ISME

ارزیابی ترمواکونومیکی سیستم ذخیره ساز انرژی خورشیدی در گلخانه به منظور کاهش مصرف سوخت

طاهر شاهی[۱]
مربی

محمود فرزانه‌گرد[۲]
دانشیار

احمد عرب‌کوهسار[۳]
مربی

عبدالامیربک خوشنویس[۴]
دانشیار

محمد قلی‌زاده مقدم[۵]
مربی

در این پژوهش استفاده از یک سیستم ذخیره ساز انرژی خورشیدی در گلخانه ها با هدف کاهش مصرف سوخت امکان سنجی می گردد. در این راستا، انرژی خورشیدی در دسترس از روش ایزوتروپیک و با تکیه بر سایر قوانین معتبر علمی محاسبه گردیده، آنالیز انرژی بر روی گلخانه نمونه صورت می پذیرد و میزان سرمایه گذاری اولیه بر اساس روشهای اقتصادی معتبر محاسبه می گردد که نتایج حاصل، بیانگر سرمایه گذاری اولیه ای به ارزش ۳۸۲,۵ میلیون ریال متشکل از ۸۵ عدد کلکتور صفحه تخت و یک تانک ذخیره با حجم ۸,۵ مترمکعب می باشد. ارزیابی اقتصادی طرح بر اساس روش NPV بیانگر دورهٔ بازگشت سرمایه ای معادل ۱۰ سال می باشد.

واژه های راهنما : انرژی خورشیدی، تانک ذخیره، گلخانه، ارزش خالص فعلی، تانک طبقاتی

۱- مقدمه

گلخانه ها یکی از بخش های مهم کشاورزی می باشند که با استفاده از آن ها امکان پرورش محصولات در آب و هوا و یا فصل هایی غیر از آنچه که مخصوص آن هستند فراهم می گردد. از آنجایی که پوشش گلخانه اجازه ورود امواج تشعشعی خورشیدی را داده اما از اجازه خروج این امواج به فضای بیرون گلخانه را نمی دهد، لذا غالباً دمای هوای درون گلخانه ها چند درجه ای نسبت به هوای خارج گلخانه بالاتر می باشد. همچنین وجود پوشش گلخانه امکان ایجاد رطوبت مورد نیاز و سایر عوامل مطلوب برای رشد محصول را فراهم می آورد. اما پوشش گلخانه به تنهایی قادر به تامین دمای مورد نیاز نبوده و بدین منظور از سیستمهای تولید انرژی حرارتی بهره گرفته می شود. در ایران برای گرمایش گلخانه ها معمولاً از هیترهایی

[۱] نویسنده مسئول، مربی، مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر shahi.taher@yahoo.com
[۲] دانشیار، دانشکدهٔ مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود imchm@yahoo.co.uk
[۳] مربی، گروه مهندسی تاسیسات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر mani.koohsar@yahoo.com
[۴] دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار khosh1966@yahoo.com
[۵] مربی، گروه مهندسی تاسیسات، دانشگاه غیرانتفاعی شمس، گنبد کاووس m_ghlozadeh6570@yahoo.com

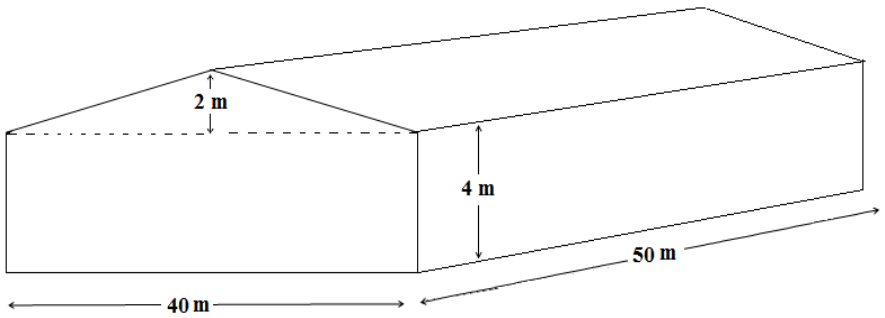
استفاده می‌شود که با مکش هوای بیرون و عبور دادن آن از روی کوئل‌هایی داغ (که حامل گازهای داغ حاصل از احتراق گازوئیل هستند) و تزریق آن به درون گلخانه سبب گرمایش گلخانه می گردند. با بالا رفتن قیمت حامل های انرژی و همچنین آسیب های ناشی از احتراق سوختهای فسیلی بر روی محیط زیست، امروزه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در سطح جهان در کانون توجه دانشمندان و محققان قرار گرفته است. تحقیقات گسترده اثبات نموده است که بهترین جایگزین برای سوخت‌های فسیلی انرژیهای تجدیدشونده می‌باشند که به دلیل دسترسی فراوان و لایزال بودن و همچنین رایگان بودن انرژی خورشیدی، می‌توان از آن بعنوان سرآمد همهٔ انواع انرژی های نو نام برد. اگرچه تکنولوژی های خورشیدی متنوعی برای تولید حرارت و بکارگیری آن در بسیاری از کاربردهای صنعتی و خانگی وجود دارد، اما در تمام این سیستم ها مولفهٔ اصلی کلکتورهای خورشیدی می باشند. این وسیله شار حرارتی خورشیدی را دریافت کرده و به یک سیال عامل که معمولاً آب است، انتقال می دهد. کاربرد انرژی خورشیدی برای تولید حرارت در کاربردهای صنعتی به اندازهٔ کافی رونق نگرفته است، مخصوصاً برای کاربردهایی که در آن انرژی گرمایی با دمای پایین نیاز است[۱]. نورتن [۲] رایج ترین کاربردهای انرژی خورشیدی برای تولید حرارت در زمینهٔ صنعت را در قالب تحقیقی گسترده ارائه نموده است.

در این تحقیق تاریخچهٔ کاربردهای صنعتی و کشاورزی انرژی خورشیدی به تفصیل بیان گردیده و و مثالهای عملی نیز تشریح گردیده است. اسپیت و همکارانش [۳] یک سیستم تولید حرارت با کلکتورهای غیر متمرکز کننده را در کشورهای در حال توسعه معرفی نموده اند. این سیستم برای مکانهایی از قبیل آشپزخانه های بزرگ و نانوایی ها بسیار مناسب می‌باشد. بنز و همکارانش [۴] نیز دو سیستم خورشیدی متفاوت برای کارخانهٔ تولید لبنیات در آلمان ارائه نمودند که بررسی ها نشان می دهد هر دو سیستم برای کاربردهای خانگی و گرمایش محیط نیز قابل تعمیم می باشند. در مقاله ای دیگر[۵] بنز مطالعه ای گسترده بر روی کاربرد کلکتورهای غیر متمرکز کننده در صنعت تولید غذا در آلمان ارائه نمود. در تحقیقی دیگر لی و یانگ [۶] پتانسیل کاربرد سیستم های تولید حرارت خورشیدی برای تولید آب داغ در هنگ کنگ را بررسی کردند. بدلیل دسترسی کافی به حرارت مازاد در اکثر صنایع بزرگ، سیستم های خورشیدی که در دمای پایین تولید حرارت می کنند در این مکان ها به اندازهٔ کافی مفید نخواهند بود. اما برای مکانها و بخش هایی در صنعت که حرارت مازادی جهت استفاده وجود ندارد، استفاده از انرژی خورشیدی به منظور تولید حرارت برای موارد ضروری ایده ای بسیار منطقی به نظر می رسد [۷].

