

بررسی تجربی اثر نانوذره روی اکسید و پارامترهای فرایندی بر عملکرد گرمای کلکتور خورشیدی صفحه تخت

حسن زارع علی آبادی*، مجتبی ساعی مقدم

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان ایران

چکیده: انرژی خورشید به دلیل تجدید پذیر بودن و نداشتن خطر آلودگی محیط زیست مناسب‌ترین گزینه برای تامین انرژی بشر محسوب می‌شود. البته مشکل‌هایی از جمله بازده پایین و چگونگی تبدیل این انرژی گرمایی به اشکال دیگر انرژی وجود دارد. کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت از جمله مهم‌ترین وسایل جذب انرژی گرمایی خورشیدی برای مصرف‌های صنعتی و خانگی هستند. در این پژوهش عملکرد گرمایی یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با استفاده از نانوذره روی اکسید در سیال پایه آب + اتیلن گلیکول به عنوان سیال عامل بررسی شده است. هدف از انجام این پژوهش بهبود عملکرد گرمایی و چگونگی بالا بردن بازده گرمایی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت بود. ابتدا آزمایش‌هایی در حضور سیال عامل ترکیبی ۶۵٪ آب + ۳۵٪ اتیلن گلیکول صنعتی بدون نانوذره انجام شد و بازدهی کلکتور به دست آمد و در ادامه بازده کلکتور در حضور نانوذره روی اکسید با درصد‌های حجمی ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ در بازه شدت جریان حجمی ۱-۵ lit/min بررسی شد. با تعیین میزان جذب گرما در حضور نانو سیال نسبت به سیال پایه خالص، اثر نانوذره و غلظت آن، همچنین سرعت نانو سیال بر بهبود عملکرد گرمایی کلکتور بررسی شد. استفاده از نانو سیال روی اکسید در ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ درصد حجمی باعث افزایش ۲۰-۴ درصدی در بازده گرمایی متوسط و ۳۳-۸٪ در بیشینه بازده کلکتور خورشیدی صفحه تخت شد. البته لازم به ذکر است هر چند در نانو سیال با درصد حجمی بیشتر، حدود ۷-۵ درصد به بازدهی متوسط گرمایی کلکتور خورشیدی اضافه شد ولی در مقابل سرعت ته نشینی نانوذره‌ها در سیال پایه را نیز بیش تر کرد.

واژگان کلیدی: کلکتور خورشیدی صفحه تخت، سیال عامل آب- اتیلن گلیکول، نانوذره روی اکسید، بازده گرمایی

KEYWORDS: flat plate solar collector, Working Fluid water- ethylene glycol, Zinc oxid nanoparticle, thermal efficiency

مقدمه

انرژی باید راهی یافت تا انرژی پراکنده آن با راندمان بالا و هزینه کم به انرژی قابل مصرف در صنعت تبدیل شود. محدود بودن سوخت‌های فسیلی و ملاحظه‌های زیست محیطی باعث شده که پژوهشگران برای استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک

انرژی خورشیدی بزرگ‌ترین منبع انرژی موجود در دسترس به شمار می‌رود. انرژی که از جانب خورشید در هر ساعت به زمین می‌تابد، بیش از کل انرژی است که ساکنان زمین در طول یک سال مصرف می‌کنند. برای بهره‌گیری از این منبع عظیم

*عهده‌دار مکاتبات

+Email: hzare@qiet.ac.ir

بر عملکرد گرمایی و هیدرودینامیکی کلکتور خورشیدی مورد بررسی قرار دادند. ایشان با تهیه نانوسیال با درصدهای وزنی ۱، ۳ و ۵ از نانوذره اکسید سیلیس ضریب هدایت گرمایی سیال و مشخصه‌های دینامیکی جریان را اندازه‌گیری نموده و همچنین با حل عددی تغییرهای دما و سرعت سیال در لوله‌های کلکتور خورشیدی را تحلیل نمودند. نتیجه‌ها نشان داد که عملکرد گرمایی نانوسیال اکسید سیلیس و آب نسبت به آب تنها بهتر بوده و با افزایش کسر جرمی نانوذره بهبود بیشتری در عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی به دست می‌آید [۴]. علی یارداش عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی با لوله‌های خلاء (ETSC) را در حضور نانوسیال‌های گوناگون مورد بررسی قرار داده و با استفاده از دینامیک سیالات محاسبه‌ای تأثیر هندسه و مشخصه‌های فنی کلکتور در عملکرد گرمایی و هیدرودینامیکی دستگاه بهینه‌سازی نموده است. در مطالعه ایشان از آب و نانوسیال‌های مبتنی بر سیال عامل آب به‌عنوان سیال انتقال گرما در کلکتور خورشیدی با ۲۴ لوله گرمایی با شیب ۳۰ درجه استفاده شد. در مطالعه ایشان از ترکیب‌های نانولوله‌های چند جداره کربنی (MWCNT)، TiO_2 ، SiO_2 و مس به‌عنوان نانوذره‌ها با نسبت‌های گوناگون حجمی در سیال عامل آب استفاده شد. نتیجه‌ها نشان داد که نانوذره‌ها باعث بهبود عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی شده و بهترین عملکرد کلکتور مربوط به حالتی است که از نانوذره مس استفاده می‌شود [۵]. چودری و همکاران به‌صورت تجربی پایداری نانوسیال منیزیم اکسید / اتیلن گلیکول-آب و تأثیر نانوذره بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی صفحه تخت (EPSC) را بررسی کردند. در این پژوهش از ستیل تری متیل آمونیوم برمید (CTAB) به‌عنوان پایدارساز استفاده شد. میزان پایداری نانوسیال نسبت به زمان و همچنین عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی بر حسب غلظت نانوذره اکسید منیزیم و در بازه درصد حجمی ۰/۸-۰/۴ از نانوذره و شدت جریان سیال بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد پایداری نانوسیال تا درصد حجمی ۰/۲ از نانوذره برای مدت ۱۵ روز مناسب بوده اما در غلظت‌های بالاتر کاهش می‌یابد. همچنین بازه گرمایی کلکتور به ۶۹/۱٪ در شرایط غلظت نانوذره ۰/۲ درصد حجمی و شدت جریان $1/5 \text{ L/min}$ می‌رسد که نشان‌دهنده افزایش ۱۶/۷ درصد در بازه گرمایی کلکتور نسبت به حالت استفاده تنها از سیال عامل اتیلن گلیکول/آب می‌باشد [۶]. ایشان در پژوهشی دیگر تأثیر نانوسیال روی اکسید/اتیلن گلیکول-آب را بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی صفحه تخت در بازه شدت جریان حجمی $150-300 \text{ L/h}$ مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه‌ها نشان داد نانوسیال

