





دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی مکانیک

## پایان نامه

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

عنوان:

مطالعه تحلیلی و آزمایشگاهی اثرات استفاده از  
متمرکزکننده و منعکس کننده تخت بر روی عملکرد  
کلکتور صفحه تخت

اساتید راهنما:

دکتر رضا حسینی ابرده

دکتر حسین خراسانی زاده

توسط:

آناهیتا عظیمی

بهمن ۱۳۹۰

## تقدیم:

این پایان نامه را به همسر عزیزم که بی شک بدون بردباری‌ها و تشویق‌های خالصانه‌اش هرگز موفق به انجام این پروژه نمی‌شدم، تقدیم می‌کنم.

## تقدیر:

بوسه می‌زنم بر دستان پدرم که نه تنها سایه‌اش بر سر من، دلیل پیشرفتم بوده است بلکه در تک‌تک لحظات این نوشتار لحظه‌ای از کمک به من دریغ نورزید و غرق بوسه می‌کنم وجود مادرم را که دلسوزانه و مهربانانه آرامش روحی و آسایش فکری مرا فراهم نمود و قدردانی فراوان خود را نثار پدر و مادر همسر می‌کنم که همواره دعای خیرشان بدرقه راهم بوده است.

## تشکر و سپاسگزاری:

از استادان فرزانه‌ام جناب آقای دکتر حسینی و جناب آقای دکتر خراسانی‌زاده که در حق اینجانب پدری کردند و خالصانه علم خود را تا حدی که بنده گنجایش یادگیری داشتم به اینجانب آموختند صمیمانه تقدیر و تشکر می‌کنم.

همچنین از حضور استادان گرامی در جلسه دفاعیه خود، داوران عزیز جناب آقای دکتر شیخ‌زاده و جناب آقای دکتر سبزویشانی و استاد ناظر تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر فتح تبار تشکر می‌کنم.

## چکیده

یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر بر عملکرد کلکتورهای صفحه تخت، میزان تابش رسیده به سطح کلکتور می‌باشد. افزایش شدت تابش ورودی به سطح کلکتور موجب افزایش دمای صفحه جاذب و در نتیجه افزایش بیشتر دمای سیال عبوری از کلکتور می‌شود. در این مطالعه اثر استفاده از بازتابنده‌های تخت از جنس استیل ۳۰۴ نصب شده با زاویه ثابت در بالا و پایین کلکتور و با زاویه متغیر در چپ و راست کلکتور صفحه تخت و همچنین اثر استفاده از عدسی‌ها به عنوان متمرکزکننده، به طور تجربی و تحلیلی بررسی شده است. در بخش تجربی و برای پنج وضعیت کلکتور مرجع، با بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری، به همراه بازتابنده‌ها با زاویه بهینه، با بازتابنده‌ها با زاویه بهینه به همراه عدسی‌ها و تنها به همراه عدسی‌ها، آزمایش‌ها طی پنج دوره‌ی مجزا در تابستان ۱۳۹۰ انجام شده است. شار تشعشعی ورودی، دمای صفحه‌ی جاذب کلکتور، دمای پوشش کلکتور، دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن و دمای سیال داخل مخزن ذخیره اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها و محاسبات انجام شده در ساعات مختلف روز بهبود قابل ملاحظه‌ای را در بازده برای وضعیت استفاده از تجهیزات نصب شده نشان می‌دهد. به‌کارگیری بازتابنده‌های کناری با زاویه بهینه موجب افزایش بیشتر بازده تجربی نسبت به حالتی که از بازتابنده‌های کناری با تغییر زاویه‌ی منظم استفاده شود، شده است. به عنوان نمونه میزان انرژی مفید دریافتی در ساعت ۱۳ با به‌کارگیری بازتابنده‌ها با زاویه‌های بهینه نسبت به سیستم مرجع حدود ۱۰۶٪ و نسبت به حالتی که از بازتابنده‌های کناری با تغییر زاویه‌ی منظم استفاده شود حدود ۳۴/۶٪ افزایش را نشان داده است. استفاده از عدسی‌ها نیز موجب بهبود بازده سیستم شده است اما تأثیر استفاده از بازتابنده‌ها بیشتر است.