با تکیه بر این مقدمه، در این مقاله امکان بهره گیری از یک سیستم خورشیدی با قابلیت ذخیرهٔ انرژی به منظور گرمایش گلخانه ها مورد مطالعه قرار می گیرد. شایان ذکر است که مطالعات قبلی در این زمینه هیچکدام بر چنین روشی تکیه نکرده و روشهای ذخیره سازی انرژی متفاوتی را پیشنهاد نموده اند. از اینرو این طرح برای نخستین بار توسط نویسندگان این مقاله پیشنهاد می گردد. برای نشان دادن قابلیت کارائی سیستم پیشنهادی، پیاده سازی طرح بر روی یک گلخانهٔ نمونه گریزناپذیر جلوه می نماید. از اینرو گلخانه دشت مینو در شهرستان آزادشهر بعنوان نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- گلخانه تحت آنالیز

گلخانه تحت مطالعه، گلخانهٔ دشت مینو متشکل از۱۰ گلخانهٔ مشابه با ابعاد نشان داده شده در شکل (۱)، واقع در شهرستان آزادشهر در استان گلستان می باشد. شایان ذکر است که محصول تحت کشت این گلخانه خیار بوده که بصورت مداوم در طول سال کشت می گردد. با توجه به شکل، مساحت تحت کشت هر یک از گلخانه ها ۲۰۰۰ مترمربع می باشد.



شکل ۱– ابعاد گلخانه دشت مینو، گلخانه تحت مطالعه

مناسب ترین حرارت روزانه داخل گلخانه ۲۰ تا ۲۵ درجه می باشد که افزایش دما تا ۳۰ الی ۳۲ درجه هم مناسب رشد طبیعی می باشد، اما دماهای بیش تر به تدریج در رشد طبیعی محصول اثر می گذارد به طوری که در دمای بالاتر از ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد، رشد متوقف می شود. از سوی دیگر، کاهش دما کمتر از ۱۸ درجه سانتی گراد نیز رشد طبیعی را کند و دمای کمتر از۱۰ درجه رشد را متوقف می کند[۸]. یکی دیگر از مهمترین فاکتورهای آب و هوایی برای پرورش گیاه رطوبت می باشد، به عنوان مثال رطوبت متجاوز از حد مجاز منجر به رشد قارچهای مضر در گلخانه می شود. ضمن اینکه کاهش رطوبت در فضای گلخانه باعث افزایش تبخیر و تعرق در گیاه شده و گیاه به سرعت به کمبود آب دچار می شود. برای تامین رطوبت گیاه در خاک که به روشهای گوناگون آبیاری در فواصل زمانی مناسب انجام می گیرد باید توجه نمود که نیاز بهینه رطوبتی در هر مرحله از رشد گیاه با هم متفاوت است ضمن اینکه وجود رطوبت مناسب در هر مرحله در میزان جذب عناصر غذایی موثر است رطوبت نسبی مورد نیاز و ایده آل برای خیار به خصوص در زمان تولید ۷۰٪ می باشد[۸]. البته توجه به این نکته حائز اهمیت می باشد برای گلخانه تحت مطالعه، با توجه به اینکه شهرستان آزادشهر در شمال کشور واقع گردیده است، رطوبت هوا درطول سال درحد بسیار مطلوب برای گیاه موردکشت می باشد و نیازی به سیستم تنظیم کننده رطوبت هوا نمی باشد و در مورد رطوبت خاک نیز آبیاری منظم و طبق برنامه انجام می پذیرد .

۳- تقاضای انرژی گلخانه

برای مشخص نمودن انرژی تولیدی هیترها در طول سال قبل از هر چیز دسترسی به داده های جوی در موقعیت جغرافیایی که گلخانه در آن قرار دارد، ضروری می باشد. داده های جوی مربوط به شهر آزادشهر که

از وب‌سایت رسمی سازمان هواشناسی استان گلستان تهیه می‌گردد، مورد استفاده قرار می گیرند[۹]. با دانش از این مهم می‌توان موازنه انرژی برای گلخانه را بصورت زیر نوشت.

$$\dot{Q}_{GR} = \dot{Q}_{lost} + \dot{Q}_{vent} - \dot{Q}_{solar} \quad (۱)$$

که در این معادله $\dot{Q}_{GR}, \dot{Q}_{lost}, \dot{Q}_{vent}, \dot{Q}_{solar}$ به ترتیب انرژی ای که از خورشید توسط گلخانه جذب می گردد (به خاطر خاصیت گلخانه ای)، تلفات حرارتی از گلخانه به خاطر تهویه هوای گلخانه، تلفات حرارتی از جداره های گلخانه با محیط و انرژی مورد نیاز گلخانه برای باقی ماندن در دمای مطلوب می باشند. تلفات حرارتی از جداره های گلخانه از رابطه زیر بدست می آید.

$$\dot{Q}_{lost} = \sum_{i=1}^{n} U_i A_i (T_{in} - T_a) \quad (۲)$$

در معادله فوق A_i, U_i به ترتیب ضریب کلی انتقال حرارت و مساحت دیوارها، سقف و زمین گلخانه می باشند و T_{in}, T_a به ترتیب دمای درون گلخانه و دمای محیط بیرون می باشند. جدول (۱) ارقام مربوط به مساحت و ضریب کلی انتقال حرارت برای هر یک از جداره ها را مشخص می کند.

جدول۱- ضریب انتقال حرارت و مساحت های مربوط به گلخانه

دیواره - جداره	$A(m^2)$	$U(W/m.^oC)$
سقف	۲۰۱۰	۳,۳۵
جنوبی و شمالی	۲۰۰	۳,۳۵
شرقی و غربی	۲۰۰	۳,۳۵
زمین	۲۰۰۰	۰,۵

با توجه به جدول فوق و همچنین دانش از دمای محیط به راحتی می توان تلفات حرارتی از جداره ها و کف گلخانه به محیط را محاسبه کرد. تلفات حرارتی به خاطر تهویه هوای درون گلخانه نیز از رابطه زیر بدست می آید.

$$\dot{Q}_{vent} = N \cdot V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_a) / 3600 \quad (۳)$$

در رابطه فوق C_p، ظرفیت حرارتی هوا در فشار ثابت است که معادل ۱,۰۰۵$kJ/kg.^oC$ می باشد، ρ چگالی هوا بوده که در این محدوده دمایی تقریباً معادل ۰,۹۹۵ kg/m^3 می‌باشد، V حجم هوای درون گلخانه است که معادل ۱۰۰۰۰m^3 میباشد و N تعداد دفعاتی است که باید هوای گلخانه در طول یک ساعت تعویض شود و مراجع علمی مربوطه این عدد را برابر ۲ پیشنهاد نموده اند[۱۰]. برای بدست آوردن مقدار انرژی مورد نیاز گلخانه در واحد ثانیه این معادله بر عدد ۳۶۰۰ نیز تقسیم گردیده است. آخرین پارامتر سمت راست معادله ۱، نرخ انرژی وارد شده به فضای گلخانه به خاطر تشعشع خورشید می باشد. میزان انرژی خورشیدی قابل جذب توسط یک متر مربع از یک سطح از رابطه زیر که موسوم به رابطه ایزوتروپیک است محاسبه می گردد.

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d (\frac{1+Cos\beta}{2}) + I \cdot \rho_g (\tau\alpha)_g (\frac{1-Cos\beta}{2}) \quad (۴)$$

در معادله فوق S ,I_b, I_d,I به ترتیب کل شار خورشیدی گذرنده از جو، مؤلفه پخشی شار خورشیدی، مؤلفه مستقیم شار خورشیدی و مقدار شار خورشیدی جذب شونده توسط سطح می باشند. همچنین در این معادله β زاویه تمایل دیواره های گلخانه نسبت به افق و γ زاویه انحراف دیواره ها از جنوب جغرافیایی می باشند. جدول (۲) مقادیر β و γ را برای دیواره های مختلف گلخانه نمایش می دهد. لازم به ذکر است به دلیل اینکه دیواره شمالی این گلخانه کاملاً از سوی جنوب منحرف گردیده است، نیازی به بازنویسی معادله فوق برای این دیواره نیست و مقدار انرژی خورشیدی که از این دیواره می تواند وارد گلخانه شود صفر درنظر گرفته می شود.

