

بررسی تجربی کارایی کلکتورهای سه بعدی ثابت و صفحه تخت خورشیدی

مجتبی مروج^۱، امین رضا نقره‌آبادی^۲، ابراهیم حاجی دولو^۳

۱- مری، مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز

* تهران، ۰۹۱۶۶۷۲۴۴۷۳، moravej60@pnu.ac.ir

چکیده

کلکتورهای خورشیدی نوعی مبدل حرارتی بوده که نقش کلیدی را در سیستم‌های گرما خورشیدی به عهده داشته و بازدهی این کلکتورها تاثیر به سزایی در کارایی کل سیستم دارد. شکل و هندسه کلکتورهای خورشیدی یکی از موثرترین فاکتورهای افزایش بازدهی در این کلکتورها محسوب می‌شود. در این مقاله هدف بررسی و آزمایش مقایسه‌ای کلکتورهای دو بعدی و سه بعدی ثابت است. برای ارزیابی کلکتور سه بعدی از کلکتوری با هندسه مخروطی و لوله-های مارپیچ استفاده شده و برای مقایسه مناسب، از یک کلکتور صفحه تخت با مساحت جاذب و شرایط ساخت یکسان استفاده و همزمان آزمایش شده است. بازدهی هر دو کلکتور خورشیدی به صورت تجربی و بر اساس استاندارد ASHRAE انجام شده است. آزمایشات در شرایط آب و هوایی جنوب ایران و با استفاده از آب به عنوان سیال عامل مکررا و در شرایط متفاوت انجام و بهترین داده‌ها انتخاب شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که میانگین بازدهی کلکتور مخروطی ۵۹٪ و میانگین بازدهی کلکتور صفحه تخت در شرایط مشابه ۵۳٪ می‌باشد. بررسی‌ها شامل تاثیر تابش، تاثیر دبی و مقایسه دمایی بوده که در مجموع نشان دهنده عملکرد بهتر کلکتور سه بعدی مخروطی است.

کلید واژگان: کلکتور ثابت خورشیدی، کلکتور سه بعدی، کلکتور صفحه تخت، کارایی.

Experimental study of the performance of a 3-D stationary solar collector with flat plate collector

Mojtaba Moravej^{1,2}, Aminreza Noghrehabadi², Ebrahim Hajidavalloo²

1-Department of Mechanical Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

P.O.B 19395-3697 Tehran, Iran email: Moravej60@pnu.ac.ir

Received: March 2018 Accepted: July 2018

Abstract

Solar collectors play key role in solar thermal systems and their efficiency has more effect in the system performance. The shape and geometry of solar collectors is an important factor to increase their efficiency. In this paper, two collectors, a 3-D stationary solar collector which is called solar conical collector and flat plate collector has been investigated. These two solar collectors have the same absorber area and designed and tested in the same conditions. The performance of solar collectors was experimentally studied by the use of ASHRAE standard. Experiments were performed with water as a working fluid in the south of Iran with deference outdoor conditions and the best data has been selected. The results show that the average of thermal efficiency of a solar 3-D collector is about 59% while this value was about 53% for flat plate collector. The performance of both collectors versus radiation, flow rate, temperature variation was studied and the experiments indicated that the efficiency of the 3-D conical collector has better than the flat plat collector.

Keywords: Solar stationary collector, 3-D collector, Flat plate, Efficiency.



۱- مقدمه

محاسبات مربوط به انرژی رسیده به کلکتور نیم‌کروی پرداختند و نشان دادند که دریافت مناسبی با استفاده از هندسه نیم کروی برای کلکتور خورشیدی خواهد بود. همچنین کومار و همکاران [۱۹] از یک کلکتور آگرمکن-غذاپز ترکیبی با هندسه هرمی استفاده نمودند که ضمن ارایه کلکتور دومنظوره میزان بازدهی آن را ۵۴٪ گزارش کردند. همگی این مطالعات به منظور افزایش کارایی کلکتورهای ثابت خورشیدی صورت پذیرفته است. در سال ۲۰۱۷ نیز نقره آبادی و همکاران به ارایه کلکتور خورشیدی مخروطی پرداختند و بازدهی و کارایی این کلکتور جدید را در شرایط مختلف از جمله دبی مورد بررسی قرار دادند [۲۰]. در این مقاله هدف ارزیابی و بررسی مقایسه‌ای کلکتورهای دوبعدی و سه‌بعدی می‌باشد. بدین منظور یک کلکتور سه‌بعدی با هندسه خاص مخروطی شکل و یک کلکتور دوبعدی از نوع کاربردی‌ترین کلکتورها یعنی کلکتور صفحه تخت استفاده شده است. از لحاظ طراحی، مواد مورد استفاده، شرایط ساخت و حتی ابعاد و اندازه‌های به کار رفته در هر دو کلکتور یکسان بوده که نهایتاً مواردی چون ضخامت عایق، صفحه جاذب، لوله‌های حاوی سیال و مهم‌ترین آن‌ها یعنی سطح دریافت کننده تابش مشابه می‌باشد. برای ارزیابی در شرایط آزمایشگاهی مشابه و همزمان، از آب به عنوان سیال عامل در شرایط محیطی مختلف از جمله دما، تابش و دبی متفاوت، آزمایش و بررسی شده است.

