



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

# طراحی و مدل سازی کلکتور سهموی خطی با استفاده از نرم افزار CATIA

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

امیر بهرامی

استاد راهنما:

دکتر مجتبی میرزایی

شهریور ماه ۱۳۹۸



# تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

## باسمه تعالی

اینجانب امیر بهرامی به شماره دانشجویی ۱۱۱۸ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: امیر بهرامی

امضا و تاریخ:

## مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: مجتبی میرزایی

تاریخ:

امضا:

## تقدیم

این پایان نامه را در ابتدا تقدیم می کنم به همسر عزیزم که در مسیر پر پیچ و خم زندگی همواره مرا یاری نموده و در همه حال یارو پشتیبان من بوده است و سپس به پدر و مادر مهربانم که زندگی را با نام ایشان آغاز نمودم.

## تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار، به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر مجتبی میرزایی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

## چکیده

در طول سالیان متمادی بشر بر روی کره زمین جهت تامین انرژی مورد نیاز خود از سوخت های فسیلی مانند نفت، گاز، ذغال سنگ و غیره استفاده کرده است و این روند همچنان تا سالهای اخیر ادامه داشت تا آنجایی که به جهت افزایش جمعیت جهان، بشر متوجه شد باید به دنبال منابع دیگری باشد زیرا که سوخت های فسیلی علاوه بر آلاینده‌گی زیاد محیط زیست، رو به اتمام نیز می باشند.

بنابراین دانشمندان تمام سعی و تلاش خود را به کار گرفتند تا انرژی مورد نیاز کره زمین را از روش های دیگری بدست آورند و به مرور زمان نیاز خود را از سوخت های فسیلی کاهش دهند، بنابراین سعی نمودند از طریق دیگری انرژی را از طبیعت کسب نمایند که هم سالم تر بوده و طرفی دیگر دارای منابع بی انتهای باشند. انرژی باد، آب، خاک و خورشید از جمله مواردی است که می توان به آنها اشاره نمود.

یکی از سالم ترین و پر کاربرد ترین انرژی های موجود در دنیا که دانشمندان توانسته اند آن را مهار نموده و از آن استفاده بهینه نمایند انرژی خورشیدی است. که اتفاقاً از این انرژی در کشورمان ایران به جهت شرایط اقلیمی آن می توان به جهت کاهش مصرف سوخت های فسیلی، استفاده بهینه نمود و از جمله مهمترین موارد استفاده می توان به پانل های خورشیدی و آبگرمکن های خورشیدی اشاره نمود.

در این پایان نامه سعی شده است در ابتدا انرژی خورشیدی مورد بررسی قرار گیرد و سپس فرمول ها و روابط حاکم بر آن معرفی گردند و در انتها با استفاده از این روابط و فرمولها با استفاده از نرم افزار CATIA یک کلکتور سهموی خطی طراحی شده است.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، آب گرمکن خورشیدی، کلکتور خورشیدی، کلکتور سهموی خطی.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۶	فصل ۱ مقدمه
۷	۱-۱ انواع مختلف سیستمهای خورشیدی
۷	۲-۱ ثابت خورشیدی
۸	۱-۲-۱ انرژی خورشید و جو زمین
۹	۳-۱ تقسیم بندی انرژی خورشیدی
۹	۴-۱ موقعیت زمین و خورشید
۱۲	۵-۱ تابش خورشیدی
۱۳	۶-۱ دریافت پرتو خورشید در سطح زمین
۱۴	۷-۱ طیف تابش خورشیدی
۱۵	۸-۱ اندازه گیری تابش خورشیدی
۱۷	۹-۱ عوامل موثر بر تابش خورشیدی
۱۷	۱-۹-۱ عوامل جغرافیایی
۱۷	۲-۹-۱ عوامل آب و هوایی
۱۸	۳-۹-۱ عوامل طراحی و مهندسی
۲۱	فصل ۲ پیشینه پژوهش
۲۱	۱-۲ تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی
۲۶	۲-۲ تاریخچه توسعه و ساخت کلکتورهای سهموی خطی
۲۷	۳-۲ تعاریف و محاسبات اولیه مهم
۲۸	۱-۳-۲ عرض جغرافیایی (Latitude):
۳۰	۲-۳-۲ زاویه ساعت: (Hour angle)
۳۰	۳-۳-۲ زاویه انحراف
۳۲	۴-۳-۲ زاویه سمت (zenith)
۳۵	۵-۳-۲ نیم زاویه پذیرش ( $\theta$ ):
۳۶	فصل ۳ معرفی و محاسبات مربوط به کلکتور خورشیدی



۳۶.....	۱-۳ عملکرد یک کلکتور به صورت کلی
۳۸.....	۲-۳ انواع کلکتور
۳۸.....	۱-۲-۳ کلکتور های صفحه تخت
۴۰.....	۲-۲-۳ کلکتور های لوله خلا
۴۱.....	۳-۲-۳ کلکتورهای CPC
۴۲.....	۴-۲-۳ کلکتورهای سهموی خطی
۴۳.....	۵-۲-۳ پارامترهای تاثیر گذار در کلکتور سهموی خطی
۴۷.....	۳-۳ معادلات انتقال حرارت و ترمودینامیک کلکتورهای سهموی
۵۰.....	۴-۳ محاسبه شدت تابش خورشیدی
۵۳.....	<b>فصل ۴ طراحی کلکتور با استفاده از نرم افزار</b>
۵۳.....	۱-۴ طرح یک کلکتور با استفاده از اعداد و نقشه های طراحی شده
۶۳.....	<b>فصل ۵ نتیجه گیری</b>
۶۴.....	۱-۵ پیشنهادات برای ادامه کار
۶۶.....	<b>مراجع</b>
۶۹.....	<b>پیوست ها</b>

شکل ۱-۱	توزیع طیفی تابش خورشیدی دریافت شده در سطح خارجی اتمسفر زمین.....	۸
شکل ۲-۱	تغییرات سالانه تابش خورشیدی در سطح خارجی اتمسفر زمین نسبت به ثابت خورشیدی که در اثر تغییر فاصله زمین تا خورشید ایجاد می شود.....	۱۰
شکل ۳-۱	تغییرات سالانه زاویه میل خورشید بر حسب درجه .....	۱۱
شکل ۴-۱	تغییرات تابش خورشیدی بر سطح افقی بر روی سطح زمین در طول سال برای عرض های جغرافیایی مختلف .....	۱۲
شکل ۵-۱	نسبت تابش خورشیدی جذب شده و بازتاب شده به تابش خورشیدی وارد شده به جو زمین .....	۱۳
شکل ۶-۱	توزیع طیفی تابش خورشید در مقایسه با توزیع طیفی تابش اجسام سیاه با دماهای گوناگون .....	۱۵
شکل ۷-۱	زاویه میل یا ارتفاع خورشید به هنگام نیمروز خورشیدی در طول سال .....	۱۹
شکل ۱-۲	نمودار چگونگی تقسیم بندی استفاده از انرژی خورشید .....	۲۵
شکل ۲-۲	حرکت سالانه زمین به حول خورشید .....	۲۹
شکل ۳-۲	زاویه ساعت و عرض جغرافیایی .....	۳۰
شکل ۴-۲	مسیر حرکتی خورشید در طول روز .....	۳۴
شکل ۵-۲	معرفی زوایای خورشیدی .....	۳۴
شکل ۶-۲	مشخصات هندسی کلکتور سهموی خطی .....	۳۵
شکل ۱-۳	شماتیک کلکتور غیر فعال .....	۳۷
شکل ۲-۳	شماتیک کلکتور فعال .....	۳۸
شکل ۳-۳	انواع کلکتورهای صفحه تخت .....	۳۸
شکل ۴-۳	کلکتورهای لوله خلا و اجزای آن .....	۴۰
شکل ۵-۳	کلکتورهای CPC و اجزای آن .....	۴۲
شکل ۶-۳	شماتیک کلی یک سهموی خطی .....	۴۳

- شکل ۴-۱ نمای پایه کلکتور سهموی ..... ۵۵
- شکل ۴-۲ بررسی خیز لوله مسی در اثر عبور جریان آب ..... ۵۵
- شکل ۴-۳ صفحات پلکسی گلاس استفاده شده ..... ۵۸
- شکل ۴-۴ فلنج های تعبیه شده بر روی لوله استیل ..... ۵۹
- شکل ۴-۵ بلبرینگ و محل قرار گیری آن ..... ۶۰
- شکل ۴-۶ دسته ارتباطی بین لوله استیل و قسمت بالایی کلکتور ..... ۶۱
- شکل ۴-۷ قطعه استاندارد جهت اتصال به لوله های خروجی ..... ۶۲

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

---

۵۳.....	جدول ۱-۴ مشخصات فیزیکی کلکتور.....
۵۷.....	جدول ۲-۴ استاندارد لوله های مسی.....

## علائم و اختصارات

$\delta$	زاویه انحراف
AST	ساعت واقعی خورشیدی
LST	ساعت محلی
SL	عرض جغرافیایی استاندارد کشور
LL	عرض جغرافیایی واقعی محل مورد نظر
DS	تغییر ساعت رسمی در بهار و تابستان
ET	تغییر طول روز
$\alpha$	زاویه ارتفاع خورشید
Z	زاویه سمت (گرای خورشیدی نسبت به شمال)
HSR	ساعت طلوع آفتاب
HSS	ساعت غروب آفتاب
$\theta$	نیم زاویه پذیرش
C	نسبت تمرکز سطحی کلکتور
$A_a$	مساحت دهانه متمرکز کننده

$A_r$	مساحت لوله جاذب
w	عرض دهانه کلکتور
$D_o$	قطر خارجی لوله جاذب
$\pi$	عدد پی
$C_{MAX}$	حداکثر نسبت تمرکز
h	تعداد ساعات جمع آوری مفید انرژی
f	فاصله کانونی
x	نصف عرض کلکتور
y	عمق کلکتور
$\varphi$	زاویه لبه
r	شعاع ماکزیمم بازتاب کننده
$F_R$	ضریب برداشت حرارت
$A_{ap}$	مساحت سطح تصویر ناحیه آفتابگیر
$A_r$	مساحت جانبی لوله جاذب
$D_g$	قطر شیشه

$\dot{m}$	جرم دبی جریان سیال
$C_p$	ظرفیت گرمایی ویژه سیال
$T_o$	دمای خارجی سیال
$F'$	ضریب راندمان کلکتور
$h_{fi}$	ضریب انتقال حرارت همرفتی
$N_U$	عدد ناسلت
RE	عدد رینولدز
PR	عدد پرانتل
$U_L$	ضریب انتقال حرارت کلی
$\rho$	چگالی
$h_r$	ضریب انتقال حرارت تابشی از سطح لوله جاذب
$h_w$	ضریب انتقال حرارت جابجایی
$\varepsilon_r$	ضریب نشر لوله جاذب
L	طول صفحه جاذب
G	شدت تابش روی صفحه مورد نظر

$R_b$	نسبت تابش مستقیم روی سطح شیب دار
$R$	نسبت تابش کل روی سطح شیب دار
$\beta$	شیب صفحه
$\bar{H}$	میانگین ماهانه شدت تابش کلی بر روی صفحه افقی
$\bar{H}_b$	میانگین ماهانه شدت تابش مستقیم بر روی صفحه افقی
$\bar{H}_d$	میانگین ماهانه شدت تابش پراکنده بر روی صفحه افقی
$R_b$	میانگین ماهانه ضریب تشعشع مستقیم
$R_r$	میانگین ماهانه ضریب تشعشع بازتابیده
$R_d$	میانگین ماهانه ضریب تشعشع پراکنده
$\bar{H}_D$	متوسط ماهانه تابش پراکنده
$\rho_G$	ضریب انعکاس زمین
$h_{ss}$	زاویه ساعت غروب خورشید
$N$	شماره روز سال میلادی
$\bar{K}_T$	میانگین ماهانه شاخص پاکی
$G_S$	ثابت خورشیدی



$I_{day}$	تابش کل روزانه برخوردی به صفحه شیب دار
$y_{max}$	مقدار ماکزیمم خیز تیر
$m_w$	جرم آب
$m_{TUBE}$	جرم لوله

# فصل ۱

## مقدمه

رشد روز افزون مصرف انرژی در جوامع مدرن صنعتی محققان را بر آن داشته تا نسبت به استفاده از منابع جدید انرژی اقدام کنند. انرژی خورشیدی با توجه به عدم نیاز به فناوری های پیشرفته و پرهزینه می تواند بعنوان یک منبع مفید و تامین کننده انرژی در اکثر نقاط جهان بکار گرفته شود. امروزه استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای گرم کردن منازل، از لحاظ فن آوری امکان پذیر می باشد. از نظر اقتصادی نیز بعلا افزایش روز افزون قیمت سوخت های فسیلی و سایر منابع انرژی و کاهش هزینه مواد اولیه و لوازم مورد نیاز برای جمع آوری حرارت خورشیدی، این امر مقرون به صرفه می باشد. این موارد محققین و دانشمندان را در جهت مطالعه و بهینه سازی سیستم های خورشیدی تشویق نموده و به پیشرفتهای مهمی نیز دست یافته اند.

از انواع وسائل جمع آوری انرژی خورشیدی می توان به کلکتورها اشاره نمود. کلکتورها با طرح های مختلف و برای گرم کردن سیالاتی مانند آب، هوا، محلول آب و نمک، محلول آب و گلیکول و سایر مایعات و گازها بکار برده می شوند و مهمترین عامل در طرح و ساخت آنها، جمع آوری هر چه بیشتر انرژی خورشیدی، با کمترین هزینه ممکن می باشد.

به طور کلی فعالیت های زیادی در زمینه بهینه سازی میزان کسب انرژی خورشیدی توسط کلکتورها صورت گرفته است. از آن جمله می توان به تغییر پارامترهایی همچون کنترل میزان دبی سیال ورودی و در نتیجه تغییر توزیع دما نام برد.

بسیاری از محققان به بررسی انرژی خورشیدی پرداخته اند و آن را جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی می دانند. بدین ترتیب، استفاده از سیستم های خورشیدی به عنوان یکی از اجزا

تشکیل دهنده ساختمان ها متداول شد. ورود به دوره استفاده همگانی از انرژی خورشیدی مستلزم تحولات بیشتری در زمینه ساخت کلکتورهای خورشیدی می باشد.

## ۱-۱ انواع مختلف سیستمهای خورشیدی

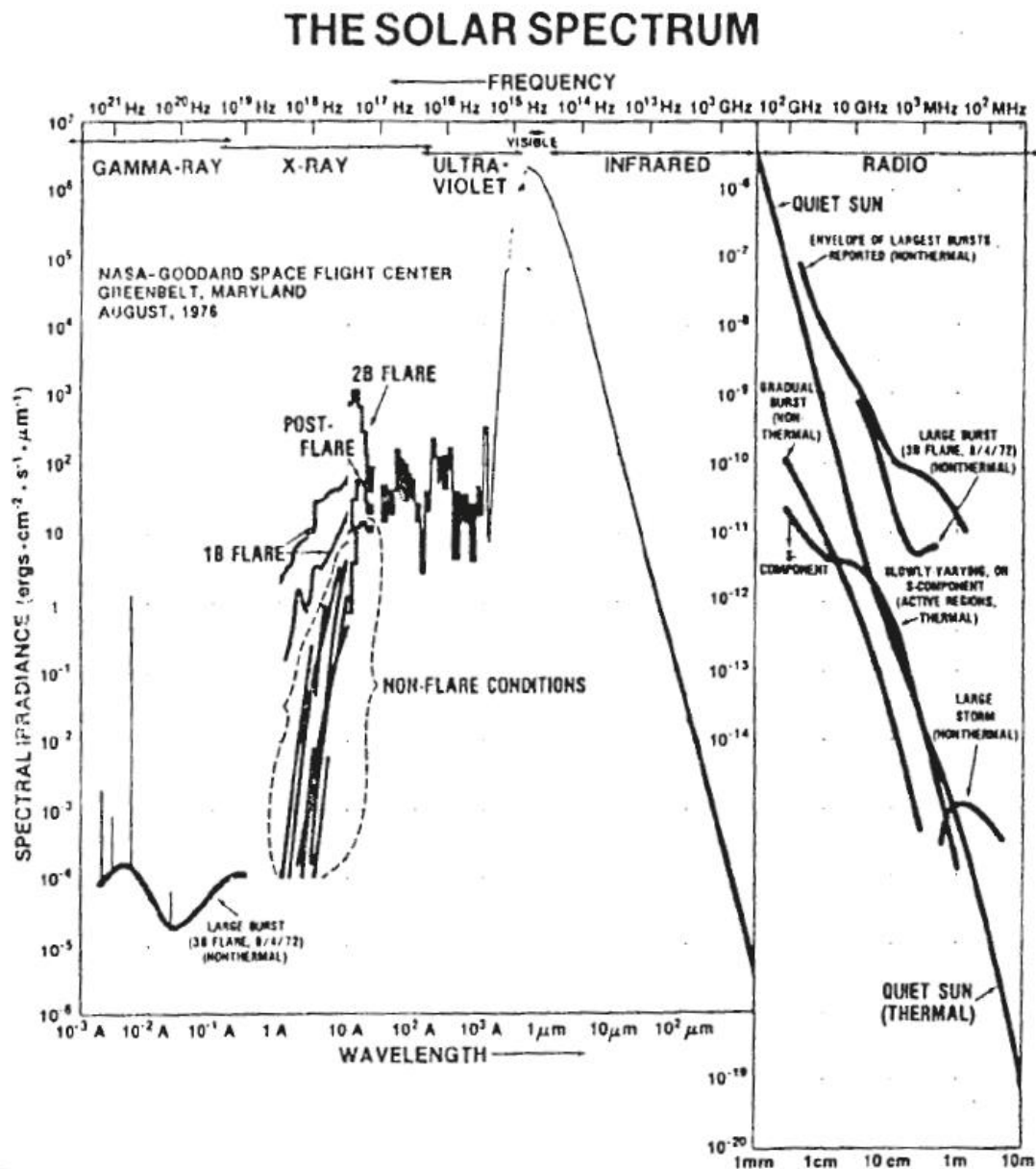
خورشید ستاره ای است که تقریباً به طور متوسط در هر ثانیه در اثر واکنشهای هسته ای انرژی برابر  $10^{26} \times 3,8$  ژول به صورت امواج الکترومغناطیس به فضای اطراف منتشر می کند. زمین در فاصله  $10^8 \times 1,496$  کیلومتر (فاصله متوسط) از خورشید قرار دارد و تنها بخش کوچکی که معادل یک به دو میلیارد (۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ / ۱) از این انرژی را دریافت می کند. اما همین سهم اندک که برابر  $10^{14} \times 1,7$  کیلووات است، منبع اصلی سایر انواع انرژی بر روی زمین می باشد. انرژی منتشر شده از خورشید در بسته های کوچک و توسط کوانتوم تابش الکترومغناطیس یا فوتون، به صورت امواج الکترومغناطیس با طول موجهای مختلف به فضای بیکران اطراف پخش می شوند و بخشی از این فوتونها که به زمین می رسند که در اثر برخورد، به انواع دیگر انرژی مانند انرژی گرمایی تبدیل می شوند (۱).

## ۱-۲ ثابت خورشیدی

از آنجا که واکنشهای گداخت هسته ای در خورشید به صورت مداوم صورت می گیرد و انرژی منتشر شده از خورشید در دوره های زمانی کوتاه تقریباً ثابت است، از این رو مقدار انرژی تابشی در سطح مشخص در فاصله ثابت از خورشید، تقریباً ثابت است. طبق آخرین اندازه گیریها، مقدار تابش خورشید برای سطحی به مساحت یک متر مربع و در فاصله ای به اندازه میانگین فاصله زمین تا خورشید برابر  $1365$  ژول در هر ثانیه می باشد. این مقدار را اصطلاحاً ثابت خورشیدی می نامند که در حقیقت مبنای تمامی محاسبات مربوط به تابش خورشیدی است و آن را به صورت توان بر واحد سطح یعنی  $1,365$  کیلووات بر متر مربع بیان می کنند (۱).

شایان ذکر است که چون مقدار ثابت خورشیدی با استفاده از روشهای مختلف اندازه گیری و در دوره های زمانی مختلف محاسبه می شود، عدد مربوط به ثابت خورشیدی در مراجع مختلف، اختلاف اندکی با یکدیگر دارند. به عنوان نمونه عددی را که فرولیخ (Frolich) با استفاده از اندازه گیریهای شش هواپیما، سه بالن و چهار ماهواره به دست آورده است، برابر  $1,373$  کیلو وات بر متر مربع می باشد.

ثابت خورشیدی بیانگر مجموع انرژی تمامی فوتونهای دریافت شده از خورشید با طول موجهای مختلف از اشعه گاما با طول موج  $10^{-11}$  متری تا امواج رادیویی با طول موج  $10^8$  سانتیمتر می باشد. در شکل ۱-۱ توزیع طیفی مربوط به تابش خورشیدی آمده است. همان گونه که مشاهده می شود امواج مرئی که ما قادر به دیدن آن هستیم تنها بخشی از طیف خورشیدی است (۱).



شکل ۱-۱ توزیع طیفی تابش خورشیدی دریافت شده در سطح خارجی اتمسفر زمین (۱)

## ۱-۲-۱ انرژی خورشید و جو زمین

انرژی خورشید به صورت تابش الکترومغناطیس پس از عبور از جو به سطح زمین می رسد. این تابش را که ما اصطلاحاً آفتاب می نامیم، تقریباً تأمین کننده همه انرژی مورد نیاز در چرخه های

طبیعی و زیستی زمین است. زندگی بر روی زمین که از ارتفاعات کوهها گرفته تا اعماق اقیانوسها در تمامی سطح زمین گسترده است، نیازمند دریافت انرژی از خورشید می باشد. البته امروزه با توجه به پیشرفت علم، استفاده از انرژی هسته ای نیز کاربرد پیدا کرده است که منشاء خورشیدی ندارد (۲).

### ۳-۱ تقسیم بندی انرژی خورشیدی

بر طبق یک دسته بندی عمومی، تمامی صورتهای انرژی را می توان به دو بخش کلی انرژی خورشیدی (شامل انرژی خورشیدی مستقیم، غیر مستقیم و دیرینه) و انرژیهای دیگر (انرژی زمین گرمایی، جذر و مد و هسته ای) تقسیم نمود. انرژی خورشیدی دیرینه در واقع همان سوختههای فسیلی هستند که در طی سالیان متمادی و صدها سال قبل ایجاد شده اند. صورتهای آشنای انرژی خورشیدی غیر مستقیم عبارتند از انرژی باد، امواج آبهای جاری و همچنین انرژی شیمیایی ذخیره شده در چوبها. انرژی خورشیدی مستقیم نیز به سه روش قابا تبدیل و استفاده است.

۱. تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی گرمایی.

۲. تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی.

۳. تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی.