جدول۲- زوایای تمایل و سمت برای دیوارهای گلخانه

دیواره	γ	β
جنوبی	۰	۹۰
سقف	۰	۰
شرقی	-۹۰	۹۰
غربی	+۹۰	۹۰

همچنین در معادله ۴، ($\tau\alpha$) ضریب عبور- جذب گلخانه برای زوایای متفاوت می باشد که تابعی از جنس پوشش گلخانه، جنس عوامل فیزیکی جاذب انرژی درون گلخانه و همچنین زاویه تابش خورشید می باشد. پوشش گلخانه مورد نظر پلی کربنات دو لایه به ضخامت ۸ میلیمتر بوده و ضریب جذب عوامل درون گلخانه برای مؤلفه قائم تابش ۰,۷ در نظر گرفته می شود [۱۱]. در این بخش، از فرمولاسیون بیش از حد محاسبه برای پارامترهای فوق الذکر بدلیل وفور منابع علمی در دسترس خودداری می گردد. با بکارگیری معادله فوق برای هر یک از دیوارها و سقف گلخانه میزان شار خورشیدی جذب شده توسط گلخانه محاسبه می گردد که برای محاسبه مجموع آن از رابطه زیر استفاده می شود.

$$\dot{Q}_{solar} = (S_{south} \times A_{south}) + (S_{east} \times A_{east}) + (S_{north} \times A_{north}) + (S_{west} \times A_{west}) \quad (۵)$$

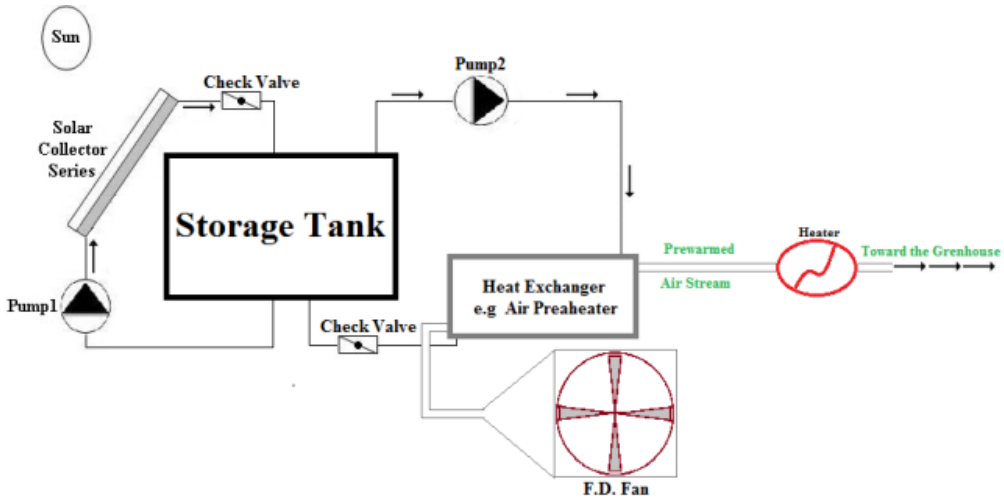
با مشخص شدن تمام مجهولات در معادله ۳، $\dot{Q}_{GR}$ محاسبه می گردد. نهایتاً معادله زیر دبی جرمی سوخت مصرفی هیتر برای تولید انرژی مورد نیاز را محاسبه می نماید.

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_{GR}}{LHV.\eta_h} \quad (۶)$$

در رابطه فوق $\eta_h, LHV, \dot{m}_f$ به ترتیب دبی جرمی سوخت مصرفی در واحد ثانیه، ارزش حرارتی پایین گازوئیل (۴۲,۵ مگاژول بر کیلوگرم) و راندمان هیتر مذکور می باشند. لازم به ذکر است که راندمان این هیترها غالباً در حد بسیار پایین و بطور تقریبی برابر با ۵۰٪ می باشند که دلیل این امر اگزرژی زیاد خروجی از اگزوز هیتر می باشد[۱۲].

۴- طرح پیشنهادی

شکل (۲) طرح پیشنهادی برای ذخیره و استفاده از انرژی خورشیدی را نمایش می دهد. با توجه به اینکه دمای مورد نیاز بسیار پایین می باشد (۲۰ درجه سلسیوس) لذا کلکتورهای پیشنهادی برای استفاده در این طرح از نوع صفحه تخت می باشند.



شکل۲- شماتیک سیستم پیشنهادی

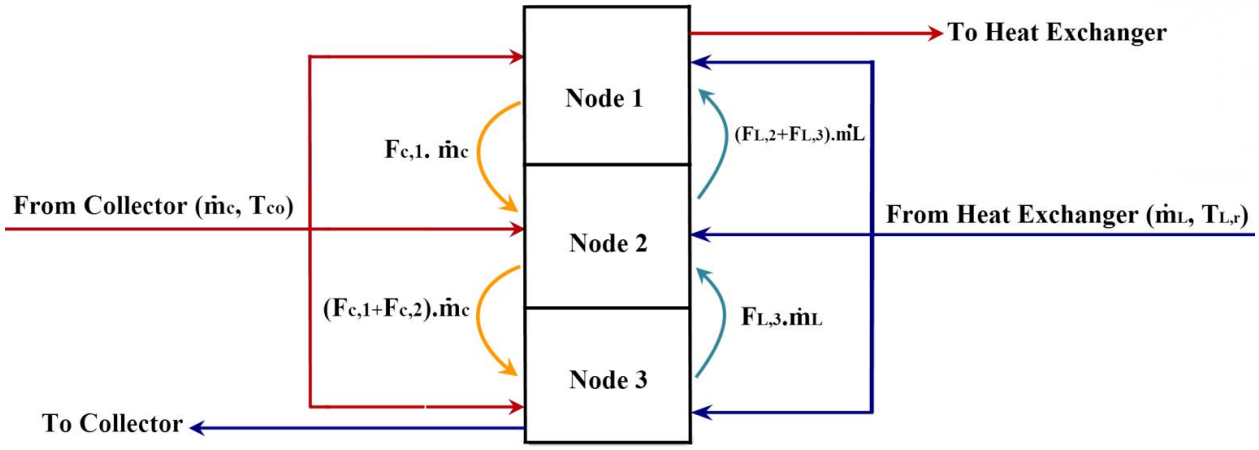
با توجه به شکل، مادامی که خورشید می تابد و پتانسیل گردآوری انرژی خورشید وجود دارد، پمپ شماره(۱) روشن است و آب درون تانک ذخیره را درون سیستم کلکتورها سیرکوله می کند و پمپ شماره (۲) خاموش است و از ورود آب گرم تانک ذخیره به درون مبدل حرارتی ممانعت می کند. با ممتد شدن این فرآیند دمای آب تانک ذخیره بالا رفته و انرژی زیادی می تواند درون تانک به شکل آب گرم ذخیره گردد. با غروب آفتاب پمپ شماره (۱) خاموش و پمپ شماره (۲) روشن می گردد و انرژی گردآوری شده بطور کنترل شده به مبدل حرارتی تزریق می گردد. باید توجه نمود که در این سیستم نیازی نیست که دمای ورودی آب گرم به مبدل با دمای هوای خروجی ازمبدل یکسان باشد. کافیست با توجه به میزان انرژی ای که نیاز است جهت پیش گرمایش، به هوا تزریق شود، شیر کنترلی باز شود و دبی جرمی کنترل شده ای از آب گرم به درون مبدل حرارتی جاری گردد، لذا می بایستی رفته رفته شیرکنترلی مقدار بیشتری باز شود تا انرژی به مقدار کافی به مبدل جاری گردد. دلیل اینکه شیر کنترلی باید با گذشت زمان مقدار بیشتری باز شود این است که پس از اینکه آب داغ گرمایش هوا را انجام داد با دمای کمتری به تانک بر می گردد، لذا دمای تانک کم کم دچار افت می‌گردد.

