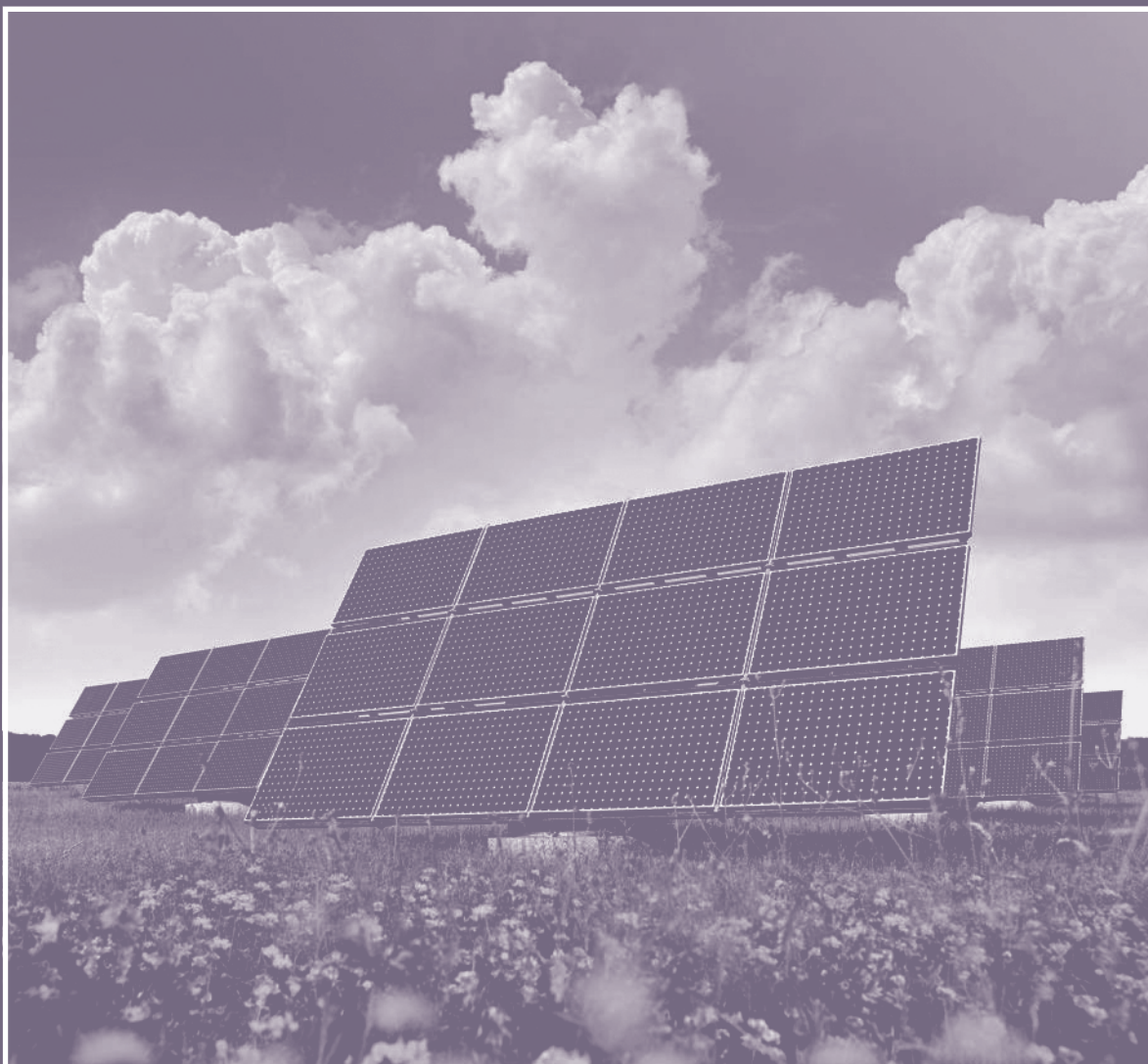


# انرژی خورشیدی

- سیستم‌های خورشیدی اکتیو
- سیستم‌های خورشیدی پسیو
- کلکتورهای خورشیدی
- آبگرمکن‌های خورشیدی
- فتوولتائیک

نشریه شماره ۲۰، بهار ۱۳۷۳



## پیشگفتار

خورشید عامل و منشأ انرژی‌های گوناگونی است که در طبیعت یافت می‌شوند که از جمله آنها سوخت‌های فسیلی، انرژی آبشارها، باد، امواج و قدرت جزو مد دریاها را می‌توان نام برد.

با مطالعه تاریخ زندگی انسانها درمی‌یابیم که انرژی قابل استفاده برای انسان نخستین تنها قدرت بدنی او بود و مدتها گذشت تا توانست با رام کردن حیوانات و کشف آتش، احتیاجات خود را برآورده سازد و بالاخره انسان با کشف منابع فسیلی توانست قدرت خود را به طرز بی‌سابقه‌ای افزایش دهد.

وابستگی شدید جوامع صنعتی به انرژی و مصرف بی‌رویه منابع فسیلی که طی قرون متمادی در لایه‌های زیرین زمین تشکیل شده‌اند، باعث کاهش سریع و فوق‌العاده این منابع شده است و نسل فعلی وظیفه دارد که در جهت حفظ و بقای تمدن بشری به منابع جدید و بی‌انتها رو آورد و دانش خود را در جهت بهره‌برداری از آنها گسترش دهد.

خورشید یکی از دو منبع مهم انرژی است که باید به آن رو آورد که در ضمن سادگی و ارزانی، خطرات و اثرات نامطلوب استفاده از انرژی هسته‌ای را نیز ندارد. در ایران علیرغم منابع عظیم نفتی و گازی، خوشبختانه به علت تابش خورشید در اکثر مناطق کشور اجرای طرحهای خورشیدی میسر می‌باشد چرا که استفاده از انرژی خورشید در شهرها و شصت هزار روستای پراکنده در سطح کشور می‌تواند صرفه جویی

مهمی در مصرف نفت و گاز را به همراه داشته باشد تا نسل‌های آینده این کشور نیز بتوانند از این منابع فسیلی استفاده بهینه نمایند.

به هر حال استفاده از انرژی خورشیدی راهی است که اکثر کشورهای جهان در آن گام نهاده‌اند و ما نیز باید برای همگام بودن با کاروان جهانی و حفظ منابع گرانبیامت خدادادی در آن گام نهیم. مهندسین مشاور ره‌شهر نیز در جهت نیل به این هدف با همکاری شرکت پرسوالکترونیک اقدام به تاسیس شرکت جدیدی برای تولید ادوات انرژی خورشیدی نموده که شاید بتواند مطالعات مربوطه را به مرحله اجرا در آورد.

سعید شهیدی

مدیر بخش تحقیقات و مطالعات

## انرژی خورشید

## ۱- مقدمه

انرژی حاصل از خورشید، در اثر فعل و انفعالات هسته‌ای (جوش هسته‌ای Fusion) در داخل آن بوجود می‌آید که در داخل خورشید حرارتی در حدود  $10^7$  درجه کلوین و روی سطح آن  $5800$  درجه کلوین ایجاد می‌کند. قسمت بسیار کمی از انرژی خورشید به سمت زمین می‌آید که مقدار آن در بیرون جو برابر  $1300$  وات بر مترمربع و مقدار متوسط آن در سطح زمین، یک کیلووات بر مترمربع است. از این انرژی می‌توان به روشهای مختلف برای کارهای گوناگون استفاده نمود. البته میزان استفاده از این انرژی در کشورهای مختلف جهان با در نظر گرفتن میزان تابش آفتاب در آن کشورها و وضعیت اقتصادی، سیاسی و فرهنگی آن کشورها متفاوت است.

