

بررسی پتانسیل بکارگیری انرژی خورشیدی در صنایع بالادستی نفت

^۱ مرضیه باقری، ^۲ رامین روشندل، ^۳ سیدجلال الدین شایگان*

چکیده

فرآیند تولید و فراورش محصولات نفتی ۱۰٪ از کل انرژی تولیدی توسط منابع فسیلی را مصرف می‌کند. نفت استخراجی از میدان‌های بهره‌برداری جهت پیشگیری از چالش‌های عملیاتی در واحدهای پایین دست برای نمک‌زدایی و آب‌گیری به واحدهای نمک‌زدایی نفت خام ارسال می‌شود. یکی از مراحل مهم در این واحد، مرحله پیش گرمایش است که به وسیله هیترها با سوخت گاز طبیعی تولیدی همان واحد، انجام شده و نقش حیاتی در عملیات نمک‌زدایی نفت خام دارد. ایران جز مناطق با پتانسیل مناسب بهره‌برداری از سیستم‌های خورشیدی شناخته شده است و با بررسی فناوری‌های حرارتی خورشیدی مشخص شد که متمرکز کننده‌های خطی فرنل خورشیدی عملکرد مناسبی به‌عنوان یک سیستم کمکی برای هیترهای پیش گرم کن متداول داشته و منجر به کاهش سالانه ۱/۵ میلیون مترمکعب مصرف گاز طبیعی واحد نمک‌زدایی مورد مطالعه می‌شود و می‌توان از گاز صرفه جویی شده به‌عنوان خوراک واحدهای پتروشیمی استفاده کرد. بررسی هزینه فایده سیستم پیشنهادی نشان می‌دهد زمان بازگشت سرمایه فرنل‌های خورشیدی طراحی‌شده با توجه به شرایط و پتانسیل تابش خورشیدی در محل واحد مورد مطالعه، کمی بیش از یک سال است و سرمایه گذاری صورت گرفته علاوه بر داشتن توجیه اقتصادی، باعث کاهش مصرف سوخت و کاهش انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از احتراق گاز می‌شود. همچنین ایجاد سهم ۲۷٪ برای انرژی خورشیدی در تأمین انرژی حرارتی مورد نیاز واحد، حرکتی در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار در بالادست صنایع نفت را به وجود می‌آورد.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۵/۲/۳۰

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۵/۹/۱

کلمات کلیدی:

طراحی سیستم کمکی

خورشیدی،

فرنل خورشیدی،

مبدل‌های غیرمستقیم حمام

آب گرم،

نمک‌زدایی نفت خام،

هزینه - فایده

m-bagheri@energy.sharif.edu

roshandel@sharif.edu

shayegan@sharif.edu

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

۲. دانشیار دانشکده سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

۳. استاد دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف (نویسنده مسئول)

۱. مقدمه

مصرف انرژی در کشور با توجه به توسعه صنایع و ارتقا سطح زندگی مردم رو به افزایش است به طوری که میزان مصرف انرژی در سال ۲۰۳۵ برای ایران، $۳۲/۹۹TW$ تخمین زده می‌شود (دو برابر مصرف انرژی در سال ۲۰۰۸). با توجه به محدودیت منابع فسیلی، این نرخ مصرف فزاینده منجر به از دسترس خارج شدن سریع منابع تجدید ناپذیر و اجتناب ناپذیری جایگزین شدن منابع فسیلی با منابع تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، زمین گرمایی و غیره می‌شود. از طرفی استفاده از انرژی‌های فسیلی منجر به انتشار کربن دی‌اکسید می‌شود که دارای اثرات مخربی مانند گرمایش کره زمین، تخریب لایه اوزن، تغییرات آب‌وهوا، خشک‌سالی، سیل و باران‌های اسیدی است. [۹] نفت و گاز همچنان در دو دهه آینده نقش انکارناپذیری در تأمین تقاضای انرژی دنیا، (حدود ۶۰٪ انرژی اولیه موردنیاز در سال ۲۰۳۵ معادل ۹۹۶۰ میلیون تن معادل نفت) دارند. مصرف انرژی صنایع نفت و گاز نزدیک به ۱۰٪ کل انرژی تولیدی است که انتظار می‌رود با رواج منابع نامتعارف این رقم رو به افزایش باشد و تأمین‌کننده انرژی این واحدها عمدتاً منابع انرژی هیدروکربنی است. ایران دارای منابع بزرگ نفت و گاز (۹٪ منابع نفت و ۱۵٪ از منابع گاز جهان) است. با این حال مصارف داخلی انرژی فسیلی با توجه به افزایش جمعیت، توسعه صنعت و بالا رفتن سطح زندگی در حال افزایش است. به گونه‌ای که در آینده نزدیک میزان صادرات نفت را کاهش می‌دهد. انرژی خورشیدی یک منبع تجدید پذیر مورد توجه در بسیاری از کشورها است. [۸] اگر تنها ۱٪ انرژی تابیده‌شده به سطح زمین با بازده ۱۰٪ به برق تبدیل شود، توانی معادله ۳۰۰GW تولید می‌کند که معادل ۴ برابر انرژی مصرفی دنیا است. ایران در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه قرار داشته و موقعیت مناسبی به‌منظور دریافت انرژی خورشیدی دارد. میزان تابش در ایران در حدود ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع تخمین زده شده که از متوسط جهانی بالاتر است و به‌طور میانگین ۲۸۰ روز آفتابی در بیشتر از ۹۰٪ اراضی ایران، حاکی از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در کشور است. [۷، ۱۰] استفاده از انرژی خورشیدی منجر به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود و از طرفی اثر ردپای اکولوژیکی را کاهش می‌دهد. هدف این مقاله بررسی پتانسیل مشارکت انرژی خورشیدی در تأمین تقاضای انرژی موردنیاز صنایع نفت و گاز است.

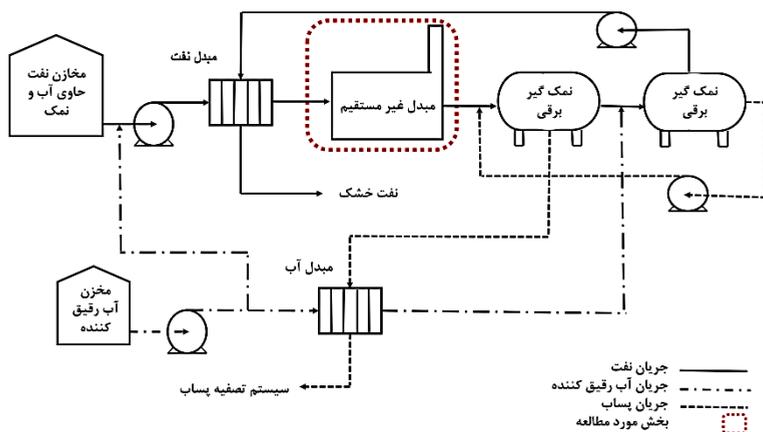
همراه نفت استخراجی از چاه‌های نفت مقادیر متفاوتی آب از مخزن خارج می‌شود. این آب حاوی مواد آلی و غیر آلی با غلظت بالایی است که در اثر عبور از محیط متخلخل مخازن، استرس‌های ناشی از عبور از شیرهای فشارشکن و افت فشارهای موجود در مسیر انتقال، در درون نفت پخش شده و امولسیون آب در نفت را به وجود می‌آورد. [۶] وجود آب حاوی نمک در نفت موجب ایجاد چالش‌های عملیاتی در مراحل انتقال و تجهیزات پایین‌دستی صنایع نفتی و پتروشیمی می‌شود به‌طور مثال انرژی لازم برای تبخیر آب هشت برابر نفت است در ضمن نمک‌ها نیز سبب خوردگی در لوله‌های انتقال نفت، دیگ‌های بخار، سینی‌های برج تقطیر و سایر تأسیسات می‌گردند و بایستی مقدار آن‌ها در پایین‌ترین میزان مجاز (نمک کمتر از ۱۰^۱ PTB و میزان مجاز آب کمتر از ۰/۱٪ وزنی) باشد هدف از نمک‌زدایی، حذف یا کاهش میزان نمک همراه نفت تا میزان قابل قبول است. برخی از مزایای نمک‌زدایی عبارت‌اند از:

