

بررسی پتانسیل بکارگیری انرژی خورشیدی در صنایع بالادستی نفت

^۱ مرضیه باقری، ^۲ رامین روشنل، ^۳ سید جلال الدین شایگان*

چکیده

فرآیند تولید و فراورش محصولات نفتی ۱۰٪ از کل انرژی تولیدی توسط منابع فسیلی را مصرف می‌کند. نفت استخراجی از میان های 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 پیش‌گرماش 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 فرنزل خورشیدی عملکرد مناسبی به عنوان یک سیستم کمکی برای هیترهای پیش‌گرم کن متداول داشته و منجر به کاهش سالانه ۱/۵ میلیون مترمکعب مصرف گاز طبیعی واحد نمک‌زدایی موردمطالعه می‌شود و می‌توان از گاز صرفه‌جویی شده به عنوان خوراک واحدهای پتروشیمی استفاده کرد. بررسی هزینه فایده سیستم پیشنهادی نشان می‌دهد زمان بازگشت سرمایه فرنزل های خورشیدی طراحی شده 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 موردنیاز 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،
فرنzel خورشیدی،
مبدل‌های غیرمستقیم حمام
آب گرم،
نمک‌زدایی نفت خام،
هزینه - فایده

۱. دانشجو 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)

m-bagheri@energy.sharif.edu

roshandel@sharif.edu

shayegan@sharif.edu

۱. مقدمه

صرف 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، $32/99\text{TW}$ 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 ازن، تغییرات آب و هوای، 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 ۹۶۰ 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 تأمین کننده 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 تایید شده به سطح زمین با بازده ۱۰٪ به برق تبدیل شود، توانی معادله GW^{300} تولید می‌کند که معادل ۴ برابر انرژی مصرفی دنیا است. ایران در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه قرار داشته و موقعیت مناسبی به منظور 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 به طور 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.

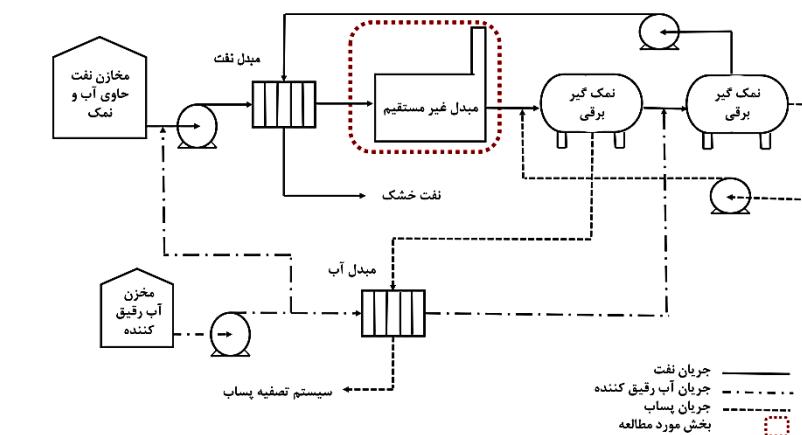
همراه نفت استخراجی از چاههای نفت مقادیر متفاوتی آب از مخزن خارج می‌شود. این آب حاوی مواد آلی و غیر آلی با غلظت بالایی است که در اثر عبور از محیط متخلخل مخازن، استرس‌های ناشی از عبور از شیرهای فشارشکن و افت فشارهای موجود در مسیر انتقال، در درون نفت پخش شده و امولسیون آب در نفت را به وجود می‌آورد.^[۶] 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 باستی مقدار آن‌ها در پایین‌ترین میزان مجاز (نمک کمتر از $^{10}\text{ PTB}^1$ و میزان مجاز آب کمتر از $^{11}\text{٪}$ 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 میادله 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 ازا افزایش 1 ppm آب یا نمک داخل نفت $^{1/3}-0.85$ 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 نمک‌زدایی، افت در شیر اختلاط، نوع و میزان تزریق تعلیق شکن، میزان تزریق آب