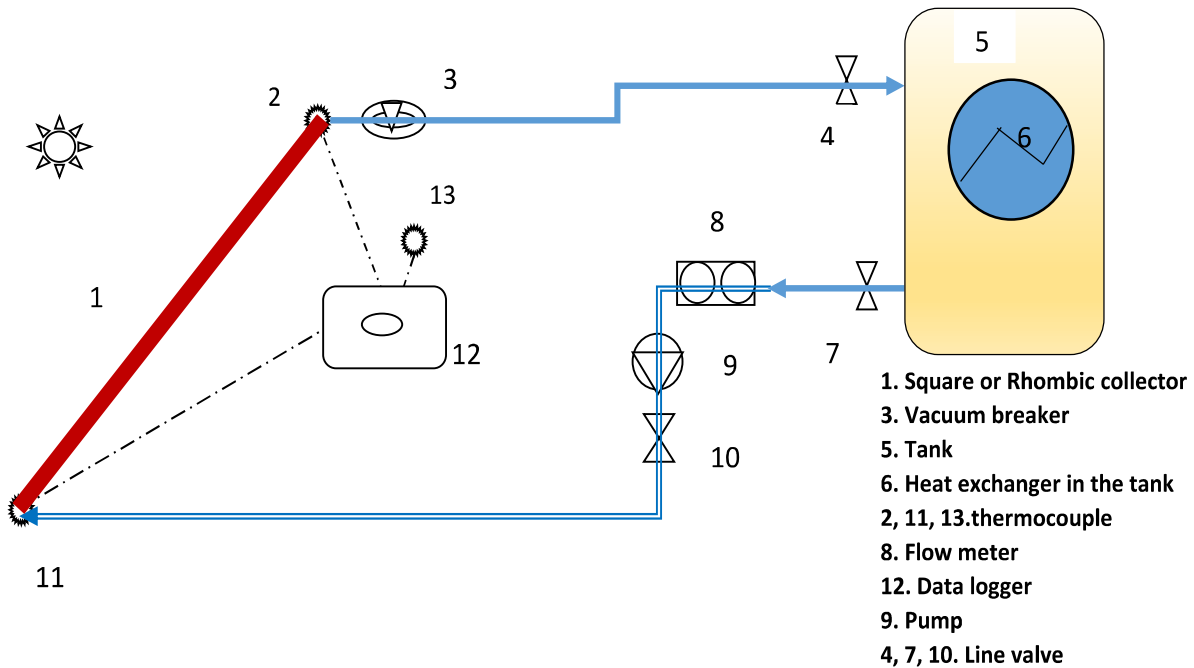
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و چیدمان آزمایشگاهی

کلکتور سه بعدی مخروطی خورشیدی مورد مطالعه و همچنین کلکتور صفحه تخت بررسی شده در شرایط یکسان و با مواد یکسان ساخته شده که ابعاد و اندازه‌های هر دو کلکتور در جدول (۱) ارائه شده است. آزمایشات در شرایط هوای آفتابی در شهر بهبهان در دو طول و عرض جغرافیایی (۳۶° و ۳۱° N) در جنوب ایران و به صورت مکرر در طول سال انجام شده است. شکل شماتیک چیده مان آزمایشگاهی برای هر دو کلکتور در شکل ۱ و شکل ۲ نمایش داده شده است. برای اندازه‌گیری عملکرد کلکتورهای خورشیدی دو عدد ترموکوپل نوع k در ورودی و خروجی کلکتورها تعبیه شده‌اند تا دمای سیال عامل را در ابتدا و انتهای کلکتورها اندازه‌گیری نمایند. همچنین از یک ترموکوپل مشابه برای اندازه‌گیری دمای محیط استفاده شده که همگی به دیتا لاگر مدل (Ktt310-Kimo) متصل شده‌اند. دقت این دیتا لاگر برابر $0.1^\circ C$ می‌باشد. به منظور تولید جریان اجباری یک پمپ دیا فراگمی (با حداکثر فشار نامی ۱۲ bar و دبی ۴ lit/min) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین اندازه‌گیری تابش خورشیدی نیز توسط سولاری متر مدل (TES-132) انجام شده که دارای دقت 1 w/m^2 است.

با توجه به افزایش تقاضا برای انرژی و مشکلات عدیده از جمله مشکلات زیست محیطی سوخت‌های فسیلی، انرژی خورشیدی به عنوان یکی از کاربردی‌ترین و در دسترس‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر می‌تواند به عنوان منبع انرژی برای انواع سیستم‌های خانگی و صنعتی به کار گرفته شود [۳-۱]. یک کلکتور ساده خورشیدی که به عنوان آگرمکن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد شامل صفحه جاذب، لوله‌های حاوی سیال عامل، اسکلت و جدار شیشه‌ای خواهد بود [۴، ۵]. انرژی خورشیدی به طور عموم به دو صورت برق خورشیدی و گرما خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم‌های گرما خورشیدی کلکتورهای خورشیدی نقش کلیدی در سیستم ایفا می‌نمایند و وظیفه انتقال و تبدیل انرژی خورشیدی به حرارت مفید و قابل استفاده را در سیستم به عهده دارند که این حرارت به صورت مستقیم یا غیر مستقیم به سیال عامل و واسطه به منظور انتقال به سایر قسمت‌های سیستم منتقل می‌شود. کلکتورهای خورشیدی به دو صورت ثابت و متحرک تقسیم بندی می‌گردند. مهم‌ترین معیار ارزیابی کلکتورهای خورشیدی میزان بازدهی یا کارایی آن‌ها می‌باشد که به افزایش بهره‌وری و یا کاهش هزینه‌های تمام شده در آن‌ها می‌انجامد. متداولترین نوع از انواع کلکتورهای ثابت، کلکتورهای صفحه تخت هستند. راهکارهایی زیادی برای افزایش کارایی کلکتورهای ثابت پیشنهاد داده شده است که از طرفی شامل مساحت مفید سطح کلکتور، رنگ، ضریب شکل و کاهش تلفات انرژی در ساخت و مواد کلکتور بوده و از سوی دیگر به انتقال حرارت بین کلکتور و سیال عامل مربوطه شده که شامل نوع سیال عامل، نحوه و نوع ارتباط و تماس بین جاذب و سیال عامل مربوط می‌شود [۸-۶]. این تحقیقات شامل استفاده از سوسپانسیون ذره-گاز [۹]، فیلم مایع [۱۰]، فوم فلزی [۱۱] و یا نانوسیال [۱۴-۱۲] است. بخش دیگری از مطالعات به تغییرات در هندسه و شکل جاذب و کلکتور پرداخته که به وسیله آن می‌توان جذب تابش و انرژی دریافتی خورشیدی افزایش یابد. کاربردی‌ترین این سیستم‌ها استفاده از مکانیزم ردیاب خورشیدی است که می‌تواند کارایی کلکتور خورشیدی را در طی روز تا ۱٫۴۵ برابر افزایش دهد [۱۵]. البته استفاده از مکانیزم ردیاب خورشیدی گران و هزینه بر بوده و از نظر اقتصادی گاها مقرون به صرفه نمی‌باشد. حذف مکانیزم‌های ردیاب خورشیدی برای کلکتورهای معمولی و در عوض دریافت بیشتر انرژی را می‌توان تا اندازه‌ای با انتخاب هندسه بهتر و شکل مناسبتر کلکتور جبران نمود. یکی از این هندسه‌های مناسب شکل کروی میباشد که توسط گاسپار [۱۶] و پلس [۱۷] بررسی و مطالعه شده است. آن‌ها در مطالعات خود به افزایش کارایی و بازدهی کلکتور خود درمقایسه با کلکتور صفحه تخت اشاره نموده‌اند. همچنین سمنا و البلوشی [۱۸] به





