

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی فنی و اقتصادی سامانه خورشیدی برای گرمایش گلخانه‌های جنوب کرمان

معین مختاری ستائی^۱، هوشنگ بهرامی^{۲*}، محمدجواد شیخ داودی^۳، داود مؤمنی^۴ و محسن سلیمانی^۵

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ دانشیار؛ استاد؛ و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴- استادیار بخش تحقیقات مهندسی گلخانه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۹

چکیده

در این پژوهش، کاربرد سامانه خورشیدی از لحاظ فنی و اقتصادی برای گرمایش گلخانه بررسی شده است. بدین منظور در ابتدا، تناسب اقلیمی منطقه جنوب کرمان برای توسعه گلخانه‌های متناسب با اقلیم تعیین و سپس با توجه به نتایج به دست آمده و محاسبه نیاز گرمایشی گلخانه، ظرفیت آبگرمکن خورشیدی از نوع صفحه تخت تعیین و در کنار یک واحد گلخانه تولید خیار نصب شد. در ادامه با استفاده از آزمون t جفت شده، نتایج به دست آمده در این گلخانه با نوع مرسوم در منطقه، که دارای بخاری گازی است، مقایسه شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که از نظر میزان کربن دی‌اکسید، متوسط دما و رطوبت نسبی اختلاف معنی‌داری میان دو گلخانه وجود ندارد ولی از منظر شاخص کلروفیل و عملکرد محصول میان دو گلخانه، به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت که گلخانه گازی از میانگین بالاتری برخوردار بود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات در نرم‌افزار کامفار نیز نشان داد که از منظر شاخص‌های اقتصادی، کاربرد آبگرمکن خورشیدی برای گرمایش گلخانه‌ها از سال پنجم توجیه‌پذیر است و بازگشت سرمایه‌ای معادل ۵/۳۲ سال دارد.

واژه‌های کلیدی

آبگرمکن خورشیدی، ارزیابی، بخاری گازی، تناسب اقلیمی، گرمایش گلخانه

مقدمه

زیادی از انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. مقدار مصرف انرژی در گلخانه‌های منطقه جیرفت، در قیاس با گلخانه‌های سایر استان‌ها، بسیار کمتر است. ولی سهم سیستم گرمایشی در گلخانه‌های منطقه حدود ۸۵ درصد از کل انرژی مصرفی است که تمام آن از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود (Momeni, 2019). با توجه به مزیت‌های کشت‌های گلخانه‌ای، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۰۴ سطح

بر اساس ترازنامه انرژی دنیا، مصرف تمام منابع انرژی شامل سوخت‌های فسیلی مایع، گاز طبیعی و زغال‌سنگ تا سال ۲۰۳۰ میلادی افزایش خواهد یافت. بنابراین باید توجه بیشتری را به افزایش بهره‌وری در مصرف سوخت و مطالعه در مورد منابع انرژی جایگزین معطوف داشت (Anon, 2020). کشت گلخانه‌ای به واسطه خارج از فصل بودن تولیدات آن، انرژی زیادی می‌طلبد. بخش

و غیره در آن است (Momeni & Monzar, 2011). برای استفاده از انرژی خورشیدی، به جای مصرف انرژی‌های فسیلی، باید تحلیل درستی در زمینه بررسی پتانسیل استفاده از آن در گلخانه‌ها وجود داشته باشد (Shahhoseini & Taghipour, 2014). مهم‌ترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبرمکن خورشیدی، سرمایه‌بر بودن اولیه این سیستم است که بر انتخاب مشتریان تأثیر منفی می‌گذارد (Yousefi et al., 2018).

یکی از عوامل مهم در مطالعات مربوط به سامانه‌های خورشیدی، میزان تابش خورشیدی رسیده به زمین است. با استفاده از داده‌های ساعات آفتابی مناطق مختلف، میزان تابش ماهانه و همچنین میانگین سالانه تابش خورشید بر سطح افقی و شیب‌دار تخمین زده می‌شود (Nadrlou & Dehlaghi, 2016). زاویه شیب بهینه جمع‌کننده خورشیدی طی سال متغیر است. مقدار این زاویه در تابستان حداقل و در زمستان حداکثر است (Bakirci, 2012a). شیب متوسط فصلی جمع‌کننده خورشیدی، با پیدا کردن مقدار متوسط زاویه شیب برای هر فصل محاسبه می‌شود و به کمک این زاویه‌های محاسبه شده باید شیب جمع‌کننده چهار بار در سال تغییر داده شود (Bakirci, 2012b). تنظیم ماهانه زاویه بهینه شیب جمع‌کننده سبب به حداکثر رسیدن انرژی خورشیدی جمع‌آوری شده می‌شود (Benghanem, 2011; Bakirci, 2012a; Soulayman & Sabbagh, 2015). گزینه دیگر، نصب دو جمع‌کننده یکی رو به شرق برای استفاده در صبح، و دیگری رو به غرب برای استفاده در بعد از ظهر است (Handoyo et al., 2013). یک مدل ریاضی برای برآورد تابش خورشیدی روی یک سطح شیب‌دار، که زاویه بهینه

گلخانه‌های کشور به ۵۸۰۰۰ هکتار برسد که پنج برابر وضع موجود است. به دلیل وابستگی زیاد این کشت‌ها به انرژی‌های فسیلی، توسعه آن سبب افزایش مصرف انرژی فسیلی و به دنبال آن افزایش آلاینده‌های محیط‌زیستی خواهد شد (Momeni et al., 2020).

امروزه فناوری‌های موجود در کشت گلخانه‌ای اجازه تولید هر نوع محصول را در هر نقطه‌ای از جهان می‌دهد، اما اگر هدف، توسعه گلخانه‌های متناسب با اقلیم باشد، باید پس از بررسی تناسب اقلیمی نسبت به توسعه گلخانه‌ها اقدام کرد (Castilla, 2013). برای کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین و مصرف انرژی و نیز یافتن شرایط بهینه و موقعیت اقتصادی-اجتماعی محل احداث گلخانه‌ها، روش استاندارد فائو برای مکان‌یابی آن‌ها باید مدنظر واقع شود (Zareai et al., 2019). اگر توسعه گلخانه‌ها با همین روند فعلی در کشور صورت گیرد در سال‌های آتی با افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی و آلاینده‌های زیست‌محیطی روبه‌رو می‌شویم (Momeni, 2019).

یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است که استفاده از آن در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. کشور ایران، در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، از لحاظ دریافت انرژی خورشیدی وضعیت مناسبی دارد. متوسط تابش انرژی خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال تخمین زده شده است که بالاتر از میزان متوسط جهانی است. یکی از مزیت‌های کشت‌های گلخانه‌ای، پتانسیل بالای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، سیستم‌های زمین‌گرمایی، سیستم‌های ذخیره گرما

مگاوات ساعت در سال در مصرف انرژی صرفه جویی کند. دوره بازگشت سرمایه اولیه به کارگیری آبگرمکن‌های خورشیدی برابر با ۳/۲۳ سال است (Azizi & Faryadi, 2012). گرم کردن آب با استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی یکی از بهترین روش‌های موجود است که باعث صرفه جویی در مصرف انرژی تجدیدناپذیر، کاهش انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌ها می‌شود (Golzadeh, 2014).

سامانه‌های ذخیره انرژی می‌توانند برای مقاصد مدیریت انرژی، کیفیت توان و یا به عنوان واسطه انرژی به کار گرفته شوند. از مهم‌ترین کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی در کشاورزی می‌توان به استفاده از سامانه ذخیره گرمای محسوس خورشیدی در گلخانه‌ها اشاره نمود. این سامانه، سبب بهره‌وری مصرف انرژی شده و هزینه‌های مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی و انرژی الکتریکی را کاهش می‌دهد. در نتیجه سودآوری محصولات کشاورزی افزایش خواهد یافت (Ghobadpour et al., 2016).