1. Pond per 1000 bbl

رقیق کننده، دمای نمک زدایا و خواص امولسیون آب و نفت از قبیل چگالی فاز آب و نفت و گرانروی آب و نفت، بر کارایی نمک زدایای الکترواستاتیکی تأثیرگذار است. تغییر دما بر خواص امولسیون آب و نفت از قبیل پایداری امولسیون، چگالی، گرانروی و هدایت الکتریکی اثر داشته و با افزایش دما گرانروی 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 تعیق شکن در امولسیون آب در نفت تأثیرگذار است و دمای بهینه متناسب با نوع تعیق 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 ۸۰-۵۰ سانتی‌گراد می‌باشد. دمای به کار گرفته شده در واحدهای نمک‌زدایی معمولاً با توجه به طراحی، ویژگی‌های نفت 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 شیرین سازی بخش قابل توجهی از آن برای مصرف هیترها سوزانده می‌شود، که در صورت استفاده از سوخت‌های جایگزین قابلیت صادرات و یا مصرف در 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 ای 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 اثلاف توسط محصول داغ واحد در یک مبدل پیش گرمایش و برای رسیدن به دمای بهینه عملکرد الکترواستاتیک، به هیتر فرستاده می‌شود. در واحد موردنظر، از دو هیتر غیرمستقیم حمام گرم جهت گرم کردن نفت تا ۶۵ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. مبدل حمام آب غیرمستقیم مبدل 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 برآشش شده در بازه‌های دمایی بین ۱۰-۱۲۰ درجه، در زیر گزارش شده است. در ابتدا

کسر مولی آلاینده‌های غیر آب همراه نفت از رابطه ۱ به دست می‌آید. در این جا فرض می‌شود نمک موجود در آب همراه تماماً 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	اجرا
۵/۴۹۱	۳/۴۳۱	۲/۸۷۳	۴/۳۲۷	۱/۳۳۳	۲/۷۸۸	.۰۵۶۴	.۰۳۶	.	.
میزان شوری (‰)	کسر مولی نمک (%)	(ppm)	دما نفت مطلوب (°C)	دبی آب (بشکه در روز)	دبی نفت (بشکه در روز)				
۰/۰۷۱		۲۴۰۰۰	۶۵	۵۵۰۰	۵۵۰۰				

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

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

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 آب نمک 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.

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

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

$$Q_{oil} = m \times C_p \times \Delta T \quad (6)$$

$$Q_{gas} = \frac{Q_{oil}}{\eta_{heater}} \quad (7)$$

ارزش حرارتی گاز واحد برابر با $9/37258$ کیلوژول بر مترمکعب است. معادله ۶ میزان گاز مصرفی برای افزایش دمای نفت تا دمای 65 سانتیگراد و رابطه 7 میزان گاز مورد نیاز برای تأمین Qoil را با توجه به بازده حرارتی هیتر محاسبه می‌کند. نتایج حاصل از روابط 1 تا 7 در جدول (۲) گزارش شده است.

جدول ۲. میزان مصرف گاز هیتر های واحد نمک‌زدایی

میزان مصرفی روزانه در فصل سرد (m^3)	میزان گاز مصرفی روزانه در فصل گرم (m^3)	میزان مصرف سالانه گاز (m^3)
۱۱۹۰۰	۱۸۰۰	۵۴۲۷۹۹۱