**کلمات کلیدی:** کلکتور خورشیدی صفحه تخت، بازتابنده، عدسی، بازده حرارتی، مطالعه‌ی

تجربی، گرمایش خورشیدی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- مقدمه
۵	۲-۱- مروری بر کارهای گذشته
۹	۳-۱- هدف و روش انجام تحقیق حاضر
۱۱	فصل دوم: تشعشع خورشیدی و روش جذب آن
۱۱	۱-۲- مقدمه
۱۱	۲-۲- خورشید
۱۲	۳-۲- ثابت خورشیدی
۱۳	۴-۲- تشعشع خارج جو
۱۳	۵-۲- تعریف زاویه‌ها
۱۶	۶-۲- طلوع خورشید و طول روز
۱۷	۷-۲- نسبت تشعشع مستقیم روی سطوح زاویه‌دار به تشعشع مستقیم روی سطح افقی
۱۷	۸-۲- تشعشع خارج جو روی صفحه‌ی افقی
۱۹	۹-۲- تخمین تشعشع بر روی سطح داخل جو زمین
۲۱	۱۰-۲- شاخص صافی
۲۱	۱-۱۰-۲- شاخص صافی ساعتی
۲۱	۲-۱۰-۲- شاخص صافی روزانه
۲۱	۱۱-۲- تخمین تشعشع مستقیم و پخش شده

صفحه	عنوان
۲۲	۱-۱۱-۲- تخمین تشعشع مستقیم و پخش شده‌ی ساعتی
۲۲	۲-۱۱-۲- تخمین تشعشع مستقیم و پخش شده‌ی روزانه
۲۳	۱۲-۲- تشعشع روی سطوح زاویه‌دار (مدل ایزوتروپیک)
۲۳	۱۳-۲- متوسط روزانه تشعشع روی سطوح زاویه‌دار با استفاده از مدل ایزوتروپیک
۲۴	۱۴-۲- تقویت تشعشع برخوردی
۲۷	<b>فصل سوم: کلکتور صفحه تخت و روابط حاکم بر آن</b>
۲۷	۱-۳- تعریف کلکتورهای صفحه تخت
۲۸	۲-۳- اجزای یک کلکتور صفحه تخت
۳۰	۳-۳- جذب تشعشع توسط صفحه‌ی جاذب
۳۰	۴-۳- معادله اساسی موازنه انرژی
۳۲	۵-۳- ضریب افت کلی انتقال حرارت
۳۳	۱-۵-۳- ضریب انتقال حرارت جابجایی بین دو سطح موازی
۳۴	۲-۵-۳- ضریب انتقال حرارت جابجایی باد
۳۵	۳-۵-۳- ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین پوشش و آسمان
۳۵	۴-۵-۳- ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین دو سطح موازی
۳۶	۵-۵-۳- ضریب افت از بالای کلکتور
۴۰	۶-۵-۳- افت از پشت و کناره‌های کلکتور
۴۱	۶-۳- توزیع دمای صفحه در فاصله بین لوله‌ها
۴۶	۷-۳- توزیع دمای صفحه در جهت جریان سیال
۴۶	۸-۳- ضریب انتقال گرمای کلکتور و ضریب جریان
۴۷	۹-۳- دمای متوسط سیال و صفحه



صفحه	عنوان
۴۸	۱۰-۳- تعریف بازده کلکتور
۴۸	۱-۱۰-۳- بازده تحلیلی کلکتور
۴۹	۲-۱۰-۳- بازده آزمایشگاهی کلکتور
۵۰	<b>فصل چهارم: شرح دستگاه آزمایش، روش و شرایط کار تجربی</b>
۵۰	۱-۴- مقدمه
۵۰	۲-۴- معرفی دستگاه آزمایش
۵۱	۱-۲-۴- سیستم مرجع
۵۵	۲-۲-۴- بازتابنده‌ها
۵۶	۳-۲-۴- متمرکز کننده‌ها
۶۰	۳-۴- روش انجام آزمایش و اندازه‌گیری‌ها
۶۲	۱-۳-۴- دمای محیط
۶۳	۲-۳-۴- دمای آب داخل مخزن
۶۴	۳-۳-۴- دمای سیال عامل عبوری از کلکتور
۶۴	۴-۳-۴- دمای صفحه جاذب و پوشش
۶۶	۵-۳-۴- شدت تشعشع خورشیدی ورودی به صفحه کلکتور
۶۷	<b>فصل پنجم: بررسی نتایج</b>
۶۷	۱-۵- مقدمه
۶۸	۲-۵- آزمایش‌های سیستم مرجع
۶۸	۱-۲-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده
۶۹	۲-۲-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب، پوشش و محیط
۷۰	۳-۲-۵- دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن و اختلاف دمای آن‌ها