لازم به ذکر است، از آنجایی که کلکتورها در دماهای پایینتر، راندمان گردآوری بهتری از خود نشان می دهند و از آنجا که چیدمان سری کلکتورها سبب افزایش دمای آب و کاهش راندمان گردآوری می‌گردد، لذا چیدمان پیشنهادی برای کلکتورها در این پژوهش چیدمان موازی می باشد. مقدار انرژی ای که درطول روز توسط هر کلکتور می تواند جذب شود از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد.

$$\dot{Q}_u = A_c \cdot F_R \cdot \left(S - U_l(T_{fi} - T_a)\right) \qquad (۷)$$

در رابطه فوق A_c, T_a, T_{fi}, F_R و U_l به ترتیب معرف مساحت صفحه جاذب، دمای محیط، دمای سیال ورودی به کلکتور، ضریب تفکیک و ضریب کلی تلفات ازکلکتور می باشند[۱۳]. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، S در این رابطه شار جذب شونده توسط کلکتور می باشد که به دلیل وفور مراجع از توضیح مجدد و جامع تر آن خودداری می گردد[۱۶-۱۳].

برای انجام موازنه انرژی بر روی طرح مورد نظر باید دو حجم کنترل اتخاذ گردد[۱۷]. اولی پیرامون تانک ذخیره و دومی پیرامون گلخانه. بالانس انرژی بر روی تانک ذخیره با فرض لایه بندی بودن تانک انجام می گیرد. فرض لایه بندی بودن تانک ذخیره یعنی وارد کردن این اصل در معادلات که لایه های آب بالای تانک ذخیره دمای بالاتری نسبت به لایه های پایینی آن دارند. مدلهای زیادی برای لایه بندی تانک های ذخیره وجود دارند که همگی به دو دسته تقسیم می شوند. در دسته اول، تانک به N نود تقسیم می گردد و بالانس انرژی برای تمام نودها انجام می گیرد. به این ترتیب یک دستگاه معادله N معادله ای و N مجهولی خواهیم داشت و با حل آن مجهولات مساله، که همان دمای لایه های مختلف آب (به عنوان تابعی از زمان) است، بدست می آیند. در دسته دوم فرض می شود که لایه های مختلف آب که دارای دماهای متفاوتی هستند به درون یکدیگر شارش پیدا می کنند. این مساله قابل حضم تر خواهد بود اگر به این نکته توجه گردد که آب با دمای پایینتر چگالی بیشتری داشته و باید در لایه های پایینتر قرار گیرد و به همین ترتیب آب با دمای بالاتر در لایه های بالاتر قرار می گیرد. لذا برای اینکه مولکولهای آب، لایه ای از تانک ذخیره را که نزدیکترین چگالی به آنها را دارند پیدا کنند، شارش مولکولهای آب در تانک ذخیره امری مسجل به نظر می رسد. به منظور فرموله کردن یک تانک چند لایه ای، ضروریست که کاملاً تعداد نودها و طریقه ورود و توزیع آب به داخل تانک مشخص گردد. مراجع علمی مربوطه یک تانک با تعداد ۳ لایه را بهترین انتخاب می دانند. شکل(۳) شماتیک این تانک را نمایش می دهد. آب خروجی تانک به سمت کلکتور همیشه از نود سوم و خروجی به سمت مبدل از نود اول می باشد. آب از سیستم کلکتورها با دمای T_{co} وارد تانک می گردد و در لایه ای قرار می گیرد که نزدیکترین دما به T_{co} را دارا می باشد.



شکل ۳– شماتیک یک تانک ذخیره با سه لایه دمایی متفاوت

تابع کلکتور F_i^c مشخص می کند که آب ورودی به تانک از سمت کلکتورها به کدام نود وارد می گردد. F_i^c از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$F_i^c = \begin{cases} 1 & if \quad i=1 \ \ and \ \ T_{co} > T_{s,i} \\ 1 & if \quad T_{s,i-1} \geq T_{co} > T_{s,i} \\ 0 & if \quad i=0 \ \ or \ \ if \ \ i=N+1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{۸}$$

چون نود صفرم وجود خارجی ندارد، پس برای حل مساله مجبوریم مقدار آن را بسیار بزرگ فرض کنیم. همچنین F_i^l مشخص می کند که آب برگشتی از سمت مبدل حرارتی به کدام نود می رود. F_i^l نیز از رابطه زیر بدست می آید.

$$F_i^L = \begin{cases} 1 & if \quad i=N \ \ and \ \ T_{Lr} > T_{s,N} \\ 1 & if \quad T_{s,i-1} \geq T_{Lr} > T_{s,i} \\ 0 & if \quad i=0 \ \ or \ \ if \ \ i=N+1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{۹}$$

جریان خالص شارشی بین نودها با توجه به اینکه آب، یا از سمت کلکتورها وارد می شود یا از سمت مبدل و همچنین با توجه به دو تابع کنترلی معرفی شده، می تواند مثبت یا منفی باشد. معادله زیر دبی جرمی خالص بین نودها را مشخص می کند.

$$\begin{cases} \dot{m}_{m,1} = 0 \\ \dot{m}_{m,1} = \dot{m}_c \sum_{j=1}^{i-1} F_j^c - \dot{m}_L \sum_{j=i+1}^{N} F_j^L \\ \dot{m}_{m,N+1} = 0 \end{cases} \tag{۱۰}$$

با این توابع کنترلی، معادله بالانس انرژی بر روی حجم کنترل اول از معادله ۱۱ بدست می آید.

$$\begin{aligned} m_i \frac{dT_{s,i}}{dt} &= (\frac{UA}{C_p})_i (T_a - T_{s,i}) + F_i^c \dot{m}_c (T_{co} - T_{s,i}) \\ &+ \dot{Q}_{load} + \begin{cases} \dot{m}_{m,i} (T_{s,i-1} - T_{s,i}) & if \quad \dot{m}_{m,i} > 0 \\ \dot{m}_{m,i+1} (T_{s,i} - T_{s,i+1}) & if \quad \dot{m}_{m,i+1} < 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{۱۱}$$

که $\dot{Q}_{load}$ در این معادله از رابطه زیر بدست می آید.

$$\dot{Q}_{load} = F_i^L \dot{m}_L (T_{L,r} - T_{s,i}) \tag{۱۲}$$

در معادلات بالا $\dot{m}_c, \dot{m}_L, T_{L,r} T_a$ به ترتیب دمای آب برگشتی از مبدل، دبی جرمی خروجی از تانک به سمت مبدل، دبی آب ورودی به تانک از سمت کلکتورها و دمای محیط می باشند. همچنین پارامتر اول سمت راست معادله معرف تلفات حرارتی از تانک ذخیره می باشد که بدلیل عایق بودن تانک این پارامتر نیز

صفر در نظر گرفته می شود[۱۸]. حل عددی مربوط به معادلات فوق از روشهای متعددی ممکن می باشد که در این پژوهش روش Runge-Kutta مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول۳- ویژگیهای کلکتورهای صفحه تخت رایج[۲۰]

پارامتر	مقدار	واحد/توضیحات
دبی جرمی سیال	۰,۰۳	kg/s
طول	۲	m
پهنا	۰,۹۵	m
ضخامت	۰,۰۹۵	m
جنس پوشش	-	شیشه
ضخامت پوشش	۰,۰۰۴	m
ضخامت صفحه جاذب	۰,۰۰۰۵	m
قطر داخلی لوله ها	۰,۰۱	m
قطر خارجی لوله ها	۰,۰۱۲	m
فاصله لوله ها	۰,۱۵	m
مساحت صفحه جاذب	۱,۵۱	m^2
جنس صفحه جاذب	-	مس

حجم کنترل دوم حول گلخانه می باشد که مقدار انرژی ای که هنوز گلخانه احتیاج دارد تا دمای مورد نظر را ثابت نگه دارد از رابطه زیر بدست می آید.

$$\dot{Q}_{GR} = \dot{Q}_{lost} + \dot{Q}_{vent} - \dot{Q}_{solar} - \dot{Q}_{load} \qquad (۱۳)$$

معادله زیر مقدار سوخت مصرفی هیتر در این حالت را محاسبه می کند.