۱-۲. بررسی و انتخاب کلکتور های خورشید

کلکتور های 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. کلکتور های خورشیدی به دو دسته کلی غیرمتغیر کننده یا ثابت و متغیر کننده تقسیم‌بندی می‌شود. در کلکتور های ثابت سطح دریافت کننده تابش و جذب کننده آن یکسان است درحالی‌که در متغیر کننده‌های متحرک سطح جاذب کمتر از سطح دریافت کننده تابش است و باعث افزایش فلاکس تابش می‌شود. در جدول (۳) مشخصات انواع کلکتور ها اورده شده است.^[۱۶] هیتر های 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 کلکتور های ثابت است اما به کارگیری این کلکتور ها از نظر ساختاری در واحد امکان ممکن نیست. به طور مثال در کلکتور های صفحه تخت، امکان عبور نفت از لوله های داخل کلکتور به دلیل دبی بالا و مسائل خودگی غیرممکن است و استفاده از سیال واسط 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند. در حالت کلی این سیستم از آینه‌های بزرگ برای متمرکز کردن نور آفتاب به یک سطح دریافت‌کننده کوچک استفاده می‌کنند و یک سیال کاری گرمای را از لوله جاذب دریافت کرده و تا دماهای بالا گرم می‌شود که می‌تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم از طریق تبادل در مبدل‌ها 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 آینه‌ها، 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 معکس‌کننده ثانویه ذوزنقه‌ای برای افزایش تمرکز تابش و کاهش اتلاف حرارت از طریق ایجاد خلا بین لوله جاذب و معکس‌کننده استفاده می‌شود و می‌توان با خلاعه نکردن آن نیز به دماهای پایین (۳۰۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) دست پیدا کرد. زمانی که از یک لوله جاذب استفاده می‌شود هزینه ساخت کمتری دارد و عموماً از بازتابنده ثانویه برای افزایش بازده نوری کلکتور استفاده می‌شود. دمای خروجی از کلکتور در طراحی‌های انتخابی عملیات و استراتژی کنترل، سیال منتقل‌کننده حرارت ولوله‌های جاذب، بسیار متنوع هستند.^[۲۵] برخی مزایای این سیستم را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

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

ایراد اصلی این کلکتورها این است که در هنگام طلوع و غروب آفتاب راندمان آن‌ها بهشت کاهش میابد و در کل راندمان آن‌ها حدود ۷۰ درصد کلکتورهای سهموی است. اما سادگی آن‌ها نسبت به سایر سیستم‌ها موجب رقابت‌پذیری آن‌ها با سایر متمرکز کننده‌ها شده است. درنتیجه با توجه به نیاز به دمای پایین، ساختار مناسب برای بکارگیری مستقیم برای گرمایش نفت و هزینه نسبتاً ارزان، فرنل خورشیدی به عنوان کلکتور مناسب و سیستم کمکی مبدل‌های غیرمستقیم، درزمانی که تابش خورشید در اختیار است، انتخاب می‌شود. در شکل (۲) می‌توان نمایی از فرنل خورشیدی را در سیستم ترکیبی پیشنهادی با هیترهای غیرمستقیم مشاهده کرد.

جدول ۳. دسته‌بندی کلکتورهای خورشیدی

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

۲. مدل‌سازی

متمرکز کننده‌های خطی از تابش مستقیم خورشید برای ایجاد حرارت استفاده می‌کنند که در مکان‌های 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.

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

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

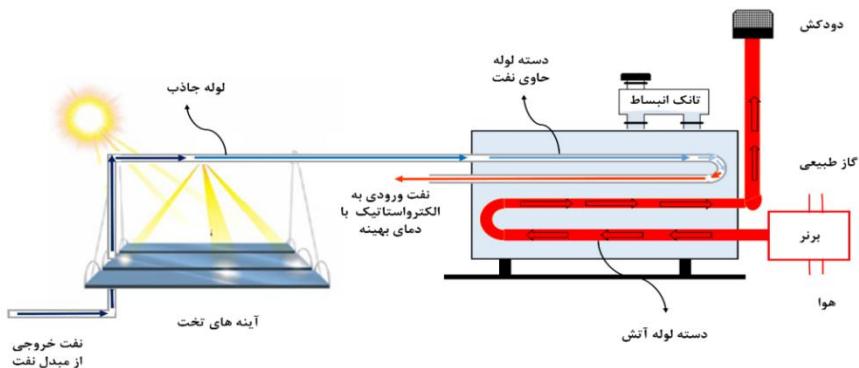
$$\sin \gamma s = \frac{\cos \delta \sinh}{\sin \alpha} \quad (10)$$

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

در روابط بالا L نماد عرض جغرافیایی، δ نشان دهنده زاویه میل، αs ارتفاع خورشیدی، γs زاویه آزیmos، h زاویه ساعت و hss زاویه ساعت طلوع خورشیدی است. از بین تابش مستقیم، نفوذی و انعکاسی نور خورشید تنها تابش مستقیم نرمال در امکان سنجی و طراحی متتمرکز 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.

