



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی شیمی

## بررسی تجربی و تحلیل عددی پارامترهای فیزیکی و محیطی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت روی عملکرد آن

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

مژده خرمی فرد

اساتید راهنما  
دکتر غلامرضا اعتماد  
دکتر مسعود حق شناس فرد

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
بازده	فهرست شکل ها
چهارده	فهرست علائم و نمادها
۱	چکیده
۲	فصل اول: مقدمه
۲	مقدمه
۶	فصل دوم: کلکتورهای خورشیدی
۶	۱-۲ طرحهای سیستم خورشیدی
۶	۱-۱-۲ سیستم های فعال و غیرفعال
۷	۲-۱-۲ سیستم های مستقیم و غیرمستقیم
۸	۳-۱-۲ سیستم های کاملاً پر و برگشت ثقلی
۹	۲-۲ سیستم های برگشت ثقلی غیرمستقیم
۱۰	۳-۲ طرح های سیستم های برگشت ثقلی
۱۲	۴-۲ کلکتورهای خورشیدی
۱۳	۵-۲ کلکتورهای سهموی ثابت
۱۴	۶-۲ کلکتورهای لوله خلاء
۱۵	۷-۲ کلکتورهای بدون پوشش
۱۵	۸-۲ کلکتورهای صفحه تخت
۱۷	۱-۸-۲ پوشش
۱۸	۲-۸-۲ صفحه جاذب
۱۹	۳-۸-۲ عایق
۲۰	۴-۸-۲ قالب
۲۰	۹-۲ سطح کلکتور
۲۰	۱۰-۲ ساخت کلکتور

۲۲	فصل سوم: مطالعات انجام شده.....
۲۲	۱-۳ تحقیقات عددی انجام شده در زمینه کلکتورهای صفحه تخت.....
۳۰	۲-۳ تحقیقات تجربی انجام شده در زمینه کلکتورهای صفحه تخت.....
۳۳	فصل چهارم: مدل ریاضی کلکتور صفحه تخت.....
۳۳	۱-۴ مقدمه.....
۳۴	۲-۴ استخراج مدل ریاضی کلکتور.....
۳۴	۱-۲-۴ اتلاف حرارتی کلکتور.....
۳۹	۲-۲-۴ توزیع دما بین لوله ها و فاکتور بازده کلکتور.....
۴۱	۳-۲-۴ فاکتور جریان و بازده گرمایی.....
۴۳	فصل پنجم: شرح تجهیزات آزمایشگاهی.....
۴۳	۱-۵ مقدمه.....
۴۳	۲-۵ کارکرد سیستم های آبگرمکن خورشیدی.....
۴۵	۱-۲-۵ مدار اولیه.....
۴۵	۲-۲-۵ مدار ثانویه.....
۴۶	۳-۵ اجزای اصلی سیستم گرمایش خورشیدی و وظایف آنها.....
۴۷	۴-۵ جهت قرارگیری کلکتور و زاویه آن با افق.....
۴۷	۱-۴-۵ زاویه کلکتور با افق $\alpha$ .....
۴۷	۲-۴-۵ زاویه جهت قرارگیری کلکتور.....
۵۰	۵-۵ راندمان سیستم گرمایش خورشیدی.....
۵۰	۶-۵ سهم انرژی خورشیدی.....
۵۱	۷-۵ نگهدارنده کلکتور.....
۵۲	۱-۷-۵ ابعاد سازه نگهدارنده.....
۵۳	۲-۷-۵ اجزای سازه نگهدارنده بار ناشی از وزش باد.....
۵۳	۸-۵ مخزن.....
۵۴	۹-۵ مبدل حرارتی.....
۵۴	۱-۹-۵ مبدل های خارجی.....

۵۵	۲-۹-۵ مبدل های داخلی
۵۶	۱۰-۵ واحد کنترل
۵۷	۱۱-۵ واحد سیر کولاسیون
۵۸	۱۲-۵ شیرآلات و لوله های مدار خورشیدی
۵۹	۱-۱۲-۵ شیرمتعادل کننده دبی
۵۹	۲-۱۲-۵ شیرهای مخلوط کننده
۶۰	۱۳-۵ سیال عامل انتقال حرارت
۶۰	۱۴-۵ پمپ
۶۱	۱۵-۵ نصب و راه اندازی سیستم
۶۱	۱-۱۵-۵ مشکلات احتمالی سیستم های برگشت ثقلی
۶۳	<b>فصل ششم: تجزیه و تحلیل نتایج</b>
۶۳	۱-۶ مقدمه
۶۵	۲-۶ رسم نمودار بازده
۶۷	۱-۲-۶ رسم نمودار شدت تابش
۶۹	۲-۲-۶ رسم نمودار دمای محیط
۷۱	۴-۲-۶ تنظیم دمای سیال انتقال حرارت
۷۱	۵-۲-۶ محاسبات بازده کلکتور
۷۴	۳-۶ بررسی عددی کلکتور خورشیدی
۷۴	۱-۳-۶ ارزیابی داده های بدست آمده از نرم افزار
۷۶	۲-۳-۶ بررسی پارامترهای محیطی
۷۸	۳-۳-۶ بررسی پارامترهای فیزیکی
۸۴	<b>فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۸۴	۱-۷ مقدمه
۸۴	۲-۷ نتیجه گیری
۸۶	۳-۷ پیشنهادات

## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱- نمای از کوره خورشیدی ساخته شده توسط لاوازیه در سال ۱۷۷۴ [۴]..... ۳
- شکل ۲-۱- نمای از کلکتور خورشیدی پارابولیک [۴]..... ۴
- شکل ۱-۲- (a) سیستم غیر مستقیم (b) سیستم مستقیم [۷]..... ۷
- شکل ۲-۲- (a) مبدل داخلی (b) دو مخزن درون هم (c) مبدل خارجی کوئل در تیوب (d) مبدل حرارتی صفحه ای [۷]..... ۸
- شکل ۳-۲- طرح های سیستم های برگشت ثقلی [۷]..... ۱۲
- شکل ۴-۲- نمای از کلکتور CPC [۴] و [۶]..... ۱۳
- شکل ۵-۲- کلکتور لوله خلأ [۴] و [۶]..... ۱۴
- شکل ۶-۲- کلکتور صفحه تخت [۴]..... ۱۶
- شکل ۷-۲- اجزای کلکتور صفحه تخت [۴]..... ۱۷
- شکل ۸-۲- درصد اتلاف و جذب سطوح مختلف [۷]..... ۱۹
- شکل ۹-۲- سطوح مختلف کلکتور صفحه تخت [۷]..... ۲۰
- شکل ۱-۳- کلکتور مورد آزمایش در سیستم HVAC [۱۴]..... ۲۲
- شکل ۲-۳- جاذب از نوع پره ولوله [۱۵]..... ۲۳
- شکل ۳-۳- کلکتور خورشیدی نوع U [۱۷]..... ۲۴
- شکل ۴-۳- توزیع دبی حجمی سیال و توزیع دما در کلکتور U شکل در دبی های مختلف [۱۷]..... ۲۵
- شکل ۵-۳- هندسه صفحه جاذب موج دار و کانال جریان مرکب از دو صفحه موج دار [۱۸]..... ۲۶
- شکل ۶-۳- مقایسه نمودار بازده مدل های ۱ تا ۳ با نمودار بازده کلکتور بدون لوله [۱۸]..... ۲۷
- شکل ۷-۳- تأثیر شرایط جریان روی بازده کلکتور برای مدل ۱ [۱۸]..... ۲۷
- شکل ۸-۳- مقایسه نمودار بازده برای گاز های مختلف موجود در فضای بسته میان جاذب و پوشش شیشه ای [۱۹]..... ۲۸
- شکل ۹-۳- مقایسه نتایج اندازه گیری شده و محاسبه شده برای دماهای ورودی و خروجی سیال [۲۳]..... ۲۹
- شکل ۱۰-۳- نمودار بازده کلکتور PTSC در شدت تابش های مختلف [۲۴]..... ۲۹
- شکل ۱۱-۳- نمودار بازده کلکتور PTSC در زاویه های نصب مختلف [۲۴]..... ۳۰
- شکل ۱۲-۳- نمای از کلکتور گرمایشی با انعکاس اشعه خورشیدی مستقیم [۲۷]..... ۳۱

- شکل ۳-۱۳- تغییرات بازده با رنگ صفحه جانب [۲۸] ..... ۳۱
- شکل ۳-۱۴- تغییرات  $h_{wv}$  با سرعت باد و مقایسه با نتایج قبلی [۲۹] ..... ۳۲
- شکل ۴-۱- شبکه گرمایی کلکتور صفحه تخت با یک پوشش شیشه ایی [۴] ..... ۳۵
- شکل ۴-۲- تابش ورودی و اتلاف حرارتی از کلکتور [۴] ..... ۳۹
- شکل ۴-۳- ساختار لوله و صفحه جاذب در کلکتور تحت بررسی [۴] ..... ۴۰
- شکل ۵-۱- نمایی از کلکتور های موجود در آزمایشگاه ..... ۴۴
- شکل ۵-۲- نمایی از تجهیزات آزمایشگاهی ..... ۴۴
- شکل ۵-۳- نمای انتقال حرارت در قسمت های مختلف سیستم ..... ۴۵
- شکل ۵-۴- زاویه کلکتور با افق ..... ۴۷
- شکل ۵-۵- زاویه جهت قرارگیری کلکتور ..... ۴۸
- شکل ۵-۶- تصویر گویای تأثیر همزمان دو مقدار میانگین سالانه انرژی جذب شده در ایران ..... ۴۸
- شکل ۵-۷- فاصله نصب کلکتورها از یکدیگر ..... ۴۹
- شکل ۵-۸- راندمان سیستم و سهم انرژی خورشیدی [۷] ..... ۵۱
- شکل ۵-۹- نمایی از نگهدارنده کلکتور ..... ۵۲
- شکل ۵-۱۰- نمایی از ابعاد سازه نگهدارنده کلکتور ..... ۵۲
- شکل ۵-۱۱- نماهایی از مخزن از زوایای مختلف ..... ۵۴
- شکل ۵-۱۲- مبدا های خارجی ..... ۵۵
- شکل ۵-۱۳- مبدا های داخلی ..... ۵۵
- شکل ۵-۱۴- کنترلر و طریقه نصب آن روی مخزن ..... ۵۷
- شکل ۵-۱۵- نمایی از شیر متعادل کننده دبی ..... ۵۹
- شکل ۵-۱۶- نمایی از شیرهای مخلوط کننده ..... ۶۰
- شکل ۶-۱- پیرانومتر مورد استفاده در این تحقیق ..... ۶۴
- شکل ۶-۲- محل قرار گیری پیرانومتر ..... ۶۴
- شکل ۶-۳- نمودار شدت تابش در زمانهای مختلف ..... ۶۷
- شکل ۶-۴- نمودار دمای محیط در زمانهای مختلف ..... ۶۹
- شکل ۶-۵- محل نصب دستگاه اندازه گیری دمای ورودی و خروجی [۴۲] ..... ۶۹