- کاهش خوردگی در تأسیسات نفتی
- کاهش انسداد مجاری سیستم‌های مبادله حرارتی
- بهبود کیفیت نفت خام
- استفاده از حداکثر حجم لوله‌ها و ظرفیت پالایشگاه
- کاهش هزینه انتقال نفت
- جلوگیری از هدر رفتن انرژی مصرفی در پالایشگاه

کیفیت نفت خام یکی از فاکتورهای اصلی ارزش‌گذاری این کالای استراتژیک است لذا مقدار آب و نمک موجود در نفت یک شاخص برای تعیین کیفیت و قیمت‌گذاری بر روی نفت خام است به صورتی که به ازای افزایش ۱ ppm آب یا نمک داخل نفت ۰/۸۵-۱/۳ دلار بر بشکه قیمت آن کاهش می‌یابد. [۲۰] امروزه از میدان‌های الکتریکی با شدت بالا، جهت جداسازی آب همراه نفت در اغلب واحدهای صنعتی استفاده می‌شود. پارامترهای مهمی از قبیل شدت میدان الکتریکی، نوع میدان الکتریکی، ساختار نمک زدا، افت در شیر اختلاط، نوع و میزان تزریق تعلیق شکن، میزان تزریق آب

1. Pond per 1000 bbl

رقیق کننده، دمای نمک زداها و خواص امولسیون آب و نفت از قبیل چگالی فاز آب و نفت و گرانیروی آب و نفت، بر کارایی نمک زدهای الکترواستاتیکی تأثیرگذار است. تغییر دما بر خواص امولسیون آب و نفت از قبیل پایداری امولسیون، چگالی، گرانیروی و هدایت الکتریکی اثر داشته و با افزایش دما گرانیروی فاز نفت کاهش میابد. این امر موجب کاهش نیروی دراگ شده و حرکت قطرات پراکنده آب در فاز نفت تسهیل می‌یابد. افزایش دما همچنین موجب کاهش چگالی فاز آب و نفت می‌گردد، البته اختلاف چگالی دو فاز با افزایش دما متغیر بوده و وابسته به چگالی نفت است. دما بر روی حلالیت مواد تعلیق شکن در امولسیون آب در نفت تأثیرگذار است و دمای بهینه متناسب با نوع تعلیق شکن به کار گرفته شده، می‌تواند متفاوت باشد. دما بر روی پایداری امولسیون تأثیر می‌گذارد و لایه‌های پارافین و آسفالتین اطراف قطره‌های آب را غیرفعال و یا به صورت محلول در نفت درمی‌آورد. [۲۰] مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف چگالی نفت و آب در بین دماهای ۵۰-۸۰ سانتی‌گراد می‌باشد. دمای به کار گرفته شده در واحدهای نمک‌زدایی معمولاً با توجه به طراحی، ویژگی‌های نفت خام، نوع تعلیق شکن و سایر موارد، متفاوت است. [۲۴] دو نوع مبدل مستقیم و غیرمستقیم برای پیش‌گرمایش نفت خام در ایران مورد استفاده بوده و سوخت آن‌ها اغلب گاز تولیدی خود مخازن استخراج نفت است که بعد از جداسازی از نفت و شیرین‌سازی بخش قابل توجهی از آن برای مصرف هیترها سوزانده می‌شود، که در صورت استفاده از سوخت‌های جایگزین قابلیت صادرات و یا مصرف سایر بخش‌های کشور برای تولید برق، فرآورده‌های پتروشیمی و غیره را دارد. در این مقاله از اطلاعات واقعی یکی از واحدهای نمک‌زدایی در جنوب کشور استفاده شده است. این واحد دارای ظرفیت تولید ۵۵۰۰۰ بشکه در روز تولید نفت خشک می‌باشد و در شکل (۱) شماتیک ساده ایی از واحد نمک‌زدایی نشان داده شده است.



شکل ۱. شماتیک واحد نمک‌زدایی نفت خام

جریان نفت در واحد دارای ۱۰٪ آب است که بخشی از آن آب خروجی از سازند و مابقی آن (۳٪-۵٪) آب رقیق کننده است. [۲۱،۲] در ابتدا جریان نفت خروجی از مخزن ائتلاف توسط محصول داغ واحد در یک مبدل پیش گرمایش و برای رسیدن به دمای بهینه عملکرد الکترواستاتیک، به هیتر فرستاده می‌شود. در واحد مورد بررسی، از دو هیتر غیرمستقیم حمام گرم جهت گرم کردن نفت تا ۶۵ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. مبدل حمام آب غیرمستقیم مبدلی متداول در فرآیند تولید نفت و گاز و انتقال گاز است و مطابق شکل ۲ دارای سه بخش اصلی: پوسته، لوله‌های حاوی گاز احتراق و لوله‌های نفت می‌باشد که در مقایسه با مبدل‌های مستقیم، دارای بازده حرارتی کمتری است با این حال مشکل ایجاد نقطه داغ به علت رسوب کربن‌ها روی لوله مبدل‌های مستقیم را نداشته، گرمای یکنواختی ایجاد می‌کند و خطرات ایمنی کمتری دارد. دمای محلول واسط انتقال حرارت، توسط لوله آتش تا ۹۵ درجه می‌رسد و گرما توسط محلول به لوله‌های نفت منتقل می‌شود. [۸] جهت محاسبه میزان گاز مصرفی روزانه واحد، از نرم‌افزار اسپن برای استخراج داده‌های ترمودینامیکی مخلوط نفت خام و آب‌نمک با غلظت ۲۴۰۰۰ ppm استفاده شده است داده‌های ورودی به نرم‌افزار در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

۱-۱. محاسبه میزان گاز مصرفی واحد

دمای نفت ورودی به هیترها در فصول سرد ۳۳ و در فصول گرم ۴۴ سانتیگراد و بازده هیتر با توجه به اطلاعات موجود در سایت سازنده ۸۵٪ در نظر گرفته شده است. [۱۴] نتایج حاصل از نرم‌افزار اسپن در قالب معادلات برازش شده در بازه‌های دمایی بین ۱۰-۱۲۰ درجه، در زیر گزارش شده است. در ابتدا

کسر مولی آلاینده‌های غیر آلی آب همراه نفت از رابطه ۱ به دست می‌آید. در این جا فرض می‌شود نمک موجود در آب همراه تماما سدیم کلرید است.