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

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 واحد بر مترمربع) است. برای محاسبه تابش در سطح زمین، گام اول دستیابی به ضریب صافی هوا است که در اینجا 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 زیر میزان تابش متوسط ماهیانه در سطح افق و \overline{H}_o میزان تابش متوسط ماهیانه در فراجهو 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.

$$\frac{\overline{H}}{KT} = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_o} \quad (13)$$

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

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

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

در رابطه ۱۶، I_{bn} همان تابش مستقیم نرمال و φ زاویه زنیت است. تابش مستقیم ماهانه با شاخص گرفتن روز ۱۵ هرماه 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 پهنای کم و طول زیاد است که در کنار هم، در جهت شمال به جنوب نصب شده اند. زاویه قرارگیری هر یک از آینه ها توسط ترکر یک محوره به گونه ای تنظیم می شود تا بازتاب نور خورشید را بر روی دریافت کننده متوجه کند. در بخش دریافت کننده یک بازتاب دهنده ثانویه به شکل سه‌موی یا ذوزنقه ای قرار دارد که بازتاب آینه ها را جمع آوری کرده و بر روی لوله ها 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].

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

در این رابطه A مساحت آینه ها و عبارت اتلاف Q_{loss} بیانگر اتلاف حاصل از انتقال حرارت جابجایی 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 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 هر روز و ساعت، در بازده نوری و حرارتی اثرگذار است که با تغییر زاویه برخورد عرضی اصلاح شده (θ_i) و زاویه طولی (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

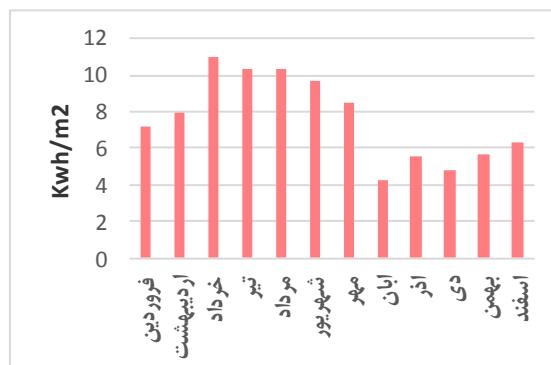
درجه ۲۰ که تنها ۰.۵٪ از داده‌های واقعی انحراف داشته، ارائه کرده است که در رابطه ۲۰ نشان داده شده است.^[۱۷]

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

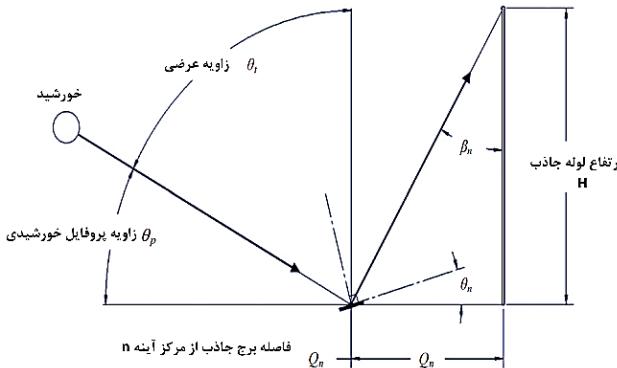
در رابطه ۲۰ منظور از ۷۰ بازده نوری است که برای انواع آینه‌ها به صورت ویژگی‌های مشخص آن گزارش شده است درواقع کمیت IAM از دو بازده وابسته به نوع ساختار فرنل و موقعیت خورشید تشکیل شده است.

$$IAM = \max(\cos \theta_i + 0.884\theta_i - 0.5369\theta_i^3, 0) \quad (21)$$

روابط ۲۲ تا ۳۴ مراحل مدل‌سازی 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 تعیین‌کننده موقعیت خورشید

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

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

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

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

در روابط بالا θ_p زاویه پروفایل خورشیدی، θ_n زاویه آینه n، Q_n فاصله مرکز آینه n ام تا جاذب، θ_t زاویه برخورد طولی اصلاح شده و $n\beta$ 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.

