

عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی مجهز به عدسی فرسnel خطی

داود مؤمنی، احمد بناکار*، برات قبادیان و سعید مینایی**

* نگارنده مسئول: دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. تلفن: ۰۲۱)۴۸۲۹۲۳۰۲، پیام‌نگار: ah_banakar@modares.ac.ir
 ** به ترتیب: دانش آموخته دکتری دانشگاه تربیت مدرس و استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ استادیار؛ استاد؛ و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس
 تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۶

چکیده

در این پژوهش عملکرد یک سامانه گرمایش خورشیدی که در ساخت آن از عدسی فرسnel خطی استفاده شده است، بررسی شد. بدین منظور در ابتدا عملکرد سامانه در پنج زاویه سمت قرارگیری و پنج شیب عدسی فرسnel خطی بررسی و با استفاده از نتایج آن، عملکرد سامانه ارزیابی شد. برای این کار، پس از تراز کردن سامانه و تنظیم زاویه‌های سمت و شیب در بهترین وضعیت به دست آمده، عملکرد سامانه در شش سطح دبی آب عبوری از لوله جاذب، شامل ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه در آذر ماه ۱۳۹۳ ارزیابی شد. در این آزمایش‌ها علاوه بر مقدار تابش خورشیدی، سرعت باد، دما و رطوبت نسبی هوا، دمای لوله جاذب و دمای آب ورودی و خروجی لوله جاذب ثبت شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد با اینکه تفاوت معنی‌داری بین دمای سیال ورودی به لوله جاذب در تیمارهای مختلف وجود نداشته است، ولی دمای سیال خروجی از لوله جاذب در تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. بهترین عملکرد سامانه در دبی ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، در وضعیت کاملاً رو به جنوب و با تنظیم زاویه شیب عدسی به صورت ماهانه به دست آمد. بررسی ضرایب همبستگی داده‌ها نیز نشان می‌دهد که بیشترین اثرگذاری افزایش شدت تابش خورشید به ترتیب روی افزایش دمای هوا، افزایش دمای لوله جاذب، افزایش دمای سیال خروجی و افزایش دمای سیال ورودی با ضرایب ۰/۹۱، ۰/۸۹۵، ۰/۸۶ و ۰/۸۴ است.

واژه‌های کلیدی

دبی آب، زاویه سمت قرارگیری، زاویه شیب، سامانه گرمایش خورشیدی، عدسی فرسnel

مقدمه

آگوستین جین فرسنل در سال ۱۸۲۲ ساخته شد (Chemisana et al., 2011, 2012). در ساخت عدسی فرسnel نسبت به عدسی‌های معمولی، مواد کمتری به کار رفته است، بنابراین باریک‌تر و سبک‌تر از عدسی معمولی است؛ در نتیجه، هزینه‌های شاسی و ردیاب در آنها کمتر است. همچنین در عدسی‌های فرسnel توانایی جداسازی تابش‌های مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد؛ از این رو در

یکی از راه‌های بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، استفاده از جمع‌کننده‌ها^۱ است که در طول روز آب را گرم می‌کنند. جمع‌کننده‌ها به دو دسته، یکی صفحه تخت^۲ و دیگری متمرکزکننده^۳ طبقه‌بندی می‌شوند (Duffie & Beckman, 2013). یکی از انواع متمرکزکننده‌های ساخته شده، عدسی فرسnel^۴ است که توسط

1- Collectors
3- Concentrator Collectors

2- Flat Collectors
4- Fresnel Lens

برخی از اقلیم‌ها کافی نبود. از می و همکاران (Azmi *et al.*, 2001) زاویه شیب بهینه جمع‌کننده را در ماه‌های مختلف برای برونئی دارالسلام ۱۰ تا ۱۵ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی گزارش کردند. نتایج مطالعات آنها با نتایج مطالعات نیجگورودف متفاوت است و دلیل این اختلاف را متفاوت بودن شرایط اقلیمی می‌دانند. نتایج تحقیق این پژوهشگران نشان داد در آن کشور تنظیم ماهانه و سالانه زاویه شیب جمع‌کننده، در مقایسه با جمع‌کننده‌های ثابت، به ترتیب باعث افزایش ۳/۹ و ۴/۵ درصد جذب انرژی تابشی می‌شود. تانگ و تونگ (Tang & Tong, 2004) زاویه شیب بهینه را برای جمع‌کننده‌های خورشیدی در کشور چین در زمستان ۱۸ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی و در تابستان ۲۵ درجه کمتر از عرض جغرافیایی گزارش کردند. این محققان بدین نتیجه رسیدند که قرار دادن جمع‌کننده در شیبی برابر با عرض جغرافیایی منطقه، نسبت به جمع‌کننده‌های افقی، باعث افزایش ۴۰ درصدی در بازده دستگاه می‌گردد. شیکر (Sheiker, 2009) در تحقیقی در مورد زاویه سمت بهینه برای جمع‌کننده‌های خورشیدی در سوریه بدین نتیجه رسید که وقتی سامانه رو به جنوب قرار گیرد، مقدار انرژی تابشی به دست آمده در حالت تنظیم ماهانه نسبت به وقتی که جمع‌کننده در شرایط افقی قرار می‌گیرد، ۲۸ درصد بیشتر است. مقایسه دو آبگرمکن مشابه در کشور چین با زاویه‌های شیب ۲۲ و ۴۶ درجه نشان داد که راندمان حرارتی هر دو بالاست اما انرژی دریافتی روزانه آنها متفاوت است. آبگرمکن دارای زاویه شیب ۲۲ درجه برای بعدازظهر و آبگرمکن دارای زاویه سمت ۴۶ درجه برای صبح دارای بهترین شرایط جذب نور خورشید بودند (Tang *et al.*, 2011). بن غانم (Benghanem, 2011) زاویه شیب بهینه ثابت، برای جمع‌کننده‌های خورشیدی را برای شهر مدینه در کشور عربستان از نظر عددی برابر عرض جغرافیایی محلی

قیاس با عدسی معمولی هم‌اندازه، دمای بالاتری ایجاد می‌کند (Leutz & Suzuki, 2001). در گذشته، ساخت این عدسی‌ها با دشواری همراه بود اما امروزه با پیشرفت سامانه‌های ساخت رایانه‌ای پیشرفته و مواد پلیمری، ساخت این محصول آسان‌تر شده است (Madhugiri & Karale, 2012).

تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تنظیم زاویه شیب جمع‌کننده^۱، زاویه سمت قرارگیری^۲ سامانه و دبی سیال عبوری از لوله جاذب، نقش مهمی در بیشینه کردن دمای سیال خروجی جمع‌کننده دارند. به همین دلیل در این خصوص مطالعات زیادی در مناطق مختلف صورت گرفته است. کیو و ریفات (Qiu & Riffat, 2003) به این نتیجه رسیدند که بیشترین دریافت تابش‌های خورشیدی در زاویه ۱۰ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی محل به دست می‌آید. مونکوس (Moncos, 1994) در تحقیقی در مصر با هشت بار تنظیم شیب جمع‌کننده در سال توانست در قیاس با جمع‌کننده ثابت، ۶/۸۵ درصد تابش‌های بیشتری را دریافت کند. عبدالعزیز (Abdulaziz, 1994) گزارش کرد که تنظیم فصلی شیب جمع‌کننده، تابش‌های دریافتی را نسبت به حالت افقی به میزان ده درصد افزایش می‌دهد. اولادیران (Oladiran, 1995) روی متوسط تابش دریافتی در سه منطقه نیجریه مطالعه کرد و گزارش داد که در زاویه ۱۰ درجه کمتر از عرض جغرافیایی، بیشترین تابش جذب شده است. نیجگورودف و همکاران (Nijegorodov *et al.*, 1997) بدین نتیجه رسیدند که برای به دست آوردن بیشترین تابش‌ها، تنظیم سالانه صفحات مناسب نیست و بایستی این تنظیمات به صورت ماهانه انجام شود. این محققان در پژوهش خود دوازده معادله برای تنظیم شیب صفحات در ماه‌های مختلف ارائه کردند. با توجه به اینکه زاویه بهینه شیب جمع‌کننده خورشیدی به شرایط اقلیمی، عرض جغرافیایی و طول دوره استفاده از سامانه ارتباط دارد، دقت معادلات آنها در

شرایط محیطی محل اجرای آزمایش مانند رطوبت نسبی هوا، دمای هوا و سرعت باد، در روز آزمایش تأثیر بسیار کمی بر بازده حرارتی سامانه دارند و قابل اغماض هستند. با توجه به جدید بودن این سامانه گرمایش خورشیدی مجهز به عدسی فرسnel خطی و نبود ارزیابی‌های مشابه در بررسی‌های صورت گرفته در منابع علمی، ضروری بود پس از محاسبات نظری و ساخت سامانه به صورت قابل تنظیم برای کلیه مناطق جغرافیایی ایران، عملکرد آن به صورت عملی نیز بررسی و ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

به منظور اجرای این پژوهش، اطلاعات هواشناسی بلندمدت مورد نیاز است. لذا آمار و اطلاعات لازم در بازه زمانی بلندمدت ۲۲ سال (از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۵) از پایگاه داده‌های هواشناسی ناسا استخراج شد. این اطلاعات شامل میزان تابش خورشیدی روزانه در سطح افق، میزان تابش خورشیدی ظهر در سطح افق، تابش خورشیدی در سطح افق با آسمان صاف، شاخص صافی آسمان، مقدار متوسط تابش مستقیم خورشیدی، زمان ظهر خورشیدی، متوسط دمای هوا و سرعت باد هستند. با استفاده از این داده‌ها بهترین شیب عدسی فرسnel برای سامانه ساخته شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس (جدول ۱) به صورت نظری محاسبه شد. برای این کار با استفاده از آمار بلندمدت هواشناسی استخراج شده، مقدار تابش برون جوی در سطح افق محاسبه شد. از مقادیر محاسبه شده با توجه به شاخص صافی آسمان در ماه مربوط و شیب‌های مختلف عدسی فرسnel، مقدار تابش مستقیم رسیده به عدسی به دست آمد و از روی آن بهترین شیب عدسی در هر ماه تعیین شد. به منظور ارزیابی عملی داده‌های به دست آمده و نیز تعیین قابلیت کارکرد سامانه در کلیه عرض‌های جغرافیایی داخل کشور، پایه‌های دستگاه به گونه‌ای ساخته شدند تا قابلیت تنظیم

