

بررسی تجربی کارایی گردآور خورشیدی لوزی بدون رایزر با استفاده از نانوسیال سیلیس-آب

مجتبی مروج*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

تغییر در هندسه و افزایش خواص گرمایی سیال عامل می‌تواند باعث افزایش بازدهی گردآورهای خورشیدی شود. در این تحقیق، گردآور صفحه تخت خورشیدی با هندسه قرینه لوزی شکل، بدون رایزر و دارای لوله‌های مارپیچ برای انتقال سیال، بررسی شده است. به منظور افزایش بازدهی، از نانوسیال $\text{SiO}_2/\text{آب}$ که ساخته شده به روش دو مرحله‌ای بوده با غلظت جرمی ۱٪ و بدون حضور پایدارگر استفاده شده است. بررسی گردآور لوزی با نانوسیال فوق به صورت تجربی و براساس استاندارد ASHRAE در شرایط محیطی بهبهان در جنوب ایران بوده است. آزمایش گردآور هم با آب و هم با نانوسیال مجزا و در شرایط مشابه صورت گرفته و ارزیابی عملکرد بر اساس تغییرات دبی، تاثیر تابش خورشیدی، بررسی دما و شرایط زمانی و محیطی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که گردآور در زمان استفاده از نانوسیال عملکرد بهتری داشته و حدود ۳٪ بازدهی گردآور نسبت به آب بیشتر است و در مقایسه با گردآور صفحه تخت معمولی کارایی نسبتاً بهتری دارد. همچنین بیشترین بازدهی و دمای به‌دست آمده از این گردآور به ترتیب ۶۶٪ و ۷۸ درجه سلسیوس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گردآور خورشیدی لوزی، رایزر، نانوسیال، SiO_2 ، کارایی.

Experimental investigation of a rhombic solar collector without riser by using $\text{SiO}_2/\text{water}$ nanofluid

M. Moravej

Department of Mechanical Engineering, Payame Noor University, Iran

Abstract

Geometry change and thermal properties of coolant can increase the efficiency of solar collectors. In this study, solar flat plate collector which has rhombic geometry, with helical piping and without riser is investigated. In order to increase performance, the $\text{SiO}_2/\text{water}$ nanofluid that is made by two-step methods and with 1% concentration is used. Collector is experimentally tested in Behbahan city in the south of Iran according to ASHRAE standard. Water and nanofluid (without surfactant) are tested in collector with similar conditions. Performance evaluation is consist of the effect of flow rate, temperature, solar radiation and ambient conditions. The results show that the rhombic collector without riser has better performance than ordinary flat plate collector. The collector efficiency by using nanofluid is about 3% more than using net water and the maximum value of efficiency and outlet temperature by using $\text{SiO}_2/\text{water}$ nanofluid are about 66% and 78°C respectively.

Keywords: Rhombic solar collector, Raiser, Nanofluid, SiO_2 , Performance.

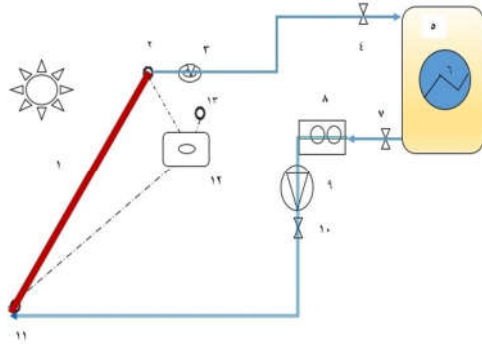
بالا بردن میزان انتقال گرما در آن‌ها است [۲-۳]. نانوسیال سوسپانسیونی از نانوذرات با اندازه‌های با کمتر از ۱۰۰ نانومتر با پایه سیالات معمولی مانند آب است که ویژگی‌های گرمایی بالاتری نسبت به سیالات پایه دارند. نوع نانوذرات مورد استفاده، جنس نانوذرات، نوع و خواص سیال پایه، غلظت، نوع ساخت، محدوده کاربرد... از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر بازدهی نانوسیال در گردآورهاست [۴-۲]. مطالعات زیادی در خصوص استفاده از نانوسیال در گردآورهای خورشیدی انجام شده است. رانگا و همکاران به تحلیل ترمودینامیکی استفاده از نانوسیالات هیبریدی در گردآور صفحه تخت خورشیدی پرداختند. پارامترهایی چون خواص گرمایی، افت فشار، بازدهی گرمایی و نیز تاثیرات غلظت و دبی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس این مطالعه، در همه حالات استفاده از نانوسیال هیبریدی که شامل مس، اکسید مس و آب بود، عملکرد گرمایی بهتری در مقابل نانوسیال غیرهیبریدی داشت. [۵]. یوسفی و همکاران نانوسیال $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{آب}$ را در کلتور صفحه تخت مورد آزمایش قرار داده و نشان دادند که تغییرات چشمگیری در دمای خروجی و بازدهی به وجود آمده است [۶]. نسرين و علیم نانوسیال نقره/آب و مس/آب را بررسی کرده و تاثیر قابل توجه آن بر بازدهی کلی گردآور و افزایش آن را گزارش کردند [۷]. گودرزی و همکاران به صورت تجربی تاثیر نانوسیال اکسیدمس/آب را بر روی کارایی گردآور استوانه‌ای مورد بررسی قرار دادند و ثابت کردند که به