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_{lost} + \dot{Q}_{vent} - \dot{Q}_{solar} - \dot{Q}_{load}}{LHV \cdot \eta_h} \qquad (۱۴)$$

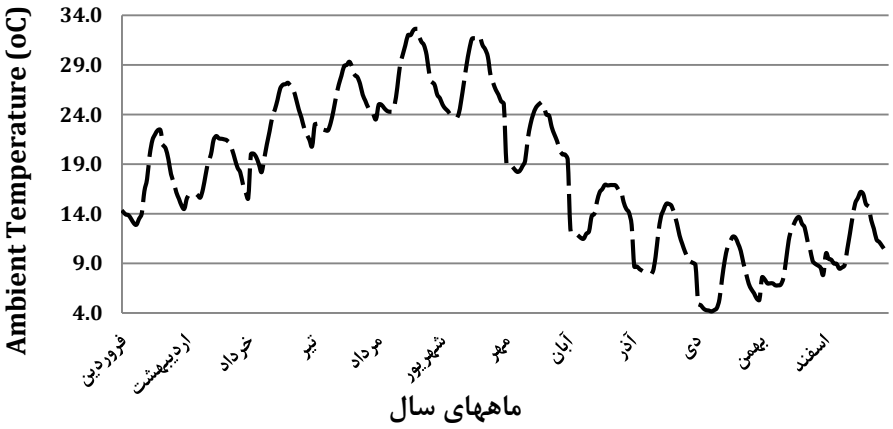
در این سیستم سؤال اساسی مربوط به تعداد بهینه کلکتورهای خورشیدی و حجم تانک ذخیره مورد استفاده می باشد. پاسخ این سوال در یک آنالیز انرژی- اقتصادی نهفته است. بدین ترتیب که بر اساس این روش می بایستی گراف مربوط به هزینه سرمایه گذاری اولیه (که با بالا رفتن تعداد کلکتورها بالا می رود) با گراف مربوط به هزینه سوخت سالیانه مصرفی در گلخانه (که با بیشتر شدن تعداد کلکتورها مسلماً کاهش میابد) در یک شکل قطع داده شوند. نقطه تلاقی دو گراف تعداد بهینه کلکتورها را مشخص می کند[۱۹]. در توضیح حجم تانک ذخیره باید عنوان نمود که پیرو مطالعات قبلی صورت پذیرفته بهترین حجم تانک ذخیره به ازای هر عدد کلکتور صفحه تخت با ابعاد و ویژگیهای نوع رایج آن که در جدول (۳) ارائه گردیده است، ۱۰۰ لیتر می‌باشد[۱۸]. حال با مشخص شدن تعداد کلکتورها و حجم تانک ذخیره در سیستم پیشنهادی میتوان مقدار صرفه جویی اتفاق افتاده در طول هر ماه و سال را محاسبه نمود و از روی آن دوره بازگشت سرمایه را نیز محاسبه کرد. برای محاسبه آن از روش ارزش خالص فعلی استفاده می‌گردد. این نوع آنالیز اقتصادی جزئیات کار اعم از این هزینه تعمیرات و نگهداری، استهلاکات سیستم، نرخ تورم و سایر پارامترهای اقتصادی را در بر می‌گیرد. معادله ۱۵ فرمول محاسبه این مهم می باشد[۱۸].

$$NPV = \sum_{t=1}^{N} \frac{R_t}{(1+i)^t} \qquad (۱۵)$$

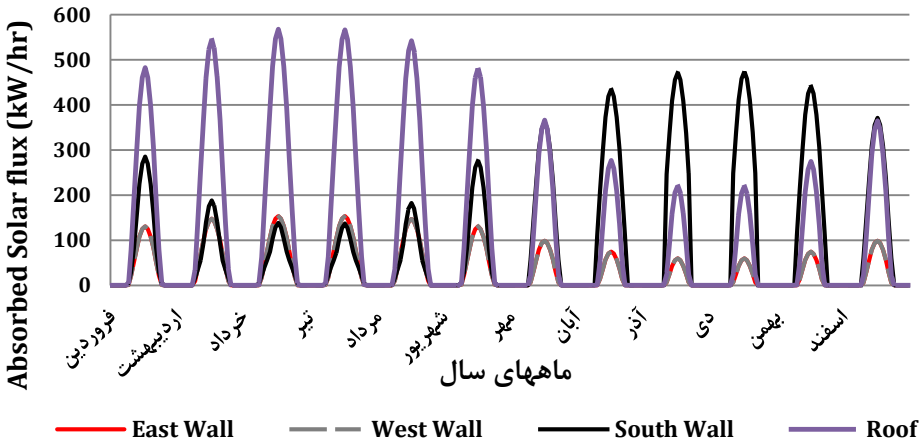
در معادله فوق R_t,i,t به ترتیب شمارنده سال، نرخ بهره و سود خالص سالیانه حاصل از طرح که در آن هزینه های تعمیرات و نگهداری و سایر هزینه ها در نظر گرفته شده است، می باشد. این معادله برای چندین سال متناوب نوشته می‌شود تا رقم NPV به عددی مثبت تبدیل شود. شماره سالی که این اتفاق می افتد دوره واقعی بازگشت سرمایه را نمایش می‌دهد. به طور کلی اگر یک دوره بازگشت سرمایه خاص مدنظر باشد باید محاسبه نمود که در آن سال عدد NPV مثبت، منفی و یا صفر است. اگر مثبت باشد یعنی پیاده سازی پروژه کاریست معقول، اگرمنفی باشد یعنی ازلحاظ اقتصادی این امرتوجیهی ندارد و اگرصفر باشد نشاندهنده این مطلب است که پروژه نه سوددهی بالا دارد و نه باعث زیان اقتصادی می گردد.