در شکل ۱ میزان تابش متوسط در ماه ژوئن در نقاط مختلف جهان مشخص شده است. با توجه به این شکل می‌توان به امکان کشورهای نیمکره شمالی برای استفاده از انرژی خورشیدی پی برد. در شکل ۲ نیز میزان متوسط تابش سالانه در روی سطح افق مشخص شده است. روشهای مختلفی را که برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم کرد که عبارتند از:

الف- سیستم‌های خورشیدی پسیو<sup>۱</sup>

ب - سیستم‌های خورشیدی اکتیو<sup>۲</sup>

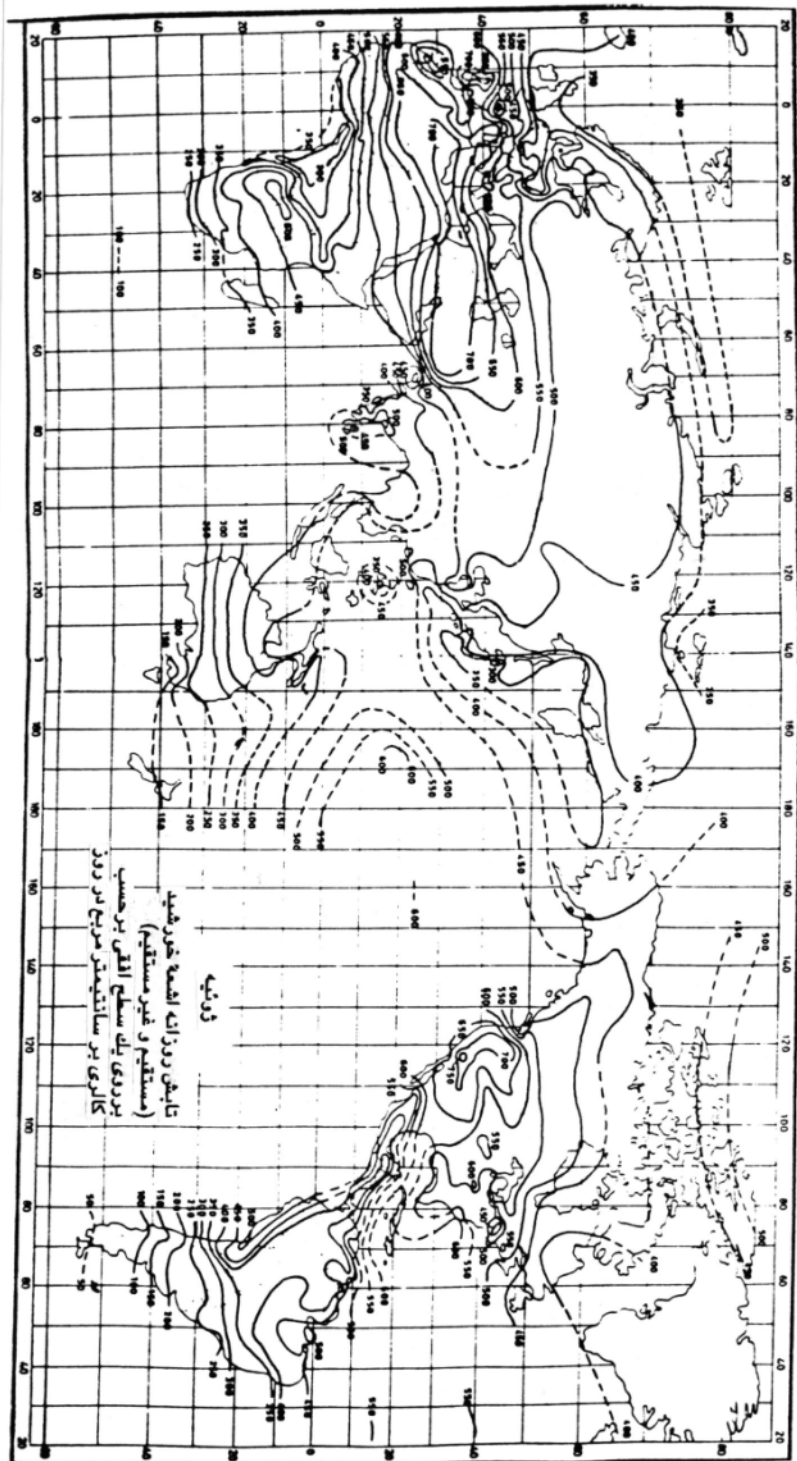
پ - سیستم‌های حرارت خورشیدی<sup>۳</sup>

۱-Passive Solar

۲-Active Solar

۳-Solar- Thermal





شکل ۱: متوسط تابش خورشید بر يك سطح افقی برای ماه ژوئیه در جهان



شکل ۲: میزان متوسط تابش سالانه در جهان

### ت - سیستم‌های فتوولتائیک<sup>۱</sup>

هر يك از چهار روش را به صورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و وضعیت واحدهای بزرگ و نیروگاه‌هایی با ظرفیت بالا در سیستم‌های حرارت خورشیدی و فتوولتائیک در کشورهای مختلف را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

### ۲-سیستم‌های خورشیدی پسیو

#### ۲-۱- مقدمه

سیستم‌های پسیو خورشیدی شامل سیستم‌هایی هستند که انرژی خورشیدی را از ضلع جنوبی (برای کشورهای جنوب خط استوا، ضلع شمالی) ساختمان به داخل ساختمان هدایت می‌کنند و مانع از خروج انرژی می‌شوند. (برای ممانعت بیشتر از خروج انرژی حرارتی در این سیستم‌ها که معمولاً شیشه‌ای هستند، از شیشه‌های دو جداره و یا مواد جاذب انرژی حرارتی استفاده می‌شود).

شکل ۳ استفاده مستقیم از پنجره‌های آفتابگیر را نشان می‌دهد. در شکل ۴ يك محوطه در جلو ساختمان در نظر گرفته شده است تا سطح بیشتری تحت اشعه آفتاب قرار گیرد، البته این روش فقط هنگامی امکان‌پذیر است که محوطه‌ای جلو ساختمان برای این منظور موجود باشد. در شکل ۵ يك دیوار جلو شیشه قرار گرفته است. این دیوار جاذب خوب حرارت است و در بالا و پایین دیوار دریچه‌هایی قرار گرفته است تا حرکت هوا در داخل اطاق انجام شود. به این سیستم Trombe Wall می‌گویند و اگر به جای دیوار از آب استفاده شود به آن Water Wall

<sup>۱</sup>- Photovoltaic

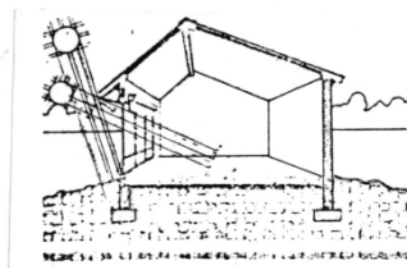
می‌گویند در سیستم Water Wall، انتقال حرارت بیشتر به صورت کُنوکسیون از ظروف شیشه‌ای آب صورت می‌گیرد (شکل ۶). در شکل ۷ سیستمی نشان داده شده است که در آنها در جلوی دیوار، صفحات فلزی قرار می‌گیرند و این صفحات نقش کلکتور خورشیدی را بازی می‌کنند تا هوا را گرم کنند.

البته سیستم‌های پسیو خورشیدی در انواع بسیار متنوعی وجود دارند و در هر کشور و در هر منطقه، طریقه خاصی برای استفاده از این انرژی به صورت پسیو وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان گفت که در بعضی مناطق، قسمت کف جایی که در معرض تابش آفتاب است را با موادی که جاذب حرارت هستند می‌پوشانند تا انرژی خورشیدی را ذخیره کند و در مدت زمان طولانی‌تر، آن را آزاد کند.

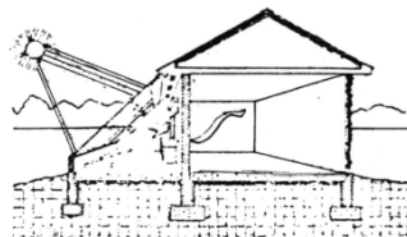
## ۲-۲- بررسی اقتصادی سیستم‌های پسیو

سیستم‌های پسیو به علت هزینه کم برای نصب در بعضی شرایط و اینکه در بعضی موارد می‌توانند حدود ۳۰ درصد انرژی حرارتی ساختمانها را تامین کنند، بخوبی قابل رقابت با سیستم‌های سنتی هستند اگر چه کارایی آنها از جایی به جای دیگر تفاوت دارد. برای مثال براساس گزارشی که در کانبرا (استرالیا) ارائه گردیده است، آنها موفق شده‌اند با اضافه کردن هزینه ساختمان به اندازه ۶۰۰ دلار، صرفه جویی معادل ۲۰۰ دلار در سال داشته باشند.