جایگزین مناسب تلاش کنند، چرا که پاک و نامحدود بودن انرژی خورشیدی از جمله عامل‌هایی هستند که توجه بیش‌تر کشورها را برای تامین انرژی به خود جلب نموده است. با استفاده از کلکتورهای خورشیدی، انرژی خورشید را می‌توان جذب کرد و به انرژی مورد نیاز خود تبدیل کرد، اما مسئله مهم در این فناوری، بالا بردن کارایی و عملکرد گرمایی دستگاه‌ها برای تولید انرژی بیشتر است. با استفاده از فناوری نانو می‌توان بازده مورد نظر را تا حدودی افزایش داد. نانوسیال‌ها، به مایع‌های پیشرفته‌ای اطلاق می‌شود که دارای مقداری کمی از نانوذره‌ها (معمولاً کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر) است که به طور یکنواخت و پایدار در مایع معلق هستند. پراکندگی مقدار کمی از نانوذره‌های جامد در مایع‌های معمولی مانند آب یا اتیلن گلیکول میزان انتقال گرما آن‌ها را به طرز چشمگیری تغییر می‌دهد. از نانوسیال‌ها برای افزایش عملکرد گرمایی بسیاری از سامانه‌های مهندسی استفاده شده است. اخیراً، از نانوسیال‌ها به‌عنوان سیال عامل برای انتقال گرما در کلکتورهای خورشیدی استفاده شده است. محمود جمیل محمد و همکاران به بررسی پیشرفت‌ها و کاربردهای اخیر نانوسیال‌ها در کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با لوله‌های خلاء پرداخته و علاوه بر بررسی کارایی کلکتورهای خورشیدی با نانوسیال‌ها، اثر نانوسیال‌ها در کلکتورهای خورشیدی از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی را مورد بحث قرار دادند. از طرفی سرانجام و چالش‌های آینده در استفاده از نانوسیال‌ها در کلکتورهای خورشیدی مورد بحث قرار گرفته است [۱]. گوپتا و همکاران، راندمان گرمایی کلکتور خورشیدی را با استفاده از نانوسیال آب-اکسید آلومینیم به‌صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با استفاده از نانوذره اکسید آلومینیم با قطر ۲۰ نانومتر و تهیه نانوسیال با چهار کسر حجمی ۰/۰۱، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵ عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی را مورد مطالعه قرار دادند که نتیجه‌های به دست آمده نشان‌دهنده افزایش در بازه گرمایی کلکتور به ترتیب ۲۲/۱، ۳۹/۶، ۲۴/۶ و ۱۸/۷۵ درصد نسبت به حالتی که تنها از سیال پایه استفاده می‌شود، شد [۲]. لیو و همکاران با استفاده از حل عددی و روش تجربی به بررسی تأثیر استفاده از نانوسیال گرافن بر پایه سیال یونی بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی جذب مستقیم در دمای کاری بالا پرداختند. نتیجه‌های آن‌ها حاکی از آن بود که نانوسیال با کسر وزنی ۰/۰۰۵ از گرافن و ارتفاع ۵ سانتی‌متر از کلکتور و تحت تابش 2000 W/m^2 ، بازده گرمایی کلکتور خورشیدی را تا ۷۰٪ افزایش می‌دهد [۳]. یان و همکاران به‌صورت تجربی تأثیر نانوذره SiO_2 در سیال عامل آب را

خورشیددی با نانوسیال مورد بررسی قرار دادند. برای تهیه داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی شبکه، ایشان در یک کار تجربی ۹ نمونه کلکتور خورشیددی با هندسه‌های متفاوت را به کار برده و متغیرهای عمق و طول کلکتور، شدت جریان و غلظت نانوسیال در گردش و نیز اختلاف دمای ایجاد شده توسط کلکتور به‌عنوان پارامترهای ورودی به شبکه برای تخمین بازده گرمایی و عدد ناسلت انتخاب نمودند. نتیجه‌های شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی نشان داد که تغییر در عمق کلکتور بین ۱۵-۵ میلی‌متر باعث افزایش ۹٪ در بازده گرمایی کلکتور شده در حالی که طول آن تأثیر ناچیزی در بازده دارد. همچنین نتیجه‌های مدل‌سازی نشان داد که استفاده از نانوسیال عملکرد گرمایی کلکتور را افزایش داده و بهترین عملکرد در حالتی است که غلظت نانوسیال معادل ۱۰۰۰ ppm باشد [۱۱].

کرمی و همکاران در پژوهشی، تأثیر نانوسیال ترکیبی $Fe_3O_4/Silica$ بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیددی جذب مستقیم را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌های ارزیابی ایشان برای غلظت‌های متفاوت نانوسیال نشان داد که بازدهی کلکتور خورشیددی نسبت به حالتی که تنها سیال پایه آب یون‌زدایی شده است بسیار افزایش یافته به طوری که بیش‌ترین کارایی کلکتور برای جزء حجمی‌های ppm ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ppm از نانوذره و شدت جریان kg/s ۰.۲۲۵ به ترتیب ۷۳/۹، ۷۹/۸ و ۸۳/۷ درصد می‌باشد. در حالی که بازده گرمایی کلکتور بدون استفاده از نانوسیال و تنها سیال پایه برابر ۶۳ درصد است [۱۶]. از دیگر عامل‌های افزایش بازده گرمایی کلکتورهای خورشیددی هندسه و شکل آن‌ها می‌باشد، مروج و همکاران به بررسی تجربی عملکرد گرمایی کلکتورهای خورشیددی دو بعدی و سه بعدی پرداختند. ایشان برای ارزیابی گرمایی کلکتور سه بعدی، از کلکتوری با هندسه مخروطی و لوله‌های مارپیچ و برای کلکتور دو بعدی، از یک کلکتور صفحه تخت با مساحت جذب و شرایط ساخت یکسان استفاده نمودند. بازدهی هر دو کلکتور خورشیددی به صورت تجربی و بر اساس استاندارد ASHRAE محاسبه شد. آن‌ها دریافتند که میانگین بازدهی کلکتور مخروطی ۵۹٪ و میانگین بازدهی کلکتور صفحه تخت در شرایط همانند ۵۳٪ می‌باشد [۱۷]. جعفر کاظمی و همکاران به بررسی عامل‌های تأثیر گذار بر بازده یک کلکتور خورشیددی صفحه تخت پرداختند. بر طبق نتیجه‌های به دست آمده آن‌ها هنگامی که صفحه جذب در زیر لوله‌ها قرار گرفته باشد انرژی کسب شده بیشتر از انواع دیگر خواهد بود. کاهش فاصله بین ریزرها، استفاده از پوشش‌های شیشه‌ای مناسب و افزایش ضخامت