۵- نتایج

یکی از فاکتورهای بسیار مؤثر در آنالیز انرژی گلخانه دمای محیط می باشد. شکل شماره(۴)، دمای هوای شهر آزادشهر در سال۹۰ را بصورت متوسط ماهیانه- ساعتی نشان می دهد. همچنین همانگونه که گفته شد در گلخانه مورد مطالعه در طی روز و شب همیشه باید هوای داخل در ۲۰ درجه سانتیگراد باقی بماند. یک بخش عمده از محاسبات مربوط به انرژی دریافتی توسط دیوارهای سمتهای مختلف گلخانه و سقف آن در واحد مساحت است که شکل (۵) این مهم را نمایش می دهد

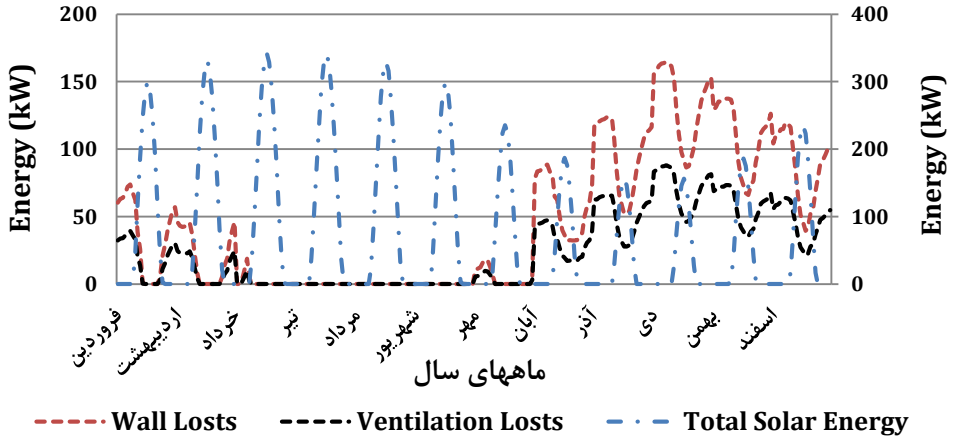


شکل ۴- دمای محیط شهر آزادشهر در سال ۱۳۹۰ بصورت متوسط ماهیانه ساعتی



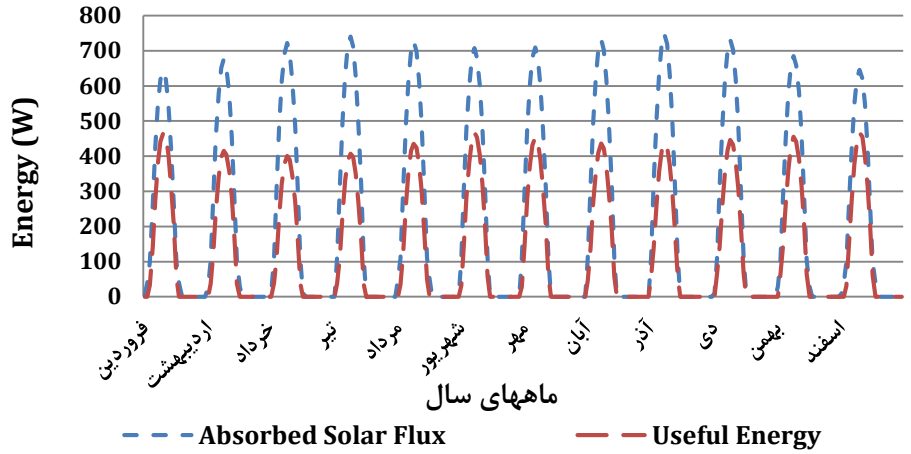
شکل۵- شار جذب شده توسط دیوارهای گلخانه در واحد مساحت

مقدار انرژی‌ای که به خاطر تهویه هوای گلخانه باید به گلخانه تزریق شود، مقدار انرژی‌ای که به خاطر تلفات حرارتی از جداره‌ها باید تامین شود و همچنین مقدار انرژی دریافتی گلخانه از انرژی خورشید همگی در شکل(۶) نمایش داده شده اند.



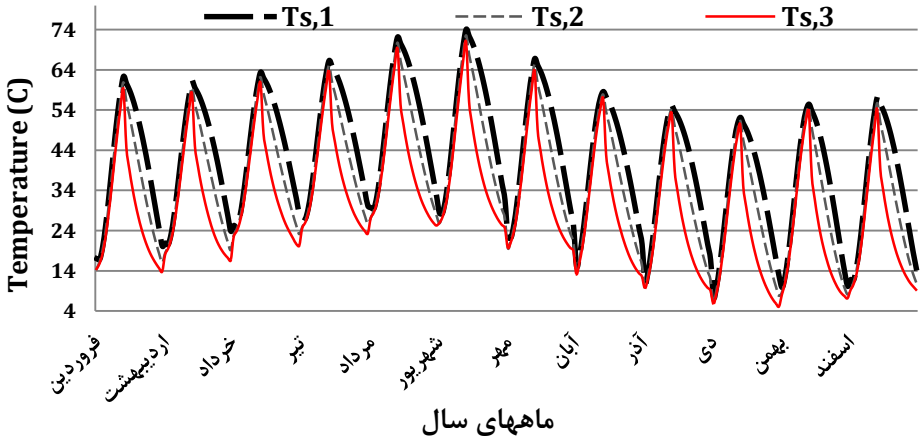
شکل۶- تلفات حرارتی و انرژی خورشیدی دریافتی گلخانه

شکل (۷) میزان شار خورشیدی جذب شده و همچنین مقدار انرژی برداشتی از کلکتور در حضور تانک ذخیره را نمایش می دهد.

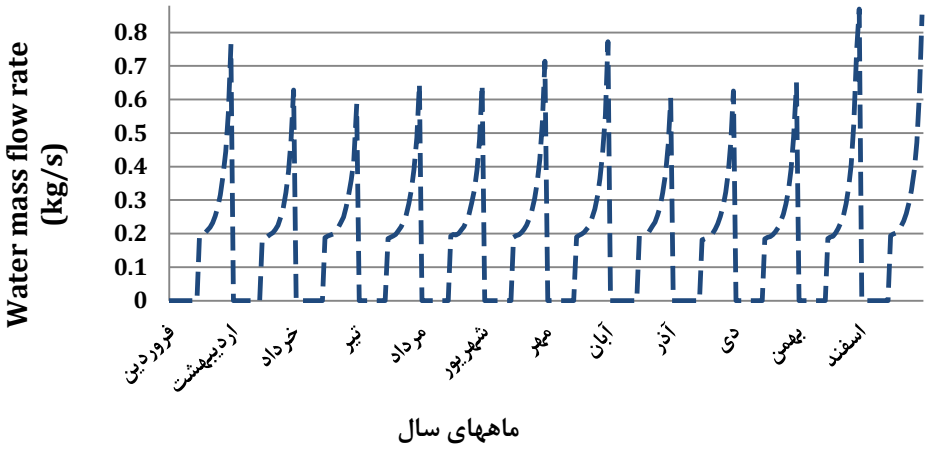


شکل ۷- شار خورشیدی جذب شده و انرژی مفید برداشتی از کلکتور بطور متوسط ماهیانه ساعتی

شکل (۸) دمای طبقات مختلف تانک ذخیره را با فرض سه طبقه دمایی آن در طول ماههای مختلف سال بطور متوسط ماهیانه- ساعتی نمایش می دهد. همچنین دبی جرمی آب تزریقی به مبدل حرارتی از سمت تانک ذخیره، توسط شکل (۹) نمایش داده می‌شود.

