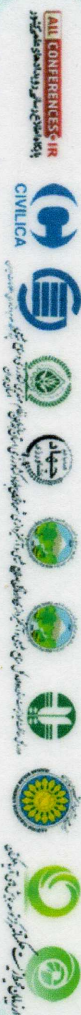


کد احراز اصالت گواهینامه: HN10100870034

تاریخ: ۹۴/۰۴/۲۲



# دومین همایش ملی مدیریت انرژی های نو و پاک

## The Second National Conference of the Management of Pure and New Energies

Thursday, August 13, 2015

Certificate of Presentation

گواهی نامه پذیرش، ارائه مقاله و حضور در همایش

نخدی فریختی، دانشمند گرانمایه  
سرکار خانم اجتاب آقایی

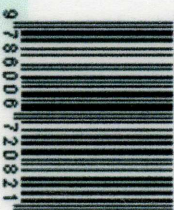
کامل میلانی، شیروان، مجتبی ماموریان

بدینوسیله پاس تلاش های پژوهشی شما در ارائه مقاله ارزشمندتان با عنوان:

مروری بر مقالات انجام شده بر روی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت

دومین همایش ملی مدیریت انرژی های نو و پاک که در محل دانشکده شهید بهشتی برگزار گردید، بر رسم تنظیم و تکمیل این لوح تقدیر تقدیم شما می گردد. از یکایک شما می گویا که در این زمینه با انجام پژوهش ممتاز جهت فرواری بهتر و واقعی روشن تر، آرزو مند است، امید است، با تداوم، تعهد و تخصص، انق روشی در تحقیق چشم انداز آینده ی ایران اسلامی پدیدار نماید. همان بذری از این آرزوی ناب و خلاقانه ی شما، مستقیم.

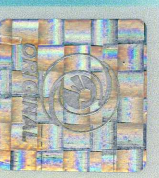
ISBN:978-600-6720-82-1



دسرپیرانی بایش  
مهندس الهام رجبخواهانی

دسرپیرانی بایش  
دکتر فریدون عوفی

رهنی بایش  
مهندس سجاده آقایی



## مروری بر مقالات انجام شده بر روی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت

کامل میلانی شیروان<sup>1\*</sup>، مجتبی ماموریان<sup>2</sup>

<sup>1</sup>دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، مجتمع گاز پارس جنوبی. پست الکترونیکی: milani.kamel@gmail.com  
<sup>2</sup>استادیار دانشگاه فردوسی مشهد. پست الکترونیکی: mamourian@um.ac.ir

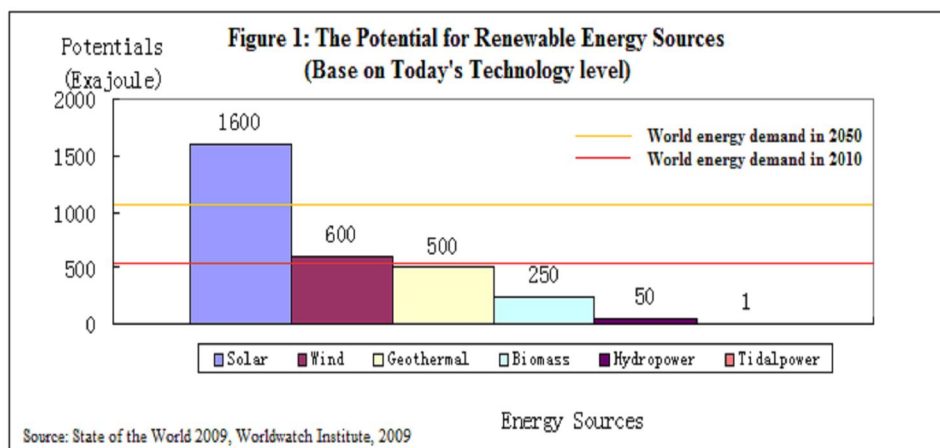
### چکیده

کلکتورهای خورشیدی نوعی از مبدل‌های حرارتی هستند که در آن‌ها انرژی تشعشعی خورشیدی به انرژی داخلی یک ماده انتقال دهنده نظیر آب منتقل می‌شود. در هر سیستم خورشیدی، کلکتورها جز اصلی آن سیستم محسوب می‌شوند. در حقیقت یک کلکتور خورشیدی وسیله‌ای است که انرژی تشعشعی ورودی خورشید را جذب نموده و آن را به حرارت تبدیل می‌نماید. سپس این حرارت جذب شده، توسط یک سیال (معمولاً هوا، آب و یا روغن) که در میان کلکتور جریان دارد منتقل می‌شود. این انرژی خورشیدی جذب شده یا از طریق یک سیال چرخان در کلکتور بطور مستقیم به آب گرم تبدیل می‌شود و یا به دستگاه‌های تهویه مطبوع منتقل شده و به مصارف راحتی می‌رسد. این انرژی ذخیره شده همچنین می‌تواند در یک تانک ذخیره انرژی گرمایی ذخیره شده تا در شب‌ها یا زمان‌هایی که آسمان ابری است جهت مصارف مختلف مورد استفاده قرار گیرد. بطور کلی دو نوع مختلف از کلکتورهای خورشیدی شامل: غیر متمرکز کننده‌ها یا کلکتورهای ثابت و کلکتورهای متمرکز کننده وجود دارند. یک کلکتور غیر متمرکز کننده سطحی به اندازه کلکتور متمرکز کننده برای دریافت و جذب تشعشع خورشیدی دارد، با این تفاوت که یک کلکتور خورشیدی متمرکز کننده، معمولاً سطح منعکس کننده مقعری برای دریافت و تمرکز پرتوهای تشعشع خورشیدی بر روی یک سطح دریافت کننده کوچکتر دارد. بنابراین فلاکس تشعشعی خورشیدی را افزایش می‌دهد. کلکتورهای متمرکز کننده برای کاربردهای با دمای بالا مناسب هستند. کلکتورهای خورشیدی همچنین می‌توانند بر اساس سیال منتقل کننده حرارت استفاده شده در آن تقسیم بندی شوند. کلکتورها می‌توانند دارای کاور (شیشه محافظ) یا بدون آن باشند. در این تحقیق در ابتدا به بیان تاریخچه‌ی استفاده از انرژی خورشیدی توسط بشر پرداخته می‌شود. سپس انواع کلکتورهای خورشیدی تشریح شده و بطور خاص به بررسی و مرور کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت پرداخته می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** کلکتور صفحه تخت، انرژی خورشیدی، متمرکز کننده، غیر متمرکز کننده، صفحه جاذب.

## 1- مقدمه:

تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های تجدید پذیر تقریباً 13/3٪ از نیازهای کل جهان به بخش انرژی را تامین می‌کند. در نتیجه در طی سال‌های متمادی دانشمندان زیادی بر روی تحقیق و توسعه این نوع از انرژی کار کرده‌اند. از جمله دلایل اصلی اینگونه فعالیت‌ها را می‌توان در عواملی چون: گرم شدن زمین، افزایش بهای حامل‌های انرژی و خبرهایی که از کاهش ذخایر انرژی فسیلی به گوش می‌رسد دانست. محققان آلودگی‌های ناشی از تولید و استفاده از سوخت‌های فسیلی را دلیل اولیه در گرم شدن کره زمین می‌دانند (آلکلت و همکاران، 2010). از دیگر آثار مخرب سوخت‌های فسیلی عواملی چون باران اسیدی و اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. خورشید فراوان ترین و در دسترس ترین منبع انرژی برای کره خاکی به شمار می‌آید. همه انواع دیگر انرژی شامل: باد، سوخت فسیلی، بیومس و ... ریشه در نور خورشید دارند. انرژی خورشیدی با نرخ 120 پتا وات (هر پتاوات معادل با  $10^{15}$  وات می‌باشد.) بر روی سطح زمین می‌تابد و این بدان معنا است که انرژی‌ای که از خورشید طی یک روز دریافت می‌شود می‌تواند نیازهای جهان را برای 20 سال تامین نماید. در شکل 1 پتانسیل هر یک از انواع منابع انرژی تجدید پذیر بر اساس تکنولوژی امروزی محاسبه شده است.



شکل 1: پتانسیل هر یک از منابع انرژی تجدیدپذیر بر اساس سطح تکنولوژی امروزی

با پیشرفت‌هایی که در آینده حاصل می‌شود، پتانسیل مصرف برای هر یک از منابع انرژی تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت. به‌رحال نیازهای جهانی منجر به افزایش 5 درصدی در سال در بخش مصرف انرژی می‌باشد (مجله انرژی، 2010). در نتیجه تنها انرژی خورشیدی می‌تواند نیازهای رو به رشد و پیوسته جهان را تامین نماید.

## 2- تاریخچه انرژی خورشیدی

ایده استفاده از کلکتورهای خورشیدی و به تسخیر درآوردن توان خورشید، به دوران پیش از تاریخ باز می‌گردد. یعنی زمانی که در سال 212 قبل از میلاد دانشمند یونانی ارشمیدوس روشی برای به آتش کشیدن کشتی‌های رومی‌ها ابداع کرد (اندرسون، 1977). باید به این نکته اشاره نمود که اولین کاربرد از انرژی خورشیدی به استفاده از آن در کلکتورهای متمرکز کننده بر می‌گردد. در طول قرن هجدهم میلادی، صنعتگران با استفاده از کوره‌های خورشیدی که قابلیت ذوب آهن، مس و دیگر فلزات را داشتند به ساخت آهن روکش شده، لنز شیشه‌ای و آینه روی آوردند. این کوره‌ها در سراسر اروپا و خاورمیانه استفاده می‌شدند. یکی از این کوره توسط دانشمند فرانسوی بنام لاوژیر طراحی شد که قابلیت رسیدن به دمای 1750 درجه سانتی گراد را داشت. این کوره از یک عدسی اولیه به قطر 1/32 متر و یک عدسی ثانویه به قطر 20 سانتی متر استفاده می‌کرد، تا ماکسیمم دمایی که بشر تا صد سال پس از آن به بیشتر از آن دست نیافت را تولید کند. در طی قرن 19 میلادی تلاش‌هایی صورت گرفت تا انرژی خورشیدی را به دیگر اشکال از جمله بخار فشار پایین برای استفاده در موتورهای بخار تبدیل کنند. آگوست مونچوت از جمله پیشگامان در تولید

و استفاده از بخار تولیدی توسط توان خورشیدی بین سال‌های 1864 تا 1878 بود. در سال 1875 موجوت نوآوری قابل توجهی در ساخت کلکتورهای خورشیدی انجام داد. نوآوری او در ساخت فرم مخلوط ناقص بازتابنده بود. کلکتورهای موجوت شامل صفحه فلزی نقره ای بودند که قطری برابر با  $5/4$  متر داشتند و سطح جمع آوری کننده آن‌ها  $18/6$  متر مربع بود. همچنین وزن قسمت متحرک برابر با 1400 کیلوگرم بود. (منیل و منیل، 1976).