در بازه درصد حجمی ۱-۲/۰ از نانوذره روی اکسید برای ۲۵ روز از پایداری مناسبی برخوردار بوده و میزان بازده گرمایی کلکتور گرمایی در شرایط شدت جریان حجمی ۶۰ lit/hr و غلظت ۱ درصد حجمی از نانوذره به ۶۹/۲۴ درصد می‌رسد. این بازده نسبت به هنگامی که تنها از سیال عامل اتیلن گلیکول-آب استفاده می‌شود افزایش ۱۹/۲ درصد را نشان می‌دهد [۷]. تانگ و همکاران تأثیر نانوذره‌های اکسید آلومینیم و اکسید مس را بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیددی صفحه تخت با آنالیز آگسرژی و محاسبه بازده گرمایی مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه‌ها نشان داد که استفاده از نانوذره Al_2O_3 در سیال پایه آب بازده گرمایی کلکتور را ۲۱٪ و نانوذره CuO ۱۶ درصد افزایش می‌دهد. همچنین بیشترین بازده گرمایی کلکتور خورشیددی صفحه تخت برابر ۵۶/۹٪ بوده و این هنگامی اتفاق می‌افتد که یک درصد حجمی از نانوذره اکسید آلومینیم را به سیال پایه آب اضافه کنیم [۸]. مرجان و همکاران در پژوهشی با استفاده از دینامیک سیالات محاسبه‌ای به تحلیل عددی تأثیر نانوسیال و غلظت نانوذره در سیال پایه آب، زاویه لوله‌های خلاء به کار رفته در کلکتور، شدت جریان سیال و تعداد لوله‌های استفاده شده بر عملکرد گرمایی و هیدرودینامیکی کلکتور خورشیددی با لوله‌های خلاء پرداختند. ایشان به روش عددی بوسینسگ (Boussinesq) تأثیر پارامترهای اشاره شده بر عملکرد کلکتور گرمایی را مورد بررسی قرار داده و دمای خروجی سیال در مخزن ذخیره را تعیین نمودند. اعتبار نتیجه‌های مدل‌سازی با مقایسه دمای خروجی محاسبه شده و داده‌های تجربی بررسی شد. به طور کلی نتیجه‌ها نشان داد که استفاده از نانوسیال باعث افزایش انتقال گرما شده و نانوسیال اکسید مس افزایش بیش‌تری نسبت به اکسید آلومینیم در مقدار انتقال گرما دارد [۹]. شفیع و همکاران در پژوهشی به بررسی تجربی عملکرد گرمایی کلکتور خورشیددی با لوله‌های گرمایی در هنگامی که از نانوسیال اکسید منیزیم در سیال پایه آب به‌عنوان سیال انتقال گرما استفاده شود، پرداختند. ایشان پس از تهیه نانوسیال اکسید منیزیم تأثیر پارامترهای گوناگون بهبود شدت جریان سیال و غلظت نانوذره را بر عملکرد گرمایی کلکتور مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌ها نشان داد افزایش سرعت سیال و استفاده از نانوسیال سبب بالاتر رفتن راندمان گرمایی کلکتور شده و از طرفی افزایش غلظت نانوذره در سیال پایه راندمان گرمایی را بیشتر ارتقا خواهد داد [۱۰]. دلفانی و همکاران کاربرد شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر سامانه چند لایه پرسپترون (Perceptron) را برای تخمین عملکرد گرمایی یک کلکتور

دستگاه همگن ساز فراصوت نانوسیال

۸ لیتر نانوسیال در کلکتور خورشیدی مورد نیاز است که با توجه به محدودیت حجم دستگاه همگن ساز فراصوت و همزن مغناطیسی موجود در آزمایشگاه دانشگاه، نانوسیال در حجم ۵۰۰ میلی لیتر در هر نوبت تهیه شد.

تجهیزهای سنجش

سولار متر

برای اندازه گیری تابش کل با طول موج کوتاه از خورشید و آسمان از سولار متر SM206 استفاده شد.

دماسنج برای اندازه گیری دما

برای بررسی عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی به سه دمای ورودی سیال عامل به کلکتور، خروجی سیال از کلکتور و محیط اطراف نیاز است که برای اندازه گیری دمای ورودی و خروجی کلکتور در این آزمایش از دماسنج دیجیتالی و دمای محیط از یک دماسنج جیوه ای استفاده شد.

تهیه مواد و اندازه گیری ها

روش تهیه نانوسیال روی اکسید

نانوسیال در این آزمایش از پراکنده نمودن نانوذره روی اکسید در سیال پایه که ترکیبی از ۳۵٪ اتیلن گلیکول و ۶۵٪ آب می باشد تهیه شد. برای تهیه ۵۰۰ میلی لیتر نانوسیال با غلظت های ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ درصد حجمی نانوذره روی اکسید، به ترتیب مقدار ۱/۴ گرم و ۲/۸ گرم نانوذره استفاده شد. به منظور افزایش پایداری محلول سوسپانسیون به دست آمده از سورفکتانت سدیم دو دسیل سولفات استفاده شد. در این مطالعه برای به دست آوردن میزان بهینه سورفکتانت چندین آزمایش انجام گرفته و سرانجام میزان ۰/۱ گرم از سورفکتانت در ۵۰۰ میلی متر از نانوسیال انتخاب شد. نتیجه های اثر سورفکتانت بر پایداری نانوسیال در جدول ۱ ارایه شده است. پس از افزودن نانوذره و سورفکتانت به سیال پایه سوسپانسیون به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت توسط همزن مغناطیسی مخلوط شده و سپس برای اطمینان کامل از پایداری نانوسیال به دست آمده، به مدت ۴۰ دقیقه درون دستگاه همگن ساز فراصوت با توان ۲۰۰ وات و فرکانس بیشینه ۲۶ کیلوهرتز قرار گرفت. یک پایداری ۴۸ ساعته در نانوسیال برای انجام آزمایش ها کفایت می کند. همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است بشر سمت راست دارای نانوسیالی

عیق گرمایی از دیگر عامل هایی هستند که باعث افزایش راندمان کلکتور می شوند [۱۸]. ایر/نیور و همکاران اثر پارامترهایی مانند ضخامت شیشه، ضخامت کف کلکتور و استفاده از کف جاذب به جای کف بازتابنده بر کارایی کلکتور خورشیدی جذب مستقیم در سیال پایه و نانوسیال مورد بررسی قرار دادند. نانوسیال در کسرهای حجمی ۰/۰۵ و ۰/۰۱ انتخاب شد، آن ها دریافتند که با افزایش ضخامت شیشه، راندمان در کسرهای حجمی گوناگون بین ۳/۲۲ تا ۷/۳۶ درصد کاهش یافت، افزایش ضخامت عایق از ۲۵ تا ۱۰۰ میلی متر به طور میانگین راندمان را بین ۱/۵۳ تا ۲/۹۵ درصد زیاد کرد. استفاده از کف جاذب به جای کف بازتابنده تأثیر چشمگیری روی راندمان به ویژه در کسرهای حجمی پایین داشت [۱۹]. بررسی اجمالی پژوهش های گوناگون در زمینه کلکتورهای خورشیدی نشان دهنده این است که هنوز به ثبات کافی از نظر کاربرد این تجهیزات در صنایع و کاربردهای خانگی به دلیل بازده گرمایی و بازه دمایی نرسیده ایم. در نتیجه هنوز نیاز به پژوهش های زیادی در مورد بالاتر بردن راندمان گرمایی و بازه دمایی استفاده از آن ها می باشد. به منظور گسترش بازه دمایی کاربرد آبگرمکن های خورشیدی، در این پژوهش از سیال پایه ترکیبی ۶۵٪ آب + ۳۵٪ اتیلن گلیکول صنعتی با نانوذره روی اکسید استفاده شده و تأثیر سایر پارامترهای فرایندی بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی صفحه تخت مورد ارزیابی قرار می گیرد.

بخش تجربی

نانوذره های روی اکسید

در این آزمایش نانوذره های روی اکسید با خلوص بالای ۹۹٪ که قطر میانگین ذره های آن بین ۱۰-۳۰ nm است و توسط شرکت US Nano آمریکا تولید شده اند، برای آزمایش استفاده شد.

نانوسیال روی اکسید

نانوسیال در این آزمایش از پراکنده نمودن نانوذره های روی اکسید در سیال پایه که ترکیبی از ۳۵٪ اتیلن گلیکول و ۶۵٪ آب می باشد تهیه شد.

سورفکتانت سدیم دو دسیل سولفات (SDS)

برای پایداری سازی نانوذره در سیال عامل و طولانی کردن زمان ته نشینی نانوذره از سورفکتانت سدیم دو دسیل سولفات ۹۹ درصد خلوص استفاده شد.