۱-مقدمه

لزوم گسترش و کاربرد انرژی‌های نو و تجدیدپذیر برکسی پوشیده نیست. در میان انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی کاربردی‌ترین آن‌ها به شمار می‌آید که از دیر باز مورد استفاده قرار گرفته است. انرژی خورشیدی به دو صورت گرما خورشیدی و برق خورشیدی قابل استفاده است. مهم‌ترین بخش در سیستم‌های گرما خورشیدی، گردآورها یا همان مبادله‌کن‌های گرمایی هستند که وظیفه تبادل گرما میان سیال عامل و تابش خورشید را به عهده دارند. اگر سیال عامل آب یا هوا باشد اصطلاحاً به گردآور، آب‌گرم‌کن یا هواگرم‌کن اطلاق می‌گردد [۱]. گردآورهای خورشیدی برحسب حرکت ردیابی خورشید یا بدون ردیاب به دو گروه ثابت و متحرک تقسیم‌بندی می‌شوند. گردآورهای صفحه تخت نوعی از گردآورهای ثابت هستند که به نوعی کاربردی‌ترین گردآور خورشیدی محسوب شده و دارای بازدهی نسبتاً پایینی هستند. تحقیقات مختلفی در دنیا برای افزایش کارایی و بهتر شدن عملکرد گردآورهای صفحه تخت انجام شده است که شامل تغییرات در هندسه، جنس مواد، پوشش شیشه-ای، عایق کاری و حتی نوع سیال واسطه انجام شده است. یکی از روش‌های کارآمد که در چندسال اخیر مورد استفاده مکرر محققان قرار گرفته است، استفاده از نانوسیال به عنوان سیال عامل به منظور

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: moravej60@pnu.ac.ir

سیال عامل، پمپ، مخزن ذخیره نانوسیال و وسایل اندازه‌گیری است. آزمایشات در شهرستان بهبهان در جنوب ایران با مشخصات جغرافیایی (۳۶°W و ۳۱°N) انجام شده و عکس واقعی از شرایط و محل آزمایش در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد که در آن زاویه گردآور ۴۵° نسبت به افق در نظر گرفته شده است.



- ۱- گردآور لوزوی ۲-۴- شیر جریان ۸- دبی سنخ
 ۳- شیراطمینان ۵- مخزن ۹- پمپ
 ۱۰- ترموکوپل ۱۱-۱۳- مبادله‌کن گرمایی ۱۲- داده جمع‌کن

شکل ۱- چیدمان آزمایشگاهی

برای اندازه‌گیری دماهای مورد نیاز به منظور ارزیابی عملکرد گرمایی گردآور لوزوی از ترموکوپل‌های نوع K برای اندازه‌گیری دمای سیال ورودی، دمای سیال خروجی و دمای هوا استفاده شده است. این ترموکوپل‌ها به داده جمع‌کن مدل KTT310-KIMO متصل شده‌اند که دقت اندازه‌گیری ۰/۱ °C را دارد. برای تأمین دبی‌های مختلف جریان از یک پمپ الکتریکی دیافراگمی تا دبی اسمی حداکثر ۳lit/min برای نانوسیال و آب بهره‌برداری شده است. همچنین اندازه‌گیری تابش خورشید با تابش سنخ TES-132 بوده است. دقت وسایل اندازه‌گیری در دبی برابر ۰/۳۵ lit/min و دقت ثبت تابش خورشیدی به میزان ۱ W/m² بوده است. همچنین نمای واقعی از گردآور لوزوی بدون راندر که توسط مولف ساخته شده در شکل ۲ و مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲- گردآور لوزوی

صورت فزاینده‌ای کارایی گردآور در مقایسه با استفاده از آب به عنوان سیال عامل، تغییر می‌کند [۸]. همچنین شجاعی‌زاده و همکاران، به بررسی اغزرژی و بهینه‌سازی برای نانوسیال اکسیدآلومینیوم/آب در گردآور صفحه تخت پرداختند و نشان دادند که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار برای بازدهی، میزان دبی و دمای ورودی سیال عامل می‌باشد [۹]. اردکانی و همکاران، افزایش انتقال گرما و افت فشار توسط نانوسیال را در لوله با مقطع مستطیلی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزودن نانوذرات باعث افزایش رسانایی گرمایی شده، همچنین با افزایش غلظت در اعدادگراتر بالاتر، میزان انتقال گرما به مراتب بالاتر است. ایشان علاوه بر این به وجود رابطه مستقیم میان نانوذرات و نسبت ابعادی لوله در میزان افت فشار اشاره نمودند [۱۰].