صفحه	عنوان
۷۲	۴-۲-۵- راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی
۷۴	۳-۵- آزمایش‌های کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم
۷۵	۱-۳-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده
۷۵	۲-۳-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب، پوشش و محیط
۷۶	۳-۳-۵- دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن و اختلاف دمای آن‌ها
۷۸	۴-۳-۵- راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی
۸۰	۴-۵- آزمایش‌های کلکتور به همراه بازتابنده‌های کناری با زاویه‌ی بهینه
۸۱	۱-۴-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده
۸۱	۲-۴-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب، پوشش و محیط
۸۲	۳-۴-۵- دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن و اختلاف دمای آن‌ها
۸۴	۴-۴-۵- راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی
۸۵	۵-۵- آزمایش‌های کلکتور به همراه بازتابنده‌ها و عدسی‌ها
۸۵	۱-۵-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده
۸۶	۲-۵-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب، پوشش و محیط
۸۷	۳-۵-۵- دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن و اختلاف دمای آن‌ها
۸۹	۴-۵-۵- راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی
۹۰	۶-۵- آزمایش‌های کلکتور به همراه عدسی‌ها
۹۱	۱-۶-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده
۹۲	۲-۶-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب، پوشش و محیط
۹۲	۳-۶-۵- دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن و اختلاف دمای آن‌ها
۹۴	۴-۶-۵- راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی

عنوان	صفحه
۷-۵- مقایسه نتایج کلکتور با بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری و بازتابنده‌ها با زاویهی بهینه	۹۵
۱-۷-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده	۹۵
۲-۷-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب	۹۶
۳-۷-۵- اختلاف دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن	۹۷
۴-۷-۵- مقایسه‌ی راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی	۹۸
۸-۵- مقایسه نتایج حالت کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری، بازتابنده‌ها با زاویهی بهینه و بازتابنده‌ها به همراه عدسی‌ها	۹۹
۱-۸-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده	۹۹
۲-۸-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب	۱۰۲
۳-۸-۵- اختلاف دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن	۱۰۳
۴-۸-۵- مقایسه‌ی راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی	۱۰۴
۹-۵- مقایسه نتایج حالت کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با زاویه بهینه به همراه عدسی‌ها و کلکتور به همراه عدسی‌ها	۱۰۶
۱-۹-۵- شدت تشعشع اندازه‌گیری شده	۱۰۶
۲-۹-۵- دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه جاذب	۱۰۷
۳-۹-۵- اختلاف دمای آب ورودی به کلکتور و خروجی از آن	۱۰۸
۴-۹-۵- مقایسه‌ی راندمان تحلیلی و آزمایشگاهی	۱۰۹
<b>فصل ششم: نتیجه‌گیری نهایی و ارائه پیشنهاد برای ادامه تحقیق</b>	<b>۱۱۰</b>
۱-۶- مقدمه	۱۱۰
۲-۶- میزان تشعشع ورودی بر سطح کلکتور	۱۱۰

صفحه	عنوان
۱۱۲	۳-۶- اختلاف دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن
۱۱۳	۴-۶- بازده آزمایشگاهی
۱۱۴	۵-۶- انرژی مفید دریافتی
۱۱۵	۶-۶- نتیجه گیری
۱۱۶	۷-۶- پیشنهاد برای ادامه ی تحقیق
۱۱۸	فهرست مراجع