نتایج حاصل از کاربرد سامانه آبگرمکن خورشیدی صفحه تخت، مجهز به ۴ متر مربع جمع‌کننده و مخزن ذخیره آب گرم ۳۰۰ لیتری، در گرمایش یک باب گلخانه تولید فلفل شیرین در دانشگاه منصوره مصر نشان داد که دمای داخل گلخانه در شب، در طول فصل زمستان، حدود ۱۶ درجه سلسیوس حفظ و سرعت رشد، طول ساقه، تعداد میوه‌ها و عملکرد نیز در سطح مطلوبی گزارش شده است (Abdellatif & Mohamed, 2010).

هدف از این پژوهش، بررسی کاربرد سامانه گرمایش خورشیدی از لحاظ فنی و اقتصادی و مقایسه آن با سامانه گرمایشی مرسوم (بخاری گازی) در گلخانه‌های جنوب استان کرمان است.

شیب جمع‌کننده خورشیدی و جهت‌گیری آن (زاویه سمت سطح) در یک دوره زمانی خاص در طول یک روز روشن را تعیین می‌کند، در برخی از شهرهای بزرگ ایران پیشنهاد شده است (Safdarian & Nazari, 2015).

در تحلیل اقتصادی سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی، معمولاً پارامترهایی مانند ارزش فعلی خالص، نرخ بازده داخلی و دوره بازگشت سرمایه محاسبه می‌شوند. بسته به نوع و موقعیت کاری سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی، دوره بازگشت سرمایه آن‌ها می‌تواند متفاوت، حداکثر ۲۵ سال، باشد (Haratian & Akhondi, 2004; Ertekin et al., 2008; Serban et al., 2016; Gautam et al., 2016; Zang et al., 2016). در صورت اعمال سرویس و نگهداری مناسب، عمر سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی می‌تواند ۱۵ تا ۴۰ سال در نظر گرفته شود (Anon, 2003).

بر اساس چهار معیار عملکرد گرمایشی، راحتی ساخت، دریافت نور و قیمت تمام شده، سازه‌های رایج در گلخانه‌های خورشیدی (سازه الحاقی، سازه محصور، سازه نیمه محصور) با فرایند تحلیل سلسله مراتبی مورد مقایسه قرار گرفتند. از میان آن‌ها گلخانه خورشیدی با سازه الحاقی به عنوان بهترین سازه انتخاب شد (Jafarian et al., 2016).

بررسی منابع نشان می‌دهد که استفاده از آبگرمکن خورشیدی در استان خوزستان باعث ۵۰ درصد صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود که با توجه به جمعیت استان خوزستان می‌تواند صرفه جویی معادل یک میلیون و هفتصد هزار بشکه نفت خام در سال داشته باشد (Sepahvand et al., 2011). کاربرد آبگرمکن خورشیدی، در شیراز، می‌تواند بیش از ۷۱۰۰۰۰

مواد و روش‌ها

محاسبه میزان تابش خورشیدی

در ارتباط با سامانه‌های خورشیدی، اولین گام، تعیین میزان تابش خورشیدی در دسترس است. برای برآورد میزان تابش خورشیدی بر سطح افقی، از روابط زیر استفاده گردید (Angstrom, 1924; Prescott, 1940).

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = a + b \left(\frac{\bar{n}}{N} \right) \quad (1)$$

که در آن،

$\frac{\bar{H}}{H_0}$ = نسبت متوسط صافی آسمان در یک ماه؛ \bar{H} = میزان تابش اندازه‌گیری شده در خارج از جو؛ H_0 = میانگین ماهانه تابش روزانه کل؛ و a و b = ثابت‌های وابسته به مکان. برای محاسبه این دو پارامتر از رابطه ۲ استفاده شد (Duffie & Beckman, 1992):

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360}{365} n \right) \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (2)$$

که در آن،

G_{sc} = انرژی دریافتی از خورشید در واحد زمان که در این پژوهش مقدار آن ۱۳۶۷ وات بر متر مربع^۱ در نظر گرفته شد؛ φ = عرض جغرافیایی منطقه؛ δ = زاویه تمایل خورشید نسبت به استوا بر حسب درجه ($23/45 \leq \delta \leq -23/45$)، که مقدار آن از معادله تقریبی کوپر (Cooper, 1969) محاسبه شد (رابطه ۳). ω_s = زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه که مقدار آن از رابطه ۴ به دست آمد:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(n+284)}{365} \right] \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan \delta \tan \varphi] \quad (4)$$

که در آن‌ها،

\bar{N} = میانگین ماهانه بیشینه ساعات آفتابی (طول روز)؛ و \bar{N} = میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه که از رابطه ۵ محاسبه شد:

$$\bar{N} = \frac{2}{15} \omega_s \quad (5)$$

میزان متوسط ماهانه تابش روزانه بر سطح شیب‌دار، با شیب ثابت، در منطقه به کمک رابطه ۶ محاسبه شد (Duffie & Beckman, 1992):

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H}_0 \rho_0 \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (6)$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1 - 1.15 \left(\frac{\bar{H}}{H_0} \right) \quad (7)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos \delta \cos \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\theta - \beta) \sin \delta}{\cos \theta \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \theta \sin \delta} \quad (8)$$

$$\omega_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \theta) \\ \cos^{-1}(-\tan \delta \tan(\theta - \beta)) \end{array} \right. \quad (9)$$

که در آن‌ها،

\bar{H}_T = متوسط ماهانه تابش روزانه بر یک سطح شیب‌دار با شیب ثابت در نقطه‌ای مشخص از سطح زمین بر حسب مگاژول بر متر مربع؛ \bar{H} = متوسط ماهانه تابش روزانه بر صفحه‌ای افقی در نقطه‌ای مشخص از سطح زمین بر حسب مگاژول بر متر مربع؛ \bar{H}_0 = متوسط ماهانه تابش روزانه بر صفحه‌ای افقی در خارج از جو بر حسب مگاژول بر متر مربع؛ \bar{H}_d = متوسط ماهانه تابش پخش شده روزانه بر صفحه‌ای افقی در نقطه‌ای مشخص از سطح زمین بر حسب مگاژول بر متر مربع؛ \bar{R}_b = نسبت متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه بر سطحی شیب‌دار به متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه بر سطح افقی؛ β = زاویه شیب صفحه بر حسب درجه؛ ρ = ضریب

۱- این مقدار توسط مرکز تابش جهانی (WRC)، با عدم اطمینان

یک درصد، بیان شده است.

خورشیدی قرار می‌گیرند در ماه‌های سرد سال نیازمند نور تکمیلی نیستند اما ماه‌هایی از سال که در پایین این خط قرار می‌گیرند، در این ماه‌ها گلخانه نیاز به روشنایی تکمیلی دارد.

در این مطالعه، داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک جیرفت در جنوب استان کرمان استخراج و با استفاده از آن‌ها و همچنین استفاده از داده‌های به‌دست آمده از بانک اطلاعاتی داده‌های تابش خورشیدی (سودا^۱)، نقشه‌های روند تغییر پارامترهای مورد نظر و نمودارهای تناسب اقلیمی، با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶، رسم شدند.

محاسبه نیاز حرارتی گلخانه

برای محاسبه تلفات انرژی از گلخانه، از استاندارد انجمن ملی گلخانه‌سازان آمریکا^۲ استفاده شد. طبق این استاندارد، مقدار انرژی لازم برای گرم نگه‌داشتن گلخانه با رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$L = L_{cover} + L_{frame} + L_{wind} \quad (10)$$

که در آن،

L = تلفات کل (کیلوکالری بر ساعت)؛ L_{cover} = تلفات پوشش (کیلوکالری بر ساعت)؛ L_{frame} = تلفات سازه (کیلوکالری بر ساعت)؛ و L_{wind} : تلفات باد (کیلوکالری بر ساعت).

که هر یک از این تلفات به صورت رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$L_{cover} = U \cdot A \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \quad (11)$$

که در آن،

U = ضریب انتقال حرارت پوشش (کیلوکالری بر

بازتابش از زمین که مقدار آن در ماه‌های مختلف سال از ۰/۲ تا ۰/۷ متفاوت است؛ a و b = ضریب‌های ثابت تابع شرایط اقلیمی محل و طول و عرض جغرافیایی که پس از مشابه‌سازی نقاط هم‌شرایط با محل مورد نظر از جدول‌های مرجع انتخاب می‌شود؛ و ω_s = اویسه ساعت طلوع و غروب خورشیدی برای صفحه شیب‌دار بر حسب درجه.