در طی 50 سال اخیر طراحی‌ها و ساختارهای مختلفی با استفاده از کلکتورهای متمرکز کننده برای انتقال حرارت به سیال کاری که توان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن وسایل مکانیکی را فراهم می‌کنند، صورت گرفته است. دو تکنولوژی خورشیدی ابتدایی که معمولاً استفاده شدند شامل: دریافت کننده‌های مرکزی<sup>1</sup> و دریافت کننده‌های پخشی<sup>2</sup> می‌باشند. سیستم‌های دریافت کننده‌های مرکزی از چرخ آینه ای<sup>3</sup> (آینه‌های دو محوره تعقیب کننده) استفاده می‌نمایند تا انرژی تابشی خورشید را بر روی یک دریافت کننده single tower-mounted متمرکز کند (توان خورشیدی، 1978). تکنولوژی دریافت کننده‌های پخشی، شامل بشقاب‌های سهموی، عدسی‌های فرنسل<sup>4</sup>، ظرف‌های سهموی<sup>5</sup> و کاسه‌های مخصوص<sup>6</sup> هستند. بشقاب‌های سهموی، خورشید را در دو محور با استفاده از آینه‌هایشان تعقیب می‌کنند تا انرژی تشعشعی را بر روی یک دریافت کننده نقطه‌ای متمرکز کنند. (توان خورشیدی، 1978).

کمبود آب همیشه یکی از مشکلات بشر بوده است. بنابراین در میان کوشش‌های اولیه برای به تسخیر درآوردن انرژی خورشیدی، تلاش‌هایی در راستای توسعه تجهیزات مناسب برای شیرین سازی آب دریا انجام شده است. شیرین سازی آب توسط خورشید در عمل برای مدت‌های طولانی انجام شده است. بطوریکه مالیک و همکاران (1985) اولین کار مکتوب شده در این زمینه را در قرن 15 انجام داده‌اند که توسط موجوت در سال 1869 گزارش شد. موجوت گزارش کرد که کیمیاگر عرب از آینه‌های صیقل داده شده سوری‌ای برای شیرین سازی خورشیدی استفاده نموده است. شیمیدان بزرگ فرانسوی، لاوازیه (1862) از عدسی‌های شیشه‌ای بزرگی که بطور استادانه‌ای بر روی پایه‌ها قرار گرفته بودند، برای متمرکز کردن انرژی خورشیدی بر روی فلاسک شیرین سازی استفاده نموده است (مالیک و همکاران، 1985). همچنین استفاده از منعکس کننده‌های شیشه‌ای پوشیده شده با آلومینیوم و نقره برای متمرکز کردن انرژی خورشیدی برای شیرین سازی توسط موجوت توصیف شده است.

استفاده از متمرکز کننده‌ها در شیرین سازی خورشیدی توسط پاستیور (1928) گزارش شده است (مالیک و همکاران، 1985). پاستیور کسی است که از یک متمرکز کننده برای متمرکز کردن اشعه‌های خورشیدی بر روی یک بویلر مسی حاوی آب استفاده نمود. بخار تولیدی از بویلر به یک کندانسور خنک کننده آب لوله کشی شد که نهایتاً آب تقطیر شده جمع آوری می‌شد. خورشید هنوز هم یکی از ساده ترین انواع تجهیزات شیرین سازی می‌باشد که از تاثیرات گلخانه‌ای برای تبخیر آب شور استفاده می‌نماید. خورشید هنوز در مقیاس‌های بزرگ جهت تولید آب مقطر استفاده می‌شود. اولین کارخانه تولید آب مقطر در سال 1874 در لاس سالیناس شیلی ساخته شده است (منیل و منیل، 1976 و مالیک و همکاران، 1985). این کارخانه 4700 متر مربع را پوشانده است و بالغ بر 23000 لیتر در روز آب تازه در روزهای صاف تولید می‌نماید. (4/9 لیتر بر دقیقه)

### 3- کلکتورهای خورشیدی

مبدل‌های انرژی خورشیدی، انواع ویژه‌ای از مبدل‌های حرارتی هستند که انرژی تشعشعی خورشید را به انرژی داخلی ماده انتقال دهنده تبدیل می‌کنند. مبدل خورشیدی جز اصلی هر سیستم خورشیدی می‌باشد. همچنین مبدل خورشیدی وسیله‌ای است که تشعشع ورودی خورشید را جذب نموده و آن را به گرما تبدیل کرده و سپس به سیالی که در کلکتور در حال گردش است (معمولاً هوا، آب یا روغن) منتقل می‌نماید. بنابراین انرژی خورشیدی به صورت آب گرم تجهیزات تهویه فضا یا به صورت انرژی

<sup>1</sup> Central receivers

<sup>2</sup> Distributed receivers

<sup>3</sup> heliostat

<sup>4</sup> Frensel dishes

<sup>5</sup> Parabolic troughs

<sup>6</sup> Special bowels

گرمایی در تانک‌هایی ذخیره می‌شود تا در شب یا ساعت‌هایی که هوا ابری است مورد استفاده قرار گیرد. بطور کلی دو نوع کلکتور خورشیدی وجود دارد: غیر متمرکز کننده یا ثابت و متمرکز کننده. یک کلکتور غیر متمرکز مساحت یکنواختی برای جذب تشعشع خورشیدی دارد، در حالی که یک کلکتور خورشیدی متمرکز کننده تعقیب کننده خورشید معمولاً سطح منعکس کننده مقعری دارد تا پرتو تشعشعی خورشیدی را به سمت یک سطح دریافت کننده کوچکتر متمرکز کند. در نتیجه شار تشعشعی افزایش می‌یابد. تعداد بسیار زیادی از کلکتورهای خورشیدی در بازار موجود می‌باشند که لیستی از انواع آن در جدول شماره 1 آورده شده است (کالوگریو، 2003).

جدول 1: کلکتورهای خورشیدی (کالوگریو، 2003)

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30-80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50-200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1-5	60-240
Single-axis tracking			5-15	60-300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10-50	60-300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100-1000	100-500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100-1500	150-2000

Note: Concentration ratio is defined as the aperture area divided by the receiver/absorber area of the collector.

### 3-1- کالکتورهای ثابت

کلکتورهای خورشیدی بطور کلی بخاطر حرکتشان (ثابت، چرخان تک محوره، چرخان دو محوره) ودمای کارکردشان قابل تمایز می‌باشند. در ابتدا به بررسی نوع ثابت کلکتورها پرداخته می‌شود. این کلکتورها همیشه در یک موقعیت ثابت هستند و خورشید را دنبال نمی‌کنند.

سه نوع از این کلکتورها در این دسته بندی قرار می‌گیرند:

1- کلکتورهای صفحه‌ای تخت<sup>1</sup> (FPC)

2- کلکتورهای سهموی مرکب ثابت<sup>2</sup> (CPC)

3- کلکتورهای لوله‌ای خلا<sup>3</sup> (ETC)

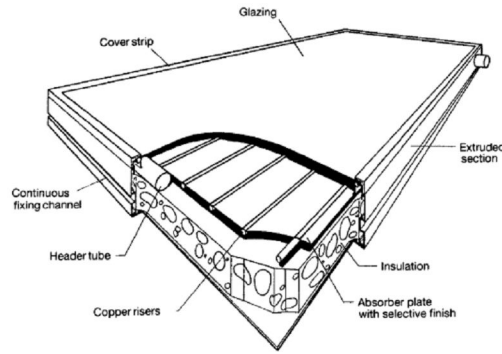
### 3-1-1- کلکتورهای صفحه‌ای تخت

یک نمونه از کلکتورهای خورشیدی در شکل 2 نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Flat Plate Collectors

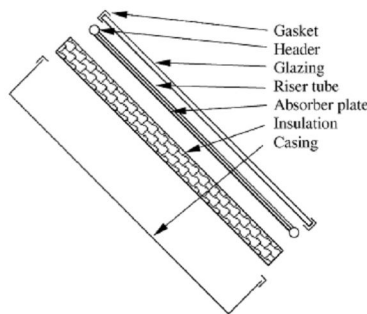
<sup>2</sup> Stationary Compound Parabolic Collectors

<sup>3</sup> Evacuated Tube Collectors



شکل 2: نمای تصویری از یک کلکتور صفحه‌ای تخت (کالوگریو، 2003)

هنگامی که تشعشع خورشیدی از یک صفحه شفاف عبور می‌کند با صفحه جاذب سیاه شده‌ای برخورد می‌نماید که ضریب جذب بالایی دارد. در نتیجه بخش بزرگی از انرژی توسط صفحه جذب می‌شود و سپس توسط ماده واسط به سیال داخل لوله منتقل می‌شود تا برای ذخیره یا استفاده آماده شود. صفحه زیرین جاذب و کناره‌های محفظه بخوبی عایق شده است تا از اتلافات هدایتی آن‌ها جلوگیری شود. لوله‌های عبور دهنده مایع می‌توانند به صفحه جاذب جوش داده شوند یا می‌توانند به عنوان بخش یکپارچه‌ای از صفحه باشند. لوله‌های عبور دهنده مایع در هر دو انتها به هدرهای با قطر بزرگی متصل شده‌اند. جهت کاهش اتلافات جابجایی از صفحه جاذب از پوشش شفاف استفاده می‌شود. این امر از طریق مهار لایه هوای راکد بین صفحه جاذب و شیشه صورت می‌گیرد. همچنین صفحه شیشه‌ای اتلافات تشعشعی از کلکتور را نیز کاهش می‌دهد. چراکه شیشه ماده‌ای شفاف است در نتیجه تشعشعات با طول موج کوتاه خورشیدی را دریافت می‌نماید. اما از آنجاکه امواج با طول موج کوتاه خورشیدی پس از برخورد با صفحه جاذب دارای طول موج بلند می‌شوند، در نتیجه شیشه برای این امواج تقریباً حالت مات دارد و آن‌ها را از خود عبور نمی‌دهد. (اثر گلخانه‌ای) کلکتورهای صفحه‌ای تخت معمولاً در موقعیت ثابتی قرار می‌گیرند و نیازی به تعقیب خورشید ندارند. کلکتورها باید بطور مستقیم در راستای استوا و به سمت جنوب در نیمکره شمالی و به سمت شمال در نیمکره جنوبی متمایل باشند. زاویه بهینه انحنای کلکتور معادل با موقعیت عرض جغرافیایی با زاویه انحراف بیشتر یا کمتر از  $10^\circ$  تا  $15^\circ$  می‌باشد که به کاربرد آن بستگی دارد (کالوگریو، 2003). یک کلکتور صفحه‌ای تخت بطور کلی شامل اجزای نشان داده شده در شکل 3 می‌باشد.



