, 2019/03/20/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>.
- [5] S. Burn *et al.*, "Desalination Techniques — A review of the Opportunities for Desalination in Agriculture," *Desalination*, Vol. 364, pp. 2-16, 2015/05/15/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.041>.
- [6] S. Lattemann, M. D. Kennedy, J. C. Schippers, and G. Amy, "Chapter 2 Global Desalination Situation," In *Sustainability Science and Engineering*, Vol. 2, I. C. Escobar and A. I. Schäfer Eds.: Elsevier, 2010, pp. 7-39. doi: [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00202-5).
- [7] S. Lattemann, M. D. Kennedy, J. C. Schippers, and G. Amy, "Chapter 2 Global Desalination Situation," In *Sustainability Science and Engineering*, Vol. 2, I. C. Escobar and A. I. Schäfer Eds.: Elsevier, 2010, pp. 7-39. doi: [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00202-5).
- [8] A. Naminezhad and M. Mehregan, "Energy and Exergy Analyses of a Hybrid System Integrating Solar-driven Organic Rankine Cycle, Multi-effect Distillation, and Reverse Osmosis Desalination Systems," *Renewable Energy*, Vol. 185, pp. 888-903, 2022/02/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.076>.
- [9] N. Voutchkov, "Energy Use for Membrane Seawater Desalination – Current Status and Trends," *Desalination*, Vol. 431, pp. 2-14, 2018/04/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.033>.
- [10] S. M. Shalaby, "Reverse Osmosis Desalination Powered by Photovoltaic and Solar Rankine Cycle Power Systems: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 73, pp. 789-797, 2017/06/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.170>.
- [11] F. E. Ahmed, R. Hashaikh, and N. Hilal, "Solar Powered Desalination – Technology, Energy and Future Outlook," *Desalination*, Vol. 453, pp. 54-76, 2019/03/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.002>.
- [12] J. H. Reif and W. Alhalabi, "Solar-thermal Powered Desalination: Its Significant Challenges and Potential," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 48, pp. 152-165, 2015/08/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.065>.
- [13] A. Pugsley, A. Zacharopoulos, J. D. Mondol, and M. Smyth, "Global Applicability of Solar Desalination," *Renewable Energy*, Vol. 88, pp. 200-219, 2016/04/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.017>.
- [14] S. Gorjian and B. Ghobadian, "Solar Desalination: A Sustainable Solution to Water Crisis in Iran," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 48, pp. 571-584, 2015/08/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.009>.
- [15] D. W. Bian *et al.*, "Optimization and Design of a Low-cost, Village-scale, Photovoltaic-powered, Electrodialysis Reversal Desalination System for Rural India," *Desalination*, Vol. 452, pp. 265-278, 2019/02/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.09.004>.

- [16] R. B. Saffarini, E. K. Summers, H. A. Arafat, and J. H. Lienhard V, "Technical Evaluation of Stand-alone Solar Powered Membrane Distillation Systems," *Desalination*, Vol. 286, pp. 332-341, 2012/02/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.044>.
- [17] P. T. Tsilingiris, "The Analysis and Performance of Large-scale Stand-alone Solar Desalination Plants," *Desalination*, Vol. 103, No. 3, pp. 249-255, 1995/12/01/ 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0011-9164(95)00077-1).
- [18] D. Hoffman, "The Application of Solar Energy for Large-scale Seawater Desalination," *Desalination*, Vol. 89, No. 2, pp. 115-183, 1992/12/01/ 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(92\)80099-U](https://doi.org/10.1016/0011-9164(92)80099-U).
- [19] P. Glueckstern, "Potential Uses of Solar Energy for Seawater Desalination," *Desalination*, Vol. 101, No. 1, pp. 11-20, 1995/03/01/ 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(95\)00003-K](https://doi.org/10.1016/0011-9164(95)00003-K).
- [20] S. Kalogirou, "Use of Parabolic trough Solar Energy Collectors for Sea-water Desalination," *Applied Energy*, Vol. 60, No. 2, pp. 65-88, 1998/06/01/ 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(98\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(98)00018-X).
- [21] F. Trieb and H. Müller-Steinhagen, "Concentrating Solar Power for Seawater Desalination In the Middle East and North Africa," *Desalination*, Vol. 220, No. 1, pp. 165-183, 2008/03/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.030>.
- [22] F. Trieb *et al.*, "Combined Solar Power and Desalination Plants for the Mediterranean Region Sustainable Energy Supply using Large-scale Solar Thermal Power Plants," *Desalination*, Vol. 153, No. 1, pp. 39-46, 2003/02/10/ 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)01091-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01091-3).
- [23] F. Trieb, H. Müller-Steinhagen, J. Kern, J. Scharfe, M. Kabariti, and A. Al Taher, "Technologies for Large Scale Seawater Desalination using Concentrated Solar Radiation," *Desalination*, Vol. 235, No. 1, pp. 33-43, 2009/01/15/ 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.098>.
- [24] P. Palenzuela, D.-C. Alarcón-Padilla, and G. Zaragoza, "Large-scale Solar Desalination by Combination with CSP: Techno-economic Analysis of Different Options for the Mediterranean Sea and the Arabian Gulf," *Desalination*, Vol. 366, pp. 130-138, 2015/06/15/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.037>.
- [25] C. Li, Y. Goswami, and E. Stefanakos, "Solar Assisted Sea Water Desalination: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 19, pp. 136-163, 2013/03/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.059>.
- [26] M. R. Qtaishat and F. Banat, "Desalination by Solar Powered Membrane Distillation Systems," *Desalination*, Vol. 308, pp. 186-197, 2013/01/02/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.01.021>.
- [27] M. Shatat, M. Worall, and S. Riffat, "Opportunities for Solar Water Desalination Worldwide: Review," *Sustainable Cities and Society*, Vol. 9, pp. 67-80, 2013/12/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.03.004>.