منحنی تناسب اقلیمی

برای رسم این منحنی از روش استاندارد ارائه شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (Anon, 2017) استفاده شد. بر اساس این استاندارد، با استفاده از آمار بلندمدت هواشناسی، میانگین ماهانه پارامترها تعیین می‌شوند. پس از آن، روی محور مختصات واحد محور X ، دما بر حسب درجه سلسیوس و واحد محور Y ، انرژی دریافتی منطقه مشخص و عدد مربوط به هر ماه رسم می‌شود. برای تحلیل منحنی، روی محور X دماهای ۱۲، ۲۲ و ۲۷ درجه سلسیوس به عنوان شاخص مشخص می‌شود. روی محور Y نیز ۸/۳۷ مگاژول بر متر مربع در روز به عنوان شاخص آستانه تابش مشخص می‌شود. در ماه‌هایی که در بخش اول در سمت چپ واقع شده‌اند، گلخانه نیاز به سامانه گرمایشی دارد. ماه‌هایی که در قسمت میانه، ۱۲ تا ۲۲ درجه سلسیوس، قرار می‌گیرند به طور معمول فقط به تهویه طبیعی نیاز خواهند داشت و ماه‌هایی که در قسمت سوم، ۲۲ تا ۲۷ درجه سلسیوس، قرار می‌گیرند به سیستم سرمایشی نیاز دارند. ماه‌هایی که در سمت راست تقسیم‌بندی قرار می‌گیرند، گرمای زیادی دارند و خنک کردن گلخانه در این ماه‌ها ممکن است اقتصادی نباشد. ماه‌هایی که در قسمت بالای خط افقی مربوط به آستانه تابش

با توجه به بحث‌های زیست‌محیطی و ضرورت کاهش نیاز به سوخت‌های فسیلی، بار تأمین شده از ناحیه جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت ۱۰۰ درصد انتخاب شد. انرژی حاصل از جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت حدود ۷۷۰ تا ۸۸۰ کیلووات ساعت بر متر مربع است. با توجه به هدف‌گذاری این پروژه برای تأمین بار در فصل سرما، سطح جمع‌کننده خورشیدی مورد نیاز ۶ متر مربع محاسبه شد:

$$6 = 4620 / 770 = \text{سطح جمع‌کننده خورشیدی}$$

میزان آب گرم مورد نیاز برای ثابت نگه‌داشتن دمای گلخانه در حد بهینه، با فرض اینکه ظرفیت گرمایی ویژه آب ۴۱۸۷ ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس و انرژی گرمایی مورد نیاز گلخانه ۴۲ کیلووات در روز باشد، به صورت رابطه ۱۴ محاسبه شد:

$$Q = mc\Delta T \quad (14)$$

که در آن،
 $Q =$ انرژی گرمایی مورد نیاز بر حسب کیلووات؛ $m =$ جرم آب بر حسب کیلوگرم؛ $c =$ ظرفیت گرمایی ویژه آب بر حسب ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس؛ و $\Delta T =$ اختلاف دمای بین آب گرم سیستم و کمترین دمای خارج گلخانه بر حسب درجه سلسیوس.

$$42 = m \times 4187(75 - 4) \rightarrow m = 500$$

بنابراین، یک مخزن ۵۰۰ لیتری برای ذخیره آب گرم مورد نیاز مد نظر قرار گرفت. یک سیستم کمکی برقی، دو المنت برقی ۲۰۰۰ وات برای موارد اضطراری در نظر گرفته شد که سامانه خورشیدی قادر به تأمین بخشی یا تمام انرژی گرمایی مورد نیاز

ساعت متر مربع درجه سلسیوس)؛ $A =$ مساحت پوشش (متر مربع)؛ $T_{inside} =$ دمای داخل گلخانه (درجه سلسیوس)؛ و $T_{outside} =$ کمینه دمای خارج گلخانه (درجه سلسیوس).

$$L_{frame} = C \cdot L_{cover} \quad (12)$$

$$L_{wind} = 0.018 F_{wind} \cdot N \cdot V \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \quad (13)$$

که در آن،

$F_{wind} =$ ضریب سرعت باد (کیلوکالری بر متر مربع درجه سلسیوس)؛ $N =$ تعداد دفعات تبادل هوای داخل گلخانه (بر ساعت)؛ و $V =$ حجم گلخانه (متر مکعب)

هرچه سرعت وزش باد در محل احداث گلخانه بیشتر باشد، تلفات حرارتی گلخانه بیشتر می‌شود. به همین دلیل در جاهایی که سرعت باد از ۲۴ کیلومتر بر ساعت زیادتر باشد، مقدار تلفات به دست آمده با توجه به ضریب باد، بیشتر از حالت عادی خواهد بود.

بررسی فنی سامانه گرمایش خورشیدی

پس از تعیین نیاز گرمایشی گلخانه، ظرفیت و ابعاد سامانه گرمایش خورشیدی، از نوع صفحه تخت، مشخص و در کنار گلخانه خیار واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان نصب شد. زاویه‌های جمع‌کننده در فصل‌های پاییز و زمستان به صورت دوره‌ای تنظیم شد. گلخانه نیز از نوع دوقلو با سازه قوسی و پوشش پلی‌اتیلن تک لایه با طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۴۰، ۱۱ و ۴/۵ متر بود که در این پژوهش به دو بخش تقسیم گردید. در یک بخش سامانه گرمایش خورشیدی و در دیگری سامانه گرمایش متداول منطقه (گازویلی) قرار داده شد. برای حذف اثر تیمارها بر هم، دهانه‌ها با پلاستیک با ایجاد لایه مرزی به طول ۱۶ متر فاصله داده شدند.

عامل تنزیل (a,n) از جدول‌های تنزیل وجوه قابل استخراج است که این فرض‌ها را برای سال‌های متفاوت و با هزینه‌های مختلف سرمایه محاسبه کرده‌اند. نرخ تنزیل (r) می‌تواند مساوی با نرخ بهره وام‌های بلند مدت در بازار سرمایه یا مساوی بهره پرداختی (نرخ هزینه سرمایه) توسط وام‌گیرندگان باشد. اگر NPV محاسبه شده مثبت بود، سوددهی پروژه بیش از نرخ تنزیل است و بنابراین می‌توان پروژه را پذیرفت و اگر NPV منفی شد، عکس این حالت صادق است.

نرخ بازده داخلی سرمایه‌گذاری: نرخ بازده داخلی، نرخ‌ی است که با استفاده از آن، ارزش فعلی جریان‌های نقدی خروجی، برابر با ارزش فعلی جریان‌های نقدی پروژه می‌گردد و به عبارت دیگر در آن نرخ، NPV صفر می‌شود. این نرخ نشان‌گر سوددهی واقعی پروژه است. بنابراین در هنگام انتخاب پروژه، پروژه‌ای انتخاب می‌شود که IRR محاسبه شده آن بالاتر از نرخ هزینه سرمایه به علاوه صرف ریسک مورد نظر باشد.

دوره بازگشت سرمایه: دوره بازگشت سرمایه مجموع سال‌هایی تعریف می‌شود که نیاز است تا سرمایه‌گذاری اولیه از طریق وجوه نقدی حاصل از پروژه پوشش داده شود. دوره بازگشت سرمایه پروژه با نرم‌افزار کامفار در دو بخش بررسی گردید: دوره بازگشت سرمایه عادی و دوره بازگشت سرمایه متحرک.

تحلیل نقطه سربه‌سر: هدف از تحلیل نقطه سربه‌سر تعیین نقطه تعادلی است که در آن درآمد فروش با هزینه محصول فروش رفته یکسان می‌شود. تا زمانی که فروش و تولید محصولات زیر این نقطه باشد، پروژه در حال زیان‌دهی است.

گلخانه نیست. برای توزیع گرما در سطح گلخانه از ۴ رادیاتور ۱۰ پره آلومینیومی استفاده شد.