- شکل ۶-۶- نمودار تغییرات دماهای ورودی و خروجی در زمانهای مختلف ..... ۷۰
- شکل ۶-۷- نمودار بازده کلکتور بر حسب دمای کاهش یافته ورودی ..... ۷۲
- شکل ۶-۸- نمودار بازده کلکتور بر حسب دمای کاهش یافته متوسط ..... ۷۳
- شکل ۶-۹- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و EES بازده بر مبنای دمای کاهش یافته ورودی ..... ۷۵
- شکل ۶-۱۰- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و EES بازده بر مبنای دمای کاهش یافته متوسط ..... ۷۵
- شکل ۶-۱۱- نمودار تغییرات بازده در برابر شدت تابش ..... ۷۶
- شکل ۶-۱۲- نمودار تغییرات بازده در برابر زاویه نصب کلکتور ..... ۷۷
- شکل ۶-۱۳- نمودار تغییرات بازده در برابر سرعت باد ..... ۷۸
- شکل ۶-۱۴- نمودار تغییرات بازده در برابر ضریب جذب صفحه جاذب ..... ۷۹
- شکل ۶-۱۵- نمودار تغییرات بازده در برابر ضریب صدور صفحه جاذب ..... ۷۹
- شکل ۶-۱۶- نمودار تغییرات بازده در برابر ضریب عبور شیشه ..... ۸۰
- شکل ۶-۱۷- نمودار تغییرات بازده در برابر ضخامت عایق پشت ..... ۸۱
- شکل ۶-۱۸- نمودار تغییرات بازده در برابر ضخامت عایق کنار ..... ۸۲
- شکل ۶-۱۹- نمودار تغییرات بازده در برابر فاصله رایزرها ..... ۸۳



## فهرست علائم و نمادها

### نمادهای لاتین

$A_C$	سطح کلکتور ( $m^2$ )
$A_G$	سطح کلی کلکتور ( $m^2$ )
$A_A$	سطح صفحه جاذب ( $m^2$ )
$b$	عرض جوش ( $m$ )
$Bi$	جریان سیال درون لوله $i$ ام
$c_p$	ظرفیت حرارتی ( $\frac{J}{Kg.K}$ )
$C_b$	مقاومت رسانایی
$D$	قطر خارجی رایزر ( $m$ )
$D_i$	قطر داخلی رایزر ( $m$ )
$F$	بازده پره
$F'$	فاکتور بازده کلکتور
$F''$	فاکتور جریان
$F_R$	فاکتور اتلاف گرمایی
$G_{dif}$	تابش پراکنده ( $\frac{W}{m^2}$ )
$G_{dir}$	تابش مستقیم ( $\frac{W}{m^2}$ )
$G_t$	شدت تابش کل ( $\frac{W}{m^2}$ )
$Gr$	عدد گرافش
$g$	ثابت گرانش زمین ( $\frac{m^2}{s}$ )
$h_{c,g,a}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پوشش شیشه ای و محیط ناشی از باد ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
$h_{r,g,a}$	ضریب انتقال حرارت تابشی بین پوشش شیشه ای و محیط ناشی از باد ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
$h_{r,p,g}$	ضریب انتقال حرارت تابشی بین پوشش شیشه ای و صفحه جاذب ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
$h_{c,p,g}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پوشش شیشه ای و صفحه جاذب ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
$h_{c,b,a}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پشت به محیط ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
$h_{c,e,a}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین لبه به محیط ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
$k_b$	ضریب رسانایی عایق پشت ( $\frac{W}{m.k}$ )
$k_a$	ضریب رسانایی عایق لبه ( $\frac{W}{m.k}$ )
$L$	فاصله بین صفحه جاذب و پوشش شیشه ای ( $m$ )
$\dot{m}$	دبی جرمی ( $\frac{Kg}{s}$ )
$Nu$	عدد ناسلت

- $Pr$  عدد پراتل
- $Q_u$  انرژی جمع آوری شده توسط کلکتور ( $W$ )
- $Q_{loss}$  اتلاف حرارتی از کلکتور ( $W$ )
- $Q_i$  سرعت جریان لوله  $i$  ام
- $Q_o$  سرعت جریان کلی برای همه لوله ها
- $Ra$  عدد ریه
- $R_{p-g}$  مقاومت گرمایی بین صفحه جاذب و پوشش شیشه ای
- $R_{g-a}$  مقاومت گرمایی بین پوشش شیشه ای و محیط
- $R_t$  مقاومت گرمایی کلی
- $Re$  عدد رینولدز
- $t_b$  ضخامت عایق پشت شیشه ( $m$ )
- $t_a$  ضخامت عایق لبه ( $m$ )
- $T_b$  دمای پشت کلکتور ( $^{\circ}C$ )
- $T_a$  دمای محیط ( $^{\circ}C$ )
- $T_g$  دمای شیشه ( $^{\circ}C$ )
- $T_p$  دمای صفحه جاذب ( $^{\circ}C$ )
- $T_i$  دمای سیال ورودی به کلکتور ( $^{\circ}C$ )
- $T_o$  دمای سیال خروجی از کلکتور ( $^{\circ}C$ )
- $T_m^*$  دمای کاهش یافته بر مبنای دمای متوسط
- $T_1^*$  دمای کاهش یافته بر مبنای دمای ورودی سیال
- $U_l$  ضریب اتلاف حرارتی کلی بر مبنای سطح کلکتور ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
- $U_t$  ضریب اتلاف حرارتی از بالا ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
- $U_b$  ضریب اتلاف حرارتی از پایین ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
- $U_e$  ضریب اتلاف حرارتی از کنار ( $\frac{W}{m^2.k}$ )
- $U_o$  مقاومت حرارتی موجود بین سیال و محیط
- $W$  فاصله بین رایزرها ( $m$ )