شکل ۱ چیدمان آزمایشگاهی برای بررسی تجربی کلکتور خورشیدی

جدول ۱ مشخصات کلکتورهای مخروطی و صفحه تخت خورشیدی به کارگرفته شده در آزمایشات

واحد	سه بعدی مخروط	صفحه تخت	مشخصات
m	0.6×1.07	1×1	جاذب
m ²	۱.۰	۱.۰	مساحت جاذب
m	۱.۰۷		ارتفاع مخروط
mm	۱.۵	۱.۵	ضخامت جاذب
mm	۶	۶	جدار شیشه
mm	۶.۲	۶.۲	لوله‌ها
-	-	آلومینیوم	قاب
mm	۲۰	۲۰	ضخامت عایق

۲-۲- روش انجام آزمایش

به منظور اندازه گیری کارایی کلکتورها و بررسی تجربی آن‌ها از استاندارد ASHRAE 86-93 بهره‌برداری شده که یکی از رایج ترین استانداردهای ارزیابی بازدهی کلکتورهای ثابت است [۲۱]. برای دست-یابی به بازدهی کلکتور نیاز است که سیستم به حالت یکنواخت یا شبه یکنواخت برسد. بر اساس این استاندارد، حالت یکنواخت پس از به دست آمدن پیش داده‌ها و پس از بازه زمانی خاص خواهد بود. برای رسیدن به حالت یکنواخت، دبی جرمی سیال عامل و تابش، به ترتیب باید در محدوده $\pm 1\%$ و $W/m^2 \pm 50$ باشد. علاوه بر این حداکثر تغییرات دمای محیط $\pm 1.5 K$ و بیشینه تغییرات دمای ورودی باید $\pm 0.1 K$ باشد [۲۱].





شکل ۲ عکس واقعی از کلکتورهای خورشیدی در حین آزمایش

$$Q_u = A_c F_R [G_T (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad (2)$$

با تعریف بازدهی آبی کلکتور خورشیدی به صورت نسبت بین انرژی مفید کسب شده به انرژی خورشیدی رسیده به کلکتور، این مقدار بازدهی را که با η_i نمایش داده به صورت روابط (۳) و (۴) بیان می‌شود:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{G_T} \quad (3)$$

$$\eta_i = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) \quad (4)$$

اگر کلکتور در شرایط ظهر خورشیدی و شرایطی که تابش عمود بر کلکتور باشد تست شود، مقادیر $F_R U_L$ و $F_R (\tau \alpha)$ مقادیر ثابتی خواهند بود. همچنین بر اساس معادله (۴)، 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 $F_R (\tau \alpha)$ بوده و این مقدار نشان دهنده بیشینه بازدهی کلکتور می باشد و هنگامی اتفاق می افتد که دمای سیال ورودی به کلکتور معادل دمای محیط باشد. محل تقاطع این خط با محور افقی نقطه سکون کلکتور نام دارد که در آن بازدهی کلکتور به صفر می‌رسد و وقتی رخ می‌دهد که میزان دبی صفر شود. شیب خط مورد نظر نیز برابر $F_R U_L$ است که معرف میزان تلفات انرژی از کلکتور خورشیدی است.

بازده حرارتی کلکتورهای خورشیدی با به دست آوردن میزان بازدهی آبی در عملکرد و کارایی و بر اساس دمای ورودی به کلکتور، میزان تشعشع دریافتی و دمای محیط تعیین می‌شود که به نوعی معادل میزان حرارت تبادل شده با سیال عامل در واحد کلکتور به میزان انرژی تابشی رسیده به کلکتور در شرایط پایدار یا شبه پایدار می‌باشد [۲۱، ۲۲]. استاندارد ASHRAE 86-93 برای انجام آزمایش‌های مربوط به اندازه-گیری کارایی کلکتور 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 به دست آمده از کلکتور را معادل افزایش آنتالپی و به عبارت ساده‌تر افزایش دمای سیال عامل خروجی از کلکتور در نظر بگیریم آن‌گاه می‌توان این انرژی مفید (Q_u) را به صورت رابطه (۱) نمایش داد [۲۲، ۲۳].