اطلاعات مربوط به تغییرات دما، رطوبت نسبی و کربن دی‌اکسید در هر تیمار، در بازه زمانی ۷۲ روزه آزمایش، با استفاده از دیتالاگر با فاصله‌های زمانی هر ساعت ثبت گردید. علاوه بر آن، فاصله‌های برداشت، عملکرد در هر چین، عملکرد کل و شاخص کلروفیل (با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Nova Spect) نیز در هر تیمار اندازه‌گیری و ثبت شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های این بخش از تحقیق، از آزمون t جفت شده استفاده شد. تیمارها شامل دو سیستم گرمایشی (سامانه گرمایش خورشیدی و گازویی) بودند که نمونه‌برداری‌های مربوط به عملکرد و شاخص کلروفیل در هر چین در ۱۲ تکرار، یک کرت ۴۰×۱۰۰ سانتی‌متر مربعی، اجرا شد. در نهایت اطلاعات جمع‌آوری شده در نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

ارزیابی اقتصادی سامانه گرمایش خورشیدی

به منظور ارزیابی اقتصادی، شاخص‌های ارزش خالص فعلی سرمایه^۱ NPV، نرخ بازده داخلی سرمایه‌گذاری^۲ IRR، دوره بازگشت سرمایه^۳ PBP و تحلیل نقطه سربه‌سر^۴ BEA تعیین شد.

ارزش خالص فعلی سرمایه: ارزش خالص فعلی از تنزیل مابه‌التفاوت جریان‌های نقدی ورودی و خروجی حاصل از یک نرخ ثابت بهره در دوره زمانی معین، زمان برنامه‌ریزی پروژه، به دست می‌آید. برای محاسبه ارزش خالص فعلی سرمایه در این تحقیق از رابطه ۱۵ استفاده شد:

$$NPV = \sum NPV = NCF_0 + (NCF_1 \times a_1) + (NCF_2 \times a_2) + \dots + (NCF_n \times a_n) \quad (15)$$

1- Net Present Value

2- Internal Rate of Return

3- Payback Period

4- Break-Even Analysis

نتایج و بحث

با بررسی آمار بلندمدت اقلیمی شهرستان جیرفت مشخص شد که کمترین دما، چهار درجه سلسیوس و در دی‌ماه و میانگین کمترین و بیشترین دما در طول سال، به ترتیب ۲۰/۶۱ و ۳۲/۴۱ درجه سلسیوس بوده است. بررسی ساعات آفتابی نیز نشان می‌دهد که در این منطقه مجموعاً ۳۲۰۷ ساعت آفتابی، در طول سال، وجود دارد. همچنین، سالانه، حدود چهارده روز طوفان و گرد و غبار در منطقه وجود دارد. بارش برف در منطقه جیرفت در طول سال گزارش نشده است. بررسی نمودار تناسب اقلیمی منطقه (شکل ۱) نشان می‌دهد که میزان تابش دریافتی این منطقه در تمام ماه‌های سال مناسب است. برای دستیابی به حداکثر راندمان جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت، باید زاویه تمایل عمودی در تابستان ۱۰ و در زمستان ۴۰ درجه تنظیم گردد.

بر اساس نیاز گرمایشی گلخانه و درصد تأمین گرما توسط جمع‌کننده خورشیدی، ابعاد جمع‌کننده سامانه خورشیدی ۶ متر مربع و ظرفیت مخزن ذخیره آب آن ۵۰۰ لیتر به دست آمد. برای توزیع گرما در فضای گلخانه نیز از ۴ رادیاتور ۱۰ پره‌ای استفاده شد.

بررسی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان عملکرد محصول و کلروفیل، در ۱۳ چین، نشان داد که در گلخانه مرسوم رشد رویشی بوته‌ها بهتر است و در نتیجه شاخص کلروفیل و عملکرد میوه وضعیت بهتری دارد. اختلاف بین دو گلخانه از نظر مقدار کلروفیل و عملکرد میوه، به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار است. متوسط عملکرد در چین در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی ۴۰/۴۶ کیلوگرم و در گلخانه مرسوم ۵۰/۲۴ کیلوگرم

برای تحلیل نقطه سر به سر کل دوره منتخب، کلیه هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر و درآمد فروش بررسی می‌شوند. برای تعیین نسبت حاشیه سود، سهم درآمد فروش در افزایش هزینه‌های متغیر برای پوشش هزینه‌های ثابت بررسی شد. با افزایش این نسبت، حجم فروش سر به سر کاهش می‌یابد.

$$\frac{\text{Variable margin}}{\text{Sales revenue}} \times 100 \quad (16)$$

برای تحلیل نسبت سر به سر، نسبت فروش به مقدار تولید برنامه‌ریزی شده برای یک دوره بررسی شد (رابطه ۱۷).

$$\frac{\text{Break-even sales value}}{\text{Sales revenue}} \times 100 \quad (17)$$

با توجه به رابطه ۱۵، درآمد فروش همواره مقداری مثبت است. ارزش فروش نیز در نقطه سر به سر مقداری است مثبت. برای درک بهتر ارزش فروش در نقطه سر به سر از رابطه ۱۷ استفاده شد.

$$\frac{\text{Fixed costs} + \text{Financial costs}}{\text{Variable margin ratio}} \times 100 \quad (18)$$

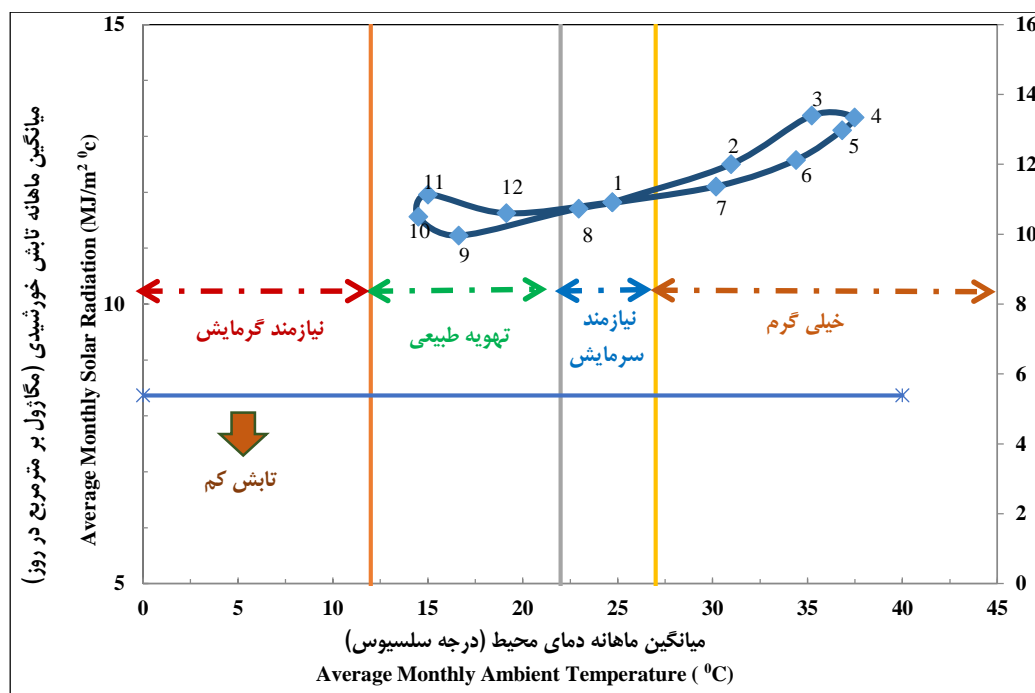
با توجه به رابطه ۱۸، نرخ سود ناخالص مقداری مثبت است. سود ناخالص عبارت است از حاصل تفریق مجموع سود ناخالص از عملیات و درصد درآمد غیرمترقبه از مجموع زیان غیرمترقبه و ذخایر استهلاک. نتایج عددی در یک نمودار نسبت سر به سر، شامل هزینه‌های تأمین مالی و به استثنای هزینه‌های تأمین مالی، رسم شد.