### نمادهای یونانی

- $\alpha$  ضریب جذب صفحه جاذب
- $\beta$  ضریب انبساطی حجمی
- $\epsilon_p$  ضریب صدور صفحه جاذب
- $\epsilon_g$  ضریب صدور پوشش شیشه ای
- $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن ( $\frac{W}{m^2.k^4}$ )

$\nu$  ویسکوزیته سینماتیکی ( $\frac{m^2}{s}$ )

$\tau$  ضریب عبور شیشه

$\gamma$  ضخامت متوسط جوش

$\eta$  بازده کلکتور

$\eta_G$  بازده بر مبنای سطح کلی کلکتور

$\eta_A$  بازده بر مبنای سطح صفحه جاذب

$\emptyset$  پارامتر غیر یکنواختی جریان نسبی

## چکیده

اقتصاد و مسایل زیست محیطی سبب شده تا در دو ده گذشته، تکنولوژی مربوط به انرژی خورشیدی در حوزه های مختلف رشد و توسعه قابل توجهی پیدا کند. یکی از زمینه های کاربرد انرژی خورشیدی، استفاده در سیستم های سرمایش و گرمایش خانگی می باشد. کلکتورها اصلی ترین جزء یک سیستم گرمایش خورشیدی هستند و وظیفه ی جذب انرژی خورشیدی و انتقال آن به جریان سیال با کمترین اتلاف حرارتی را دارند. پر کاربرد ترین نوع آنها کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت هستند. در این تحقیق در مرحله اول در بخش آزمایشات به شناخت پارامترهای مؤثر روی کلکتور خورشیدی صفحه تخت به منظور افزایش بازده و بهبود عملکرد آن پرداخته و پارامترهایی نظیر دمای ورودی و خروجی سیال، دمای محیط، شدت تابش محیط و میزان اثر آنها روی کلکتور بررسی و نمودارهای بازده کلکتور صفحه تخت رسم شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش دمای ورودی سیال به کلکتور بازده آن کاهش می یابد و هم چنین با افزایش شدت تابش و افزایش دمای هوای محیط، بازده نیز زیاد می شود. در بخش عددی، با استفاده از نرم افزار EES شبیه سازی برای کلکتورهای صفحه تخت انجام شد و برای اطمینان از صحت نتایج بدست آمده، نمودار بازده توسط نرم افزار نیز رسم گردید. متوسط خطا بین نتایج شبیه سازی با داده های آزمایشگاهی در حدود ۸٪ گزارش شد. در ادامه به بررسی پارامترهای مختلف محیطی و فیزیکی مؤثر روی کلکتور به منظور بهبود عملکرد آن پرداخته شد. پارامترهایی نظیر میزان شدت تابش، زاویه نصب کلکتور، سرعت باد، ضریب عبور شیشه، ضریب جذب و صدور صفحه جاذب، ضخامت عایق پشت و عایق کنار و فاصله رایزرها بررسی گردید.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، کلکتور خورشیدی صفحه تخت، بازده، شبیه سازی، EES

## فصل اول

### مقدمه

خورشید تنها ستاره منظومه ماست و انرژی آن که به صورت تابشی به زمین می‌رسد، تقریباً تمام انرژی مربوط به زندگی بر روی سیاره زمین را از طریق فتوسنتز گیاهی و تاثیر بر روی آب و هوا تامین می‌کند. انرژی خورشیدی بر خلاف انرژی های فسیلی، پاک و سازگار با محیط زیست می‌باشد. با این وجود، در طی قرن گذشته این سوخت های فسیلی بوده اند که بخش بزرگی از انرژی بشر را تأمین کرده اند. دلیل استفاده ی بیشتر از این گونه انرژی ها، قیمت کمتر و دسترسی آسان به آن در قیاس با انرژی های جایگزین می باشد. علاوه بر اینها بی توجهی بشر به بحث آلودگی محیط زیست، استفاده از انرژی های فسیلی را تشدید کرده است [۱]. بحران انرژی در سال های اخیر کشورهای جهان را بر آن داشته است که با مسائل مربوط به انرژی برخوردی متفاوت داشته باشند. بدین ترتیب جایگزینی انرژی فسیلی با انرژی های تجدیدپذیر و از جمله انرژی خورشید به منظور کاهش و صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبرو شده است [۲و۳].