جدول ۱- آزمایش‌های انجام شده برای یافتن میزان بهینه سورفکتانت

نتیجه	وزن سورفکتانت SDS	حجم سوسپانسیون	درصد حجمی نانوذره ZnO (%)
ایجاد کف در سطح بشر و ته نشینی کامل پس از ۱ ساعت	۱ g	۱۰۰ L	۰/۳
ته نشینی کامل پس از ۳ ساعت	۱ g	۱۰۰ L	۰/۲
ته نشینی جزئی پس از سه ساعت و پایداری تا ۴۸ ساعت	۱ g	۱۰۰ L	۰/۱
کاهش میزان ته نشینی و پایداری تا ۴۸ ساعت	۰/۵ g	۱۰۰ L	۰/۱
پایداری ۴۸ ساعته همراه با ته نشینی اولیه پس از گذشت ۵ ساعت	۰/۲ g	۲۰۰ L	۰/۱
ته نشینی بسیار جزئی پس از سه ساعت با پایداری ۲۴ ساعته	۰/۱ g	۲۰۰ L	۰/۱
ته نشینی جزئی پس از ۳ ساعت و پایداری ۲۴ ساعته	۰/۱ g	۵۰۰ L	۰/۱
ته نشینی کامل پس از ۸ ساعت	۰/۰۵ g	۵۰۰ L	۰/۱
ته نشینی پس گذشت ۵ ساعت	۰	۵۰۰ L	۰/۱

کلکتور می‌رسد. باید توجه داشت که در بسیاری از کلکتورها، تأثیر زاویه شیب اندک است ولی می‌تواند متغیر مهمی برای کلکتورهای تخصصی مانند کلکتورهایی که شامل لوله‌های گرمای هستند باشد. پایلوت نیمه‌صنعتی که برای این پژوهش طراحی و ساخته شده است در شکل ۲ نشان داده شده است. روز هایی که هوا به‌طور کامل آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود نداشت و سرعت باد نیز بین ۲-۴ m/s بود برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. در زمان آزمایش، کل پرتوهای خورشیدی در صفحه دهانه کلکتور باید بیش از 800 W/m^2 باشد. مقدار متوسط سرعت هوای اطراف با در نظر گرفتن تغییرهای جوی بر روی کلکتور در طول دوره آزمون، باید بین ۲ تا ۴ متر بر ثانیه باشد. برای مشخص کردن وضعیت تابش خورشید در مکان نصب پایلوت پژوهشی (دانشگاه صنعتی قوچان)، شدت تابش خورشید را طی ۶ روز و ساعت بین ۱۴-۱۰ دی ماه سال ۱۳۹۷ ثبت شد. شدت متوسط تابش خورشید نسبت به زمان در نمودار ۳ ارایه شده است. برای تعیین مشخصه بازده، کلکتور باید در گستره دمایی عملکرد خود در شرایطی که آسمان صاف است مورد آزمون قرار گیرد. در مرحله اول، آزمایش‌ها برای سیال عامل ۳۵٪ اتیلن گلیکول و ۶۵٪ آب و در بازه شدت جریان ۵-۱ L/min انجام شد. در مرحله‌های بعد، از نانوسیال روی اکسید که چگونگی تهیه و مشخصه‌های آن در بخش پیش توضیح داده شد در دو درصد حجمی ۰/۰۵ و ۰/۱ به عنوان سیال عامل کلکتور خورشیدی در شدت جریان‌های مذکور، آزمایش‌ها تکرار شد. پارامترهایی که در هر آزمایش اندازه‌گیری شد عبارت‌اند از تابش کل خورشیدی در دهانه کلکتور، سرعت هوای اطراف، دمای هوای اطراف، دمای



شکل ۱- نانوسیال روی اکسید (الف) در حضور سورفکتانت (ب) بدون سورفکتانت

است که در آن از سورفکتانت SDS استفاده شده است که پس از گذشت ۲۴ ساعت محلول پایداری خود را حفظ نموده و ته‌نشینی بسیار ناچیزی مشاهده شد. در مقابل بشر سمت چپ نانوسیالی با درصد وزنی همانند از نانوذره می‌باشد و به دلیل عدم وجود سورفکتانت پس از گذشت این زمان نانوذره‌های درون آن به‌طور کامل ته نشین شده‌اند و فرآورده شفاف از آن باقی مانده است.

طراحی آزمایش‌ها و شبیه‌سازی

آزمایش‌های مربوط به کلکتور خورشیدی تهیه شده برای این پژوهش در پشت بام بلندترین ساختمان موجود در دانشگاه صنعتی قوچان انجام شد. با توجه به زاویه تابش خورشید در این فضا، زاویه ۶۰ درجه نسبت به افق برای کلکتور انتخاب شد که بر اساس آزمایش‌ها، بیش‌ترین میزان تابش خورشید در این زاویه به سطح

(۱) Heat pipe

جدول ۲- مشخصه‌های فیزیکی مواد

نوع ماده	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/kgk)
نانوذره روی اکسید	۵۶۰۶	۷۶۰
آب	۱۰۰۰	۴۳۱۴
اتیلن گلیکول	۱۱۳۲	۱۱۱۰
سیال عامل (۳۵٪ اتیلن گلیکول + ۶۵٪ آب)	۱۰۴۰	۳۰۱۸/۸
نانوسیال با درصد حجمی ۰/۰۵٪ نانوذره روی اکسید	۱۲۶۸	۲۹۵۵
نانوسیال با درصد حجمی ۰/۱٪ نانوذره روی اکسید	۱۴۹۷	۲۴۸۰

جدول ۳- مشخصه‌های هندسی کلکتور خورشیدی صفحه تخت

مشخصه	سطح کلکتور (m ²)	جنس لوله‌های رایزر	تعداد لوله‌های رایزر	قطر لوله‌های رایزر (mm)	ضریب بازتابش صفحه کلکتور	ضخامت شیشه سطح کلکتور (mm)	ضریب جذب شیشه	قطر لوله هدر (mm)	ضخامت لوله هدر (mm)
مقدار	۱/۲	آلومینیوم	۱۰	۸	۰/۰۵	۴	۰/۹۲	۲۲	۱

خورشیدی. این پارامترها روزانه از ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴:۳۰ دقیقه طی انجام پژوهش اندازه‌گیری و ثبت شد.

مدل‌سازی ریاضی کلکتور خورشیدی

برای محاسبه عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی، لازم است مشخصه‌های هندسی کلکتور به کار رفته در ساخت واحد نیمه‌صنعتی و نیز مشخصه‌های فیزیکی سیال عامل و نانوذره را داشته باشیم که این داده‌ها در جدول های ۲ و ۳ ارائه شده است. برای تعیین مشخصه‌های فیزیکی مورد نیاز نانوسیال و سرانجام محاسبه بازده گرمایی کلکتور خورشیدی از معادله‌های ارائه شده در جدول ۴ استفاده شد.