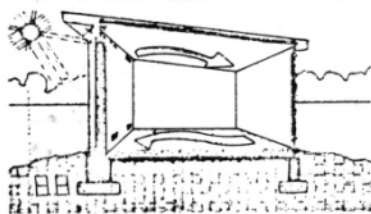
در کشور ایالات متحده با بررسی هزینه‌های گزارش شده در مورد ساختمانهای دارای سیستم خورشیدی پسیو، مشخص شده است که



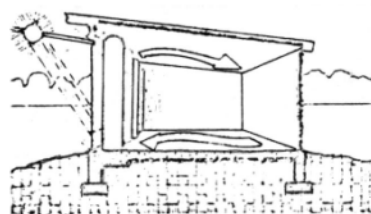
شکل ۳: روش مستقیم



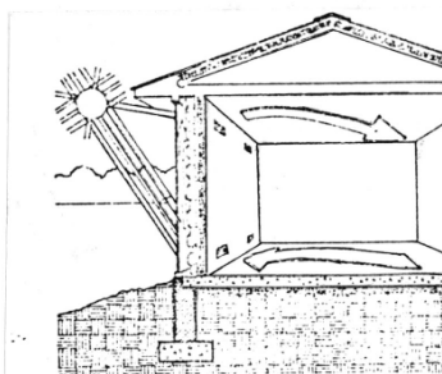
شکل ۴: سطح جاذب اضافه شده



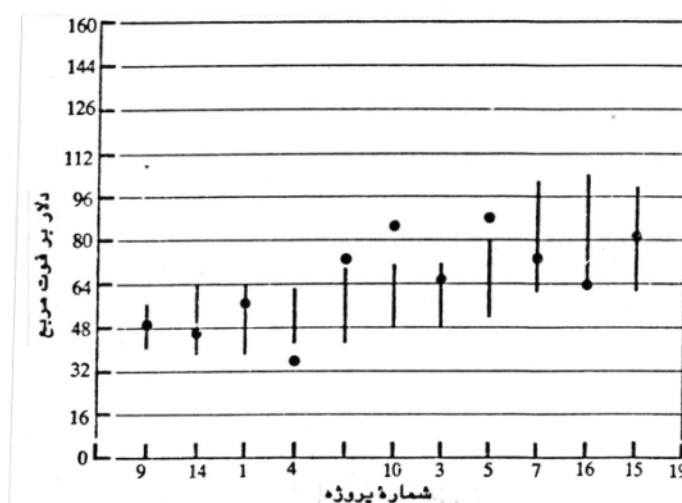
شکل ۵: دیواره جاذب



شکل ۶: دیواره جاذب آبی



هزینه نرمال شده براساس هر فوت مربع برای ساختمانهای دارای سیستم خورشیدی نسبت به هزینه ساختمانهای مشابه فاقد این سیستمها، در مجموع کمتر بوده است و آنچه که باعث افزایش این هزینه ها شده است، مربوط به سیستم‌هایی است که شامل اجزای پسیو (مانند مواد عایق و Trombe Wall) هستند و یا اینکه میزان استفاده از سیستم‌های پسیو به نسبت ساختمان مورد نظر زیاد بوده است. در شکل ۸ هزینه یازده پروژه ساختمانی در آمریکا نشان داده شده است که در این یازده پروژه (که از سیستم‌های پسیو خورشیدی استفاده می کنند)، هزینه نسبت به پروژه‌های مشابه بدون سیستم‌های پسیو مقایسه شده است. اختلاف هزینه فقط در بعضی موارد محسوس است که قبلاً به علت آن اشاره شد ولی در کل، این سیستم‌ها توانسته‌اند ۴۵ درصد انرژی کمتری نسبت به سیستم‌های مشابه با طراحی قدیمی مصرف کنند.



شکل ۸: هزینه‌های ساختمانی مربوط به ساختمان‌هایی که از انرژی پسیو خورشیدی استفاده می کنند



جدول ۱ هزینه های سیستم های پسیو اندازه گیری شده در سال ۱۹۸۴ را نشان می دهد. در این جدول برای مقایسه، سیستم بدون استفاده از انرژی خورشیدی نیز آورده شده است. مشاهده می شود که برخی از سیستم ها قابل مقایسه با سیستم های نفتی بوده و همه آنها قابل مقایسه با سیستم هایی که از الکتریسته برای حرارت استفاده می کنند، هستند.

|                                               | خانه های بدون عایق بندی قدیمی |                         |                       | خانه های عایق کاری شده جدید |                         |                       |
|-----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
|                                               | هزینه                         | ذخیره سازی سرمایه گذاری | هزینه                 | هزینه                       | ذخیره سازی سرمایه گذاری | هزینه                 |
|                                               | (پوند)                        | (پوند برمگا بی تی یو)   | (پوند برمگا بی تی یو) | (پوند)                      | (پوند برمگا بی تی یو)   | (پوند برمگا بی تی یو) |
| اقدامات ساده                                  |                               |                         |                       |                             |                         |                       |
| جهت یابی صحیح جهت حداقل سازی سایه             | بدون استفاده                  |                         |                       | ۰                           | ۲/۴                     | ۰                     |
| تقسیم بندی پنجره ها در جهت جنوب               | بدون استفاده                  |                         |                       | ۷۳                          | ۳/۸                     | ۱/۲                   |
| اقدامات پیشرفته                               |                               |                         |                       |                             |                         |                       |
| افزایش سطح پنجره های جنوبی به ۲۰ مترمربع      | ۵۷۰                           | ۶/۸                     | ۵/۳                   | ۵۷۰                         | ۴/۳                     | ۸/۲                   |
| ۱۰ مترمربع پوشش گلخانه ای برای دیوارهای خارجی | ۸۲۴                           | ۵/۵                     | ۹/۵                   | ۸۳۶                         | ۴/۷                     | ۱۱/۳                  |
| ۱۸ مترمربع از فضای سقف برای کلکتور و فن       | ۵۹۴                           | ۷/۵                     | ۵/۰                   | ۵۹۴                         | ۵/۵                     | ۶/۹                   |
| ۲۰ مترمربع دیواره ذخیره کننده با شیشه دوچداره | ۱۰۴۲                          | ۸/۱                     | ۸/۲                   | ۱۶۹۷                        | ۶/۸                     | ۱۰/۸                  |

هزینه سوخت های مختلف در سال ۱۹۸۴ (پوند برمگا بی تی یو)

|           |      |
|-----------|------|
| نفت       | ۷/۸  |
| گاز       | ۴/۱  |
| ذغال سنگ  | ۴/۶  |
| الکتریسته | ۱۶/۹ |

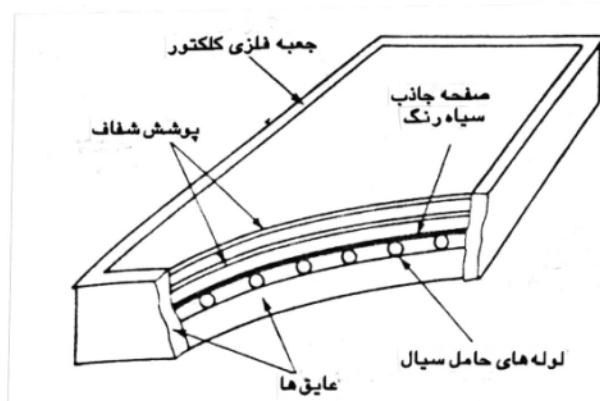
جدول ۱: هزینه ها و مشخصات گرمکن های خورشیدی پسیو در انگلستان (برحسب لیتره ۱۹۸۴)

لازم به توضیح است آنچه که به عنوان سیستم‌های پسیونامیده می‌شود، از مدتها قبل وجود داشته و هزینه نصب آنها نیز جزء هزینه اصلی ساختمان محسوب می‌شده است. در اینجا آنچه که به صورت هزینه سیستم‌های پسیو مطرح است، هزینه نصب اجزای اضافی و یا هزینه اضافه‌ای است که باید پرداخت شود تا سیستم مدرن‌تر جایگزین سیستم قدیمی گردد.