برای تعیین نسبت پوشش هزینه‌های ثابت نیز از رابطه ۱۹ استفاده گردید. این نسبت در واقع چندانکه بودن سود ناخالص را نشان می‌دهد که هزینه‌های ثابت را پوشش می‌دهد.

$$\frac{\text{Variable margin}}{\text{Fixed Costs}} \quad (19)$$

کرده در گلخانه مرسوم بهتر بودند. بالاتر بودن شاخص کلروفیل در گلخانه مرسوم باعث بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد شده بود (جدول ۱).

و عملکرد کل برای دو گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی و مرسوم، به ترتیب، ۴/۴ و ۵/۴ کیلوگرم بر متر مربع اندازه‌گیری شده است. از نظر میزان کلروفیل نیز بوته‌های رشد



شکل ۱- نمودار تناسب اقلیمی جیروفت (میانگین تشعشع - میانگین دما)

Fig. 1- Climate suitability chart of Jiroot (average radiation - average temperature)

نتایج آزمون t جفت شده در دو گلخانه نشان می‌دهد که با وجود بالاتر بودن میزان کربن دی‌اکسید در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی، تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط این شاخص در بازه زمانی ۷۲ روزه از آذرماه تا بهمن ماه وجود نداشته است. دلیل بالاتر بودن میزان کربن دی‌اکسید در گلخانه مجهز به سامانه خورشیدی، کوچک‌تر بودن بوته‌ها و کم بودن میزان فتوسنتز به عنوان مصرف‌کننده کربن دی‌اکسید است. متوسط دما و رطوبت نسبی گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی نیز تفاوت معنی‌داری با متوسط دما و

رطوبت نسبی گلخانه مرسوم ندارد (جدول ۱). بنابراین، استفاده از سامانه خورشیدی برای گرمایش گلخانه‌های منطقه از نظر فنی توجیه‌پذیر است. این نتیجه‌گیری با نتایج حاصل از پژوهش‌های عبداللطیف و محمد (Abdellatif & Mohamed, 2010)، مؤمنی و منذر (Momeni & Monzar, 2010)، شاه‌حسینی و تقی‌پور (Shahhoseini & Taghipour, 2014) و قبادپور و همکاران (Ghobadpour et al., 2016) هم‌خوانی دارد که بر امکان کاربرد آبگرمکن‌های خورشیدی در گرمایش گلخانه تأکید کرده‌اند.

جدول ۱- نتایج آزمون t جفت شده مقایسه سامانه گرمایش خورشیدی با سامانه گرمایشی مرسوم

Table 1- Results of paired t-test Comparison of solar heating system with conventional heating system

اختلاف میانگین‌ها Mean differences	سطح معنی‌داری significance level	t	میانگین Average	درجه آزادی Degrees of freedom	متغیر Variable
			438.28		سطح کربن دی‌اکسید در گلخانه خورشیدی
2.80	0.21 ^{ns}	1.26	435.47	71	Co ₂ level in solar greenhouse سطح کربن دی‌اکسید در گلخانه با سامانه گرمایش گازی
			19.93		Co ₂ level in conventional greenhouse متوسط دمای گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی
0.15	0.44 ^{ns}	0.76	19.78	71	Mean temperature in greenhouse equipped with solar heating system متوسط دمای گلخانه با سامانه گرمایش گازی
			68.38		Mean greenhouse temperature equipped with conventional heating system متوسط رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی
0.79	0.27 ^{ns}	1.10	69.17	71	Average relative humidity of the greenhouse equipped with solar heating system متوسط رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش گازی
			40.46		Average relative humidity of the greenhouse equipped with conventional heating system متوسط عملکرد هر چین گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی
9.78	0.04*	2.34	50.24	12	Average yeild of greenhouse with solar heating system متوسط عملکرد هر چین گلخانه با سامانه گرمایش گازی
			2.11		Average yeild of greenhouse with conventional heating system شاخص کلروفیل در گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی
0.29	0.001**	4.00	2.41	12	Chlorophyll index in greenhouse equipped with solar heating system شاخص کلروفیل در گلخانه با سامانه گرمایش گازی
					chlorophyll index in greenhouse equipped with conventional heating system

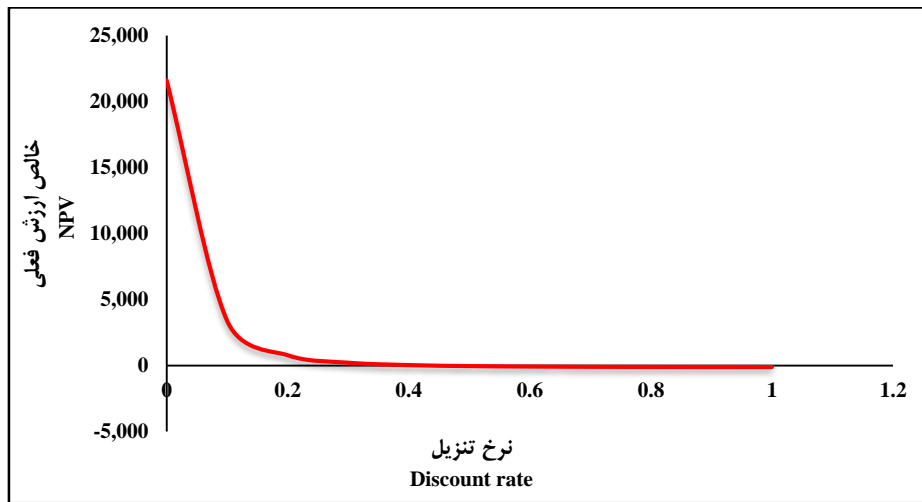
***, * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

***, ** and ns are significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively

ارزیابی اقتصادی

فعلی کل سرمایه از مثبت به سمت منفی تغییر پیدا کرده است و محور X نمودار خالص ارزش فعلی را در نرخ تنزیل ۴۴/۳۵ درصد قطع کرده است. بنابراین از این منظر، پروژه در نرخ تنزیل‌های کمتر از ۴۴/۳۵ درصد قابل قبول است.

با بررسی شکل ۲، که مربوط به خالص ارزش فعلی کل سرمایه بر حسب میلیون ریال در نرخ تنزیل‌های صفر تا صد است، مشاهده می‌شود که در بازه نرخ تنزیل ۴۰ تا ۵۰ درصد مقدار خالص ارزش



شکل ۲- خالص ارزش فعلی کل جریانات نقدی کل سرمایه‌گذاری

Fig. 2- Net present value of total cash flows of total investment

سرمایه‌عادی با نرخ تنزیل ۲۰ درصد، بیش از ۳ سال، ۳/۸۳۷ است و در سال ۱۴۰۰ میزان بازده نقدی تجمعی از سمت منفی به سمت مثبت تغییر پیدا کرده است.

شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که خالص نقدی جریان‌های تجمعی با در نظر گرفتن زمان- ارزش مالی برای پروژه کاربرد سامانه گرمایش خورشیدی در گرمایش گلخانه‌های جیرفت، در هر سال، به استثنای فاز ساخت، روند مثبت فزاینده‌ای داشته است. مطابق این شکل، دوره بازگشت سرمایه متحرک با نرخ تنزیل ۲۰ درصد، بیش از ۵ سال، ۵/۳۲ است.

تحلیل سر به سر کل دوره منتخب (شامل هزینه‌های تأمین مالی): شکل ۶ گویای این مطلب است که هیچ‌گونه نقطه تعادلی بین درآمد فروش، هزینه‌های ثابت و کل هزینه‌ها وجود ندارد و درآمد فروش (بخش آبی رنگ نمودار) در تمامی سال‌های بهره‌برداری بالاتر از هزینه‌های ثابت و کل هزینه‌هاست، و همین مطلب گویای توجیه‌پذیر بودن پروژه کاربرد آبگرمکن خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها در جیرفت است.