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

که در آن T_i و T_o به ترتیب دمای ورودی و دمای خروجی سیال عامل، C_p گرمایی ویژه آب و \dot{m} دبی سیال عامل است. با در نظر گرفتن مساحت سطح جاذب کلکتور یعنی A_c ، ضریب تلفات حرارت، T_a دمای محیط، $\alpha \tau$ ضریب صدور و جذب کلکتور، G_T تابش خورشیدی و U_L به عنوان ضریب کلی اتلافات انرژی کلکتور، می‌توان معادله (۱) را به صورت زیر نوشت:



۳-۲- آنالیز خطا برای آزمایشات

$$(S_{\eta})^2 = \left[\left(\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta((T_o - T_i))}{(T_o - T_i)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 \right] \quad (5)$$

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

۳- نتایج مطالعات

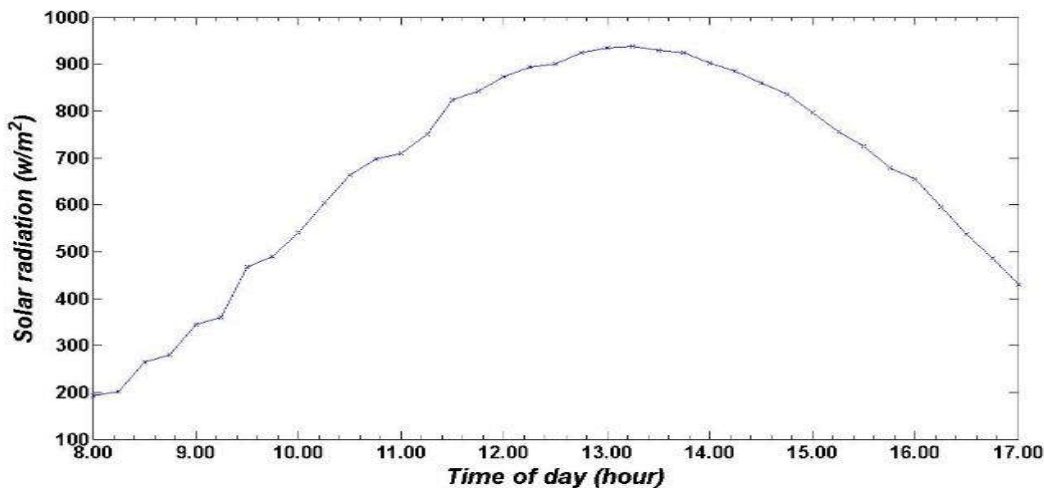
نتایج این مطالعه شامل بررسی عملکرد، بازدهی و تغییرات تابش و تغییرات دمایی برای کلکتور سه بعدی مخروطی و مقایسه آن با کلکتور صفحه تخت است. تمامی داده‌ها در حالت پایدار یا شبه پایدار به دست آمده و بیشینه اختلاف در اندازه‌گیری دمای ورودی، خروجی و دمای محیط به ترتیب ۰٫۶، ۰٫۶ و ۰٫۷ درجه سانتی‌گراد و بیشترین اختلاف اندازه‌گیری تابش 19 W/m^2 بوده است. آب معمولی به عنوان سیال عامل استفاده شده و در تمامی حالات کلکتور عمود بر زمین با زاویه جمله 90° قرار گرفته است. تست کلکتور در بسیاری از روزها بررسی شده و تحت آزمایش قرار گرفته و داده‌ها هر ۱۵ دقیقه یکبار ثبت شده‌اند. شرایط آزمایش مختلف بوده و داده‌ها از ساعت ۸ صبح لغایت ۱۷ جمع‌آوری شده و به کرات تکرار شده‌اند. نتایج حاصله از بهترین داده‌ها و دقیق‌ترین آن‌ها ارائه گردیده که به صورت نمودار یا گراف یا جدول به منظور مشاهده بهتر ترسیم شده است. شکل ۳ نمودار تابش روزانه را در محل آزمایش ارائه می‌دهد. که مربوط به بهار و تابستان است که هوا کاملاً آفتابی بوده و تابش منظمی و بدون ابر مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است.

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 [۲۲، ۲۴]. خطای اندازه‌گیری دماها، خطای اندازه‌گیری دبی و خطای اندازه‌گیری تابش خورشیدی مهم‌ترین مؤلفه‌های خطا در این مقاله برای محاسبه بازدهی کلکتور خورشیدی هستند. خطای هر یک از این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲ نتایج خطا در اندازه‌گیری پارامترها

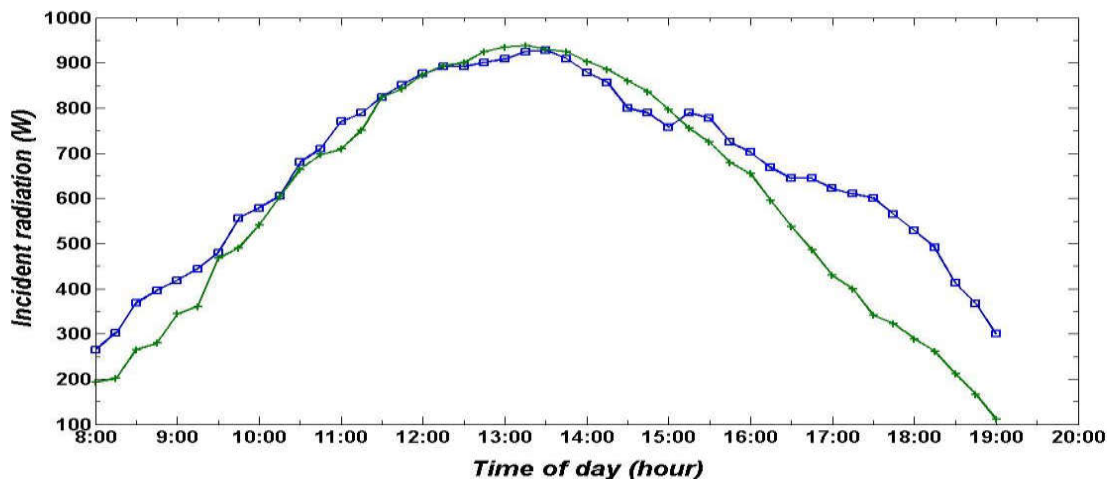
پارامتر	(%) عدم قطعیت
دبی	± 1.6
تابش خورشیدی	± 6.5
اختلاف دمایی	± 1.2

میزان عدم قطعیت و خطای اندازه‌گیری بازدهی کلکتور 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.