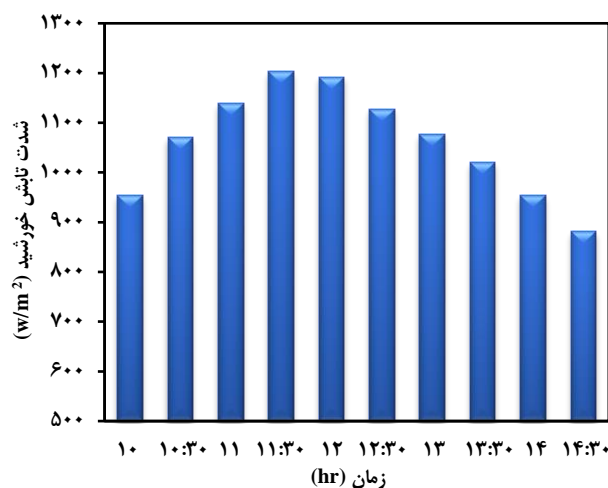
نتیجه‌ها و بحث

تأثیر سرعت سیال بر عملکرد گرمایی کلکتور خورشیدی بدون نانوذره

در ابتدا سیال عامل آب با ترکیب درصد حجمی ۳۵٪ اتیلن گلیکول و ۶۵٪ آب تهیه شده و به مخزن سامانه آزمایشگاهی تزریق شد. سپس با تنظیم دور پمپ، شدت جریان سیال جاری در کلکتور را بین ۵-۱ L/min تغییر داده و داده‌های لازم برای محاسبه بازده گرمایی بهبود شدت تابش خورشید به سطح کلکتور، دمای محیط، دمای ورودی سیال عامل به کلکتور و دمای خروجی سیال از کلکتور ثبت شد. در ادامه برای نانوسیال روی اکسید در غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد حجمی از نانوذره آزمایش تکرار شد. سپس با استفاده از مشخصه‌های فیزیکی و معادله‌های ارائه شده برای سیال و کلکتور که در جدول های ۲، ۳ و ۴ به آن‌ها اشاره شد بازده گرمایی



شکل ۲ - پایلوت نیمه‌صنعتی مورد استفاده در پژوهش

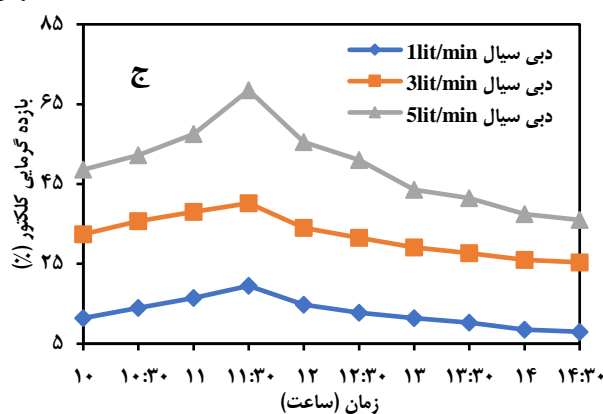
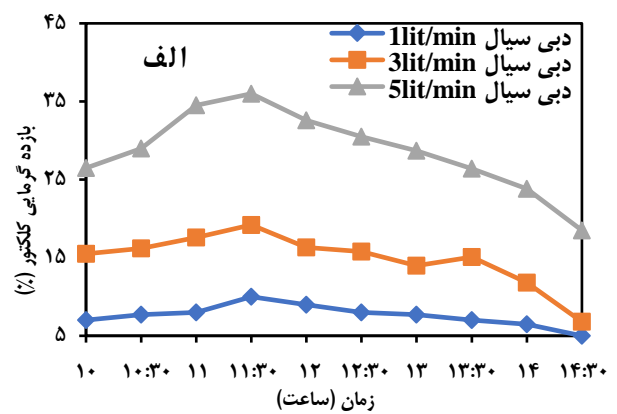
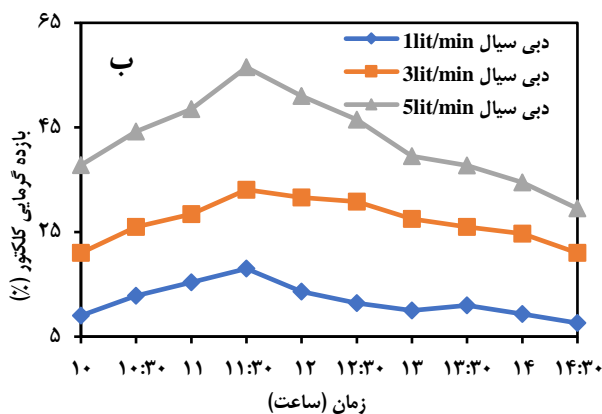


شکل ۳- شدت تابش روزانه خورشید نسبت به زمان

نانوسیال در ورودی کلکتور، دمای نانو سیال در خروجی کلکتور، شدت جریان نانو سیال و فشار سیال در ورودی و خروجی کلکتور

جدول ۴- معادله‌های لازم برای مدل‌سازی گرمایی کلکتور خورشیدی

مشخصه	معادله	توضیحات	مرجع
کسر حجمی نانوذره	$\varphi_p = \frac{V_p}{(V_p + V_f)}$	V_p حجم نانوسیال و V_f حجم سیال عامل (پایه)	[۱۲-۱۵]
ویسکوزیته نانوسیال	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2.5\varphi_p)$	μ_{bf} ویسکوزیته سیال عامل (پایه)	[۱۵]
دانسیته نانوسیال	$\rho_{eff} = (1 - \varphi_p)\rho_f + \varphi_p\rho_p$	ρ_{nf} دانسیته نانوذره و ρ_{bf} دانسیته سیال عامل (پایه)	[۱۳]
ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال	$C_{eff} = \frac{[(1 - \varphi_p)\rho_f C_f + \varphi_p\rho_p C_p]}{\rho_{eff}}$	C_p ظرفیت گرمایی ویژه نانوذره و C_f ظرفیت گرمایی ویژه سیال عامل (پایه)	[۱۴]
شدت جریان جرمی نانوسیال در کلکتور خورشیدی	$\dot{m} = \rho_{eff}AU$	A سطح مقطع لوله‌های رایزر و U سرعت سیال در لوله‌های رایزر	
بازده گرمایی کلکتور خورشیدی	$\eta = \frac{\dot{m}C_{eff}(T_2 - T_1)}{G_T A C_T}$	G_T شدت تابش خورشید، A سطح مقطع کلکتور، ΔT اختلاف دمای سیال عامل در ورودی و خروجی کلکتور و C_T فاکتور جذب انرژی خورشیدی توسط کلکتور	[۱۲]



شکل ۴- تغییرهای بازده گرمایی کلکتور نسبت به زمان (اثر سرعت سیال بر بازده گرمایی)، الف- سیال پایه ۶۵٪ آب + ۳۵٪ اتیلن گلیکول ب- نانوسیال ZnO با غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی ج- نانوسیال ZnO با غلظت ۰/۱ درصد حجمی

داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده در پژوهش تابعی از دقت تجهیزهای به کار رفته در پژوهش است. بر این اساس با توجه به نوع ترمومتر دیجیتال به کار رفته عدم قطعیت دماها $\pm 0.1^\circ C$ و سولارمتر استفاده شده برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشید، عدم قطعیت

کلکتور خورشیدی محاسبه شد. نتیجه‌ها در جدول‌های ۵ و ۶ و شکل ۴ ارایه شده است. در جدول ۵، T_1 دمای سیال عامل ورودی به کلکتور خورشیدی، T_2 دمای خروجی سیال از کلکتور، G_T شدت تابش خورشید به سطح کلکتور و η راندمان گرمایی کلکتور می‌باشد. عدم قطعیت