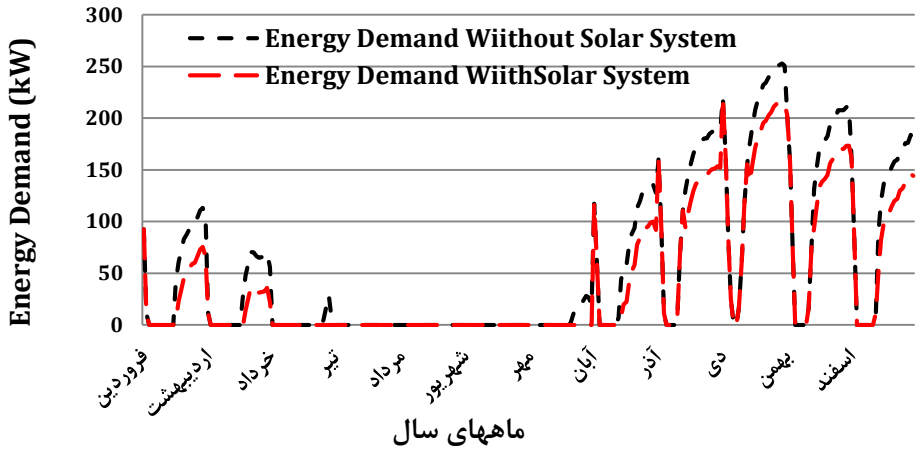


شکل ۸- توزیع دما در لایه های مختلف سیال درون تانک ذخیره در طول سال بطور متوسط ماهیانه ساعتی



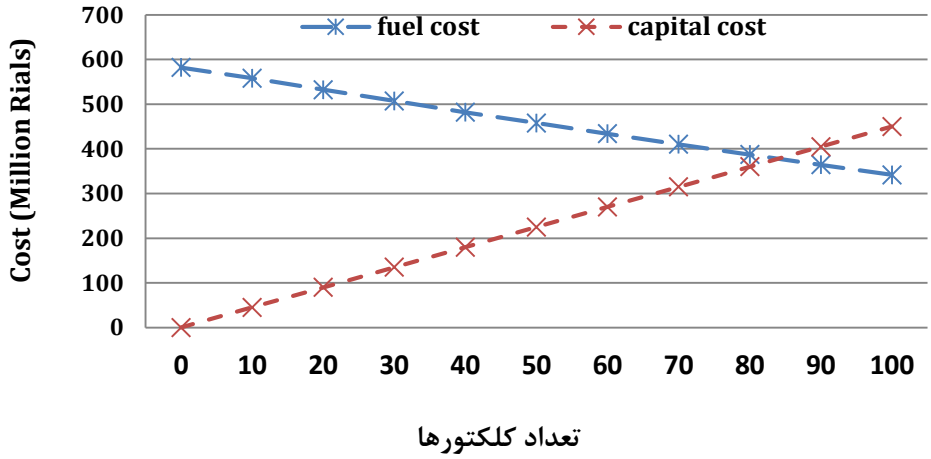
شکل۹- دبی جرمی آب تزریقی به مبدل در طول سال، بطور متوسط ماهیانه ساعتی

پس از آنالیز تانک ذخیره اکنون میتوان مشخص نمود که چه بخشی از انرژی مورد نیاز گلخانه هنوز باید توسط سوخت فسیلی تامین گردد. شکل(۱۰) مقدار تقاضای انرژی گلخانه را در حضور سیستم خورشیدی مجهز به یک تانک ذخیره با ظرفیت کافی نمایش می دهد.



شکل۱۰- مقایسه تقاضای انرژی گلخانه بین دو حالت با سیستم خورشیدی و بدون سیستم خورشیدی

شکل (۱۰) بر اساس تعداد ۸۵ عدد کلکتور و یک تانک ذخیره با حجم ۸,۵ مترمکعب ترسیم شده است. برای انتخاب این تعداد کلکتور روش اقتصادی که قبلاً تشریح شد مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۱۱) جزئیات این انتخاب را نمایش می دهد.

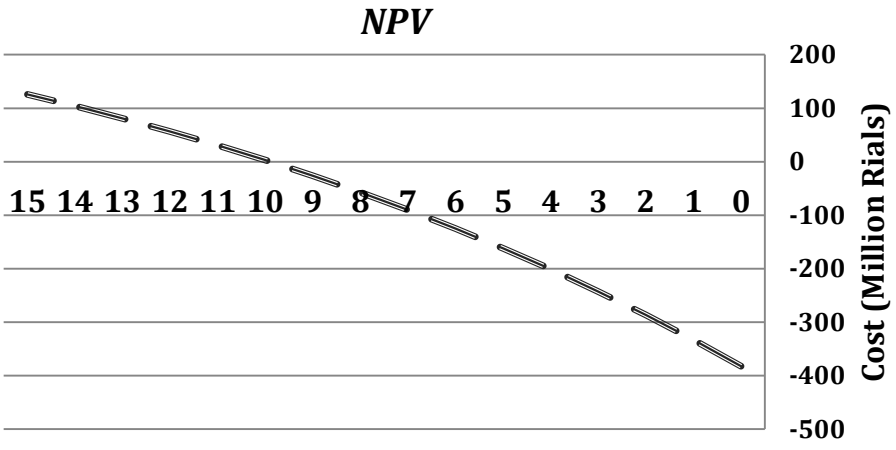


شکل۱۱- انتخاب تعداد بهینه کلکتور برای سیستم پیشنهادی

چنانچه از شکل فوق مشخص است تعداد بهینه کلکتور ۸۵ خواهد بود و این یعنی تانک ذخیره ای با حجم ۸,۵ مترمکعب. این سیستم هزینه سرمایه گذاری اولیه ای معادل ۳۸۲۵۰۰۰۰۰ ریال می طلبد در حالیکه سوددهی سالیانه‌ای معادل تقریباً ۷۷۳۵۰۶۲۳ ریال را به همراه خواهد داشت. لازم به ذکر است که مطابق بررسیهای بعمل آمده بر روی دیتاهای مستخرج از سایت هواشناسی کشور، آزادشهر بطور متوسط ۶۰٪ مواقع ممکن را آفتابی است و در ۴۰٪ ساعات ممکن دیگر با ابرهای کدر و یا باران و برف امکان جذب شارهای مستقیم خورشیدی را ندارد. لذا ضریب ۰,۶ در شار جذبی که وارد محاسبات می‌شود، باید ضرب گردد که این ضریب در تمام مراحل در نظر گرفته شده است.

با انجام آنالیز اقتصادی به روش *NPV* که آنالیز جامعی می‌باشد مشخص می‌گردد که دوره بازگشت سرمایه در این سیستم حدود ۱۰ سال است. در این محاسبات نرخ بهره ۶٪ (مطابق نرخ بهره دلار آمریکا) در نظر گرفته شده است و همچنین با توجه به توصیه های شرکت فروشنده سیستم خورشیدی هزینه تعمیرات برای یک سیستم خورشیدی متشکل از ۸۵ کلکتور و یک تانک ذخیره با حجم ۸,۵ مترمکعب معادل سالیانه ۲۵ میلیون ریال لحاظ گردیده است. شکل (۱۲) نتیجه این محاسبات را نمایش می دهد.

شکل (۱۲) مبین این مطلب می‌باشد که طرح موردنظر تقریباً پس از گذشت ۱۰ سال به سوددهی خالص می‌رسد. حال آنکه عمر مفید و بدون نقص سیستم های خورشیدی از این دست بالغ بر ۲۵ سال می‌باشد. لذا طرح مورد نظر بسیار کارآمد خواهد بود و از نظر اقتصادی توصیه می‌گردد.