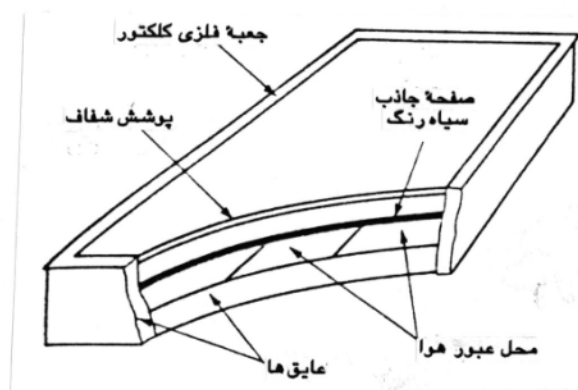
## ۳- سیستم‌های خورشیدی اکتیو

### ۳-۱- مقدمه

کلکتورهای خورشیدی جمع‌کننده انرژی خورشید هستند که در دو نوع گرمکن هوا و گرمکن آب وجود دارند. در شکل ۹ یک کلکتور گرم‌کننده آب و در شکل ۱۰ یک کلکتور گرم‌کننده هوا نشان داده شده است.

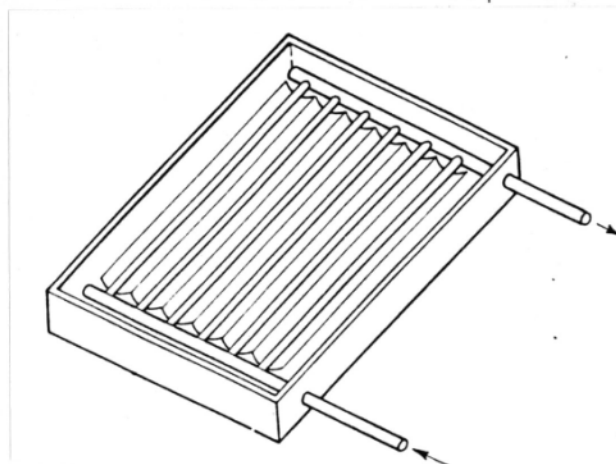


شکل ۹: کلکتور خورشیدی گرمکن آب از نوع تخت

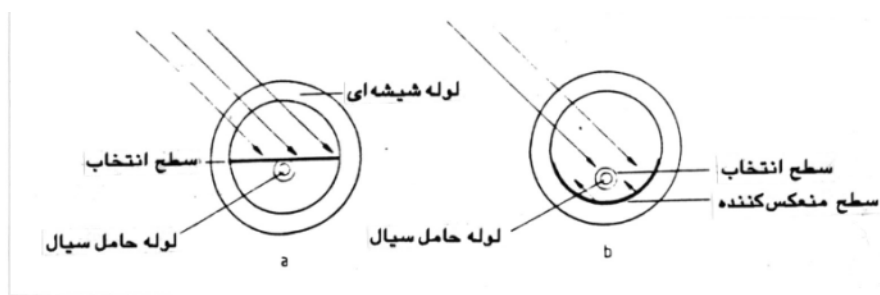


شکل ۱۰: کلکتورهای خورشیدی گرمکن هوا از نوع تخت

سیستم‌های گرم کننده آب دارای کلکتورهائی با ساختارهای دیگر نیز هستند. از جمله آنها می توان کلکتورهای متمرکز کننده و کلکتورهائی با لوله‌های خلاء را نام برد که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشخص شده‌اند.