اندامی و همکاران اثر نانوذرات مغناطیسی Fe₃O₄ بر عملکرد گرمایی یک مبادله‌کن گرمایی پوسته لوله مارپیچ را به صورت تجربی بررسی کردند. در تحقیق ایشان، آب و اتیلن گلیکول به عنوان سیال پایه استفاده شده بود و ثابت کردند که با افزایش ۰/۱ درصد حجمی نانوذرات مغناطیسی، ضریب انتقال گرمای جابجایی حدود ۶۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۱].

پردنجانی و همکاران، اثرات تلفات لزجت بر انتقال گرمای جابجایی اجباری لایه ای نانوسیال را درون یک میکروکانال صفحه موازی با حضور میدان مغناطیسی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق بر این بود که با افزایش درصد حجمی نانوذرات با وجود تلفات لزجت، باعث کاهش انتقال گرما از دیوار به سیال و عدد ناسلت می‌شود [۱۲].

علاوه بر استفاده از نانوسیال، خود هندسه گردآور و نیز شرایط ساخت از جمله تعداد لوله‌ها و رایزرها نیز می‌تواند بر بازدهی تأثیر داشته باشد. سخایی و ولی‌پور تحقیق جامعی را در خصوص موارد موثر بر بازدهی گردآور صفحه تخت انجام دادند و ضمن بررسی تأثیر همزمان تغییر شرایط گردآور تأثیر نانوسیال را نیز بررسی کرده و موارد موثر در شرایط گردآور از جمله رایزر و فاصله بین جاذب و پوشش شیشه-ای را ارائه نمودند [۱۳]. نقره‌آبادی و همکاران تأثیر استفاده از نانوسیال سیلیس/آب را در یکی گردآور ثابت سه بعدی مورد مطالعه قرار دادند که نتایج آن‌ها افزایش بازدهی متغیر بر اساس میزان تابش دبی بود به صورتی که با افزایش تابش و افزایش دبی، عملکرد گردآور به صورت صعودی افزایش می‌یافت [۱۴].

در این مطالعه گردآور صفحه تخت لوزوی بدون رایزر و با لوله‌های پیچشی مورد بررسی تجربی قرار گرفته است. با توجه به سهولت دسترسی، قابلیت تولید انبوه به دلیل کاهش هزینه‌ها و همچنین پایداری مناسب، از نانوسیال SiO₂/آب استفاده شده است. گردآور لوزوی نوعی گردآور متوازی الاضلاع است که از مجموعه گردآورهای صفحه تخت و ثابت خورشیدی محسوب می‌شود. نتایج بررسی براساس تأثیر دبی، تأثیر تابش خورشید و دیگر پارامترها ارائه خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- چیدمان آزمایشگاهی

طرحواره چیدمان آزمایشگاهی در شکل ۱ نمایش داده شده است. این چیدمان شامل گردآور لوزوی صفحه تخت، لوله‌های حامل

جدول ۱- مشخصات گردآور لوزوی

مشخصات	ابعاد	واحد
ابعاد گردآور	(ضخامت)×۱۵×(عرض)×۱۰۷×(طول)×۱۰۷	cm
مساحت جاذب	۱	m ²
جدار شیشه‌ای	۰.۶	cm
ضخامت جاذب	۱.۵	mm
لوله‌ها	D=۶.۲, t=۱.۱	mm
وزن گردآور	۳۱.۳	kg
عایق‌سازی	t=۲	cm

۲-۲- آماده سازی نانوسیال

نانوسیال SiO₂ با آب که اصطلاحاً به آن نانوسیال سیلیس-آب گفته می‌شود با روش دو مرحله‌ای آماده شده است. در مرحله اول نانوپودر (نانوذرات) جداگانه تهیه شده و در مرحله دوم نانوسیال ساخته شده است. نانوذرات از شرکت پیشگامان نانومواد ایران (زیر مجموعه گروه نانوتانی با شماره ثبت ۴۳۶۷۵) با خلوص ۹۹.۹۹٪ و متوسط قطر ۱۲ nm مورد استفاده قرار گرفته که توسط همزن و مخلوط‌کن عمودی بدون پایداری مخلوط شده است. شکل ۳ این نانوذرات سیلیس را نمایش می‌دهد. پس از همزن برقی، یک همگن کننده جهت پراکنش ذرات در سوسپانسیون همراه با آب به کارگیری شده است. سپس محصول در دستگاه آلتراسونیک حدود ۶۰ دقیقه برای تهیه محصول نهایی نانوسیال با کیفیت پراکنندگی مناسب قرار داده شده است.