شکل ۳ میزان تابش روزانه در یکی از روزهای آزمایش





شکل ۴ مقایسه تابش اندازه گیری شده بر روی کلکتور مخروطی و کلکتور صفحه تخت

شکل ۵ نمودار بازدهی کلکتورهای مخروطی و صفحه تخت را بر اساس تابش مستقیم ارایه می‌دهد. در این نمودار در تابش‌های مستقیم خورشیدی مختلف کارایی هر دو کلکتور اندازه‌گیری شده است که حاکی از تفاوت ناچیز در تابش‌های پایین و افزایش کارایی کلکتور مخروطی در تابش‌های بالاست. توجیه این رفتار به دلیل هندسه خاص مخروطی در جذب حداکثری تابش و کاهش اتلافات در تابش بالا و دمای محیط بالاتر دارد. همان‌گونه که در بخش ۲-۲ توضیح آن رقت، یکی از شاخصه‌های کلکتورهای ثابت خورشیدی میزان تغییرات بازدهی نسبت به متغیر $\left(\frac{T_1 - T_a}{G_T}\right)$ می‌باشد. براساس داده‌های به دست آمده از آزمایشات، این مقادیر بازدهی بر اساس آن پارامتر محاسبه شده که در شکل ۶ ارایه شده است. در این شکل تغییرات بازدهی را برای کلکتور مخروطی نمایش داده و مقایسه آن را با کلکتور صفحه تخت نشان می‌دهد. واضح است که هر چه میزان اختلاف دمای سیال ورودی با هوای محیط و یا به عبارت دیگر، هر چه متغیر $\left(\frac{T_1 - T_a}{G_T}\right)$ زیادتر می‌شود، میزان کارایی کلکتور کاهش می‌یابد. با توجه به این نمودار که در دبی ۱,۳ lit/min ترسیم شده است، می‌توان دریافت که عملکرد کلکتور مخروطی به نسبت بهتر بوده و با شیب

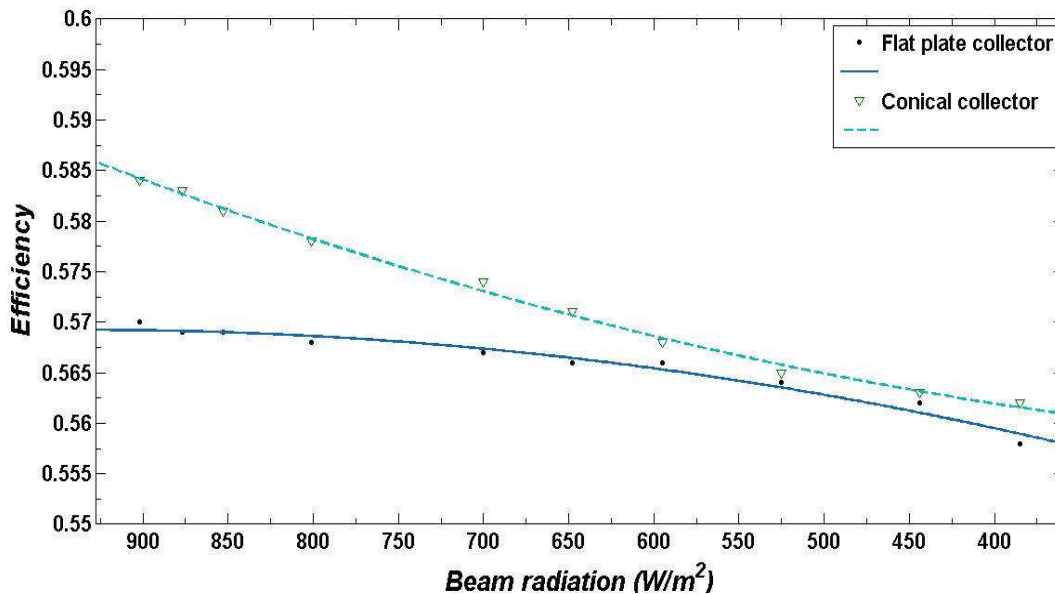
جدول ۳ مقادیر $F_R U_L$ و $F_R (\tau\alpha)$ برای کلکتورهای تخت و مخروطی

کلکتور	$F_R (\tau\alpha)$	$F_R U_L$	دبی (Lit/min)	R^2
تخت	۱۰.۶	۰.۵۳۱	۱.۳	۰.۹۷
سه بعدی	۸.۴	۰.۵۸۱	۱.۳	۰.۹۶