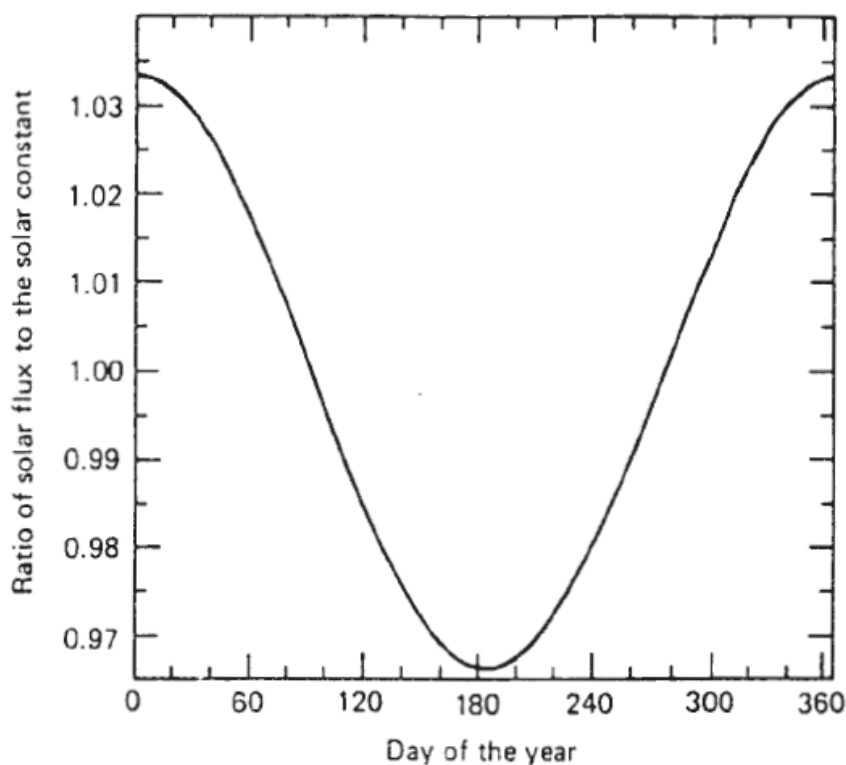
برای تأمین انرژی مورد نیاز جوامع انسانی، بهترین انتخاب بهره گیری از انرژی خورشیدی مستقیم می باشد، زیرا در این صورت انرژی تابشی خورشید مستقیم و بدون مراحل اضافی به یکی از ۳ صورت فوق تبدیل می شود و از اتلاف انرژی که در تبدیل های متعدد صورت می گیرد، جلوگیری می شود. البته باید توجه داشت که بهره گیری از انرژی خورشیدی مستقیم، نیازمند توجه به برخی موارد مهم می باشد که یکی از آنها محدودیت توان دریافتی از انرژی تابشی خورشید است. یعنی سیستم ها و روشهای جمع آوری انرژی خورشیدی در بهترین شرایط، به ازای هر واحد سطح حداکثر می توانند توانی برابر ثابت خورشیدی تولید نمایند. از طرف دیگر موقعی که خورشید غروب می کند، و دسترس به منبع انرژی غیر ممکن است و همین امر، باید جدا مورد توجه قرار بگیرد (۲).

### ۴-۱ موقعیت زمین و خورشید

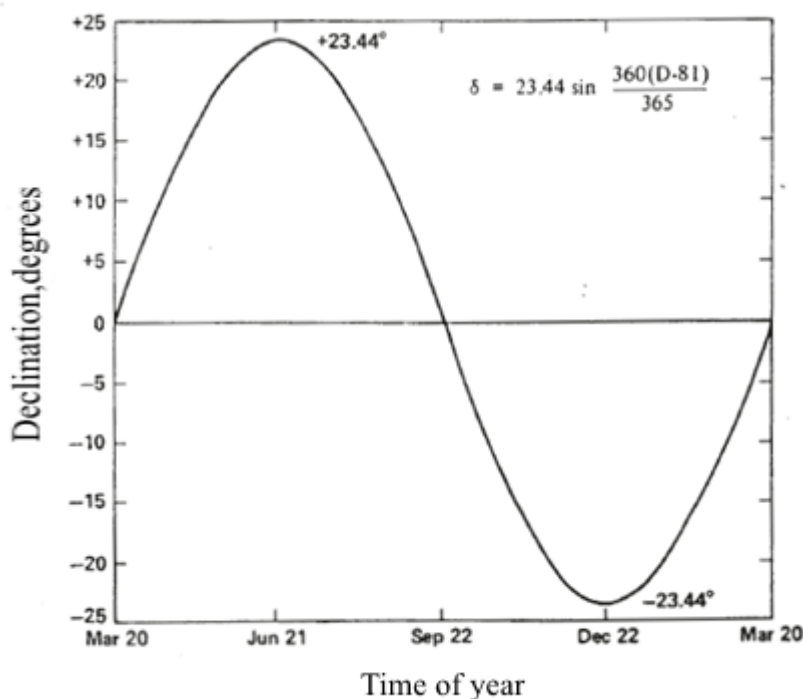
مقدار انرژی خورشیدی جذب شده بر روی زمین به عوامل متعددی بستگی دارد که برخی از آنها مربوط به موقعیت زمین و خورشید است. مدار گردش زمین به دور خورشید به صورت بیضی است و فاصله زمین تا خورشید در طول سال تغییر می کند. محدوده این تغییرات تقریباً ۳٪ از مقدار

میانگین آن یعنی  $1,496 \times 10^8$  کیلومتر است و موجب افزایش یا کاهش در مقدار ثابت خورشیدی در طول سال می گردد. تغییرات حاصل از گردش زمین در مقدار ثابت خورشید در نیمکره شمالی زمین در اوایل زمستان به حداکثر و در اوایل تابستان به حداقل خود می رسد.

شکل ۲-۱ نشانگر این تغییرات برحسب روزهای سال میلادی است همانگونه که مشاهده می شود، تغییرات ثابت خورشیدی ناشی از تغییر فاصله زمین تا خورشید برابر ۳,۵٪ می باشد که در مقایسه با تغییرات ناشی از سایر عوامل مانند زاویه میل، جزیی بوده و عملاً در محاسبات مربوط به طراحی و بکارگیری سیستمهای انرژی خورشیدی نقشی ندارد (۲).

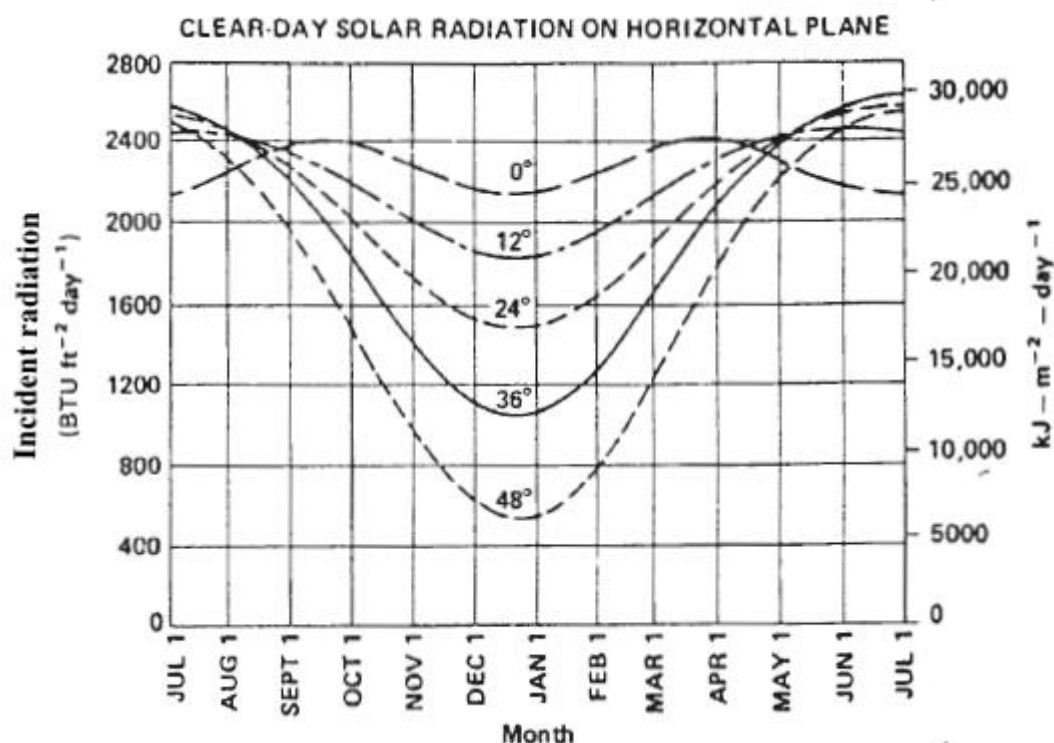


شکل ۲-۱ تغییرات سالانه تابش خورشیدی در سطح خارجی اتمسفر زمین نسبت به ثابت خورشیدی که در اثر تغییر فاصله زمین تا خورشید ایجاد می شود (۲)



شکل ۱-۳ تغییرات سالانه زاویه میل خورشید بر حسب درجه (۲)

محور چرخش زمین به دور خود (حرکت وضعی) دارای  $23,44^\circ$  درجه انحراف از محور گردش زمین به دور خورشید (حرکت انتقالی) می باشد. از آنجا که این محور دارای جهت ثابت در فضا می باشد، خط واصل خورشید - زمین نسبت به سطح افقی بروی زمین در طول سال تغییر می کند. بدین معنی که زاویه میل خورشید یا به عبارتی ارتفاع خورشید در آسمان در طول سال تغییراتی برابر  $\pm 23,44^\circ$  درجه دارد. در شکل ۱-۳ تغییرات زاویه میل با ارتفاع خورشید در طول سال موجب تغییر زاویه تابش پرتو خورشید بر سطح افقی بروی زمین و در نتیجه کاهش انرژی تابشی خورشید می شود و این کاهش بسته به عرض جغرافیایی محل می تواند به صفر نیز برسد. در واقع برای مناطق بالاتر از عرض جغرافیایی  $66,56^\circ$  (مدار قطبی) در بخشی از سال خورشید هیچگاه طلوع نمی کند (۲). وجود انحراف در محور چرخش زمین از یک سو با تغییر زاویه تابش و از سوی دیگر با تغییر طول شبانه روز، موجب تغییرات قابل توجهی در دمای سطح زمین و پیدایش فصل ها می شود. با توجه به افزایش و کاهش زاویه میل خورشید و طول روز، مجموع انرژی تابشی خورشید بر واحد سطح در مدت یک شبانه روز، در طول سال تغییر می کند. همان گونه که در شکل ۱-۴ مشاهده می شود، مقدار این تغییرات به عرض جغرافیایی محل بستگی دارد (۲).



شکل ۴-۱ تغییرات تابش خورشیدی بر سطح افقی بر روی سطح زمین در طول سال برای عرض های جغرافیایی مختلف (۲)

## ۵-۱ تابش خورشیدی

پرتو خورشیدی که به سطح زمین می رسد، تنها بخشی از تابش خورشیدی است که به سطح خارجی اتمسفر زمین می رسد، زیرا گازها و ذرات موجود در جو زمین موجب جذب یا بازتاب بخشی از تابش خورشیدی وارد شده به اتمسفر می گردد. همچنین در روزهای ابری بخش بزرگی از تابش خورشیدی توسط مولکولهای آب موجود در ابرها به فضای بیرون اتمسفر بازتاب می شود. بر طبق اندازه گیریهای مختلف می توان گفت که تقریباً نیمی از انرژی خورشیدی که وارد جو زمین می شود، به سطح زمین می رسد (شکل ۵-۱). از مجموع تابش خورشیدی که وارد جو زمین می شود، حدود ۲۰٪ توسط بخار آب، گازها و ذرات جذب می شود و حدود ۳۰٪ نیز توسط ابرها، گازها و سطح زمین بازتاب می یابد. با توجه به عملکرد پرتوهای نور خورشید در برخورد با جو زمین می توان تابش خورشیدی وارد شده به جو زمین را به چهار بخش تقسیم کرد: مستقیم (direct)، پخشیده (diffuse) بازتابیده (reflected)، جذب شده (absorbed).



## ۱-۶ دریافت پرتو خورشید در سطح زمین

۱. تابش مستقیم (direct) که پرتوهای مستقیم دریافت شده از خورشید است.
۲. تابش بازتابیده (reflected) که پرتوهای منعکس شده از سطح زمین و اشیاء اطراف است.
۳. تابش یخشیده (diffuse)، که پرتوهای یخش شده ناشی از هوای اطراف سطح مورد نظر است.

تابش مستقیم تنها از یک زاویه به سطح دریافت کننده می رسد، در صورتی که تابش پخشیده از تمامی جهات و تابش بازتابیده نیز از یک یا چند زاویه بخصوص بر سطح مورد نظر می تابند. در یک سیستم انرژی خورشیدی، انرژی دریافت شده از هر سه نوع تابش فرق می تواند به انرژی مورد نظر تبدیل شود. از این رو در مطالعه سیستمهای انرژی خورشیدی، مجموع این سه نوع تابش را در نظر گرفته و آنرا اصطلاحاً تابش کل (total) می نامند و با واحد وات بر متر مربع ( $w / m^2$ ) می سنجند. بنابراین :

$$\text{تابش کل} = \text{تابش مستقیم} + \text{تابش بازتابیده} + \text{تابش پخش}$$

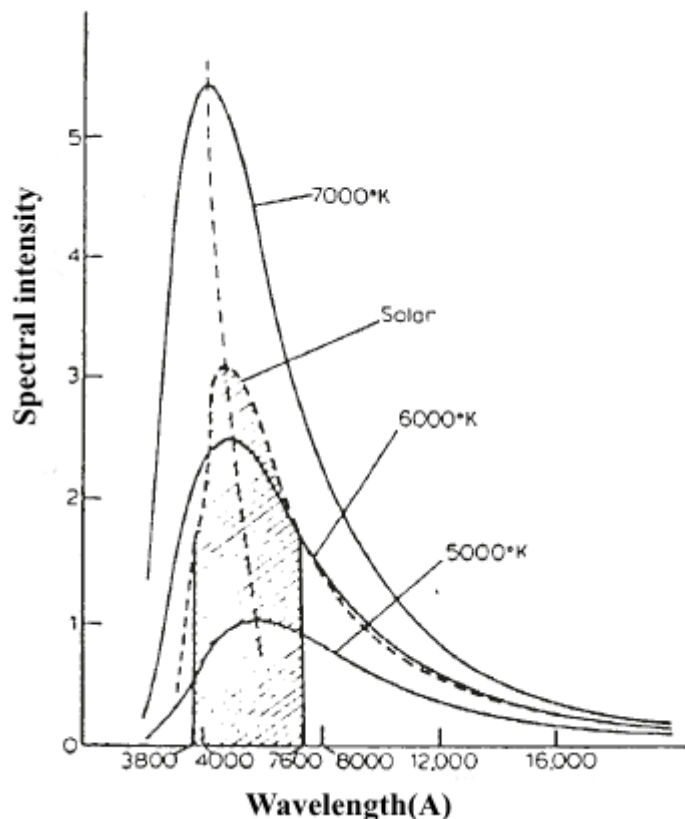
نسبت هر یک از انواع تابش فوق بسته به شرایط محیطی و آب و هوایی محل و نحوه قرار گرفتن سیستمها متفاوت می باشد. به عنوان نمونه نسبت تابش پخشیده به تابش کل در یک روز آفتابی از زمستان و در محلی با ارتفاع کم و آب و هوای مرطوب، می تواند به ۰,۷ نیز برسد. در صورتی که این نسبت در یک روز آفتابی از تابستان و در محلی با ارتفاع زیاد و آب و هوای خشک، حداکثر به ۰,۱۱ می رسد. در هوای کاملاً ابری تمامی تابش دریافتی از نوع پخشیده می باشد. مقدار تابش بازتابیده به جنس و رنگ مواد اطراف بستگی دارد. اشیاء سفید بیش از اشیاء سیاه نور را منعکس می کنند. برف در حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد نور را بازتاب می کند، در صورتی که گیاهان و رستنی ها تنها ۱۵ الی ۲۰ درصد نور را منعکس می کنند (۲).

در مطالعه و طراحی سیستمهای انرژی خورشیدی بایستی توجه داشت که اثر هریک از انواع تابش های فوق در روشهای مختلف تبدیل انرژی خورشیدی مستقیم، متفاوت می باشد. به طوری که در تبدیل انرژی خورشید به گرمایی، تابش مستقیم اثر بیشتری دارد در صورتی که تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریکی بجز تابش مستقیم، تابشهای پخشیده و بازتابیده فلز موثر می باشند. از این رو به هنگام مطالعه انواع تابش خورشیدی، بایستی به روش تبدیل انرژی نیز توجه داشت.

## ۱-۷ طیف تابش خورشیدی

در مطالعه و بررسی تابش خورشیدی، بایستی توجه داشت که نور خورشید متشکل از امواجی با طول موجهای مختلف (یا فوتونهای با انرژیهای مختلف می باشد) و عملکرد و اثر این امواج به هنگام عبور از جو زمین و برخورد با مواد مختلف در سطح زمین بسته به طول موج آنها متفاوت است. بنابراین بررسی توزیع طیفی (Spectral distribution) تابش خورشیدی و مطالعه پرتوهای دارای طول

موج مختلف به صورت جداگانه ضروری است. طیف تابش خورشیدی را می توان با تقریب مناسبی معادل طیف تابش جسم سیاهی (blackbody) با دمای در حدود  $5780\text{K}$  دانست. طبق اندازه گیری های مختلف، مشخص شده است که ۹۸٪ از کل انرژی تابشی خورشید که به فضای بالای جو زمین می رسد، در محدوده طیفی ۰٫۲۵ الی ۳ میکرون ( $2500$  الی  $30000$  آنگستروم) می باشد (شکل ۶-۱)(۲).



شکل ۶-۱ توزیع طیفی تابش خورشید در مقایسه با توزیع طیفی تابش اجسام سیاه با دماهای گوناگون (۲)

## ۸-۱ اندازه گیری تابش خورشیدی

با بکارگیری روشهای گوناگون، میزان تابش خورشیدی در سطح خارجی جو زمین و بر روی سطوح عمود بر پرتو تابش، اندازه گیری شده است. اعداد بدست آمده برای این تابش که اصطلاحاً ثابت خورشیدی نامیده می شود، اندکی متفاوت می باشند. بعنوان مثال در برخی مراجع این عدد  $1373\text{ W/m}^2$  و یا اعدادی نظیر  $1350$  یا  $1353\text{ W/m}^2$  گزارش شده است.

تفاوت موجود در اندازه گیریهای مختلف ثابت خورشیدی و همچنین تغییرات ناشی از کاهش و افزایش فاصله زمین تا خورشید، هر چند مهم می باشد و در برخی موارد مانند طراحی مولدهای

فتوولتایی ماهواره ها اثر دارد، ولی در مطالعه انرژی خورشیدی زمینی مقدار ثابت خورشیدی را می توان بدون تغییر در نظر گرفت (۲).

تابش خورشیدی قابل دسترسی برتری سطح زمین به مقدار قابل توجهی کمتر از ثابت خورشیدی است و این امر ناشی از جذب و بازتاب پرتوهای خورشید توسط مولکولهای هوا و اثرات ناشی از چرخش زمین (روز و شب) در اثر گردش زمین (فصلها) می باشد. به طوری که تابش خورشیدی در بهترین شرایط (یک روز کاملاً آفتابی) در سطح دریا کمتر از ۱۰۰۰ وات بر متر مربع می باشد.

به منظور شناخت بهتر شرایط مناطق مختلف از نظر تابش خورشیدی لازم است کمیات زیر مطالعه شوند:

۱. توان قله (Peak Power)

۲. توان روزانه میانگین (Average Daily Power)

۳. انرژی روزانه میانگین (Average Daily Power)

مقدار توان خورشیدی در نیمروز واقعی را که حداکثر توان خورشیدی در طول روز می باشد، توان قله می نامند. برای مناطق واقع در عرض جغرافیایی بین صفر تا ۵۰ درجه، مقدار توان قله در یک روز کاملاً آفتابی بر روی سطحی با شیب معادل عرض جغرافیایی و رو به جنوب، تقریباً برابر ۹۵۰ وات بر متر مربع می باشد که در طول سال به میزان ۱۵٪ افزایش یا کاهش می یابد. شایان ذکر است که در مواقعی که نور خورشید هم به صورت مستقیم و هم به صورت بازتابیده توسط ابرها یا برف به سطح زمین می رسد، مقدار توان قله افزایش می یابد و به مقادیر ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ وات بر متر مربع می رسد.

توان قله تنها نشان دهنده مقدار حداکثر تابش خورشیدی دریافتی است. از این رو بررسی مقدار میانگین توان خورشیدی در طول روز نیز ضروری است. این کمیت را توان روزانه میانگین می نامند که مقدار آن در شرایط آب و هوای آفتابی و برای ساعت ۱۲ روز تقریباً برابر ۸۰۰ وات بر متر مربع می باشد.

آمار تابش خورشیدی در اکثر کشورهای مختلف توسط سازمانهای مرتبط دولتی در سطح جهانی توسط سازمان هواشناسی جهانی تهیه می شود. اندازه گیری تابش خورشیدی اصولاً به وسیله دو نوع دستگاه صورت می گیرد. دستگاه اولی به نام آذرسنج یا پیرانو متر (Pyranometer) معروف است و دارای یکی از تجهیزات فتوولتایی، ترموالکتریکی یا بیمتالی می باشد. دستگاههای اندازه گیری

ترموالکتریکی دقتی در حدود ۰.۳٪ الی ۰.۵٪ دارند، در صورتی که دقت دستگاههای نوع بیمتالی در حد ۱۰٪ می باشد. نوع دوم دستگاههای اندازه گیری تابش خورشیدی که تابش مستقیم را اندازه گیری می کند، به نام پیر هلیو متر (Pyrheliometer) معروف است. این دستگاه به کمک تجهیزات و موتور الکتریکی. قرص خورشید را در پهنه آسمان و در طول روز تعقیب می کند. همچنین برای اندازه گیری تابش پخشیده می توان از پیرانو متر های با قاب مخصوص برای جلوگیری از تابش مستقیم استفاده کرد (۲).

## ۱-۹ عوامل موثر بر تابش خورشیدی

در مطالعه و بررسی سیستمهای انرژی خورشیدی دانستن مقدار تابش خورشیدی قابل دسترس (Available Solar Radiation) در محل مورد نظر ضروری می باشد و در کنار آن آنچه اهمیت زیادی دارد، تغییرات موجود در آن و چگونگی این تغییرات است. عوامل متعددی بر تابش در دسترس خورشیدی اثر دارند که آنها را می توان به سه گروه عمده جغرافیایی، آب و هوایی و طراحی - مهندسی دسته بندی کرد (۲).

### ۱-۹-۱ عوامل جغرافیایی

موقعیت زمین و خورشید و همچنین موقعیت محل مورد نظر بر روی زمین، از عوامل اصلی موثر بر تابش خورشیدی در تغییرات آن می باشد. یکی از عوامل مهم در طراحی کلکتور، طول و عرض جغرافیایی مکان مورد نظر می باشد. طول جغرافیایی در زمان خورشیدی اثر دارد و عرض جغرافیایی در زاویه میل و طول روز اثر می کند. وجود انحراف در محور چرخش زمین نسبت به خورشید موجب تغییراتی در ارتفاع یا زاویه میل خورشید می شود. به طوری که در طول تابستان خورشید دارای ارتفاع بیشتر و در طول زمستان دارای ارتفاع کمتر است. در کنار این دو عامل، ارتفاع از سطح دریا نیز از عوامل جغرافیایی موثر بر تابش خورشیدی است. هر چه ارتفاع محل افزایش یابد، به علت کاهش ضخامت لایه هوای بالای آن و کاهش مسیر عبور پرتوهای خورشیدی، میزان تابش بیشتر می شود. بدین ترتیب مناطق مرتفع تر دارای تابش خورشیدی روزانه بیشتری نسبت به نقاط هم عرض خود می باشند (۲).