۳- روش انجام آزمایش و ارزیابی عملکرد گردآور

۳-۱- روش انجام آزمایش

به منظور اندازه‌گیری کارایی گردآور و بررسی تجربی آن از استاندارد ASHRAE 86-93 بهره‌برداری شده که یکی از رایج‌ترین استانداردهای ارزیابی بازدهی گردآورهای ثابت است [۱۰ و ۱۱]. برای دستیابی به بازدهی گردآور نیاز است که سیستم به حالت یکنواخت یا شبه یکنواخت برسد. بر اساس این استاندارد در حالت پایدار یا شبه پایدار باید عملکرد گردآور ارزیابی شود که پس از به دست آمدن پیش داده‌ها و پس از بازه زمانی خاص خواهد بود.



شکل ۳- آماده سازی نانوسیال

برای رسیدن به حالت پایدار، دبی جرمی سیال عامل و تابش، به ترتیب باید در محدوده ۱٪ ± و ۵۰ W/m² ± باشد. علاوه بر این حداکثر تغییرات دمای محیط ۱/۵ K ± و بیشینه تغییرات دمای ورودی باید ۱ K ± باشد [۱۴ و ۱۳].

۳-۲- معادلات حاکم

بازده گرمایی گردآورهای خورشیدی با به دست آوردن میزان بازدهی آبی در عملکرد و کارایی و بر اساس دمای ورودی به گردآور، میزان تابش دریافتی و دمای محیط تعیین می‌شود که به نوعی معادل میزان گرمای تبادل شده با سیال عامل در واحد گردآور به میزان انرژی تابشی رسیده به گردآور در شرایط پایدار یا شبه پایدار می‌باشد [۱۰ و ۱۱]. استاندارد ASHRAE 86-93 برای انجام آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری کارایی گردآور استفاده از دماهای ورودی مختلفی را پیشنهاد می‌دهد. پس از رسیدن به تعادل و حالت پایدار، میانگین داده‌ها برای محاسبات تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بقیه داده‌ها کنار گذاشته می‌شوند. اگر انرژی مفید بدست آمده از گردآور را معادل افزایش آنتروپی و به عبارت ساده‌تر افزایش دمای سیال عامل خروجی از گردآور در نظر بگیریم آن‌گاه می‌توان این انرژی مفید (Q_u) را به صورت رابطه (۲) نمایش داد [۱۴ و ۱۳].

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (1)$$

که در آن T_i و T_o به ترتیب دمای ورودی و دمای خروجی سیال عامل از گردآور، C_p گرمایی ویژه و \dot{m} دبی سیال عامل است. برای یافتن گرمای ویژه نانوسیال از رابطه (۲) استفاده شده است [۱۱ و ۱۳].

$$C_{p,nf} = C_{p,np}(\mu) + C_{p,bf}(1 - \mu) \quad (3)$$

که در آن C_{p,nf} میزان گرمای ویژه نانوسیال، C_{p,np} گرمای ویژه نانوذرات (در این مقاله نانوذرات سیلیس با گرمای ویژه ۷۶۵ J/Kg.K است) C_{p,bf} گرمای ویژه سیال پایه، μ درصد غلظت است.

با در نظر گرفتن مساحت سطح جاذب گردآور یعنی A_c، F_R ضریب تلفات گرمایی، T_a دمای محیط، $\alpha\tau$ ضریب صدور و جذب گردآور، G_T تابش خورشیدی و U_L به عنوان ضریب کلی اتلافات انرژی گردآور، می‌توان معادله (۱) را به صورت زیر نوشت:

$$Q_u = A_c F_R [G_T(\alpha\tau) - U_L(T_i - T_a)] \quad (3)$$

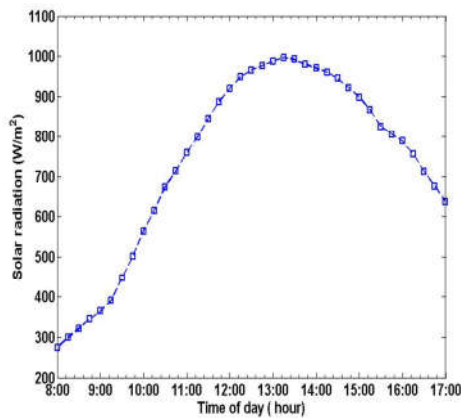
با تعریف بازدهی آبی گردآور خورشیدی به صورت نسبت بین انرژی مفید کسب شده به انرژی خورشیدی رسیده به گردآور، این مقدار بازدهی را که با η_i نمایش داده به صورت روابط (۴) و (۵) بیان می‌شود:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{G_T} \quad (4)$$