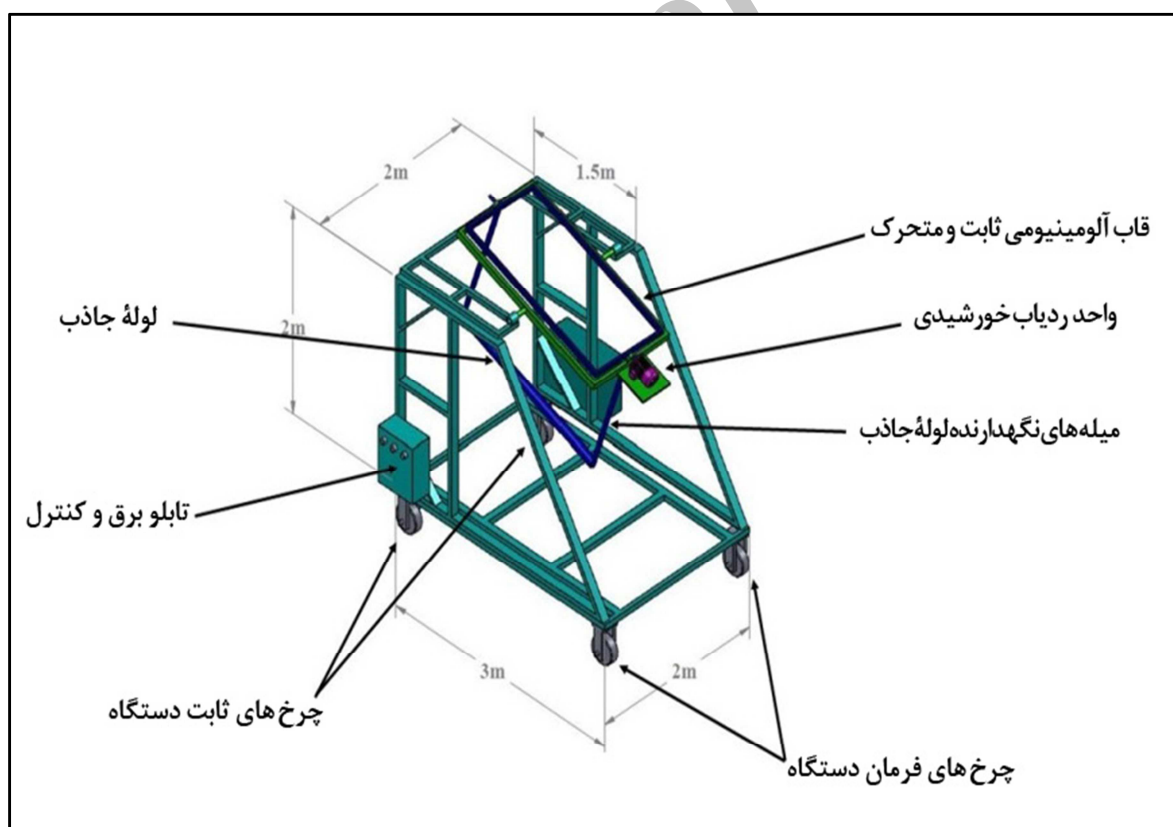
پیشنهاد کرد؛ ولی زاویه شیب بهینه در تابستان برای این شهر ۱۲ درجه و در زمستان ۳۷ درجه گزارش شده است. طالبی‌زاده و همکاران (Talebizadeh *et al.*, 2011) و شرافتی (Sherafati, 2013) با استفاده از آمار بلندمدت هواشناسی ایران، بهترین زاویه سمت قرارگیری سامانه در کرج را صفر درجه و بهترین زاویه شیب صفحه در ماه‌های مختلف را به دست آوردند. شعبان و همکاران (Chabane *et al.*, 2012) اثر زاویه شیب صفحه را در یک جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت در الجزایر آزمایش کردند و با قرار دادن جمع‌کننده در زاویه‌ای برابر با عرض جغرافیایی منطقه توانستند دمای هوا را از ۴۶ به ۷۴ درجه سلسیوس برسانند. باکی‌چی (Bakirci, 2012) برای تعیین مناسب‌ترین زاویه شیب جمع‌کننده‌های خورشیدی، محاسباتی را در هشت استان ترکیه انجام داد و در پژوهش خود مقدار تابش جذب شده روی جمع‌کننده‌ها را در زاویه‌های صفر تا ۹۰ درجه محاسبه کرد و بدین نتیجه رسید که بیشترین جذب تابش‌های خورشیدی در این استان‌ها در زوایای صفر تا ۶۵ درجه به دست می‌آید. کمترین زاویه، صفر درجه، برای ماه‌های ژوئن و ژوئیه و بیشترین زاویه، ۶۵ درجه، در ماه دسامبر تعیین شده است. دوستوچوک و همکاران (Dostucok *et al.*, 2014) یک سامانه ردیاب آینه‌ای برای جمع‌کننده خورشیدی مجهز به عدسی فرسnel را در ترکیه آزمایش کردند. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که در دبی ۱۵۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه بیشترین اختلاف دمای آب ورودی و خروجی به سامانه در ساعت ۱۴:۰۰ است که دمای آب از ۱۹/۶ درجه سلسیوس (در ورودی) به ۴۲/۶ درجه سلسیوس (در خروجی) رسیده است. بیشینه بازده حرارتی نیز حدود ۳۴ درصد بود و این بیانگر بالاتر بودن بازده حرارتی در جمع‌کننده مجهز به عدسی فرسnel نسبت به جمع‌کننده‌های غیر متمرکزکننده است که بازدهی کمتر از ۲۵ درصد دارند. نتایج آزمایش همچنین نشان داد که

خورشیدی روی لوله جاذب، پیچ‌های تنظیم برای جا به جایی زیاد لوله جاذب، در محدوده صفر تا ۲۵ سانتی‌متر و جابه‌جایی کم لوله جاذب، در محدوده صفر تا ۵۰ میلی‌متر، روی پایه‌های نگهدارنده آن نصب شدند (شکل ۳).