توان تابش خورشیدی که به طور دائم با جو زمین برخورد می‌کند در حدود  $(TW = 10^{12}W)$   $1/75 \times 10^5 TW$  است و با توجه به این که مقداری از این تابش با برخورد به پوشش ابری جو زمین پراکنده می‌شود، چیزی در حدود  $1/05 \times 10^5 TW$  به طور دائم به سطح زمین می‌رسد. حال اگر تنها ۱٪ از مقدار مذکور را آن هم با سیستمی با راندمان ۱۰٪ به انرژی برق تبدیل کنیم، منبعی به اندازه ی  $10^5 TW$  را در اختیار خواهیم داشت و این در حالی است که نیاز جهانی انرژی در سال ۲۰۵۰ در حدود  $20-30 TW$  طرح ریزی شده است. دانشمندان معتقدند که در اواسط قرن ۲۱ منابع انرژی تجدیدپذیر، حدود ۳/۵ برق و ۲/۵ بازار کل سوخت های مورد مصرف را به تصرف خود در خواهند آورد. علاوه بر این تغییر اقتصاد رایج به اقتصاد مربوط به انرژی های خورشیدی و تجدیدپذیر، تاثیرات

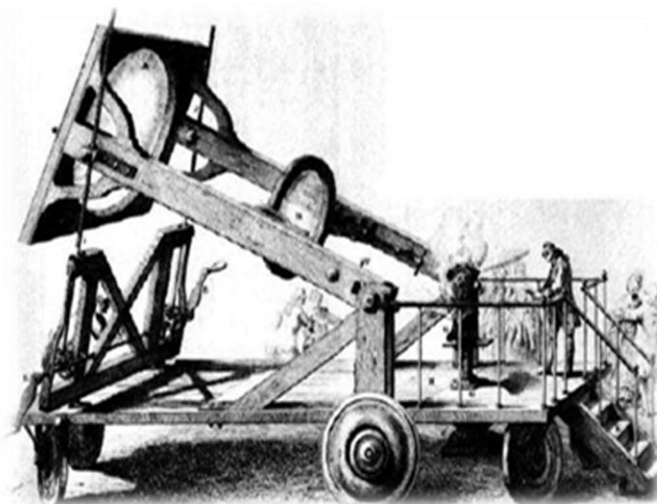
بسیاری بر روی مسائل زیست محیطی خواهد گذاشت که نمی توان آنها را با معیارهای مرسوم اقتصاد بیان نمود. کارشناسان انتظار دارند که رشد استفاده از انرژی خورشیدی سبب شود تا در سال ۲۰۵۰ دی اکسید کربن صانع شده تا ۷۵ درصد مقدار آن در سال ۱۹۸۵ کاهش یابد.

در واقع همین دو نگاه امید بخش به انرژی خورشیدی یعنی اقتصاد و مسایل زیست محیطی سبب شده تا در دو دهه گذشته، تکنولوژی مربوط به انرژی خورشیدی در حوزه های مختلف رشد و توسعه قابل توجهی پیدا کند.

مزایای ناشی از نصب و استفاده از سیستم های انرژی خورشیدی عبارتند از:

- صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه ها
- تنوع منابع سوخت
- پدید آمدن فرصت های شغلی
- کاهش آلودگی هوا و محیط زیست
- جلوگیری از گرم شدن زمین
- کاهش ریسک و خطر مربوط به تکثیر سلاح های هسته ای

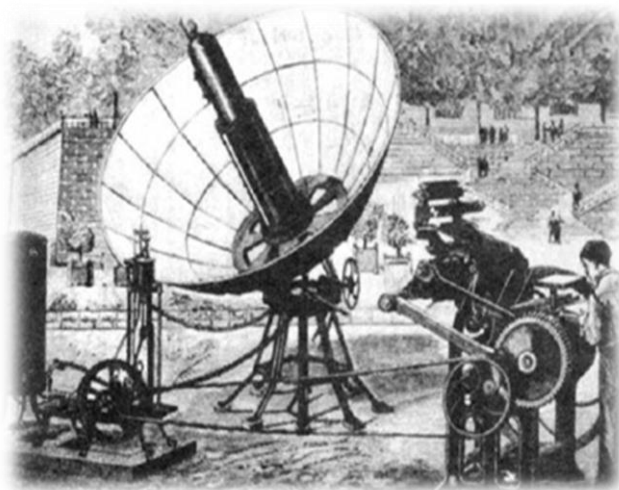
بعد از گذشت سالها، دانشمندان دوباره انرژی خورشیدی را به عنوان منبع انرژی مورد توجه قرار دادند و سعی کردند که آن را به شکل قابل استفاده و کاربردی تبدیل کنند. شاید عجیب به نظر برسد اما حاصل تحقیقات انجام گرفته در طی قرن ۱۸ منجر به ساخت کلکتورهای متمرکز کننده خورشیدی شد. در این دوران با استفاده از آینه و لنزهای شیشه ای، کوره های ذوب آهن، مس و دیگر فلزات ساخته شد. این کوره ها بیشتر در اروپا و خاورمیانه مورد استفاده قرار می گرفت. یکی از بزرگترین کوره های خورشیدی در سال ۱۷۷۴ توسط شیمیدان معروف فرانسوی، لاوازیه<sup>۱</sup> ساخته شد [۴].



شکل ۱-۱- نمایی از کوره خورشیدی ساخته شده توسط لاوازیه در سال ۱۷۷۴ [۴]

<sup>1</sup> Lavoisier

در طی قرن ۱۹، این تلاش‌ها برای تبدیل انرژی خورشیدی به حالت‌های دیگر ادامه یافت. این تلاش‌ها در جهتی بود که بتوانند در نهایت بخار کم فشار تولید کرده و از آن برای راه انداختن موتورهای بخار استفاده شود. آگوست مونچات<sup>۱</sup> فرانسوی از پیشروان تحقیق در زمینه ساخت موتورهای خورشیدی بود. یکی از اختراعات وی در سال ۱۸۷۸ در نمایشگاه بین‌المللی پاریس به نمایش درآمد. در سیستم مذکور انرژی خورشیدی جذب شده موجب تولید بخار لازم برای به کار انداختن ماشین چاپ می‌شد.