### ۱-۹-۲ عوامل آب و هوایی

وجود ابر و مولکولهای آب در اتمسفر زمین موجب می شود بخش قابل توجهی از پرتوهای خورشید در اتمسفر، بازتاب یا جذب شود. بر اثر تغییرات ایجاد شده در شرایط آب و هوایی و افزایش یا کاهش مقدار عناصر موجود در جو زمین که ناشی از فرآیندهای هواشناختی است، تابش خورشیدی دریافت شده بر سطح زمین تابع تغییرات قابل توجهی می گردد. شرایط آب و هوایی نه تنها بر ترکیب جو زمین و در نتیجه بر مقدار تابش خورشیدی مستقیم اثر دارد، بلکه با تاثیر بر شرایط سطح زمین از نظر درجه حرارت، پوشش گیاهی و برف بر مقدار تابش خورشیدی بازتابیده و پخش شده نیز موثر است.

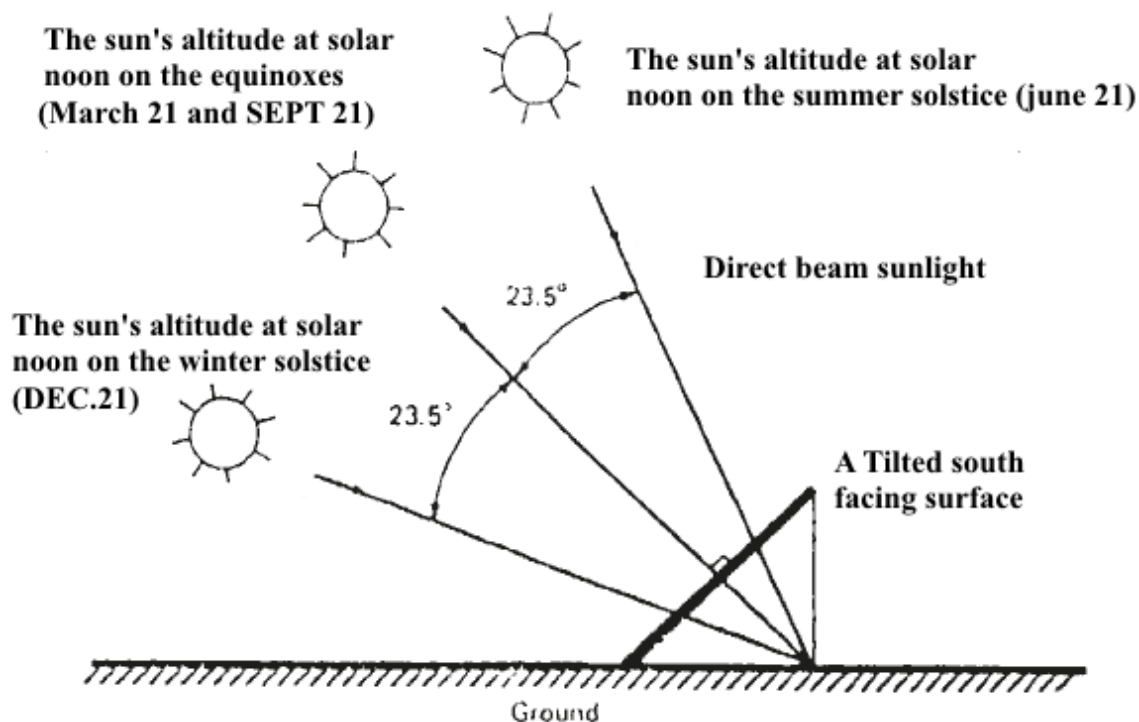
نوع گیاهان و رستنی ها و چگونگی پوشش آنها در اطراف محل مورد نظر به صورت مستقیم بر تابش خورشیدی بازتابیده و به صورت غیر مستقیم بر درجه حرارت و مقدار رطوبت هوا اثر می گذارد. پوشش گیاهی متراکم مانند جنگل ها با ایجاد سایه موجب کاهش تابش خورشیدی روزانه می گردد. می توان گفت که هر چه پوشش گیاهی کمتر باشد، مقدار تابش خورشیدی بیشتر خواهد شد. در میان عوامل متعدد آب و هوایی موثر بر تابش خورشیدی، ضریب ابر ( CLOUD FACTOR ) یا مدت نسبی تابش آفتاب بیشترین اثر را بر تغییرات تابش خورشیدی روزانه دارد و به همین جهت در کنار پارامترهای عرض جغرافیایی و ارتفاع، یکی از مهمترین پارامتر ها در برآورد تابش خورشیدی است (۲).

### ۱-۹-۳ عوامل طراحی و مهندسی

وضعیت قرار گرفتن و چگونگی سطح دریافت کننده تابش خورشیدی تاثیر فراوانی بر مقدار زمان تابش خورشید دریافت شده دارد. برای جذب انرژی تابشی خورشید، با توجه به تغییر موقعیت خورشید در آسمان و تغییرات تابش خورشیدی در طول روز، سطح دریافت کننده را می توان به گونه ای تنظیم نمود که در زمان مشخص حداکثر مقدار تابش را دریافت کنند. سطوح دریافت کننده نیز انواع مختلفی دارند. سطوح تخت یکی از رایج ترین انواع می باشد که به صورت سطح و در واحدهای مجزا ساخته می شود. حداکثر تابش خورشیدی دریافت شده توسط این سطوح هنگامی است که به صورت مسطح و در واحدهای مجزا ساخته می شود سطوح دریافت کننده، با سیستم های مختلفی ساخته می شوند. مانند سیستمهای ثابت، دنبالگر تا با تنظیم و غیره که هریک از آنها دارای مزایا و معایبی می باشند.

سیستمهای ثابت، قابلیت حرکت و تغییر جهت در هیچ محوری را ندارند و امتداد عمود بر سطح آنها همواره جهتی ثابت دارد. چون مسیر خورشید نسبت به امتداد شمال - جنوب جغرافیایی زمین متقارن می باشد و نیز بیشترین تابش خورشیدی در اواسط روز و به هنگام نیمروز خورشیدی است. بهترین امتداد قرارگیری سطوح تخت در نیکره شمالی امتداد جنوب و در نیمکره جنوبی امتداد شمال می باشد. چنانچه امتداد سطوح متمایل به شرق یا غرب باشد، بیشترین تابش خورشیدی را در ساعتهای پیش یا پس از نیمروز خواهیم داشت.

زاویه میل یا ارتفاع خورشید به هنگام نیمروز خورشیدی در طول سال دارای تغییراتی در حد  $23.5^\circ$  از مقدار میانگین آن با عرض جغرافیایی محل می باشد. (شکل ۷-۱). بعنوان نمونه در یزد بهترین شیب برای سطوح تخت رو به جنوب دریافت کننده  $32^\circ$  می باشد که برابر عرض جغرافیایی یزد است. اما چنانچه هدف مصرف کننده استفاده هر چه بیشتر انرژی خورشیدی در ماههای زمستان باشد، می توان شیب سطوح دریافت کننده را به اندازه  $11^\circ$  درجه از مقدار عرض جغرافیایی محل، کمتر گرفت (۲).



شکل ۷-۱ زاویه میل یا ارتفاع خورشید به هنگام نیمروز خورشیدی در طول سال (۲)

سیستمهای دنبالگر (tracking) یکی دیگر از انتخابهایی است که برای دریافت حداکثر تابش خورشیدی می تواند بکار رود. در این سیستمها به کمک ابزار حساس به نور خورشید، مدارهای واسطه و کنترل کننده ها، محرکهای الکتریکی را به گونه ای هدایت می کنند که همواره بر خط عمود بر

سطح در امتداد پرتوهای خورشید قرار گیرد. باید ذکر شود در مواردی که تابش خورشیدی پخشیده تشکیل دهنده بخش بزرگی از تابش کل باشد (مانند مناطقی با پوشش ابری زیاد) از سیستمهای دنبالگر استفاده نمی شود.

بجز سطوح دریافت کننده تخت، می توان از سایر دریافت کننده ها استفاده کرد، مانند انواع متمرکز کننده نقطه (سهموی، عدسی فرنل یا هلیواستات) انواع متمرکز کننده خطی استوانه ای (مقطع سهمی با عدسیهای خطی)، دیوار گرمایشی ترمب، حوضچه خورشیدی، مخزن ذخیره کننده انرژی خورشیدی و سایر انواع تجهیزات جانبی دریافت کننده های انرژی خورشیدی مانند انواع متمرکز کننده ها و منعکس کننده ها می باشد. این تجهیزات با متمرکز کردن و بازتاب کردن پرتوهای خورشیدی، می توانند میزان دریافت آن را برای سطح دریافت کننده افزایش دهند.

در مطالعات مربوط به تابش خورشیدی ، عوامل طراحی و مهندسی دارای اهمیت زیادی هستند و همانند عوامل جغرافیایی و آب و هوایی تاثیر زیادی بر نتایج حاصل از اندازه گیریهای خورشیدی و ارزیابی سیستم های انرژی خورشیدی دارد (۲).



## فصل ۲

### پیشینه پژوهش

#### ۲-۱ تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره‌های مختلف به زمان ماقبل تاریخ باز می‌گردد. شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جام‌های بزرگ طلائی صیقل داده شده و اشعه خورشید، آتشدان‌های محراب‌ها را روشن می‌کردند. یکی از فراغنه مصر معبدی ساخته بود که با طلوع خورشید درب آن باز و با غروب خورشید درب بسته می‌شد. ولی مهم‌ترین روایتی که درباره استفاده از خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می‌باشد که ناوگان روم را با استفاده از انرژی حرارتی خورشید به آتش کشید. گفته می‌شود که ارشمیدس با نصب تعداد زیادی آئینه‌های کوچک مربعی شکل در کنار یکدیگر که روی یک پایه متحرک قرار داشته است اشعه خورشید را از راه دور روی کشتی‌های رومیان متمرکز ساخته و به این ترتیب آنها را به آتش کشیده است. در ایران نیز معماری سنتی ایرانیان باستان نشان دهنده توجه خاص آنان در استفاده صحیح و مؤثر از انرژی خورشید در زمانهای قدیم بوده است. قرن ۱۴ تا ۱۷ میلادی، ابزارهای گوناگونی برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی طراحی و ساخته شد. یکی از اختراعات این دوران که توسط سالمون دوکا (salmon decaus) فرانسوی طراحی و ساخته شد موتور پمپ آب خورشیدی بود. او برای گرم کردن هوا در یک موتور خورشیدی، از انرژی خورشیدی بهره گرفت و موفق به پمپاژ آب شد. با وجود اینکه موتور خورشیدی او بسیار ساده بود ولی اهمیت بسیار

داشت؛ بطوریکه ۲۰۰ سال پس از اختراع سالمون دوکا این موتور بار دیگر ساخته شد و مورد بهره برداری قرار گرفت.

در دوران رنسانس ساخت ابزار خورشیدی مانند بسیاری از ابداعات آن دوران غیر عملی و با کاربردی بسیار کم دامنه بود و صرفاً برای افزایش اطلاعات علمی و آزمایشهای تجربی ساخته می شد اما در قرن هیجدهم این روند تغییر کرد. در این قرن «کوره خورشیدی» که می توانست آهن، مس و سایر فلزات را ذوب کند ساخته شد. در ساخت کوره خورشیدی فوق از آهن صیقل داده شده، لنزهای شیشه ای و آئینه ها استفاده شد.

این نوع کوره ها در سرتاسر اروپا و خاورمیانه بکار گرفته شد. لاوازیه دانشمند بزرگ قرن ۱۸ نیز کوره ای ساخت که تا ۱۷۵۰ درجه سانتی گراد حرارت تولید می کرد. در این کوره یک عدسی ۵۲ اینچی (۱۳۲ سانتیمتری) و یک عدسی ۸ اینچی (۲۰ سانتیمتری) بکار رفته بود. درجه حرارتی که این کوره تولید می کرد تا سالها پس از لاوازیه بالاترین درجه حرارتی بود که بشر توانست به آن دست پیدا کند. در اوایل قرن نوزده میلادی انواع گوناگون موتورهای هوای گرم ساخته شد. هر چند موتور هوای دو پیستونی معروف استرلینگ برای استفاده از انرژی خورشیدی طراحی نشده بود، اما ساختمان آن برای استفاده از انرژی خورشید ایده آل بوده و بعدها با اصلاحات جزئی قابل بهره برداری با انرژی خورشیدی شد.

یکی از دستاوردهای مهم در اواخر قرن هیجدهم و اوایل قرن نوزدهم استفاده از کلکتورهای مسطح بود. تا پیش از این تاریخ در کلیه سیستم های خورشیدی از کلکتورهای متمرکز کننده استفاده می شد؛ اما در اوائل قرن نوزده بهره گیری از کلکتورهای مسطح رایج شد. در این نوع کلکتورها، نور خورشید در یک نقطه متمرکز نشده و به طور یکنواخت بر یک سطح مسطح تابیده می شد. ساخت این نوع کلکتورها در مقایسه با کلکتورهای متمرکز کننده ساده تر بود.

با پیدایش سوخت های فسیلی مساله طراحی و ساخت دستگاه های خورشیدی اهمیت خود را از دست داد. سوخت های فسیلی به ویژه در اوائل قرن بیستم به علت ارزانی فوق العاده آن نقش انرژی اصلی را در تمدن بشری بر عهده گرفت و تلاش برای بهره گیری از انرژی خورشیدی را مدتی متوقف کرد. اما پس از بحران انرژی به ویژه در سال های اخیر ، بار دیگر مسئله انرژی خورشیدی و پژوهش های علمی و فنی برای بکار گیری این انرژی و جایگزین کردن آن به جای سوخت های فسیلی و دیگر انرژی های پایان پذیر مطرح شده و بدین سان دستاوردهای مهم گذشتگان پس از یک دوران کوتاه وقفه برای دستیابی به روش های بهره برداری از انرژی خورشیدی مجدداً مورد توجه قرار

گرفته و تلاش برای تکامل آنها و ابداع روشهای جدید ادامه یافته است. با وجود آنکه 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 سد راه پیشرفت این سیستم ها شده بود تا اینکه افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ باعث شد که کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسئله تولید انرژی از راههای دیگر غیر از استفاده سوخت های فسیلی توجه جدی تری نمایند. اما تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی را باید در تاریخچه انرژی جستجو کرد. در قرن ۱۸ با توجه به نیاز مردم به منابع گرما زا توجه دانشمندان به این موضوع جلب شد. در سال ۱۷۷۴ ژوزف پریستلی در طی تحقیقات خود بر روی اکسید جیوه گاز اکسیژن را کشف کرد و تقریباً بعد از یک قرن و دریافت نظری دانشمندان در رابطه با انرژی یک دستگاه تقطیر نسبتاً خورشیدی در شمال صحرای شیلی نصب شد که طرح آن دقیقاً شبیه سیستم های آب شیرین کن سنتی موجود بود. این سیستم در زمینی به وسعت ۴۸۰۰ متر مربع بود که روزانه حدود ۲۵ متر مکعب آب تولید می کرد و در یک منبع نیترا ت مورد استفاده قرار می گرفت و این سیستم که از همان سقف های شیشه ای با شیب ساخته شده بود حدود ۴۰ سال یعنی تا زمانی که معدن کار می کرد مورد استفاده قرار گرفت. تبدیل انرژی خورشیدی به مکانیکی برای اولین بار در نمایشگاهی در پاریس در سال ۱۸۷۸ رخ داد. این کار توسط تمرکز نور خورشید بر روی یک بویلر تولید بخار انجام گرفت. این مولد، بخار مورد نیاز یک موتور کوچک بخار را تامین می کرد که توسط آن یک دستگاه چاپ بکار انداخته می شد. در سال ۱۹۰۱ میلادی یک کلکتور متمرکز کننده به قطر ۳۳ فوت (۱۰ متر) به وسیله یک امریکائی بنام ا- جی- انیز ( G.Eneas A.) ساخته شد. این متمرکز کننده یک دستگاه پمپ آب را بکار می انداخت. ساختمان این متمرکز کننده از یک اسکلت فلزی که به یک چتر باز شده ی وارونه شبیه بود و بر روی آن ۱۷۸۸ آئینه نصب شده بود تشکیل می شد. پرتوهای خورشید در کانون این آئینه متمرکز شده و آب را به نقطه جوش می رساند، بخار آب تولید شده توربین متصل به پمپ را به حرکت در می آورد.

در سالهای ۱۹۰۷ و ۱۹۱۱ در فیلادلفیا ، یک مهندس مبتکر بنام فرانک شومان ( Frank Shuman) با استفاده از کلکتور مسطحی به مساحت ۱۲۰۰ فوت مربع موتوری به قدرت ۳٫۵ اسب اختراع کرد. این کلکتور مسطح برای گرم کردن آب بکار می رفت. آب گرم تولید شده با کمک یک مبدل حرارتی، اتر را به جوش آورده و بخار اتر موتور و در نتیجه پمپ متصل به آن را به حرکت در می آورد. هرچند این موتور خورشیدی قدرت پیش بینی شده یعنی صد اسب را تولید نکرد، ولی فن ساخت آن از اهمیت بسیاری برخوردار بود. از این موتورهای بخار خورشیدی جهت پمپاژ آب استفاده

نمود. در سال ۱۹۱۳ شامن با همکاری سی.وی. بویز یک موتور بخار خورشیدی بزرگتر با قدرت ۵۰ اسب بخار ساخت که ارتفاع آن بسیار بلند بود و بصورت شلجی ساخته شده بود که اشعه خورشید به یک لوله که در مرکز آن بود متمرکز و منعکس می شد (نسبت تمرکز ۴,۵). این سیستم نقطه عطفی در رابطه با تمرکز نور خورشید و توسعه فرمهای سهموی و مقعر و محل نقطه کانونی آنها بود. در تلاش های بعدی برای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریکی دستگاهی توسط جی.ای. هرینگتون در سال ۱۹۱۵ در نیومکزیکو ساخته شد.

سیستم آن هم به صورت تمرکز خورشید بر روی یک بویلر بود که در ارتفاع ۶ متری قرار داشت و حجم آن ۱۹ متر مکعب بود. اما این رقابت ها دیری نپایید زیرا که استفاده از انرژی سهل الوصول فسیلی و سیستم های ساده آن راهی برای توسعه آنها نگذاشت (۴۳).

استفاده از انرژی خورشیدی را می توان به صورت بسیار کلی به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

۱. استفاده غیر مستقیم " که در حقیقت بهره وری حاصل از انرژی جذر - مد و باد، نمونه هایی از استفاده غیر مستقیم از انرژی خورشید است.

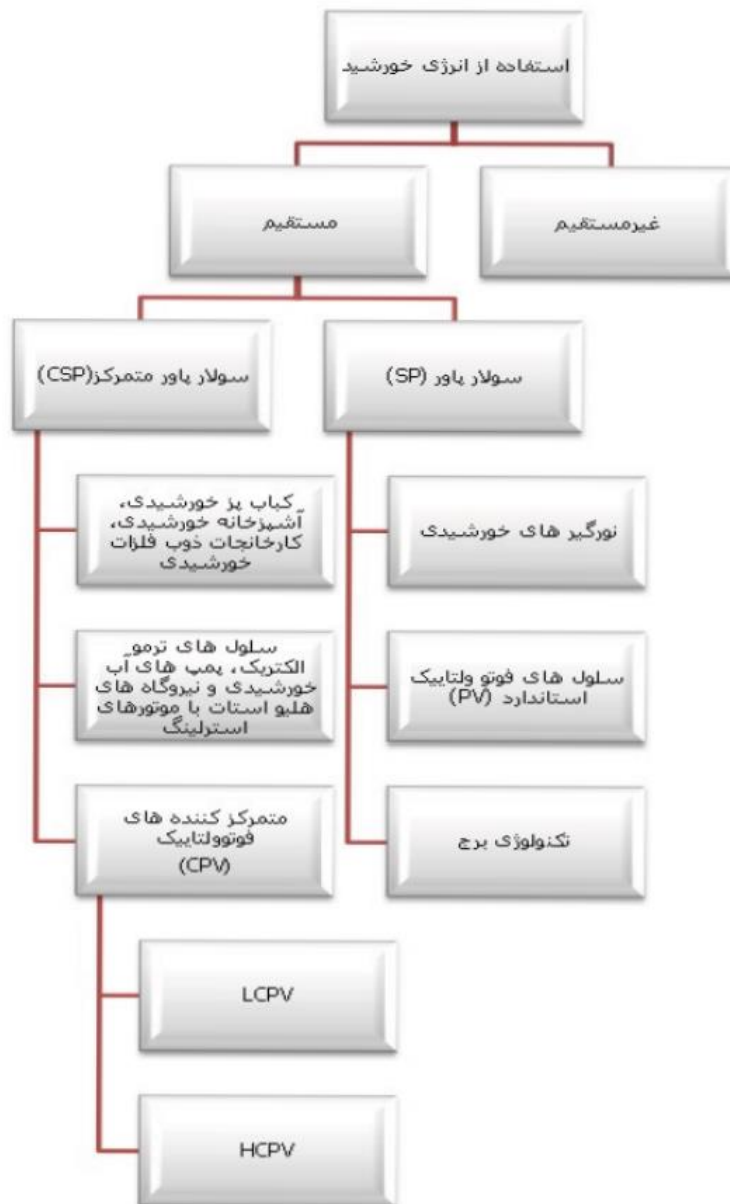
۲. استفاده مستقیم از انرژی خورشیدی که به دو صورت انجام می گیرد: یا از طریق تمرکز نور که به آن توان خورشیدی متمرکز یا CSP می گویند و یا از روشی بجز تمرکز، که آن را SP نام گذاری می کنند. بدیهی است نورگیرهای خورشیدی، سلول های فوتوولتایک استاندارد (PV) و مجمع تکنولوژی برج در دسته SP قرار می گیرند. دسته CSP را می توان در سه دسته تقسیم بندی کرد:

دسته اول استفاده ساده و مستقیم، تنها از انرژی حرارتی خورشید است. مجموعه های مختلفی مانند کباب پز خورشیدی، آشپزخانه خورشیدی، کارخانجات ذوب فلزات خورشیدی که تنها از انرژی حرارتی خورشید استفاده می کنند، در این دسته طبقه بندی می شوند.

در دسته دوم برای تبدیل همه یا قسمتی از انرژی خورشیدی به سایر انرژی ها ابتدا آن را به حرارت تبدیل می کنند. سلول های ترموالکتریک، پمپ های آب خورشیدی و نیروگاه های هلیواستات با موتورهای استرلینگ در این دسته قرار می گیرند.

در دسته سوم همه یا بخشی از انرژی خورشید به طور مستقیم به سایر انرژی ها تبدیل می کنند مانند CPV ها که خود به دو گروه دسته بندی می شوند:

یک گروه آنها که انرژی خورشیدی را کمتر از ۲۵۰ برابر متمرکز می کنند که به آنها LCPV گویند و گروه دیگر آن هایی هستند که انرژی خورشیدی را ۲۵۰ برابر یا بیشتر متمرکز می کنند که آنها را HCPV نام گذاری می کنند (۳) .