برای هر عرض جغرافیایی در ایران را داشته باشند. برای این کار دو پیچ تنظیم روی دستگاه نصب شد که با استفاده از آنها و یک گونیای فلزی، زاویه شیب عدسی در وضعیت دلخواه تنظیم شود (شکل‌های ۱ و ۲). همچنین به منظور افزایش دقت در تمرکز تابش‌های

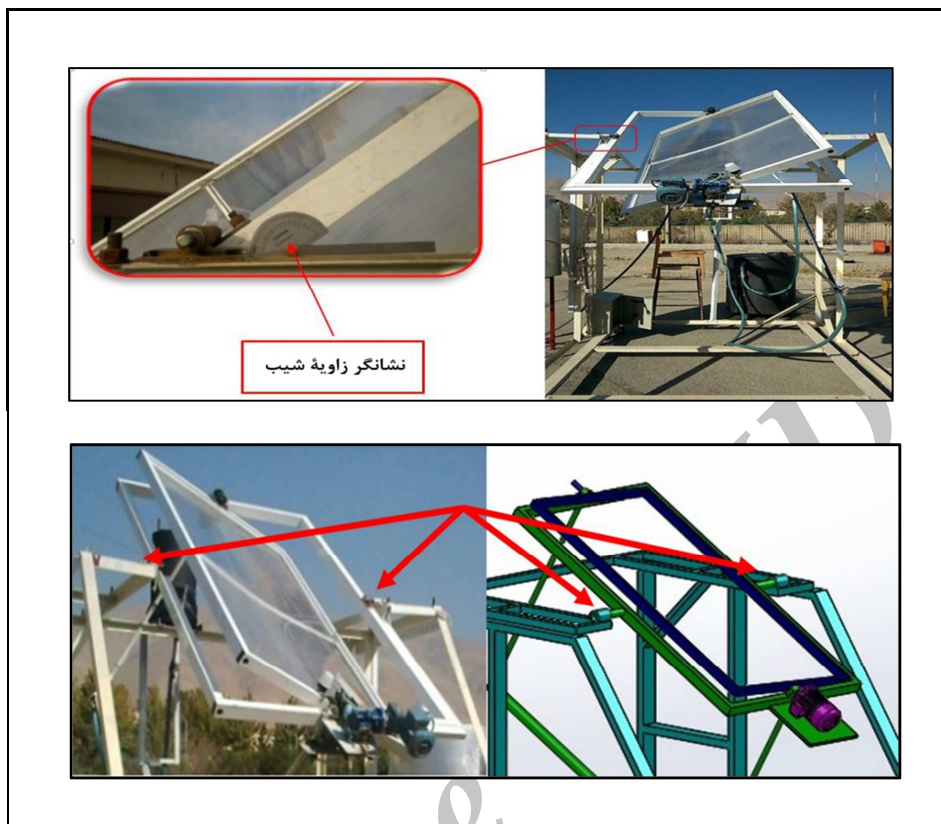
جدول ۱- بهترین زاویه شیب عدسی محاسبه شده برای محل اجرای پژوهش

ماه	مهر (اکتبر)	آبان (نوامبر)	آذر (دسامبر)	دی (ژانویه)	بهمن (فوریه)	اسفند (مارس)	فروردین (آوریل)
زاویه شیب عدسی (درجه)	۴۵	۵۵	۶۵	۶۵	۵۵	۳۵	۲۵

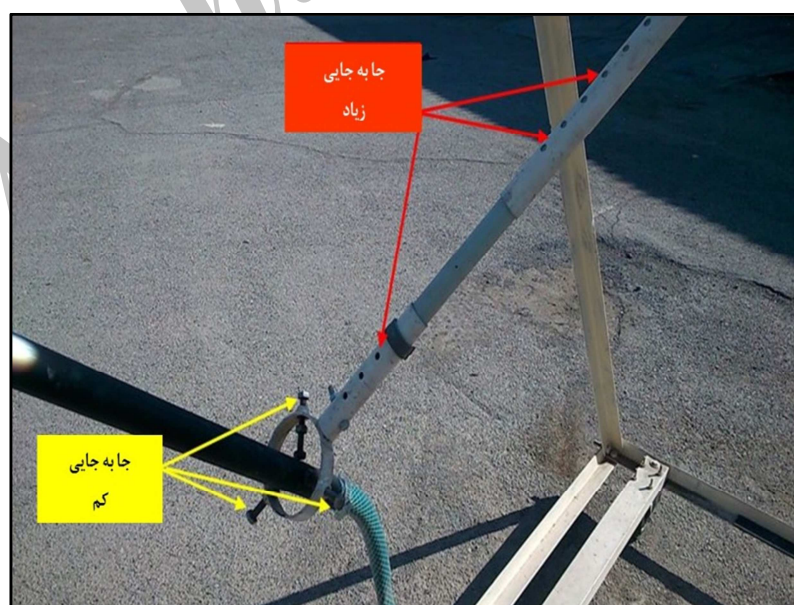


شکل ۱- اجزای سامانه گرمایش خورشیدی ساخته شده

عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی مجهز...



شکل ۲- پیچ‌های تنظیم زاویه شیب (شکل بالا) و نشانگر مقدار زاویه شیب عدسی (شکل پایین)



شکل ۳- پیچ‌های تنظیم برای جابه‌جایی‌های زیاد و کم لوله جاذب

سامانه و تنظیم آن مطابق نتایج به دست آمده در آزمون‌های قبلی، با استفاده از شیرهای تنظیم دبی (شکل ۴)، عملکرد سامانه در شش دبی ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه در آذر ماه ۱۳۹۳ ارزیابی شد. در این آزمایش علاوه بر مقدار تابش خورشیدی، سرعت باد، دما و رطوبت نسبی هوا، دمای آب ورودی به و خروجی از لوله جاذب ثبت شدند.