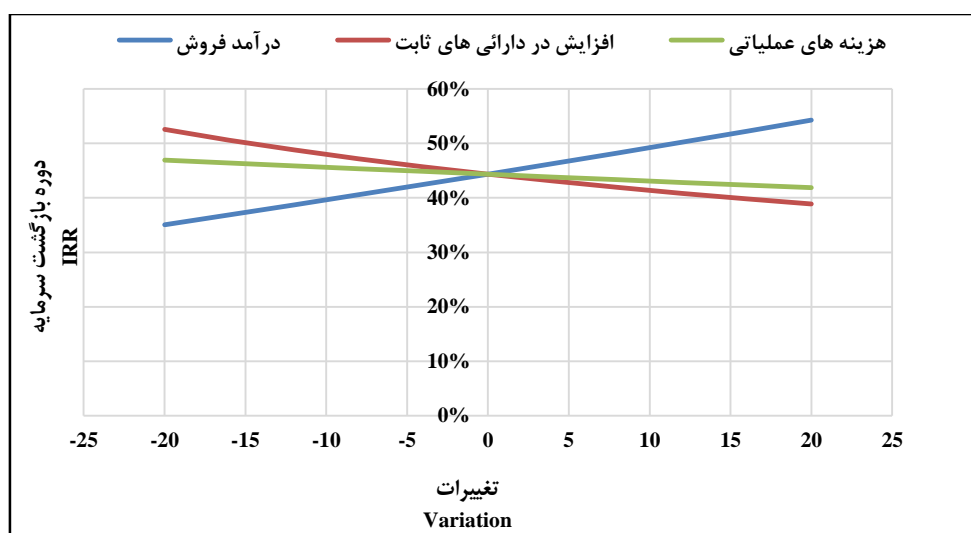
حساسیت نرخ بازده داخلی سرمایه‌گذاری: نتایج بررسی حساسیت نرخ بازده داخلی سرمایه‌گذاری در شکل ۳ نشان می‌دهد که در مقدار تغییرات صفر درصد، میزان درآمد فروش افزایش می‌یابد و در واقع به مرور درآمد بیشتری حاصل می‌شود که می‌تواند طی زمان سبب بازگشت سرمایه شود. روند تغییرات درآمد فروش مثبت است اما در بخش دارایی‌های ثابت، با توجه به استهلاک و سایر هزینه‌ها، این مقدار روندی نزولی دارد که علت آن افزایش مقدار تغییرات در میزان نرخ تنزیل است. همچنین، با افزایش نرخ تنزیل میزان هزینه‌های عملیاتی نیز کاهش یافته است.

دوره بازگشت سرمایه: به کمک نرم‌افزار کامفار، دوره بازگشت سرمایه در دو بخش بررسی شد: دوره بازگشت سرمایه عادی و دوره بازگشت سرمایه متحرک. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، خالص نقدی جریانات تجمعی بدون در نظر گرفتن زمان- ارزش مالی، برای پروژه کاربرد سامانه خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها در جیرفت، در هر سال (به استثنای فاز ساخت) روند مثبت رو به افزایشی داشته است. همچنین، دوره بازگشت

سربه‌سر شامل هزینه‌های تأمین مالی و به استثنای هزینه‌های تأمین مالی دارای شیب مثبتی است که بیانگر کم بودن اثر وجود هزینه‌های تأمین مالی است. در نتیجه، میزان تغییرات نسبت سربه‌سر به سمت پایین نمودار حرکت می‌کند و کمتر می‌شود. بخش دوم، تغییرات مرتبط با سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۸ است. در این قسمت، همگرایی رفتار نسبت سربه‌سر در هر دو حالت مشاهده می‌شود که علت اصلی آن کم شدن میزان اثرهای هزینه‌های تأمین مالی است که سبب شده نسبت سربه‌سر با حالت بدون در نظر گرفتن هزینه‌های تأمین مالی یکسان شود. در بخش سوم تغییرات، از سال ۱۴۰۹ تا ۱۴۲۲، نسبت سربه‌سر بیشتر به سمت پایین نمودار حرکت کرده است که علت آن هم بالاتر رفتن مقدار ارزش فروش در نقطه سربه‌سر است و در نتیجه میزان تغییرات شدیدتر می‌شود. بنابراین، پروژه کاربرد سامانه خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها در جیرفت توجیه‌پذیر است.

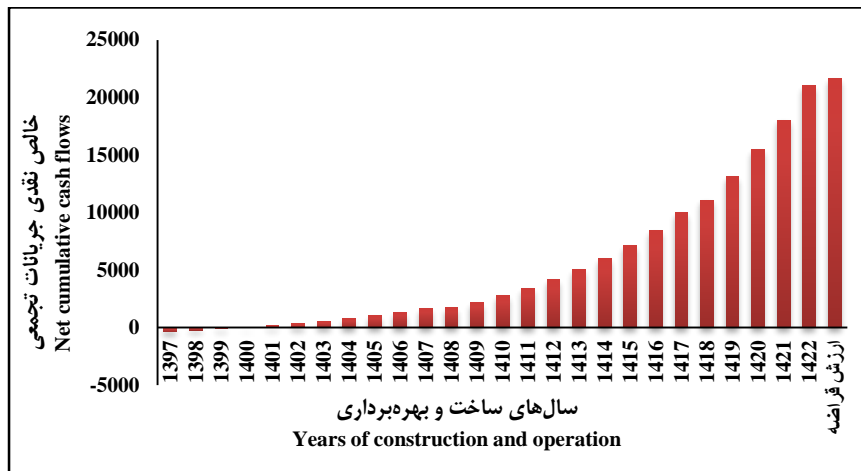
نسبت حاشیه سود: روند تغییرات نسبت حاشیه سود در یک مرحله بررسی شد (شکل ۷). در تمام سال‌های بهره‌برداری از پروژه یعنی از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۲۲ روند تغییرات، آنی و گسترده نیست. این رفتار یکنواخت را می‌توان به تغییرات هم‌زمان هم سود ناویژه بعد از هزینه‌های متغیر و هم درآمد فروش نسبت داد. در واقع تغییرات در این دو مقدار، یکنواخت و گسترده نیست. روند تغییرات نشان می‌دهد که سود ناویژه بعد از هزینه‌های متغیر و درآمد فروش هر دو به یک اندازه، حتی با وجود افزایش درآمد فروش، تغییر کرده‌اند. با توجه به نسبت حاشیه سود محاسبه شده توسط نرم‌افزار کامفار، پروژه کاربرد سامانه خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها در جیرفت توجیه‌پذیر است.

نسبت سربه‌سر: همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، تغییرات در این نمودار در سه بخش نمود پیدا کرده است. در بخش اول، که مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ است، تغییرات نسبت



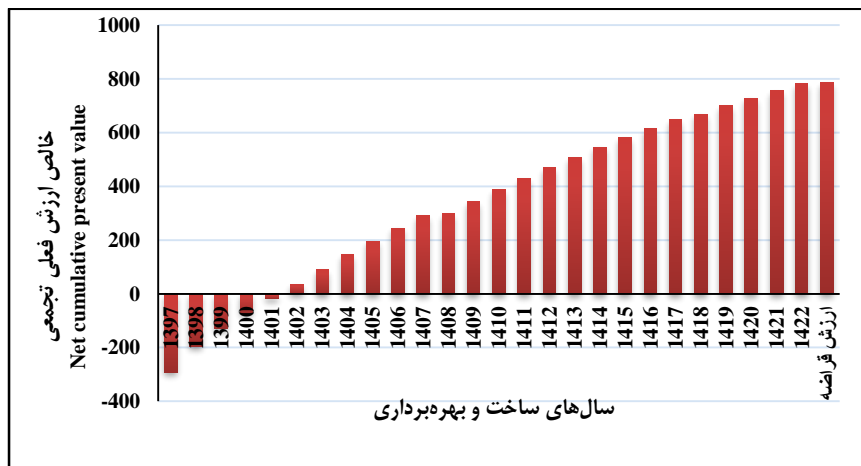
شکل ۳- بررسی میزان حساسیت IRR پروژه کاربرد سامانه گرمایش خورشیدی در گلخانه‌ای جنوب استان کرمان

Fig. 3- Investigating the IRR Sensitivity of the Solar Heating Application in Greenhouses in the South of Kerman Province