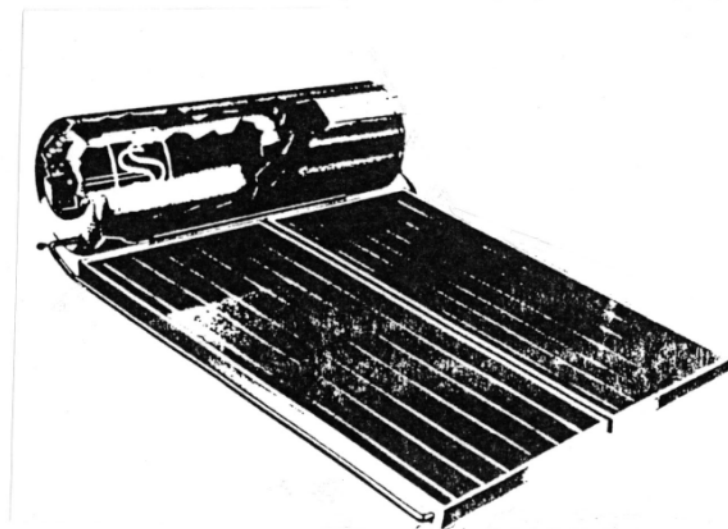


شکل ۱۱: کلکتور با آینه های متمرکز کننده

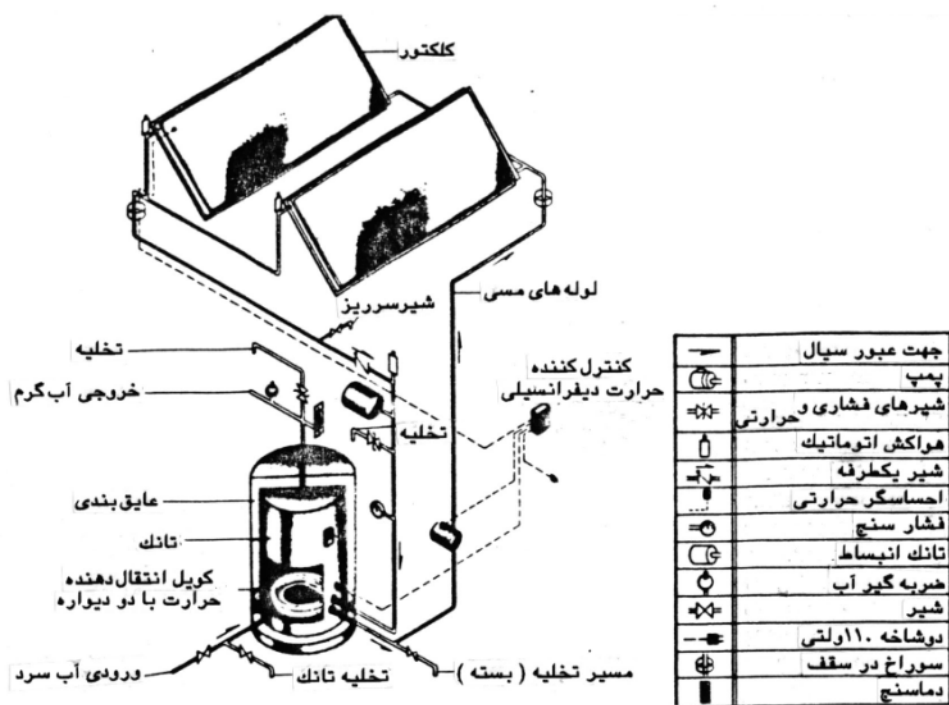


شکل ۱۲: کلکتورهای با لوله های خلاء

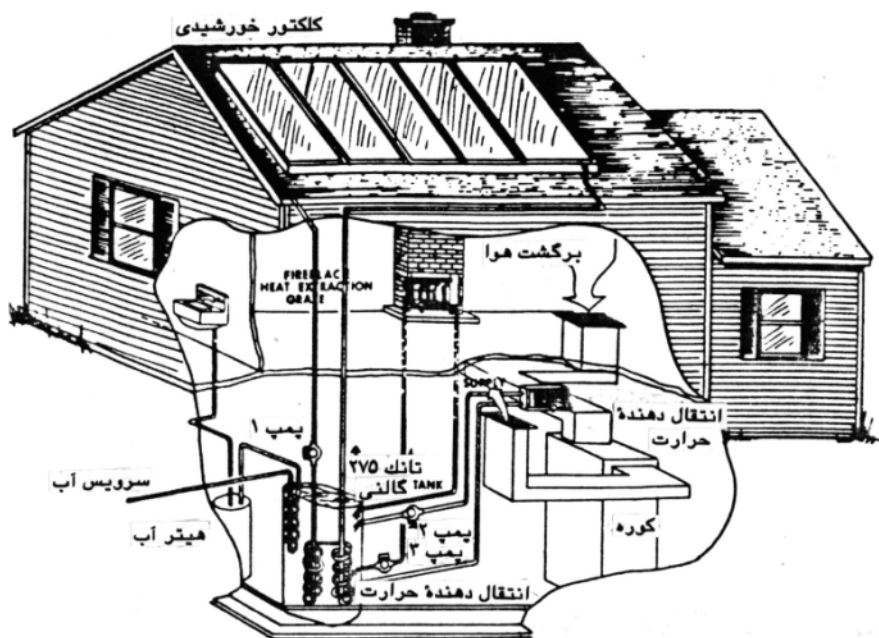
بوسیله کلکتورهای گرم کننده هوا، فقط می توان هوا را گرم کرد و با استفاده از انتقال هوای گرم از انرژی آن استفاده نمود، ولی از کلکتورهای گرم کننده آب (یا مایع دیگر) می توان برای گرم کردن آب مصرفی یا گرم کردن آب استخرها و یا اینکه برای خنک کردن استفاده نمود. در شکل های ۱۳ و ۱۴، دو روش آب گرمکن های خورشیدی مشخص شده است. در شکل ۱۵ یک سیستم گرمکن هوا و آب به صورت ترکیبی برای یک منزل و در شکل ۱۶ نیز یک گرمکن آب استخر نشان داده شده است.



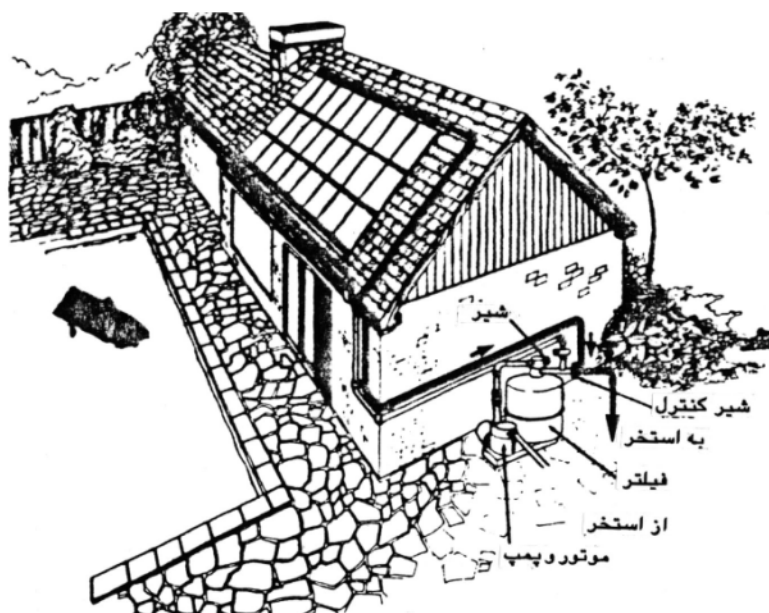
شکل ۱۳: گرمکن آب با گردش طبیعی



شکل ۱۴: سیستم گرمکن آب مصرفی



شکل ۱۵: سیستم گرمکن آب و فضای خورشیدی



شکل ۱۶: گرمکن آب استخر خورشیدی

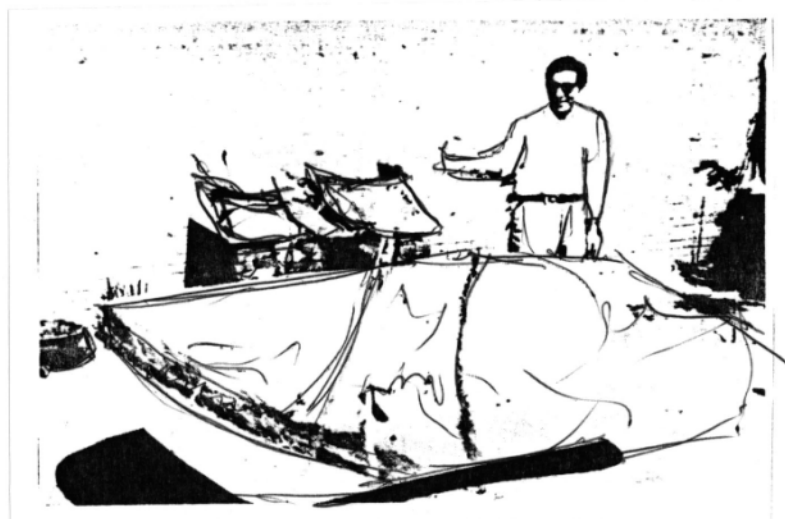
بجز سیستم‌های خنك کننده (یخچالها)، بقیه سیستم‌های اکتیو از نظر اقتصادی قابل بحث هستند. چون این سیستم‌ها در کشورهایی که دارای تابش زیاد هستند، با سیستم‌های سنتی قابل مقایسه‌اند، ولی سیستم‌های خنك کننده گران هستند.

در سیستم‌های اکتیو خورشیدی علاوه بر کلکتورها، آب شیرین کن‌ها، اجاق‌های برقی و خشك کننده‌ها نیز وجود دارند. در شکل ۱۷، يك اجاق خورشیدی که در چین ساخته شده است دیده می‌شود. و در شکل ۱۸، يك خشك کن برنج از نوع خورشیدی که در تایلند ساخته شده، مشخص شده است در شکل‌های ۱۹ و ۲۰، دو روش نیمه صنعتی و روستایی خشك کن‌های خورشیدی به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند.

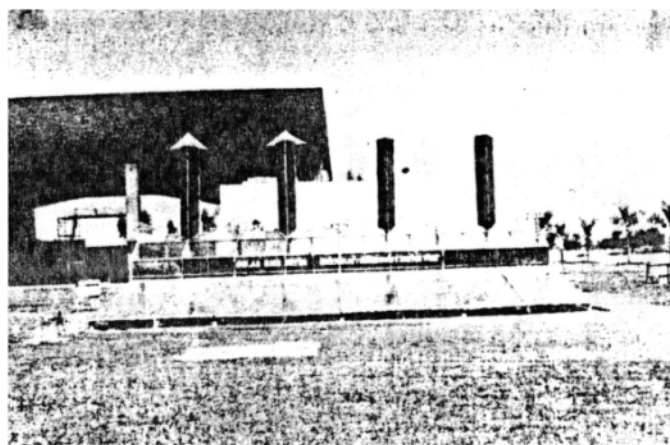


۲-۳- وضعیت کلکتورهای خورشیدی در کشورهای مختلف  
فروشنندگان کلکتور در کشور آمریکا در سال ۱۹۷۴، ۵۰ شرکت بوده‌اند که تعداد آنها در سال ۱۹۷۹ به ۳۴۹ شرکت رسید. پس از کاهش تدریجی قیمت نفت، تعداد فروشنندگان نیز در این کشور کم شدند و در سال ۱۹۸۴ به ۲۲۴ شرکت رسیدند. این کاهش در کشورهای دانمارک، سوئیس و سوئد، به ۵۰ تا ۹۰ درصد رسید.

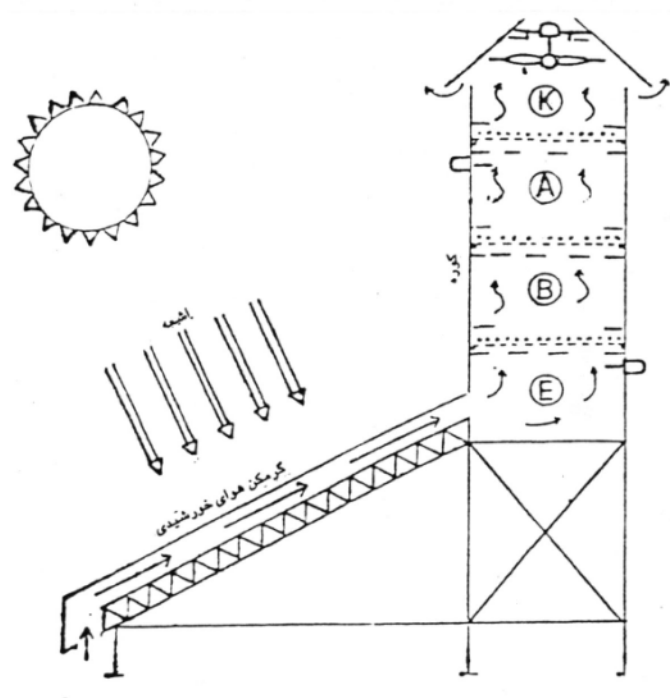
در کشور ژاپن، مساحت کلکتورهای ساخته شده در سال ۱۹۸۴ به اندازه ۱.۳۱۶.۵۴۱ مترمربع بوده است که این میزان با حدود ۱۰ درصد کاهش در سال ۱۹۸۵ به ۱.۱۸۲.۹۷۷ مترمربع رسید.