برای ارزیابی داده‌های نظری، عملکرد سامانه در پنج زاویه سمت قرارگیری شامل: پنج وضعیت کاملاً رو به جنوب، ۱۰ و ۲۰ درجه انحراف به شرق و غرب و پنج زاویه مختلف شیب عدسی شامل ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه، بررسی شدند. در دو آزمایش اول، دبی پمپ با استفاده از شیرهای تنظیم روی ۲۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه ثابت نگه داشته شد. در آزمایش نهایی، پس از تراز کردن



شکل ۴- شیرهای تنظیم دبی در سامانه گرمایش خورشیدی

آن در گرم کردن آب ضعیف‌تر است. به عبارت دیگر تفاوت در زاویه سمت قرارگیری سامانه، باعث می‌شود تا اثرگذاری تابش‌های خورشیدی روی لوله جاذب نیز تغییر کند که منجر به اختلاف معنی‌دار در گرم شدن لوله جاذب و آب گرم خروجی از سامانه شده به طوری که دمای لوله جاذب در حالت کاملاً رو به جنوب بالاترین است و انحراف از این وضعیت به شرق و غرب باعث کمتر گرم شدن لوله جاذب از سامانه گردیده است. این نکته با نتایج مطالعات سایر محققان (Sheiker, 2009; Chabane *et al.*, 2012) مطابقت

نتایج و بحث

بررسی عملکرد سامانه در زاویه‌های مختلف سمت قرارگیری (شکل ۵) و زاویه‌های مختلف شیب عدسی (شکل ۶) نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین دمای سیال ورودی به لوله جاذب در تیمارهای مختلف وجود ندارد. بر اساس نتایج به دست آمده، دمای سیال خروجی از لوله جاذب در تیمارهای مختلف معنی‌دار است. نتایج بررسی عملکرد سامانه در زاویه‌های مختلف سمت قرارگیری (شکل ۵) حاکی از این است که هر چه سامانه از وضعیت کاملاً جنوبی انحراف بیشتری داشته است عملکرد

(Bakirci, 2012). از طرف دیگر تطابق نتایج آزمون‌ها با زوایای محاسبه شده به صورت نظری و یافته‌های سایر محققان، نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های بلند مدت هواشناسی برای برآورد بهترین زاویه شیب عدسی روش مناسبی است (Talebizadeh et al., 2011).

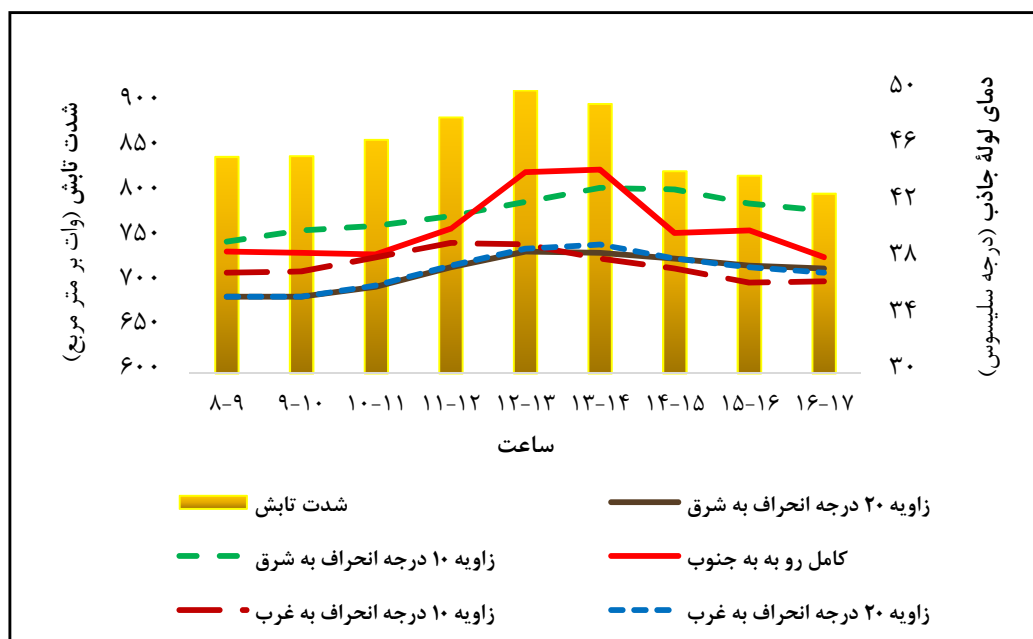
بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس اثر دبی بر عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی (جدول ۲) نشان می‌دهد که وضعیت تابش، سرعت باد و دمای هوا در روزهای آزمایش برای همه تیمارها یکسان بوده و اختلاف معنی‌دار نداشته است، اما رطوبت نسبی هوا در هر سه آزمایش از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است که می‌تواند ناشی از جبهه‌های رطوبتی وارد شده به منطقه و نیز آبیاری فضای سبز اطراف محل آزمایش باشد. این تاثیرات محیطی یکسان باعث شده است تا در کلیه تیمارها، سیال ورودی با دمای یکسان وارد سامانه گردد و اثر معنی‌دار در سطح آماری یک درصد بر دمای خروجی سیال از سامانه مشاهده شود.