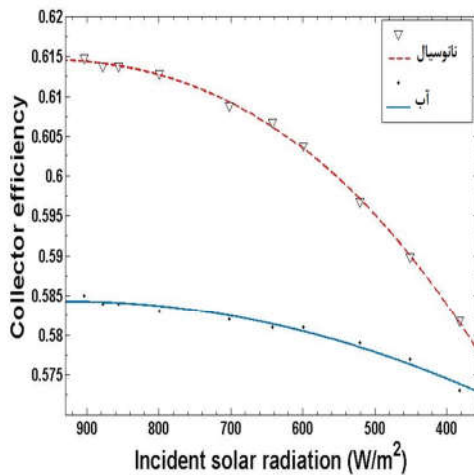
$$\eta_i = F_R(\alpha\tau) - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) \quad (5)$$

اگر گردآور در شرایط ظهر خورشیدی و شرایطی که تابش عمود بر گردآور باشد تست شود، مقادیر F_R U_L و F_R(ατ) مقادیر ثابتی خواهند بود. همچنین بر اساس معادله (۵)، اگر مقادیر بازدهی به صورت تابع و بر اساس متغیر $\left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right)$ ترسیم شود، منحنی به دست آمده شامل یک خط بوده که محل تقاطع آن با محور عمودی مقدار F_R(ατ) بوده و این مقدار نشان دهنده بیشینه بازدهی گردآور می‌باشد و هنگامی

می‌دهد. این تابش برای بررسی نتایج نرمال بوده و برخی مطالعات قبلی نیز مشابه است [۱۴ و ۱۳]. در شکل ۵ نتایج تاثیر تابش خورشیدی بر عملکرد گردآور لوزوی برای دو حالت استفاده از آب و نیز استفاده از نانوسیال به عنوان سیال عامل ارایه شده است. همان‌گونه که از شکل پیداست در هنگامی که تابش خورشیدی در مقادیر پایین قرار دارد، میزان بازدهی گردآور برای هر دو سیال مشابه و نزدیک به هم است. اما با افزایش میزان تابش رسیده، میزان بازدهی افزایش یافته ولی اندازه رشد بازدهی در زمان استفاده از نانو سیال در مقایسه با آب خالص بیشتر است و هرچه تابش بیشتر شده این اختلاف آشکارتر می‌گردد. توجه این رفتار به دلیل وجود ذرات نانوی معلق در نانوسیال است که توانایی افزایش انتقال گرما را با افزایش دما تابش دارند و از مشخصات این سیالات است این رفتار مشابه نتایج ارایه شده در مراجع [۱۴ و ۱۵] است.



شکل ۴- میزان تابش خورشیدی اندازه‌گیری شده در طول روز آزمایش



شکل ۵- عملکرد گردآور لوزوی بر اساس میزان تابش خورشیدی در دو حالت استفاده از آب و نانو سیال در دبی ۱٫۴ lit/min

اتفاق می‌افتد که دمای سیال ورودی به گردآور معادل دمای محیط باشد. محل تقاطع این خط با محور افقی نقطه سکون گردآور نام دارد که در آن بازدهی گردآور به صفر می‌رسد و وقتی رخ می‌دهد که میزان دبی صفر شود. شیب خط مورد نظر نیز برابر FRU_L است که معرف میزان تلفات انرژی از گردآور خورشیدی است.

۳-۳- تحلیل خطا و عدم قطعیت

بر اساس استاندارد ASHRAE، هیچ اندازه‌گیری کاملاً دقیق و مطلق وجود ندارد و هر اندازه‌گیری تجربی شامل خطا است. منابع خطا عمدتاً عبارتند از: خطای کالیبراسیون دستگاه‌ها، خطای قرائت و ثبت داده‌ها، خطای مربوط به دستگاه‌های غیر دقیق و نامناسب برای آزمایشات. آنالیز خطا برای نتایج آزمایشات با توجه به استاندارد ASHRAE و بر اساس مشتق پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد [۱۴ و ۱۵]. خطای اندازه‌گیری دماها، خطای اندازه‌گیری دبی و خطای اندازه‌گیری تابش خورشیدی مهم‌ترین مؤلفه‌های خطا در این مقاله برای محاسبه بازدهی گردآور خورشیدی هستند. خطای هر یک از این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- میزان عدم قطعیت در آزمایش انجام شده

پارامتر	عدم قطعیت (%)
دبی	±۱٫۶
تابش خورشیدی	±۶٫۵
اختلاف دمایی	±۱٫۲

میزان عدم قطعیت و خطای اندازه‌گیری بازدهی گردآور خورشیدی در مقاله حاضر را با S_{η} نمایش داده که به وسیله روش مجموع مربعات و بر اساس رابطه (۴) حاصل شده است. باید توجه داشت که از مقادیر خطای C_p و A_c در آنالیز خطا صرف نظر شده است.

$$(S_{\eta})^2 = \left[\left(\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta((T_o - T_i))}{(T_o - T_i)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 \right] \quad (6)$$

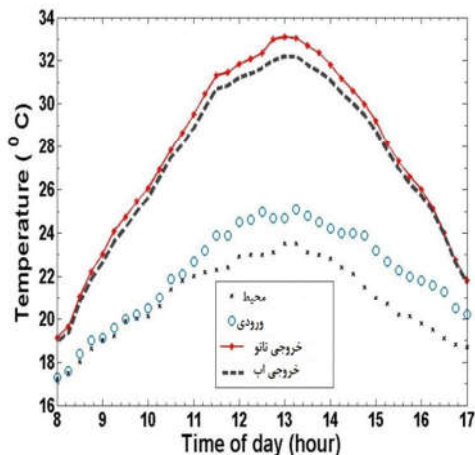
با توجه به داده‌های فوق و محاسبات مربوط به خطا، بیشینه خطای موجود را در حدود ۶٫۸٪ به دست آمده است.