شکل 3: اجزای یک FPC (کالوگریو، 2003)

لوله‌ها، فین‌ها یا دیگر مسیره‌ها<sup>1</sup>: برای انتقال حرارت گرما از سیال به داخل یا بیرون استفاده می‌شود.

<sup>1</sup>Tubes, fins, or passages

صفحه جاذب<sup>1</sup>: صفحه‌ی هادی تشعشع و یا صفحه شیارداری که لوله‌ها، فین‌ها و مسیره‌ها به آن متصل می‌باشند. صفحه ممکن است با لوله‌ها یکپارچه باشد.

هدرها یا چند راهه‌ها<sup>2</sup>: برای بار کردن یا تخلیه سیال از آن استفاده می‌شود.

عایق<sup>3</sup>: برای کاهش دادن اتلافات حرارتی از پشت یا کناره‌های کلکتور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

محفظه<sup>4</sup>: برای محاط کردن اجزای فوق الذکر و حفظ آن‌ها از گرد و غبار و رطوبت و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کلکتورهای صفحه‌ای تخت در طرح‌ها و از مواد مختلفی ساخته می‌شوند. از آن‌ها برای گرما دادن به سیالاتی نظیر آب، آب و مواد ضد یخ و یا هوا استفاده می‌شود. هدف اصلی کلکتورها، جمع آوری مقادیر زیادی انرژی خورشیدی ممکن با پایین ترین هزینه ممکن است. کلکتورها باید همچنین علی رغم اثرات مضر ماوراء بنفش خورشیدی، خوردگی بخاطر اسیدیت، خاصیت قلیایی و سختی سیال انتقال دهنده حرارت، یخ زدگی آب، یا رسوب و نشست گرد و غبار و رطوبت بر روی شیشه، شکستگی شیشه بخاطر انبساط حرارتی، تگرگ، خرابکاری و دیگر عوامل، طول عمر زیادی داشته باشند.

جنس کاور شیشه‌ای: شیشه کاربرد وسیعی در کلکتورهای خورشیدی دارد. شیشه می‌تواند تقریباً 90٪ تشعشع با موج کوتاه خورشیدی را از خود عبور دهد در حالیکه امواج با طول موج بلند برگشتی از صفحه جاذب را از خود عبور نمی‌دهد. شیشه‌های با محتوای آهن پایین، ضریب انتقال نسبتاً بالایی برای تشعشع خورشیدی دارند. (تقریباً 0/85 تا 0/90 در انتشار معمولی) اما ضریب انتقال آن برای طول موج های تشعشعی بلند صفر می‌باشد. (5 تا 50 میکرومتر)

صفحات جاذب کلکتور: صفحات کلکتور مقادیر زیادی از انتشار ممکن عبوری از شیشه را جذب می‌نمایند. در حالیکه مقدار کمی از حرارت را از طریق بالا به اتمسفر و از پایین به محفظه از دست می‌دهند. صفحات کلکتورگرما باقی مانده را به سیال انتقال دهنده منتقل می‌نمایند. قدرت جذب صفحه کلکتور برای طول موج کوتاه تشعشع خورشیدی به طبیعت و رنگ آمیزی پوشش و همچنین زاویه برخورد بستگی دارد. معمولاً جهت رنگ آمیزی از رنگ سیاه استفاده می‌شود. بهر حال پوشش‌های با رنگ آمیزی متنوعی در مراجع (تریپاناکوستوپولوس، 2000، وازوا، 2002 و اورل، 2002) پیشنهاد شده است. که عمدتاً بخاطر دلایل زیبایی شناختی می‌باشد. معمولاً سطوح بهینه شامل یک لایه نازک می‌باشند که ضریب جذب بالایی برای امواج کوتاه تشعشع خورشیدی دارند و نسبت به امواج گرمایی تشعشع با طول موج بلند تقریباً شفاف هستند. که بر روی یک سطح با انعکاس بالا و انتشار پایین برای تشعشع با طول موج بلند قرار گرفته‌اند. سطوح بهینه بویژه زمانی مهم هستند که دمای سطح کلکتور بالاتر از دمای هوای محیط می‌باشد. در مرجع (کونتینن، 2003) یک روش ساخت کم هزینه مکانیکی برای سطوح بهینه جاذب خورشیدی پیشنهاد شده است. یک کلکتور خورشیدی کارا باید تشعشع خورشیدی برخورد کرده را جذب نموده و آنرا به انرژی گرمایی تبدیل نماید و این انرژی گرمایی را با کمترین اتلافات در هر مرحله به یک واسط انتقال حرارت تحویل دهد. امروزه صفحات جاذب خورشیدی توسط روش‌های اندیزاسیون<sup>5</sup>، تبخیر<sup>6</sup>، کندوپاش<sup>7</sup> و بوسیله رنگ‌های بهینه کننده ساخته می‌شوند (واکلگرا، 2001).

شکل 4، تعدادی طراحی صفحه جاذب که به منظور گرمایش آب و هوا بکار می‌رود را با درجه‌های موفقیت مختلف نشان می‌دهد (کریدیر، 1982).

<sup>1</sup> Absorber Plate

<sup>2</sup> Headers or manifolds

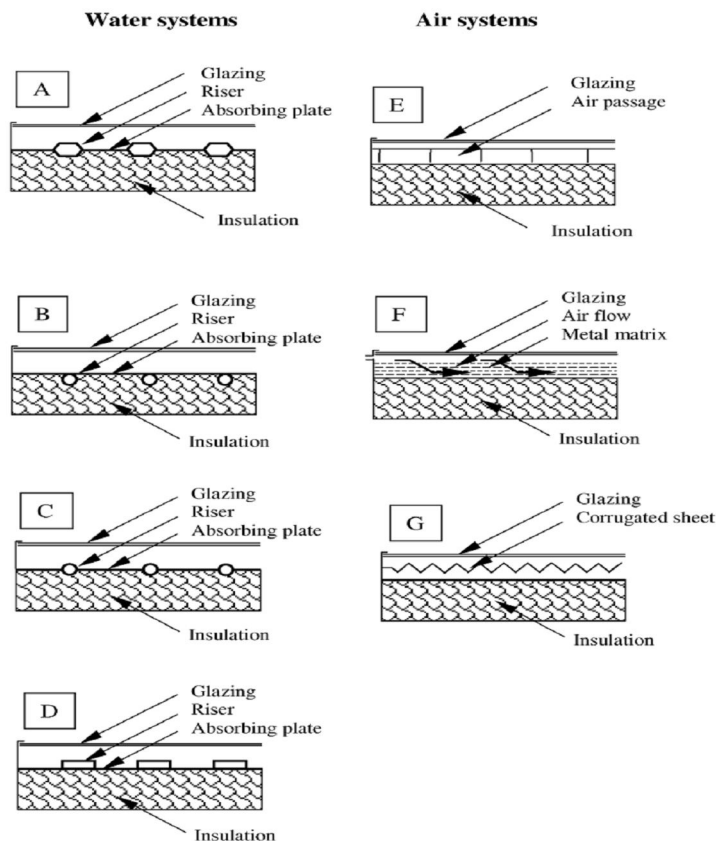
<sup>3</sup> Insulation

<sup>4</sup> Container or casing

<sup>5</sup> anodization

<sup>6</sup> evaporation

<sup>7</sup> sputtering



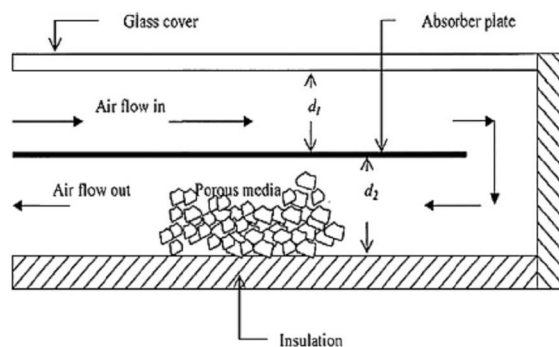
شکل 4: انواع مختلف کلکتورهای صفحه‌ای تخت (کریدیر، 1982)

شکل 4 (A) یک طراحی صفحه زنجیره‌ای را نشان می‌دهد که مسیر عبور سیال آن با صفحه یکپارچه می‌باشد تا از نظر انتقال حرارت هدایت خوب بین فلز و سیال اطمینان حاصل شود. شکل 4 (B) و (C) گرم کننده سیال با لوله‌های لحیم کاری شده یا به عبارت دیگر بسته شده به صفحه بالایی و پایینی ورقه مسی را نشان می‌دهد. لوله‌های مسی اغلب بخاطر مقاومت خوبشان در مقابل خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چسب حرارتی، گیره، بست و یا سیم پیچ‌ها بخاطر هزینه پایینشان در تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل 4 (D) یک لوله با پروفیل مستطیلی را نشان می‌دهد که برای بدست آوردن سطح انتقال حرارت بیشتر بین لوله و صفحه بکار گرفته شده است. فشار مکانیکی، چسب حرارتی، یا لحیم کاری برای سرهم کردن قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. از لحیم نرم باید اجتناب گردد چرا که صفحه در شرایط پایا با دمای بالایی مواجه خواهد شد. هوا و یا دیگر گازها می‌توانند توسط کلکتورهای صفحه‌ای تخت گرم شوند. بویژه زمانی که از صفحات بسیطی مانند شکل 4 (E) برای مقابله کردن با ضریب انتقال حرارت پایین بین هوا و فلز استفاده شود (کریدیر، 1982). فلز (شکل 4 (F)) (کریدیر، 1982) یا صفحات نازک فلزی موجدار (شکل 4 (G)) جهت سطح‌های بالای عملکردی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربردهای مختلفی از کلکتورهای هوا در مراجع (کلوزه، 1963؛ گوپتا و گارگ، 1967؛ ویجی دوندرا، 1983؛ ساموئل 1983؛ بیوندی، 1988؛ پارکر، 1993؛ کولب، 1999) گزارش شده است. یک نمونه فرآیند طراحی سیستم‌های گرمایش هوای خورشیدی در مرجع (کلین، 1977) مطرح شده است. همچنین در مرجع (هلندز و شوین، 1981) بهینه سازی هندسه مسیر عبور جریان ارائه شده است. کاهش انتقال حرارت از صفحات جاذب توسط یکی از دو روش زیر صورت می‌گیرد: 1- انتخاب سطحی بهینه برای کاهش انتقال حرارت تابشی 2- متوقف نمودن جابجایی اجباری.



فرانسیس (فرانسیس، 1961) نشان داد که لانه زنبوری<sup>1</sup> کردن مواد ترانسپارنت<sup>2</sup> قرار گرفته در فضای خالی بین شیشه و جاذب می تواند مفید باشد. دسته بندی دیگری از کلکتورها نیز وجود دارد که در شکل 4 نشان داده نشده است (سلطائو، 1992). که این دسته بندی شامل کلکتورهای فاقد پوشش شیشه ای<sup>3</sup> می باشد. این نوع کلکتورها معمولاً کم هزینه هستند که می توانند انرژی گرمایی خورشیدی موثری برای کاربردهایی چون: پیش گرمایش آب برای مصارف خانگی یا صنعتی، گرمایش استخرها (مولینیوکس، 1994؛ وینتر، 1994)، گرمایش فضا و هوای گرم مورد نیاز صنایع یا کاربردهای کشاورزی را عرضه کنند. کلکتورهای صفحه ای تخت بیشترین کاربرد را در بین انواع کلکتور دارا هست. کلکتورهای صفحه ای تخت معمولاً برای کاربردهای دما پایین تا 100 درجه سانتی گراد بکار می روند. همچنین بعضی از انواع جدیدتر کلکتورهای صفحه ای تخت با استفاده از عایق های خلا یا عایق های گرمایی می توانند در مقادیر اندکی بالاتر بکار برده شوند (بنز، 1998). از کارهای انجام گرفته در زمینه کلکتورهای صفحه ای تخت می توان به موارد زیر اشاره نمود:

هلستروم و همکاران (2003) تاثیر خواص فیزیکی و گرمایی را بر عملکرد کلکتورهای صفحه ای تخت بررسی نمودند. آنها در کار خود به این نتیجه رسیدند که افزایش فیلم تفلون بعنوان پوشش ثانویه منجر به افزایش عملکرد کلی تا 5/6٪ در 50 درجه سانتی گراد می شود. در حالیکه افزایش لانه زنبوری از جنس تفلون برای کاهش اتلافات جابجایی، عملکرد کلی را تا 12/1٪ افزایش می دهد. همچنین عملیات برای کاهش انعکاس از روی پوشش شیشه ای خروجی را تا 6/5٪ در 50 درجه سانتی گراد افزایش می دهد. کومار و ردی (2009) افزایش انتقال حرارت دریافت کننده خورشیدی با تعبیه ماده متخلخل<sup>4</sup> بررسی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که انتقال حرارت بطور قابل توجهی افزایش می یابد (64/3٪). لامبرت و همکاران (2006) دریافتند که جریان نوسانی، بوسیله پخش حرارتی سیال کاری در کلکتورهای خورشیدی می تواند انتقال حرارت را بطور قابل توجهی افزایش دهد. هو و همکاران (2005) ساختاری دو مسیره برای دریافت کننده خورشیدی بکار بردند و در نتیجه استفاده از این هندسه، نرخ انتقال حرارت بهتری بدست آوردند. آکرمن و همکاران (1995) در یک مطالعه عددی، به بررسی تاثیر فین های داخلی بر پنل های کلکتورهای خورشیدی پرداختند. در این بررسی آنها به این نتیجه رسیدند که عملکرد انتقال حرارتی بوسیله فین ها افزایش می یابد. آنها همچنین دریافتند که کاهش گام فین ها و همچنین افزایش ضریب هدایت حرارتی مواد سازنده فین ها منجر به افزایش بیشتر در انتقال حرارت می شود. در مطالعه ای که توسط سوپیان و همکاران (2009) انجام شد، نشان داده شد که تعبیه مواد متخلخل در کانال دوم آنچنان که در شکل 5 قابل مشاهده می باشد، با افزایش دمای خروجی منجر به افزایش بازده حرارتی سیستم می شود.

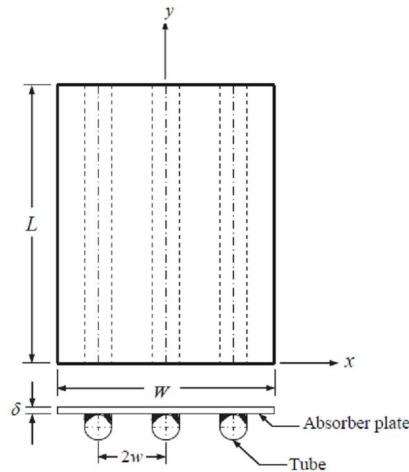


شکل 5: شماتیک کلکتور خورشیدی دو مسیره با مواد متخلخل تعبیه شده در کانال دوم (سوپیان و همکاران، 2009)

<sup>1</sup> Honeycomb  
<sup>2</sup> transparent  
<sup>3</sup> Uncovered or unglazed  
<sup>4</sup> porous

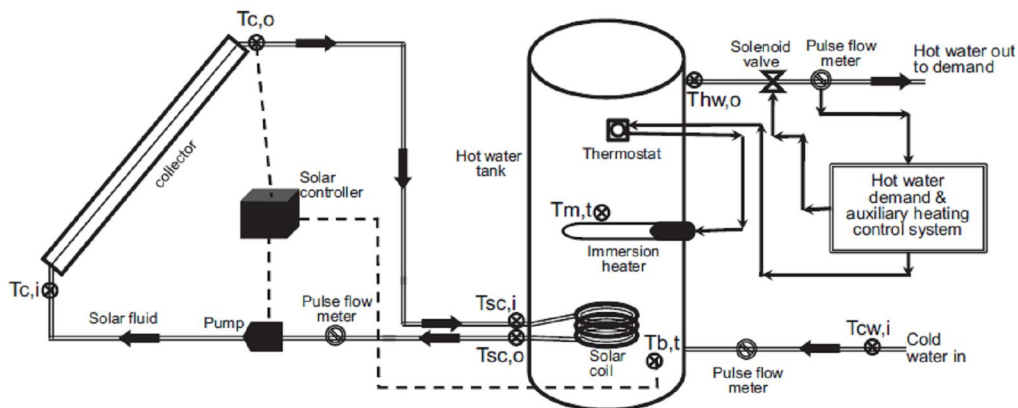
در شکل d1.5 عمق کانال بالایی، d2 عمق کانال پایینی می‌باشد. مارتینوپولوس و همکاران (2010) از لانه زنبوری‌های پلی کرنبات برای افزایش انتقال حرارت در کلکتور خورشیدی استفاده نمودند. تحلیل‌های حرارتی و مدلسازی‌های عددی برای درک بهتر کلکتورهای خورشیدی انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان بکار ساها و ماهانتا (2001) اشاره نمود. آن‌ها به بررسی بهینه سازی ترمودینامیکی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت پرداختند. آن‌ها در مدل خود بر روی کاهش دادن تمامی عوامل موثر بر تولید آنتروپی تمرکز نمودند. این مطالعه نشان داد رژیم عملی بهینه وجود دارد. فراغت و همکاران (2009) به تحلیل بهینه سازی ترکیبی اکسرژی - انرژی بر روی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بازده اکسرژی با افزایش بازده اپتیکی و شار حرارتی نور خورشید بر خوردی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دمای محیط و سرعت باد به شدت کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین دریافتند که دمای ورودی بهینه‌ای برای سیال وجود دارد. آن‌ها همچنین دریافتند که قطر لوله تاثیر کمی بر بازده اکسرژی دارد. سلمی و همکاران (2008) به شبیه سازی پدیده انتقال حرارت در یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با استفاده از نرم افزار و تکنیک‌های دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. آن‌ها در کار خود انتقال حرارت ترکیبی هدایت، جابجایی و تشعشع را بین سطح لوله، شیشه پوشش، دیواره‌های کناری و عایق پایه کلکتور فرض کردند. نتایج بدست آمده از کار آن‌ها با نتایج داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی را نشان داد. گارگ و همکاران (1981) در مطالعه‌ای که به صورت تئوری انجام شد به بررسی مشکل بهینه سازی پارامترهای فین و کلکتور صفحه تخت پرداختند. آن‌ها در کار خود ساختار بهینه کلکتور را برای 6 هندسه مختلف ارائه دادند. لاند و همکاران (1986) در مطالعه‌ای که به صورت تحلیلی صورت گرفت جریان موازی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت را بررسی نمودند. نهایتاً یک معادله کلی برای طراحی و همچنین یک نمودار برای تعیین فاکتور بازده کلکتور ارائه دادند. قمری و ورث (1992) روشی ساده برای تعیین فاصله بهینه تیوپ‌ها در یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت ارائه دادند. تیریس و همکاران (1995) در مطالعه‌ای که بصورت تحلیلی صورت گرفت، تاثیر طراحی‌های مختلف فین در کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت را مورد بررسی قرار دادند. النمر و همکاران (1998) بطور تحلیلی بسطی برای طول بهینه یک کلکتور خورشیدی با فرض خواص حرارتی ثابت بدست آوردند. ساریاش و همکاران (1999) در بررسی‌ای که بطور عددی صورت گرفت تاثیر ضریب هدایت صفحه جاذب بر روی عملکرد ترموسیفون یک گرمکن آب خورشیدی را بررسی نمودند. تورس ریز و همکاران (2001) در یک تحلیل تئوری که نتایج آن به خوبی نتایج حاصل از یک کار آزمایشی بود به بهینه سازی عملکرد پارامترهای یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت پرداختند. ساها و ماهانتا (2001) از قوانین مینیمم کردن تولید آنتروپی برای بدست آوردن یک مدل تئوری برای کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی همدم و غیر همدم بهره گرفتند. ماهانتا و ساها (2002) در یک تحلیل تحلیلی مسئله بازگشت ناپذیری‌های داخلی در یک گرمکن آب خورشیدی کلکتور صفحه تخت را مورد بررسی قرار دادند. یاه و همکاران (2003) در کاری بصورت تئوری تاثیر نسبت هم ارزی را بر بازده گرمایی صفحه و تیوپ را در انواع مختلف کلکتور خورشیدی مورد بررسی قرار دادند. کولندا و همکاران (2004) قوانین مینیمم کردن تولید آنتروپی را در انتقال حرارت از میان یک دیوار صفحه‌ای بکار بردند. آن‌ها در کار خود فرم جدیدی از معادلات را برای حالت پایا انتقال حرارت هدایت ارائه نمودند. کوندا (2010) در مطالعه‌ای تحلیلی عملکرد گرمایی یک فین صفحه جاذب را با در نظر گرفتن مقادیر وابسته به ضریب هدایت حرارتی و ضریب اتلافات کلی بر روی دمای صفحه مطالعه نمودند. ماخانلال و همکاران (2013) در مطالعه‌ای عددی مسئله تولید آنتروپی ناشی از انتقال حرارت جابجایی و تشعشع، در لایه گازی تشکیل شده در محدوده بسته صفحه جاذب و پوشش کلکتور خورشیدی صفحه تخت را بوسیله نرم افزار فلونتت مورد بررسی قرار دادند. گیلانی و توماس (2014) در کاری عددی سعی کردند تا مقادیر نسبتاً واقع بینانه پارامترهای عملکردی یک صفحه جاذب و انواع تیوپ‌های یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت را بدست آورند. آن‌ها در کار خود فرض وابستگی دمایی ضریب هدایت حرارتی و ضریب اتلاف کلی را استفاده نمودند و فرض پروفیل دمایی

مکعب را در طول تیوب‌ها بکار بردند. شماتیک صفحه و تیوب‌های کلکتور خورشیدی صفحه تخت با طول صفحه جاذب  $L$ ، عرض  $W$  و ضخامت  $\delta$  در شکل 6 مشاهده می‌شود.



شکل 6: شماتیک کار (گیلانی و توماس، 2014)

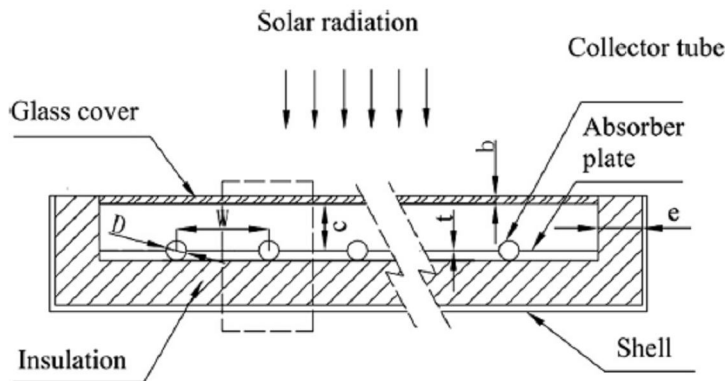
نتیجه مطالعه عددی نشان می‌دهد برای هر دستگاه ثابت، دمای سیال خروجی و پارامتر اتلاف کلی، نرخ تولید آنترپی کلی بطور خطی با افزایش در نسبت هم ارزی صفحه جاذب افزایش می‌یابد. علیم و همکاران (2013) در کاری تئوری به تحلیل تولید آنترپی، بهبود قابلیت انتقال حرارت و افت فشار یک ماده جاذب بانانوذرات معلق ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{AL}_2\text{O}_3$  در آب) داخل یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق آن‌ها مشخص شد نانوسیال  $\text{CuO}$  کاهش تولید آنترپی برابر با  $4/34\%$  و بهبود ضریب انتقال حرارت برابر با  $22/15\%$  در قیاس با آب به عنوان سیال جاذب ایجاد می‌نماید. ماهیان و همکاران (2013) به مرور و بحث بر روی استفاده از نانوسیالات در وسایل انرژی خورشیدی پرداخته‌اند. لومینوسو و فارا (2005) بر روی شرایط بهینه یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت بوسیله تحلیل اکسرژی پرداخته‌اند. آیومپه و دافی (2013) در کار آزمایشگاهی خود به تحلیل عملکرد گرمایی یک سیستم آب گرمکن خورشیدی با 4 مترمربع کلکتور خورشیدی در دوبلین ایرلند پرداخته‌اند. شماتیک دستگاه آزمایش آن‌ها در شکل 7 قابل مشاهده می‌باشد.



شکل 7: شماتیک کار آزمایشگاهی (آیومپه و دافی، 2013)

همانگونه که در شکل 7 مشاهده می‌شود دستگاه آزمایش سیستم آبگرمکن خورشیدی پارامترهای دمای سیال در خروجی کلکتور  $(T_{c,o})$ ، دمای آب در پایین مخزن آب گرم  $(T_{b,t})$ ، دمای آب در میانه تانک آب گرم  $(T_{m,t})$ ، دمای سیال در ورودی به کویل خورشیدی  $(T_{sc,i})$ ، دمای سیال در خروجی از کویل خورشیدی  $(T_{sc,o})$ ، دمای سیال ورودی به کلکتور  $(T_{c,i})$ ، دمای آب سرد ورودی به تانک آب گرم  $(T_{cw,i})$ ، دمای آب گرم آماده  $(T_{hw,i})$  و نرخ حجمی جریان سیال را اندازه گیری می‌کند. آن‌ها سیستم خود را برای یکسال مورد تست قرار دادند و رکورد ماکسیمم دمای سیال خروجی کلکتور برابر با  $70/4$  درجه سانتی‌گراد را بدست آوردند. درحالیکه ماکسیمم دمای آب در پایین تانک آب گرم  $59/9$  درجه سانتی‌گراد بود. آن‌ها در محاسبات خود میانگین سالانه انرژی روزانه جمع شده را برابر با  $19/6$  مگاژول، انرژی دریافت شده کویل خورشیدی برابر با  $16/2$  مگاژول، اتلاف لوله مصرف را برابر با  $3/2$  مگاژول، اصطکاک خورشیدی  $32/2\%$ ، بازده کلکتور  $45/6\%$  و بازده سیستم را  $37/8\%$  بدست آوردند.

ژیانگ دونگ و همکاران (2015) بر اساس یک روش حجم محدود، عملکرد گرمایی پایا یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت را با در نظر گرفتن ضخامت صفحه جاذب، اصله تیوپ کلکتور، طول تیوپ کلکتور، قطر تیوپ کلکتور و ضخامت لایه عایق مورد مطالعه قرار داده‌اند. بدین منظور یک مدل کلکتور خورشیدی صفحه تخت موجودار ساخته شده است، سپس شبیه سازی عددی مدل انجام شده است و نتایج شبیه سازی عددی با نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی مقایسه شده و تحلیل شده‌اند. شماتیک پیکره بندی کلکتور خورشیدی صفحه تخت کار ژیانگ دونگ و همکاران (2015) در شکل 18 نشان داده شده است.



شکل 18: شماتیک کلکتور خورشیدی صفحه تخت (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

در این کار آزمایشگاهی (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015) صفحه جاذب و لوله کلکتور بوسیله جوشکاری در هر دو طرف لوله کلکتور به هم متصل شده‌اند. دو طرف و صفحه جاذب پایینی با پشم سنگ عایقکاری شده‌اند. یک لایه کاور شیشه‌ای،  $30$  میلی متر بالای صفحه جاذب قرار گرفته است. کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت افقی به طول  $1860$  میلی متر و ضخامت  $64/9$  میلی متر بکار رفته است. تغییرات عرض به تعداد لوله کلکتور بستگی دارد. سایز کلکتور کار ژیانگ دونگ و همکاران (2015) در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3: ابعاد کلکتور کار (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

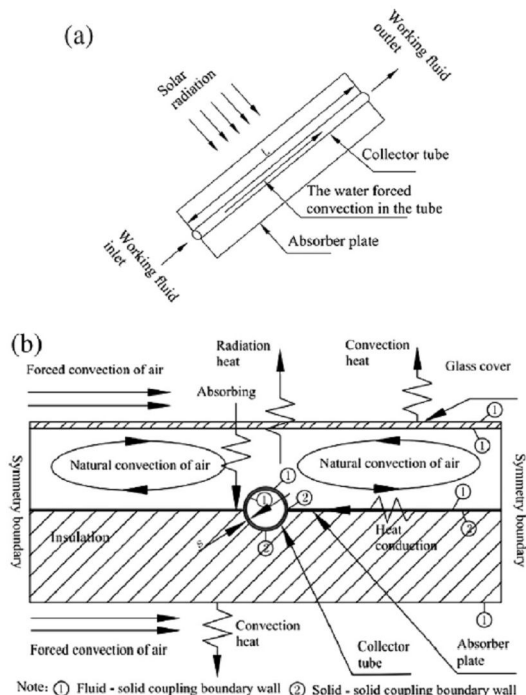
Dimensions of the collector (unit: mm).		
Name of parameter	Symbol	Value
Collector tube length	$L$	1800
Collector tube spacing	$W$	110
Collector tube diameter	$D$	12
Collector tube wall thickness	$s$	1
Absorber plate thickness	$t$	0.9
Insulation thickness	$e$	30
Glass cover thickness	$b$	4
Distance glass cover to absorber plate	$c$	30

جنس لوله کلکتور شبیه سازی شده در این مقاله (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015) از جنس مس می باشد. صفحه جاذب آلومینیومی بوده و جنس عایقها از پشم سنگ می باشد. پوشش شیشه ای تک لایه ای برای شبیه سازی استفاده شده است. خواص پارامترهای فیزیکی کار ژیانگ دونگ و همکاران (2015) در جدول 4 نشان داده شده است.

جدول 4: خواص پارامترهای فیزیکی کار (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

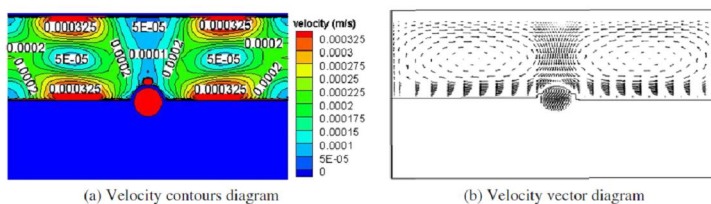
Physical parameters of the materials.				
	Aluminum	Copper	Rockwool	Glass cover
Density ( $\text{kg m}^{-3}$ )	2700	8920	140	2220
Specific heat capacity ( $\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )	900	385	1220	830
Thermal conductivity ( $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )	120	398	0.039	0.76
Transmissivity	0	0	0	0.9
Emissivity	0.1	0.1	-	0.9
Absorptivity	0.9	0.9	-	0.1

سیال کاری در لوله کلکتور آب است، دمای ورودی سیال کاری 20 درجه سانتی گراد می باشد. دمای محیط 15 درجه سانتی گراد و دبی جرمی سیال کاری در لوله کلکتور تکی برابر با 0/005 کیلوگرم بر ثانیه می باشد. میانگین شدت تشعشع خورشیدی 700 وات بر متر مربع فرض شده است. سرعت باد محیط 4 متر بر ثانیه می باشد. در این مقاله مقادیر نرخ جریان جرمی سیال کاری، شدت تشعشع خورشیدی و سرعت باد محیط بر اساس استاندارد کشور چین (GB/T4271.2007) انتخاب شده است. همچنین از مقاومت صفحه جاذب و لوله کلکتور در فرآیند شبیه سازی صرف نظر شده است. انتقال گرما و جریان در منطقه محاسباتی پایا فرض شده و ضریب هدایت حرارتی صفحه جاذب و لوله کلکتور ثابت هستند. جهت ساده سازی در حل، از فرض تقارن پیکره بندی کلکتور صفحه تخت استفاده شده است. در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران (2015) کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت در کمینه واحد تکرار جهت شروع شبیه سازی عددی انتخاب شده اند. این مطلب در شکل 19 نشان داده شده است.



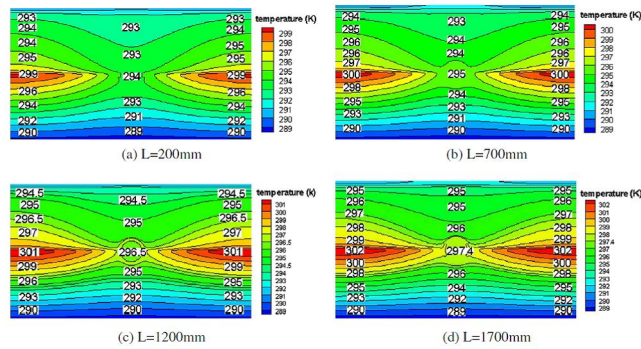
شکل 19: دیاگرام ساختار واحد یک کلکتور خورشیدی (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

همانگونه که در شکل 20 مشاهده می شود میدان سرعت هوای داخل یک کلکتور خورشیدی برای دمای محیط 15 درجه سانتی گراد، دمای ورودی سیال کاری 20 درجه سانتی گراد، فاصله لوله کلکتور 110 میلی متر، قطر تیوب کلکتور 12 میلی متر در سطح مقطع 1700 میلی متر از ورودی سیال کاری نشان داده شده است.



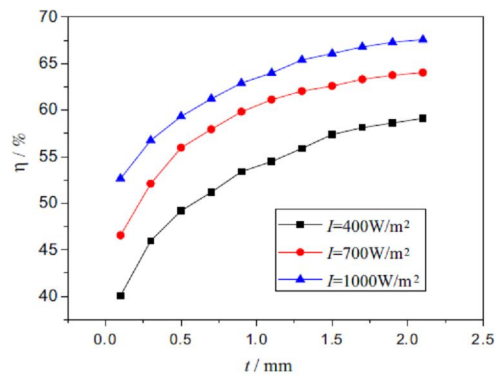
شکل 20: میدان سرعت هوا در برش داخلی کلکتور خورشیدی (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

شکل 21 توزیع دمای داخلی در سطح مقطع لوله کلکتور در طول کلکتور وقتی  $L$  برابر با 200 میلی متر، 700 میلی متر، 1200 میلی متر و 1700 میلی متر برای دمای محیط 15 درجه سانتی گراد، دمای ورودی سیال کاری 20 درجه سانتی گراد، فاصله تیوب کلکتور 110 میلی متر و قطر لوله کلکتور 12 میلی متر را در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران (2015) نشان می دهد.



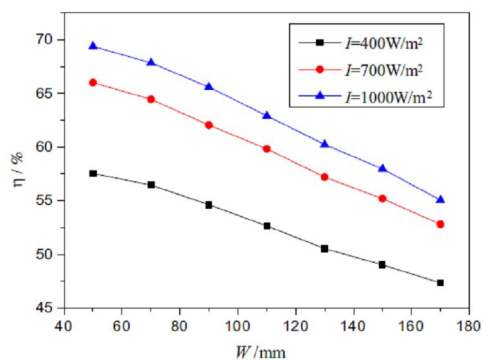
شکل 21: توزیع دمای داخل کلکتور خورشیدی در سطح مقاطع‌های مختلف از ورودی سیال کاری (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

شکل 22 تغییرات لحظه بازه با ضخامت صفحه جاذب را در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران [58] در شدت‌های مختلف تشعشع خورشیدی نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، هنگامی که شدت تشعشع خورشیدی ثابت می‌ماند، بازه لحظه‌ای کلکتور با افزایش ضخامت صفحه جاذب افزایش می‌یابد.

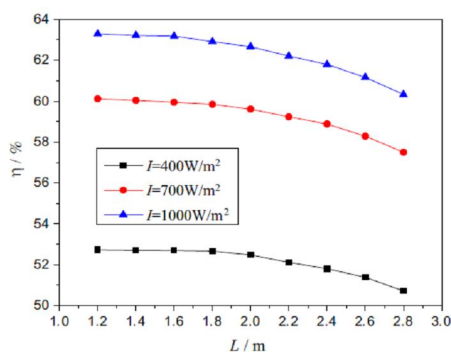


شکل 22: دیاگرام تغییرات بازه لحظه‌ای با ضخامت صفحه جاذب (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

در شکل 23 دیاگرام تغییرات بازه لحظه‌ای با فاصله لوله کلکتور در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران (2015) نشان داده شده است. همانگونه که در شکل 23 مشاهده می‌شود، در شدت تشعشع خورشیدی ثابت، بازه لحظه‌ای کلکتور با افزایش فاصله تیوب کلکتور کاهش می‌یابد. که این موضوع منجر به کاهش سطح انتقال حرارت و تضعی انتقال حرارت می‌شود. در شکل 24 دیاگرام تغییرات بازه لحظه‌ای با طول لوله کلکتور در شدت‌های مختلف تشعشع خورشیدی در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران (2015) نشان داده شده است. همانگونه که در شکل 7 مشاهده می‌شود، در شدت تشعشع خورشیدی ثابت، بازه لحظه‌ای کلکتور با افزایش طول تیوب کلکتور کاهش می‌یابد. که این موضوع منجر می‌شود، هنگامیکه طول لوله کلکتور بلندتر باشد، زمان ماند سیال کاری در لوله کلکتور طولانی‌تر شده و در نتیجه سیال کاری گرمای بیشتری از دیواره لوله بدست آورد. در نتیجه دمای میانگین سیال کاری در تیوب کلکتور بالاتر می‌رود.

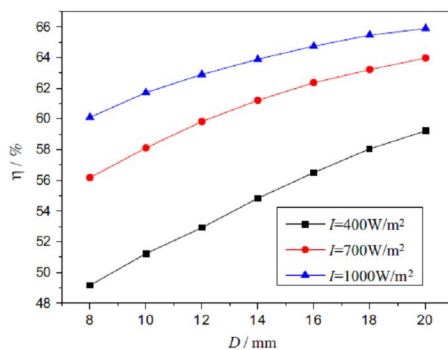


شکل 23: دیاگرام تغییرات بازده لحظه‌ای با فاصله تیوب کلکتور (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)



شکل 24: دیاگرام تغییرات بازده لحظه‌ای با طول تیوب کلکتور (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

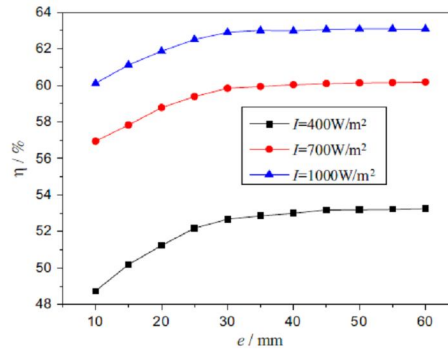
در شکل 25 دیاگرام تغییرات بازده لحظه‌ای با قطر تیوب کلکتور در شدت‌های مختلف تشعشع خورشیدی در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران [58] نشان داده شده است. همانگونه که در شکل 8 مشاهده می‌شود، در شدت تشعشع خورشیدی ثابت، بازده لحظه‌ای کلکتور با افزایش قطر تیوب کلکتور افزایش می‌یابد.



شکل 25: دیاگرام تغییرات بازده لحظه‌ای با قطر تیوب کلکتور (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)



در شکل 26 دیاگرام تغییرات بازده لحظه‌ای با ضخامت عایق در شدت‌های مختلف تشعشع خورشیدی در مقاله ژیانگ دونگ و همکاران (2015) نشان داده شده است. همانگونه که در شکل 26 مشاهده می‌شود، در شدت تشعشع خورشیدی ثابت، بازده لحظه‌ای کلکتور با افزایش ضخامت عایق افزایش می‌یابد.



شکل 26: دیاگرام تغییرات بازده لحظه‌ای با ضخامت عایق (ژیانگ دونگ و همکاران، 2015)

کاملیا استنسیو و دورین استنسیو (2014) به بررسی تئوری بر روی بهینه سازی زاویه انحراف برای یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف و زمان‌های مختلف در طول سال پرداخته‌اند. در این مقاله چگالی تشعشع خورشیدی بر اساس سه مدل تحلیلی بر اساس ساده ترین تا پیچیده ترین مدل تخمین زده شده است. این مدل‌ها شامل: هوتل و وارتنز (ساده ترین مدل)، مدل پخش ایزوتروپیک (مدل لیو و جوردن) و مدل HDKR می‌باشند. بعلاوه چگالی تشعشع خورشیدی جذب شده محاسبه شده و بهینه زاویه انحراف در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف (بر اساس عرض جغرافیایی) پیدا می‌شود. مقادیر بهینه زاویه انحراف در این مقاله برای ماکسیمم تشعشع خورشیدی فرود آمده و همچنین ماکسیمم جذب آن‌ها جستجو می‌شود. ساده ترین کلکتور صفحه تخت فرض شده در مقاله مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014) در شکل 27 مشاهده می‌شود. کل تشعشع خورشیدی برخورد کننده از طریق یک کاور شیشه‌ای عبور کرده و به یک صفحه جاذب برخورد می‌نماید و تیوپ‌هایی که در بستری عایق قرار گرفته‌اند را گرم می‌نمایند.

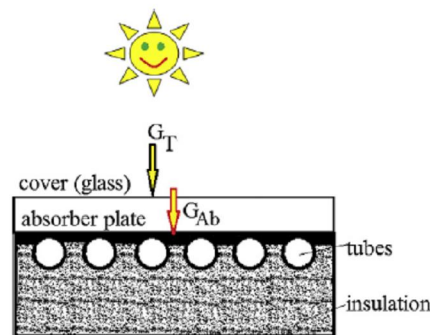
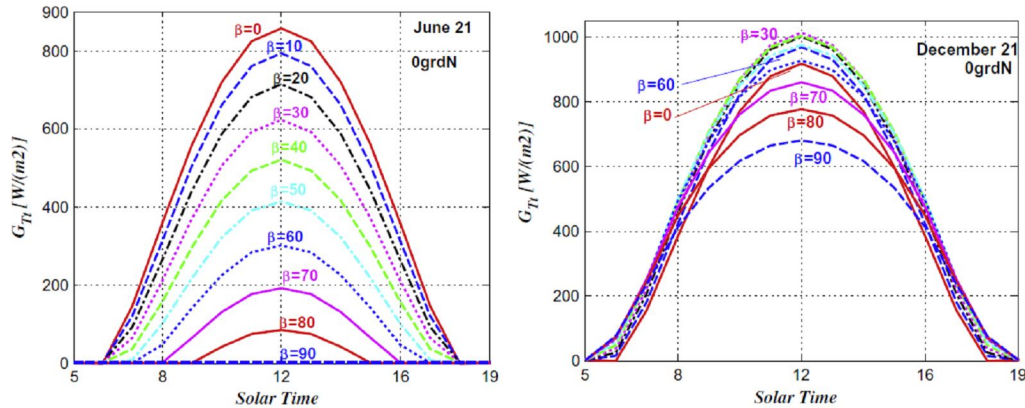


Fig. 1. Basic structure of a flat plate collector.

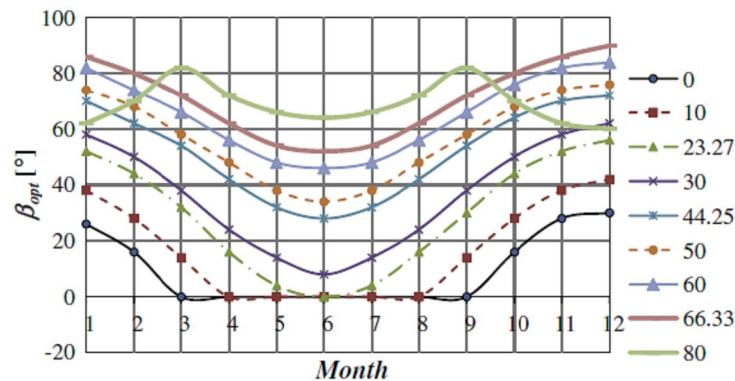
شکل 27: ساختار اساسی کلکتور صفحه تخت در کار مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014)

در مقاله مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014) یک کاور شیشه‌ای با ضخامت 2/3 میلی متر فرض شده است. ضریب انعکاس این کاور شیشه‌ای 1/526 می‌باشد. شکل 28 اطلاعاتی در مورد چگالی تشعشع خورشیدی دریافتی بوسیله سطح انحراف دار در خط استوا (عرض جغرافیایی 0 درجه) در ماه‌های جوئن و دسامبر را در کار استنسیو [59] ارائه می‌دهد. زاویه انحراف از 0 درجه تا 90 درجه تغییر می‌کند.



شکل 28: چگالی خورشیدی بر روی سطح دارای انحراف برای زوایای انحراف مختلف  $\beta$  در خط استوا، در 21 جوئن و دسامبر (مدل پخش ایزوتروپیک) در کار مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014)

شکل 29 مقادیر زاویه بهینه در طول یک سال کامل برای همه عرض‌های جغرافیایی را در کار مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014) نشان می‌دهد. نتایج کار مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014) مشخص می‌کند که زوایای مشابه هنگامیکه در جستجوی ماکسیمم برخورد و ماکسیمم تشعشع خورشیدی جذب شده هستیم بدست می‌آیند.



شکل 29: بهینه زاویه انحراف در طول یکسال، در عرض‌های جغرافیایی مختلف (نیمکره شمالی) (مدل پخش ایزوتروپیک) در کار مرجع (کاملیا استنسیو و دورین استنسیو، 2014)

#### 4- نتیجه گیری

کلکتورهای انرژی خورشیدی نوع خاصی از مبدل‌های حرارتی می‌باشند که در آن‌ها انرژی تشعشعی خورشیدی به انرژی داخلی یک ماده انتقال دهنده نظیر آب منتقل می‌شود. در هر سیستم خورشیدی، کلکتورهای خورشیدی جز اصلی آن سیستم محسوب می‌شوند. در حقیقت یک کلکتور خورشیدی وسیله‌ای است که تشعشع ورودی خورشیدی را جذب کرده و آن را به حرارت تبدیل می‌نماید.

کار حاضر یک نمای کلی از مطالعه دقیقی است که توسط تعدادی از محققان در 20 سال اخیر در زمینه طراحی، توسعه، ساخت و بهینه سازی کلکتورهای صفحه تخت انجام شده است. کلکتورهای خورشیدی بطور کلی بخاطر حرکتشان (ثابت، چرخان تک محوره، چرخان دو محوره) و دمای کارکردشان قابل تمایز می‌باشند.

کلکتورهای صفحه‌ای تخت معمولاً در موقعیت ثابتی قرار می‌گیرند و نیازی به تعقیب خورشید ندارند. این نوع کلکتورها باید بطور مستقیم در راستای استوا و به سمت جنوب در نیمکره شمالی و به سمت شمال در نیمکره جنوبی متمایل باشند. زاویه بهینه انحنای کلکتور معادل با موقعیت عرض جغرافیایی با زاویه انحراف بیشتر یا کمتر از  $10^{\circ}$  تا  $15^{\circ}$  می‌باشد که به کاربرد آن بستگی دارد. به عنوان یک نتیجه گیری کلی از مرور کلکتورهای صفحه تخت بسیار واضح می‌باشد که این نوع از کلکتورها به عنوان سیستمی بسیار امیدوار کننده برای آینده انرژی جهان به حساب می‌آیند و با توجه به پتانسیل بسیار بالای کشور ایران برای استفاده از انرژی خورشیدی متاسفانه تا کنون برای گسترده سازی این تکنولوژی هیچ گونه اقدام اساسی‌ای انجام نشده است.

#### 5- مراجع

- [۱] Ackermann, J.A., Ong, L.E., Lau, S.C., (۱۹۹۵) "Conjugate heat transfer in solar collector panels with internal longitudinal corrugated fins – Part I: Overall results" Forschung Im Ingenieurwesen Vol. ۶۱, pp. ۸۴-۹۲.
- [۲] Aleklett, K., Höök, M., Jakobsson, K., Lardelli, M., Snowden, S., Söderbergh, B., (۲۰۱۰) "The peak of the oil age—analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook ۲۰۰۸", Energy Policy, Vol. ۳۸, pp. ۱۳۹۸-۴۱۴.
- [۳] Alim, M.A., Abdin, Z., Saidura, R., Hepbasli, A., Khairul, M.A., Rahim, N.A., (۲۰۱۳) "Analyses of entropy generation and pressure drop for a conventional flat plate solar collector using different types of metal oxide nanofluids" Energy Build., Vol. ۶۶, pp. ۲۸۹-۲۹۶.
- [۴] Al-Nimr, M.A., Kiwan, S., Al-Alwah, A., (۱۹۹۸) "Size optimization of conventional solar collectors" Energy, Vol. ۲۳, pp. ۳۷۳-۸.
- [۵] Anderson, B., (۱۹۷۷) Solar energy: fundamentals in building design, New York: McGraw-Hill.
- [۶] Ayompe, L.M., Duffy, A., (۲۰۱۳) "Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate" Applied Thermal Engineering, Vol. ۵۸, pp. ۴۴۷-۴۵۴.
- [۷] Benz, N., Hasler, W., Hetfleish, J., Tratzky, S., Klein, B., (۱۹۹۸) Flat-plate solar collector with glass TI. Proceedings of Eurosun'۹۸ Conference on CD-ROM, Portoroz, Slovenia.
- [۸] Biondi, P., Cicala, L., Farina, G., (۱۹۸۸) "Performance analysis of solar air heaters of conventional design" Solar Energy, vol. ۴۱, No. ۱, pp. ۱۰۱-۷.
- [۹] Close, D.J., (۱۹۶۳) Solar air heaters. For low and moderate temperature applications. Solar Energy, Vol. ۷, No. ۳, pp. ۱۱۷-۲۴.
- [۱۰] Enerdata Global Energy Intelligence, World Energy Use in ۲۰۱۰: Over ۵% Growth, (۲۰۱۱).
- [۱۱] Farahat, S., Sarhaddi, F., Ajam, H., (۲۰۰۹) "Energetic optimization of flat plate solar collectors" Renew Energy, Vol. ۳۴, pp. ۱۱۶۹-۷۴.

- [12] Francia, G., (1961) "A new collector of solar radiant energy" UN Conf New Sources Energy, Rome, Vol. 4, pp. 572.
- [13] Garg, H.P., Rani, U., Chandra, R., (1981) "Optimization of fin and tube parameters in a flat plate collector" Energy, Vol. 6, pp. 83-92.
- [14] Ghamari, D.M., Worth, R.A., (1992) "The effect of tube spacing on the cost-effectiveness of a flat plate solar collector" Renew Energy, Vol. 7, pp. 63-7.
- [15] Gupta, C.L., Garg, H.P., (1967) "Performance studies on solar air heaters" Solar Energy, Vol. 11, No. 1, pp. 20-31.
- [16] Hellstrom, B., Adsten, M., Nostell, P., Karlsson, B., Wackelgard, E., (1983) "The impact of optical and thermal properties on the performance of flat plate solar collectors" Renew Energy, Vol. 2, pp. 331-44.
- [17] Ho, C.D., Yeh, H.M., Wang, R.C., (1980) "Heat-transfer enhancement in double-pass flat plate solar air heaters with recycle" Energy, Vol. 5, pp. 296-317.
- [18] Hollands, K.G.T., Shewen, E.C., (1981) "Optimization of flow passage geometry for air-heating, plate-type solar collectors" J. Solar Energy Engng, Vol. 103, pp. 323-30.
- [19] Jiandong, Zh., Hanzhong, T., Susu, Ch., (1980) "Numerical simulation for structural parameters of flat-plate solar collector" Solar Energy, Vol. 11, pp. 192-202.
- [20] Jilani, G., Thomas, C., (1984) "Effect of thermo-geometric parameters on entropy generation in absorber plate fin of a solar flat plate collector" Energy, Vol. 9, pp. 30-42.
- [21] Kalogirou, S., (1983) "The potential of solar industrial process heat applications", Appl Energy, Vol. 16, pp. 337-61.
- [22] Klein, S.A., Beckman, W.A., Duffie, J.A., (1977) "A design procedure for solar air heating systems" Solar Energy, Vol. 19, pp. 59-12.
- [23] Kolb, A., Winter, E.R.F., Viskanta, R., (1999) "Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber" Solar Energy, Vol. 60, No. 2, pp. 91-8.
- [24] Kolenda, Z., Donizak, J., Hubert, J., (1984) "On the minimum entropy production in steady state heat conduction processes" Energy, Vol. 9, pp. 241-6.
- [25] Kontinen, P., Lund, P.D., Kilpi, R.J., (1983) "Mechanically manufactured selective solar absorber surfaces" Solar Energy Mater Solar Cells, Vol. 9, No. 3, pp. 273-83.
- [26] Kreider, J.F., (1982) The solar heating design process. New York: McGraw-Hill.
- [27] Kumar, K.R., Reddy, K.S., (1989) "Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver" Appl Energy, Vol. 16, pp. 184-12.
- [28] Kundu, B., (1981) "Analytic method for thermal performance and optimization of an absorber plate fin having variable thermal conductivity and overall loss coefficient" Appl Energy, Vol. 17, pp. 223-30.
- [29] Lambert, A.A., Cuevas, S., del Rio, J.A., (1986) "Enhanced heat transfer using oscillatory flows in solar collectors" Sol Energy, Vol. 10, pp. 196-302.
- [30] Luminosu, I., Fara, L., (1980) "Determination of the optimal operation mode of a flat solar collector by exergetic analysis and numerical simulation" Energy, Vol. 5, pp. 331-47.
- [31] Lund, K.O., (1986) "General thermal analysis of parallel flow flat plate solar collector absorbers" Sol Energy, Vol. 36, pp. 443-50.
- [32] Mahanta, D.K., Saha, S.K., (1982) "Internal irreversibility in water heating solar flat plate collector" Energy, Convers Manag, Vol. 23, pp. 242-50.
- [33] Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S.A., Pop, I., Wongwises, S., (1983) "A review of the applications of nanofluids in solar energy" Int. J. Heat Mass Transf., Vol. 26, pp. 582-594.
- [34] Makhanlall, D., Munda, J.L., Jiang, P., (1983) "Entropy generation in a solar collector filled with a radiative participating gas" Energy, Vol. 8, pp. 511-6.
- [35] Malik, M.A.S., Tiwari, G.N., Kumar, A., Sodha, M.S., (1980), Solar distillation. New York: Pergamon Press.

- [36] Martinopoulos, G., Missirlis, D., Tsilingiridis, G., Yakinthos, K., Kyriakis, N., (2010) "CFD modeling of a polymer solar collector" *Renew Energy*, Vol. 35, pp. 1499-508.
- [37] Meinel, A.B., Meinel, M.P., (1996), *Applied solar energy: an introduction*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- [38] Molineaux, B., Lachal, B., Gusian, O., (1994) "Thermal analysis of five outdoor swimming pools heated by unglazed solar collectors" *Solar Energy*, Vol. 53, No. 1, pp. 21-7.
- [39] Orel, Z.C., Gunde, M.K., Hutchins, M.G., (2002) "Spectrally selective solar absorbers in different non-black colours" *Proceedings of WREC VII, Cologne on CD-ROM*.
- [40] Parker, B.F., Lindley, M.R., Colliver, D.G., Murphy, W.E., (1993) "Thermal performance of three solar air heaters" *Solar Energy*, Vol. 51, No. 6, pp. 467-79.
- [41] Saha, S.K., Mahanta, D.K., (2001) "Thermodynamic optimization of solar flat-plate collector" *Renew Energy*, Vol. 23, pp. 181-93.
- [42] Samuel, T.D., "Heat with drawal from multi-layer thermal trapcollectors" (1983) *Solar Energy*, Vol. 30, No. 3, pp. 261-70.
- [43] Selmi, M., Al-Khawaja, M.J., Marafia, A., (2008) "Validation of CFD simulation for flat plate solar energy collector" *Renew Energy*, Vol. 33, pp. 383-9.
- [44] SERI. *Power from the Sun: principles of high temperature solar thermal technology*, (1987).
- [45] Shariah, A.M., Rousan, A., Rousan, K.K., Ahmad, A.A., (1999) "Effect of thermal conductivity of absorber plate on the performance of a solar water heater" *Appl Therm Eng*, Vol. 9, pp. 433-41.
- [46] Soltau, H., (1992) "Testing the thermal performance of uncovered solar collectors" *Solar Energy*, Vol. 49, No. 4, pp. 263-72.
- [47] Sopian, K., Alghoula, M.A., Alfegib, E.M., Sulaimana, M.Y., Musab, E.A., (2009) "Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous-nonporous media" *Renew Energy*, Vol. 34, pp. 640-5.
- [48] Stanciu, C., Stanciu, D., (2014) "Optimum tilt angle for flat plate collectors all over the World – A declination dependence formula and comparisons of three solar radiation models" *Energy Conversion and Management*, Vol. 81, pp. 133-143.
- [49] Tiris, C., Tiris, M., Ture, I.E., (1990) "Effects of fin design on collector efficiency" *Energy*, Vol. 20, pp. 1021-7.
- [50] Torres-Reyes, E., Cervantes-de Gortari, J.G., Ibarra-Salazar, B.A., Picon-Nunez, M., (2001) "A design method of flat-plate solar collectors based on minimum entropy generation" *Exergy, Int J* Vol. 1, pp. 46-52.
- [51] Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Nousia, T.H., (2000) "Solar collectors with colored absorbers" *Solar Energy*, Vol. 64, pp. 343-56.
- [52] Wackelgard, E., Niklasson, G.A., Granqvist, C.G., (2001) "Selective solar absorbing coatings. In: Gordon" J, editor. *Solar energy: the state of the art*. Germany: ISES, pp. 109-44.
- [53] Wazwaz, J., Salmi, H., Hallak, R., (2002) "Solar thermal performance of a nickel-pigmented aluminium oxide selective absorber", *Renewable Energy*, Vol. 27, pp. 277-92.
- [54] Wijeyundera, N.E., Lee, L.A.H., Tjioe, L.E.k., (1982) "Thermal performance study of two-pass solar air heaters" *Solar Energy*, Vol. 28, No. 5, pp. 363-70.
- [55] Winter, F., (1994) "Twenty-year progress report on the copper development association do-it-yourself solar swimming pool heating manual and on the associated prototype heater" *Solar Energy*, Vol. 53, No. 1, pp. 33-7.
- [56] Yeh, H.M., Ho, C.D., Yeh, C.W., (2003) "Effect of aspect ratio on the collector efficiency of sheet-and-tube solar water heaters with the consideration of hydraulic dissipated energy" *Renew Energy*, Vol. 28, pp. 1075-86.