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

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

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

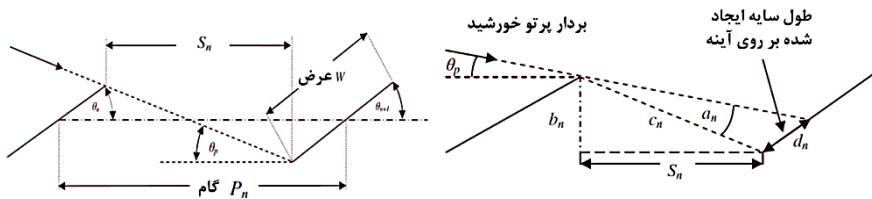
$$d_n = \frac{C_n \sin \alpha_n}{\sin(\theta_p + \theta_n + 1)} \quad (29)$$

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

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

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

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 قرارگرفته است. عبارت اتلاف از انتهای درواقع به اتلاف رخداده در انتهای لوله جاذب اطلاق می‌شود و ناشی از هندسه خطی کلکتور است. منظور از اتلاف انتهای 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 آینه های متواالی

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

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

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

۱-۲. طراحی فرنل

با بررسی صورت گرفته در بین فرنل های ساخته شده توسط شرکت های سازنده فرنل خورشیدی مانند نوآکت^۱ و قوانین فیزیکی بازتاب از آینه تخت و قطر لوله جاذب مناسب با ظرفیت 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 صرفه جویی گاز با هزینه سرمایه گذاری لازم جهت به کارگیری این سیستم مقایسه شده و طول مناسب سیستم به دست می آید. البته باید به این نکته دقیق شود که فرنل خورشیدی دمای نزدیک به ۴۰۰-۳۰۰ درجه را، بسته به نوع طراحی و تمهدات صورت گرفته جهت رفع اتلافات، ایجاد می کند و این دبی نفت است که دمای خروجی از فرنل را تعیین می کند. به طوری که در صورت افزایش طول بیشتر از مقدار معین دمای نفت بالاتر از حد بهینه می شود که با تقاضای خاص ما مغایرت دارد. بررسی ها نشان می دهد هر چه دبی عبوری از لوله های جاذب متمرکز کننده ها بیشتر بازده حرارتی سیستم بهتر اما دمای خروجی کمتر است [۶].

1. Novatec Solar

جدول ۴. مشخصات فنی فرنل خورشیدی

مشخصات طراحی اندازه(متر)	میزان دبی نفت در واحد مدنظر ۶۰۵۰ 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 صرفه‌جویی شده و هزینه سیستم فرنل گزارش شده در مراجع مختلف، پتانسیل سودهای طرح و زمان لازم برای بازگشت سرمایه به دست می‌آید.
تعداد آینه	۱۴
عرض آینه	۰/۳
طول آینه	۴۰
فاصله بین آینه‌ها	۰/۱۵
طول لوله جاذب	۴۰
قطر لوله جاذب	۰/۲
ارتفاع لوله جاذب از آینه‌ها	۴
فاصله سازه از زمین	۰/۵
بازدہ نوری آینه(%)	۷۵
ضریب عبور شیشه (%)	۹۵
ضریب جذب جاذب(%)	۹۴
تابش جاذب(%)	۵

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 به عنوان خواراک به واحدهای پتروشیمی فروخت. لذا در اینجا قیمت هر مترمکعب گاز بر اساس نرخ گاز طبیعی خواراک 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، ترکریک محوره و سازه نگهدارنده سیستم می‌باشد. هزینه حاصل به کارگیری سیستم خورشیدی در جدول ۵ ذکر شده است. [۲۶] شکل (۶) میزان تأثیر به کارگیری فرنل بر گاز مصرفی واحد را به طور ماهیانه نشان می‌دهد و نتایج حاصل از به کارگیری 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

تعداد فرنل (مترمربع)	بعاد فرنل کل سیستم	مساحت کل هزینه سیستم فرنل خورشیدی	هزینه کل سیستم (دلار)	سیستم(مترمربع) [۲۶]	دلار بر مترمربع)
۲	۲۴۶	۴۹۲	۲۴۵	۱۲۰۴۵۰	*

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

جريان مالی رخداده با نصب سیستم خورشیدی از رابطه ۳۵ به دست می‌آيد.