۴- نتایج و یافته‌ها

نتایج آزمایشات انجام شده شامل بررسی میزان کارایی، تغییرات دمایی و تاثیرات تغییر دبی می‌باشد که برای آب و نانوسیال به عنوان سیال عامل، ارایه شده است. یافته‌ها بر اساس داده‌های به دست آمده در بهترین حالت‌های آزمایش شده و در شرایط نسبتاً پایدار و زاویه گردآور با سطح افق برابر ۴۵ درجه، گزارش شده‌اند. آزمایش از ۸ صبح تا ۶ عصر و در روزهای مختلف سال انجام شده و داده‌ها هر ۱۵ دقیقه ثبت شده‌اند که به صورت نمودار و گراف در ادامه ارایه گردیده است.

۴-۱- بررسی تاثیرات تابش خورشیدی

همان‌گونه که در بخش قبل ذکر شد، آزمایشات و بررسی‌ها در روزهای مختلف و به صورت مکرر انجام شده و داده‌های مربوط به بهترین روزهای صاف و آفتابی مورد مطالعه قرار داده شده است. شکل ۴ میزان تابش رسیده به گردآور را در یکی از روزهای آزمایش، نشان



شکل ۷- دما در گردآور لوزوی برای دو حالت استفاده از نانوسیال و آب

اما آنچه حایز اهمیت است اختلاف دمای ورودی و خروجی از گردآور است که مبین عملکرد گرمایی گردآور می‌باشد. این عملکرد برای دو حالت آب و نانوسیال نورد بررسی قرار گرفته است. واضح این‌که همزمان با شدت تابش در طول روز، اختلاف دمای ورودی و خروجی بیشتر می‌شود و این موضوع در مورد نانوسیال آشکارتر است که دلیل آن اثرات گرمایی وجود نانوذرت و حرکات آن‌ها از جمله حرکت براونی است.

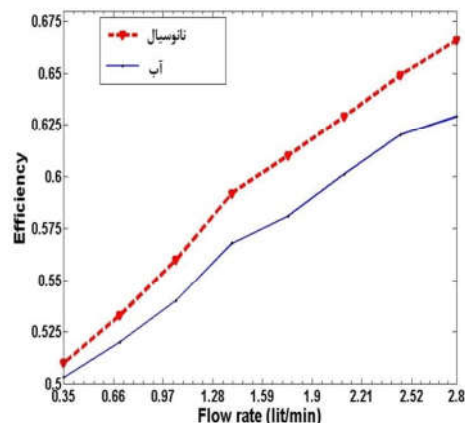
در شکل ۸ نیز میزان کارایی گردآور بر اساس پارامتر $\left(\frac{T_i - T_a}{G_T}\right)$ بررسی شده است. شیب این نمودار برابر F_{RUL} و معرف میزان تلفات گرمایی و انرژی در گردآور است و همان‌گونه که از این شکل پیداست شیب حالت استفاده از نانوسیال ملایم‌تر بوده و مبین کاهش اتلافات و ارایه عملکرد بهتر در زمان استفاده از نانوسیال است. اعداد به دست آمده از رگرسیون در این شکل، در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج ارایه شده در مقایسه با مدلها و تحقیقات ارایه شده در مراجع [۱۲-۱۴] مشابه و نزدیک به هم است ولی در مقایسه با آزمایشات انجام شده در [۱۶] نسبتاً نتایج بهتری را نشان می‌دهد. همچنین در بررسی کلی میزان میانگین افزایش بازدهی برای این گردآور برای دو سیال آب و نانوسیال $\text{SiO}_2/\text{آب}$ حدود ۳٪ می‌باشد. علاوه بر این عملکرد گردآور صفحه تخت لوزوی بدون رایزر در حالت استفاده از آب و بدون نانوسیال در مقایسه با گردآور صفحه تخت قبلی [۱۶ و ۶] در شرایط مختلف بهتر بوده است.