- [28] F. Suárez, J. A. Ruskowitz, A. E. Childress, and S. W. Tyler, "Understanding the Expected Performance of Large-scale Solar Ponds from Laboratory-scale Observations and Numerical Modeling," *Applied Energy*, Vol. 117, pp. 1-10, 2014/03/15/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.005>.
- [29] F. Suárez, J. A. Ruskowitz, A. E. Childress, and S. W. Tyler, "Understanding the Expected Performance of Large-scale Solar Ponds from Laboratory-scale Observations and Numerical Modeling," *Applied Energy*, Vol. 117, pp. 1-10, 2014/03/15/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.005>.
- [30] A. H. Elsheikh, S. W. Sharshir, M. Abd Elaziz, A. E. Kabeel, W. Guilan, and Z. Haiou, "Modeling of Solar Energy Systems using Artificial Neural Network: A Comprehensive Review," *Solar Energy*, Vol. 180, pp. 622-639, 2019/03/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.037>.
- [31] I. B. Askari and M. Ameri, "Solar Rankine Cycle (SRC) Powered by Linear Fresnel Solar Field and Integrated with Multi Effect Desalination (MED) System," *Renewable Energy*, Vol. 117, pp. 52-70, 2018/03/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.033>.
- [32] D. Manolakosa, G. Papadakisa, Essam Sh. Mohameda, S. Kyritsisa, K. Bouzianas, Design of an Autonomous Low-temperature Solar Rankine Cycle System for Reverse Osmosis Desalination, *Desalination* 183 (2005) 73–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.044>.
- [33] A. M. Delgado-Torres and L. García-Rodríguez, "Double Cascade Organic Rankine Cycle for Solar-driven Reverse Osmosis Desalination," *Desalination*, Vol. 216, No. 1, pp. 306-313, 2007/10/05/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.12.017>.
- [34] J. C. Bruno, J. López-Villada, E. Letelier, S. Romera, and A. Coronas, "Modelling and Optimisation of Solar Organic Rankine Cycle Engines for Reverse Osmosis Desalination," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 28, No. 17, pp. 2212-2226, 2008/12/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.12.022>.
- [35] G. Kosmadakis, D. Manolacos, S. Kyritsis, and G. Papadakis, "Economic Assessment of a Two-stage Solar Organic Rankine Cycle for Reverse Osmosis Desalination," *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 6, pp. 1579-1586, 2009/06/01/ 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.007>.
- [36] B. F. Tchanche, G. Lambrinos, A. Frangoudakis, and G. Papadakis, "Exergy Analysis of Micro-organic Rankine Power Cycles for a Small Scale Solar Driven Reverse Osmosis Desalination System," *Applied Energy*, Vol. 87, No. 4, pp. 1295-1306, 2010/04/01/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.011>.
- [37] A. S. Nafey, M. A. Sharaf, and L. García-Rodríguez, "Thermo-economic Analysis of a Combined Solar Organic Rankine Cycle-reverse Osmosis Desalination Process with Different Energy Recovery Configurations," *Desalination*, Vol. 261, No. 1, pp. 138-147, 2010/10/15/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.017>.
- [38] S. Karellas, K. Terzis, and D. Manolacos, "Investigation of an Autonomous Hybrid Solar Thermal ORC–PV RO Desalination System. The Chalki Island Case," *Renewable Energy*, Vol. 36, No. 2, pp. 583-590, 2011/02/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.012>.