## فهرست علائم و اختصارات (Abbreviations)

$A_C$	مساحت کلکتور ( $m^2$ )
$C_b$	ضریب هدایت حرارتی پایه لوله ( $W m^{-1} K^{-1}$ )
$c_p$	ظرفیت گرمایی ویژه ( $kJ kg^{-1} K^{-1}$ )
$F$	بازده استاندارد فین
$F'$	بازده کلکتور
$F_R$	ضریب انتقال گرمای کلکتور
$G_{sc}$	ثابت خورشیدی ( $W m^{-2}$ )
$G_o$	تشعشع برخوردی خارج از جو زمین بر روی یک سطح افقی ( $W m^{-2}$ )
$G_{on}$	تشعشع برخوردی خارج از جو زمین بر روی سطح عمود بر تشعشع ( $W m^{-2}$ )
$h$	ضریب انتقال حرارت جابجایی ( $W m^{-2} K^{-1}$ )
$H$	تشعشع روزانه ( $W m^{-2}$ )
$H_o$	تشعشع برخوردی روزانه خارج از جو زمین بر روی یک سطح افقی ( $W m^{-2}$ )
$h_{r,c-a}$	ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین پوشش و آسمان ( $W m^{-2} K^{-1}$ )
$h_{r,p-c}$	ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین پوشش و صفحه جاذب ( $W m^{-2} K^{-1}$ )
$h_w$	ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا ( $W m^{-2} K^{-1}$ )
$I$	تشعشع ساعتی ( $W m^{-2}$ )
$I_o$	تشعشع برخوردی ساعتی خارج از جو زمین بر روی یک سطح افقی ( $W m^{-2}$ )
$I_T$	تشعشع ساعتی برخوردی برای سطح زاویه‌دار ( $W m^{-2}$ )
$k$	ضریب هدایت حرارتی عایق ( $W m^{-1} K^{-1}$ )
$k_T$	شاخص صافی ساعتی
$K_T$	شاخص صافی روزانه

فاصله بین صفحات موازی ( $m$ )	$l$
دبی سیال عبوری از کلکتور ( $kg\ s^{-1}$ )	$\dot{m}$
طول روز بر حسب ساعت	$N$
عدد ناسلت	$Nu$
انرژی مفید خروجی از کلکتور ( $J$ )	$Q_u$
انرژی مفید جذب شده بر واحد طول ( $J\ m^{-1}$ )	$q'_u$
عدد رایلی	$Ra$
نسبت تشعشع مستقیم بر سطح زاویه‌دار به سطح افقی	$R_b$
مقاومت حرارتی بین عایق پشت و محیط ( $m^2\ K\ W^{-1}$ )	$R_{b-a}$
مقاومت حرارتی بین پوشش و محیط ( $m^2\ K\ W^{-1}$ )	$R_{c-a}$
مقاومت حرارتی بین صفحه جاذب و عایق پشت ( $m^2\ K\ W^{-1}$ )	$R_{p-b}$
مقاومت حرارتی بین صفحه جاذب و پوشش ( $m^2\ K\ W^{-1}$ )	$R_{p-c}$
مقدار تشعشع جذب شده ( $J\ m^{-2}$ )	$S$
دما ( $K$ )	$T$
ضریب افت از پشت کلکتور ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )	$U_b$
ضریب افت از کناره‌های کلکتور ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )	$U_e$
ضریب افت کلی کلکتور ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )	$U_l$
ضریب افت از بالای کلکتور ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )	$U_t$
سرعت ( $m\ s^{-1}$ )	$V$

### حروف یونانی

$\alpha$  ضریب جذب صفحه جاذب

$\alpha_s$	زاویه ارتفاع خورشیدی
$\beta$	زاویه شیب کلکتور
$\delta$	زاویه میل خورشید
$\varepsilon_c$	ضریب گسیلندگی پوشش
$\varepsilon_p$	ضریب گسیلندگی صفحه جاذب
$\phi$	عرض جغرافیایی
$\gamma$	زاویه آزیموس سطح
$\gamma_s$	زاویه آزیموس خورشیدی
$\eta_A$	بازده تحلیلی
$\eta_E$	بازده آزمایشگاهی
$\theta$	زاویه برخورد تشعشع خورشیدی
$\theta_z$	زاویه زنید
$\rho$	ضریب بازتابندگی
$\sigma$	ثابت بولتزمن
$\tau$	ضریب عبور
$\omega$	زاویه ساعت