جدول ۵- داده‌های اندازه‌گیری شده و بازده گرمایی محاسبه شده برای کلکتور خورشیدی

الف- سیال عامل ۶۵٪ H ₂ O + ۳۵٪ EG بدون نانوذره													
شدت جریان ۱ L/min					شدت جریان ۳ L/min				شدت جریان ۵ L/min				
زمان آزمایش (ساعت)	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	
۱۰:۰۰	۹۸۰	۲۴/۵	۲۶/۲	۷	۹۹۰	۲۹/۱	۳۰/۱	۱۵/۵	۹۹۰	۲۸/۳	۲۹/۳	۲۶/۵	
۱۰:۳۰	۱۱۱۵	۲۷/۹	۲۹/۵	۷/۷	۱۰۸۳	۳۱/۸	۳۲/۹	۱۶/۱	۱۰۹۰	۳۰/۱	۳۲	۲۹	
۱۱:۰۰	۱۲۲۰	۳۰/۱	۳۱/۸	۸	۱۱۱۰	۳۵/۱	۳۶/۴	۱۷/۶	۱۱۵۰	۳۴	۳۶/۸	۳۴/۵	
۱۱:۳۰	۱۲۵۰	۳۱	۳۲/۸	۱۰	۱۲۴۰	۳۸/۷	۴۰/۲	۱۹/۲	۱۲۱۰	۳۸/۸	۴۱/۸	۳۶	
۱۲:۰۰	۱۲۰۵	۳۴/۹	۳۷/۴	۹	۱۲۲۷	۴۲/۵	۴۳/۹	۱۶/۳	۱۲۲۰	۴۲/۲	۴۶/۲	۳۲/۶	
۱۲:۳۰	۱۱۰۰	۳۸	۳۹/۲	۸	۱۱۹۵	۴۴/۶	۴۵/۹	۱۵/۸	۱۱۸۵	۴۷/۷	۴۹/۲	۳۰/۵	
۱۳:۰۰	۱۰۸۵	۳۸/۶	۴۰/۲	۷/۷	۱۱۲۵	۴۶/۸	۴۷/۹	۱۴	۱۱۳۵	۵۰/۳	۵۲	۲۸/۷	
۱۳:۳۰	۱۰۲۰	۳۸/۸	۴۰/۳	۷/۱	۱۰۶۵	۴۸	۴۹/۱	۱۵	۱۰۴۵	۵۲/۵	۵۴	۲۶/۴	
۱۴:۰۰	۹۸۰	۳۹/۹	۴۱/۲	۶/۵	۹۸۰	۵۰/۲	۵۱	۱۱/۸	۹۸۰	۵۴/۴	۵۵/۶	۲۳/۸	
۱۴:۳۰	۸۵۰	۴۱/۲	۴۲/۱	۵	۸۹۰	۵۱/۹	۵۲/۳	۷	۸۶۰	۵۶	۵۷/۱	۱۸/۵	
ب- سیال عامل ۶۵٪ H ₂ O + ۳۵٪ EG با نانوذره ZnO ۰/۰۵ درصد حجمی													
شدت جریان ۱ L/min					شدت جریان ۳ L/min				شدت جریان ۵ L/min				
زمان آزمایش (ساعت)	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	
۱۰:۰۰	۹۹۸	۲۴/۱	۲۵/۱	۱۱/۴	۹۹۵	۲۲/۸	۲۳/۹	۳۲/۴	۱۰۰۰	۲۴	۲۵/۳	۴۸/۶	
۱۰:۳۰	۱۰۶۰	۲۶	۲۷/۵	۱۴	۱۱۰۶	۲۴/۹	۲۶/۴	۳۵/۷	۱۰۹۰	۲۶/۳	۲۸	۵۲/۲	
۱۱:۰۰	۱۱۱۰	۲۸/۷	۳۰/۲	۱۶/۵	۱۱۹۰	۲۷/۹	۲۹/۸	۳۸	۱۱۵۰	۳۰/۱	۳۲/۲	۵۷/۵	
۱۱:۳۰	۱۱۵۶	۳۱	۳۳	۱۹/۵	۱۲۱۵	۳۰/۷	۳۲/۷	۴۰/۲	۱۲۱۰	۳۳/۴	۳۵/۸	۶۸/۵	
۱۲:۰۰	۱۱۲۲	۳۵	۳۶/۹	۱۴/۸	۱۲۲۱	۳۴/۸	۳۶/۹	۳۴	۱۲۲۰	۳۷/۲	۳۹/۹	۵۵/۵	
۱۲:۳۰	۱۰۷۵	۳۷/۵	۳۹/۳	۱۲/۸	۱۲۲۶	۳۷/۹	۴۰/۱	۳۱/۵	۱۱۸۵	۴۱	۴۳/۴	۵۱	
۱۳:۰۰	۱۰۰۸	۴۰/۲	۴۱/۷	۱۱/۴	۱۱۴۵	۴۱/۱	۴۲/۹	۲۹/۱	۱۱۳۵	۴۴/۵	۴۶/۳	۴۳/۶	
۱۳:۳۰	۹۵۸	۴۲/۵	۴۴	۱۰/۳	۱۰۶۴	۴۳/۵	۴۵/۲	۲۷/۷	۱۰۴۵	۴۷	۴۸/۸	۴۱/۵	
۱۴:۰۰	۸۹۵	۴۵	۴۶/۶	۸/۵	۹۹۰	۴۷/۱	۴۸/۷	۲۶	۹۸۰	۵۰/۳	۵۲	۳۷/۵	
۱۴:۳۰	۸۳۵	۴۷/۲	۴۸/۴	۸	۸۸۵	۴۹/۲	۵۰/۱	۲۵/۴	۸۶۰	۵۳/۱	۵۴/۴	۳۶	
ج- سیال عامل ۶۵٪ H ₂ O + ۳۵٪ EG با نانوذره ZnO ۰/۱ درصد حجمی													
شدت جریان ۱ L/min					شدت جریان ۳ L/min				شدت جریان ۵ L/min				
زمان آزمایش (ساعت)	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	G _t (w/m ²)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	η	
۱۰:۰۰	۹۳۸	۲۴/۱	۲۵/۶	۹	۸۲۰	۲۳	۲۴/۵	۲۱	۸۵۸	۲۳/۳	۲۴/۹	۳۷/۸	
۱۰:۳۰	۱۰۸۷	۲۶/۸	۲۸/۴	۱۲/۸	۹۶۸	۲۶/۱	۲۷/۹	۲۶	۱۰۳۰	۲۶/۷	۲۸/۵	۴۴/۲	
۱۱:۰۰	۱۱۱۵	۲۹/۱	۳۰/۸	۱۵/۵	۱۰۸۲	۲۸/۶	۳۰/۸	۲۸/۴	۱۱۰۲	۲۹/۵	۳۱/۵	۴۸/۵	
۱۱:۳۰	۱۱۹۰	۳۱/۶	۳۳/۵	۱۸	۱۱۷۰	۳۱/۵	۳۳/۸	۳۳	۱۱۷۵	۳۲/۴	۳۴/۹	۵۶/۵	
۱۲:۰۰	۱۱۳۵	۳۴/۶	۳۶/۱	۱۳/۶	۱۲۴۲	۳۵/۱	۳۷/۱	۳۱/۶	۱۲۰۰	۳۶/۳	۳۹	۵۱	
۱۲:۳۰	۱۰۸۳	۳۷/۵	۳۹/۵	۱۱/۴	۱۲۰۶	۳۸/۳	۴۰/۱	۳۰/۸	۱۱۸۵	۴۰/۷	۴۲/۶	۴۶/۵	
۱۳:۰۰	۹۹۰	۴۰/۶	۴۲/۳	۱۰	۱۱۱۰	۴۱/۵	۴۳/۴	۲۷/۵	۱۱۰۰	۴۳/۵	۴۵/۵	۳۹/۵	
۱۳:۳۰	۹۵۸	۴۳/۳	۴۵	۱۱	۱۰۵۹	۴۴/۷	۴۶/۸	۲۶	۱۰۴۵	۴۶/۶	۴۸/۳	۳۷/۷	
۱۴:۰۰	۸۹۰	۴۶	۴۷/۷	۱۰/۳	۹۸۵	۴۷/۶	۴۹/۱	۲۴/۷	۹۸۰	۴۹/۴	۵۱/۲	۳۴/۵	
۱۴:۳۰	۸۶۵	۴۸/۴	۴۹/۸	۷/۶	۹۶۰	۵۰/۵	۵۱/۹	۲۱	۸۷۵	۵۲/۱	۵۳/۶	۲۹/۵	