داشته است. نتایج بررسی عملکرد سامانه در زاویه‌های مختلف شیب عدسی (شکل ۶) نیز بیانگر این نکته است که وقتی زاویه شیب عدسی ۱۰ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی است، لوله جاذب بالاترین دما را دارد. تنظیم شیب عدسی در زوایایی کمتر از عرض جغرافیایی باعث کم شدن دمای لوله جاذب از سامانه می‌شود. تطابق این نتیجه با یافته‌های تحقیقاتی که در آن بر تنظیمات ماهانه زاویه شیب تاکید شده (Chinnery, 1981; Azmi et al., 2001; Qiu & Riffat 2003; Talebizadeh et al., 2011) و تطابق نداشتن با نتیجه تحقیق تعدادی دیگر از محققان که در آن زاویه شیب را به صورت فصلی یا سالانه تنظیم کرده‌اند (Lunde 1980; Abdulaziz 1994; Oladiran 1995) عده‌ای در هر منطقه نیاز به تنظیم دارد و تنظیمات ماهانه شیب از تنظیم فصلی و سالانه مناسب‌تر است (Moncos, 1994; Nijegorodov et al., 1997; Tang & Tong, 2004; Benghanem, 2011; Tang et al., 2011;

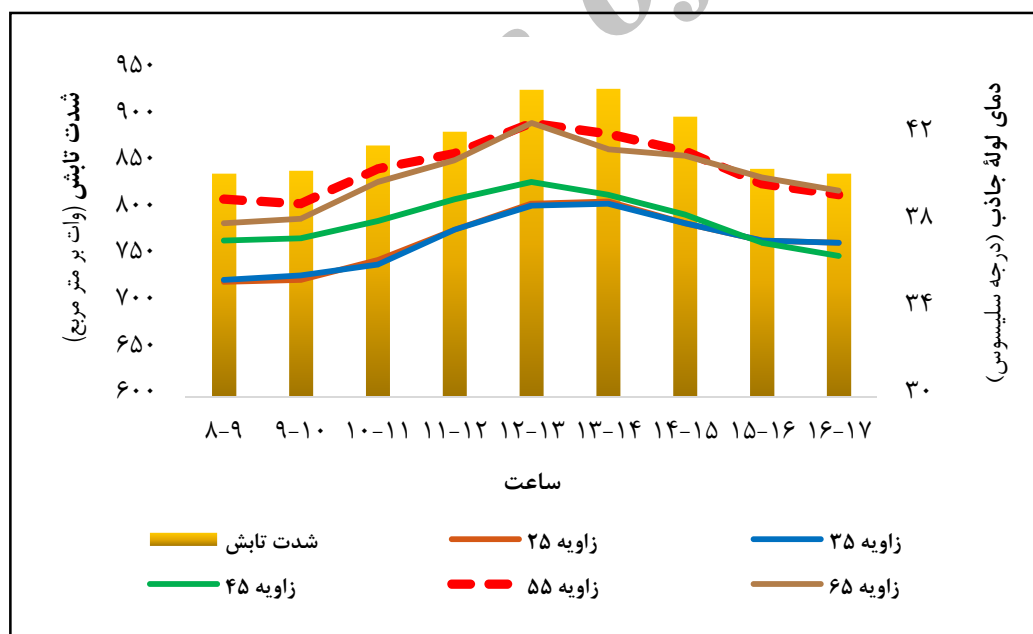
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر دبی بر عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
دمای سیال خروجی از سامانه	دمای سیال ورودی به سامانه	رطوبت نسبی هوا	دمای هوا	سرعت باد	تابش خورشید		
۲۱۰/۱۱**	۱/۰۰۸**	۰/۷۲**	۱/۶۳**	۰/۰۳*	۱۶۱۴۲/۸۲**	۱۰	تکرار
۱۵۲/۷۷**	۰/۷۶۸ ^{ns}	۱/۹۳**	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۰۵۴ ^{ns}	۱۴۲/۶۹ ^{ns}	۵	تیمار
۲۵/۱۱	۱۲/۸۵	۲۶/۵۱	۱۱/۵۳	۱/۶۱	۸۱۷/۲۹		میانگین داده‌ها
۵/۳۵	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۷۴	۵/۵	۰/۸۸		ضریب تغییرات (درصد)
۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۸۹	۰/۵۹	۰/۹۸		ضریب تبیین

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ^{ns} نبود اختلاف معنی‌دار



شکل ۵- عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی در زاویه‌های مختلف سمت قرارگیری، مهر ۱۳۹۳



شکل ۶- عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی در زاویه‌های مختلف شیب عدسی فرستل، آبان ۱۳۹۳

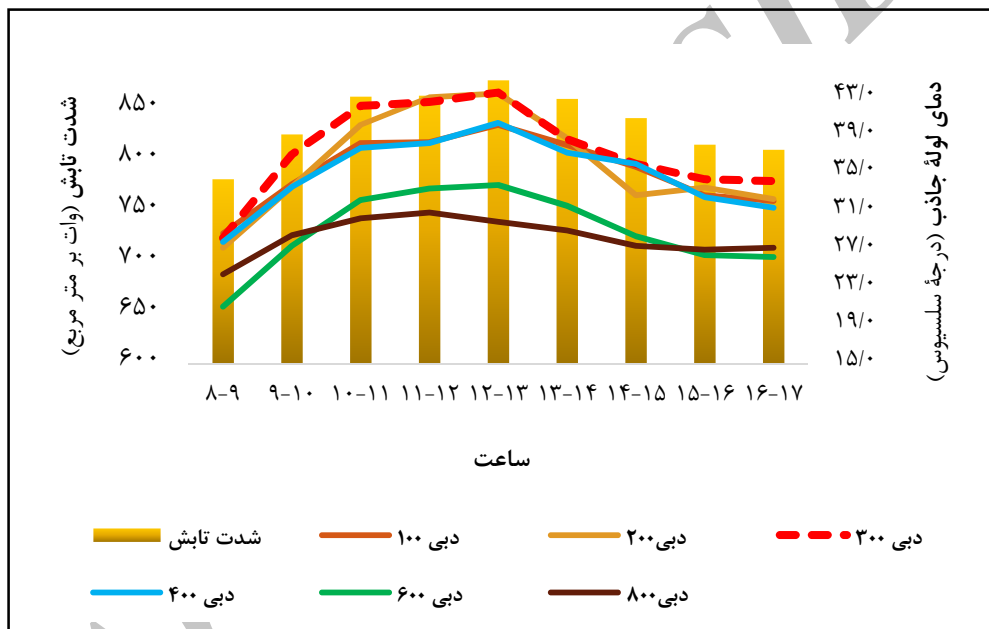
این جدول نشان می‌دهد که دمای سیال خروجی از لوله جاذب در تیمارهای مختلف معنی‌دار است و بیشترین افزایش دما در دبی ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه دیده می‌شود.