#### زیرنویس

$b$	مستقیم
$c$	کلکتور
$d$	پخش شده
$f$	سیال

سیال ورودی به کلکتور	$f_i$
متوسط سیال	$f_m$
سیال خروجی از کلکتور	$f_o$
زمین	$g$
صفحه جاذب	$p$
بازتابنده	$r$
زاویه‌دار	$T$
کلکتور به همراه عدسی‌ها	$WL$
کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با زاویه بهینه	$WOAR$
کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری	$WR$
کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با زاویه بهینه و عدسی‌ها	$WRL$



## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۴	جدول ۱-۲- شماره روز سال
۲۰	جدول ۲-۲- فاکتورهای اصلاح انواع آب و هوا
۵۱	جدول ۱-۴- مشخصات کلکتور مرجع
۶۸	جدول ۱-۵- داده‌های اندازه‌گیری شده برای کلکتور مرجع در روز ۸ تیر ۱۳۹۰
۷۴	جدول ۲-۵- داده‌های اندازه‌گیری شده برای کلکتور به همراه بازتابنده با تغییر زاویه منظم در روز ۸ مرداد ۱۳۹۰
۸۰	جدول ۳-۵- داده‌های اندازه‌گیری شده برای کلکتور به همراه بازتابنده با زاویه بهینه در روز ۱۱ مرداد ۱۳۹۰
۸۵	جدول ۴-۵- داده‌های اندازه‌گیری شده برای کلکتور به همراه بازتابنده‌ها و عدسی‌ها در روز ۲۵ مرداد ۱۳۹۰
۹۰	جدول ۵-۵- داده‌های اندازه‌گیری شده برای کلکتور به همراه عدسی‌ها در روز ۵ شهریور ۱۳۹۰

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱) نمایی از یک کلکتور حرارتی خورشیدی
۵	شکل (۲-۱) سیستمی متشکل از کلکتور و بازتابنده
۱۸	شکل (۱-۲) تشعشع روزانه‌ی خارج جو بر روی سطح افقی
۲۴	شکل (۲-۲) نمایی از چگونگی عملکرد سطوح انعکاسی
۲۵	شکل (۳-۲) رابطه‌ی هندسی سطح دریافت‌کننده و سطح بازتابنده
۲۶	شکل (۴-۲) ضریب دید $F_{r-c}$ به صورت تابعی از ابعاد سطوح دریافت‌کننده و بازتابنده
۲۸	شکل (۱-۳) نمایی از یک کلکتور صفحه تخت خورشیدی
۳۱	شکل (۲-۳) کلکتور خورشیدی صفحه لوله‌ای
۳۲	شکل (۳-۳) شبکه‌ی مقاومتی یک کلکتور صفحه تخت
۳۳	شکل (۴-۳) نمودار عدد ناسلت به صورت تابعی از عدد رایلی برای انتقال حرارت جابجایی آزاد بین دو صفحه‌ی موازی به ازای شیب‌های متفاوت
۳۴	شکل (۵-۳) فاکتورهای اصلاح $F_1$ و $F_2$ برای استفاده از شکل (۴-۳)
۳۹	شکل (۶-۳) ضریب افت از بالای کلکتور به ازای زاویه شیب $45^\circ$ و فاصله‌ی صفحات $25\text{ mm}$
۴۰	شکل (۷-۳) وابستگی ضریب افت از بالا بر حسب شیب کلکتور
۴۱	شکل (۸-۳) ابعاد کلکتور صفحه - لوله‌ای
۴۲	شکل (۹-۳) موازنه‌ی انرژی بر روی یک فین
۴۴	شکل (۱۰-۳) بازده فین برای کلکتور خورشیدی صفحه لوله‌ای

- ۴۷ شکل (۳-۱۱) ضریب جریان کلکتور بر حسب دبی بدون بعد
- ۵۲ شکل (۴-۱) تصویری از سیستم مرجع
- ۵۳ شکل (۴-۲) تصویری از مخزن ذخیره و لوله مسی درون آن
- ۵۳ شکل (۴-۳) تصویری از پمپ و کنتور مورد استفاده
- ۵۴ شکل (۴-۴) شکلی از کلکتور مورد بهره‌برداری در آزمایش
- ۵۶ شکل (۴-۵) تصویری از قرارگیری بازتابنده‌ها در طول روز
- ۵۷ شکل (۴-۶) نمایی از پرتو تابیده از شیء در بی‌نهایت به یک عدسی همگرا
- ۵۷ شکل (۴-۷) نمای روبروی شیشه‌های نگهدارنده‌ی عدسی‌ها
- ۵۸ شکل (۴-۸): تصویری از پایه‌های فلزی نگهدارنده‌ی شیشه‌های عدسی‌ها
- ۵۹ شکل (۴-۹): تصویری از قرارگیری پایه‌ها، شیشه‌های نگهدارنده‌ی عدسی‌ها، عدسی‌ها و شیشه‌های جداکننده‌ی عدسی‌ها
- ۵۹ شکل (۴-۱۰) تصویری از قرارگیری همزمان عدسی‌ها و بازتابنده‌ها
- ۶۳ شکل (۴-۱۱) تصویری از دماسنج جیوه‌ای
- ۶۳ شکل (۴-۱۲) محل قرارگیری دماسنج‌های جیوه‌ای بر روی مخزن ذخیره
- ۶۴ شکل (۴-۱۳) محل قرارگیری دماسنج‌های جیوه‌ای بر روی کلکتور
- ۶۵ شکل (۴-۱۴) جانمایی ترموکوپل‌های اندازه‌گیری دما
- ۶۵ شکل (۴-۱۵) ترموکوپل مورد استفاده جهت اندازه‌گیری دمای پوشش
- ۶۶ شکل (۴-۱۶) نمونه‌هایی از چگونگی نصب سولاریمتر برای اندازه‌گیری شدت تشعشع ورودی مرجع
- ۶۹ شکل (۵-۱) نمودار شدت تشعشع خورشیدی اندازه‌گیری شده برای سیستم مرجع در تاریخ ۸ تیر
- ۷۰ شکل (۵-۲) نمودار دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه‌ی جاذب، پوشش و محیط

- برای سیستم مرجع در تاریخ ۸ تیر ۱۳۹۰
- ۷۱ شکل (۳-۵) نمودار دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن برای سیستم مرجع در تاریخ ۸ تیر ۱۳۹۰
- ۷۱ شکل (۴-۵) نمودار اختلاف دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن برای سیستم مرجع در تاریخ ۸ تیر ۱۳۹۰
- ۷۲ شکل (۵-۵) نمودار بازده تحلیلی و آزمایشگاهی سیستم مرجع در تاریخ ۸ تیر ۱۳۹۰
- ۷۵ شکل (۶-۵) نرخ تشعشع ورودی به سطح کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری و شدت تشعشع مرجع در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۰
- ۷۶ شکل (۷-۵) نمودار دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه‌ی جاذب، پوشش و محیط برای کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۰
- ۷۷ شکل (۸-۵) نمودار دمای آب ورودی به کلکتور و خروجی از آن برای وضعیت کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۰
- ۷۷ شکل (۹-۵) نمودار اختلاف دمای آب خروجی از کلکتور و ورودی به آن برای کلکتور به همراه بازتابنده با تغییر زاویه منظم در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۰
- ۷۸ شکل (۱۰-۵) نمودار بازده تحلیلی و آزمایشگاهی برای وضعیت کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با تغییر زاویه منظم بازتابنده‌های کناری در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۰
- ۸۱ شکل (۱۱-۵) نرخ تشعشع ورودی به سطح کلکتور به همراه بازتابنده‌ها با زاویه بهینه و مرجع در تاریخ ۱۱ مرداد ۱۳۹۰
- ۸۲ شکل (۱۲-۵) نمودار دمای اندازه‌گیری شده‌ی صفحه‌ی جاذب، پوشش و محیط