جدول ۶- بیشینه و متوسط بازده گرمایی کلکتور خورشیدی در حالت های گوناگون

شدت جریان سیال (L/min)	بدون نانوذره		نانو سیال با غلظت ZnO ۰/۰۵٪		نانوسیال با غلظت ZnO ۰/۱٪	
	بازده گرمایی کلی	بیشینه بازده گرمایی	بازده گرمایی کلی	بیشینه بازده گرمایی	بازده گرمایی کلی	بیشینه بازده گرمایی
۱	۸٪	۱۰٪	۱۲٪	۱۸٪	۲۰٪	۱۳٪
۳	۱۵٪	۱۹٪	۲۷٪	۳۳٪	۴۰٪	۳۲٪
۵	۲۹٪	۳۶٪	۴۳٪	۵۷٪	۶۹٪	۴۹٪

کلی دیده می‌شود که با افزایش نانوذره روی اکسید به سیال پایه بازده گرمایی کلکتور بهبود یافته به طوری که در شدت جریان سیال ثابت، اضافه کردن نانوذره روی اکسید بیشینه بازده کلکتور را بین ۳۳-۸ درصد افزایش داده و بازده کلی کلکتور خورشیدی ۲۰-۴٪ ارتقا می‌یابد. همچنین از نمودار ۵ مشاهده می‌شود افزایش نانوذره روی اکسید با غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی به سیال پایه تأثیر بیشتری بر بیشینه بازده و بازده کلی کلکتور نسبت به زمانی که غلظت نانوذره را به ۰/۱ درصد حجمی می‌رسانیم دارد. به همین دلیل هر چند استفاده از نانوسیال روی اکسید با درصد حجمی ۰/۱ به طور متوسط در بازه‌های زمانی و شدت جریان‌های گوناگون بازده بیشتری را نشان می‌دهد اما این افزایش در راندمان گرمایی نسبت به حالتی که نانوسیال با غلظت ۰/۰۵٪ حجمی می‌باشد خیلی زیاد نیست. این نشان می‌دهد که افزایش هر نوع نانوذره به سیال عامل کلکتورهای خورشیدی برای ارتقا بازده گرمایی همواره دارای یک میزان غلظت بهینه است. در نتیجه استفاده از غلظت‌های بالاتر از حد بهینه به دلیل افزایش سرعت ته نشینی نانوذره‌ها از نظر فنی و اقتصادی به صرفه نخواهد بود.

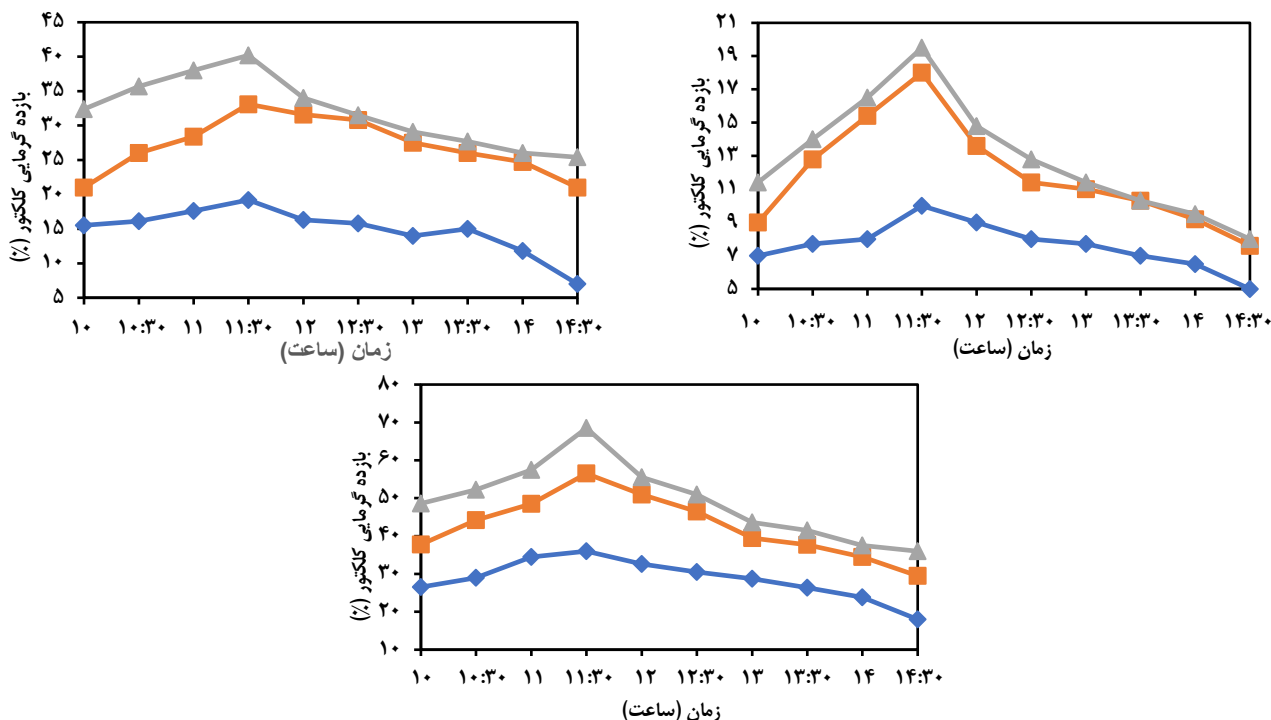
نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی عملکرد گرمایی یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با استفاده از افزایش نانوذره روی اکسید در سیال پایه آب + اتیلن گلیکول به عنوان سیال عامل قرار گرفته است. با تعیین میزان جذب گرما در حضور نانوسیال نسبت به سیال پایه خالص، اثر نانوذره و غلظت آن همچنین سرعت نانوسیال بر بهبود عملکرد گرمایی کلکتور بررسی شد. استفاده از نانوسیال روی اکسید در ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ درصد حجمی باعث افزایش ۲۰-۴٪ در بازده متوسط گرمایی و ۳۳-۸٪ در بیشینه بازده گرمایی کلکتور خورشیدی صفحه تخت شد. البته لازم به ذکر است هر چند در نانوسیال با درصد حجمی بیشتر، حدود ۵ درصد به بازدهی گرمایی کلکتور خورشیدی شد ولی در مقابل سرعت ته نشینی نانوذره‌ها در سیال پایه را نیز بیش تر کرد.