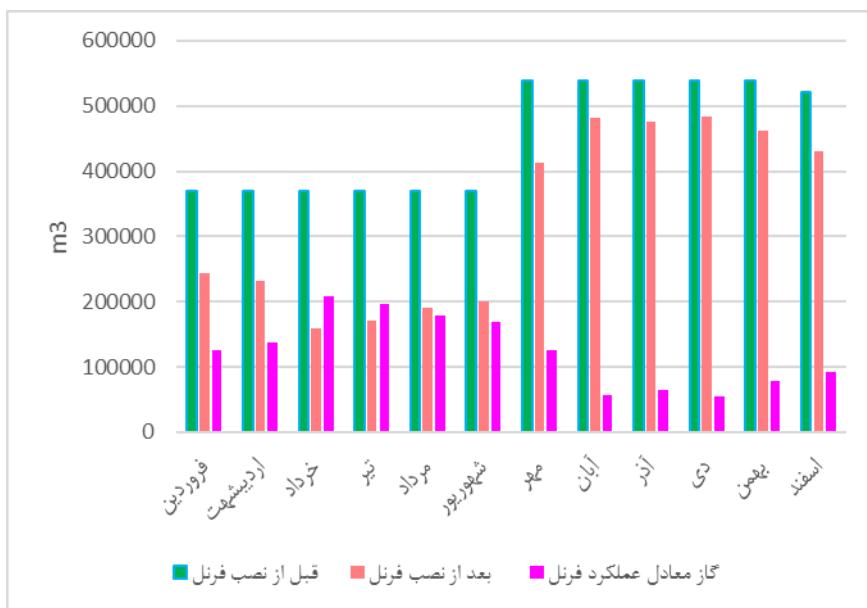
$$capital = incom \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (35)$$

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

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

همان طور 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 تقسیم بر کل انرژی موردنیاز است [۱۹] که از رابطه ۳۶ محاسبه می‌شود. در اینجا می‌توان از میزان گاز معادل حرارت تولیدی فرنل خورشیدی بر کل گاز صرفی سالانه بدون استفاده از انرژی خورشیدی استفاده کرد.