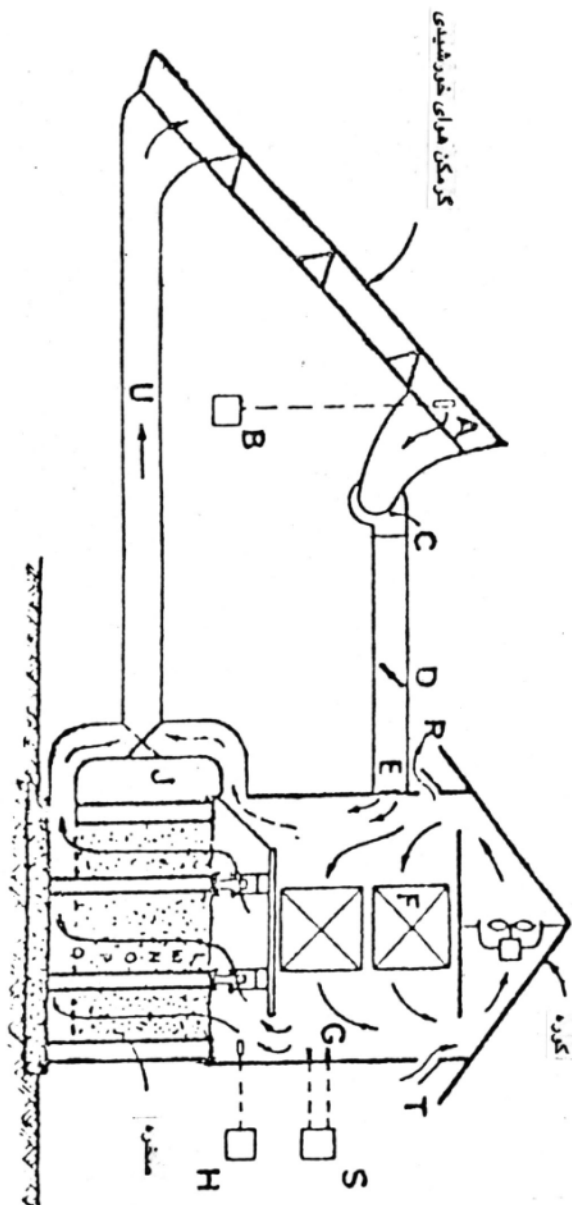
شکل ۱۷: اجاق خورشیدی با آینه‌های متمرکز کننده



شکل ۱۸: برنج خشک کن خورشیدی



شکل ۱۹: خشک کن خورشیدی در مدل روستائی



شکل ۲۰: خشک کن خورشیدی نیمه صنعتی

در کشور استرالیا، در سال ۱۹۸۴ حدود ۳۰.۰۰۰ واحد فروخته شده است که این میزان با کاهش شدید در سال ۱۹۸۵ به ۱۵۰۰ رسیده است. تا سال ۱۹۸۶ در ۲۵۰.۰۰۰ واحد خانگی در استرالیا نصب شده است. در این کشور ابعاد معمولی کلکتورها ۴ مترمربع است که قیمت آن در سال ۱۹۸۶، برابر ۱۵۰۰ دلار استرالیا بوده است.

در کشور کانادا در سال ۱۹۸۵، تعداد ۲۰۰۰ آبگرمکن خورشیدی و ۱۰۰ سیستم خورشیدی اکتیو دیگر با هزینه کلی ۲۰ میلیون دلار کانادا فروخته شده است که این میزان نسبت به سال ۱۹۸۴ به اندازه ۲۰ درصد افزایش داشته است.

بهترین فروش در آمریکا ۱۰۰.۰۰۰ واحد در سال بوده است. آبگرمکن‌های خورشیدی رایج در آمریکا دارای سطح ۵ الی ۶ مترمربع هستند و قیمت آنها در سال ۱۹۸۶ برابر ۳ الی ۵ هزار دلار آمریکا بوده است. تمامی فروش سیستم‌های اکتیو خورشیدی در سال ۱۹۸۳ در آمریکا بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلیون دلار بوده است. در شکل ۲۱ میزان فروش سیستم‌های خورشیدی اکتیو با کاربردهای مختلف مشخص شده است.

| کلکتور برحسب مترمربع |        |       |            |         |
|----------------------|--------|-------|------------|---------|
| مسکونی               | تجاری  | صنعتی | مصارف دیگر | کل      |
| ۱۲۹۹۰۰۰              | ۱۹۴۰۰۰ | ۲۷۰۰۰ | ۵۵۰۰       | ۱۵۲۵۰۰۰ |

شکل ۲۱: میزان فروش سیستم‌های اکتیو خورشیدی

در جدول ۲ قیمت آبگرمکن‌های خورشیدی در سال ۱۹۸۴ براساس تبدیل قیمت‌ها به دلار آمریکا در آن سال، در کشورهای مختلف، ذکر شده است. اختلاف بین قیمت‌ها می‌تواند ناشی از هزینه مصالح، طراحی و غیره باشد.

با توجه به جدول، ملاحظه می‌شود که کشور هلند دارای کمترین هزینه در اروپا بوده است.

| کشور         | قیمت (دلار بر مترمربع) |
|--------------|------------------------|
| استرالیا     | ۲۴۷ (با گردش طبیعی آب) |
| کانادا       | ۴۵۷                    |
| فرانسه       | ۲۹۷-۵۹۳                |
| ژاپن         | ۳۰۹                    |
| ایتالیا      | ۳۰۹                    |
| هلند         | ۲۷۲                    |
| سوئد         | ۳۴۶                    |
| ایالات متحده | ۷۴۱-۴۹۴                |

جدول ۲: قیمت سیستم‌های DHW در کشورهای مختلف

## ۳-۳- بررسی اقتصادی سیستم‌های اکتیو

سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در بعضی کشورها که دارای تابش زیاد خورشید می‌باشند، قابل مقایسه با سیستم‌های سنتی هستند. در شکل ۲۲ مقایسه‌ای بین سیستم آبگرمکن خورشیدی و دیگر سیستم‌ها، نشان داده شده است. این آبگرمکن‌ها دارای سیستم لوله‌های خلاء هستند و این شکل که در سال ۱۹۸۷ تهیه شده است، هزینه تولید را براساس

میزان تابش نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مناطقی که دارای تابش ۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز هستند، میزان هزینه این سیستم‌ها ۱۸ دلار بر مگا بی‌تی‌یو برآورد شده است. در همان سال هزینه استفاده از گاز در منازل کشور ایالات متحده برابر ۸ دلار بر مگا بی‌تی‌یو بوده است که نشان می‌دهد سیستم خورشیدی قابل مقایسه با سیستم گازی نبوده است، ولی هزینه گاز در ژاپن برابر ۲۱ دلار برای هر مگا بی‌تی‌یو بوده است که قابل رقابت بودن سیستم خورشیدی با سیستم گازی در آن کشور را مشخص می‌کند. همین هزینه در ایالات متحده اگر از سیستم الکتریکی استفاده شود، برابر ۲۴ دلار برای هر مگا بی‌تی‌یو بوده است که نشانگر قابل رقابت بودن سیستم خورشیدی با آن می‌باشد.