جدول ۱. مشخصات نفت خام واحد

n-C ₆ H ₁₄	n-C ₅ H ₁₂	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈	C ₂ H ₆	CH ₄	H ₂ S	اجزا
۵/۴۹۱	۳/۴۳۱	۲/۶۷۳	۴/۳۲۷	۱/۳۳۳	۲/۷۸۸	۰/۵۶۴	۰/۳۶	.	
کسر مولی نمک (%)		میزان شوری (ppm)	دمای نفت مطلوب (°C)		دبی آب (بشکه در روز)		دبی نفت (بشکه در روز)		
۰/۰۷۱		۲۴۰۰۰۰	۶۵		۵۵۰۰		۵۵۰۰۰		

$$x = \frac{Mw}{Ms \left(\frac{1}{mfs} - 1 \right) + Mw} \quad (1)$$

$$mfs = \frac{Salinity (ppm)}{10^6} \quad (2)$$

در معادله ۱، Mw و Ms کسر مولی آب و سدیم کلرید است. رابطه ۳ وزن مخصوص مخلوط آب-نفت را در دمای مشخص محاسبه می‌کند.

$$SP.Gr = -0.0006T + 0.9074 \quad (3)$$

رابطه ۵ نیز گرمای ویژه مخلوط آب‌نمک و نفت را در دمای مشخص در اختیار ما قرار می‌دهد با استفاده از این رابطه در دمای میانگین ورودی و خروجی هیتر میزان گاز مصرفی از معادله ۶ و ۷ به دست می‌آید.

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (4)$$

$$C_{p-mix} = 2 \times 10^{-6} + 1.847 \times 10^{-7} SP.Gr_{15c} + 2.67 \times 10^{-7} T + 3.04 \quad (5)$$

$$Q_{oil} = m \times C_p \times \Delta T \quad (۶)$$

$$Q_{gas} = \frac{Q_{oil}}{\eta_{heater}} \quad (۷)$$

ارزش حرارتی گاز واحد برابر با ۹/۳۷۲۵۸ کیلوژول بر مترمکعب است. معادله ۶ میزان گاز مصرفی برای افزایش دمای نفت تا دمای ۶۵ سانتیگراد و رابطه ۷ میزان گاز مورد نیاز برای تأمین Q_{oil} را با توجه به بازده حرارتی هیتر محاسبه می‌کند. نتایج حاصل از روابط ۱ تا ۷ در جدول (۲) گزارش شده است.

جدول ۲. میزان مصرف گاز هیترهای واحد نمک‌زدایی

میزان گاز مصرفی روزانه در فصل گرم (m^3)	میزان گاز مصرفی روزانه در فصل سرد (m^3)	میزان مصرف سالانه گاز (m^3)
۱۱۹۰۰	۱۸۰۰۰	۵۴۲۷۹۹۱

۲-۱. بررسی و انتخاب کلکتورهای خورشید

کلکتورهای خورشیدی نوعی مبدل حرارتی هستند که انرژی تابشی خورشیدی را به انرژی داخلی یک ماده تبدیل می‌کنند. در حقیقت کلکتور خورشیدی، انرژی ورودی خورشید را جذب و به حرارت تبدیل می‌کند. کلکتورهای خورشیدی به دو دسته کلی غیرمتمرکز کننده یا ثابت و متمرکز کننده تقسیم‌بندی می‌شود. در کلکتورهای ثابت سطح دریافت‌کننده تابش و جذب‌کننده آن یکسان است درحالی‌که در متمرکز کننده‌های متحرک سطح جاذب کمتر از سطح دریافت‌کننده تابش است و باعث افزایش فلاکس تابش می‌شود. در جدول (۳) مشخصات انواع کلکتورها آورده شده است. [۱۶] هیترهای واحد نمک‌زدایی دمای $65^{\circ}C$ را برای نفت خام فراهم می‌کنند. لذا نیاز حرارتی واحد در دماهای پایین برآورده می‌شود. بنابراین اولین گزینه محتمل کلکتورهای ثابت است اما به‌کارگیری این کلکتورها از نظر ساختاری در واحد امکان‌ممن نیست. به‌طور مثال در کلکتورهای صفحه تخت، امکان عبور نفت از لوله‌های داخل کلکتور به دلیل دبی بالا و مسائل خوردگی غیرممکن است و استفاده از سیال واسطه نیازمند استفاده از مبدل جهت تبادل حرارت می‌باشد که هزینه زیادی به همراه دارد. دیش‌ها نیز در

وضعیت مشابهی قرار دارند، یعنی علاوه بر قیمت بالای خود کلکتور، ساختار مناسب برای این نوع استفاده را ندارند. تنها گزینه‌های باقی‌مانده کلکتورهای فرنل و سهموی‌های خطی هستند که امروزه جهت تولید توان در نیروگاه‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالت کلی این سیستم از آینده‌های بزرگ برای متمرکز کردن نور آفتاب به یک سطح دریافت‌کننده کوچک استفاده می‌کنند و یک سیال کاری گرما را از لوله جاذب دریافت کرده و تا دماهای بالا گرم می‌شود که می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم از طریق تبادل در میدل‌ها در چرخه تولید توان، برق تولید کند. فرنل‌های خورشیدی به دلیل ساختار ساده و انعطاف‌پذیری در تعیین نسبت تمرکز، به‌آسانی قابلیت تولید دماهای مختلف برای برآوردن اهداف مختلف را دارد. اغلب فرنل‌های خورشیدی برای تولید دماهای کم تا متوسط استفاده شده‌اند. از طرف دیگر بازده حرارتی و نوری فرنل‌های خورشیدی نسبت به متمرکز کننده‌های سهموی، به دلیل ترکیب دریافت‌کننده ثابت و ردیاب‌های یک محور پنل آینده‌ها، کمتر است. در اغلب موارد هزینه پایین فرنل‌های خورشیدی نقص کمبود بازده را پوشش می‌دهد. مقدار زیادی از تلاش‌ها در جهت طراحی مناسب دریافت‌کننده برای افزایش بازده نوری کلکتور انجام می‌شود. در برخی موارد از چند لوله برای افزایش سطح جاذب استفاده می‌شود یا از منعکس‌کننده ثانویه دوزنقه‌ای برای افزایش تمرکز تابش و کاهش اتلاف حرارت از طریق ایجاد خلا بین لوله جاذب و منعکس‌کننده استفاده می‌شود و می‌توان با خلاء نکردن آن نیز به دماهای پایین (۱۸۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) دست پیدا کرد. زمانی که از یک لوله جاذب استفاده می‌شود هزینه ساخت کمتری دارد و معمولاً از بازتابنده ثانویه برای افزایش بازده نوری کلکتور استفاده می‌شود. دمای خروجی از کلکتور در طراحی‌های انتخابی عملیات و استراتژی کنترل، سیال منتقل‌کننده حرارت و لوله‌های جاذب، بسیار متنوع هستند. [۲۵] برخی مزایای این سیستم را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