- [39] B. Peñate and L. García-Rodríguez, "Seawater Reverse Osmosis Desalination Driven by a Solar Organic Rankine Cycle: Design and Technology Assessment for Medium Capacity Range," *Desalination*, Vol. 284, pp. 86-91, 2012/01/04/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.040>.
- [40] C. Li, G. Kosmadakis, D. Manolakos, E. Stefanakos, G. Papadakis, and D. Y. Goswami, "Performance Investigation of Concentrating Solar Collectors Coupled with a Transcritical Organic Rankine Cycle for Power and Seawater Desalination Co-generation," *Desalination*, Vol. 318, pp. 107-117, 2013/06/03/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.03.026>.
- [41] H. Mokhtari, H. Ahmadisedigh, and I. Ebrahimi, "Comparative 4E Analysis for Solar Desalinated Water Production by Utilizing Organic Fluid and Water," *Desalination*, Vol. 377, pp. 108-122, 2016/01/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.09.014>.
- [42] A. Nemati, M. Sadeghi, and M. Yari, "Exergoeconomic Analysis and Multi-objective Optimization of a Marine Engine Waste Heat Driven RO Desalination System Integrated with an Organic Rankine Cycle using Zeotropic Working Fluid," *Desalination*, Vol. 422, pp. 113-123, 2017/11/15/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.08.012>.
- [43] E. A. Chadegani, M. Sharifishourabi, and F. Hajjarab, "Comprehensive Assessment of a Multi-generation System Integrated with a Desalination System: Modeling and Analysing," *Energy Conversion and Management*, Vol. 174, pp. 20-32, 2018/10/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.011>.
- [44] M. Asayesh, A. Kasaeian, and A. Ataei, "Optimization of a Combined Solar Chimney for Desalination and Power Generation," *Energy Conversion and Management*, Vol. 150, pp. 72-80, 2017/10/15/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.006>.
- [45] B. Du *et al.*, "Area Optimization of Solar Collectors for Adsorption Desalination," *Solar Energy*, Vol. 157, pp. 298-308, 2017/11/15/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.08.032>.
- [46] Y. Du, L. Xie, J. Liu, Y. Wang, Y. Xu, and S. Wang, "Multi-objective Optimization of Reverse Osmosis Networks By Lexicographic Optimization and Augmented Epsilon Constraint Method," *Desalination*, Vol. 333, No. 1, pp. 66-81, 2014/01/15/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.10.028>.
- [47] A. M. Nabati, M. S. sadeghi, S. N. Naserabad, H. Mokhtari, and S. izadpanah, "Thermo-economic Analysis for Determination of Optimized Connection between Solar Field and Combined Cycle Power Plant," *Energy*, Vol. 162, pp. 1062-1076, 2018/11/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.047>.
- [48] R. Forristall, "Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver Book," National Renewable Energy Lab., Golden, CO.(US), 2003. <http://www.osti.gov/bridge>.
- [49] Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M. Thermal Design and Optimization. New York: Wiley; 1996.



- [50] H. Mokhtari, A. Esmaili, and H. Hajabdollahi, "Thermo-economic Analysis and Multiobjective Optimization of Dual Pressure Combined Cycle Power Plant with Supplementary Firing," *Heat Transfer—Asian Research*, Vol. 45, No. 1, pp. 59-84, 2016, doi: <https://doi.org/10.1002/htj.21153>.
- [51] M. Ameri, H. Mokhtari, and M. Bahrami, "Energy, Exergy, Exergoeconomic and Environmental (4E) Optimization of a Large Steam Power Plant: A Case Study," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, Vol. 40, No. 1, pp. 11-20, 2016/03/01 2016, doi: <https://doi.org/10.1007/s40997-016-0002-z>.
- [52] H. Mokhtari, H. Ahmadisedigh, and M. Ameri, "The Optimal Design and 4E Analysis of Double Pressure HRSG Utilizing Steam Injection for Damavand Power Plant," *Energy*, Vol. 118, pp. 399-413, 2017/01/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.064>.
- [53] M. Ameri, H. Mokhtari, and M. Mostafavi Sani, "4E Analyses And Multi-objective Optimization of Different Fuels Application for a Large Combined Cycle Power Plant," *Energy*, Vol. 156, pp. 371-386, 2018/08/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.039>.
- [54] B. Golkar *et al.*, "Determination of Optimum Hybrid Cooling Wet/Dry Parameters and Control System in Off Design Condition: Case Study," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 149, pp. 132-150, 2019/02/25/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.017>.
- [55] H. Mokhtari, M. Sepahvand, and A. Fasihfar, "Thermoeconomic and Exergy Analysis in using Hybrid Systems (GT+MED+RO) for Desalination of Brackish Water in Persian Gulf," *Desalination*, Vol. 399, pp. 1-15, 2016/12/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.07.044>.
- [56] M. H. Beni *et al.*, "Water-energy Nexus Approach for Optimal Design of Hybrid Cooling System in Direct Reduction of Iron Plant," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 287, p. 125576, 2021/03/10/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125576>.
- [57] E. Bellos and C. Tzivanidis, "Assessment of the Thermal Enhancement Methods in Parabolic trough Collectors," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 59-70, 2018/03/01 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s40095-017-0255-3>.
- [58] E. Macchi and M. Astolfi, *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems: Technologies and Applications*. Woodhead Publishing, 2016. EBook ISBN: 9780081005118.