شکل۱۲- آنالیز اقتصادی به روش *NPV*

در نهایت باید این مساله مورد تذکر قرار گیرد که در ایران سوختهای فسیلی بسیار ارزان قیمت عرضه می گردد و ارزیابی اینگونه طرح ها با قیمت داخلی سوخت قطعاً با شکست مواجه خواهد شد. مرسوم است که نرخ جهانی سوخت مورد استفاده قرار گیرد و این در حالیست که قیمت گازوئیل در بازار جهانی ۲,۷۹ دلار در هر گالن که هر گالن معادل ۰,۷۴ دلار در هر لیتر می باشد. با نرخ ۲۵ هزار ریالی دلار مرجع، این رقم بسیار بالا خواهد بود و دوره بازگشت سرمایه به کمتر از نصف کاهش پیدا خواهد کرد. اما با توجه به حساسیت امر و اینکه اینگونه طرح ها باید یک ضریب اطمینان قابل قبول را یدک بکشند نرخ سوخت در نظر گرفته شده در این پژوهش با نرخ دلار دولتی یعنی ۱۲۲۶۰ ریالی محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری

امروزه انرژی‌های نو به خصوص انرژی خورشیدی بعنوان یک جایگزین بسیار مناسب برای سوختهای فسیلی در سطح جهان مطرح می‌باشند. از طرفی گلخانه ها بعنوان یکی از بخشهای مهم صنعت کشاورزی در سطح جهان مصرف کنندهٔ مقدار قابل توجهی سوخت می باشند و یکی از این مکانهایی هستند که پتانسیل بسیار بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی جهت کاهش مصرف سوخت فسیلی دارند. این پژوهش نشان می دهد که بکارگیری سیستم ذخیره ساز انرژی خورشیدی در گلخانه ها بسیار کارآمد می باشد. با سیستمی خورشیدی متشکل از ۸۵ عدد کلکتور صفحه تخت رایج در بازار و یک تانک ذخیره با حجم ۸,۵ متر مکعب و با قیمت سوخت ۷۰۰ تومانی در هر لیتر میتوان بطور سالیانه حدود ۷,۷ میلیون تومان بهره وری انرژی برای یک گلخانه کوچک با مساحت ۲۰۰۰ متر مربع داشت و موفقیت طرح را دوره بازگشت سرمایه ۱۰ ساله آن تضمین می کند. به این ترتیب اگر استفاده از انرژی های نو رواج پیدا کند سالانه میلیاردها ریال در سطح کشور صرفه جویی اقتصادی رقم خواهد خورد. همچنین ثابت می شود که در شهری مانند آزادشهر که در شمال ایران قرار دارد نیز پروژه های خورشیدی بسیار کارآمد هستند و این کارآمدی بیشتر خواهد بود اگر این نوع سیستمها در نقاط مرکزی ایران که دارای آب و هوای گرم و خشک هستند، مورد استفاده قرار گیرند. نکته دیگر حائز اهمیت آنست که در تمام نقاط دنیا تنها دوره بازگشت سرمایه نیست که در کاربرد

انرژی‌های پاک نظیر انرژی خورشیدی اهمیت دارد، بلکه همین مطلب که با استفاده از این انرژی‌ها سبب پاکی محیط زیست شده و تا اندازه بسیار قابل ملاحظه ای از زوال سوخت‌های فسیلی جلوگیری می‌شود نیز نوعی ارزش به حساب می‌آید.

سپاسگزاری

این پژوهش تحت حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر صورت پذیرفته است.

مراجع

[1] Soteris, A., and Kalogirou, “Solar Thermal Collectors and Applications”, Progress in Energy and Combustion Science Vol. 30, pp. 231–295, (2004)

[2] Norton, B., “Solar Process Heat: Distillation, Drying, Agricultural and Industrial Uses”, Proceedings of ISES Solar World Congress, Jerusalem, Israel on CD-ROM, Jerusalem, Israel, (1999).

[3] Spate, F., Hafner, B., and Schwarzer, K., “A System for Solar Process Heat for Decentralised Applications in Developing Countries”, Proceedings of ISES Solar World Congress on CD-ROM, Jerusalem, Israel, (1999).

[4] Benz, N., Gut, M., and Rub, W., “Solar Process Heat in Breweries and Dairies”, Proceedings of EuroSun 98, Portoroz, Slovenia on CD-ROM, (1998).

[5] Benz, N., Gut, M., and Beikircher, T., “Solar Process Heat with Nonconcentrating Collectors for Food Industry”, Proceedings of ISES Solar World Congress on CD ROM, Jerusalem, Israel, (1999).

[6] Li, H., and Yang, H., “Potential Application of Solar Thermal Systems for Hot Water Production in Hong Kong”, Applied Energy, Vol. 86, 175–180, (2009).

[7] Baldini, A., Manfrida1, G., and Tempesti, D., “Model of a Solar Collector/Storage System for Industrial Thermal Applications”, Int. J. Thermodynamics Vol. 12, No. 2, pp. 83-88, (2009).

[۸] مجید، تولایی، “راهنمای کاشت خاکی خیار و گوجه فرنگی گلخانه‌ای”، وزارت جهاد کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی، (۱۳۸۱).

[9] www.Golestanmet.ir

[۱۰] سید مجتبی، طباطبایی، "محاسبات تاسیسات ساختمان"، چاپ سیزدهم، (۱۳۷۸).

[11] http://extension.umass.edu/floriculture/fact-sheets/greenhouse-management-engineering

[۱۲] غلامحسین، نصوحی، "گوجه فرنگی در گلخانه"، چاپ چهاردهم، نشر نصوح، (۱۳۸۸).

[13] Duffie, J.A., and Beckman, W.A.,"*Solar Engineering of Thermal Processes*", Second Ed, New York, Willy; (1990).

[14] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_variation

[15] Zekai, S., "*Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*", 3rd Ed., London, Springer 180, (2008).

[16] Kamali, G.A., and Moradi, E., "Solar Radiation Fundamentals and Application in Farms and New Energy", Tehran, (2005).

[۱۷] احمد، عرب کوهسار، محمود فرزانه گرد، مهدی، دیمی دشت بیاض، "بررسی فنی و اقتصادی جایگزینی انرژی خورشیدی بجای هیترگازی درایستگاه CGS شهر ساری"، مجله علمی و پژوهشی مهندسان مکانیک ایران، شماره ۱۴، صفحه ۴۵-۳۳، (۱۳۹۰).

[18] Farzaneh-Gord, M., Arabkoohsar, A., Rezaei, M., and Deymi Dasht-bayaz, M., "Feasibility of Employing Solar Energy in Natural Gas Pressure Drop Stations", Journal of the Energy Institute, Vol. 81, pp. 191-196, (2011).

[19] Farzaneh-Gord, M., Arabkoohsar, A., Deymi Dasht-bayaz, M., and Farzaneh-Kord V., "Feasibility of Accompanying Uncontrolled Linear Heater with Solar System in Natural Gas Pressure Drop Stations", Energy, Vol. 41, pp. 420-428, (2012).

[20] www.Solarpolar.com

فهرست نمادهای انگلیسی

A : مساحت m^2

C_p : ظرفیت حرارتی ویژه در فشار ثابت $kJ/kg.^oC$

D : قطر m

F_R : ضریب برداشت کلکتور

I_T : شار خورشیدی رسیده به کلکتور مایل $kW/h.m^2$

L : طول m

LHV : ارزش حرارتی پایین kj/kg

m : جرم kg

$\dot{m}$: دبی جرمی kg/s

$\dot{Q}$: انرژی حرارتی kW

R_b : نسبت زوایای تابش

S : شار خورشیدی جذب شده $kW/s.m^2$

T : دما ^oC

U : ضریب کلی انتقال حرارت $W/m^2.^oC$

V : حجم m^3

نمادهای یونانی

ρ : دانسیته، kg/m^3

β : زاویه تمایل کلکتور

γ : زاویه سمت

η_h : راندمان حرارتی

$(\tau\alpha)_{av}$: ضریب عبور- جذب متوسط برای کلکتور

Abstract

Renewable energies especially solar energy are globally suitable alternatives for fossil fuels. On the other hand, greenhouses as a main part of agriculture industry use a significant amount of fossil fuels annually. That's why feasibility of utilizing a solar energy storage system in greenhouses for using at nights is studied. The optimum capital cost for this project is chosen based on valid economic methods which results to 85 flat plate collector module numbers and a 8.5 cube meters storage tank as the best choice. Economic survey is also carried out based on NPV method which results to payback ratio of 10 years.