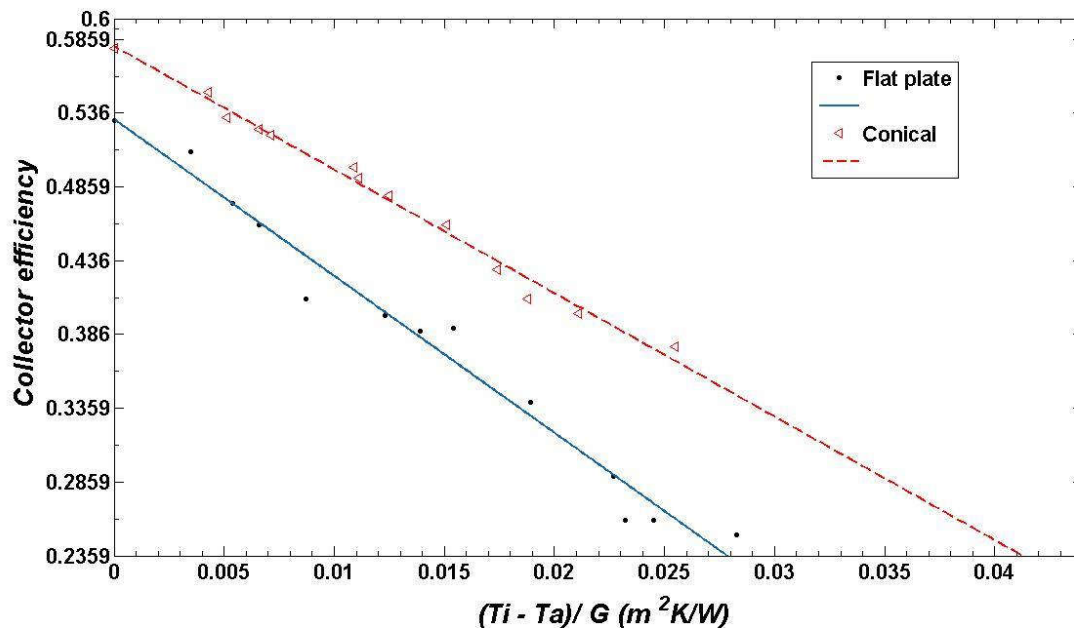
اتلافات انرژی در آن به نسبت کمتر است. با توجه به این شکل، بیشینه بازدهی کلکتور مخروطی قریب ۵۸٪ و بیشینه بازدهی کلکتور صفحه تخت تقریباً ۵۳٪ است. با توجه به برازش منحنی انجام شده مقادیر

شکل ۶ ارایه شده است. در این شکل تغییرات بازدهی را برای کلکتور مخروطی نمایش داده و مقایسه آن را با کلکتور صفحه تخت نشان می‌دهد. واضح است که هر چه میزان اختلاف دمای سیال ورودی با هوای محیط و یا به عبارت دیگر، هر چه متغیر $\left(\frac{T_1 - T_a}{G_T}\right)$ زیادتر می‌شود، میزان کارایی کلکتور کاهش می‌یابد. با توجه به این نمودار که در دبی ۱,۳ lit/min ترسیم شده است، می‌توان دریافت که عملکرد کلکتور مخروطی به نسبت بهتر بوده و با شیب





شکل ۵ نمودار مقایسه بازدهی کلکتورهای مخروطی و صفحه تخت بر اساس تابش مستقی

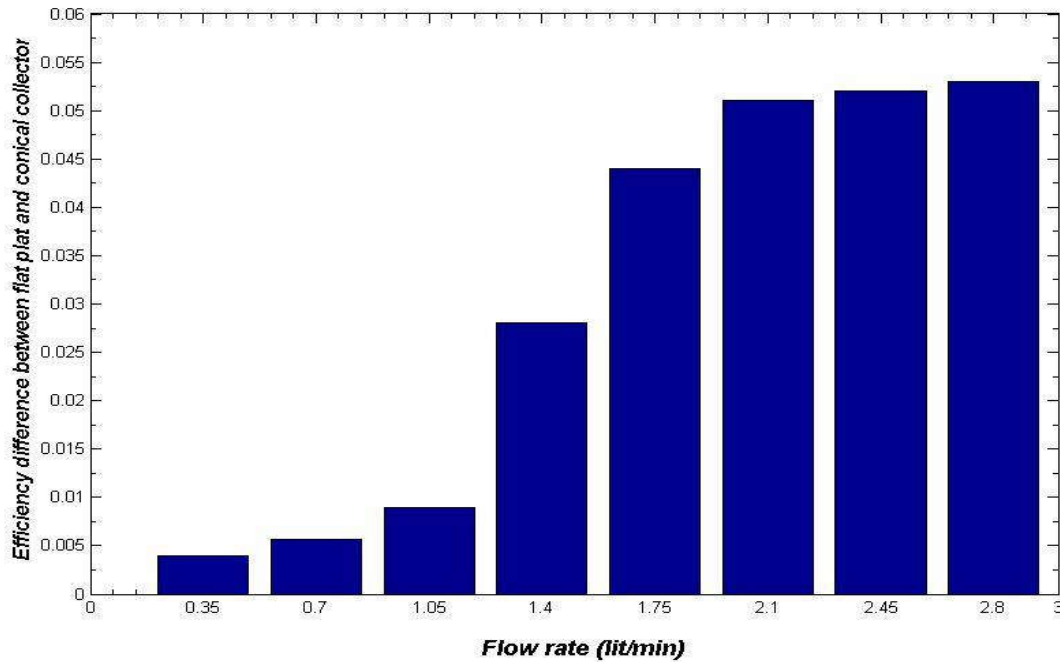


شکل ۶ مقایسه تغییرات بازدهی کلکتورهای صفحه تخت و مخروطی بر اساس پارامتر $\left(\frac{T_i - T_a}{G_T}\right)$

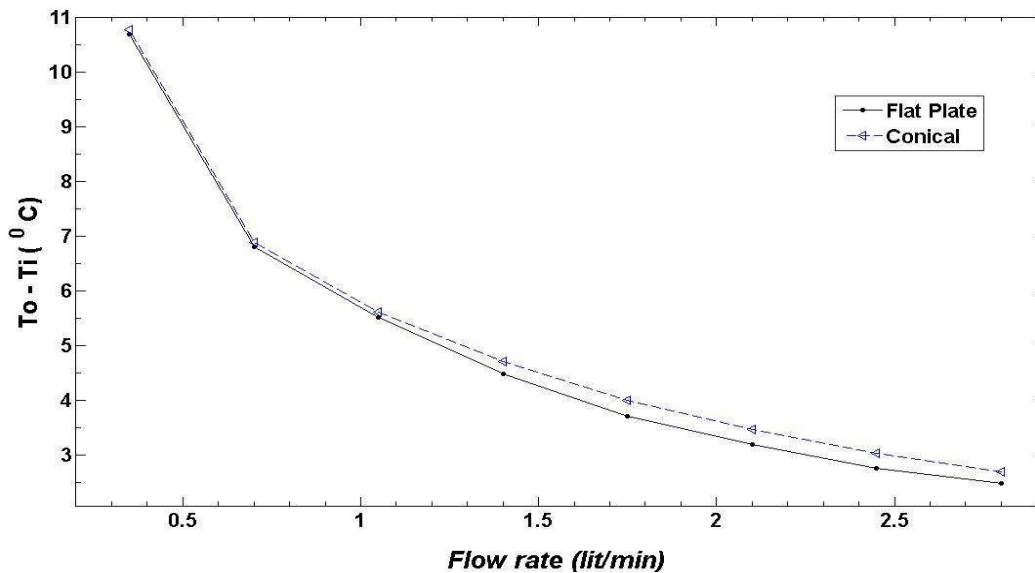
کاهش دما با کاهش دبی در هر دو کلکتور نمایان است اما عملکرد کلکتور مخروطی نسبت به صفحه تخت کمی بهتر است چرا که با افزایش دبی، میزان تلفات حرارتی که در پشت کلکتور مخروطی اتفاق می افتد به دلیل سرعت بالاتر سیال و زمان کمتر برای طی مسیر، کاهش می یابد.

براساس این دو شکل همگام با افزایش میزان دبی، میزان کارایی هر دو کلکتور افزایش یافته و عکس این رفتار در مورد عملکرد دمایی دیده می شود که با افزایش دبی میزان اختلاف دمای بین ورودی و خروجی سیال عامل کاهش می یابد که مشابه نتایج پژوهش های انجام شده پیشین است [۲۵، ۲۶]. اگرچه رفتار افزایش کارایی با افزایش دبی و یا





شکل ۷ مقایسه تفاضل بازدهی کلکتورهای صفحه تخت و مخروطی (بازدهی کلکتور صفحه تخت - بازدهی کلکتور مخروطی) بر اساس دبی سیال عامل



شکل ۸ مقایسه اختلاف دمای ورودی-خروجی سیال عامل کلکتورهای صفحه تخت و مخروطی بر اساس دبی سیال عامل

۴- بحث و نتیجه گیری

استاندارد ASHRAE بوده و بازدهی و کارایی کلکتورها با استفاده از آن محاسبه شده است. داده ها در شرایط مختلف با آنالیز خطای مورد قبول، مرتب و مکرر تست شده و بهترین داده‌ها انتخاب و ارایه شده‌اند. ارزیابی شامل بررسی دمایی، بررسی اثر تابش، اثر دبی بر روی کارایی کلکتور بوده و تاثیر پارامترهای موثر بر بازدهی نیز مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی اولیه نشان می‌دهد که کلکتور سه بعدی دارای امتیازات

در این مقاله، عملکرد و کارایی کلکتورهای ثابت خورشیدی با دو هندسه دو بعدی و سه بعدی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. به منظور ارزیابی کامل دو کلکتور مشابه هم ساخته شده و به طور همزمان تحت آزمایش قرار گرفته است. آزمایشات و چیدمان آزمایشگاهی بر اساس



۶- مراجع

- [1] M. Esen, H. Esen, Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater, *Solar Energy*, Vol. 79, No. 5, pp. 459-468, 2005.
- [2] S. Fathollahi, H. Safarzadeh, Simulation study on the thermal performance of a direct-expansion solar-assisted heat pump for water heating in Kermanshah climate, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 12, pp. 232-242, 2015. (in Persian)
- [3] T. Yousefi, E. Shojaeizadeh, F. Veysi, S. Zinadini, 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.
- [4] S. Kalogirou, Prediction of flat plate collector performance parameters using artificial neural networks, *Solar Energy*, Vol. 80, No. 3, pp. 248-259, 2006.
- [5] S. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30, No. 3, pp. 231-295, 2004.
- [6] A. Noghrehabadi, E. Hajidavalloo, M. Moravej, 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.
- [7] Y. Tian, C. Y. Zhao, a review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications, *Applied Energy*, Vol. 104, pp. 538-553, 2013.
- [8] E. Zambolina, D. Del, Experimental analysis of thermal performance a flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily condition, *Solar Energy*, Vol. 84, No. 8, pp. 1382-1396, 2010.
- [9] R. Bertocchi, J. Karni, A. Kribus, Experimental evaluation of a non-isothermal high temperature solar partier receiver, *Energy*, Vol. 29, No. 5, pp. 687-700, 2004.
- [10] MS. Bohn, KY. Wang, Experiments and analysis on the molten Salt direct absorption receiver concept, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 110, No. 1, pp. 45-51, 1988.
- [11] T. Fend, R. Pitz-paal, O. Reutter, J. Bauer, B. Hoffschmid, two novel high-porosity materials as volumetric receivers for concentrated solar radiation, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 84, No. 1, pp. 291-304, 2004.
- [12] H. Tyagi, P. Phelan, R. Prasher, predicted efficiency of a low-temperature nanofluid-based direct absorption solar collector, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 131, No. 4, pp. ۰۴۱۰۰۴۱-۷, ۲۰۰۹.
- [13] E. Natarajan, R. Sathish, Role of nanofluids in solar water heater, *International Journal of Advanced Manufacture and Technology*, Vol. 1, pp. 3-7, 2009.

قابل توجهی نسبت به کلکتور صفحه تخت می‌باشد که عبارتند از این که کلکتور سه بعدی معمولاً از نظر هندسی دارای شکلی قرینه هستند و بنابراین نیاز به نصب ندارند، همچنین کلکتور مخروطی به دلیل هندسه خود همیشه دارای تعادل است و لذا اسکلت و سازه نگهدارنده نیاز ندارد. کلکتورهای سه بعدی قابلیت جذب اشعه تابشی را به صورت سه بعدی و از همه طرف دارد و این که کلکتور مخروطی فقط از یک طرف عایق شده و لذا قاب دور را نیز نیاز ندارد. در بررسی تجربی مشخص شد که در طی اندازه‌گیری مربوط به تابش، کلکتور سه بعدی توان بیشتری در جذب تابش در ساعات روز به غیر از ظهر خورشیدی در مقایسه با صفحات تخت دارد. به ویژه در اوایل صبح و بعد از ظهر. همچنین نتایج آزمایشات نشان داد که میانگین بازدهی کلکتور مخروطی ۵۹٪ و میانگین بازدهی کلکتور صفحه تخت در شرایط مشابه ۵۳٪ می‌باشد. در آزمایش مربوط به تاثیر تابش مشخص شد که کارایی هر دو کلکتور مخروطی و صفحه تخت با افزایش تابش بیشتر می‌شود. همین رفتار برای افزایش دبی نیز اتفاق افتاد اما در هردو حالت میزان رشد بازدهی در کلکتور مخروطی نسبت به صفحه تخت بیشتر بوده که دلیل اصلی آن را می‌توان کاهش اتلافات حرارتی، افزایش سرعت سیال و دریافت مناسب‌تر انرژی در هندسه مخروط یافت. بیشترین بازدهی گزارش شده برای کلکتور مخروطی قریب ۶۷٪ و بیشترین اختلاف دمای بین ورودی و خروجی سیال در این کلکتور نزدیک به ۱۱°C بوده است.

۵- فهرست علائم

مساحت سطح جاذب کلکتور (m ²)	A_c
ظرفیت گرمایی ویژه سیال عامل (J/Kg k)	C_p
اختلاف دمای بین ورودی- خروجی سیال از کلکتور (C)	DT
ضریب اتلافات حرارتی	F_R
تابش خورشیدی (W/m ²)	G_T
دبی جرمی سیال عامل (Kg/s)	m[˙]
میزان انرژی مفید به دست آمده از کلکتور (W)	Q_u
درصد خطای بازدهی کلکتور	S_η
دمای محیط (C)	T_a
دمای ورودی سیال به کلکتور (C)	T_i
دمای خروجی سیال از کلکتور (C)	T_o
ضریب اتلاف حرارت کلی کلکتور خورشیدی (W/m ² K)	U_L
ضریب جذب و صدور تشعشع کلکتور	τα
بازدهی انی کلکتور خورشیدی	η_i



- [14] E. Sani, L. Mercatelli, S. Barison, C. Pagura, F. Agresti, L. Colla, and P. Sansoni, Potential of carbon nanohorn-based suspensions for solar thermal collectors, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 95, No. 11, pp. 2994-3000, 2011.
- [15] H. Mousazaeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, A. Sharifi, A review of principal and sun-tracking methods for maximizing solar systems output, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 8, pp. 1800-1818, 2009.
- [16] F. Gaspar, M. Balan, L. Jantchi, V. Ros, Evaluation of global solar radiation received by a spherical solar collector, *Bulletin UASVM Agriculture*, Vol. 69, No. 2, pp. 128-135, 2012.
- [17] I. Pelece, U. Iljins, E. Ziemelis, I. Ziemelis, Theoretical calculation of energy received by semi-spherical solar collector, *Proceeding of the International Scientific Conference of Engineering of Agricultural Technologies*, Latvia. P: 263-269, 2008.
- [18] B. Samanta, K. Balushi, Estimation of incident radiation on a novel spherical solar collector, *Renewable Energy*, Vol. 14, No. 1, pp.241-247, 1998.
- [19] N. Kumar, T. Chavad, H. N.Mistry, A trancated pyramid non-tracking type multipurpose domestic solar cooker/hot water system, *Applied Energy*, Vol. 87, No. 2, pp. 471-477, 2010.
- [20] A. Noghrehabadi, E. Hajidavalloo, M. Moravej, 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.
- [21] ASHRAE Standard 93-86. **Methods** of testing and determine the thermal performance of solar collectors. Atlanta, GA, USA, 1986.
- [22] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of $Al_2O_3-H_2O$ nanofluid on the efficiency of flat plate solar collectors, *Renewable Energy*, Vol. 39, No. 1, pp. 293-298, 2012.
- [23] Duffie, J. A. Beckman. W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Fourth edition. Wiley, 2013.
- [24] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, and S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT- H_2O nanofluid on the efficiency of a flat plate solar collector, *Solar Energy*, Vol. 86, No. 8, pp. 771-779, 2012.
- [25] Do. Ango, AC. Mintsu, M. Medale, C. Abid, Optimization of the design of a polymer flat plate solar collector, *Solar Energy*, Vol. 87, pp. 64-75, 2013.
- [26] C. Cristofari, G. Notton, P. Poggi, A. Louche, Mmodeling and performance of a copolymer solar water heating collector, *Solar Energy*, Vol. 72, No. 2, pp. 99-112, 2002.