- استفاده از آینده‌های تخت ساده و عدم نیاز به خم‌کاری آینده‌ها
- سادگی ساخت و قیمت پایین
- هزینه‌های تعمیرات و نگهداری پایین
- عدم آسیب‌پذیری در مقابل باد
- امکان بهره‌برداری از زمین زیر آینده [۱۸]

ایراد اصلی این کلکتور ها این است که در هنگام طلوع و غروب آفتاب راندمان آن ها به شدت کاهش میابد و در کل راندمان آن ها حدود ۷۰ درصد کلکتور های سهموی است. اما سادگی آن ها نسبت به سایر سیستم ها موجب رقابت پذیری آن ها با سایر متمرکز کننده ها شده است. در نتیجه با توجه به نیاز به دمای پایین، ساختار مناسب برای به کارگیری مستقیم برای گرمایش نفت و هزینه نسبتا ارزان، فرنل خورشیدی به عنوان کلکتور مناسب و سیستم کمکی مبدل های غیرمستقیم، در زمانی که تابش خورشید در اختیار است، انتخاب می شود. در شکل (۲) می توان نمایی از فرنل خورشیدی را در سیستم ترکیبی پیشنهادی با هیتر های غیرمستقیم مشاهده کرد.

جدول ۳. دسته بندی کلکتورهای خورشیدی

رنج دمای کاری (°C)	نرخ تمرکز	نوع جاذب	نوع کلکتور	حرکت
۸۰-۳۰	۱	تخت	کلکتور های صفحه تخت ^۱	ثابت
۲۰۰-۵۰	۱	تخت	کلکتور ها با لوله های خلاء ^۲	ثابت
۲۴۰-۶۰	۵-۱	لوله ایی	کلکتور های سهموی مرکب ^۳	ثابت
۶۰-۳۰۰	۱۰-۴۰	لوله ایی	کلکتور های فرنل خطی ^۴	ثابت
۶۰-۲۵۰	۱۵-۴۵	لوله ایی	کلکتور های سهمی خطی ^۵	دنبال کننده یک محوره
۶۰-۳۰۰	۱۰-۵۰	لوله ایی	کلکتور های استوانه ایی خطی ^۶	ثابت
۱۰۰-۵۰۰	۱۰۰-۱۰۰۰	نقطه ایی	بازتاب کننده دیش سهموی ^۷	دنبال کننده دومحوره

۲. مدل سازی

متمرکز کننده های خطی از تابش مستقیم خورشید برای ایجاد حرارت استفاده می کنند که در مکان های مختلف با توجه به موقعیت خورشید متفاوت است. محاسبات برای شهر اهواز با عرض

1. Flat plate collector
2. Evacuated tube collector
3. Compound parabolic collector
4. Linear Fresnel reflector
5. Parabolic trough collector
6. Cylindrical trough collector
7. Parabolic dish reflector

جغرافیایی ۳۱ و طول جغرافیایی ۴۸ درجه انجام شده است. به وسیله رابطه ۸، ۹ و ۱۰ کمیت‌های تعیین کننده مکان خورشید برای شهر اهواز محاسبه می‌شود.

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(n+284)\right) \quad (8)$$

$$\sin\alpha s = \sin l \sin\delta + \cos l \cos\delta \cos h \quad (9)$$

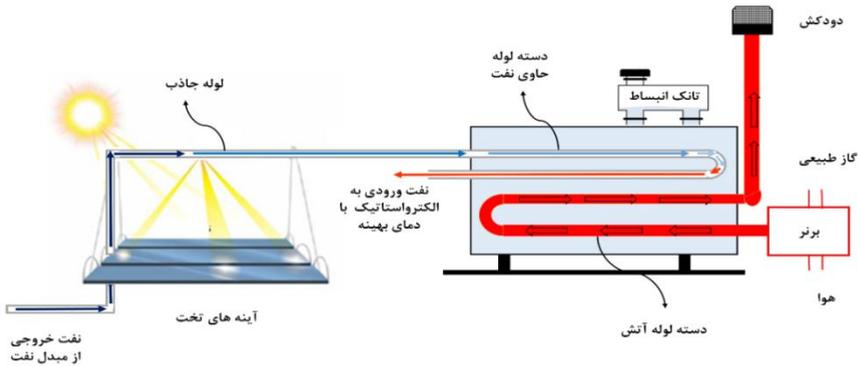
$$\sin \gamma s = \frac{\cos\delta \sin h}{\sin\alpha} \quad (10)$$

$$hss = \arccos[-\tan l \tan \delta] \quad (11)$$

در روابط بالا L نماد عرض جغرافیایی، δ نشان دهنده زاویه میل، αs ارتفاع خورشیدی، γs زاویه آزیموس، h زاویه ساعت و hss زاویه ساعت طلوع خورشیدی است. از بین تابش مستقیم، نفوذی و انعکاسی نور خورشید تنها تابش مستقیم نرمال در امکان‌سنجی و طراحی متمرکز کننده‌ها اهمیت دارد. برای محاسبه تابش مستقیم در ابتدا میزان متوسط تابش روزانه در فراجو محاسبه می‌شود. سپس با ضریب صافی هوا که نسبت تابش در سطح افقی زمین به میزان تابش در فراجو است، میزان تابش روی سطح افق به دست می‌آید.

$$I = \frac{24 \times 3600}{\pi} GSC \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left[\frac{\cos l \cos\delta \sin hss + \left(\frac{\pi \times hss}{180}\right) \sin l \sin\delta}{\sin\alpha} \right] \quad (12)$$

رابطه ۱۲ کل انرژی تابشی در یک روز از زمان طلوع تا غروب خورشید در فراجو را در اختیار می‌گذارد. [۱۳، ۲۳] در این رابطه GSC ثابت خورشیدی (۱۳۶۶ وات بر مترمربع) است. برای محاسبه تابش در سطح زمین، گام اول دستیابی به ضریب صافی هوا است که در این جا از مقادیر گزارش شده برای شهر اهواز استفاده شده است. [۱]



شکل ۲. شماتیک سیستم ترکیبی مبدل حمام آب گرم - فرنل خورشیدی

سپس با استفاده از رابطه ۱۳ میزان تابش نفوذی روی سطح افقی به دست می‌آید. در رابطه \bar{H} زیر میزان تابش متوسط ماهیانه در سطح افق و \bar{H}_o میزان تابش متوسط ماهیانه در فراجو است که از رابطه ۱۲ به دست می‌آید. میزان تابش نفوذی (I_d) به صورت تابعی از ضریب صافی تعریف می‌شود و اختلاف تابش نفوذی از کل تابش متوسط میزان تابش مستقیم (I_b) به دست می‌آید.

$$\frac{\bar{I}_d}{\bar{H}_o} = \frac{\bar{H}}{H_o} \quad (13)$$

$$\frac{I_d}{I} = 1.39 - 4.02KT + 5.53KT^2 - 3.108KT^3 \quad (14)$$

$$I_b = I - I_d \quad (15)$$

$$I_{dn} = \frac{I_b}{\cos \varphi} \quad (16)$$

در رابطه ۱۶ ، I_{bn} همان تابش مستقیم نرمال و φ زاویه زینت است. تابش مستقیم ماهانه با شاخص گرفتن روز ۱۵ همراه و متوسط گیری کل تابش مستقیم از زمان طلوع تا غروب خورشید