کمیت شدت تابش خورشید $1w/m^2 \pm$ می‌باشد. بر اساس نتیجه‌های به دست آمده دیده می‌شود که شدت جریان سیال (سرعت سیال) جاری در لوله‌های کلکتور خورشیدی تأثیر قابل توجهی بر بازده گرمایی آن دارد. به طوری که هر گاه شدت جریان سیال ۱ L/min باشد بیشترین بازده گرمایی ممکن برای کلکتور هنگامی که تنها از سیال عامل ۶۵٪ آب + ۳۵٪ اتیلن گلیکول استفاده می‌شود ۱۰ درصد و بازده گرمایی متوسط ۸٪ بوده و زمانی که شدت جریان سیال جاری به ۵ L/min افزایش می‌یابد بیشینه بازدهی به ۳۶ درصد و متوسط راندمان گرمایی کلکتور به ۲۹ درصد رسیده که این نتیجه‌ها نشان‌دهنده افزایش ۱۹ واحدی در راندمان کلی کلکتور است. تأثیر سرعت سیال بر بازده گرمایی کلکتور از نتیجه‌های به دست آمده هنگامی که از نانوسیال استفاده شده نیز مشاهده می‌شود. به عنوان نمونه هنگامی که از نانوسیال با غلظت ZnO ۰/۱٪ در کلکتور استفاده شده با افزایش شدت جریان سیال از ۱ L/min به ۵ L/min راندمان گرمایی کلی از ۱۳ درصد به ۴۹ درصد بهبود می‌یابد. با افزایش شدت جریان سیال جاری در لوله‌های رایزر کلکتور، سرعت سیال و در نتیجه عدد رینولدز در لوله‌ها بالا رفته و ضریب انتقال گرما و مقدار انتقال گرما از تابش رسیده به سطح کلکتور به سیال عامل و سرانجام بازده گرمایی دستگاه بهبود می‌یابد. از سویی به عنوان یک توصیه کاربردی، به دلیل پایین بودن بازدهی کلکتور در شدت جریان سیال ۱ L/min، استفاده از این مقدار شدت جریان جریان در تجهیزهای صنعتی و خانگی بهبود آبرگرمکن‌های خورشیدی پیشنهاد نمی‌شود. ولی هر گاه شدت جریان سیال افزایش یابد در مقابل بازدهی کلکتور نیز ارتقا خواهد یافت به طوری که با رسیدن شدت جریان سیال به ۵ L/min بیشینه راندمان به ۶۹ درصد و متوسط بازدهی به ۴۹٪ بهبود می‌یابد که برای کاربردهای صنعتی و خانگی قابل پذیرش و مناسب است.

تأثیر نانوذره روی اکسید و غلظت آن بر بازده گرمایی کلکتور

بر اساس نتیجه‌های ارائه شده در جدول ۶ و شکل ۵ به طور



شکل ۵ - تغییرهای بازده گرمایی کلکتور نسبت به زمان (تأثیر نانوسیال بر بازده گرمایی)، الف- شدت جریان سیال ۱ L/min ب- شدت جریان سیال ۳ L/min ج- شدت جریان سیال ۵ L/min (رنگ آبی: سیال پایه شامل ۶۵٪ آب + ۳۵٪ اتیلن گلیکول، رنگ نارنجی: نانوسیال ZnO با غلظت ۰.۵٪، رنگ خاکستری: نانوسیال ZnO با غلظت ۱٪)

قدردانی

این مقاله بخشی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۰۲۲ می باشد،

که با حمایت‌های دانشگاه صنعتی قوچان به انجام رسیده است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

مراجع

- [1] Muhammad M.J., Muhammad I.A., Che Sidik N.A., Yazid M.N.A.W.M., *Thermal Performance Enhancement of Flat-Plate and Evacuated Tubesolar Collectors Using Nanofluid: A Review*, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **76**: 6–15 (2016).
- [2] Gupta H.K., Agrawal G.D., Mathur J., *An Experimental Investigation of a Low Temperature Al₂O₃-H₂O Nanofluid Based Direct Absorption Solar Collector*, *Solar Energy*, **118**: 390- 396 (2015).
- [3] Liu J., Ye Z., Zhang L., Fang X., Zhang Z., *A Combined Numerical and Experimental Study on Graphene/Ionic Liquid Nanofluid Based Direct Absorption Solar Collector*, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **136**: 177-186 (2015).
- [4] Yan S., Wang F., Shi Z.G., Tian R., *Heat Transfer Property of SiO₂/water Nanofluid Flow inside Solar Collector Vacuum Tubes*, *Applied Thermal Engineering*, **152**: 119496 (2020).
- [5] Yurddas A., *Optimization and Thermal Performance of Evacuated Tube Solar Collector with Various Nanofluids*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **118**: 385-391 (2017).

- [6] Choudhary S., Sachdeva A., Kumar P., Investigation of the Stability of MgO Nanofluid and its Effect on the Thermal Performance of Flat Plate Solar Collector, *Renewable Energy*, **147**: 1801-1814 (2020).
- [7] Choudhary S., Sachdeva A., Kumar P., Influence of Stable Zinc Oxide Nanofluid on Thermal Characteristics of Flat Plate Solar Collector, *Renewable Energy*, **152**: 1160-1170 (2020).
- [8] Tong Y., Lee H., Kang W., Cho H., Energy and Exergy Comparison of a Flat-Plate Solar Collector using Water, Al₂O₃ Nanofluid, and CuO Nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, **159**: 113959 (2019).
- [9] Mercan M., Yurddaş A., Numerical Analysis of Evacuated Tube Solar Collectors using Nanofluids, *Solar Energy*, **191**: 167-179 (2019).
- [10] Shafiey Dehaj M., Zamani Mohiabadi M., Experimental Investigation of Heat Pipe Solar Collector Using MgO Nanofluids, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **191**: 91-99 (2019).
- [11] Shahram Delfania, Mostafa Esmaeili, Maryam Karami, Application of Artificial Neural Network for Performance Prediction of a Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, **36**: 100559 (2019)
- [12] Hawwash A.A., Abdel Rahman A.K., Nada S.A., Ookawara S., Numerical Investigation and Experimental Verification of Performance Enhancement of Flat Plate Solar Collector Using Nanofluids, *Appl. Therm. Eng.*, **130**: 363–374 (2018)
- [13] Wen D., Ding Y., Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region Under Laminar Flow Conditions, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **47**: 5181–5188 (2004).
- [14] Xuan Y., Roetzel W., Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transf.* **43**: 3701–3707 (2000).
- [15] M. Corcione, Empirical Correlating Equations for Predicting the Effective Thermal Conductivity and Dynamic Viscosity of Nanofluids, *Energy Convers. Manag.* **52**: 789–793 (2011).
- [۱۶] کرمی م، اخوان بهابادی م.ع، دلفانی ش، حسینی پاکدل س.م، کاربرد نانوسیال ترکیبی Fe₃O₄/Silica به عنوان سیال عامل کلکتور خورشیدی جذب مستقیم، *مجله مکانیک دانشگاه تربیت مدرس*، **۱۸(۲)**: ۳۷-۴۴ (۱۳۹۷).
- [۱۷] مروج م، نقره آبادی ا.ر، حاجی دولو ا، بررسی تجربی کارایی کلکتورهای سه بعدی ثابت و صفحه تخت خورشیدی، *دوفصلنامه انرژی‌های تجدید پذیر و نو*، **۵(۱)**: ۲۰-۲۹ (۱۳۹۷).
- [۱۸] کاظمی ج، اسدزاده زرگر ف، اسدزاده زرگر ا، بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر بازده گرمایی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت، *دوفصلنامه انرژی‌های تجدید پذیر و نو*، **۵(۱)**: ۱-۸ (۱۳۹۷).
- [۱۹] کیانی ایرانیور ع، کرمی م، دلفانی ش، بررسی عددی تأثیر پارامترهای موثر بر روی کارایی کلکتور خورشیدی حجمی با استفاده از نانوسیال آب-اکسید مس، *مجله مکانیک سازه‌ها و سازه‌ها*، **۷(۱)**: ۹۱-۱۰۰ (۱۳۹۶).