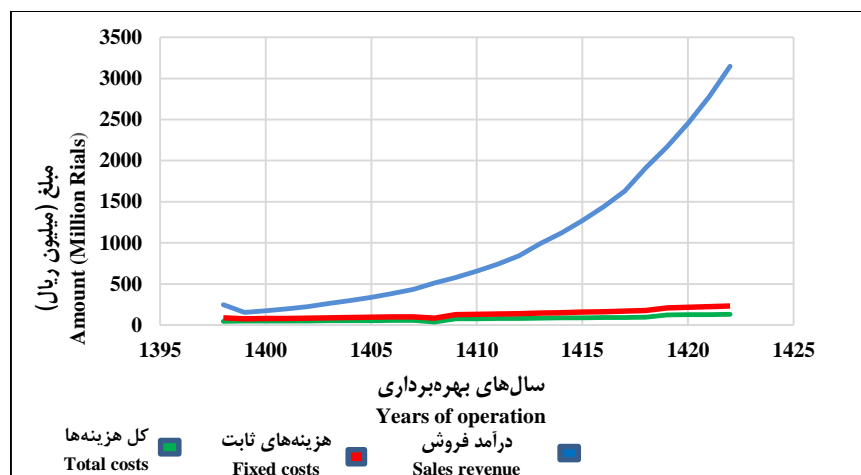
شکل ۴- دوره بازگشت سرمایه عادی

Fig. 4- Normal Payback Period



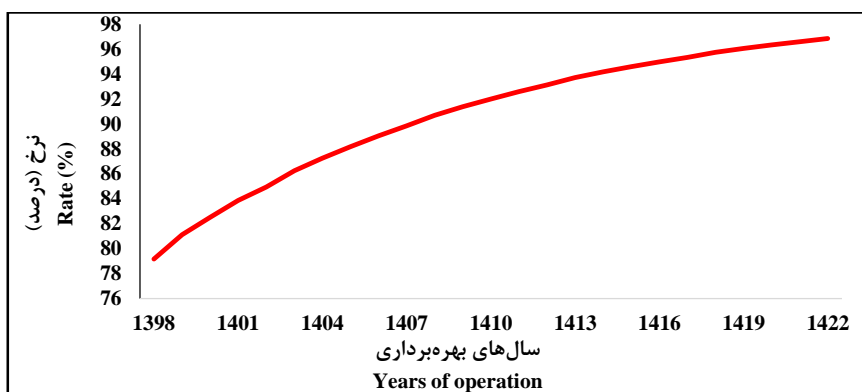
شکل ۵- دوره بازگشت سرمایه متحرک

Fig. 5- Dynamic Payback Period



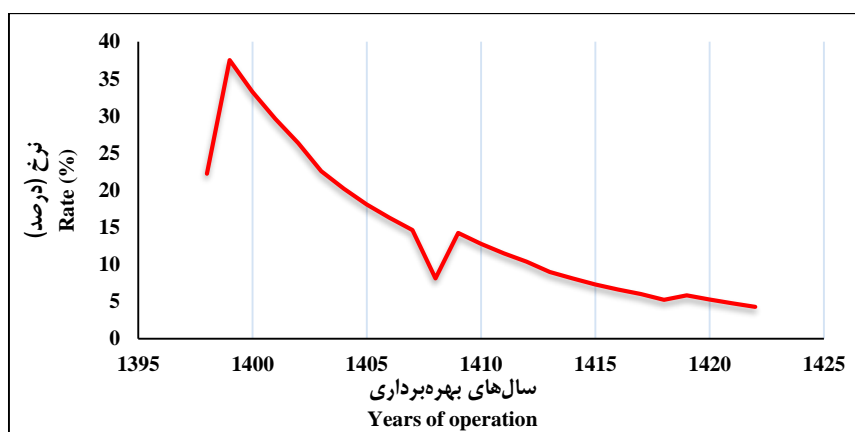
شکل ۶- تحلیل نقطه سربه‌سر شامل هزینه‌های تأمین مالی

Fig. 6- Break-Even Analysis including financing costs



شکل ۷- نسبت حاشیه سود (درصد فروش)

Fig. 7- Profit margin ratio (sales percentage)



شکل ۸- نسبت سر به سر (میلیون ریال)

Fig. 8- Break-Even ratio (million Rials)

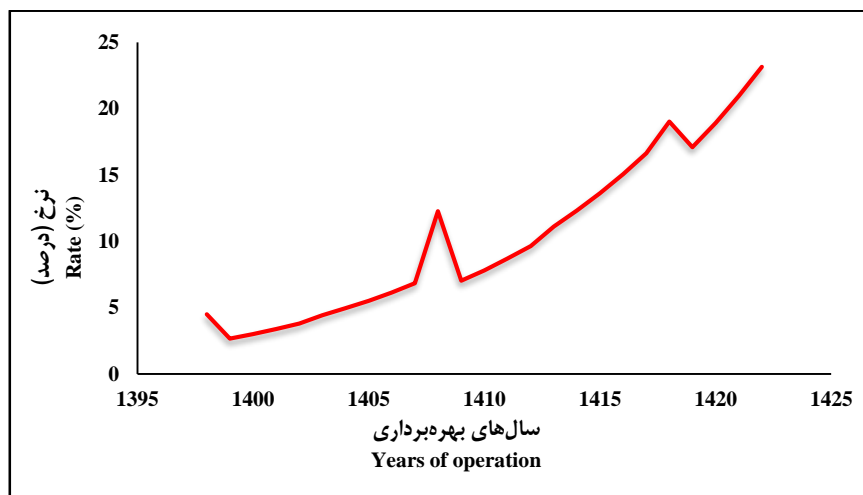
نسبت پوشش هزینه‌های ثابت: همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تغییرات در شش بخش قابل بررسی است. در بخش اول که مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ است میزان نسبت پوشش هزینه‌های ثابت به سمت پایین نمودار حرکت کرده و نزولی شده است. دلیل این امر را می‌توان کم بودن میزان سود ناخالص عنوان کرد. بخش دوم و سوم تغییرات مرتبط با سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۷ و ۱۴۰۷ تا ۱۴۰۹ است. در بخش دوم نسبت پوشش هزینه‌های ثابت در هر دو حالت هزینه‌های تأمین مالی و بدون هزینه‌های تأمین مالی، رفتار صعودی مثبت را نشان می‌دهد. در بخش سوم، در سال ۱۴۰۷ تا سال

۱۴۰۸ میزان سود ناخالص به تبع افزایش درآمد فروش و کاهش مقدار هزینه‌های ثابت، روند افزایشی داشته است. اما در سال ۱۴۰۸ تا ۱۴۰۹ میزان تغییرات سود ناخالص نسبت به هزینه‌های ثابت ناچیز بوده است و در این دو سال افزایش مقدار هزینه‌های ثابت مشاهده می‌شود و در نتیجه این مقدار روندی کاهشی به خود گرفته است. بخش چهارم و پنجم که مربوط به سال‌های ۱۴۰۹ تا ۱۴۱۸ و ۱۴۱۸ تا ۱۴۱۹ است، رفتاری دقیقاً شبیه به رفتار بخش دوم و سوم دارد که در واقع به زیاد و کم شدن میزان سود ناخالص مرتبط است. بخش ششم، مربوط به سال‌های ۱۴۱۹ تا ۱۴۲۲، نمودار

پژوهش هراتیان و آخوندی (Haratian & Akhondi, 2004) نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن همهٔ جهات و حمایت‌های بخش دولتی کاربرد این سامانه می‌تواند توجیه‌پذیر باشد. ارتکین و همکاران (Ertekin *et al.*, 2008)، سربان و همکاران (Serban *et al.*, 2016) و گوتام و همکاران (Gautam *et al.*, 2016) می‌گویند با وجود توجیه‌پذیر بودن استفاده از سامانهٔ گرمایش خورشیدی در مصارف مختلف خانگی، صنعتی و کشاورزی، بدون حمایت دولت و تخصیص یارانه، توسعهٔ این سامانه‌ها به کندی اتفاق می‌افتد. دورهٔ بازگشت سرمایه هم از ۰/۷ تا ۱۱/۵ سال، در شرایط مختلف، گزارش شده است.

رفتار صعودی مثبتی دارد. با توجه به تفسیرهای بالا می‌توان نتیجه گرفت که از دیدگاه تحلیل سربه‌سر در نسبت پوشش هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری، پروژهٔ کاربرد سامانه خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها در جیرفت توجیه‌پذیری مالی دارد.