## فهرست نمادهای انگلیسی

$A$	سطح
$A_w$	ضریب نفوذ آب
$AOC$	هزینه بهره برداری سالانه
$B$	ضریب انتقال محلول
$C$	غلظت
$CC$	هزینه های کلی
$C_f$	غلظت آب ورودی
$C_p$	حرارت مخصوص در فشار ثابت
$CRF$	ضریب کلی بازیافت
$ex$	اگرژی مخصوص
$f_c$	ضریب عملکرد سیستم
$h$	آنتالپی
$J_w$	شار نفوذ موضعی
$J_s$	شار محلول موضعی
$K$	ضریب انتقال جرم
$\dot{m}$	شدت جریان جرمی
$P$	فشار
$\dot{Q}$	حرارت
$R$	ثابت گازها/ بازیافت
$S$	آنتروپی
$S_m$	سطح غشاء
$T$	دما
$TAC$	هزینه های کلی سالیانه
$TCI$	هزینه های کلی سرمایه گذاری
$U$	ضریب انتقال حرارت کل
$V_w$	سرعت محلول
$\dot{W}$	نرخ کار
$W$	کار
$w_g$	کسر جرمی

## نمادهای یونانی

$\mu$	پتانسیل شیمیایی
$\pi$	فشار محلی اسمزی محلول



$\phi_{\eta}$	ضریب هزینه بهینه شده براساس بازدهی
$\phi_T$	ضریب بهینه شده براساس دما
$\rho$	چگالی
$\Delta T$	اختلاف دما
$\Delta T_{LM}$	دمای لگاریتمی
$\Delta P$	افت فشار
$\eta_{Ex}$	بازده اگزرژی (%)
$\eta_T$	بازده توربین (%)
$\eta_P$	بازده پمپ (%)
$\eta_{IHE}$	بازده داخلی مبدل حرارتی (%)
$T(p)$	دما به عنوان تابعی از فشار

## مخفف‌ها

<i>atm</i>	محیط
<i>app</i>	رویگرد
<i>b</i>	آب نمک پساب
<i>Ch</i>	شیمیایی
<i>Cond</i>	کندانسور
<i>D</i>	تخریب
<i>Eco</i>	اکونومایزر
<i>Eva</i>	اواپراتور
<i>ERD</i>	تجهیزات بازیافت انرژی
<i>F</i>	سوخت
<i>f</i>	سیال
<i>GWP</i>	پتانسیل گرمایش جهانی
<i>HRSG</i>	مولد بخار بازیابی گرما
<i>IHE</i>	مبدل حرارتی داخلی
<i>i</i>	ورودی
<i>gen</i>	تولید نسل
<i>max</i>	ماکزیمم
<i>O</i>	خروجی
<i>ODP</i>	پتانسیل تخریب لایه ازن
<i>ORC</i>	سیکل ارگانی رانکین
<i>P</i>	تولید/پمپ/محلول
<i>ph</i>	فیزیکی

<i>P.P</i>	نقطه پینچ
<i>Q</i>	حرارت
<i>Sat</i>	اشباع
<i>sw</i>	آب دریا
<i>T</i>	توربین
<i>TCF</i>	ضریب تصحیح دما
<i>UPC</i>	هزینه تولید واحد
<i>W</i>	کار
<i>&lt;...&gt;</i>	<i>&lt;واحد&gt;</i>

## **Increasing Relationship between Water, Energy and Environment in a Solar Farm to Produce Fresh Water**

**Alireza Naminezhad**

PhD, Department of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran  
ali.nami1029@gmail.com

\*Corresponding author: **Mahmood Mehregan**

Professor, Department of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran  
mehregan@shahroodut.ac.ir

### **Abstract**

This paper develops the concept of reducing environmental impact for the reverse osmosis (RO) system to increase the relationship between water, energy and environment in a solar farm. This concept is used in a RO system driven by an organic Rankine cycle (ORC) that generates power based on heat absorption from a solar field. In the power generation section, a new ORC and operating fluid configurations based on energy analysis (1E), exergy (2E), economic (3E) and environmental effects (4E) have been investigated in order to production of fresh water. The basic parameters in the optimization are: the ORC configuration choice, selecting the working fluid of the organic Rankine cycle and determining the design parameters of a solar parabolic farm. These values have been determined according to the optimization of the system by genetic algorithm (GA) method. The results show that 12% reduction in environmental effects and 7.5% increase in the exergy efficiency are among the three-objective optimization effects.

*Keywords:* 4E Analyses, Desalination system, Reverse osmosis, Environmental relevance, Optimization