شکل ۲۲: هزینه‌های جاری سیستم‌های گرم‌کن آب خورشیدی



در جدول ۳، میزان تشعشع خورشیدی در اواسط تابستان، اواسط زمستان، متوسط سالانه و نسبت آنها در کشورهای مختلف نشان داده شده است. با توجه به میانگین تابش سالانه کشور انگلستان، نتیجه می‌گیریم که این کشور و کشورهای که دارای وضعیت مشابه هستند نمی‌توانند از سیستمهای خورشیدی به عنوان سیستم اصلی استفاده کنند و بایستی از این سیستم‌ها به عنوان سیستم کمکی استفاده نمایند.

| کشور              | اواسط تابستان (A) | اواسط زمستان (B) | A/B  | متوسط سالانه |
|-------------------|-------------------|------------------|------|--------------|
| انگلستان          | ۵/۰               | ۰/۵              | ۱۰/۰ | ۲/۵          |
| مرکز ایالات متحده | ۷/۲               | ۳/۸              | ۲/۴  | ۵/۳          |
| جنوب فرانسه       | ۶/۷               | ۱/۴              | ۴/۸  | ۴/۲          |
| استرالیا          | ۶/۲               | ۳/۶              | ۱/۸  | ۵/۵          |
| ژاپن              | ۴/۷               | ۱/۹              | ۲/۴  | ۳/۶          |

منبع: وزارت انرژی انگلستان ۱۹۸۲

جدول ۳ : انرژی قابل دسترس در کشورهای مختلف  
(کیلووات ساعت بر مترمربع روزانه)

#### ۴- حرارت خورشیدی

##### ۴-۱- مقدمه

تا قبل از سال ۱۹۷۴ بیشتر مطالب مربوط به انرژی خورشیدی، بصورت مطالعاتی در کشورهای ژاپن، فرانسه و ایالات متحده بوده‌اند و آنچه ساخته می‌شده به صورت کوره‌های آفتابی برای آزمایش مواد در درجه حرارت بالا بوده است. از مهمترین این کوره‌ها، می‌توان از Odeillo

در فرانسه نام برد که بزرگترین آنها نیز بوده است. این کوره دارای ۶۳ منعکس کننده بوده و درجه حرارتی بیش از ۳۸۰۰ درجه سانتیگراد را تولید می کرده است. پس از بحران نفتی ۱۹۷۴، بسیاری از کشورها سعی کردند که از انرژی خورشیدی بعنوان یک منبع انرژی استفاده کنند و در عرض یک دهه صدها سیستم خورشیدی راه اندازی شد.

برای تکنولوژی حرارتی خورشیدی (که کاربرد زیادی نیز پیدا کرده است)، چهار سیستم مختلف به صورت کلی می توان تعریف کرد.

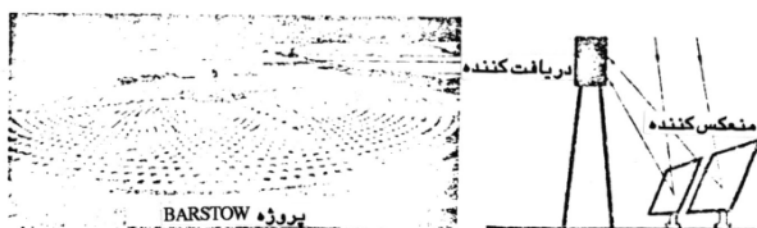
- طوقه های سهمی شکل<sup>۱</sup>
- دیسکهای سهمی شکل<sup>۲</sup>
- دریافت کننده مرکزی<sup>۳</sup>
- حوضچه های آفتابی<sup>۴</sup>

طوقه های سهمی شکل و دیسک های سهمی شکل در سیستم های علمی دارای کاربرد بیشتری هستند. در سیستم های دریافت کننده مرکزی، حرارت قسمت مرکزی یعنی بخشی که در آنجا اشعه ها متمرکز می شوند، تا میزان ۱۵۰۰ الی ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد بالا برده می شود. در شکل ۲۳ این سه نوع سیستم مشخص شده اند.

حوضچه های آفتابی با حرارت کمتر کار می کنند. در این حوضچه ها که پر از آب هستند، با توجه به ظرفیت گرمایی بالای آب، حرارت خورشید گرفته می شود و در مصارف مختلف مانند تولید الکتریسته، حرارت صنعتی و یا تجاری مورد استفاده قرار می گیرد.

۱- Parabolic Dish    ۲- Parabolic Trugh    ۳- Central Receiver    ۴- Solar Ponds

دریافت کننده های معمول تولید الکتریسیته



دریافت کننده های دیسکی تولید الکتریسیته



دریافت کننده های سهمی شکل برای پروسه های تولید حرارت



شکل ۲۳: تکنولوژی های حرارت خورشیدی

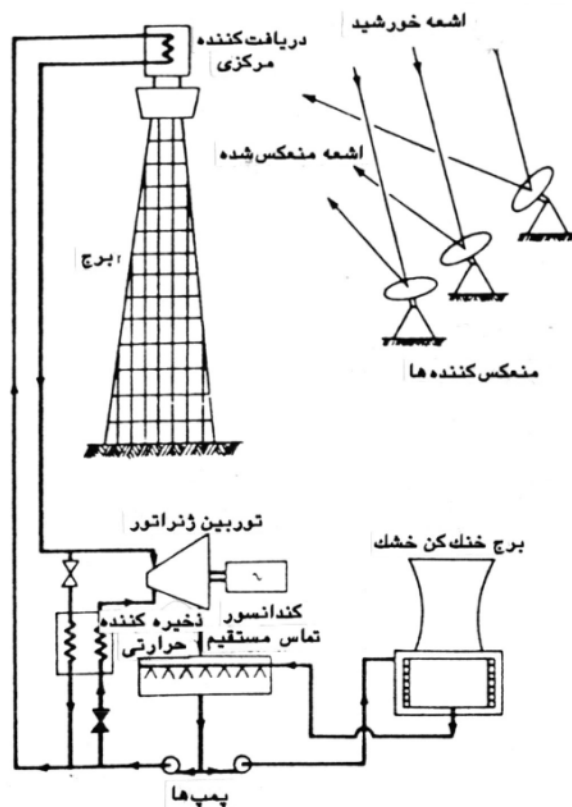
در سیستم های متمرکز کننده، سیستم های طوقه ای فقط در يك جهت برای متمرکز کردن انرژی خورشیدی حرکت می کنند تا اینکه بتوانند يك خط نوری متمرکز داشته باشند ولی در سیستم های دیسکی و دریافت کننده های مرکزی، منعکس کننده ها در دو جهت تغییر مکان می دهند تا اینکه بتوانند اشعه های منعکس شده آفتاب را در يك نقطه نوری تمرکز دهند. در سیستم های طوقه ای و دیسکی هر متمرکز کننده يك

دریافت کننده انرژی دارد، ولی در سیستم دریافت کننده مرکزی، فقط يك دریافت کننده اصلی وجود دارد.

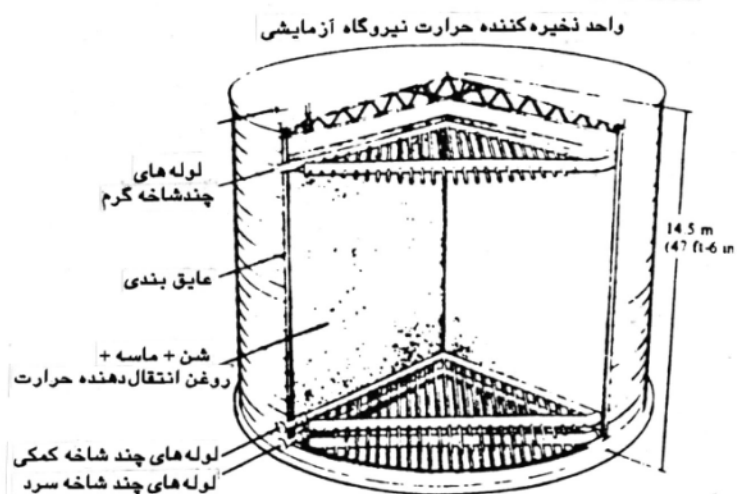
در سیستم دریافت کننده مرکزی، منعکس کننده ها که به هلیوستات (Heliostat) معروف هستند، از اشعه خورشید پیروی کرده، و اشعه خورشید را مستقیماً به سمت برج مرکزی دریافت کننده منعکس می کنند. در بخش مرکزی، لوله های فلزی وجود دارد که از درون آن مایع منتقل کننده حرارت عبور می کند. در اثر این عمل حرارت مایع به بیش از ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد می رسد. در شکل ۲۴ يك سیستم دریافت کننده مرکزی به صورت شماتیک و در شکل ۲۵ قسمت داخلی بخش دریافت انرژی خورشیدی نشان داده شده است.