شکل ۱-۲- نمایشی از کلکتور خورشیدی پارابولیک [۴]

کشور ایران بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمال قرار گرفته و در منطقه ای واقع شده است که به لحاظ دریافت انرژی خورشید بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. سیستم‌های گرمایش خورشیدی در کشورهای که پتانسیل بالایی از دریافت تابش خورشید دارند، بسیار مورد استفاده است [۵]. طبق آمار در ایران به طور متوسط سالانه بیش از ۲۰۰ روز آفتابی گزارش شده که قابل توجه است، بنابراین استفاده از سیستم‌ها و تجهیزات خورشیدی در ایران بسیار به صرفه می‌باشد. آبگرمکن‌های خورشیدی که طی سالهای اخیر وارد کشور شده اند ابزارهای مناسبی برای صرفه جویی در مصرف سوخت هستند. این آبگرمکن‌ها شامل کلکتورهای خورشیدی، منبع ذخیره آب و سایر لوازم هستند. کلکتور، اصلی‌ترین جزء یک سیستم گرمایش خورشیدی است. کلکتورهای خورشیدی به منظور جذب تابش خورشید و تبدیل آن به انرژی گرمایی طراحی می‌شوند. امروزه انواع، اشکال و ابعاد مختلفی از کلکتورهای خورشیدی در بازار وجود دارد که بسته به شرایط محیطی، کلکتور مناسب تعیین می‌گردد.

<sup>1</sup> August Monchot

در این تحقیق هدف بررسی نحوه افزایش بازده کلکتور خورشیدی صفحه تخت به منظور بهبود عملکرد کلکتور است. بدین منظور، برای بررسی جامع یک کلکتور صفحه تخت و تأثیر پارامترهای محیطی و فیزیکی در این نوع کلکتورها روی عملکرد آنها، این تحقیق شامل دو رویکرد مختلف می‌باشد:

- بررسی آزمایشگاهی یک کلکتور صفحه تخت و رسم نمودار بازده آن به منظور اطمینان از صحت نتایج تئوری.

- استخراج مدل ریاضی و بررسی تئوری تأثیر پارامترهای مختلف در عملکرد سیستم توسط نرم افزار *EES* جهت شناسایی پارامترهای اصلی و میزان تاثیرگذاری آنها در طراحی و اولویت بندی آنها و مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تئوری.

در ادامه ابتدا مروری بر مطالعات انجام شده در مورد کلکتورهای خورشیدی ونحوه ی افزایش راندمان آنها و مدل های شبیه سازی شده آن توسط نرم افزار های دیگر شده و سپس کلکتور خورشیدی صفحه تخت با استفاده از *EES* مورد بررسی قرار می گیرد. سپس به نحوه انجام آزمایش ها و تجهیزات اشاره و در نهایت نتایج حاصل از تحقیق ارائه می گردد.



## فصل دوم

### کلکتورهای خورشیدی

#### ۱-۲ طرحهای سیستم های خورشیدی<sup>۱</sup>

طرح یک سیستم آبگرمکن خورشیدی در واقع تعیین کننده رابطه اجزای کلیدی در آن است، که شامل محل قرارگیری مخزن ذخیره نسبت به کلکتورهای خورشیدی، چگونگی چرخش گرما در سیستم، وجود و یا عدم وجود مبدل حرارتی و راههای کنترل دما و فشار می باشد. طرح های بسیار متنوعی از سیستم های خورشیدی وجود دارد، که می توان برخی از آن ها را در دسته های یکسان قرار داد. مشخصه های اصلی که دسته مورد نظر را بواسطه آن می توان تمیز داد، عبارتند از:

- سیستم های فعال و یا غیر فعال
- سیستم های مستقیم و یا غیر مستقیم
- سیستم های کاملاً پر و سیستم برگشت ثقلی

#### ۱-۱-۲ سیستم های فعال و غیر فعال

سیستم های غیر فعال :

- شامل اجزای متحرک بسیار کمی هستند.
- از پمپ و یا تجهیزات کنترلی الکترونیکی استفاده نمی شود.

---

<sup>1</sup> System Layouts

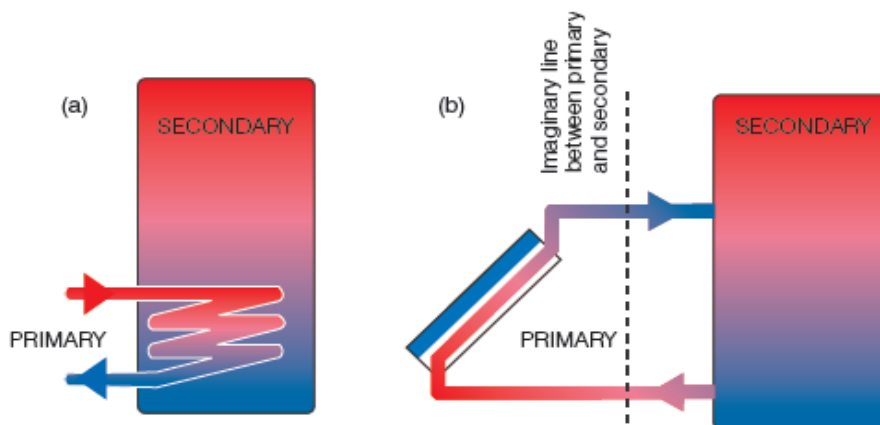
- ذخیره سازی و سیرکولاسیون گرما با خاصیت ترموسیفون و یا فشار آب سرد ورودی تأمین می شود.
- پیچیدگی کمتر و هزینه ساخت پایین تر، در مقابل محدودیت محل اجرا و کاهش راندمان.