بررسی اثر دبی‌های مختلف بر عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی (جدول ۳) نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین دمای سیال ورودی به لوله جاذب در تیمارهای مختلف وجود ندارد. همچنین نتایج

جدول ۳- اثر دبی‌های مختلف بر عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی

دمای سیال ورودی	دمای سیال خروجی	دمای سطح	تیمار
به لوله جاذب	از لوله جاذب	لوله جاذب	
(درجه سلسیوس)	(درجه سلسیوس)	(درجه سلسیوس)	
۱۲/۷ ^A	۲۶/۸۶ ^C	۲۹/۴۹ ^B	دبی ۱۰۰ میلی لیتر بر دقیقه
۱۲/۶۹ ^A	۲۷/۴۴ ^B	۳۰/۰۶ ^A	دبی ۲۰۰ میلی لیتر بر دقیقه
۱۳/۱۲ ^A	۲۸/۵۹ ^A	۳۰/۲۶ ^A	دبی ۳۰۰ میلی لیتر بر دقیقه
۱۲/۵۳ ^A	۲۶/۵۷ ^C	۲۹/۲ ^B	دبی ۴۰۰ میلی لیتر بر دقیقه
۱۲/۸۸ ^A	۲۱/۰ ^D	۲۴/۹ ^C	دبی ۶۰۰ میلی لیتر بر دقیقه
۱۳/۱۷ ^A	۲۰/۲۱ ^D	۲۴/۶ ^C	دبی ۸۰۰ میلی لیتر بر دقیقه

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.



شکل ۷- عملکرد سامانه گرمایش خورشیدی در دبی‌های مختلف، آذر ۱۳۹۳

رطوبت نسبی هوا، افزایش دمای سیال ورودی به سامانه و خروجی از سامانه و افزایش دمای سطح لوله جاذب شده است به طوری که در دبی‌های مختلف بیشترین اثر افزایش تابش‌های خورشیدی به ترتیب روی افزایش دمای هوا، افزایش دمای لوله جاذب، افزایش دمای سیال خروجی و افزایش دمای سیال ورودی با ضرایب همبستگی ۰/۹۱، ۰/۸۹۵، ۰/۸۶ و ۰/۸۴ دیده می‌شود. همچنین، نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین اثر روی دمای سیال خروجی از سامانه، ناشی از دمای لوله جاذب (۰/۹۸۹)،

بررسی نتایج به دست آمده از دمای لوله جاذب در طول روز (شکل ۷) نشان می‌دهد که بالاترین دمای لوله جاذب در دبی‌های مختلف، در ساعت ۱۲-۱۳ بوده که بیشترین شدت تابش‌های خورشیدی وجود داشته است. این نتیجه با یافته سایر محققان (Chabane et al., 2012; Dostucok et al., 2014) تطابق دارد.

بررسی ضرایب همبستگی بین پارامترها در دبی‌های مختلف (جدول ۴) نشان می‌دهد که افزایش تابش خورشیدی در طول روز باعث افزایش دمای هوا، کاهش

شدت تابش خورشیدی (۰/۸۶) و دمای هوا (۰/۸۱) است. با یافته دوستوچوک و همکاران (Dostucok *et al.*, 2014) از سوی دیگر بررسی نتایج این جدول نشان می‌دهد که بیشترین اثرپذیری تغییرات دمای لوله جاذب ناشی از شدت تابش خورشیدی (۰/۸۹۵)، دمای هوا (۰/۸۵) و دمای سیال ورودی (۰/۶۸۹) است که

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون در آزمایش بررسی اثر دبی‌های مختلف بر عملکرد سامانه

تابش خورشیدی	سرعت باد	دمای هوا	رطوبت نسبی هوا	دمای سیال ورودی به لوله جاذب	دمای سیال خروجی از لوله جاذب	دمای سطح لوله جاذب
۱	۰/۴۶**	۰/۹۱**	-۰/۶۱**	۰/۸۴**	۰/۸۶**	۰/۸۹۵**
۰/۴۶**	۱	۰/۳۱۴ ^{ns}	-۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۴۷ ^{ns}	۰/۲۵۲ ^{ns}	۰/۳۰۵ ^{ns}
۰/۹۱**	۰/۳۱۴ ^{ns}	۱	-۰/۷۹**	۰/۸۲**	۰/۸۱**	۰/۸۵**
-۰/۶۱**	-۰/۰۱ ^{ns}	-۰/۷۹**	۱	-۰/۷۰۳**	-۰/۵۸**	-۰/۵۹۹**
۰/۸۴**	۰/۲۴۷ ^{ns}	۰/۸۲**	-۰/۷۰۳**	۱	۰/۶۴**	۰/۶۸۹**
۰/۸۶**	۰/۲۵۲ ^{ns}	۰/۸۱**	-۰/۵۸**	۰/۶۴**	۱	۰/۹۸۹**
۰/۸۹۵**	۰/۳۰۵ ^{ns}	۰/۸۵**	-۰/۵۹۹**	۰/۶۸۹**	۰/۹۸۹**	۱

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ^{ns}: نبود اختلاف معنی‌دار

نتیجه‌گیری

بهترین عملکرد سامانه در دبی ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، در وضعیت کاملاً رو به جنوب و با تنظیم زاویه تابش خورشیدی، دمای هوا و دمای سیال ورودی است. بیشترین اثرپذیری تغییرات دمای لوله جاذب ناشی از شدت تابش

قدردانی

از دانشگاه تربیت مدرس، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت که از اجرای این تحقیق حمایت کردند، قدردانی می‌گردد.