شکل ۱-۲ نمودار چگونگی تقسیم بندی استفاده از انرژی خورشید (۳)

## ۲-۲ تاریخچه توسعه و ساخت کلکتورهای سهموی خطی

مدل های نوری و اپتیکی کلکتورها توسط هینزل و همکاران (Heinzel , Kungle , and simon) در سال ۱۹۹۵ ارائه شد (۴) و در زمینه نحوه شکل و ساخت آنها اطلاعات بسیاری گردآوری گردید. برای اولین بار پیشنهاد استفاده از این کلکتورها جهت تولید بخار به گونه مستقیم در نوع کلکتورهای لوز (LUZ) در سال ۱۹۹۴ توسط کوهن و همکارش ارائه گردید (Cohen , and Kearney) (۴) اما با توجه به شرایط اطلاعات آن زمان این امر زیاد مورد توجه واقع نشد چرا که تعدادی از پارامترهای خود کلکتورها در آن زمان ناشناخته مانده بود و از سوی دیگر بحث جریان های ۲ فاز و مسایل مربوط به آن مشکل ساز بود و از سویی کنترل بخار نیز در بسیاری از موارد امری سخت به شمار می آمد. موارد استفاده مختلف این کلکتورها در سال ۱۹۹۵ برای اولین بار توسط ایمادوجمو (Imadojemu) معرفی گردید (۴) و این اطلاعات در سال ۲۰۰۴ توسط کالوجیرو تکمیل و ارائه شد (Kalogirou) و در همین سال مجدداً بحث تولید بخار فرآیندی توسط کالوجیرو در این مقاله بیان گردید (۴). در بحث نیروگاهی (SEGS) در سال ۱۹۹۲ در موگوا (Mogava) در شمال صحرای کالیفرنیا توسط کرنی و همکارش (Kearney , and Price) نیروگاهی با توانی در حدود ۳۵۴ مگاواتی ساخته شد (۴). نوع ها و مدل های جدید و توسعه یافته کلکتورهای سهموی خطی در سالهای ۱۹۹۶-۱۹۹۸ در نیروگاه آلمریا (PSA) نصب و مورد استفاده قرار گرفت (Plataforma Solar de Almeria) و در این زمان تحقیقات بر روی استفاده از این کلکتورها جهت تولید بخار به صورت مستقیم جهت استفاده نیروگاهی و به حرکت در آوردن توربین به صورت عملی تحت تابش خورشید انجام شد. در این زمان تحقیقات نشان داد شرایط آب ورودی و تغییرات در تابش بر مقدار بخار خروجی و کیفیت آن بسیار موثر می باشد در نتیجه بحث کنترل و مانیتورینگ این سیستم ها مطرح گردید که در سال ۲۰۰۵ وانزولا و همکارانش بر روی آن تحقیق کردند. (Valenzuela et al) (۵). یک سال بعد در سال ۲۰۰۶، او و همکارانش ترکیبی از اتانول گلیکول و آب را برای استفاده از این کلکتورها در دماهای پایین تر پیشنهاد کردند زیرا که تا آن زمان در این کلکتورها به علت دمای بالای کارکرد آنها در حدود ۲۰۰-۴۰۰ درجه سانتی گراد بود از روغن استفاده می شد (۶).

در سال ۲۰۰۴ فلورز و المانزا (Flores , and Almanza) استفاده از ترکیبات مس- فولاد را برای لوله ای رسیور پیشنهاد کردند (۷) این دو نفر اولین کسانی بودند که بحث خمش لوله ای رسیور را در طول های بلند مشاهده و بررسی کردند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته دانشمندان متوجه شدند که بحث ردیابی در این سیستم ها بسیار حیاتی به نظر می رسد و در سال ۲۰۰۶ باکوس

(Bakos) یک سیستم الکترومکانیکی جهت این کار ساخت (۸). البته طی این سال ها افراد زیادی در رابطه با افزایش بازده سیستم تحقیق کردند از جمله می توان به اختصار افراد زیر را نام برد محمود، خلیفا و الموت والی، عبدا.. و کالیگاری و نجمه .

برای اولین بار قابلیت استفاده از کلکتورها در سرمایش توسط پلبرگ و همکارانش در سال ۲۰۰۹ بیان شد (۹) و در همان سال کیم و همکارانش بیان کردند (۹) که اگر بتوان سیستم تعادل گرمایی یک سیستم سرمایشی را از حرارت و نور خورشید تامین کرد می توان یک سیستم سرمایش خورشیدی داشت (Pollerberg et al . Kim , and ferreira). در سال ۲۰۱۰ گارسیا و همکارانش استفاده از کلکتورهای پارابولیک را برای این امر پیشنهاد کردند (۱۰) زیرا که دمای بالاتری را در این سیستمها می توان به دست آورد که با این کار بازده عملکردی چیلر (COP) بالاتر می رود (۱۰). در حقیقت پیشنهاد او فصل تازه ای را در ساخت این نوع کلکتورها به صورت صنعتی در اندازه های بسیار کوچکتر به وجود آورد زیرا که تا آن زمان به علت سختی در تکنولوژی ساخت و گران بودن قطعات و وسایل کسی به فکر استفاده ای غیر از نیروگاهی از این سیستم ها نیافتاده بود البته لازم به ذکر است که پیشرفت در بحث مواد طی سال های گذشته بر سرعت تحقیق و کار در این زمینه افزود از جمله می توان به مواد پلاستیکی مانند پلکسی گلاس ها و همچنین آلیاژهای فولاد براق نام برد.

## ۲-۳ تعاریف و محاسبات اولیه مهم

حرکت ظاهری خورشید تاثیر بسزایی در میزان انرژی دریافتی از خورشید خواهد داشت. با استفاده از زاویه ی خورشیدی فرمول های مربوطه و سیستم های دنبال کننده می توان الگوی این حرکت را بدست آورد . جهت بدست آوردن بیشترین میزان انرژی از تابش خورشید ، پیش بینی مکان خورشید در آسمان و مسیر حرکت آن اهمیت ویژه ای دارد .

موقعیت خورشید در آسمان از دید ناظر زمینی همواره در حال تغییر است این تغییر در طول روز از شرق به غرب و در طول سال از شمال به جنوب می باشد اگر موقعیت خورشید در ظهر خورشیدی ( زمانی که خورشید در بالاترین نقطه ی آسمان قرار دارد) به صورت روزانه اندازه گیری می شود مشخص می شود زاویه ی آن همواره در حال تغییر است موقعیت خورشید در آسمان وابسته به موقعیت جغرافیایی ناظر و موقعیت زمانی می باشد (۱۱).

برای بدست آوردن زاویه تابش آفتاب در هر موقع از روز و در هر موقع از سال نسبت به افق باید توجه داشت که این زاویه به چند عامل بستگی دارد:

۱. عرض جغرافیایی محل درجات بین خط استوا و قطب شمال یا جنوب.

۲. فصل و ماه (چندمین روز سال).

۳. ساعت محلی یعنی ساعت در مکان مورد نظر ، در کشور ما مشکل زیادی وجود ندارد چون

ساعت کشور ما با غربی ترین و شرقی ترین نقطه‌ی کشور نیم ساعت اختلاف دارد که از

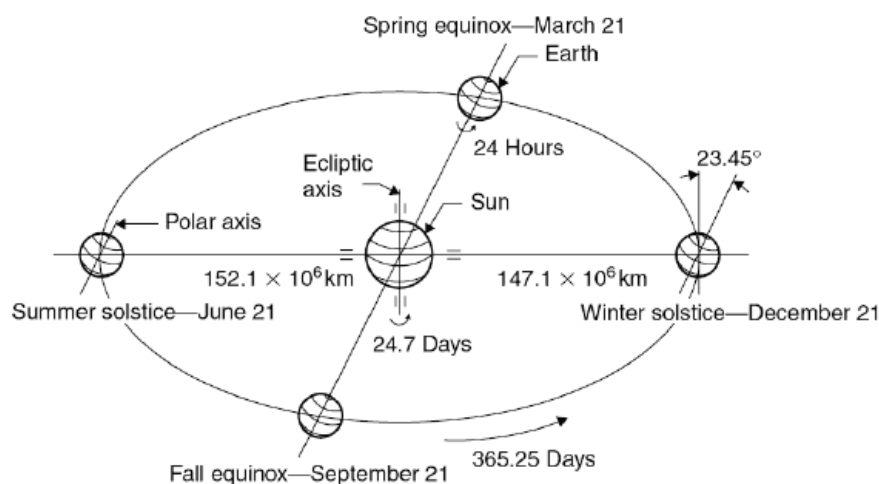
ساعت گرینویچ ۳ و نیم ساعت جلوتر است و ملاک ساعت زمستانی می باشد.

## ۲-۳-۱ عرض جغرافیایی (Latitude):

به فاصله عمودی هر نقطه از سطح کره زمین تا خط استوای زمین عرض جغرافیایی می گوئیم. عرض جغرافیایی در اصل طول کمانی از نصف النهار گذرنده از یک نقطه است که تا استوا فاصله دارد و به همین دلیل با واحد درجه بیان می شود. مقدار عرض جغرافیایی می تواند در ۰ تا ۹۰ درجه تغییر کند . اگر نقطه مورد نظر در نیمکره جنوبی زمین قرار داشته باشد ، طبق قرار داد عرض جغرافیایی آن را با اعداد منفی نمایش می دهیم.

زمین در یک مدار بیضی شکل به دور خورشید می گردد. شکل ۲-۲ ، موقعیت نسبی زمین و خورشید را در طول مدت سال نشان می دهد. محور گردش زمین (محور قطبی) همواره زاویه ای در حدود ۲۳,۵ با محور بیضی درست می کند که عمود بر صفحه بیضی است. انحراف زمین از محور عمود بر صفحه بیضی، باعث نزدیکی و دوری زمین از خورشید در فصول تابستان و زمستان می گردد.

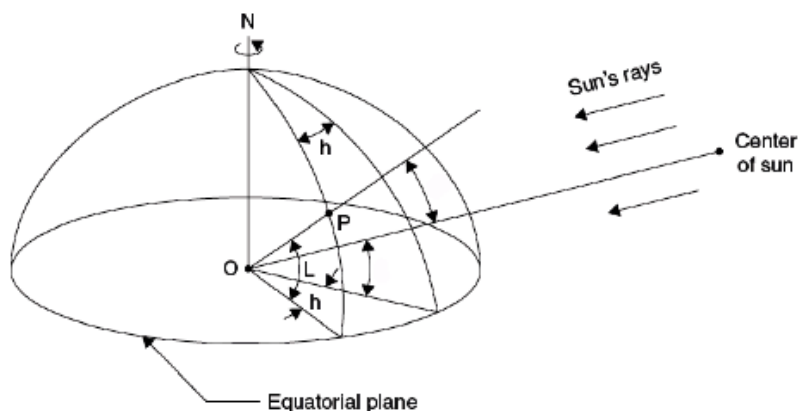




شکل ۲-۲ حرکت سالانه زمین به حول خورشید (۱۱)

از آنجائیکه مقدار تشعشع خورشیدی دریافتی بر روی زمین تابعی از شکل قرارگیری سطح دریافت کننده نسبت به خورشید می باشد، لازم است که چندین پارامتر (عموما پارامترهای زاویه ای) جهت نشان دادن موقعیت زمین نسبت به خورشید تعریف گردد. در شکل ۲-۳، نقطه P در سطح زمین به طرف اشعه های خورشید قرار گرفته است.

عرض جغرافیایی نقطه P (Latitude)، فاصله زاویه ای آن تا نقطه equator plane شمالی (یا جنوبی) می باشد که عرض جغرافیایی شمالی، مثبت فرض می شود و با حرف L نمایش داده می شود و در واقع زاویه بین OP، خط واصل مرکز زمین O و نقطه P و تصویر OP بر روی صفحه equatorial می باشد. مدارهای شمالی و جنوبی دارای عرض جغرافیایی  $۶۶,۵^{\circ}$  درجه شمالی و جنوبی و مدارهای راس السرطان و راس الجدی نیز دارای عرض جغرافیایی  $۲۳,۵^{\circ}$  درجه شمالی و جنوبی هستند.



شکل ۲-۳: زاویه ساعت و عرض جغرافیایی (۱۱)

## ۲-۳-۲ زاویه ساعت: (Hour angle)

زاویه ساعت یک نقطه در سطح زمین بصورت زاویه‌ای تعریف می‌گردد که زمین باید بچرخد تا نصف النهار آن نقطه را مستقیماً در زیر خورشید قرار دهد و در شکل (۲-۳)، زاویه ساعت نقطه P، در روی صفحه equator بصورت زاویه بین تصویر خط واصل مرکز زمین و خورشید بر روی صفحه equator و تصویر OP بر روی صفحه equator تعریف شده است.

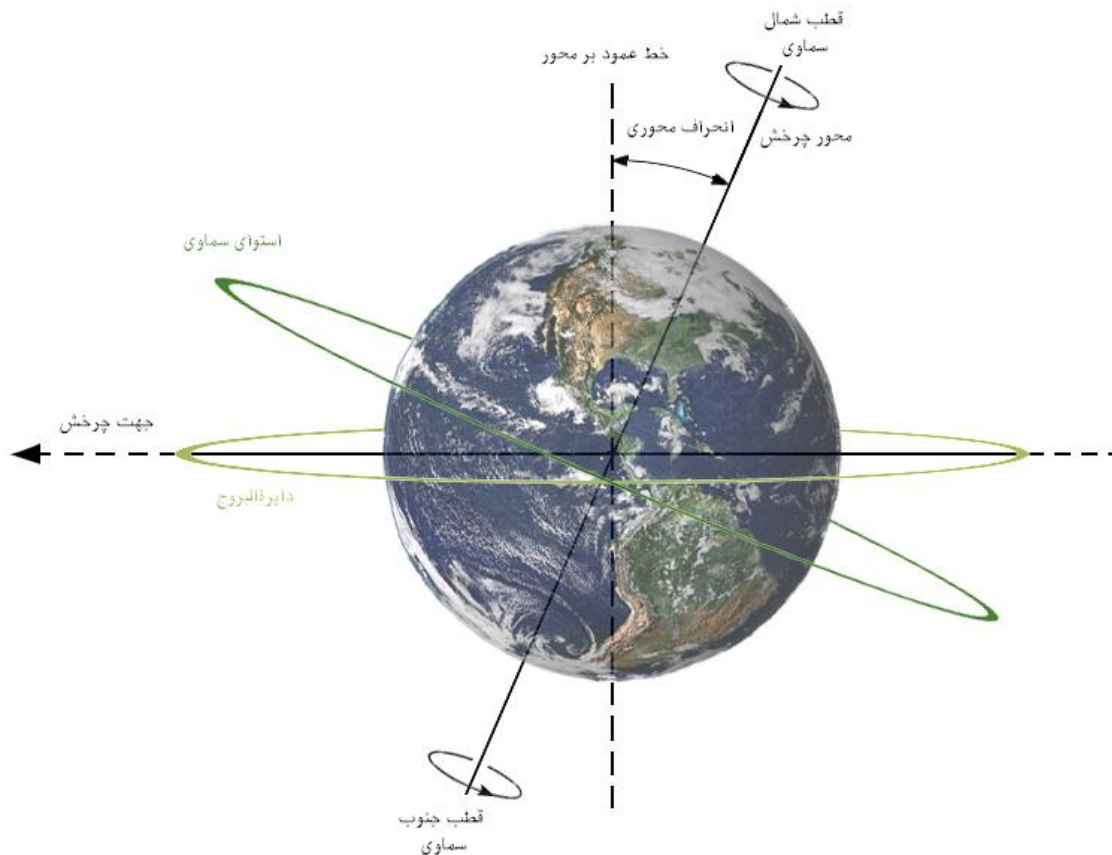
زاویه ساعت در هنگام غروب محلی، صفر می‌باشد و هر  $15^\circ$  درجه عرض جغرافیایی، معادل ۱ ساعت می‌باشد و بعد از ظهر بصورت مثبت تعریف می‌گردد. برای مثال  $h = -30^\circ$  برای ۱۰ صبح و  $h = +30$  برای ۲ بعد از ظهر. زاویه ساعت بر حسب درجه از رابطه زیر بدست می‌آید. (تعداد دقیق بعد یا قبل از ظهر خورشیدی)  $h = \pm 1/4$ .

تعریف دیگر برای زاویه ساعت میزان تغییر مکان خورشید به شرق و یا غرب از نصف النهار به ازای هر ساعت ۱۵ درجه می‌باشد. جایی که علامت مثبت باشد جهت ساعت بعد از ظهر به کار می‌رود و علامت منفی برای قبل از ظهر می‌باشد.

## ۲-۳-۳ زاویه انحراف

انحراف محوری اصطلاحی در ستاره‌شناسی است و به زاویه بین محور چرخش اجسام و خط عمود بر صفحه مداری آنها گفته می‌شود. طی حرکت جسم در مسیر مداری خود، مقدار انحراف محوری تغییری نمی‌کند؛ اما خط انحراف سیاره در هنگام یک دور گردش کامل به دور خورشید در

یک دایره و به میزان ۳۶۰ درجه حرکت می‌کند. میزان این انحراف برای کره زمین به اندازه ۲۳,۵ درجه است.



شکل ۲-۴ زاویه انحراف محور زمین (۱۱)

صفحه مداری زمین در منظومه شمسی، صفحه دایره البروج نامیده می‌شود و در نتیجه انحراف محوری زمین را انحراف یا میل دایره البروج می‌گویند نماد آن حرف یونانی  $(\delta)$  است. انحراف ۲۳,۵ درجه‌ای زمین دلیل اصلی پیدایش فصل‌هاست.

برای محاسبه زاویه انحراف خورشید با صفحه استوا  $(\delta)$  از معادله ۲-۲۱-۱ استفاده می‌شود

(۱۲):

$$\delta = 23.45 \times \sin [(360/365) \times (284 + n)] \quad ۱-۲$$

که در آن  $n$  شماره روزه سال (میلادی) می باشد. لازم به ذکر است که  $\delta$  در طول سال از ۲۳,۵- تا ۲۳,۵ تغییر می کند و مقدار آن در روز اول فروردین و لحظه تحویل سال خورشیدی صفر می باشد.

زاویه ساعتی خورشید اگر در شرایط خاص مکان خورشید را ۶ صبح ۹۰- فرض کنیم و مکان آن را در ۱۲ ظهر را صفر درجه و در ۶ غروب ۹۰+، به این زوایا، زوایای ساعتی خورشید می گویند و از معادله ۲-۲ محاسبه می گردد. (۱۲)

$$AST=LST+ET\mp 4(SL-LL)-DS \quad ۲-۲$$

که در آن  $AST$  ساعت واقعی خورشیدی و  $LST$  ساعت محلی می باشد.  $SL$  و  $LL$  به ترتیب معرف عرض جغرافیایی استاندارد کشور و عرض جغرافیایی واقعی محل مورد نظر می باشند.  $DS$  بیانگر تغییر ساعت رسمی در بهار و تابستان می باشد. بعنوان مثال در ایران که در روز اول بهار ساعت رسمی یک ساعت به عقب کشیده می شود، ۶۰-  $DS$  دقیقه و در پاییز و زمستان ۰-  $DS$  در نظر گرفته می شود.  $ET$  معرف تغییر طول روز نسبت می باشد و از معادلات ۲-۳ و ۲-۴ محاسبه می شود (۱۳).

$$ET=9.87 \sin(2B)-7.53 \cos(B)-1.5 \sin(B)[min] \quad ۳-۲$$

$$B=(N-8) \times \frac{360}{364} \quad ۴-۲$$

زاویه تابش خورشید نسبت به افق  $\alpha$  زاویه ارتفاع خورشید با استفاده از معادله ۲-۵ بدست می آید (۱۳).

$$\alpha = \sin^{-1} \left[ \sin 23.5 \times \sin \left( \frac{n}{365} \times \frac{360}{365} \right) \times \sin(\varphi) + \cos \left( 23.5 \times \sin \left( n \times \frac{360}{365} \right) \right) \times \cos(\omega) \right] \quad ۵-۲$$

## ۴-۳-۲ زاویه سمت (zenith)

سمت یا آزیموت به انگلیسی (Azimuth): در ستاره شناسی یک زاویه اندازه گیری در دستگاه مختصات کروی و بخصوص دستگاه مختصات سماوی است. این کمیت در کنار ارتفاع، دو مؤلفه لازم برای مشخص کردن مختصات یک جرم در دستگاه مختصات افقی است. برداری از سوی ناظر به سوی

نقطه مورد نظر به شکل عمودی به زمین مرجع امتداد یافته و رسم می‌شود. زاویه بین نقطه شمالی و بردار رسم شده بر روی سطح مرجع، زاویه سمت نامیده می‌شود.

زاویه سمت خورشیدی  $Z$  یا گرای خورشید نسبت به شمال زاویه ای است که جهت شمال با امتداد خورشید می‌سازد و در صفحه زمین ناظر که از معادله ۶-۲ زیر بدست می‌آید. شکل ۶-۲ و شکل ۷-۲ به خوبی نشان دهنده این زاویه می‌باشند (۱۴).

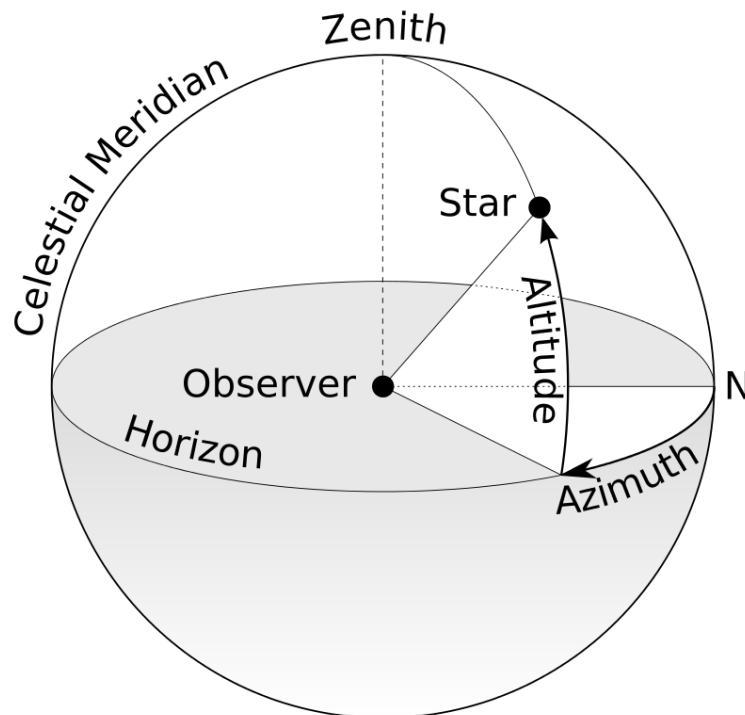
$$z = 180 - \sin^{-1} \left[ \cos \left( 23.5 \times \sin \left( \frac{n}{365} \times \frac{360}{365} \right) \times \sin(\omega) / \cos(\alpha) \right) \right] \quad 6-2$$

محاسبه ساعت طلوع آفتاب از معادله ۷-۲ محاسبه می‌شود:

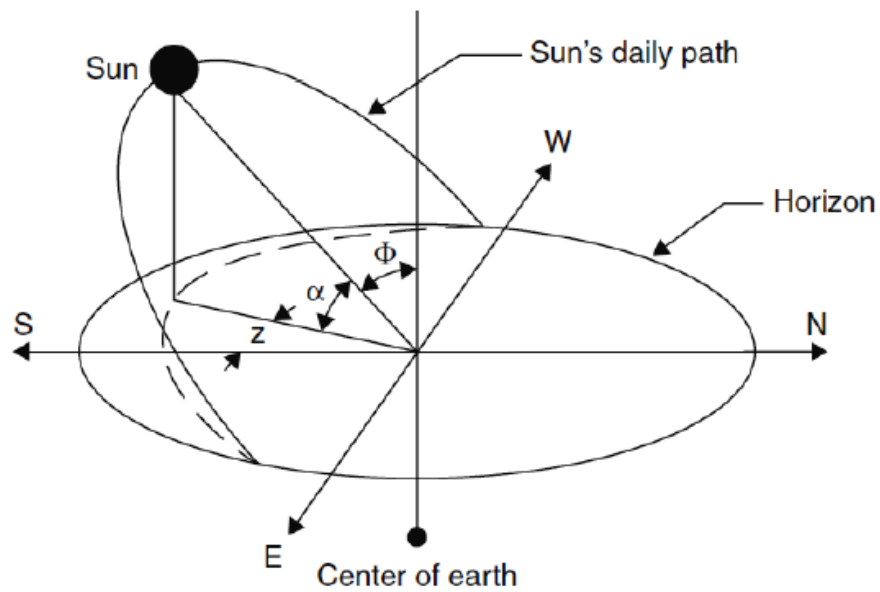
$$HSR = \cos^{-1} (\tan l - \tan \delta) / 15 \quad 7-2$$

و همچنین غروب آفتاب با استفاده از معادله ۸-۲ محاسبه می‌گردد:

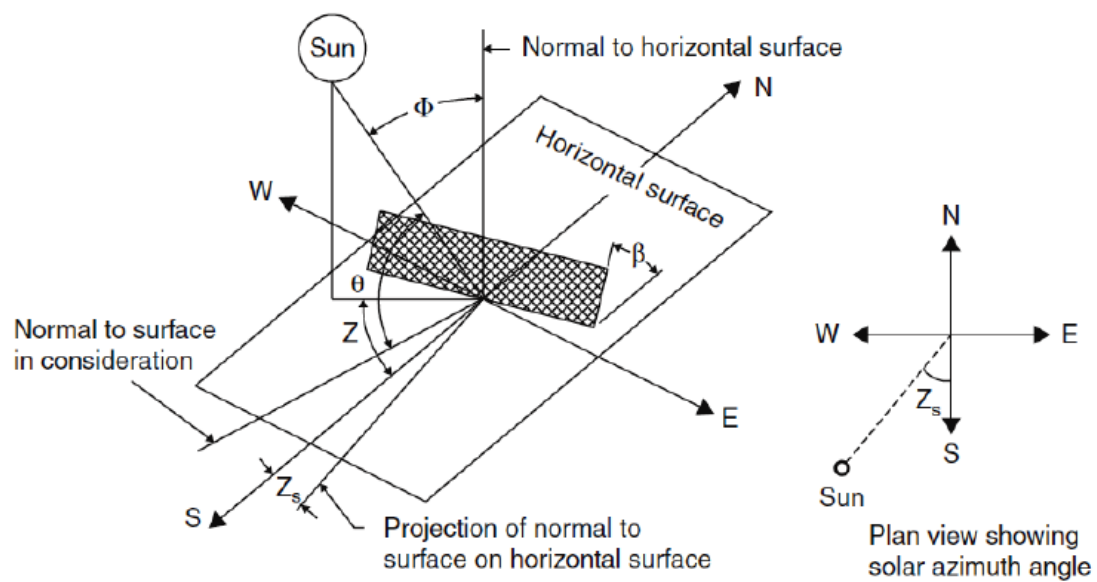
$$Hss = -\cos^{-1} (\tan l - \tan \delta) / 15 \quad 8-2$$



شکل ۵-۲ (۱۴)



شکل ۶-۲ مسیر حرکتی خورشید در طول روز (۱۵)

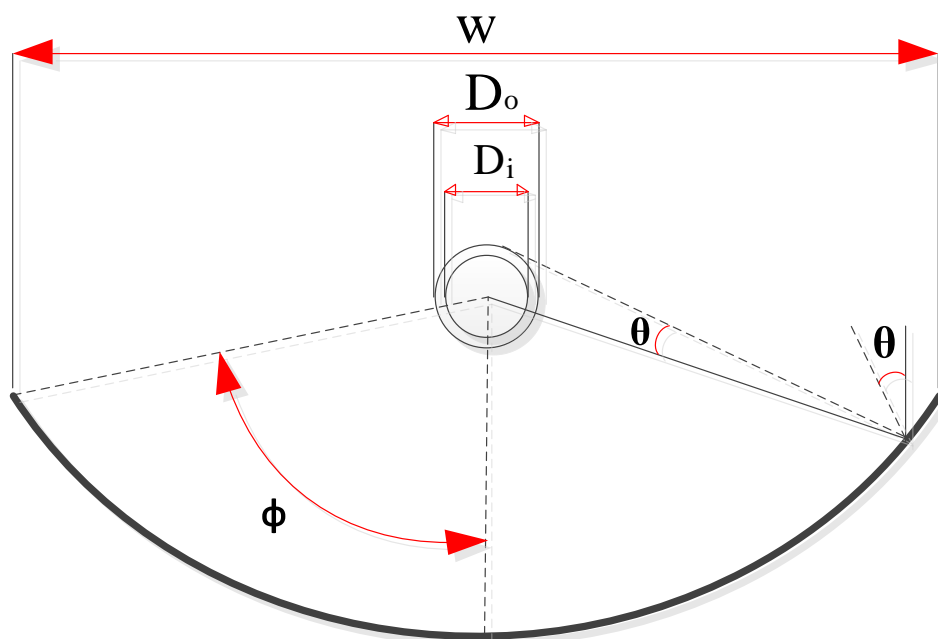


شکل ۷-۲ معرفی زوایای خورشیدی (۱۵)

### ۲-۳-۵ نیم زاویه پذیرش ( $\theta$ ):

نیم زاویه پذیرش عبارت است از زاویه ای که در آن محدوده بتوان یک منبع نقطه ای را جابجا کرد ولی تصویر آن هنوز بر روی گیرنده کانونی باشد (شکل ۸-۲). در کلکتورهای سهموی زاویه پذیرش نقش مهمی در تشکیل درست تصویر بر روی جذب کننده دارد و هر چندر زاویه پذیرش کوچک باشد، لازم است که پیگردی دقیق تری توسط گردآورنده صورت پذیرد.

نسبت تمرکز: عبارت است از نسبت مساحت دهانه (Aperture) کلکتور به مساحت جذب کننده (Receiver) (۱۶).



شکل ۸-۲ مشخصات هندسی کلکتور سهموی خطی

## فصل ۳

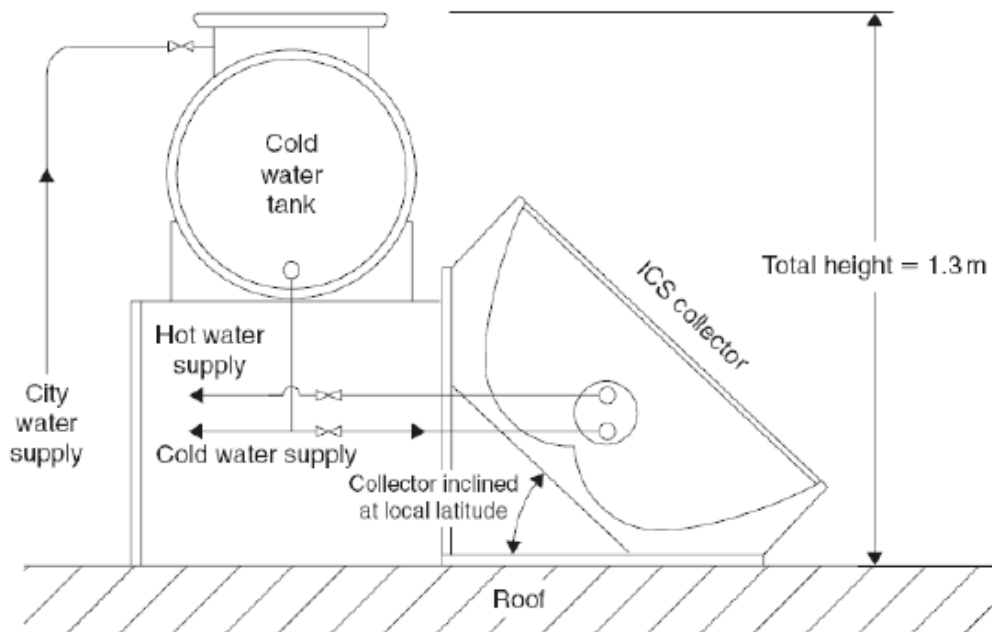
# معرفی و محاسبات مربوط به کلکتور خورشیدی

### ۳-۱ عملکرد یک کلکتور به صورت کلی

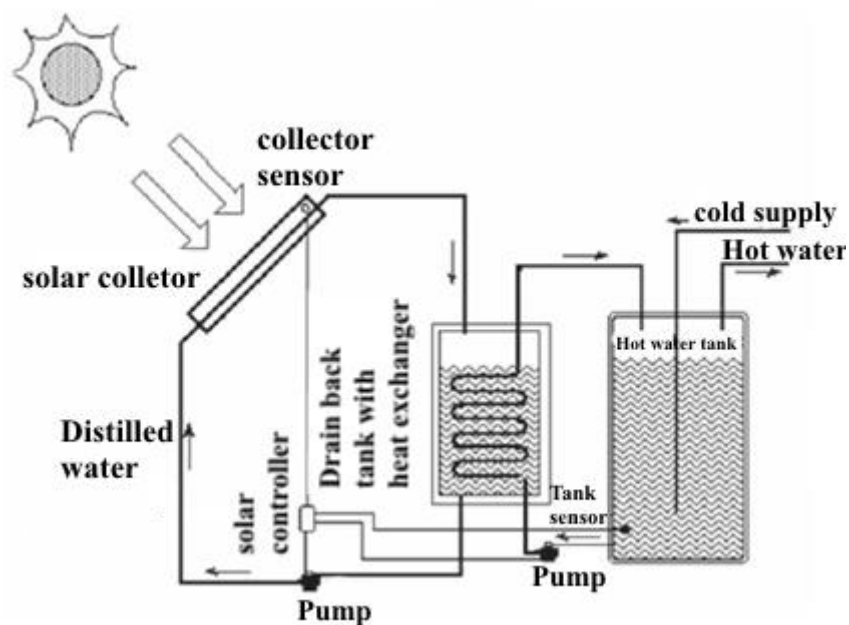
یک کلکتور همان طور که از نامش پیداست به معنی جمع آوری کننده انرژی خورشیدی می باشد. به طور ساده می توان گفت که در این سیستمها گرمای جمع آوری شده از خورشید به یک سیال ثانویه اعم از هوا، آب و روغن ها منتقل می شود تا در جایی که مورد نیاز است استفاده گردد. به طور کلی یک کلکتور شامل یک صفحه با لوله جاذب می باشد که سیال از زیر آن رد شده و گرمای گرفته شده از خورشید را منتقل می کند. در اینجا لازم است که مختصری راجع به نحوه انتقال گرما از کلکتور به مخزن را که به دو نوع غیر فعال (passive) و فعال (active) تقسیم می شوند، توضیح داد. در سیستم غیر فعال (شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲)، سیال گرم شونده که آب مصرفی یا سیال دیگری مثل ضد یخ یا روغن است، پس از گرم شدن در کلکتور، به طریق جابجایی آزاد به سمت مخزن حرکت می کند. مزیت این سیستمها عدم نیاز به انرژی الکتریکی جهت فعالیت پمپ و سیستم کنترل است و عیب این سیستمها بازدهی پایین است. در صورتی که سیال گرم شونده همان آب مصرفی باشد، باید رسوب گرفتگی لوله های کلکتور و در نتیجه کاهش سال به سال بازدهی، خوردگی لوله های کلکتور، یخ زدگی در زمستان و بازدهی پایین تر را نیز به مشکلات آنها اضافه کرد. در سیستم



فعال (شکل ۳-۲) ، سیال گرم شونده توسط پمپ در سیستم به گردش در می آید و پس از جمع آوری گرمای کلکتور از طریق جابجایی اجباری، آن را به وسیله یک مبدل حرارتی به آب مخزن منتقل می کند. این سیستمها دارای بازدهی بالاتری بوده ولی در عین حال به هزینه بیشتری جهت پمپ، مبدل و رسوب گیری سطح بیرونی مبدل داخل مخزن نیاز دارند(۱۷).



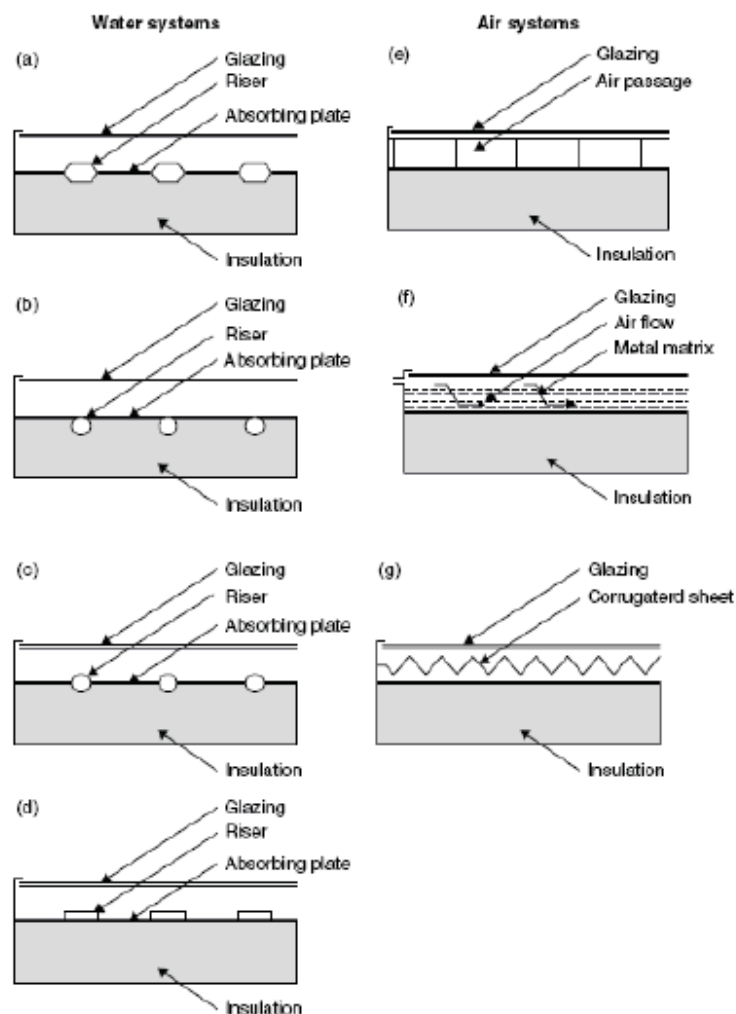
شکل ۳-۱ شماتیک کلکتور غیر فعال(۱۷)



## ۳-۲ انواع کلکتور

### ۳-۲-۱ کلکتورهای صفحه تخت

این کلکتور ساده ترین و پر استفاده ترین نوع کلکتور به شمار می رود. ساختار آن به شکل یک جعبه مستطیل شکل بوده که در داخل آن یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم با پوششی به رنگهای خاص قرار گرفته است. این صفحه نور خورشید را جذب و به گرما تبدیل می کند و سپس گرمای تولید شده به سیال جاری در لوله ها منتقل می گردد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳ انواع کلکتورهای صفحه تخت (۱۸)

کلکتورهای صفحه تخت را می توان به صورت های مختلفی دسته بندی کرد(۱۹) :

۱. بر مبنای پوشش مانند پوشش شیشه ای، با پوشش پلاستیکی، بدون پوشش، خلا .

۲. بر مبنای جاذب مانند جاذب فلزی، جاذب پلیمری .

۳. بر مبنای سیال گرم شونده مانند مایع، هوا .

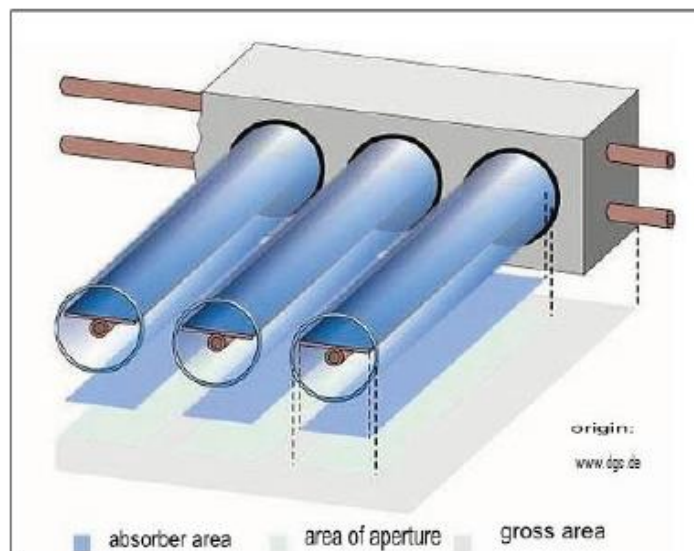
تا کنون فعالیتهای زیادی در راستای پایین آوردن تلفات حرارتی و افزایش بازده این سیستمها صورت گرفته است که از میان آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد کار بر روی تعداد پوششها و نوع و ضخامت آنها توسط ویلر (whillier) در سال ۱۹۶۳، کار بر روی انواع پوشش های انتخابی توسط تابر (Tabor) در سال ۱۹۶۴، کار بر روی نوع عایق به وسیله سالوجا و ویلر ( Saluja & Whillier ) در سال ۱۹۶۵، ایجاد پوشش ضد بازتابنده بر روی شیشه و گیرنده توسط هسیه و کلودوی ( & Hsieh Coldeway ) در سال ۱۹۷۴، ایجاد خلا در فضای بین شیشه و جذب کننده توسط سیمن (simon) در سال ۱۹۷۵، ایجاد پوشش آئینه ای بر روی قسمت داخلی شیشه توسط وینگارنر (Winegarner) در سال ۱۹۷۶، کار بر روی فاصله بین شیشه و صفحه جاذب توسط ناهار و گارگ ( Nahar & Garg ) در سال ۱۹۸۰، اثرات تشکیل گرد و غبار بر روی شیشه گیرنده توسط ناهار و گوپتا ( & Gupta Nahar ) در سال ۱۹۹۰ و متوقف کردن حرکت سیال در بالای جذب کننده توسط الاندز (Hollands) در سال ۱۹۶۵ و ناهار (Nahar) در سال ۱۹۹۵ انجام شده است(۲۰).

لازلو (Lazlo) در سال ۱۹۶۵ بر اساس پیشرفتهایی که در سال ۱۹۵۷ در زمینه کوره های خورشیدی حاصل شده بود، تحقیقات گسترده ای را در زمینه کوره های خورشیدی انجام داد. با توسعه استفاده از انرژی خورشیدی در دهه های اخیر انواع دیگر کلکتور های خورشیدی مورد آزمایش قرار گرفت. اما از دیدگاه مهندسی ، متمرکز کننده ها و کلکتورهای تخت دارای یک مشکل اساسی می باشند. آنها باید به گونه ای ساخته شوند که بتوانند خورشید را دنبال کنند به غیر از حالت هایی که دارای نرخ تمرکز کم هستند. در نتیجه بیشترین مقدار تابش عمودی می تواند به طور مستقیم وارد سطح جاذب شود. با این حال طرحهای موجود دارای طیف وسیعی از اشکال هستند که به طراح اجازه می دهد طرح های جدیدی را بیازماید. همچنین در سالهای اخیر با توجه به پیشرفت هایی که در زمینه مواد صورت گرفته است می توان از تجهیزات جدیدی جهت بهره وری بیشتر در سیستم و بهبود شرایط نگهداری و بهره برداری مورد استفاده قرار داد. پیشرفتهای اخیر می تواند کیفیت

سیستمهای اپتیکی را برای مدت زمان طولانی در مقابل آلودگی هوا، اکسیداسیون و تغییرات آب و هوایی حفظ کند.

### ۳-۲-۲ کلکتورهای لوله خلا

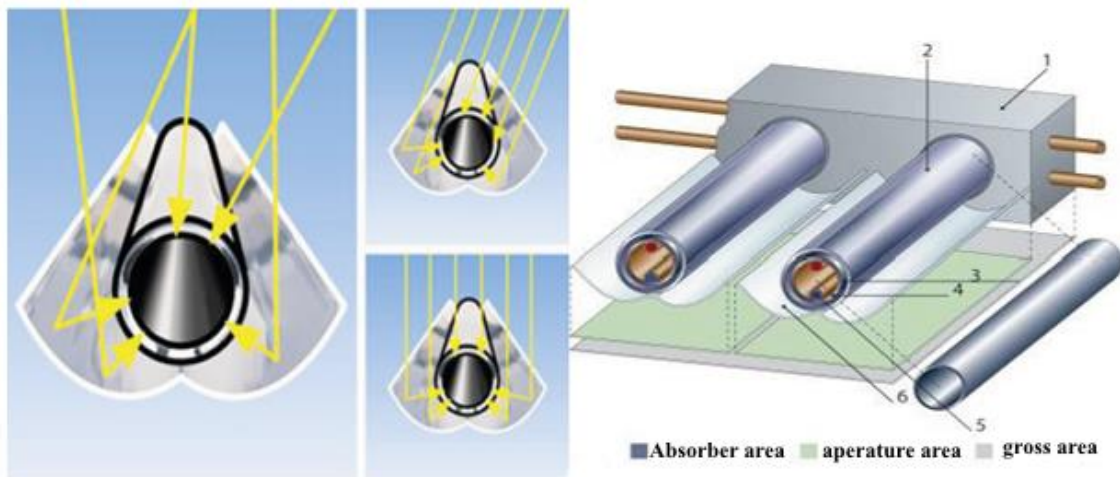
این کلکتور از تعدادی لوله دو جداره شفاف موازی تشکیل شده است. هوا از فضای بین دو جداره خارج گردیده و خلا ایجاد شده از اتلاف حرارت جلوگیری می کند. این کلکتورها از انواع متعارف کلکتورهای صفحه تخت برای استفاده در مناطق گرم و آفتاب خیز به حساب می آیند. مزیت این نوع کلکتور توانایی در ایجاد دمای بالاتر می باشد. کار آیی این نوع کلکتورها در شرایط نامساعد جوی، روزهای سرد، ابری و طوفانی به شدت کاهش می یابد. علاوه بر آن، شرایط آب و هوایی منطقه نظیر فشار هوا و میزان رطوبت موجب تسریع در فرسودگی اجزاء داخلی این گونه کلکتورها و در نهایت موجب کاهش بازده و خرابی سیستم می شود. کارکرد کلکتورهای لوله گرمایی متفاوت از سایر کلکتورها میباشد (۲۱). این کلکتورها همان طور که در شکل بعد نشان داده شده است، عبارتند از یک لوله گرمایی (Heat pipe) که درون یک لوله خلا شیشه ای قرار گرفته است. کلکتورهای لوله گرمایی با بهره بردن از تغییر فاز مایع- بخار مواد، موجب انتقال حرارت با راندمان بالا می شوند (۲۲) (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴ کلکتورهای لوله خلا و اجزای آن (۲۲)

### ۳-۲-۳ کلکتورهای CPC

کلکتورهای نوع جفت سهموی یا CPC ها از نوع کلکتورهای بدون تصویر هستند. این کلکتورها قادرند که تمامی پرتوهای ورودی خورشیدی را به بخش جاذب کلکتور بتابانند. استفاده از این سیستم ها به عنوان کلکتورهای خورشیدی مورد توجه وینستون قرار گرفت. همان طوری که در شکل نشان داده شده است، با قرار دادن دو نیمه سهمی گون در مقابل یکدیگر میتوان نیاز این کلکتور به دنبال کردن خورشید را کاهش داد(۲۳). این نوع کلکتورها می توانند اشعه های تابشی خورشید را در محدوده بسیار زیادی دریافت کنند. با استفاده از بازتاب دهنده های داخلی، هرگونه اشعه ورودی از دهانه کلکتور به سمت جذب کننده ای که در پایین کلکتور قرار دارد، هدایت می شود. به خاطر اینکه قسمت های بالایی بازتاب دهنده این کلکتورها تنها بخش کوچکی از پرتوهای ارسالی به جاذب را فراهم می کنند، به همین دلیل میتوان برای کوچکتر کردن این کلکتور قسمت بالایی بازتاب دهنده آن را کوتاه کرد(۲۴). انجام این کار موجب کاهش قیمت و ابعاد کلکتور می شود. دهانه CPC ها معمولاً به وسیله شیشه پوشیده می شود تا از ورود گرد و غبار و سایر مواد به داخل کلکتور که موجب کاهش خاصیت بازتابی آن می شود، جلوگیری بعمل آید. این نوع کلکتورها از انواع سهموی خطی به لحاظ کاربری ساده تر می باشند(۲۵). علاوه بر آن بسته به اندازه زاویه دریافت، کلکتور می تواند به صورت ثابت قرار گیرد یا اینکه خورشید را دنبال کند. زاویه دریافت عبارتست از زاویه ای که یک منبع نور می تواند در بین این زاویه حرکت کرده و روی جاذب همگرا شود. محور طولی یک بازتاب دهنده CPC می تواند نسبت به زاویه اصلی، در جهت شمال جنوب یا شرقی غربی قرار گیرد. دهانه کلکتور باید با زاویه ای به اندازه عرض جغرافیایی منطقه نصب شده و به سمت استوا متمایل باشد. هنگامیکه محور کلکتور در جهت شمالی - جنوبی قرار گیرد کلکتور باید حول محور طولی، خورشید را دنبال کند. در صورتیکه زاویه دریافت یا دهانه کلکتور باندازه کافی بزرگ باشد، نیازی به تنظیم شیب کلکتور با تغییر فصل نیست و کلکتور می تواند به طور ثابت قرار گیرد. البته دریافت اشعه های خورشید فقط در ساعاتی که خورشید در زاویه دریافت قرار گیرد میسر است. هنگامی که کلکتور نسبت به محور طولی آن در جهت شرقی - غربی قرار می گیرد، با اندکی تنظیم زاویه شیب نسبت به فصل، می تواند به نحو مطلوبی اشعه های خورشید را دریافت نماید(۲۶ و ۲۷) (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵ کلکتورهای CPC و اجزای آن (۲۶ و ۲۷)

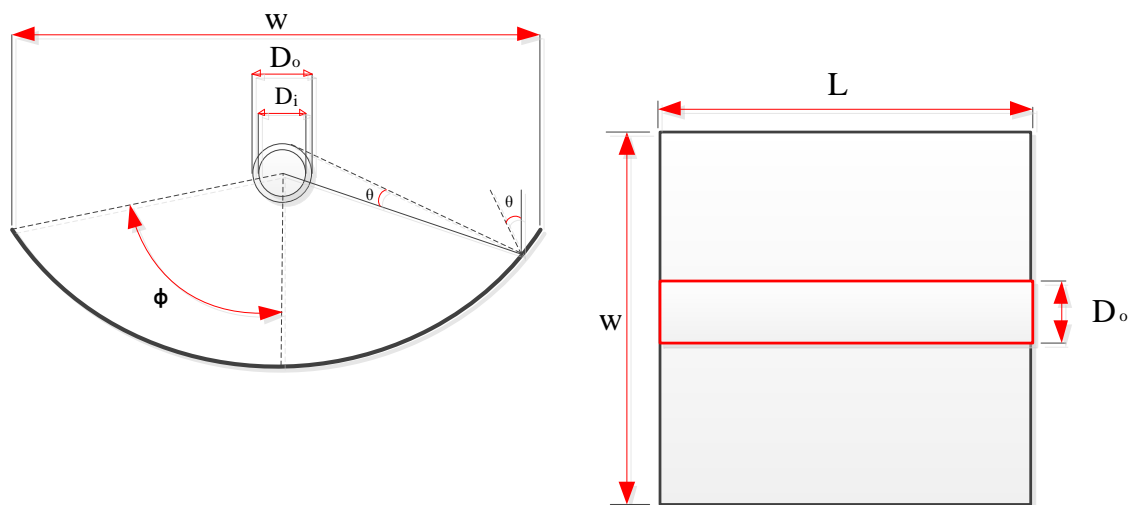
### ۳-۲-۴ کلکتورهای سهموی خطی

تعریف کلی متمرکز کننده های سهموی خطی : برای بسیاری از کاربرد ها به دمای بالاتری از آنچه کلکتور های تخت می توانند فراهم کنند نیاز است. برای بالا بردن دما، می توان انرژی تحویلی سطحی را که از آن افت حرارت داریم کاهش دهیم. برای این منظور از یک وسیله نوری (اپتیکالی) بین سطح تابش کننده و سطح جذب کننده استفاده می شود. یک جذب کننده با سطح کوچک نسبت به کلکتور های تخت انتقال حرارت از دست رفته کمتری را در ازای یک دمای یکسان سطح دارد (۲۸).

متمرکز کننده ها می توانند یک بازتاب کننده یا شکننده نور به صورت استوانه ای یا کاملاً دورانی باشند و به صورت پیوسته یا مجزا قرار گیرند. رسیورها یا دریافت کننده ها می توانند به صورت محدب، مقعر یا تخت بوده و دارای پوشش یا به صورت باز در محیط قرار گیرند. نرخ تمرکز (نسبت سطح دهانه کلکتور به سطح متمرکز کننده نور) به صورت تخمینی یک عامل برای بالا بردن نرخ انرژی تابشی در جاذب انرژی به حساب آمده و می تواند عاملی تعیین کننده در انواع و اقسام اندازه کلکتور ها باشد (۲۹).

به طور کلی با پرهیز از اصطلاحات فنی واژه جمع کننده به کل سیستم جمع آوری انرژی خورشیدی اطلاق می شود که شامل جاذب و متمرکز کننده است. جاذب یک بخشی از سیستم است

که جذب تابش خورشیدی و تبدیل آن به صورت های دیگر انرژی را بر عهده دارد و شامل صفحه جذب کننده ، پوشش های مربوطه و عایق ها می شود. متمرکز کننده و یا سیستم اپتیکی ، قسمتی از جمع کننده است که تابش را مستقیم به درون دریافت کننده یا جاذب می فرستد. دهانه کلکتور یک قسمت تمام باز است که تابش خورشیدی را وارد کلکتور می کند. بخشهای اپتیکی سیستم و انتقال حرارت آن که از مهم ترین مسائل در متمرکز کننده ها است و شکل ۳-۶ شماتیک کلی یک سهموی خطی نمای کلی یک کلکتور سهموی خطی را نشان می دهد.



شکل ۳-۶ شماتیک کلی یک سهموی خطی

### ۳-۲-۵ پارامترهای تاثیر گذار در کلکتور سهموی خطی

در این کلکتورها زاویه برخورد روی سطح متمرکز کننده بسیار مهم است لذا بهره گیری از ردیابی خورشیدی در آنها ضروری است. برای تمرکز بر روی جمع کننده ها جهت بازتابش نور مستقیم بیشتر بر روی جاذبها انواع گوناگون مکانیزمهای عمود کننده طراحی شده است. این مکانیزم ها نیازمند محاسبات اپتیکی است که شامل سیستم های پیچیده دو جهته نیز می شود. در سیستم استوانه های خطی در صورتی که خورشید در وسط متمرکز کننده قرار گیرد تابش مستقیم بر روی دریافت کننده متمرکز میشود (طرح شامل محور کانونی و خط الراس است). این کلکتور ها میتوانند بر روی یک محور بچرخند که این محور می تواند شمال به جنوب، شرق غرب و یا موازی محور زمین متمایل باشد که در این مورد مقدار چرخش برابر است با ۱۵ درجه در ساعت.

تفاوت بسیار زیادی در مقدار تابش مستقیم، متغیر با گذشت زمان، و کیفیت به دست آمده از این سه نوع جهت گیری وجود دارد. سیستم های متمایل می تواند به طور پیوسته یا نزدیک به

پیوسته با حرکت خورشید خود را تطبیق دهند. تعدادی از کلکتورهای خطی با تمرکز پایین به طور متناوب می توانند خود را با تابش خورشید تطبیق دهند. در بعضی از طراحی ها برای تغییرات هفته-ای، ماهیانه و یا فصلی، ردیابی پیوسته متمایل به صورت دستی یا مکانیزه صورت می گیرد. سیستم های دستی بر پایه مشاهده و یا مهارت شخص (اپراتور) برای اصلاح استوار است که برای بعضی از اهداف که نرخ تمرکز و قیمت دستمزد بالا نباشد مناسب است. این سیستم برای نقاطی که هزینه کارگر زیاد نباشد پیشنهاد داده میشود.

سیستم متمایل مکانیزه می تواند خورشید را دنبال کند یا بر حسب برنامه ای که به آن داده میشود خود را تطبیق دهد. مدل مکانیزه دنبال کننده خورشید دارای سنسوری است که تغییرات را مشخص می کند و به یک کنترلر برای اصلاح جهت نیازمند است. از طرف دیگر مدل برنامه ریزی شده آن کلکتور را به مقدار از قبل مشخص شده حرکت می دهد ( ۱۵ درجه در ساعت (deg/h) در جهت محور قطب ها) و در فواصل زمانی منظم برای اطمینان آن را چک می کند. برای مزیت بیشتر مدل های دستی و اتوماتیک ردیابی را با هم ترکیب می کنند. برای اصلاحات کوچک و یا ردیابی خورشید در مواقع دشوار از برنامه نویسی کامپیوتری استفاده می شود اما تغییرات بزرگ به صورت دستی انجام می پذیرد. هر سیستمی باید توانایی تطبیق موقعیت کلکتور را از انتهای روز تا آغاز روز بعد داشته باشد، سیستم بایستی بتواند حتی در زمان وجود ابرهای پراکنده در آسمان و یا زمانی که خورشید کاملاً پنهان میشود و نیز در زمان باد های شدید برای جلوگیری از خرابی عمل تطبیق را انجام دهد (۲۹).

هر کلکتور سهموی از دو بخش اصلی تشکیل شده است:

۱. متمرکز کننده که به شکل یک آینه مقعر است و جنس سطح آن عموماً طلق آینه ای یا

صفحه استیل صیقل داده شده است.

۲. دریافت کننده یا لوله جاذب متمرکز کننده که معمولاً یک لوله فلزی بدون پوشش شیشه ای

می باشد.



در طراحی یک کلکتور علاوه بر جنس مواد سازنده می بایستی خصوصیات مثل نسبت تمرکز و نیم زاویه پذیرش<sup>۱</sup> را مورد توجه قرار داد. زیرا این خصوصیات نقش مهمی در میزان انرژی دریافتی از خورشید را دارند. یکی از مهمترین پارامترهای تعیین کننده میزان کارایی یک کلکتور، نسبت تمرکز سطحی آن است که به صورت نسبت سطح مساحت دهانه متمرکز کننده<sup>۲</sup> به مساحت جاذب تعریف میشود: (۳۰)

$$C = \frac{A_a}{A_r} = w / \pi D_o \quad ۱-۳$$

که در آن  $A_a$  و  $A_r$  به ترتیب مساحت دهانه متمرکز کننده و مساحت لوله جاذب می باشند.  $w$  عرض دهانه کلکتور و  $D_o$  قطر خارجی لوله جاذب می باشد که در شکل ۳-۶ شماتیک کلی یک سهموی خطی معرفی شده اند.

بسته به نوع کلکتور نسبت تمرکز سطحی دارای مقادیر حدی متفاوت است. با توجه به اینکه کلکتور مورد نظر از نوع سهموی است، مقدار معمول برای نسبت تمرکز در حدود ۱۵ است. (۳۱) برای بیشینه کردن انرژی دریافتی، ساخت کلکتور با حداکثر نسبت تمرکز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. حداکثر نسبت تمرکز برای کلکتورهای دو بعدی از معادله ۲-۳ محاسبه می شود

$$C_{max} = \frac{1}{\sin \theta} \quad ۲-۳$$

که در آن  $\theta$  نیم زاویه پذیرش یا نیمساز دربرگیرنده می خورشید است (شکل ۳-۶). این زاویه ای است که کلکتور در آن بدون تعقیب کردن قادر به جذب تشعشع خورشیدی است. برخی مراجع حداکثر نسبت تمرکز مناسب با زاویه پذیرش ۰٫۵ درجه را برای کلکتورهایی با تعقیب کننده تک محوره، ۱۱۰ و با زاویه پذیرش ۰٫۲۷ درجه ۲۱۶ ذکر کرده اند (۳۲ و ۳۳). برای یک کلکتور ثابت، زاویه متمرکز کننده به حرکت خورشید در آسمان بستگی دارد. در این صورت نیم زاویه پذیرش به محدوده ساعاتی که جمع آوری نور خورشید نیاز است، بستگی دارد. در این حالت نسبت تمرکز از معادله ۳-۳ بدست می آید:

$$C = \frac{1}{\sin(15h)} \quad ۳-۳$$

<sup>1</sup> Acceptance half-angle

<sup>2</sup> Consider the circular concentrator with aperture area

که در آن  $h$  تعداد ساعات جمع آوری مفید انرژی می باشد، که با توجه به اینکه سرعت خورشید در آسمان ۱۵ درجه بر ساعت است رابطه بالا بدست آمده است. فاصله کانونی،  $f$ ، با معلوم بودن مشخصات هندسی کلکتور با استفاده از معادله ۴-۳ محاسبه می شود:

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad ۴-۳$$

که در آن  $x$  نصف عرض کلکتور و  $y$  عمق کلکتور می باشد. زاویه لبه،  $\phi$ ، عبارت است زاویه بین خط محور سهمی و خط عبوری از یک لبه بازتاب کننده و با استفاده از معادله ۵-۳ محاسبه می شود.

$$\phi = \tan^{-1} [8(f/a) / 16(f/a)^2 - 1] \quad ۵-۳$$

که در این رابطه  $a$  شعاع لوله جاذب است. مقدار معمول برای زاویه لبه بین ۷۰ الی ۱۱۰ درجه می باشد (۳۱). نیم زاویه پذیرش باید به گونه ای باشد که در محدوده آن بتوان یک منبع نقطه ای را جا به جا کرد ولی تصویر آن بر روی گیرنده کانونی باقی بماند، بنابر این نیم زاویه پذیرش باید برای در بر گیری عرض خورشید به قدر کافی بزرگ باشد (۳۲).

هندسه متمرکز کننده در واقع هندسه سهمی است که تابش بر روی بازتاب کننده برخورد می کند. پرتو تابش در نقطه ای که شعاع متمرکز کننده حداکثر است، بر روی بازتاب کننده برخورد می کند.

ارتباط بین زاویه لبه، فاصله کانونی و شعاع منحنی در زوایای مختلف با استفاده از معادله ۶-۳ محاسبه می شود.

$$r = \frac{2f}{1 + \cos(\phi)} \quad ۶-۳$$

که در این رابطه  $r$  شعاع ماکزیمم بازتاب کننده است. از طرف دیگر نیم زاویه پذیرش با استفاده از شعاع لوله جاذب  $a$  و ماکزیمم شعاع دهانه کلکتور، از معادله ۷-۳ محاسبه می شود.

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{a}{r} \right) \quad ۷-۳$$

بنابراین  $a = r \sin \theta$  و معادله ۷-۳ به معادله ۸-۳ تغییر وضعیت می دهد.

$$C = \frac{w}{2\pi r \sin \theta} \quad ۸-۳$$

نسبت تمرکز و نیم زاویه پذیرش یک کلکتور سهموی در مقدار راندمان آن تاثیر بسزایی دارد. با افزایش نسبت تمرکز دمای لوله جاذب بالا می رود. اما نسبت تمرکز و نیم زاویه پذیرش را با هم نمی توان افزایش داد، به این معنی که انتخاب ابعاد قسمتهای مختلف کلکتور باید به گونه ای باشد که نسبت تمرکز مناسبی حاصل گردد و گردد. کمترین مقدار عملی برای زاویه پذیرش حدود ۰,۳۲ یا ۰,۵۳ درجه می باشد اما مقدار مناسب پیشنهاد شده حدود ۱ تا ۲ درجه است. به طور کلی نسبت تمرکز با افزایش زاویه برخورد کاهش می یابد (۳۴).

با افزایش نسبت تمرکز می توان دمای تولید شده در لوله دریافت کننده را افزایش داد اما این افزایش میزان تمرکز از لحاظ تئوری نباید به گونه ای باشد که زاویه برخورد تابش اشعه خورشید به سطح بازتاب کننده را تا حد غیر قابل قبول کاهش دهد. بهترین زاویه برخورد آرمانی برای کلکتورهای سهموی خطی برابر ۰,۲۷ درجه است که معادل نصف قرص خورشید است و برای این زاویه نسبت تمرکز ماکزیمم ۲۱۲ به دست می آید (۳۴).

در این طراحی با بررسی زوایای پذیرش کلکتورهای سهموی متعدد زاویه برخورد را انتخاب کرده و بنابر این نسبت تمرکز با توجه به ابعاد دهانه و قطر لوله جاذب به دست می آید. البته نسبت تمرکز را می توان با رعایت سایر فاکتورهای موثر افزایش داد.

### ۳-۳ معادلات انتقال حرارت و ترمودینامیک کلکتورهای سهموی

مقدار انرژی دریافتی از خورشید در نقاط مختلف و در زمان های مختلف سال متفاوت است. عوامل موثر در زاویه خورشید طول و عرض جغرافیایی آن منطقه است در کلکتورهای سهموی، انرژی مفید عبارت است از بخشی از انرژی خورشیدی که جذب سیال داخل لوله جاذب می شود. سیال داخل لوله جاذب بعنوان سیال انتقال حرارت (HTF)<sup>۳</sup> شناخته می شود. بنابراین انرژی مفید با استفاده از معادله ۹-۳ محاسبه می شود (۳۵):

$$Q_u = F_R [S A_{ap} - A_r U_L (T_f - T_a)] \quad 9-3$$

<sup>3</sup> Heat transfer fluid

که  $F_R$  ضریب برداشت حرارت<sup>۴</sup> و  $A_{ap}$  و  $A_r$  و  $D_g$  به ترتیب مساحت سطح تصویر ناحیه آفتابگیر ، مساحت جانبی لوله جاذب و قطر شیشه می باشند که با استفاده از معادلات ۱۰-۳ و ۱۱-۳ محاسبه می شوند:

$$A_r = \pi D_0 L \quad ۱۰-۳$$

$$A_{ap} = (w - D_g) \times L \quad ۱۱-۳$$

همچنین انرژی مفید که به سیال از طریق انتقال حرارت منتقل شده و موجب افزایش دمای آن می شود با استفاده از معادله ۱۲-۳ محاسبه می گردد.

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad ۱۲-۳$$

که در آن  $\dot{m}$  و  $c_p$  و  $T_o$  به ترتیب جرم دبی جریان سیال انتقال حرارت، ظرفیت گرمایی ویژه سیال انتقال حرارت و دمای خارجی سیال انتقال حرارت هستند.

در معادله ۹-۳ ضریب برداشت حرارت از طریق معادله ۱۳-۳ بدست می آید:

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p}{A_r U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{U_L F' A_r}{\dot{m} c_p} \right) \right] \quad ۱۳-۳$$

که  $F'$  ضریب راندمان کلکتور است و با استفاده از معادله ۱۴-۳ محاسبه می شود:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{D_i h_{fi}} + \left[ \frac{D_o}{2k} \ln \frac{D_o}{D_i} \right]} \quad ۱۴-۳$$

در معادله بالا  $h_{fi}$  ضریب انتقال حرارت همرفتی سیال انتقال حرارت است.  $h_{fi}$  را می توان از معادله ۱۵-۳ یافت:

$$N_U = \frac{D_i h_{fi}}{K_f} \quad ۱۵-۳$$

برای شرایط جریان آرام داخل لوله گیرنده  $N_U = 4.364$  ثابت است. همچنین برای شرایط جریان آشفته  $N_U$  با استفاده از معادله ۱۶-۳ تعریف می شود:

---

<sup>۴</sup> Heat removal factor

$$N_U = 0.023(Re)^{0.8}(Pr)^{0.4} \quad ۱۶-۳$$

که Re عدد رینولدز<sup>۵</sup> است و با استفاده از معادله ۱۷-۳ محاسبه می گردد.

$$Re = \frac{\rho V D_i}{\mu} \quad ۱۷-۳$$

و همچنین Pr<sup>۶</sup> نشان دهنده عدد پرانتل است و با استفاده از معادله ۱۸-۳ محاسبه می گردد:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k_f} \quad ۱۸-۳$$

در تمام معادلات  $U_L$  ضریب انتقال حرارت کلی می باشد که با توجه به ساختار لوله جاذب، از طریق معادله ۱۹-۳ محاسبه می شود

$$U_L = \left[ \frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} \quad ۱۹-۳$$

که در آن  $h_r$  و  $h_w$  به ترتیب ضریب انتقال حرارت تابشی و جابجایی از سطح لوله جاذب به محیط می باشند.

$h_w$  که مبین تلفات حرارتی از طریق جابجایی می باشد بر حسب سرعت باد و عدد رینولدز با

$$h_w = \frac{(N_u)k_w}{D_g} \quad ۲۰-۳$$

استفاده از معادله ۲۰-۳ محاسبه می شود.

$$N_U = 0.4 + 0.54(Re)^{0.52} \quad 0.1 < Re < 1000 \quad ۲۱-۳$$

$$N_U = 0.3 + (Re)^{0.6} \quad 1000 < Re < 50,000 \quad ۲۲-۳$$

$h_r$  ضریب تابش خطی از لوله جاذب به محیط می باشد و با استفاده از معادله ۲۳-۳ بدست

می آید:

$$h_r = \varepsilon_r \sigma (T_r + T_a)(T_r^2 + T_a^2) \quad ۲۳-۳$$

<sup>۵</sup> Reynolds number

<sup>۶</sup> Prandtel number

که در این معادله  $\epsilon_r$  ضریب نشر لوله جاذب می باشد.

### ۳-۴ محاسبه شدت تابش خورشیدی

برای محاسبه شدت تابش خورشیدی می توان از معادلات معرفی شده توسط دافی و بکمن بصورت زیر استفاده کرد (۳۵) (۳-۲۴ الی ۳-۲۷). در این روابط  $G$  شدت تابش روی صفحه مورد نظر می باشد و  $t$  اندیس صفحه مایل و  $n$  اندیس صفحه عمود بر پرتو خورشید و  $H$  معرف صفحه افقی می باشد.

$$G = G_{bn} \times \cos \theta \quad ۲۴-۳$$

$$G_{bn} = \frac{G_b}{\cos \phi} \quad ۲۵-۳$$

$$GB_t = \frac{GB}{\cos \phi} \times \cos \theta \quad ۲۶-۳$$

$$E_b = \sigma t^4 \quad ۲۷-۳$$

برای محاسبه میزان انرژی دریافتی توسط پنل خورشیدی در واحد سطح ابتدا باید میزان تابش متوسط روزانه  $H$  را معین نمود. این مقادیر برای شهرهای مختلف در تمام ماه های سال اندازه گیری و محاسبه شده و مطابق معادله ۳-۲۸ قابل دستیابی است.

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{n} \times (1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}) \times (\cos \phi \times \cos \delta \times \sin \omega \quad -۳$$

$$\times \frac{\pi}{180} \omega \times \sin \phi \times \sin \delta) \quad ۲۸$$

نسبت تابش مستقیم روی سطح شیب دار به سطح افق  $R_b$  با استفاده از معادله ۳-۲۹ قابل دستیابی است.

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \times \cos \delta \sin \omega + \frac{\pi}{180} \omega \times \sin(\phi - \beta) \times \sin \delta}{\cos \phi \times \cos \delta \times \sin \omega + \frac{\pi}{180} \omega \times \sin \phi \times \sin \delta} \quad ۲۹-۳$$

نسبت تابش کل روی سطح شیب دار به سطح افق نیز از طریق معادله ۳-۳۰ قابل محاسبه است:

$$R = \left(1 - \frac{H_0}{H}\right) R_b + \frac{H_0}{H} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + p \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad ۳۰-۳$$

که در آن  $\beta$  شیب صفحه است.

محاسبات ماهانه

تشعشع روی صفحه ی شیب دار شامل تشعشع مستقیم، تشعشع پراکنده و تشعشع بازتابیده شده از سطوح است و به صورت معادله ۳-۳۱ محاسبه می شود.

$$\bar{H} = \bar{H}_b R_b + \bar{H}_d R_d + \bar{H} \rho R_r \quad ۳۱-۳$$

که در آن  $\bar{H}_b$  و  $\bar{H}_d$  و  $\bar{H}$  به ترتیب بیانگر میانگین ماهانه شدت تابش مستقیم، پراکنده و کلی روی صفحه ی افقی می باشد. در رابطه ی بالا ضرایب  $R_b$ ،  $R_d$  و  $R_r$  به ترتیب میانگین ماهانه ضرایب تشعشع مستقیم، پراکنده و بازتابیده شده می باشند.  $\rho$  ضریب بازتابش سطح است که برای سطوح مختلف در محدوده ۰٫۲ تا ۰٫۷ می باشد (۳۵). از طرفی می توان تشعشع روی صفحه شیب دار را از معادله ۳-۳۲ نیز محاسبه کرد.

$$\bar{H}_t = \bar{H} \times \bar{R} \quad ۳۲-۳$$

در این رابطه  $\bar{H}$  همان میانگین ماهانه شدت تابش کلی می باشد.  $\bar{H}$  به وسیله اندازه گیری هایی که توسط پیرانومتر انجام می شود، به صورت ماهانه ارایه می گردد.  $\bar{R}$  نیز از معادله ۳-۳۳ محاسبه می گردد.

$$\bar{R} = \left[1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\right] \bar{R}_B + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho_G \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad ۳۳-۳$$

که در آن  $\bar{H}_D$ ،  $\rho_G$  و  $\beta$  به ترتیب ضریب انعکاس زمین، متوسط ماهانه تابش پراکنده روزانه و شیب صفحه خورشیدی نسبت به افق می باشد. در این مقاله مقدار  $\rho_G$ ، ۰٫۳ فرض شده است. در ادامه روابط مربوط به محاسبه  $\bar{H}_D$  و  $\bar{R}_B$  در معادله ۳-۳۴ بیان می شود.

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(L - \beta) \cos \delta \sin(h'_{ss}) + h'_{ss} \sin(L - \beta) \sin \delta}{\cos L \cos \delta \sin(h_{ss}) + h_{ss} \sin L \sin \delta} \quad ۳۴-۳$$

که در آن  $L$  بیانگر عرض جغرافیایی محل،  $\beta$  شیب صفحه نسبت به افق،  $\delta$  زاویه ی انحراف خورشیدی،  $h_{ss}$  زاویه ی ساعت غروب خورشید و  $h'_{ss}$  زاویه ی غروب خورشید برای صفحه با شیب  $\beta$

می باشد که با استفاده از روابط هندسی خورشیدی برای میانگین ماهانه قابل محاسبه می باشد (معادله ۳-۳۵):

$$h'_{ss} = \min \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}[\tan L \tan \delta] \\ \cos^{-1}[-\tan(L - B) \tan \delta] \end{array} \right. \quad ۳۵-۳$$

و  $\delta$  نیز از معادله ۳-۳۶ به دست می آید:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad ۳۶-۳$$

که N در این رابطه بیانگر شماره روز سال میلادی می باشد.

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = \begin{cases} 1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3 & h_{ss} < 81.4 \\ 1.311 - 3.002\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3 & h_{ss} > 81.4 \end{cases} \quad ۳۷-۳$$

در معادله ۳-۳۷  $\bar{K}_T$  میانگین ماهانه شاخص پاکی می باشد که توسط معادله ۳-۳۸ تعیین می گردد. لازم به ذکر است که استفاده از رابطه بالا تنها در شرایطی امکان پذیر است که شاخص پاکی آسمان در محدوده  $0.3 < \bar{K}_T < 0.8$  باشد.  $\bar{K}_T$  تابعی از تشعشع کلی روی صفحه افقی و تشعشع فراجوی میانگین ماهانه ( $\bar{H}_0$ ) است و به شکل روابط زیر تعریف می شود:

$$\bar{K}_T = \left( \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \right) \quad ۳۸-۳$$

که  $G_s$  ثابت خورشیدی می باشد و مقدار آن برابر است با  $G_s = 1367 \left( \frac{W}{m^2} \right)$  است (۳۵). به عبارتی  $G_s$  بیانگر میزان انرژی تابشی خورشیدی است که به یک متر مربع از یک صفحه عمود بر پرتو در بیرون جو می رسد.

محاسبات روزانه

تابش کل روزانه برخوردی به صفحه ی شیب دار رو به جنوب بیرون از جو از معادله ۳-۳۹ به دست می آید (۳۶ و ۳۷).

$$I_{day} = \frac{24}{\pi} I_o \left[ 1 + 0.034 \cos \left( \frac{2\pi N}{365} \right) \right] \times [\cos(L - \beta) \times \cos \delta \times \sin(h_{ss}) + h_{ss} \sin(L - \beta) \sin \delta] \quad ۳۹-۳$$

و  $\delta$  نیز از معادله ۳-۴۰ محاسبه می شود:

$$\delta = -23.45 \left[ \frac{(N + 10.5)360}{365} \right] \quad ۴۰-۳$$

$I_o$  در این رابطه ثابت بوده و برابر با  $1367 \left( \frac{W}{m^2} \right)$  می باشد. به منظور محاسبه شیب بهینه روزانه کافیهست از رابطه ی بالا مشتق بگیریم و آن را برابر صفر قرار دهیم. بنابر این شیب بهینه با استفاده از معادله به دست می آید.

$$\beta_{opt} = L - \tan^{-1} \left[ \left( \frac{h_{ss}}{\sin h_{ss}} \right) \tan \delta \right] \quad ۴۱-۳$$



## فصل ۴

### طراحی کلکتور با استفاده از نرم افزار

#### ۴-۱ طرح یک کلکتور با استفاده از اعداد و نقشه های طراحی شده

همانطور که مشخص است مواردی مانند عرض دهانه کلکتور، نصف عرض کلکتور، قطر لوله جاذب، شعاع لوله جاذب، فاصله کانونی، زاویه لبه، شعاع ماکزیمم بازتاب کننده، نیم زاویه پذیرش، نسبت تمرکز عمق کلکتور در طراحی و ساخت یک کلکتور بسیار تعیین کننده بوده و بدون موارد ذکر شده طراحی امکان پذیر نمی باشد بنابراین با توجه به معادلات فصل قبلی این اعداد محاسبه گردید و در نرم افزار به جهت طراحی مورد استفاده قرار گرفت. اعداد نشان داده شده درجدول ۴-۱ می باشند که مقدار هر کدام از موارد بالا را نشان می دهند.

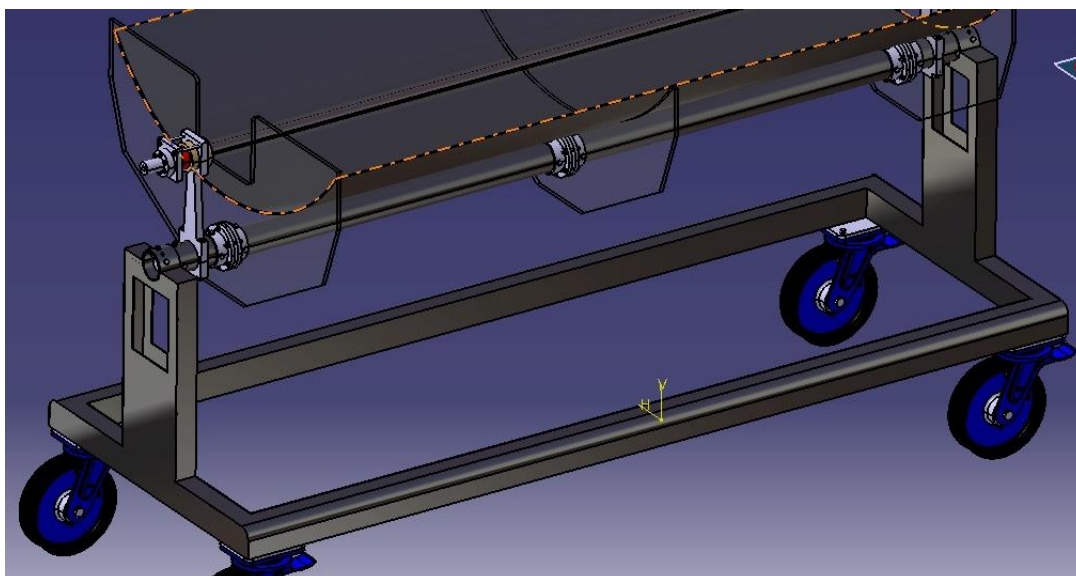
جدول ۴-۱ مشخصات فیزیکی کلکتور (۳۸)

آیتم	حرف لاتین اختصاص داده شده	مقدار	واحد
عرض دهانه کلکتور	w	۱	m
نصف عرض کلکتور	x	۰,۵۰۰	m
قطر لوله جاذب	d	۰,۰۲۸	m
شعاع لوله جاذب	a	۰,۰۱۴	m
فاصله کانونی	f	۰,۲۵	m

آیتم	حرف لاتین اختصاص داده شده	مقدار	واحد
زاویه لبه	$\Phi$	۹۰	deg
شعاع ماکزیمم بازتاب کننده	r	۰,۵۰۰	m
نیم زاویه پذیرش	$\theta$	۱,۶۳	deg
نسبت تمرکز	c	۱۱,۱۴	-
عمق کلکتور	y	۰,۲۵۰	m

در ابتدا برای پایه می‌بایست از پروفیل آهن ۳ میلیمتر استفاده نمود و چون بار بر روی پایه از نوع بار استاتیکی می‌باشد، بحث خستگی مطرح نیست و فقط کافی است که سازه وزن لوله جاذب ، اتصالات نگهدارنده آن ، صفحه پارابولا و لوله استیل را که پایه ها بر روی آن سوار می باشند را تحمل نماید(شکل ۴-۱).

در مرحله بعدی برای بازتابش نور خورشید می‌بایست ورق پارابولا را تهیه و فرم دهی نمود جنس مورد استفاده برای ساخت این ورق می‌تواند از آلومینیوم و یا پلگسی گلاس باشد. در هر دو مورد بعد از عملیات خم کاری می‌بایست یک لایه آلومینیومی به جهت براق نمودن سطح بر روی آن اسپری کرد و همچنین با اسپری فویل نقره پشت ورق را برای آینه ای شدن استفاده نمود.



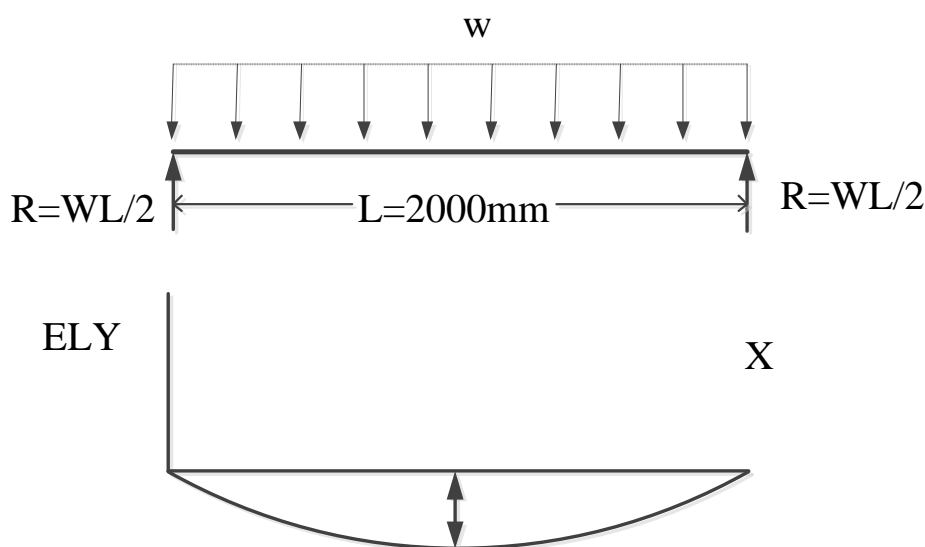
شکل ۱-۴ نمای پایه کلکتور سهموی

یکی از مسائل مهمی که در این طرح باید در مد نظر قرار گیرد تحلیل خمش لوله جاذب بر اثر وزن آب درون آن می باشد. که در این حالت می توان آن را به صورت یک میله دو سر گیر دار و توزیع یکنواخت جرم میله و آب درون آن در نظر گرفت. در شکل ۲-۴ مقدار تغییر شکل بر اثر وزن نشان داده شده است و مقدار ماکزیمم تغییر شکل یا خیز مطابق معادلات زیر بدست می آید (۳۹).

$$w = (m_w + m_{tube}) \times g \quad 1-4$$

$$y_{max} = -\frac{5 \times w \times L^4}{384EI} \quad 2-4$$

$$I = 0.049062(d_o^4 - d_i^4) \quad 3-4$$



شکل ۲-۴ بررسی خیز لوله مسی در اثر عبور جریان آب (۳۹)

و در فرمول های بالا ضریب کشسانی یا الاستیک مس برابر ۱۱۹Gpa در نظر گرفته شده است. با محاسبات انجام گرفته مقدار خیز لوله با وجود پر بودن آن از آب در دبی ۱,۵ لیتر بر دقیقه در دورهای اولیه، در حدود ۳ میلیمتر می شود. در محاسبات بار وزن آب و بار میله به طور یکسان به صورت بارتوزیعی لحاظ شده است.

با توجه به جدول ۲-۴ استاندارد لوله های مسی نوع L دارای شرایط بسیار مناسبی می باشد چرا که در عین حال که ضخامت کافی دارد سنگین نیست و از این رو در زمینه تهویه مطبوع و لوله کشی به کار برده می شود و همچنین سطح آن باید با رنگ مشکی پوشانده شود. برای تبدیل واحدها داریم: (۳۹)

$$1\left(\frac{\text{pound}}{\text{foot}}\right) = 1.48816394\left(\frac{\text{kilogram}}{\text{meter}}\right) \quad ۴-۴$$

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times L = 0.0011445m^3 = 1.1445lit \quad ۵-۴$$

$$W_t = 3.093 \times 9.8 \approx 30N \quad ۶-۴$$

$$w = 15N \quad ۷-۴$$

که با توجه به نیروی گسترده وزن مقدار خیز در حدود ۳ میلیمتر می شود که در طول ۲ متر عدد ناچیزی به حساب می آید. همچنین یک لوله شیشه ای از جنس پیرکس با ضخامت ۲ میلیمتر که در دو سر آن رزوه تعبیه شده است، بر روی لوله مسی قرار می گیرد تا ارتباط بین لوله مسی با محیط بیرون کمتر شده و در نتیجه افت حرارتی کمتری داشته باشیم.

جدول ۲-۴ استاندارد لوله های مسی (۴۰)

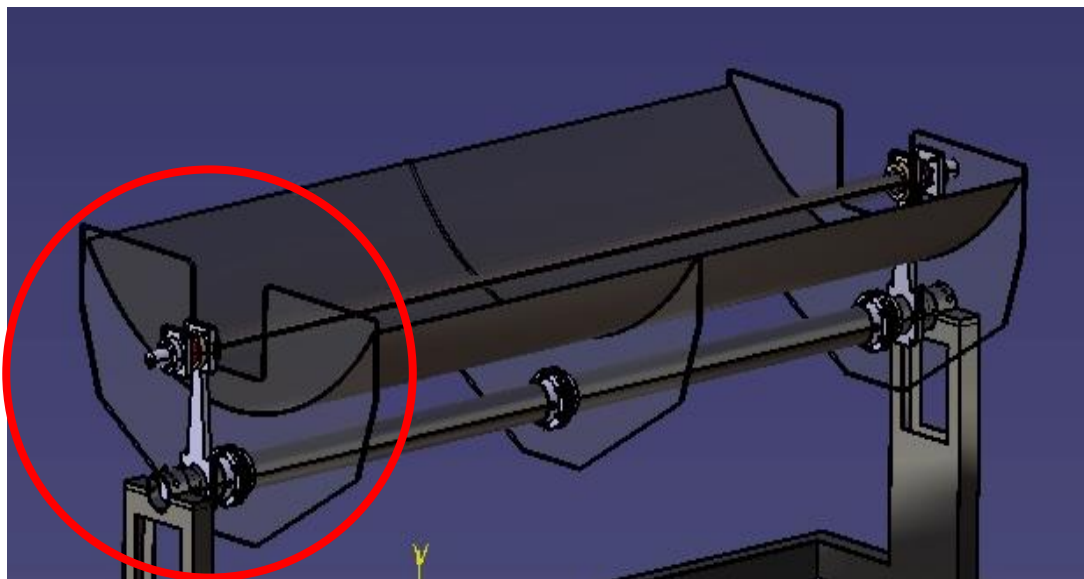
<b>TYPE L</b>							
Nominal Size (inches)	Actual Diameter (inches)	Outside	Tolerance on Outside Diameter (inches)		Wall Thickness (inches)	Weight (lb/ft)	
			Annealed <sup>1)</sup>	Drawn <sup>2)</sup>			
1/4	3/8	0.375	0.002	0.001	0.030	0.003	0.126
3/8	1/2	0.500	0.0025	0.001	0.035	0.004	0.198
1/2	5/8	0.625	0.0025	0.001	0.040	0.004	0.285
5/8	3/4	0.750	0.0025	0.001	0.042	0.004	0.362
3/4	7/8	0.875	0.003	0.001	0.045	0.004	0.455
1	1 1/8	1.125	0.0035	0.0015	0.050	0.005	0.655
1 1/4	1 3/8	1.375	0.004	0.0015	0.055	0.006	0.884
1 1/2	1 5/8	1.625	0.0045	0.002	0.060	0.006	1.14
2	2 1/8	2.125	0.005	0.002	0.070	0.007	1.75
2 1/2	2 5/8	2.625	0.005	0.002	0.080	0.008	2.48
3	3 1/8	3.125	0.005	0.002	0.090	0.009	3.33
3 1/2	3 5/8	3.625	0.005	0.002	0.100	0.010	4.29
4	4 1/8	4.125	0.005	0.002	0.114	0.011	5.38
5	5 1/8	5.125	0.005	0.002	0.125	0.012	7.61
6	6 1/8	6.125	0.005	0.002	0.140	0.014	10.20

Standard copper tubes of type L are used for interior above ground plumbing - domestic water-, service and distribution-, fire protection-, solar-, fuel and oil-, HVAC-, compressed air-, LPG gas-, snow melting- and vacuum-systems.

Copper tubes of type L can be used with sweat, compression and flare fittings. Only seat and flare fittings are legal for gas lines. Available in hard and soft types.

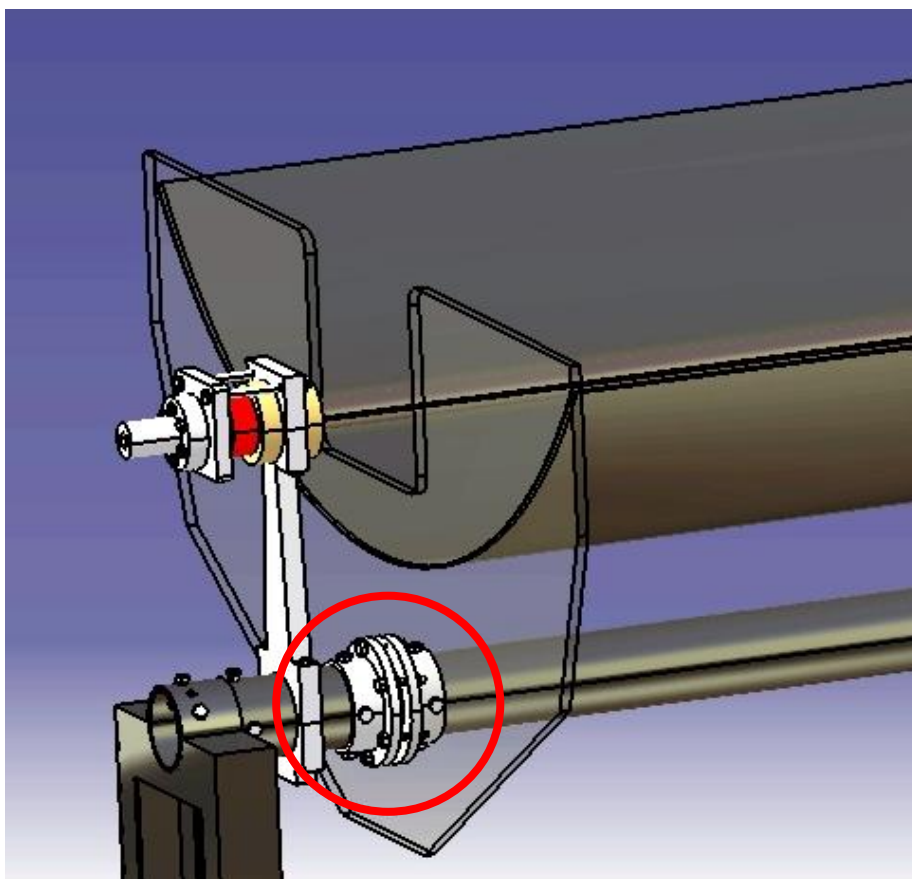
از آنجایی که برای این سیستم امکان چرخش ۳۰ درجه دستی در نظر گرفته شده است می بایست تمامی قطعات بر روی یک لوله از جنس استیل با قطر ۷۶ میلیمتر و ضخامت ۳ میلیمتر و با طول تقریبی ۲۴۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

برای نگه داشتن صفحه پارابولا از سه صفحه پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلیمتر استفاده می شود (شکل ۳-۴) که صفحات ابتدایی و انتهایی برشی به عمق ۵ میلیمتر خورده و صفحه داخل آنها می شود. دارای پیوستگی کامل الیافی بوده و انعطاف خارج از عرف را ندارد. وزن ورق بر اساس هر متر مربع معادل ۵ کیلو گرم می باشد به عبارت دقیق تر وزن مخصوص (دانسیته) پلکسی گلاس حدود ۱/۱۹ گرم بر سانتی متر مکعب نزدیک چگالی آب ۱ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. این در حالی است که دانسیته شیشه حدودا ۲/۶ گرم بر سانتی متر مکعب است در نتیجه پلکسی گلاس در عین حال که سبک تر است تحمل وزن و نیروی بالاتری را دارد.



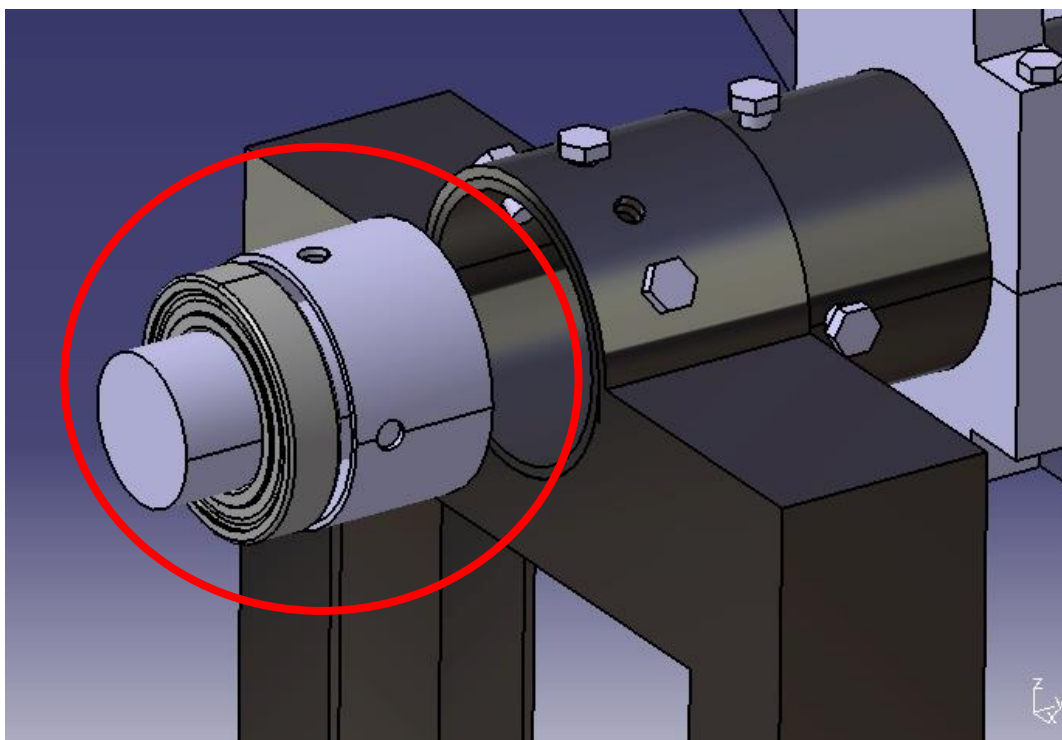
شکل ۳-۴ صفحات پلگسی گلاس استفاده شده

برای اتصال لوله استیل و صفحات پلگسی گلاس ۶ فلنج از جنس استیل طراحی شده است به گونه ای که برای هر صفحه پلگسی گلاس دو فلنج روبروی هم بوسیله پیچ و مهره به یکدیگر متصل می‌شوند و از حرکت صفحات جلوگیری به عمل می‌آورند و از سویی دیگر بر روی هر کدام از این فلنج ها ۴ جای پیچ در نظر گرفته شده است که به لوله استیل بسته می‌شوند.



شکل ۴-۴ فلنج های تعبیه شده بر روی لوله استیل

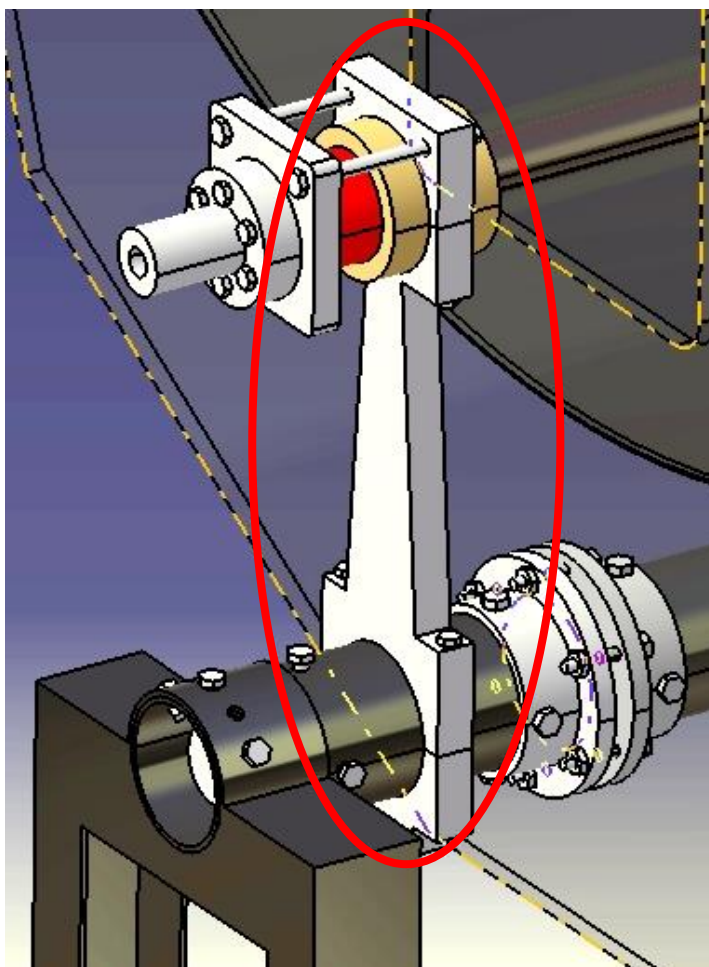
جهت گردش این سیستم به صورت دستی دو بلبرینگ مدل SKF (۴۱) موجود در بازار در نظر گرفته شده است که هر کدام از بلبرینگ ها داخل محفظه طراحی شده یک قطعه قرار می گیرند و قطعه ذکر شده توسط سه عدد پیچ به پایه اصلی و لوله استیل متصل می باشد و چنانچه سه عدد پیچ ذکر شده باز گردند، لوله استیل به اندازه ۳۰ درجه چرخیده و در نتیجه کل سیستم به اندازه همان ۳۰ گردش می نماید (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵ بلبرینگ و محل قرار گیری آن

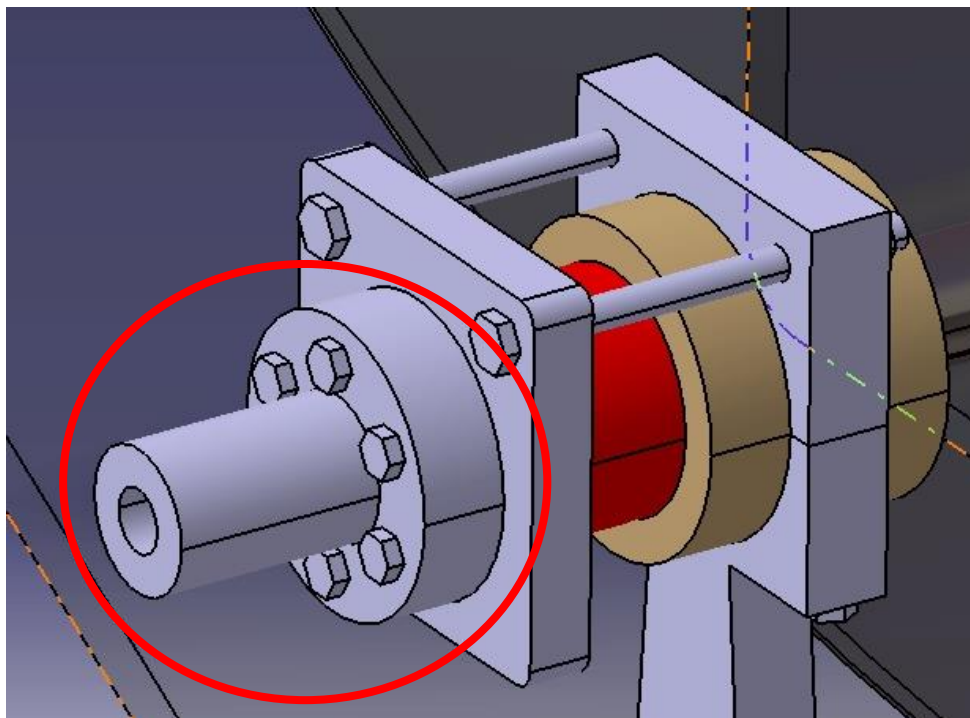
برای انجام عملیات گردش لوله استیل می بایست به قسمت بالایی متصل باشد (شکل ۴-۶) بنابراین برای انجام این کار یک دسته سه عضوی که دارای یک کلاهک بالا و یک کلاهک پایین بوده و از طریق پیچ های استاندارد به بدنه اصلی متصل می شوند، طراحی شد که لوله استیل را به شیشه پیرکس توسط یک قطعه تفلونی که مقاومت دمایی بالایی را دارد، متصل نموده است و این موضوع در شکل پایین کاملاً مشخص می باشد.





شکل ۴-۶ دسته ارتباطی بین لوله استیل و قسمت بالایی کلکتور

همچنین برای ورود و خروج آب به لوله مسی یک قطعه با ورودی و خروجی استاندارد طراحی شده است که به اتصالات استاندارد موجود در بازار متصل می‌شود (شکل ۴-۷). و در انتها برای آسان جابجا شدن کل این کلکتور چهار چرخ استاندارد در نظر گرفته شده است.



شکل ۷-۴ قطعه استاندارد جهت اتصال به لوله های خروجی

با توجه به تصاویر ارائه شده در بالا، نقشه های قابل ساخت از نرم افزار CATIA به عنوان خروجی کار گرفته شده است. در این نقشه ها تمامی اندازه گذاری، تolerانس های هندسی و ابعادی قطعات به صورت کامل در نظر گرفته شده است بنابراین با کمی دقت در پروسه ساخت می توان یک کلکتور خورشیدی مشابه با تصاویر ارائه شده ایجاد نمود.

## فصل ۵

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که بهترین حالت در مورد ردیابی ها، حالت شمالی- جنوبی و مناسب ترین دبی، مقدار ۰,۵ لیتر بر دقیقه می باشد.

به علت قرار نگرفتن سیستم در شیبی برابر با عرض جغرافیایی محل مقداری از طول لوله رسیور آن همواره در سایه خود سیستم قرار می گیرد در نتیجه در مدل های ارائه شده باید به این مسئله توجه کرد که طول رسیور برابر با طول کل نیست، بلکه مقداری از این طول به علت سایه از سیستم باید کسر شود.

در کل مقدار اختلاف حالت های ساده عملی از تئوریک برابر با ۲-۵ درصد می باشد. مورد دیگری که در ساخت این سیستم مورد توجه واقع شد ساخت آن با کمترین و ارزان ترین امکانات موجود در بازار و ساده سازی این سیستم جهت تولید آن در صورت امکان در اشل صنعتی است. بخش مشکل ساز در این سیستم، قسمت رسیور لوله و شیشه و نگه داری این سیستم به علت شکننده بودن لوله شیشه ای آن است که در صورت یافتن مواد جایگزین با کمترین ضریب شکست می توان انتظار داشت که این سیستم ساده به صورت صنعتی تولید و مورد استفاده قرار گیرد چرا که در مواردی که به دما های بالا تر از ۵۰ درجه در صنعت نیاز داشته باشیم می توانیم به راحتی از این سیستم استفاده کنیم. ضمن آن که با توجه به استفاده از مواد ارزان قیمت مقداری از خواص اپتیکی کاهش یافته که این خود نیازمند بررسی بیشتری می باشد.

لازم به ذکر است که این نوع کلکتور به تغییرات تابشی بسیار حساس می باشد و با کوچکترین تغییرات در تابش، دمای آب خروجی افت می کند و علت آن نیز عملکرد این سیستم بر اساس تمرکز خطی خورشید است. اگر این تمرکز با سایه از بین برود به شدت دمای سطح رسیور افت می کند و این یکی از مشکلات استفاده از این سیستم می باشد.

مورد دیگر حساس بودن سیستم به شیوه و مد های ردیابی است. در حالت شمالی- جنوبی اگر ردیابی صورت نگیرد، اصولاً تمرکز وجود نداشته و سیستم عملاً به جزء در حالتها و زمان های خاصی بلا استفاده می شود. ردیابی این سیستم ها نیازمند هزینه و امکانات می باشد که یا با استفاده از اپراتور دستی انجام می گیرد (مانند آنچه در این پروژه انجام شد) و یا به وسیله استپ موتور انجام می پذیرد. ردیابی اتوماتیک خود دارای دو حالت است؛ یا توسط برنامه نویسی این کار انجام می شود و سپس توسط کامپایلر به سیستم فهمانده می شود که در دقیقه چند درجه چرخش داشته باشد و یا توسط سنسورهای خورشیدی به طور مداوم خورشید دنبال می شود.

در صورت قرار گرفتن کلکتور به صورت شرقی- غربی بازده سیستم به علت تغییر زاویه خورشید در طول روز کاهش می یابد اما حسن آن عدم نیاز به ردیابی لحظه به لحظه می باشد با توجه به نتایج به دست آمده می توان خوشبین بود که از این سیستم در تامین بخار در سیستم ها و فرآیندهای مورد نیاز استفاده نمود. لازم به ذکر است که کنترل بخار در این سیستم ها بسیار مشکل می باشد که می توان با کوپل این سیستم با سیستم دیگر از آن استفاده نمود حتی با گرم کردن آب و رساندن آن به دمای اشباع می توان تا حد زیادی از مصرف انرژی صرفه جویی کرد.

جهت رسوب گیری و رسوب زدایی این سیستمها دو راه حل وجود دارد که در اینجا پیشنهاد می شود؛ راه اول استفاده از رسوب زداهای صنعتی قبل از ورود آب به سیستم است و راه دوم همان راه پیشنهادی در مورد بالا است که آب را تا دمای اشباع رسانده و در سیستم دیگری که رسوب زدایی آن ساده تر باشد به بخار تبدیل کرد. ضمن آن که با استفاده از یک سری محلولها که در مورد رسوب زدایی مبدل ها مورد استفاده قرار می گیرند می توان عمل رسوب زدایی در لوله رسیور را انجام داد.

## ۵-۱- پیشنهادات برای ادامه کار

۱- بررسی طولانی مدت سیستم و ایجاد شرایط گرد و غباری و تستهای کلکتور.

۲- بررسی پارامترهای ضریب انعکاس سطح آینه در صورت امکان.

- ۳- استفاده از استیل میرر به جای صفحه پلکسی گلاس و تست آن.
- ۴- بررسی سطح آینه پلکسی گلاس در مدت زمان و در برابر تابش و حرارت محیطی.
- ۵- تست کلکتور در زیر شبیه ساز خورشیدی و کنترل شرایط محیطی.
- ۶- بررسی مدل دو سهموی و ارائه یک مدل ریاضی برای آن.
- ۷- استفاده از نانو سیال با پایه های مختلف در این سیستم و بررسی پارامتر های آن.
- ۸- نصب ردیاب و سنسورهای آن جهت مکانیزه کردن سیستم ردیابی و بررسی انواع مدهای ردیابی.
- ۹- یافته های تجربی نشان می دهند که بهترین جهت برای قرار گرفتن سیستم به سمت جنوب و در زاویه نزدیک به عرض جغرافیایی محل آزمایش باشد که در این صورت راندمان یا بازده بیشتر می باشد.

## مراجع

## مراجع

- ۱- نگرشی بر سیستم های استفاده از انرژی خورشیدی، نویسنده: دکتر مجید رئوفی راد.
- ۲- ابراهیمی، شیخ احمدی، زرگزاده، بهره گیری از انرژی های تجدید پذیر برای تولید انرژی. الکتریکی، واحد تهران جنوب دانشکده فنی مهندسی گروه برق قدرت.
- ۳- مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی <http://www.fotrousi.com/energy>
- 4- Heinzl, V., H. Kungl, and M. Simon. (1995). Simulation of a Parabolic Trough Collector. Solar World Congress (ISES). Harare, Zimbabwe, 1-10.
- 5- Solar energy technology hand book: fundamental by Dickinson W.C and cheremisinoff(1980).
- 6- Principals of solar engineering by frank Kreith and jan F.Kreider(1978).
- 7- Cohen, G. and D. Kearney. (1994). Improved Parabolic Trough Solar Electric System Based on the SEGS Experience. Proceeding of the 1994 annual conference (ASEC). 94:147-150
- 8- Imadojemu, H.E. (1995). concentrating parabolic collectors: a patent survey. Energy Convers Manage. 36:225-237.
- 9- Kearny ,D.W and H.W Price. (1992). Solar thermal plants-LUZ concept(current status of the SEGS plants). Proceedings of the Second Renewable Energy Congress, Reading UK. 2:582-8.
- 10- Valenzuela, L.A., E. Zarza, M. Berenguel, and E.F. Camacho. (2005). Control concepts for direct steam generation in parabolic troughs. Solar Energy. 78:301-311.
- 11- Valenzuela, L., E. Zarza, M. Berenguel, and E.F. Camacho. (2006). Control scheme for direct steam generation in parabolic troughs under recirculation operation mode. Solar Energy. 80:1-17.
- 12- Flores, V., and R. Almanza. (2004). Direct steam generation in parabolic trough concentrators with bimetallic receivers. Energy 29:645-651.
- 13- Bakos, G.C 2006 Design and construction of a two-axis Sun tracking system forparabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. Renewable Energy,31:2411-2421.
- 14- Pollerberg, A.H. Ali, and C. Dötsch. (2009). Solar driven steam jet ejector chiller. Applied Thermal Engineering. 29:1245-1252.
- 15- Kim, D.S., and C.A. Ferreira. (2009). Air-cooled LiBr–water absorption chillers for solar air conditioning in extremely hot weathers, Energy Conversion and Management. 50: 1018-1025.
- 16- García, A.F., E. Zarza, L. Valenzuela, and M. Pérez. (2010). Parabolic-trough solar collectors and their applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14:1695-1721.
- 17- Ursula, E. (2009). Low Energy Cooling for Sustainable Buildings. John Wiley & Sons.
- ۱۸- جی.ان. تیواری، ای. کی. تیواری، بکارگیری تقطیر خورشیدی برای سیستم های انرژی نوین، ترجمه آذیتا نیکان فر.
- 19- Kalogirou, Soteris, Solar energy engineering : processes and systems / Soteris Kalogirou. —1st ed ISBN 978-0-12-374501-9
- 20- Richard J. Sadus, Molecular Simulation of Fluids: Theory, Algorithms and and Object-Orientation (Elsevier, Amsterdam, 1999).
- 21- Morrison GL. Solar collectors. In: Gordon J, editor. Solar energy: the state of the art. Germany: ISES; 2001. p.145-221.
- 22- Kalogirou, S.A. (2004). Solar thermal collectors and applications. Progress in Energyand Combustion Science. 30:231-290.
- 23- Pereira M. Design and performance of a novel non-evacuated1.2x CPC type concentrator. Proceedings of Intersol Biennial Congress of ISES, Montreal, Canada, vol. 2.; 1985. p. 1199-204.
- 24- Rabl A. Optical and thermal properties of compound parabolic collectors. Solar Energy 1976;18:497-511.
- 25- Tripanagnostopoulos Y, Yianoulis P, Papaefthimiou S, Souliotis M, Nousia Th. Cost effective asymmetric CPC solar collectors. Renewable Energy 1999;16:628-31.
- 26- Tripanagnostopoulos Y, Yianoulis P. CPC solar collectors with multichannel absorber. Solar Energy 1996;58(1-3):49-61.
- 27- Tripanagnostopoulos Y, Yianoulis P, Papaefthimiou S, Zafeiratos S. CPC collectors with flat bifacial absorbers.

- 28- Kalogirou S, Eleftheriou P, Lloyd S, Ward J. Design and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system. Appl Energy 1994;47:341–54.
- 29- John A. Duffie , William A. Beckman Solar Engineering of Thermal Processes, Publication Date: August 25, 2006, ISBN-10: 0471698679 ,ISBN-13: 978-0471698678, Edition: 3
- 30- Duffie, J.A. and W.A. Beckman, Solar Engineering Of Thermal Processes.: John Wiley & Sons, 2013.
- ۳۱- تقی پور، م. و آقاجفی، س.، بررسی بهبود عملکرد کلکتورهای سهموی خطی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پژوهشکده مکانیک.
- 32- Lunde p. J., Solar thermal engineering, John Wily, 1980.
- ۳۳- حاتمی، ز.، محمدیان کروی، م.، سعیدی، م. و آقاجفی، س.، بهینه سازی مساحت مورد نیاز کلکتور خورشیدی در سیکل سرمایش دسیکنت خورشیدی سومین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع تهران.
- ۳۴- عاربی، س.، غفاری، ع. و امامی، ک.، طراحی و ساخت سازه کلکتور خورشیدی سهموی دهمین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
- 35- Kalogirou, S. a., Solar Energy Engineering: processes and systems, 2009.
- 36- Sadik Kakac and Hongtan Liu (March 2002). Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design (2nd Edition ed.). CRC Press.
- ۳۷- مهندسی گرما خورشیدی-تالیف پیتر جی لاند-ترجمه حسین پناهنده(۱۳۶۴).
- ۳۸- Ashrae standard 93.
- ۳۹- جوزف ادوارد شیگلی، طراحی اجزاء ماشین. ترجمه ایرج شادروان -تهران نشر صنعت گستر ۱۳۸۵.
- 40- ASTM B88: standard specification for seamless copper water tube.
- ۴۱- شرکت ساخت بلبرینگ <http://www.skf.com>



## پیوست‌ها

پیوست الف - نقشه های مربوط به ساخت کلکتور

**Abstract:**

Over the years, mankind has been using the planet to supply its energy from fossil fuels such as oil, gas, coal, and so on, and this trend has continued until recently, as human beings He realized that he should look for other resources, because fossil fuels are in addition to high environmental pollution.

Therefore, scientists have tried their best to obtain the energy of the planet from other methods and eventually reduce their need for fossil fuels, so they tried to get energy from nature in another way. Both are healthier and the other side has endless resources. Wind, water, soil and sunlight are one of the things that can be mentioned.

One of the most healthy and most efficient energy available in the world, which scientists have been able to control and use to optimize it, is solar energy. In fact, this energy in our country, due to its climatic conditions, can be used optimally in the direction of Reducing fossil fuel consumption is one of the most important uses for solar panels and solar water heaters.

In this dissertation, we first tried to study solar energy, then formulas and relations that govern it, and finally, using these relationships and formulas, a parabolic linear collector was designed using CATIA software.

**Key words:**

Solar energy, solar water heater, solar collector, linear particle collector.



**Energy Institute of Higher Education**

**Design and simulation of linear parabolic  
collector with using CATIA software**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Science in Mechanical Engineering- Energy  
Conversion**

**By:  
Amir Bahrami**

**Supervisor:  
Dr.Mojtaba Mirzaee**

**September 2019**