سیستم های فعال :

- از جریان الکتریسته (برق شبکه و یا الکتریسته تولیدی پنل های فوتولتاییک) جهت تأمین توان پمپ و کنترلرها استفاده می شود.
- گزینه های بیشتر مناطق قابل اجرا و پتانسیل مدیریت بهتر بر گرمای خورشیدی جذب شده.
- این سیستم ها با نام سیستم های چرخش اجباری نیز شناخته می شوند.

## ۲-۱-۲ سیستم های مستقیم و غیر مستقیم

در سیستم های مستقیم از آب مصرفی به عنوان سیال مدار خورشیدی بهره گرفته می شود، ولی در سیستم غیر مستقیم از مبدل حرارتی و یک سیال عامل مجزا استفاده می شود. شکل ۱-۲ تفاوت دو سیستم را نشان می دهد. برخی اوقات مدار اولیه و ثانویه از یک سیال واحد بهره می برند. به عبارت ساده تر، سیال از طریق لوله ها از کلکتورهای خورشیدی تا مخزن و شیرآلات مصرف جریان دارد. این سیستم را "سیستم مستقیم"<sup>۱</sup> می نامند. با این وجود اکثراً در مدارهای اولیه و ثانویه از دو سیال متفاوت (آب و یا مخلوط آب با ماده ای دیگر) بهره گرفته میشود و بواسطه یک مبدل حرارتی، حرارت از یک سیال به سیال دیگر انتقال پیدا می کند. به طور کلی این مبدل حرارتی، از یک سری لوله ها و صفحات فلزی ساخته شده است. به این گونه از سیستم ها، "سیستم های غیر مستقیم"<sup>۲</sup> گفته می شود. در سیستم های غیر مستقیم ممکن است از چند مبدل حرارتی استفاده شود. در سیستم های غیر مستقیم، سیال مدار اولیه مرتباً در حال چرخش در یک سیکل بسته است، در حالی که حرارت تنها در یک جهت انتقال پیدا می کند. مبدل حرارتی مورد استفاده می تواند درون مخزن ذخیره، درون کلکتور و یا به صورت مجزا قرار گیرد.

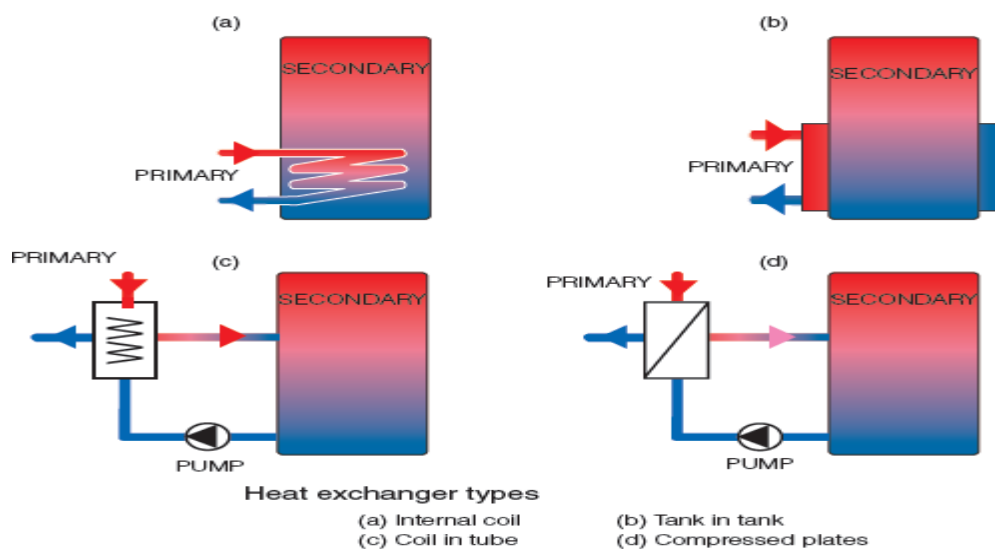


شکل ۱-۲-۲ (a) سیستم غیر مستقیم (b) سیستم مستقیم [۷]

<sup>1</sup> Direct systems

<sup>2</sup> Indirect systems

منبع تغذیه آب مصرفی می تواند شبکه آب شهری، تانکر بزرگ حاوی آب و یا آب پمپ شده از داخل یک چاه باشد. همانطور که پیش تر بیان شد در سیستم های غیر مستقیم، وجود حداقل یک مبدل حرارتی اجتناب ناپذیر است. انواع مرسوم مبدل مورد استفاده را می توان در شکل ۲-۲ مشاهده کرد. مبدل های حرارتی جدا<sup>۱</sup> که بیشتر مبدل های خارجی نامیده می شوند، معمولاً یا به شکل جعبه ای و یا به صورت تیوبی به همراه عایق بندی و چهار پورت ورودی و خروجی وجود دارند. برخی اوقات از دو مبدل حرارتی خارجی در دو طرف مخزن ذخیره بهره گرفته می شود. در این حالت یک مدار میانی بوجود می آید و در این حالت مخزن حاوی آب گرم مصرفی نهایی نمی باشد (سیستم غیر مستقیم).



شکل ۲-۲-۲ (a) مبدل داخلی (b) دو مخزن درون هم (c) مبدل خارجی کوئل در تیوب (d) مبدل حرارتی صفحه ای [۷]

### ۳-۱-۲ سیستم های کاملاً پر و برگشت ثقلی

در سیستم های کاملاً پر:

- کلکتور همیشه محتوی سیال عامل می باشد، حتی وقتی هیچ تابش خورشیدی مفیدی وجود نداشته باشد.
- هوای تمام کلکتورها و لوله های واسط، تخلیه شده اند.

در سیستم های برگشت ثقلی:

- سیال عامل با خاموش شدن پمپ ها، از درون کلکتور تخلیه می شود.
- حتماً باید کلکتورها بالاتر از لوله ها و مخزن ذخیره قرار می گیرد.
- مقداری هوا همواره در سیستم باقی می ماند.

<sup>1</sup> Stand-alone heat exchanger

تابش خورشیدی بر حسب شرایط آب و هوایی و تغییرات فصلی و ساعات مختلف روز، تغییر می کند. این تغییرات همیشه با شرایط تقاضای آب گرم منطبق نمی باشد و به همین دلیل است که وجود منبع حرارتی پشتیبان الزامی است. جهت منبع حرارتی پشتیبان می توان از یک بویلر گازی، نفتی و یا الکتریکی استفاده نمود. این بویلرها می توانند به صورت جدا از تانک ذخیره باشند. یکی از گزینه های مطلوب، استفاده از منابع حرارتی پرتوان بدون مخزن که می توانند فوراً آب ورودی خود را تا دمای بالا گرم کنند، پکیج های چگالشی می باشد. اتفاقی که در بیشتر مواقع می افتد به این صورت است که در ابتدا آب داخل مخزن ذخیره توسط انرژی خورشیدی پیش گرم شده<sup>۱</sup> و در صورتی که دمای مطلوب حاصل نشد، سیستم گرمایش پشتیبان، مابقی انرژی مورد نیاز را تأمین میکند (پس گرمایش<sup>۲</sup>). به این ترتیب در مصرف سوخت، صرفه جویی قابل توجهی رخ می دهد.

نوع و محل قرارگیری سیستم گرمایش پشتیبان، می تواند سیستم های متنوعی ایجاد کند. منبع گرمایشی مذکور باید ظرفیت لازم جهت تأمین آب گرم مصرفی را در صورت عدم دسترسی به انرژی خورشیدی داشته باشد، چراکه تکیه کامل بر گرمایش خورشیدی غیر از برخی روزهای تابستانی، به ندرت رخ می دهد. منبع پشتیبان بواسطه یک ترموستات کنترل شده و بنابراین حداکثر دمای مطلوب آب گرم مصرفی، قابل تنظیم است. به این ترتیب در صورت وجود انرژی خورشیدی کافی و دمای مطلوب آب گرم، سیستم پشتیبانی خاموش می شود. در ضمن، سیستم های حرارتی پشتیبان تنها به منظور تأمین کمبود انرژی لازم استفاده نشده و وجود آن سبب اطمینان حاصل کردن از استرلیزه شدن آب نیز می شود. به هدر رفتن انرژی در منبع انرژی پشتیبان بسیار حائز اهمیت است و لذا روش و چگونگی اتصال این سیستم با مخزن ذخیره باید به دقت انجام گیرد. اگر این اتصال به دقت انجام نشود، موجب خواهد شد که با ورود تصادفی انرژی به داخل مخزن ذخیره، کلکتورهای خورشیدی داغ تر شده و نتیجتاً گرمای مفید را از دست رفته و راندمان کلی سیستم خورشیدی تحت تأثیر قرار گیرد.

طرح سیستم مورد استفاده، بستگی به منطقه و شرایط آب و هوایی و گاهاً وضعیت ساختمان دارد. طرح سیستم های گرمایش خورشیدی مورد آزمایش از نوع برگشت ثقلی می باشد. در این سیستم ها از یک مبدل حرارتی داخلی در مخزن بهره گرفته شده است و بواسطه آن سیال واسط از آب مصرفی جدا می شود (سیستم غیر مستقیم). علاوه بر آن یک مبدل حرارتی ثانویه ای داخلی دیگر نیز جهت تأمین آب گرمایش مرکزی در نظر گرفته شده است. در ادامه برای آشنایی بیشتر با این گونه سیستم ها، مطالبی ارائه می شود.

## ۲-۲ سیستم های برگشت ثقلی غیر مستقیم

اصلی ترین مزیت سیستم برگشت ثقلی در جلوگیری آسان از یخ زدگی و یا بیش اندازه گرم شدن است. وقتی پمپ خاموش می شود، شیب منفی دو درصدی نصب کلکتورها و لوله های ارتباطی به سمت مخزن موجب می شود تا مایع درون کلکتورهای خورشیدی تخلیه گردد. لذا این گونه از سیستم ها به خصوص در مناطقی که احتمال خطر یخ زدگی وجود دارد، بسیار مورد استفاده قرار می گیرند. سیستم های برگشت ثقلی ساده، از نوع فعال بوده و دارای

<sup>1</sup> Pre-heating

<sup>2</sup> After- heating