مراجع

- Abdulaziz, M. 1994. Optimum tilt angle for solar collection systems. *Int. J. Solar Energy*. 14, 191-202.
- Azmi, M., Yakup, M. and Malik, A. Q. 2001. Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. *Renew. Energ.* 24, 223-234.
- Bakirci, K. 2012. General models for optimum tilt angles of solar panels: *Renew. Sust. Energ. Rev.* 16, 6149-6159.
- Benghanem, M. 2011. Optimization of Tilt Angle for Solar Panel: Case Study for Madinah, Saudi Arabia. *App. Energ.* 88, 1427-1433.

- Chabane, F., Moumami, N., Benramache, S. 2012. Effect of the Tilt Angle of Natural Convection in a Solar Collector with Internal Longitudinal Fins. *Int. J. Sci. Eng. Invest.* 1 (7): 7-13.
- Chemisana, D., Lamnatou, C. and Tripanagnostopoulos, Y. 2011. The effect of Fresnel lens – solar absorber systems in greenhouse. *The Proceeding of International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems.* June. 5-10. Greece.
- Chemisana, D., Lamnatou, D. and Tripanagnostopoulos, Y. 2012. Fresnel Solar Concentrators for Agriculture Applications. *International Conference of Agricultural Engineering, CIGR, AgEng.* July. 8-12. Valencia Conference Center, Valencia, Spain.
- Chinnery, D. 1981. Solar heating in South Africa. CSIR-Research Report NO. 248. Pretoria.
- Dostucok, I., Selbas, R. and Sahin, V. 2014. Experimental investigation of a linear Fresnel collector system. *J. Therm. Sci. Technol.* 34(1): 77-83.
- Duffie, J. and W., Beckman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes.* 4th Ed.
- Leutz, R. and A. Suzuki. 2001. *Non Imaging Fresnel Lenses: Design and Performance of Solar Concentrators,* Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Lunde, P. 1980. *Solar Thermal Engineering.* John Wiley and Sons Inc, New York.
- Madhugiri, G. A. and Karale, S. R. 2012. High solar energy concentration with a Fresnel lens: A Review. *Int. J. Modern Eng. Res.* 2(3): 1381-1385.
- Moncos, V. 1994. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Assiut/Egypt. *Renew. Energ.* 14(3): 291-298.
- Nijegorodov, N., Devan, K. and Jain, P. 1997. Atmospheric transmittance models and an analytical method to predict the optimum slope on an absorber plate. *Renew. Energ.* 4, 525-530.
- Oladiran, M. 1995. Mean global radiation captured by inclined collectors at various surface azimuth angles in Nigeria. *App. Energ.* 52(4): 317-330.
- Qiu, G. and Riffat, S. B. 2003. Optimum tilt angle of solar collectors and its impact on performance. *Int. J. Ambient Energ.* 24, 13-20.
- Sherafati, K. 2013. Determining Technical Parameters of the Solar Water Heater and Related Thermal Energy Storage Systems for Solar Greenhouses. Final Report NO. 44126. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj. Iran. (in Persian)
- Sheiker, K. 2009. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energ. Convers. Manage.* 50, 2439-2448.
- Talebizadeh, P., Abdolzadeh, M. and Mehrabian, M. A. 2011. Determination of optimum slope angles of solar collectors based on new correlations. *Energ. Sourc. Part A.* 33, 1567-1580.
- Tang, R. and Tong, W. 2004. Optimal Tilt-Angles for Solar Collectors Used in China. *App. Energ.* 79, 239-248.
- Tang, R., Yang, Y. and Gao, W. 2011. Comparative Studies on Thermal Performance of Water-in-glass Evacuated Tube Solar Water Heaters with Different Collector Tilt-angles. *Solar Energ.* 85, 1381-1389.

Solar Heating System with a Linear Fresnel Lens

D. Momeni, A. Banakar^{*}, B. Ghobadian and S. Minaei

^{*} Corresponding Author: Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Email: ah_banakar@modares.ac.ir

Received: 12 April 2015, Accepted: 28 October 2015

The present study evaluated the performance of a novel solar heating system. A linear Fresnel lens was used to concentrate the heat in this system. Pre-experimentation tested the performance of the system at 5 alignment angles and 5 slope angles. The data was used to evaluate the performance of the system in December 2014 at 6 flow rates (100, 200, 300, 400, 600, and 800 ml.min⁻¹). In these experiments, solar radiation, wind velocity, temperature of fluid in collector, ambient temperature, and ambient relative humidity were recorded. The results demonstrated that the best performance of the system was at a 300 ml.min⁻¹ flow rate, due south orientation, and with monthly adjustment of the slope of the lens. The correlation between the parameters indicated that at different flow rates, the effect of solar radiation on the temperature of the ambient air, heat-absorber pipe, output fluid, and input fluid were 0.91, 0.895, 0.86 and 0.84, respectively.

Keyword: Alignment Angle, Flow Rate, Fresnel Lens, Slope Angle, Solar Heating System