بنابراین با توجه به شاخص‌های اقتصادی بررسی شده، کاربرد سامانهٔ خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. هرچند تا پیش از این تحقیق، کاربرد سامانه‌های خورشیدی صفحه تخت در گرمایش گلخانه‌ها در ایران بررسی نشده ولی کاربرد این سامانه‌ها در تولید آب گرم منازل به وفور مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل از



شکل ۹- نسبت پوشش هزینه‌های ثابت

Fig. 9- Fixed costs coverage ratio

مرسوم و بهتر بودن شاخص کلروفیل، عملکرد محصول بالاتر است. از منظر شاخص‌های اقتصادی نیز استفاده از سامانهٔ خورشیدی برای گرمایش گلخانهٔ خیار در منطقهٔ جیرفت توجیه‌پذیر است و دورهٔ بازگشت سرمایهٔ آن با نرخ تنزیل ۲۰ درصد، ۵/۳۲ سال است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق در دو گلخانهٔ مجهز به سامانهٔ گرمایش خورشیدی و بخاری گازیویی نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط کربن دی‌اکسید، دما و رطوبت نسبی میان دو گلخانه وجود ندارد ولی با توجه به رشد رویشی مناسب‌تر بوته‌ها در گلخانهٔ

مراجع

- Abdellatif, S. M., & Mohamed, Y. A. (2010). Developing a solar heating system for heating sweet colour pepper greenhouse. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 1(11), 1117-1129.
- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation, *QJ Roy. Meteorol. Soc.*, 50, 121-126.
- Anon. (2003). Eco-Industrial Parks, *Bio-Refineries, Renewable Energy, and Zero Waste Opportunities for Lane County*.
- Anon. (2017). Good agricultural practice for greenhouse vegetables production, ISBN: 2070-2515, FAO.
- Anon. (2020). *World energy outlook*.
- Azizi, A., & Faryadi. SH. (2012). Socio-economic and environmental analysis of the benefits of using solar water heaters (Case study of Shiraz). *Iranian Journal of Energy*, 15(1). (In Farsi)
- Bakirci, K. (2012a). Correlations for optimum tilt angles of solar collectors: a case study in Erzurum, Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34(11), 983-993.
- Bakirci, K. (2012b). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6149-6159.
- Benghanem, M. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 88(4), 1427-1433.
- Castilla, N. (2013). *Greenhouse technology and management*. Cabi.
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar energy*, 12(3), 333-346.
- Duffie, J.A., and Beckman, W.A. (1992). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley.
- Ertekin, C., Kulcu, R., & Evrendilek, F. (2008). Techno-Economic Analysis of Solar Water Heating Systems in Turkey. *Sensors*, 8(2), 1252-1277.
- Gautam, A., Dobhal, A., Kumar, A., & Singh, S. (2016). Economical analysis of a solar water heating system refurbishment in student hostel, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(12).
- Ghobadpour, A., Jafarian, M., & Najafi, GH. (2016). Investigation of thermal energy storage methods with the approach of using renewable energy sources in agriculture. *10th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystem Mechanics) and Mechanization, Mashhad, 9 and 10 September*. (in Persian)
- Golzadeh, N. (2014). Analytical study of environmental effects of using solar water heaters (Case study of Hamadan city). *Third International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, 5 December*. (in Persian)
- Handoyo, E., Ichani, D., & Prabowo. (2013). International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, *Energy Procedia* 32 (2013) 166 – 175.
- Haratian, M., & Akhondi, N. (2004). Technical and economic analysis of the use of solar water heaters for a government building in Isfahan. *The third conference on optimizing fuel consumption in buildings, Tehran, 26 and 27 February*. (in Persian)
- Jafarian, M., Ghobadpour, A., & Jafarian, K. (2016). Investigation of greenhouses based solar energy and selection of optimal structure using AHP. *10th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystem Mechanics) and Mechanization, Mashhad, 9 and 10 September*. (in Persian)

- Momeni, D. (2019). Investigation of energy consumption indices in cucumber production in greenhouses in southern Kerman. *Extension Journal of Greenhouse Vegetables*, 2(1). (in Persian)
- Momeni, D., & Monzar, S. (2011). Use of New Energy Applications in Greenhouses (Case Study: Application of Geothermal Energy in Tunisia Greenhouses). *Islamic Azad University of Khorasgan Branch*, 27 and 28 February. (in Persian)
- Momeni, D., Rezvani, S.M., & Zareai, GH. (2020). Comprehensive guide to managing heating energy consumption in greenhouses. *Karaj, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Education and Extension Institute, Agricultural Education Publishing*. (in Persian)
- Nadrilou, L., & Dehlaghi, L. (2016). Estimation of solar energy potential on the horizon and sloping surface in Kermanshah province. *10th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystem Mechanics) and Mechanization, Mashhad*, 9 and 10 September. (in Persian)
- Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. Roy. Soc. S. Aust.*, 46, 114-118.
- Safdarian, F., & Nazari, M. E. (2015, September). Optimal tilt angle and orientation for solar collectors in Iran. In *2015 IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)* (pp. 494-500). IEEE.
- Sepahvand, M., Assodar, M.A., HajiDolu, A., Kazemi, N., & Marzban, A. (2011). Technical, economic and environmental study of solar water heaters in Khuzestan province. *The first national conference on mechanization and new technologies in agriculture, Ahvaz*, 27-29 February. (in Persian)
- ShahHosseini, S., & Taghipour, H. (2014). Economic study and analysis of solar energy use in greenhouses in Golestan province. *The First National Conference on the Position of Management and Accounting in the New World of Business, Economics and Culture, Islamic Azad University, Aliabad Katoul Branch*, 29 August. (in Persian)
- Şerban, A., Bărbuță-Mișu, N., Ciucescu, N., Paraschiv, S., & Paraschiv, S. (2016). Economic and environmental analysis of investing in solar water heating systems. *Sustainability*, 8(12), 1286.
- Soulayman, S., & Sabbagh, W. (2015). Optimum Tilt Angle at Tropical Region. *International Journal of Renewable Energy Development*, 4(1).
- Yousefi, H., Roumi, S., Tabasi, S., & Hamlehdar, M. (2018). Economic and air pollution effects of city council legislations on renewable energy utilisation in Tehran. *International Journal of Ambient Energy*, 39(6), 626-631.
- Zang, H., Guo, M., Wei, Z., & Sun, G. (2016). Determination of the optimal tilt angle of solar collectors for different climates of china. *Sustainability*, 8(7), 654.
- Zareai, GH., Momeni, D., & JavadiMoghadam, J. (2019). Comprehensive location guide for greenhouse construction. *Karaj, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Education and Extension Institute, Agricultural Education Publishing*. (in Persian)

Research Paper

The Technical and Economic Study of a Solar System for Heating Greenhouses in the South of Kerman

M. Mokhtari Sataei, H. Bahrami*, M. J. Sheikh Davoudi, D. Momeni and M. Soleimani

*Corresponding Author: Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: bahrami16@gmail.com.

Received: 28 April 2021, Accepted: 10 July 2021

[http://doi: 10.22092/AMSR.2021.354382.1383](http://doi:10.22092/AMSR.2021.354382.1383)

Abstract

In this study, technical and economical potential of using solar energy for heating cucumber greenhouses in Jiroft region were studied. For this purpose, the climatic suitability of the region was determined. According to the data and thermal requirement of greenhouse, capacity of a flat panel solar water heater was calculated and was compared with the conventional system, gasoil heater. The results of paired t-test showed that there was no significant difference between the two greenhouses in terms of CO₂ content, average temperature and relative humidity, but there were significant differences in terms of chlorophyll content and yield between the two greenhouses, at the probability level of one and five percent, respectively. There was a significant difference, with a higher average of conventional system. The results of data analysis in Kamfar software showed that in terms of economic indicators, the use of solar water heaters for heating greenhouses in this area is justifiable in the fifth year and the return on investment is 5.32 years.

Keywords: Climatic Suitability, Diesel Heater, Evaluation, Greenhouse Heating, Solar Water Heater



© 2021 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)