محاسبه و نتایج آن در شکل (۳) نمایش داده شده است. فرنل خورشیدی شامل تعداد زیادی آینه تخت با پهناهای کم و طول زیاد است که در کنار هم، در جهت شمال به جنوب نصب شده‌اند. زاویه قرارگیری هر یک از آینه‌ها توسط ترکر یک محوره به گونه ایی تنظیم می شود تا بازتاب نور خورشید را بر روی دریافت کننده متمرکز کند. در بخش دریافت کننده یک بازتاب دهنده ثانویه به شکل سهموی یا دوزنقه ایی قرار دارد که بازتاب آینه‌ها را جمع‌آوری کرده و بر روی لوله‌ها می‌تاباند و با گرم شدن لوله، سیال عبوری از لوله گرم می‌شود. میزان حرارت دریافتی از فرنل ($Q_{fresnel}$) توسط سیال عبوری از معادله ۱۷ به دست می‌آید [۱۲،۱۳].

$$Q_{fresnel} = A [DNI \times \eta_{shadow} \times \eta_{End-loss} \times IAM - Q_{loss}] \quad (17)$$

در این رابطه A مساحت آینه‌ها و عبارت اتلاف Q_{loss} بیانگر اتلاف حاصل از انتقال حرارت جابه‌جایی بین لوله جاذب و محیط اطراف است و به صورت تابعی از اختلاف دما متوسط سیال عبوری با محیط اطراف بوده و از رابطه ۱۸ و ۱۹ به دست می‌آید.

$$\Delta T = \frac{T_{fin} - T_{fout}}{2} - T_{ambient} \quad (18)$$

$$Q_{loss} = u_1 \Delta T + u_2 \Delta T^2 \quad (19)$$

در رابطه ۱۹ ضرایب u ضرایب انتقال حرارت جابجایی کلی مربوط به لوله جاذب می‌باشد و مقادیر آن u_1 برابر صفر و برای u_2 برابر 0.00047 گزارش شده است. کمیت IAM^1 زاویه برخورد اصلاح شده می‌باشد و تغییرات در عملکرد خروجی یک کلکتور خورشیدی تحت تغییرات زاویه خورشید با سطح کلکتور را نشان می‌دهد. موقعیت خورشید در هرروز و ساعت، در بازده نوری و حرارتی اثرگذار است که با تغییر زاویه برخورد عرضی اصلاح شده $(\theta_i)^2$ و زاویه طولی^۳ اصلاح شده (θ_t) در قالب شاخص IAM نمود پیدا می‌کند. کارهای تجربی در جهت تعیین IAM صورت گرفته است. مارتینس یک تابع

-
1. Incidence Angle Modifier
 2. transversal Incidence angle modifier
 3. longitudinal Incidence angle modifier

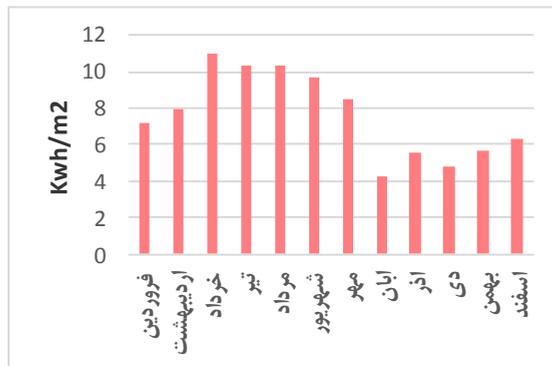
درجه ۲ که تنها ۰.۵٪ از داده‌های واقعی انحراف داشته، ارائه کرده است که در رابطه ۲۰ نشان داده شده است. [۱۷]

$$IAM = \eta_o \eta(\theta_i) \quad (20)$$

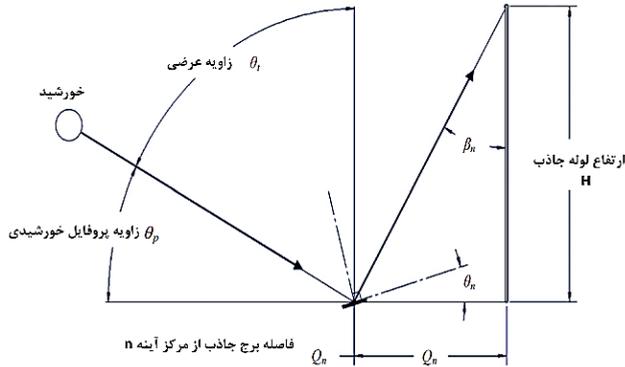
در رابطه ۲۰ منظور از η_o بازده نوری است که برای انواع آینه‌ها به صورت ویژگی‌های مشخص آن گزارش شده است در واقع کمیت IAM از دو بازده وابسته به نوع ساختار فرنل و موقعیت خورشید تشکیل شده است.

$$IAM = \max(\cos \theta_i + \dots 0.884 \theta_i - \dots 0.5369 \theta_i^2, 0) \quad (21)$$

روابط ۲۲ تا ۳۴ مراحل مدل سازی فرنل و شکل (۴) نمادهای استفاده شده در معادلات را نشان می‌دهد.



شکل ۳. متوسط تابش مستقیم در هرماه در شهر اهواز



شکل ۴. پارامترهای تعیین کننده موقعیت خورشید

$$\theta_i = \arctan \frac{\sin \gamma_s}{\tan \alpha_s} \quad (22)$$

$$\tan \theta_p = \frac{\tan \alpha_s}{\cos(90 - \gamma_s)} \quad (23)$$

$$\theta_n = \frac{90 - \theta_p - \beta_n}{2} \quad (24)$$

$$\tan \beta_n = \frac{Q_n}{H} \quad (25)$$

در روابط بالا θ_p زاویه پروفایل خورشیدی، θ_n زاویه آینه n ، Q_n فاصله مرکز آینه n ام تا جاذب، θ_i زاویه برخورد طولی اصلاح شده و β_n زاویه خط واصل لوله جاذب و مرکز آینه‌ها است که با توجه به تغییر فاصله باید برای هر آینه تکرار انجام شود. مطابق شکل (۵) میزان درصد سطح هر آینه که در سایه قرار می‌گیرد، را نشان داده است.

$$P_n = \left(\frac{[W \sin \theta_n + (\sin \theta_{n+1} - \sin \theta_n)]}{\tan(\theta - 0.27)} \right) + \frac{W}{2} (\cos \theta_n + \cos \theta_{n+1} + 1) \quad (26)$$

$$b_n = \frac{W}{2} (\sin\theta_n + \sin\theta_{n+1}) \quad (27)$$

$$C_n^2 = b_n^2 + s_n^2 \quad (28)$$

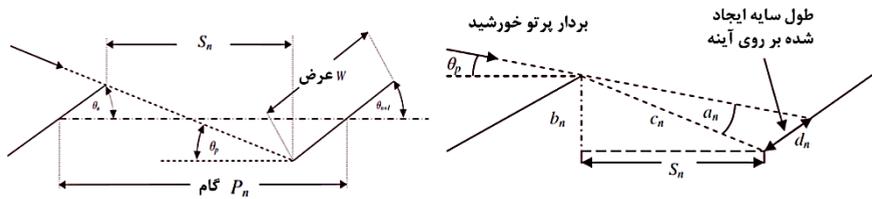
$$d_n = \frac{C_n \sin \alpha_n}{\sin(\theta_p + \theta_n + 1)} \quad (29)$$

$$\alpha_n = 90 - \tan^{-1} \left(\frac{S_n}{b_n} \right) - \theta_p \quad (30)$$

$$\eta_{shadow-n} = 1 - \frac{d_n}{W} \quad (31)$$

$$\eta_{shadow} = \frac{\sum n_{shadow}}{n} \quad (32)$$

در معادلات ۲۴ تا ۳۲، n نشان‌دهنده شماره آینه است. رابطه ۳۲ نیز بیانگر متوسط سطح فرنل است که هر ساعت در معرض نور خورشید قرار گرفته است. عبارت اتلاف از انتها در واقع به اتلاف رخ داده در انتهای لوله جاذب اطلاق می‌شود و ناشی از هندسه خطی کلکتور است. منظور از اتلاف انتها میزان طولی از لوله جاذب می‌باشد که ممکن است با توجه به فاصله کانونی f و نحو بازتاب آینه‌های تخت، تحت تابش قرار نگیرد و هنگامی رخ می‌دهد که تابش خورشید با زاویه برخورد مخالف صفر به سطح کلکتور برسد بیشترین مقدار آن در هنگام طلوع و غروب خورشید رخ می‌دهد.



شکل ۵. فاصله هر آینه و اثر سایه آینه‌های متوالی

$$End_{loss} = \frac{f \times \tan \theta_i}{l_{coll}} \quad (33)$$

$$\eta_{End-loss} = 1 - End_{loss} \quad (34)$$

فاصله کانونی در فرنل برابر ارتفاع لوله جاذب می‌باشد. [۱۷،۲۲]

۲-۱. طراحی فرنل

با بررسی صورت گرفته در بین فرنل‌های ساخته‌شده توسط شرکت‌های سازنده فرنل خورشیدی مانند نوآکت^۱ [۱۸] و قوانین فیزیکی بازتاب از آینه تخت و قطر لوله جاذب مناسب با ظرفیت مورد تقاضا، ابعاد سیستم طراحی شده و متغیر طراحی طول فرنل خورشیدی بوده است به طوری که با تغییر طول فرنل خورشیدی، میزان افزایش دمای نفت عبوری و میزان درآمد حاصل از صرفه‌جویی گاز با هزینه سرمایه‌گذاری لازم جهت به‌کارگیری این سیستم مقایسه شده و طول مناسب سیستم به دست می‌آید. البته باید به این نکته دقت شود که فرنل خورشیدی دمای نزدیک به ۳۰۰-۴۰۰ درجه را، بسته به نوع طراحی و تمهیدات صورت گرفته جهت رفع اتلافات، ایجاد می‌کند و این دبی نفت است که دمای خروجی از فرنل را تعیین می‌کند. به طوری که در صورت افزایش طول بیشتر از مقدار معین دمای نفت بالاتر از حد بهینه می‌شود که با تقاضای خاص ما مغایرت دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد هر چه دبی عبوری از لوله‌های جاذب متمرکز کننده‌ها بیشتر باشد بازده حرارتی سیستم بهتر اما دمای خروجی کمتر است [۶].

1. Novatec Solar

جدول ۴. مشخصات فنی فرنل خورشیدی

اندازه (متر)	مشخصات طراحی	میزان دبی نفت در واحد مدنظر ۶۰۵۰۰ بشکه در روز است که توسط دو لوله ۸ اینچی (حدود ۲۰ سانتیمتر) در داخل واحد منتقل می‌شود. لذا فرنل مانند فرنل های با لوله جاذب بزرگ طراحی شده است. مشخصات سیستم طراحی شده در جدول ۴ ذکر شده است. میزان حرارت تأمین شده توسط فرنل صرف بالا رفتن دمای نفت خام حاوی آب عبوری می‌شود و معادل آن از میزان مصرف گاز واحد کم می‌شود. در ادامه میزان حرارت تولیدی بر اساس ارزش حرارتی گاز مصرفی واحد به حجم گاز مصرفی تبدیل شده و باقیمت گذاری بر روی میزان گاز صرفه جویی شده و هزینه سیستم فرنل گزارش شده در مراجع مختلف، پتانسیل سودهی طرح و زمان لازم برای بازگشت سرمایه به دست می‌آید.
۱۴	تعداد آینه	
۰/۳	عرض آینه	
۴۰	طول آینه	
۰/۱۵	فاصله بین آینه‌ها	
۴۰	طول لوله جاذب	
۰/۲	قطر لوله جاذب	
۴	ارتفاع لوله جاذب از آینه‌ها	
۰/۵	فاصله سازه از زمین	
۷۵	بازده نوری آینه (%)	
۹۵	ضریب عبور شیشه (%)	
۹۴	ضریب جذب جاذب (%)	
۵	تابش جاذب (%)	

۳. تحلیل هزینه - فایده طرح

طرح ترکیب فرنل خورشیدی با هیترهای متداول منجر به کاهش مصرف گاز واحد می‌شود و می‌توان این میزان مصرف نشده را به‌عنوان خوراک به واحدهای پتروشیمی فروخت. لذا در این جا قیمت هر مترمکعب گاز بر اساس نرخ گاز طبیعی خوراک پتروشیمی‌ها، ۸ سنت در نظر گرفته شده است. همچنین هزینه سرمایه‌گذاری این طرح مربوط به هزینه قسمت‌های مختلف فرنل خورشیدی است. تجهیزات اصلی فرنل خورشیدی شامل آینه تخت، لوله جاذب، ترکر یک محوره و سازه نگه‌دارنده سیستم می‌باشد. هزینه حاصل به‌کارگیری سیستم خورشیدی در جدول ۵ ذکر شده است. [۲۶] شکل (۶) میزان تأثیر به‌کارگیری فرنل بر گاز مصرفی واحد را به‌طور ماهیانه نشان می‌دهد و نتایج حاصل از به‌کارگیری سیستم خورشیدی در بالا بردن درجه حرارت نفت خام و درآمد حاصل از صرفه‌جویی گاز در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۵. هزینه فرنل خورشیدی

ابعاد فرنل (مترمربع)	تعداد فرنل	مساحت کل سیستم (مترمربع)	هزینه سیستم فرنل خورشیدی (دلار بر مترمربع) [26]	هزینه کل سیستم* (دلار)
۲۴۶	۲	۴۹۲	۲۴۵	۱۲۰۴۵۰

* این هزینه شامل آینه، ترکریک محوره، سازه نگه‌دارنده و لوله جاذب می‌باشد.

جریان مالی رخ داده با نصب سیستم خورشیدی از رابطه ۳۵ به دست می‌آید.

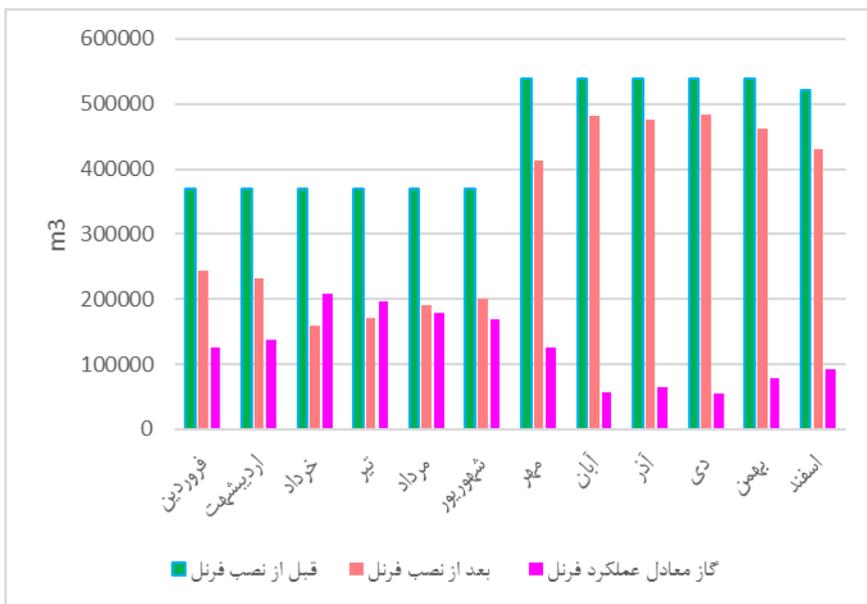
$$capital = incom \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (35)$$

i سود بانکی است که در اینجا ۲۰٪ در نظر گرفته شده است و درآمد ناشی از به‌کارگیری فرنل با ضریب تنزیل به سال پایه تنزیل یافته تا طول مدت بازگشت سرمایه به دست آید.

$$120540 = 118870 \cdot \left(\frac{(1+0.2)^n - 1}{0.2(1+0.2)^n} \right) = 1.27 \quad (36)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود زمان بازگشت سرمایه فرنل خورشیدی کمی بیش از یک سال می‌باشد. از طرفی سهم انرژی خورشیدی برابر نسبت انرژی تولیدشده توسط سیستم خورشیدی تقسیم‌بر کل انرژی موردنیاز است [۱۹] که از رابطه ۳۶ محاسبه می‌شود. در این جا می‌توان از میزان گاز معادل حرارت تولیدی فرنل خورشیدی بر کل گاز صرفی سالانه بدون استفاده از انرژی خورشیدی استفاده کرد.

$$SS = \frac{1485878}{5427991} \times 100 = 27\% \quad (37)$$



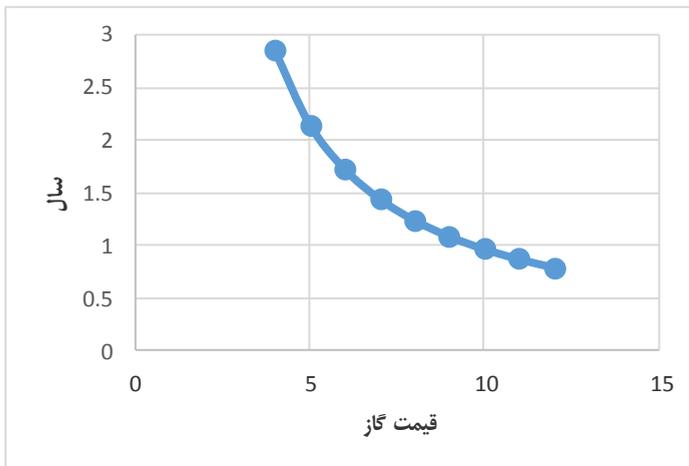
شکل ۶. میزان مصرف ماهیانه گاز

جدول ۶. تغییرات دما نفت ورودی به هیتر قبل و بعد از نصب فرنل خورشیدی

درآمد \$	بعد از نصب فرنل	قبل از نصب فرنل	دمای ورودی به هیتر °C
۱۰۰۲۵.۸	۵۰.۱۲	۴۴	فروردین
۱۰۹۱۲.۴	۵۰.۶۶	۴۴	اردیبهشت
۱۶۷۲۷.۵	۵۴.۲۱	۴۴	خرداد
۱۵۷۴۹.۷	۵۳.۶۱	۴۴	تیر
۱۴۲۴۰.۹	۵۲.۶۹	۴۴	مرداد
۱۳۴۶۷.۹	۵۲.۲۲	۴۴	شهریور
۱۰۱۰۷.۷	۳۹.۴۶	۳۳	مهر
۴۶۰۳.۹	۳۵.۹۴	۳۳	آبان
۵۰۸۴.۹۹	۳۶.۲۵	۳۳	آذر
۴۴۲۲.۵	۳۵.۸۳	۳۳	دی
۶۲۲۵.۶۷	۳۶.۹۸	۳۳	بهمن
۷۳۰۲.۱۸	۳۷.۸۳	۳۳	اسفند

تحلیل حساسیت هزینه - فایده طرح

کاهش چشم‌گیر قیمت نفت منجر به نوسان در قیمت گاز خوراک پتروشیمی‌ها شده است به طوری که هم‌اکنون قیمت واحد و رسمی برای خوراک پتروشیمی‌ها اعلام نشده است. لذا توجه‌پذیری اقتصادی طرح در شرایط نوسان قیمت گاز مورد بررسی و درآمد حاصل از سرمایه‌گذاری صورت گرفته در بازه ۴-۱۲ سنت قیمت گاز محاسبه گردید و نتایج آن در قالب زمان بازگشت سرمایه در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در پایین‌ترین سطح از قیمت گاز، زمان بازگشت سرمایه کمتر از ۳ سال هست که همچنان مدت‌زمان مناسبی است. از طرف دیگر وجود پدیده گرد و غبار در مناطق جنوبی کشور به چالشی برای سیستم‌های خورشیدی تبدیل شده است. مطالعات نشان می‌دهد پدیده گرد و غبار در فصول گرم بیشتر رخ می‌دهد. [۲۷] تعداد و پراکندگی روزهای غبارآلود در جدول ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در پایین‌ترین سطح از قیمت گاز، زمان بازگشت سرمایه کمتر از ۳ سال بوده که همچنان مدت‌زمان مناسبی است. از طرف دیگر وجود پدیده گرد و غبار در مناطق جنوبی کشور به چالشی برای سیستم‌های خورشیدی تبدیل شده است. مطالعات نشان می‌دهد پدیده گرد و غبار در فصول گرم بیشتر رخ می‌دهد. [۳] تعداد و پراکندگی روزهای غبارآلود در جدول ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. تغییرات مدت بازگشت سرمایه باقیمت گاز

نتایج بررسی نشان می‌دهد که با در نظر داشتن ۱۳۰ روز غبارآلود، بازگشت سرمایه سیستم خورشیدی به طوری که سود بانکی ۲۰٪ برابر ۲/۴ سال برآورد شده است و شکل (۸) جریان مالی ماهیانه سیستم خورشیدی با در نظر گرفتن روزهای عدم وجود تابش مناسب را نشان می‌دهد. در این حالت انرژی خورشیدی ۱۳٪ از سهم انرژی حرارتی سالیانه واحد را تأمین می‌کند.



جدول ۷. تعداد روزهای غبارآلود استان خوزستان [۲۵]

سال	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
۲۰۱۵	۴۹	۵۱	۲۰	۲۶	۱۳۰

۴. نتیجه گیری

با توجه به تابش مناسب خورشید در مناطق نفت‌خیز جنوبی ایران، استفاده از سیستم‌های خورشیدی به‌ویژه سیستم‌های حرارتی دارای پتانسیل مناسبی است. از طرفی وجود منابع غنی نفت در جنوب کشور و انرژی بر بودن فرایند تولید و فراورش آن، استفاده از منابع انرژی در دسترس و رایگان دارای محرک‌های لازم سرمایه‌گذاری است تا مصرف منابع هیدروکربنی به‌منظور تولید خود آن منابع، کاهش یابد. در مقاله حاضر امکان استفاده از انرژی خورشیدی در بالادست صنعت نفت (واحدهای نمک‌زدایی

نفت خام) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان می‌دهد فرنل‌های خورشیدی با توجه به ساختار ساده، مطابقت با نیاز واحد و هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً کم برای استفاده به‌منظور سیستم کمکی مبدل‌های متداول در واحدها برای کاهش مصرف گاز و استفاده از آن در سایر بخش‌ها و اهداف مختلف، مناسب است. با توجه به ابعاد مورد نیاز و استانداردهای طراحی، ۲ عدد فرنل خورشیدی برای استفاده از پتانسیل خورشید طراحی شده که منجر به کاهش سالانه ۱/۵ میلیون مترمکعب مصرف گاز طبیعی می‌شود. برآوردهای اقتصادی حاکی از آن است که بازگشت سرمایه این طرح کمی بیش از یک سال بوده و انرژی خورشیدی سهم ۲۷٪ در تأمین انرژی گرمایشی مورد نیاز سالانه واحد نمک‌زدایی نفت خام را دارد.

سپاسگزاری

با سپاس فراوان از آقایان مهندس کاظمی و مهندس اسماعیلی که اطلاعات تجربی به‌کاررفته در مقاله حاضر حاصل پاسخ‌گویی دلسوزانه ایشان است.

منابع

- [۱] بهادری نژاد، مهدی و سیدعباس میرحسینی، (۱۳۸۲)، ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران، سومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- [۲] خانی، مجتبی (۱۳۹۱)، بررسی مشکلات ناشی از تزریق مجدد پساب واحد نمک‌زدایی به چاه‌های تولیدی میدان نفتی اهواز، اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، تهران.
- [۳] زراسوندی، علیرضا (۱۳۸۹)، بررسی زمین-آماری وقوع گرد و غبار به عنوان یک پدیده زمین‌زیست محیطی در استان خوزستان، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، جلد شماره ۲۵.
- [۴] صالحی، محسن، علی اکبر عباسیان ارانی، میکائیل شاپوری ارانی و ابوالفضل حسینی (۱۳۹۳)، بررسی تأثیر دبی‌های متفاوت بر روی راندمان کلکتور سهموی خطی، ششمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، تهران، شرکت هم‌اندیشان انرژی کیمیا.
- [۵] طاووسی، تقی (۱۳۹۲)، مدل‌سازی سری‌های زمانی پدیده گرد و غبار شهر اهواز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، جلد ۲۸.

- [۶] کاظمی گل باغی، حامد؛ مرتضی ایرانشاهی و جلال زینعلی (۱۳۹۳). بررسی اثر دما بر عملکرد و نمک زدای الکترواستاتیک نفت خام، پانزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، دانشگاه تهران.
- [7] Alamdari, P., Nematollahi, O., & Alemrajabi, A. A. (2013). Solar energy potentials in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 778-788.
- [8] Ashouri, E., Veisy, F., Asadi, M., Azizpour, H., & Sadr, A. (2013). Influence of Tube Arrangement on the Thermal Performance of Indirect Water Bath Heaters. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 47(2), 69-81.
- [9] Enjavi-Arsanjani, M., Hirbodi, K., & Yaghoubi, M. (2015). Solar energy potential and performance assessment of CSP plants in different areas of Iran. *Energy Procedia*, 69, 2039-2048.
- [10] Halabi, M. A., Al-Qattan, A., & Al-Otaibi, A. (2015). Application of solar energy in the oil industry—Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 296-314.
- [11] Hoste, G., & Schuknecht, N. (2015). Thermal Efficiency Analysis of SkyFuel's Advanced, Large-aperture, Parabolic Trough Collector. *Energy Procedia*, 69, 96-105.
- [12] <http://www.bloomberg.com/energy>.
- [13] http://www.fiorentini.com/media/files/503_systems_-_indirect_fired_heaters_-_eng_-_apr2010.pdf.
- [14] Janjai, S. (2010). A method for estimating direct normal solar irradiation from satellite data for a tropical environment. *Solar Energy*, 84(9), 1685-1695.
- [15] Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), 231-295.
- [16] Mertins, M. (2009). Technische und wirtschaftliche Analyse von horizontalen Fresnel-Kollektoren (Doctoral dissertation, Karlsruhe, Univ., Diss., 2008).
- [17] Moghaddam, N. B., Mousavi, S. M., Nasiri, M., Moallemi, E. A., & Yousefdehi, H. (2011). Wind energy status of Iran: Evaluating Iran's technological capability in manufacturing wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4200-4211.
- [18] Mokheimer, E. M., Dabwan, Y. N., & Habib, M. A. (2015). Performance Comparative Analysis of Three Different CSP Technologies Integrated with Gas Turbine Cogeneration Systems in Saudi Arabia. *Energy Procedia*, 75, 527-532.
- [19] Morin, G., Dersch, J., Platzer, W., Eck, M., & Häberle, A. (2012). Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector power plants. *Solar Energy*, 86(1), 1-12.15
- [20] Mousavichoubeh, M., Shariaty-Niassar, M., & Ghadiri, M. (2011). The effect of interfacial tension on secondary drop formation in electro-coalescence of water droplets in oil. *Chemical Engineering Science*, 66(21), 5330-5337.
- [21] Neisi, N., & Banooni, S. (2011). Effect of Mixing Efficiency in Dilution Water Consumption in a Crude Oil Desalting Plant. In 3rd International

- Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering (ICBEE 2011), September, Singapore.
- [22] Nixon, J. D., & Davies, P. A. (2012). Cost-exergy optimisation of linear Fresnel reflectors. *Solar energy*, 86(1), 147-156.
- [23] Stephan Fischer Peter Kovacs SOLAR RATING AND CERTIFICATION PROCEDURES [Report]. - the USA : inter national energy agency, 2013.
- [24] Vafajoo, L., Ganjian, K., & Fattahi, M. (2012). Influence of key parameters on crude oil desalting: An experimental and theoretical study. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 90, 107-111.
- [25] Zhang, Y., Smith, S. J., Kyle, G. P., & Stackhouse, P. W. (2010). Modeling the potential for thermal concentrating solar power technologies. *Energy Policy*, 38(12), 7884-7897.
- [26] Zhu, G., Wendelin, T., Wagner, M. J., & Kutscher, C. (2014). History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors. *Solar Energy*, 103, 639-652.