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



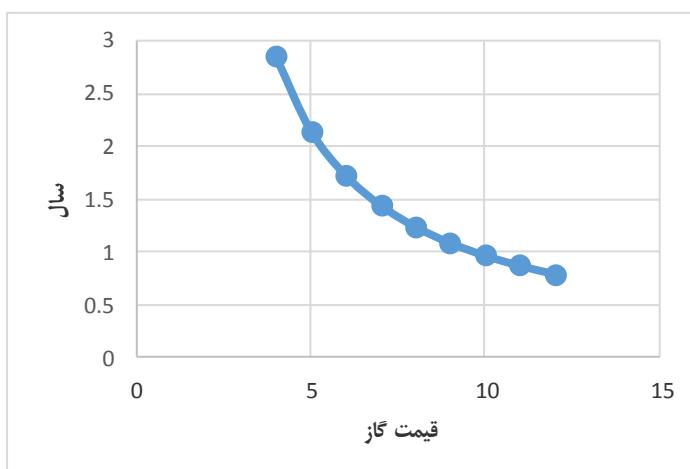
شکل ۶. میزان مصرف ماهیانه گاز

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

دما نفت ورودی به هیتر °C	قبل از نصب فرنل در آمد \$	بعد از نصب فرنل در آمد \$	قبل از نصب فرنل در آمد \$	بعد از نصب فرنل در آمد \$
۱۰۰۲۵.۸	۵۰.۱۲	۴۴	۴۴	فروردین
۱۰۹۱۲.۴	۵۰.۶۶	۴۴	۴۴	اردیبهشت
۱۶۷۲۷.۵	۵۴.۲۱	۴۴	۴۴	خرداد
۱۵۷۴۹.۷	۵۳.۶۱	۴۴	۴۴	تیر
۱۴۲۴۰.۹	۵۲.۶۹	۴۴	۴۴	مرداد
۱۳۴۶۷.۹	۵۲.۲۲	۴۴	۴۴	شهریور
۱۰۱۰۷.۷	۳۹.۴۶	۳۳	۳۳	مهر
۴۶۰۳.۹	۳۵.۹۴	۳۳	۳۳	آبان
۵۰۸۴.۹۹	۳۶.۲۵	۳۳	۳۳	آذر
۴۴۴۲۲.۵	۳۵.۸۳	۳۳	۳۳	دی
۶۲۲۵.۶۷	۳۶.۹۸	۳۳	۳۳	بهمن
۷۳۰۲.۱۸	۳۷.۸۳	۳۳	۳۳	اسفند

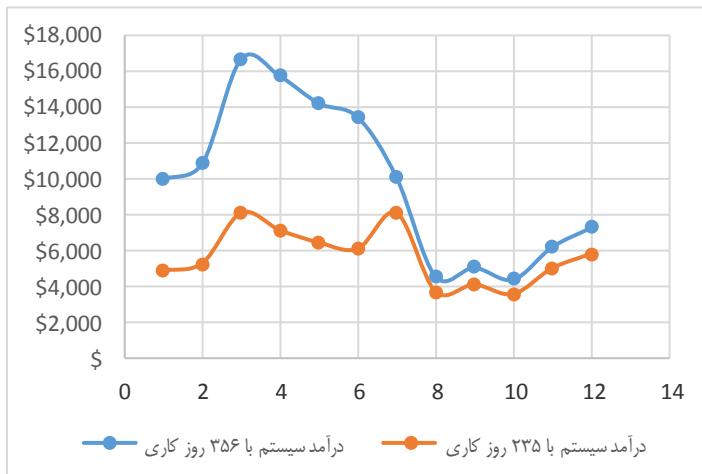
تحلیل حساسیت هزینه - فایده طرح

کاهش چشم‌گیر قیمت نفت منجر به نوسان در قیمت گاز خوراک پتروشیمی‌ها شده است به‌طوری‌که هم‌اکنون قیمت واحد و رسمی برای خوراک پتروشیمی‌ها اعلام نشده است. لذا توجیه‌پذیری 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 مدت زمان 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 مدت زمان 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 با قیمت 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
۱۳۰	۲۶	۲۰	۵۱	۴۹	۲۰۱۵

۴. نتیجه‌گیری

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 محرك‌های لازم سرمایه‌گذاری است تا مصرف منابع هیدروکربنی به منظور 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 $1/5$ 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 27% 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 به کار رفته در مقاله حاضر حاصل پاسخ‌گویی دلسویانه ایشان است.

منابع

- [۱] بهادری نژاد، مهدی و سید عباس میرحسینی، (۱۳۸۲)، ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران، سومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور.
- [۲] خانی، مجتبی (۱۳۹۱)، بررسی مشکلات ناشی از تزریق مجدد پساب واحد نمک زدایی به چاه‌های تولیدی میدان نفتی اهواز، اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، تهران.
- [۳] زراسوندی، علیرضا (۱۳۸۹)، بررسی زمین-آماری وقوع گرد و غبار به عنوان یک پدیده زمین زیست 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 تاثیر دبی‌های متفاوت بر روی راندمان کلکتور سهموی خطی، ششمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدید پذیر، پاک و کارآمد، تهران، شرکت هم اندیشان انرژی کیمیا.
- [۵] طاوسی، تقی (۱۳۹۲)، مدل سازی 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 3 rd 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., & Fattah, 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.