طوقه های سهمی شکل اولین تکنولوژی پیشرفته در مورد انرژی حرارتی خورشید هستند و چندین کشور جهان در مورد بهبود تکنولوژی آن همکاری نموده اند. راندمان این سیستم ها تا قبل از سال ۱۹۸۰، به ۶ درصد می رسید. با افزایش مطالعات و بهبود دستگاهها، این راندمان در سال ۱۹۸۰ به ۲۷ درصد و پس از آن در نیمه اول دهه هشتاد میلادی، این مقدار بین ۱۷ الی ۴۳ درصد قرار گرفت.

با مطالعاتی که انجام شده، سعی بر آن است که این مقدار در شرایطی که درجه حرارت مایع خروجی ۲۵۰ درجه سانتیگراد است به ۶۵ الی ۷۰ درصد برسد. بایستی اضافه کرد که قابلیت سیستم های جدید در حدود ۹۵ درصد است.



شکل ۲۴: نمای شماتیک یک نیروگاه دریافت کننده مرکزی  
انرژی حرارتی خورشید



شکل ۲۵: سیستم ذخیره کننده حرارتی برای نیروگاه آزمایشی

دیسکهای سهمی شکل، دارای دونوع تکنولوژی برای متمرکز کننده ها هستند. متمرکز کننده هائی از جنس شیشه - فلز و متمرکز کننده هائی از جنس پلاستیک با روکش فلزی (آلومینیوم یا نقره). متمرکز کننده های شیشه - فلزی در ابتدا هزینه ای معادل ۱۳۰۰ دلار بر مترمربع داشتند که این هزینه در سال ۱۹۸۵، نزدیک به ۳۰۰ دلار بر مترمربع محاسبه شده است. متمرکز کننده های نوع دوم نیز در ابتدا دارای هزینه ۱۰۰۰ دلار بر مترمربع بودند که این مقدار در سال ۱۹۸۵ به کمتر از ۲۰۰ دلار بر مترمربع رسید. لازم به توضیح است که وزن متمرکز کننده های نوع دوم، کمتر از نوع اول است.

تبدیل انرژی در سیستم های دیسکی نیز به دو روش صورت می گیرد. یکی تبدیل انرژی حرارتی در همان نقطه به انرژی الکتریکی برای هرواحد و دیگری انتقال انرژی حرارتی به یک نقطه مرکزی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی، با استفاده از روش دوم چندین سیستم بزرگ شامل چند دیسک در استرالیا، آمریکا و خاورمیانه نصب شده است.

#### ۲-۴- کاربردهای حرارت خورشیدی در کشورهای مختلف

در جدول ۴ چندین واحد حرارتی انرژی خورشیدی موجود در کشورهای مختلف جهان مشخص شده است. در این جدول نام واحدها، نام مالک آنها، محل نصب، عرض جغرافیایی محل نصب، کاربرد، درجه حرارت بار، نوع کلکتور، سطح کلکتورها و سال بهره برداری آنها مشخص گردیده است.

الف- در مورد طوقه های سهمی شکل، چندین کشور جهان در حال تحقیق،



| کارخانه             | کارفرما                       | موقعیت                  | عرض جغرافیایی | کاربرد                                            | درجه حرارت کار (سانتیگراد) | نوع کلکتور        | سطح چیده شده (مترمربع) | سال شروع به کار | پروود کنترل و نگهداری (ماه) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Caterpillar Tractor | Caterpillar Tractor Co.       | San Leandro CA, USA     | ۷۸            | ایکدم برای کارهای شستشو                           | ۹۱                         | طرقه های سیمی شکل | ۲۶۸۲                   | ۱۹۸۲            | ۱۹                          |
| Dow Chemical        | Dow Chemical CO.              | Dalton, GA, USA         | ۲۵            | تولید بخار                                        | ۱۸۷                        | طرقه های سیمی شکل | ۱۲۱                    | ۱۹۸۱            | ۲۶                          |
| Home Laundry        | Home Cleaning and Laundry Co. | Pasadena, CA, USA       | ۲۴            | آب داغ (۱۷۰ درجه) یا بخار ۱۱۰-۱۰۰ درجه برای شستشو | ۱۶۶                        | طرقه های سیمی شکل | ۶۰۴                    | ۱۹۸۲            | ۱۸                          |
| Ingelstad           | Vaxjo Local Authority         | Vaxjo, Sweden           | ۵۷            | گرمایش فضا و آب برای ۵۲ خانه توریه                | ۷۱                         | طرقه های سیمی شکل | ۱۳۹۰                   | ۱۹۷۹            | ۲۸                          |
| Lone Star Brewery   | Lone Star Brewery             | San Antonio TX, USA     | ۲۰            | تولید بخار برای بویلرهای منطقه سازی               | ۱۷۷                        | طرقه های سیمی شکل | ۸۷۸                    | ۱۹۸۲            | ۱۲                          |
| Southern Union IPH  | Southern Union Gas Co.        | Lovington NW, USA       | ۳۳            | تولید بخار برای منابع نفت                         | ۱۹۱                        | طرقه های سیمی شکل | ۹۳۷                    | ۱۹۸۲            | ۱۲                          |
| UssChemicals        | United States Steel Chemicals | Haverhill OH, USA       | ۲۱            | تولید بخار برای کارخانجات شیمیایی                 | ۱۵۱                        | طرقه های سیمی شکل | ۲۶۸۰                   | ۱۹۸۳            | ۸                           |
| ARCO EOR            | Atlantic Richfield Co.        | Bakersfield CA, USA     | ۳۶            | تولید بخار برای اوزابیش بازیافت نفت               | ۲۸۶                        | آریافلت           | ۱۶۳۰                   | ۱۹۸۳            | ۱۸                          |
| Dyeing Factory      | NEDO                          | Ichinomiya Aichi, Japan | ۲۵            | پودسه تولید حرارت برای رنگداری                    | —                          | طرقه های سیمی شکل | ۵۳۲                    | ۱۹۸۳            | ۲۴                          |

جدول ۴: مشخصات پروژه های سیستم های حرارت خورشیدی

| کارخانه                | کارفرما                                | موقعیت                 | عرض جغرافیایی | کاربرد                     | درجه حرارت کار (ساندویچر ادا) | نوع کلکتور         | سطح پنل (متر مربع) | سال شروع به کار | پریود کنترل و نگهداری (ماه) |
|------------------------|----------------------------------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|
| CESA - 1               | Ministry Of Industry and Energy, Spain | Almerio Spain          | ۳۷            | نیروگاه آزمایش             | ۵۱۰                           | دریانت کننده مرکزی | ۱۷۰۰۰              | ۱۹۸۳            | ۳۶                          |
| SSPS-DCS1              | International Energy Agency            | Almeria, Spain         | ۳۷            | نیروگاه آزمایش             | ۷۸۰                           | طرقه های سهمی شکل  | ۲۶۷۴               | ۱۹۸۱            | ۳۶                          |
| SSPS-DCS2              | International Energy Agency            | Almeria, Spain         | ۳۷            | نیروگاه آزمایش             | ۷۸۰                           | طرقه های سهمی شکل  | ۲۶۸۸               | ۱۹۸۱            | ۳۶                          |
| SSPS-DCS3              | International Energy Agency            | Almeria, Spain         | ۳۷            | نیروگاه آزمایش             | ۷۸۰                           | طرقه های سهمی شکل  | ۲۲۴۰               | ۱۹۸۳            | ۳۶                          |
| 14 Disk - Power System | New South Wales Government             | White Cliffs Australia | ