



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
موسسه آموزش عالی جامی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی مکانیک گرایش  
طراحی کاربردی

**ساخت و بررسی اثر پوشش دهی با نانو ذرات بر عملکرد کلکتور خورشیدی**

استاد راهنما:

دکتر سعید ضیایی راد

استاد مشاور:

مهندس راضیه حسن زهرایی

دانشجو:

احمد رضا ستایش

اسفندماه ۱۳۹۷

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر دست‌آوردهای مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از پژوهش موضوع این پایان‌نامه/رساله  
متعلق به مؤسسه آموزش عالی جامی است. دانشجو موظف به رعایت  
آئین‌نامه و منشور اخلاق در پژوهش برای ارائه و یا چاپ مطالب  
مستخرج از پایان‌نامه خود می‌باشد.

صورتجلسه ارزیابی پایان نامه کارشناسی ارشد

تاریخ دفاعیه: ۹۷/۱۲/۲۳

با تاییدات خداوند متعال پایان نامه تحصیلی آقای احمدرضا ستایش دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی با عنوان " ساخت و بررسی اثر پوشش دهی با نانو ذرات بر عملکرد کلکتور خورشیدی " پس از ارائه سمینار و ارزیابی با حضور هیئت داوران به شرح جدول ذیل و با اکثریت آرا مطرح شده و پایان نامه تحصیلی نامبرده با نمره ۱۹/۳۳ (باحروف نوزده و سی و سه صدم) به تصویب رسید.

نام و نام خانوادگی	سمت	مرتبه علمی	امضاء
دکتر سعید ضیائی راد	استاد راهنما	استاد	
مهندس راضیه حسن زهرایی	استاد مشاور	مربی	
دکتر محمد نصیری	استاد داور داخلی	استادیار	
دکتر مریم حیدری	استاد داور خارجی	استادیار	
مهندس راضیه حسن زهرایی	نماینده تحصیلات تکمیلی	مربی	
مهندس راضیه حسن زهرایی	مدیر گروه آموزشی	مربی	
مهندس غلامرضا ضیائی	معاون آموزشی موسسه	مربی	

## چکیده

انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین منابع انرژی تجدیدپذیر است که در سال های اخیر بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. پروژه پیش رو به بررسی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از پوشش نانو مواد بر روی جاذب کلکتور خورشیدی صفحه تخت پرداخته است. آبرگرمکن خورشیدی مورد آزمایش شامل دو کلکتور صفحه تخت و یک مخزن ۲۰۰ لیتری می باشد. جهت اندازه گیری دمای آب و دبی از ۴ دماسنج در ورودی و خروجی صفحات و مخزن و یک فلومتر و برای اندازه گیری شدت تابش و دمای محیط از تابش سنج و دماسنج استفاده شده است. برای انتخاب مناسب ترین نانومواد از نظر قیمت و هدایت حرارتی نانولوله کربنی چند دیواره انتخاب شده است. آزمایش ها در دو حالت بدون استفاده از پوشش نانو مواد و با استفاده از پوشش نانو مواد بر روی جاذب کلکتور انجام شده و بازده و مقدار انرژی دریافتی آن مقایسه شده است. تمامی آزمایشات در شرایط آفتابی چند مرتبه تکرار شده است. همچنین دو تحلیل تئوری و تجربی برای محاسبه بازدهی آبرگرمکن خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. بر خلاف برخی از پژوهش هایی که تاکنون انجام شده دمای ورودی به صفحات با دمای محیط یکسان در نظر گرفته نشده است و از نتایج واقعی آزمایش ها استفاده شده است. نتایج آزمایش ها نشان می دهد پوشش نانولوله کربنی بازده را تا ۸ درصد افزایش می دهد. همچنین مقدار انرژی دریافتی توسط آبرگرمکن به میزان قابل توجهی افزایش یافته است.

**کلمات کلیدی:** انرژی خورشیدی، کلکتور خورشیدی صفحه تخت، جاذب کلکتور، بازده، پوشش نانو

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱-۱-۱-۱.....	۱-۱ منابع انرژی تجدید ناپذیر.....
۲.....	۱-۱-۱-۱ منابع هیدرو کربنی زنده .....
۲.....	۲-۱-۱-۱ منابع هیدروکربنی غیرزنده .....
۲.....	۲-۱ منابع انرژی تجدیدپذیر .....
۲.....	۱-۲-۱ ویژگی های منابع تجدیدپذیر .....
۳.....	۳-۱ انرژی خورشیدی.....
۴.....	۴-۱ اهمیت و کلیات پژوهش پیش رو.....
	فصل دوم: مروری بر پژوهش های پیشین
۶.....	۱-۲ مقدمه.....
۶.....	۲-۲ پژوهش های انجام شده.....
	فصل سوم: تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی
۱۱.....	۱-۳ فناوری حرارتی خورشیدی.....
۱۲.....	۱-۱-۳ کلکتور خورشیدی.....
۱۳.....	۲-۱-۳ انواع کلکتورهای خورشیدی.....
۱۳.....	۱-۲-۱-۳ کلکتور صفحه تخت.....
۱۴.....	۲-۲-۱-۳ کلکتور متمرکزکننده.....
۱۶.....	۳-۲-۱-۳ کلکتور لوله خلاء.....
۱۸.....	۲-۳ فناوری فتوولتائیک.....

۱-۲-۳ فناوری های ساخت سلول خورشیدی.....	۱۹
۲-۲-۳ مزایای سیستم های فتوولتائیک.....	۲۰
۳-۲-۳ معایب سیستم های فتوولتائیک.....	۲۰
۴-۲-۳ کاربرد های سیستم های فتوولتائیک.....	۲۰
۳-۳ فناوری حرارتی / فتوولتائیک خورشیدی.....	۲۰
۱-۳-۳ مزایای سیستم های فتوولتائیک/حرارتی.....	۲۲
۲-۳-۳ معایب سیستم های فتوولتائیک/حرارتی.....	۲۲

#### فصل چهارم: نانو مواد و بررسی استفاده از نانو مواد انتخابی در کلکتور خورشیدی

۱-۴ بررسی نانو مواد.....	۲۳
۱-۱-۴ نانو ذرات گرافن.....	۲۳
۲-۱-۴ نانوسیم های سیلیکونی.....	۲۵
۳-۱-۴ نانو ذرات نقره.....	۲۶
۴-۱-۴ نانو ذرات اکسید آلومینیوم.....	۲۶
۵-۱-۴ نانولوله های کربنی.....	۲۸
۱-۵-۱-۴ نانولوله های کربنی تک دیواره.....	۲۸
۲-۵-۱-۴ نانو لوله های کربنی چند دیواره.....	۳۰
۲-۴ انتخاب نانو مواد مناسب.....	۳۳
۳-۴ استفاده از پوشش نانولوله کربنی در کلکتورهای خورشیدی.....	۳۳

#### فصل پنجم: آزمایشات و نتایج

۱-۵ شرح تجهیزات و وسایل اندازه گیری آزمون.....	۳۷
--	----

صفحه	عنوان
۳۸.....	۲-۵ روش انجام آزمایش.....
۴۰.....	۳-۵ تحلیل تئوری و تجربی کلکتور صفحه تخت.....
۴۰.....	۱-۳-۵ تحلیل تئوری.....
۴۳.....	۲-۳-۵ تحلیل تجربی.....
۴۴.....	۴-۵ نتایج آزمایشات.....
۴۶.....	۱-۴-۵ نتایج آزمایش بدون پوشش نانو مواد.....
۵۴.....	۲-۴-۵ نتایج آزمایش با پوشش نانو مواد.....
۶۱.....	۵-۵ مقایسه نتایج.....

#### فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶۵.....	۱-۶ نتیجه گیری.....
۶۶.....	۲-۶ پیشنهادات.....
۶۷.....	مراجع.....

## فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل ۱-۱ رابطه هندسی بین زمین و خورشید.....	۳
شکل ۱-۳ تحولات انرژی در کلکتور خورشیدی.....	۱۳
شکل ۲-۳ برش عرضی یک کاکتور خورشید صفحه تخت.....	۱۴
شکل ۳-۳ کلکتور خورشید صفحه تخت.....	۱۴
شکل ۴-۳ نحوه سیر کولاسیون سیال درون لوله خلاء و مخزن.....	۱۶
شکل ۵-۳ کلکتور لوله خلاء تجاری.....	۱۷
شکل ۶-۳ نمایی از یک لوله کلکتور.....	۱۸
شکل ۷-۳ طرحواره سلول، مدول و آرایه خورشیدی.....	۱۸
شکل ۸-۳ کلکتور خورشیدی فتوولتائیک حرارتی نوع اول.....	۲۱
شکل ۹-۳ کلکتور خورشیدی فتوولتائیک حرارتی نوع دوم.....	۲۱
شکل ۱-۴ تصویر میکروسکوپی از نانو صفحات گرافن.....	۲۴
شکل ۲-۴ هدایت حرارتی، نانو صفحات گرافن.....	۲۴
شکل ۳-۴ انعکاس حرارتی نانو صفحات گرافن.....	۲۵
شکل ۴-۴ هدایت حرارتی نانوسیم سیلیکون با ضخامت های مختلف.....	۲۵
شکل ۵-۴ نسبت هدایت حرارتی نانوسیال نقره به هدایت حرارتی آب.....	۲۶
شکل ۶-۴ نسبت هدایت حرارتی نانوسیال آلومینا به سیال پایه.....	۲۷
شکل ۷-۴ نسبت هدایت حرارتی نانوسیال آلومینا به آب.....	۲۸
شکل ۸-۴ هدایت حرارتی نانولوله کربنی تک دیواره.....	۲۹
شکل ۹-۴ هدایت حرارتی محاسبه شده برای نانولوله (خط ممتد)، گرافن (خط نقطه)، گرافیت.....	۲۹
شکل ۱۰-۴ هدایت حرارتی نانولوله کربنی تک دیواره با طول های مختلف.....	۳۰



- شکل ۴-۱۱ هدایت حرارتی نانولوله کربنی چنددیواره با طول های مختلف..... ۳۱
- شکل ۴-۱۲ تصاویر میکروسکپ الکترونی از یک ورق نانولوله چند دیواره..... ۳۱
- شکل ۴-۱۳ هدایت حرارتی نانولوله کربنی چند دیواره..... ۳۲
- شکل ۴-۱۴ نسبت هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانولوله کربنی چنددیواره به سیال پایه..... ۳۲
- شکل ۴-۱۵ روند پوشش دهی بر روی لوله های کلکتور لوله خلاء..... ۳۳
- شکل ۴-۱۶ مقایسه لایه های متراکم و غیرمتراکم نانولوله بر روی لوله های کلکتور..... ۳۴
- شکل ۴-۱۷ شماتیک محفظه یونیزاسیون برای لایه نشانی pcm و تصویر دستگاه یونیزاسیون..... ۳۵
- شکل ۴-۱۸ دمای سه نمونه لوله کلکتور با حجم های مختلف pcm..... ۳۵
- شکل ۴-۱۹ شماتیک رسوب دهی به روش الکتروفوریتیک نانولوله کربنی..... ۳۶
- شکل ۵-۱ تصویر بستر آزمایش آبگرم کن خورشیدی..... ۴۰
- شکل ۵-۲ تصویر کلکتور بدون پوشش نانومواد..... ۴۵
- شکل ۵-۳ تصویر کلکتور با پوشش نانو مواد..... ۴۵
- شکل ۵-۴ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۱ (بدون پوشش نانومواد)..... ۴۸
- شکل ۵-۵ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۲ (بدون پوشش نانومواد)..... ۵۰
- شکل ۵-۶ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۳ (بدون پوشش نانومواد)..... ۵۲
- شکل ۵-۷ بازده تحلیل تئوری و تجربی (بدون پوشش نانومواد)..... ۵۳
- شکل ۵-۸ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۱ (با پوشش نانومواد)..... ۵۶
- شکل ۵-۹ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۲ (با پوشش نانومواد)..... ۵۸
- شکل ۵-۱۰ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۳ (با پوشش نانومواد)..... ۶۰
- شکل ۵-۱۱ بازده تحلیل تئوری و تجربی (با پوشش نانو مواد)..... ۶۱
- شکل ۵-۱۲ میزان انرژی دریافتی کلکتورها..... ۶۲

## شکل

## صفحه

- شکل ۵-۱۳ بازده تحلیل تجربی با پوشش و بدون پوشش نانومواد..... ۶۲
- شکل ۵-۱۴ بازده تحلیل تئوری با پوشش و بدون پوشش نانومواد..... ۶۳
- شکل ۵-۱۵ بازده آبگرمکن خورشیدی در مدل تئوری و تجربی بدون پوشش نانومواد..... ۶۴
- شکل ۵-۱۶ بازده آبگرمکن خورشیدی در مدل تئوری و تجربی با پوشش نانومواد..... ۶۴

## فهرست جداول

صفحه	جدول
۳۶.....	جدول ۴-۱ تاثیر ضخامت های مختلف پوشش نانولوله کربنی بر جذب و انعکاس نور خورشید.....
۳۸.....	جدول ۵-۱ مشخصات کلی آبگرمکن خورشیدی مورد بررسی.....
۴۳.....	جدول ۵-۲ علائم و مقادیر پارامترهای محاسباتی.....
۴۷.....	جدول ۵-۳ دماهای ثبت شده آزمایش ۱ (بدون پوشش نانومواد).....
۴۹.....	جدول ۵-۴ دماهای ثبت شده آزمایش ۲ (بدون پوشش نانومواد).....
۵۱.....	جدول ۵-۵ دماهای ثبت شده آزمایش ۳ (بدون پوشش نانومواد).....
۵۳.....	جدول ۵-۶ میزان تابش خورشید و بازده تحلیل تئوری و تجربی (بدون پوشش نانومواد).....
۵۵.....	جدول ۵-۷ دماهای ثبت شده آزمایش ۱ (با پوشش نانومواد).....
۵۷.....	جدول ۵-۸ دماهای ثبت شده آزمایش ۲ (با پوشش نانومواد).....
۵۹.....	جدول ۵-۹ دماهای ثبت شده آزمایش ۳ (با پوشش نانومواد).....
۶۱.....	جدول ۵-۱۰ میزان تابش خورشید و بازده تحلیل تئوری و تجربی (با پوشش نانومواد).....

## فهرست نشانه ها و علائم

علامت	نشانه
$U_t$	ضریب اتلاف حرارت از بالای کلکتور ( $w/m^2k$ )
$U_b$	ضریب اتلاف حرارت از پشت کلکتور ( $w/m^2k$ )
$U_e$	ضریب اتلاف حرارت از اطراف کلکتور ( $w/m^2k$ )
$U_L$	ضریب اتلاف حرارت از کل کلکتور ( $w/m^2k$ )
$T_{pm}$	دمای متوسط صفحه جاذب
$F'$	ضریب بازدهی کلکتور
$F_R$	ضریب انتقال گرمایی کلکتور
$A_C$	مساحت جاذب ( $m^2$ )
$G_t$	شدت تابش خورشید ( $w/m^2$ )
$C_p$	ظرفیت ویژه گرمایی
$h_w$	ضریب انتقال حرارت باد
$N$	تعداد شیشه های محافظ کلکتور
$W$	فاصله بین رایزرها (m)
$B$	شیب کلکتور نسبت به افق
$\epsilon_g$	ضریب نشر صفحه جاذب
$\epsilon_p$	ضریب نشر شیشه
$H$	بازده حرارتی
$D_i$	قطر داخلی صفحات جاذب (m)
$h_{fi}$	ضریب انتقال حرارت بین سیال و لوله
$\dot{m}$	دبی جرمی ( $kg/s$ )
$Q_u$	انرژی دریافتی (J)

## فصل اول

### مقدمه

افزایش استاندارد سطح زندگی در کشورها و پیشرفت در زمینه های گوناگون و افزایش جمعیت باعث ازدیاد مصرف انرژی شده است. جمعیت کنونی جهان حدود ۶ میلیارد نفر و نرخ رشد سالانه آن تقریباً ۲ تا ۳ درصد است، به طوری که هر ۲۰ الی ۳۰ سال دو برابر می شود. همچنین مصرف سرانه انرژی در یک مقیاس جهانی ۰/۸ کیلووات است و شاخص های اقتصادی نشانگر آن است که مقدار سرانه سود ناخالص ملی به طور تصاعدی به مقدار ۲ تا ۵ درصد در سال رشد دارد و بنابراین چنانچه بازدهی تبدیل انرژی به سرمایه ملی مقدار ثابتی فرض شود، مصرف جهانی انرژی سالانه میزان ۴ الی ۸ درصد رشد خواهد داشت. این ارقام نشان می دهند که میزان مصرف انرژی جهان در قرن آینده بالا می باشد و در نتیجه این سوال مهم مطرح می باشد که آیا منابع انرژی های فسیلی در قرن های آینده، جوابگوی نیاز انرژی جهان برای بقا، تکامل و توسعه خواهند بود یا خیر؟ در کل منابع انرژی به دو گروه منابع انرژی تجدید ناپذیر<sup>۱</sup> و منابع انرژی تجدید پذیر<sup>۲</sup> تقسیم می شوند.

### ۱-۱ منابع انرژی تجدید ناپذیر

سوخت های فسیلی هم چون زغال سنگ و نفت از بقایای گیاهان و جانورانی که در زیر دریاها در زمان های

---

۱-Non-renewable Energy Sources

2-Renewable Energy Sources

قدیم مدفون شده اند به وجود می آیند و به طور طبیعی، به صورت مواد جامد، مایع و گاز یا مخلوطی از آن ها در معادن یافت می شوند و خود بر دو نوع اند.

### ۱-۱-۱ منابع هیدرو کربنی زنده

شامل بقایای گیاهان درختان، بوته ها و سایر رستنی هاست که به عنوان سوخت در موارد مختلف کاربرد دارد.

### ۱-۱-۲ منابع هیدرو کربنی غیرزنده

شامل زغال سنگ، نفت و گاز که هر یک کاربردهای فراوانی دارند.

به دو دلیل عمده باید منابع جدید انرژی را جایگزین سوخت های فسیلی نمود. این دو شامل محدودیت منابع سوخت های فسیلی و خطرات زیست محیطی که از جمله آن گرم شدن کره زمین (اثر گلخانه ای)، آلودگی هوا و باران های اسیدی است.

### ۱-۲ منابع انرژی تجدید پذیر

انرژی تجدید پذیر عبارت از هر نوع انرژی است که بدون آن که مخازن تامین کننده آن رو به زوال روند، مورد استفاده قرار می گیرند. شامل انرژی خورشیدی<sup>۱</sup>، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی، انرژی موج و آب دریا و غیره می باشد. که انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین منابع انرژی تجدید پذیر است [۱].

### ۱-۲-۱ ویژگی های منابع انرژی تجدید پذیر

پتانسیل بالا، قابلیت تجدید پذیری، محدودیت های جغرافیایی، کیفیت منبع (میزان بازدهی فرآیند تبدیل آن به انرژی دیگر)، چگالی انرژی منبع بسیار کم، آلودگی محیط زیست پایین، گوناگونی انرژی های تولیدی و هزینه سرمایه گذاری و بهای تمام شده بالا.

منابع تجدید پذیر را از نظر بازدهی<sup>۲</sup> فرآیند تبدیل آن ها به انرژی دیگر به سه گروه تقسیم می کنند.

الف) منابع مکانیکی: بازدهی تبدیل این نوع انرژی ها به انواع دیگر معمولا ۷۵ تا ۸۶ درصد است. از این نوع منابع می توان انرژی امواج و جزر و مد را نام برد.

ب) منابع حرارتی: به طور معمول ۳۰ الی ۴۰ درصد از انرژی این منابع به انرژی دیگر تبدیل می شود. از انواع این منابع می توان به انرژی گرمایی تابش خورشید و زمین گرمایی اشاره کرد.

---

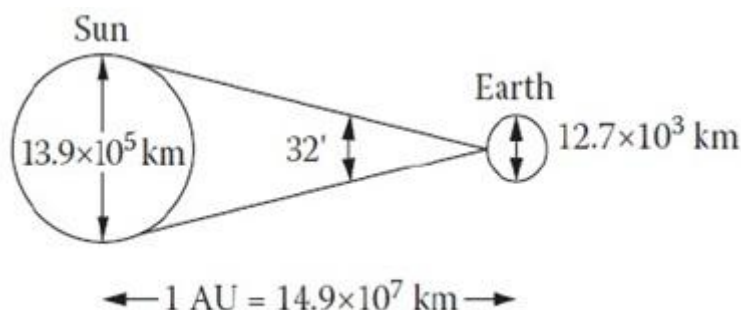
1-Solar energy

2-Efficiency

ج) فرآیند نوری: بین ۱۰ الی ۲۵ درصد انرژی این منابع به کار تبدیل می شود. سیستم های فتوولتائیک از این نوع هستند [۲].

### ۳-۱ انرژی خورشیدی

خورشید کره ای از ماده گازی به شدت داغ و چگال، با قطر  $1.39 \times 10^6$  متر و به طور متوسط در فاصله  $1.5 \times 10^{11}$  متری از زمین واقع است. شکل (۱-۱) به طور شماتیک نشان دهنده هندسه مربوط به رابطه خورشید - زمین است. در فاصله ای با واحد نجومی، یعنی  $1.495 \times 10^{11}$  متر، که فاصله متوسط مرکز زمین از خورشید است، خورشید با زاویه ۳۲ درجه نسبت به زمین بزرگ می شود.



شکل ۱-۱- رابطه هندسی بین زمین و خورشید [۳]

همان طور که از زمین دیده می شود، خورشید هر ۴ هفته یکبار حول محورش دوران می کند. دما در نواحی داخلی و مرکزی  $8 \times 10^6$  تا  $40 \times 10^6$  کلوین و چگالی در حدود ۱۰۰ برابر دانسیته آب تخمین زده می شود. خورشید یک راکتور هم جوش پیوسته است که برای گازهای سازنده اش به عنوان مخزن عمل می کند و از طریق نیروهای گرانشی آن گازها را حفظ می کند. چندین فعل و انفعال هم جوش برای تامین انرژی تابیده شده توسط خورشید پیشنهاد شده است. یکی از آنها که به عنوان مهم ترین فعل و انفعال در نظر گرفته می شود، فرآیندی است که در آن هیدروژن (هیدروژنی که ۴ پروتون دارد) ترکیب می شود تا هلیوم را شکل دهد (یعنی یک هسته هلیوم)؛ جرم هسته هلیوم کم تر از جرم هسته ۴ پروتون است، جرم در خلال فعل و انفعال از بین رفته و به انرژی تبدیل می شود. انرژی تولیدی در بخش داخلی کره خورشیدی در دمای چند میلیون درجه، بایستی به سطح منتقل و سپس به داخل فضا تابیده شود. توالی فرایندهای همرفتی و تابشی بانشار، جذب و تابش مجد و به طور متوالی رخ می دهد. تابش خورشیدی منتشر شده، نتیجه کنش های

چندین لایه است که تابش رابا طول موج های مختلف جذب و منتشر می کنند. تخمین زده می شود که ۹۰ درصد انرژی، در ناحیه ۰ تا ۰/۲۳R تولید می گردد (R شعاع خورشید است). تابش منتشر شده توسط خورشید و رابطه فضایی آن با زمین، منجر به یک شدت تقریبا ثابتی از تابش خورشیدی در خارج از جو زمین می گردد. ثابت خورشیدی، انرژی است که از خورشید در واحد زمان دریافت می شود [۳].

انرژی خورشید به عنوان یکی از مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر در روی زمین می باشد که علاوه بر سازگاری با محیط زیست همیشه در قسمت اعظمی از سطح کره زمین یافت می شود و انسان همواره برای مهار این انرژی و استفاده بهینه از آن تلاش کرده است. امروزه انرژی خورشید طیف وسیعی از کاربردها را مانند تهیه آبگرم برای مصارف شهری و روستایی، تهیه مطبوع ساختمان ها، و مخصوصا خشک کردن محصولات کشاورزی، تولید برق نیروگاه ها با جمع کننده خورشیدی و غیره دارا می باشد [۴].

نیرو گاه های بزرگ معمولی دوسوم انرژی مصرفی را تلف می کنند و با مقادیر عظیم گرمای تلف شده و تولید دی اکسید کربن باعث گرم تر شدن جو می شوند. به علاوه حادثه ای در یک نیروگاه هسته ای می تواند به تبعات غیر قابل پیش بینی منجر شود.

با وجود آن که انرژی خورشید و مزایای آن در قرون گذشته به خوبی شناخته شده بود ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستم هایی از یک طرف و عرضه نفت و گاز ارزان از طرف دیگر مانع پیشرفت این سیستم ها شده است. تا این که پس از افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ به بعد کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسئله انرژی جدی تر بیاورند. گرم کردن یک سیال با استفاده از انرژی خورشیدی اولین بار در قرن ۱۸ میلادی صورت گرفت. طی ۵۰ سال پس از جنگ جهانی اول بیش تر تلاش ها روی بهبود طراحی کلکتورها و متمرکزکننده ها صورت گرفت. تولید آب گرم خانگی در دهه ۱۹۳۰ کامل گردید و اولین آب گرمکن های خورشیدی صنعتی اوایل دهه ۱۹۶۰ عرضه شد و به سرعت در جهان گسترش یافت.

امروزه بیش از ۳۰ میلیون متر مربع کلکتور خورشیدی در سطح جهان نصب شده اند [۳].

#### ۱-۴ اهمیت و کلیات پژوهش پیش رو

انرژی خورشیدی در سال های اخیر مورد بررسی و تحقیقات پژوهشگران قرار گرفته است. استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در زمان حاضر ضروری هستند و باعث صرفه جویی در مصرف سوخت های فسیلی می شوند. به دو دلیل عمده لازم است منابع انرژی تجدیدپذیر جایگزین سوخت های فسیلی شود. یکی به دلیل



محدودیت منابع سوخت های فسیلی و دیگری خطرات زیست محیطی. هم چنین قرار داشتن ایران در موقعیتی جغرافیایی که بیشترین تابش خورشید را دریافت می کند، دسترسی همیشگی به منبع انرژی و افزایش ضریب اطمینان و ایمنی حائز اهمیت هستند. یکی از کاربردهای انرژی های تجدید پذیر استفاده از کلکتورهای خورشیدی جهت گرمایش آب مورد نیاز ساختمان ها است.

به منظور بهبود در عملکرد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت، تغییراتی در این سیستم ها داده شده است که در فصول بعدی به آن ها پرداخته خواهد شد. در این پژوهش تاثیر پوشش دهی ذرات نانو بر راندمان کلکتور خورشیدی مورد بررسی قرار می گیرد. فاکتورهای مختلفی در انتخاب نانو مواد موثر هستند از جمله:

- ۱- انعکاس حرارتی پایین ۲- هدایت حرارتی نانو ذرات ۳- قیمت پایین نانو ذرات، با توجه هدایت حرارتی آن ۴- سهولت در کاربرد.

## فصل دوم

### مروری بر پژوهش های پیشین

#### ۱-۲ مقدمه

در طی سالیان گذشته با توجه به نیاز مبرم به انرژی خورشیدی به دلیل مخاطرات انرژی های فسیلی و محدود بودن آن ها، تحقیقات و مطالعات وسیعی در این زمینه انجام شده است که هر کدام می تواند در پیش برد استفاده بیش تر از این نوع انرژی در آینده موثر باشد. برخی از این مطالعات و تحقیقات در زیر آورده شده است.

#### ۲-۲ پژوهش های انجام شده

توغدري در مقاله خود در سال ۲۰۱۱ از نانو پوشش های کبالت سیاه بر روی لایه های مسی، برنجی و نیکل براق به روش آبکاری<sup>۱</sup> استفاده کرد. بازتاب طیفی فیلم های کبالت از طریق میکروسکوپ الکترونی<sup>۲</sup> و اسپکتروفتومتر<sup>۳</sup> اندازه گیری شد. تصاویر اسکن شده نشان دادند که فیلم های کبالت سیاه دارای شکاف های زیاد و ساختاری نفوذپذیر هستند به طوری که جذب آن بالای ۹۰ درصد می باشد. این نانو مواد اتلاف حرارتی پایینی دارند و به دلیل جذب بالای در محدوده نور مرئی، مناسب برای جذب های کلکتور خورشیدی می

---

1 -Electrodeposition

2 -Scanning electron microscopy

3 -Spectrophotometer

باشند [۵]. زیکان چن<sup>۱</sup> در مقاله خود در سال ۲۰۱۲ از ورق ETFE<sup>۲</sup> استفاده کرد. این ورق، پنل پلیمری است که از بازیافت دورریزهای معدنی ساخته می شود. کاربرد آن بیش تر در ساختمان سازی است و به تازگی رواج پیدا کرده است. از مزایای آن می توان به سبک بودن، دوام بالا و دارای قابلیت زیاد عبور نور و امواج UV است. آزمایشات در دو کلکتور صفحه تخت<sup>۳</sup> یکی با استفاده از این ورق و دیگری بدون آن می باشد. مکان قرارگیری ورق ETFE بین صفحه جاذب و پوشش شیشه ای می باشد. نتیجه آزمایشات نشان می دهد که کلکتور دارای این ورق، ضریب اتلاف حرارتی کم تری نسبت به کلکتور فاقد آن دارد [۶]. ساو<sup>۴</sup> در مقاله ای در سال ۲۰۱۳ نانو مواد PCM<sup>۵</sup> و PCM استفاده کرد. این نانو مواد در کلکتور خورشیدی بین صفحه جاذب و عایق قرار می گیرند. به این صورت که بخشی از انرژی گرمایی که در روز از طریق خورشید بدست می آید توسط این نانو مواد ذخیره می شوند و در شب مورد استفاده قرار می گیرند. این آزمایش ها نشان دادند که نمونه بدون نانو مواد PCM ضریب اتلاف حرارتی بیشتری نسبت به کلکتور دارای این نانو مواد دارند. در یک کلکتور با ابعاد ۱/۲×۱/۲ متر مربع استفاده از این نانو مواد، بازده کلکتور را حدود ۸/۴ درصد افزایش دادند [۷]. نابیلا ایهادادن<sup>۶</sup> در تحقیقات خود در سال ۲۰۱۴ از قاب های شیشه ای چند لایه روی سطح کلکتور استفاده کرده است. به این صورت که ضخامت هر شیشه ۳ میلی متر و فاصله شیشه ها از هم ۲ سانتی متر و فاصله پایین ترین شیشه نیز با سطح کلکتور ۲ سانتی متر می باشد. بین شیشه ها هوای حبس شده وجود دارد. چون هوا عایق حرارتی است قاب های شیشه ای مانع اتلاف حرارت از کلکتور به بیرون می شود. به عبارت دیگر تابش وارد می شود ولی خروج آن مسدود می گردد (اثر گلخانه ای). افزایش تعداد صفحات شیشه ای تا حد مشخصی می تواند سبب افزایش بازده کلکتور شود [۸]. شاه جهان احمد<sup>۷</sup> در تحقیقاتی در سال ۲۰۱۴ نشان داد که استفاده از آینه های ثابت جهت دار یا فویل آلومینیوم به جهت متمرکز کردن نور خورشید باعث افزایش راندمان سلول خورشیدی<sup>۸</sup> می شود. پنل خورشیدی در تابستان با زاویه ۲۳ درجه و در زمستان با زاویه ۴۵ درجه قرار می گیرد (با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور بنگلادش و رو به جهت جنوب). در ساعات صبح و بعدازظهر به

---

1-Ziqian Chen

2-Ethylene tetra fluoro ethylene

3-Flat Plate Collector

4-C.L.Saw

5-Nano phase change material

6-Nabila Ihaddadene

7-Shahjahan Ahmed

8-Solar Cell

خصوص در فصل زمستان که پنل کمترین نور خورشید را دریافت می کند، استفاده از بازتابنده ها باعث بالا رفتن بازده سلول های خورشیدی می شود. این روش باعث تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز مردم این منطقه با تعداد پنل کم تر و هزینه پایین تری شده است. همچنین استفاده از این روش در آبگرم کن های خورشیدی نیز باعث دریافت انرژی بیش تر و افزایش راندمان می شود [۹]. اما ماهسواری<sup>۱</sup> در مقاله خود در سال ۲۰۱۵ از نانو کربن،  $Al_2O_3$  و محلول جذبی خاص (چسب) استفاده کرد. به این صورت که این نانو مواد را با هم ترکیب کرده و محلول بدست آمده را به صورت اسپری روی صفحه جذب مسی پاشیده می شود. این آزمایش در شرایط زمانی مختلف با شدت تابش خورشیدی متفاوت و شرایط آب و هوایی مختلف بررسی شد. طبق داده های بدست آمده، دمای خروجی سیال از ساعت ۱۱ صبح تا ۱۳ بعدازظهر، به حدود ۴۰ درجه سانتیگراد افزایش می یابد. نتایج حاکی از آن است که این پوشش سبب افزایش جذب تابش خورشید و افزایش انتقال حرارت سیال در کلکتور و در نهایت بهبود بازدهی کلکتور خورشیدی می شود [۱۰]. محمد حسین مواجی در تحقیقات خود در سال ۱۳۹۰ مقدار دبی بهینه جریان سیال در کلکتور صفحه تخت را بررسی کرد. طبق آزمایشات، بیش ترین بازدهی بدست آمده از کلکتور در تابش  $600 \text{ w/m}^2$  در جریان  $0.026$  کیلوگرم بر ثانیه بدست آمده است. نتایج نشان داد که مقدار دبی بهینه عبوری از کلکتور برای حداکثر کارایی با تغییر تابش خورشیدی تغییر می کند [۱۱]. حسین خراسانی زاده در تحقیقات خود در سال ۱۳۹۱ نشان داد که استفاده از بازتابنده ها و عدسی ها در یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت می تواند باعث افزایش کارایی آن شود. آزمایش ها در مراحل مختلفی صورت گرفت. به این صورت که بازتابنده ها و عدسی ها در یک مرحله به صورت مجزا قرار داده شد و در مرحله دیگر به طور هم زمان مورد استفاده قرار گرفتند. به طور کلی، استفاده از بازتابنده ها و بازتابنده ها به همراه عدسی ها باعث بهبود بازده انرژی می شود. با وجود این، استفاده از بازتابنده ها به تنهایی نسبت به استفاده هم زمان آن ها با عدسی ها مناسب تر است [۱۲]. هادی کارگر شریف آباد با استفاده از لوله های حرارتی نوسانی<sup>۲</sup> در سال ۱۳۹۱، عملکرد حرارتی کلکتور خورشیدی صفحه تخت را بررسی کرد. جهت بررسی راندمان سیستم، سه آبگرم کن با لوله حرارتی نوسانی ساخته شد که در آزمایش های انجام گرفته، اثر طول اواپراتور، نسبت پرشدگی، زاریه شیب و دبی برای هر کدام از کلکتورها به طور هم زمان بررسی شده است. نتایج نشان داد با افزایش طول اواپراتور لوله حرارتی، دمای آب خروجی افزایش می یابد و تغییر

---

1-Uma Maheswari

2-Oscillating Heat Pipe

موثری در عملکرد آن به وجود نمی آید. همین طور با تغییر زاویه کلکتور از ۰ تا ۶۰ درجه، در دو نقطه دمای آب خروجی بیش تر می شود که یکی در زاویه ۲۰ درجه که میزان جذب تابش خورشید ماکزیمم است و دیگری در ۴۵ درجه که عملکرد لوله حرارتی نوسانی افزایش می یابد [۱۳]. علی یکتا در سال ۱۳۹۴ مدلی برای انتقال حرارت جا به جایی طبیعی و نحوه سیرکولاسیون سیال درون آب گرمکن های خورشیدی لوله خلاء ارائه داده است. یکی از نتایجی که از مدل آزمایشگاهی کلکتور لوله خلاء<sup>۱</sup> بدست آمده نشان می دهد که سیال موجود در قسمت انتهایی لوله گرم تر است، یعنی انرژی جذب شده در قسمت های انتهایی لوله در همان جا محبوس شده و باعث گرم تر شدن سیال در این ناحیه می شود. بنابراین در این شرایط لوله با طول کمتر دارای عملکرد بهتری می باشد. از دیگر نتایج حاصل، تاثیر میزان میانگین سطحی انرژی تابشی خورشید روی سطح لوله جاذب بر عملکرد گرمایی این نوع آب گرمکن ها می باشد. نتایج نشان داد که با افزایش میانگین سطحی انرژی تابشی خورشید روی سطح لوله جاذب، عملکرد حرارتی لوله های خلاء حدود ۵ درصد افزایش می یابد که در نتیجه این نوع آبگرم کن ها در تابش های بالا دارای عملکرد بهتری می باشند [۱۴]. اسماعیل بوستانی در مقاله ای در سال ۱۳۹۵ تاثیر باد و دمای محیط بر راندمان کلکتور را بررسی کرده است. در این پژوهش از دو نوع سیال یکی آب و دیگری نانو سیال تیتانیوم دی اکسید استفاده شده است. طبق آزمایش ها، افزایش سرعت باد تاثیر مستقیم بر راندمان کلکتور دارد به طوری که افزایش سرعت باد از ۰ تا ۳۵ متر بر ثانیه راندمان کلکتور را حدود ۴ درصد افزایش می دهد. همچنین با افزایش دمای محیط از ۲۸۰K تا ۳۵۰K حدود ۵ درصد راندمان کاهش می یابد. همین طور استفاده از نانو سیال تیتانیوم دی اکسید، راندمان کلکتور را ۳/۷ درصد نسبت به سیال آب افزایش می دهد [۱۵]. محمد جوزی طی آزمایش هایی در سال ۱۳۹۶ با اصلاح نمونه کلکتور لوله خلاء و مقایسه با نمونه تجاری آن باعث بهبود در عملکرد کلکتور شد. این تغییر ساختار، توزیع دما در لوله و مخزن را یکنواخت تر کرد و موجب افزایش راندمان کلکتور تا ۱۱ درصد شد. همین طور جذب انرژی حرارتی در مدل اصلاح شده در مدت زمان یک ساعت حدود ۲۵ درصد بیش تر از نمونه معمولی بود [۱۶]. علیرضا کیانی در مقاله ای در سال ۱۳۹۶، تاثیر پارامترهای مختلف از جمله ضخامت شیشه و ضخامت عایق کف کلکتور در کارایی کلکتور خورشیدی که حاوی سیال آب و اتیلن گلیکول و نانوسیال آب-اکسید مس است، مورد بررسی قرار داد. با افزایش ضخامت شیشه از ۳ به ۶ و از ۶ به ۱۲ میلی متر، راندمان سیال پایه به ترتیب، ۳/۲۲ و ۵/۸۴ درصد کاهش یافت. و در نانوسیال این کاهش راندمان به

ترتیب، به ۳/۹۲ و ۷/۳۶ رسید. و همین طور با افزایش عایق از ۲۵ به ۵۰ میلی متر و از ۵۰ به ۱۰۰ میلی متر راندمان سیال پایه به ترتیب، ۲/۴۲ و ۱/۵۳ درصد و راندمان نانوسیال به ترتیب، ۲/۹۵ و ۱/۸۹ درصد افزایش می یابد [۱۷]. مهران بزرگی در آزمایش هایی در سال ۱۳۹۷، خواص و ویژگی های نانوسیال نقره جهت استفاده به عنوان سیال عامل در کلکتور خورشیدی مورد استفاده قرار داد. با توجه به آزمایش ها و محاسبات انجام شده مشخص شد که در صورت جایگزینی این سیال با آب، توان جذب انرژی خورشید به طور قابل توجهی افزایش می یابد و باعث بهبود در بازدهی کلکتور می شود [۱۸]. فرزاد جعفر کاظمی و همکاران در سال ۱۳۹۷، پس از مقایسه عملکرد تئوری و تجربی یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت، اثر پارامترهای تاثیر گذار بر راندمان این کلکتور را مورد بررسی تئوری قرار دادند. آزمون های تجربی در آزمایشگاه انرژی خورشیدی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام گرفت. استفاده از لوله در زیر صفحه جاذب باعث افزایش انرژی دریافتی توسط کلکتور می شود. همچنین افزایش تعداد پوشش شیشه ای، کاهش فاصله بین رایزرها، افزایش ضخامت عایق باعث افزایش راندمان کلکتور می شوند. و استفاده از سیال ضدیخ و آب باعث کاهش راندمان کلکتور می شود [۱۹].

غالب تحقیقات در مراکز دانشگاهی داخلی همان طور که گفته شد به طور مثال با تغییرات در دبی و یا استفاده از بازتابنده برای بهبود عملکرد سیستم ها همراه بوده است در صورتی که برای استفاده از کلکتورها در یک ساختمان هیچ گاه این موارد به کار گرفته نمی شود. به همین دلیل در کار تحقیقاتی پیش رو، هدف انجام تغییرات ساختاری بر روی کلکتور خورشیدی می باشد. هم چنین در بیشتر موارد، این تغییرات، عملکرد بهتر این نوع سیستم ها را در بردارد. نکته قابل توجه این است که با تغییرات ساختاری در این سیستم ها علاوه بر افزایش راندمان به دلیل این تغییرات، با استفاده از تغییرات جانبی همانند استفاده از نانوسیال، افزایش ضخامت عایق و استفاده از بازتابنده ها، می توان عملکرد کلکتور را به شکل قابل توجهی افزایش داد.

به منظور تعیین دبی در حال گردش موجود در صفحات، با استفاده از معادله زیر، انرژی بدست آمده از صفحات را برابر انرژی کسب شده از مخزن قرار می دهیم.

$$Q = \dot{m}c_p\Delta T \quad (1-5)$$

در معادله بالا،  $Q$  انرژی مفید کسب شده توسط سیال،  $\dot{m}$  دبی جرمی آب،  $c_p$  ظرفیت گرمایی ویژه آب و  $\Delta T$  اختلاف دمای بین ورودی و خروجی می باشند [۳].

با استفاده از اصل موازنه انرژی، هر ده دقیقه یک بار، معادله بالا برای مخزن و صفحات برابر قرار داده می شود و در نهایت دبی جرمی آب در حال گردش در صفحات بدست می آید.

$$\dot{m}_1c_{p1}\Delta T_1 = \dot{m}_2c_{p2}\Delta T_2 \quad (2-5)$$

که  $\dot{m}_1$  دبی صفحات،  $\Delta T_1$  اختلاف دمای ورودی و خروجی صفحات،  $\dot{m}_2$  دبی مخزن (فلومتر) و  $\Delta T_2$  اختلاف دمای ورودی و خروجی مخزن می باشد.

### ۳-۵ تحلیل تئوری و تجربی کلکتور صفحه تخت

#### ۱-۳-۵ تحلیل تئوری

در این بخش، روابط مربوط به تحلیل تئوری انرژی کلکتور صفحه تخت ارائه می شوند.

اتلاف حرارتی کل کلکتور برابر است با :

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (3-5)$$

برای محاسبه انرژی تلف شده از بالای کلکتور از رابطه کلین به صورت زیر استفاده می شود [۳] :

$$U_t = \left( \frac{N}{\frac{c}{T_{pm}} \left[ \frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_a) (T_{pm}^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.00591 N h_w} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 \varepsilon_p - N}{\varepsilon_g}} \quad (4-5)$$

$$f = (1 + 0.089 h_w - 0.1166 h_w \varepsilon_p) (1 + 0.07866 N) \quad (5-5)$$

$$c = 520 (1 - 0.000051 \beta^2) \quad (6-5)$$

$$e = 0.430 \left( 1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) \quad (7-5)$$

در معادلات بالا  $N$  ،  $T_{pm}$  ،  $T_a$  ،  $h_w$  ،  $\varepsilon_p$  ،  $\varepsilon_g$  ،  $\beta$  و  $\sigma$  به ترتیب برابر تعداد پوشش شیشه ای، دمای متوسط صفحه جاذب، دمای محیط، ضریب انتقال حرارت باد، ضریب نشر صفحه، ضریب نشر شیشه، شیب کلکتور (درجه) و ثابت استفان بولتزمن می باشند [۳].

اتلاف حرارتی از پشت کلکتور ( $U_b$ ) و از اطراف کلکتور ( $U_e$ ) به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$U_b = \frac{K_i}{L} \quad (8-5)$$

$$U_e = \frac{(K_i / \delta_e) P L_e}{A_e} \quad (9-5)$$

$K_i$  ضریب هدایت گرمایی عایق،  $L$  ضخامت عایق پشتی،  $\delta_e$  ضخامت عایق اطراف کلکتور،  $P$  ابعاد محیط کلکتور،  $L_e$  ضخامت عایق گوشه و  $A_e$  مساحت صفحه جاذب می باشند [۳].

تابع  $F$  نیز کارایی استاندارد صفحات جاذب برای تیغه های مستقیم با مقطع مستطیلی است.

$$F = \frac{\tanh m(W - D) / 2}{m(W - D) / 2} \quad (10-5)$$

$W$  فاصله مرکز تا مرکز رایزرها و  $D$  قطر رایزرها می باشند [۳].



$$m = \sqrt{\frac{U_L}{K\delta}} \quad (11-5)$$

K ضریب هدایت حرارتی جاذب و  $\delta$  ضخامت جاذب می باشند [۳].

ضریب بازدهی کلکتور یکی از پارامترهای مهم در محاسبه بازدهی کلکتور می باشد.

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (12-5)$$

$h_{fi}$  ضریب انتقال حرارت داخل لوله های مسی است [۳]. هم چنین ضریب انتقال گرمایی کلکتور برابر است با

نسبت مقدار واقعی انرژی انتقال یافته به حداکثر مقدار ممکن انرژی قابل انتقال، که به صورت زیر تعریف می

شود:

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{A_c U_L F'}{\dot{m}c_p} \right) \right] \quad (13-5)$$

در معادله بالا  $\dot{m}$  دبی جرمی سیال صفحات است که از معادله موازنه انرژی در بخش قبل بدست آمده و  $c_p$  ظرفیت گرمایی ویژه آب می باشد.

بنابراین انرژی که توسط کلکتور بدست می آید برابر است با:

$$Q_U = A_c F_R [G_T (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad (14-5)$$

$\tau\alpha$  بازده اپتیکی کلکتور و  $T_i$  دمای ورودی به کلکتور می باشد [۳].

در نتیجه بازده تحلیل تئوری کلکتور برابر خواهد بود با:

$$\eta_i = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_T} \quad (15-5)$$

در این معادله،  $G_T$  شدت تابش خورشید است [۳].

برای بدست آوردن  $T_{pm}$ ، به منظور قرار دادن در رابطه  $U_t$ ، ابتدا دمای ورودی برابر دمای صفحه جاذب قرار

داده شد و با این دما مقدار  $U_t$  و سپس مقدار  $Q_{U1}$  محاسبه گردید. مقدار  $Q_{U1}$  بدست آمده را در معادله زیر قرار

داده و  $T_{pm}$  محاسبه شده با مقدار حدس اولیه مقایسه می شود. اگر اختلاف آن ها کم تر از ۰/۴ بود این مقدار،

مقدار قابل قبول برای  $T_{pm}$  است در غیر این صورت عملیات فوق تکرار می شود و این بار مقدار به دست آمده از رابطه زیر حدس بعدی خواهد بود. البته با یک حدس اولیه معقول، تکرار دوم به ندرت ضروری است [۱۵].

$$T_{pm} = T_i + \frac{Q_U / A_C}{F_R U_L} (1 - F_R) \quad (۱۶-۵)$$

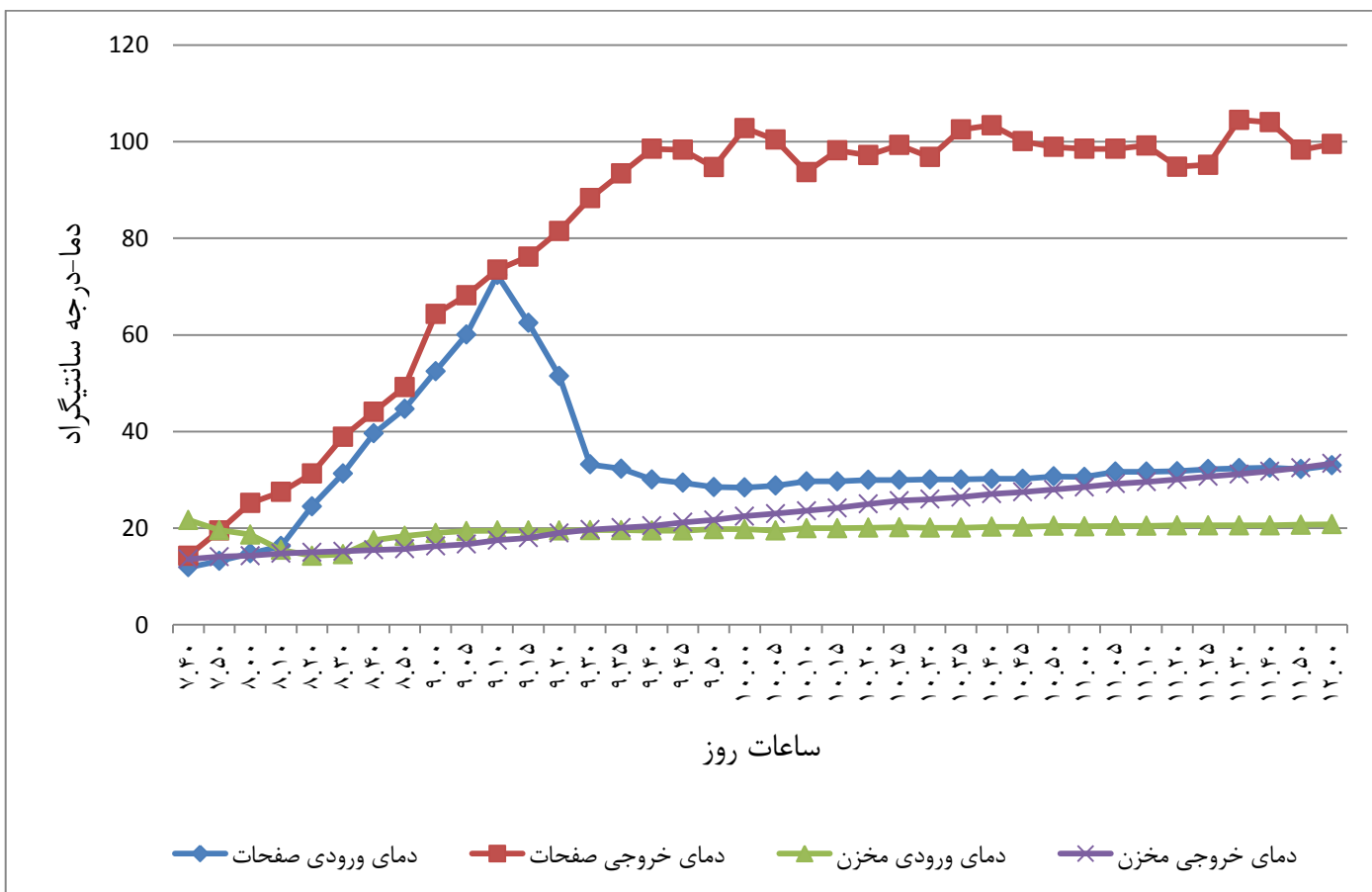
مقادیر پارامترهای مورد استفاده در معادلات بالا در جدول زیر آمده است.

جدول ۵-۲ علائم و مقادیر پارامترهای محاسباتی

پارامتر	علامت	مقدار
تعداد شیشه محافظ	N	۱
ضریب انتقال حرارت باد	$h_w$	۱۰۰ (w/m <sup>2</sup> .k)
زاویه کلکتور نسبت به افق	$\beta$	۴۵
ثابت استفان بولتزمن	$\sigma$	$۵/۶۷ \times ۱۰^{-۸}$
ضریب نشر شیشه	$\epsilon_p$	۰/۸۸ (w/m <sup>2</sup> .k)
ضریب نشر جاذب	$\epsilon_g$	۰/۹۵ (w/m <sup>2</sup> .k)
راندمان نوری کلکتور	$\tau\alpha$	۰/۸۵
ظرفیت گرمایی ویژه آب	$C_p$	۴۱۸۱ (j/kg.k)
رسانایی حرارتی جاذب	K	۲۳۷ (w/m.k)
ضخامت جاذب	$\delta$	۰/۰۰۰۵ (m)
رسانایی حرارتی عایق	$K_i$	۰/۰۴ (w/m.k)
فاصله بین لوله های رایزر	W	۰/۱۴ (m)

جدول ۳-۵ دماهای ثبت شده آزمایش ۱ (بدون پوشش نانومواد)

<b>9.35</b>	<b>9.30</b>	<b>9.20</b>	<b>9.15</b>	<b>9.10</b>	<b>9.05</b>	<b>9.00</b>	<b>8.50</b>	<b>8.40</b>	<b>8.30</b>	<b>8.20</b>	<b>8.10</b>	<b>8.00</b>	<b>7.50</b>	<b>7.40</b>	ساعات
32.3	33.2	51.5	62.5	72.4	60.1	52.5	44.7	39.6	31.3	24.5	16.3	14.8	13.2	11.9	دمای ورودی صفحات
93.4	88.3	81.5	76.2	73.5	68.2	64.3	49.2	44.1	38.9	31.3	27.5	25.2	19.5	14.3	دمای خروجی صفحات
19.6	19.6	19.5	19.5	19.5	19.4	19	18.4	17.5	14.6	14.3	15.5	18.7	19.6	21.7	دمای ورودی مخزن
20.1	19.7	19	18	17.5	16.7	16.3	15.7	15.5	15.2	15	14.8	14.3	14.1	13.6	دمای خروجی مخزن
<b>11.00</b>	<b>10.50</b>	<b>10.45</b>	<b>10.40</b>	<b>10.35</b>	<b>10.30</b>	<b>10.25</b>	<b>10.20</b>	<b>10.15</b>	<b>10.10</b>	<b>10.05</b>	<b>10.00</b>	<b>9.50</b>	<b>9.45</b>	<b>9.40</b>	ساعات
30.6	30.7	30.2	30.2	30.1	30.1	30	30	29.7	29.7	28.8	28.4	28.5	29.4	30.1	دمای ورودی صفحات
98.5	98.9	100.1	103.4	102.5	96.8	99.3	97.2	98.2	93.7	100.4	102.8	94.7	98.3	98.5	دمای خروجی صفحات
20.4	20.5	20.3	20.3	20.1	20.1	20.2	20.1	20	20	19.5	19.8	19.8	19.5	19.5	دمای ورودی مخزن
28.5	28	27.5	27.1	26.4	26	25.7	25	24.2	23.6	23	22.5	21.7	21.2	20.5	دمای خروجی مخزن
							<b>12.00</b>	<b>11.50</b>	<b>11.40</b>	<b>11.30</b>	<b>11.25</b>	<b>11.20</b>	<b>11.10</b>	<b>11.05</b>	ساعات
							33	32.2	32.5	32.4	32.2	31.8	31.7	31.7	دمای ورودی صفحات
							99.5	98.3	104	104.5	95.2	94.8	99.2	98.5	دمای خروجی صفحات
							20.8	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6	20.5	20.5	دمای ورودی مخزن
							33.4	32.5	31.8	31.2	30.7	30.1	29.6	29.2	دمای خروجی مخزن



شکل ۴-۵ نمودار دماهای ثبت شده آزمایش ۱ (بدون پوشش نانومواد)

## منابع

- [۱] احمدپور امین، " معرفی انواع انرژی های تجدید پذیر و بررسی مزایای استفاده از آن "، ششمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، تهران، ۲۲ آبان ۱۳۹۳.
- [۲] طلایی امیررضا، مددی عبدالحسین، مهربانی محمد مهدی، " کاربرد انرژی های تجدید پذیر "، انتشارات ملینا، چاپ اول، ۱۳۹۳.
- [۳] جان ا.داف، ویلیام ا.بکمن، ترجمه طاهری یاسر، دیبا مهران، مختاری فرهاد، "مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی"، انتشارات نوآور، تهران، ویرایش سوم، چاپ دوم، ۱۳۹۴.
- [۴] زندی مسلم، مهرمحمدی مهدیه، " بررسی انواع کلکتورهای خورشید "، کنفرانس بین المللی نخبگان عمران، معماری و شهرسازی، تهران، ۱۲ خرداد ۱۳۹۵.
- [5] G.Toghdori, S.M.Rozati, N. Memaria, M.Arvand, M.H.Bina , " Nano structure black cobalt coating for solar absorber", World Renewable Energy Congress-Sweden, No.57, PP.4021-4026, May 2011.
- [6] Chen, Ziqian and Furbo, Simon and Perers, Bengt and Fan, Jianhua and Andersen, Elsa , "Efficiencies of flat plate solar collectors at different flow rates", International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Vol 30, PP. 65-72, 2012.
- [7] C. L. Saw, H. H.Al-Kayiem , A.L.Owolabi , "Experimental investigation on the effect of PCM and nano-enhanced PCM of integrated solar collector performance", WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 179, PP.899-909, 2013.
- [8] Nabila Ihaddadene, Razika Ihaddadene, Azzeddine Mahdi, "Effect of Glazing Number on the Performance of a Solar Thermal Collector", International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 3, Issue 6, PP.1-6, June 2014.
- [9] Shahjahan Ahmed, Mohammad Mahmudul Alam Mia, Sushanta Acharjee, Md.Abdul Awal Ansary, " More Efficient Use Of Photovoltaic Solar Panel Using Multiple Fixed Directed mirrors Or Aluminum Foils Instead Of Solar Trackers In Rural Perspective Of Bangladesh", International Journal Of Scientific & Technology Research, Volume 3, No.4, Issue 4, PP.294-298, April 2014.
- [10] Uma Maheswari. K and Jeba Rajasekhar R.V, " Absorptive Coating With Nano Sized Carbon and Aluminium Oxide: Preparation, Characterization and estimation of Thermal Enhancement in solar Absorber", International Journal of Recent Scintifi Research, Volume 6, Issue 3, PP.3226-3228, March 2015.
- [۱۱] ویسی فرزاد، مواجی محمد حسن، پاک نژاد مراد، "کنترل دبی بهینه جریان در کلکتور آبگرم کن های خورشیدی با استفاده از تحلیل انرژی"، نوزدهمین همایش سالانه مهندسی مکانیک ایران، اردیبهشت ۱۳۹۰.

## **Abstract**

Solar energy is one of the most important renewable energy sources that has been considered by researchers in recent years. In this project, the effect of nanoparticle coating on the performance of a flat plate solar collector absorber was investigated. A solar water heater consists of two collectors and a tank with a volume of 200 liters. In order to measure the temperature of water and fluid flow were used four thermometers at the inlet and outlet of the collectors and tank, A flowmeter, a solar power meter and a thermometer were used for measuring the radiation and the ambient temperature. The selected nanopowder has reasonable price and suitable thermal conductivity, Multi-wall carbon nanotubes has been selected for coating the collector plate.

**Keywords:** solar energy, flat plate solar collector, collector absorber, efficiency, nano coating