۴-۲- تاثیر دبی بر بازدهی

تاثیر دبی حجمی بر بازدهی گردآور لوزوی برای هر دو حالت استفاده از آب خالص و نانوسیال به عنوان سیال عامل مورد بررسی قرار گرفته است. هر دو سیال در دبی‌های مختلف در گردآور استفاده شده و بازدهی گردآور برای آن‌ها ارزیابی شده است. برای دستیابی به دبی‌های مختلف، از یک پمپ الکتریکی دیافراگمی که توانایی ایجاد دبی تا ۴ lit/min را دارد با شیر تنظیم استفاده شده و دبی‌های مورد بررسی در محدوده مابین ۰.۳۵-۲.۸ lit/min قرار داشته‌اند.

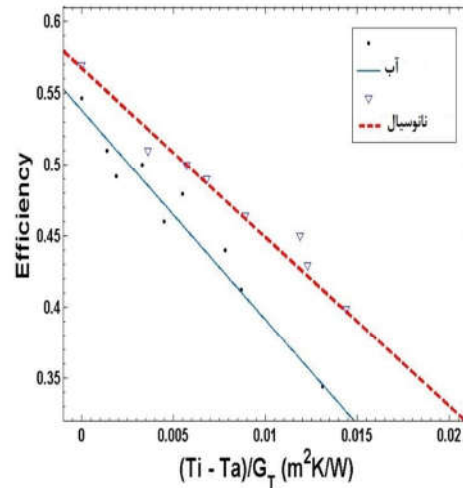
برای ارزیابی بهتر، تعداد آزمایش‌های مختلف انجام شده و دقیق‌ترین آن‌ها انتخاب شده است. نانوسیال با غلظت ۱٪ نیز همزمان با آب عیناً در همان دبی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی در شکل شماره ۶ ارایه شده است.

همان‌گونه که از شکل ۶ قابل مشاهده است هرچه دبی افزایش می‌یابد کارایی نیز رشد صعودی به خود می‌گیرد. تفاوت این افزایش در استفاده از نانوسیال آب-سیلیس بیشتر از آب خالص می‌باشد که به دلیل تاثیر عدد رینولدز در انتقال گرما است و در تحقیق یوسفی و همکاران توجیه شده است [۱۵]. در شکل ۷ ارزیابی عملکرد گردآور لوزوی براساس محدوده دمایی، مورد بررسی قرار گرفته است. همزمان با نزدیک شدن به ظهر خورشیدی و بیشتر شدن شدت تابش، دمای محیط نیز کمی افزایش می‌یابد.



شکل ۶- عملکرد گردآور لوزوی در دو حالت استفاده از آب و نانوسیال در دبی‌های مختلف

گرمای ویژه نانوذررات (J/Kg K)	$C_{p,np}$
گرمای ویژه سیال پایه (J/Kg K)	$C_{p,bf}$
اختلاف دمای بین ورودی- خروجی سیال از گردآور ($^{\circ}C$)	DT
ضریب اتلافات گرمایی	F_R
تابش خورشیدی (W/m^2)	G_T
دبی جرمی سیال عامل (Kg/s)	\dot{m}
میزان انرژی مفید به دست آمده از گردآور (W)	Q_u
درصد خطای بازدهی گردآور	S_{η}
دمای محیط ($^{\circ}C$)	T_a
دمای ورودی سیال به گردآور ($^{\circ}C$)	T_i
دمای خروجی سیال از گردآور ($^{\circ}C$)	T_o
ضریب اتلاف گرمایی کلی گردآور خورشیدی ($W/m^2 K$)	U_L
علایم یونانی	
ضریب جذب و صدور تابش گردآور	$T\alpha$
غلظت نانوسیال	μ
بازدهی آبی گردآور خورشیدی	η_i



شکل ۸- عملکرد گردآور لوزوی برای دو حالت استفاده از آب و نانوسیال بر اساس پارامتر $\left(\frac{T_i - T_a}{G_T}\right)$

جدول ۳- پارامترهای بازدهی در گردآور لوزوی برای هردو سیال

عامل آب و نانوسیال	سیال عامل	$F_R(T\alpha)$	$F_R U_L$	R^2
دبی حجمی (lit/min)				
۱,۴	آب	۰,۵۳۸	۱۴,۷۱	۰,۹۷۸
۱,۴	نانوسیال	۰,۵۷۶	۱۱,۸۵	۰,۹۸۸

۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله گردآور صفحه تخت خورشیدی با هندسه قرینه و لوزی شکل بدون راندر با سیال عامل آب و نانوسیال به صورت تجربی بررسی شده است. نانوسیال مورد استفاده سیلیس/آب با غلظت جرمی ۱٪ و بدون پایدارکننده به روش دو مرحله‌ای ساخته شده و بر اساس استاندارد ASHRAE و در جنوب ایران مورد آزمایش قرار گرفته است. ارزیابی بر اساس تغییرات دبی، تابش خورشیدی و شرایط محیطی یکسان برای هردو سیال بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش دبی و افزایش تابش خورشیدی، میزان کارایی گردآور در هردو سیال افزایش یافته ولی روند رشد صعودی بازدهی در هنگام استفاده از نانوسیال بیشتر است که مهم‌ترین دلیل آن حرکات نانوذررات معلق از جمله حرکات براونی در سرعت و تابش بالا در نانوسیال است. همچنین گردآور لوزوی در مقایسه با گردآور صفحه تخت ساده عملکرد نسبتاً بهتری داشته است. بیشترین بازدهی و دمای به دست آمده از این گردآور به ترتیب ۶۶٪ و ۷۸ درجه سلسیوس برای حالت استفاده از نانوسیال می‌باشد. میانگین افزایش بازدهی گردآور با استفاده از نانوسیال حدود ۳٪ در مقایسه با آب است که با توجه به هزینه نانوسیال که حدود ۱۵٪ هزینه ساخت گردآور است می‌تواند عدد معناداری باشد.

۶- فهرست علایم

مساحت سطح جذب گردآور (m^2)	Ac
گرمای ویژه سیال عامل (J/Kg K)	C_p
گرمای ویژه نانوسیال (J/Kg K)	$C_{p,nf}$

۷- منابع

[1] Noghrehabadi A., Hajidavalloo E. and Moravej M., An experimental investigation of performance of a 3-D solar conical collector at different flow rates. *Journal of Heat and Mass Transfer Research*, Vol. 5, No. 1, pp. 23-29, 2017.

[2] Sharafeldin M. A. and GRÓF G., Experimental investigation of flat plate solar collector using CeO₂-water nanofluid. *Energy conversion and management*, Vol. 155, pp. 32-41, 2018.

[3] Duffie, J. A. and Beckman. W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Fourth edition. Wiley, New York, 2013.

[4] Sundar L. Syam, et al. Experimental investigation of Al₂O₃/water nanofluids on the effectiveness of solar flat-plate collectors with and without twisted tape inserts. *Renewable energy*, Vol. 119, pp. 820-833, 2018.

[5] Ranga B., KIRAN K. and Srinivasa R. S., Thermodynamic analysis of hybrid nanofluid based solar flat plate collector. *World Journal of Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 27-39, 2018.

[6] Yousefi T., Veysi F., Shojaeizadeh E. and Zinadini S., An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat plate solar collectors. *Renewable Energy*, Vol. 39, No. 1, pp. 293-298, 2012.

[7] Nasrin R. and Alim M., Modeling of a Solar Water Collector with Water-Based Nanofluid Using Nanoparticles. *Heat Transfer-Asian Research*, Vol. 43, pp. 270-287, 2014.

[8] Goudarzi K., Shojaeizadeh E. and Nejati F., An experimental investigation on the simultaneous effect of CuO-H₂O nanofluid and receiver helical pipe on the thermal efficiency of a cylindrical solar collector. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 7, pp. 1236-1243, 2014.

[9] Shojaeizadeh E., Veysi F. and Kamandi A., Exergy efficiency investigation and optimization of an Al₂O₃-water nanofluid based Flat-plate solar collector. *Energy and Building*, Vol. 101, pp. 12-23, 2015.

[۱۰] نوربان اردکانی م.، علمی ا. و زارع میرک آباد م.، بررسی نسبت ابعادی و غلظت نانوذر بر جریان نانوسیال در لوله با مقاطع مستطیلی. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۴۸، ش. ۴، ص ۳۵۱-۳۴۷، ۱۳۹۷.

[۱۱] اندامی ز.، ویسی ف. و نوروزی ل.، بررسی تجربی کارایی گرمایی مبادله‌کن‌های گرمایی پوسته و لوله مارپیچ با استفاده از نانوذررات مغناطیسی Fe₃O₄. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۴۹، ش. ۲، ص ۱۰-۱، ۱۳۹۸.

[۱۲] حاجت‌زاده پردنجانی ا.، رئیسی ا. و قاسمی ب.، اثرات تلفات لزجت بر انتقال گرمای جابه‌جایی اجباری نانوسیال درون یک میکروکانال با حضور

- [13] Sakhaei S. A. and Valipour M. S., Performance enhancement analysis of the flat plate collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 102, pp. 186-204, 2019.
- [14] Noghrehabadi A., Hajidavalloo E. and Moravej M., An experimental investigation on the performance of a symmetric conical solar collector using SiO₂/water nanofluid'. *Transp Phenom Nano Micro Scales*, Vol. 5, No. 1, pp. 23-29, 2016.
- [15] Yousefi T., Shojaeizadeh E., Veysi F. and Zinadini S., An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT-H₂O nanofluid on the efficiency of flat plate solar collector. *Solar Energy*, Vol. 86, No. 2, pp. 771-779, 2012.
- [16] Meibodi S., Kianfar A., Niazmand H., Mahian O. and Wongwises S., Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO₂/EG-water nanofluids. *International communication of heat and mass transfer*, Vol. 65, pp. 71-75, 2015.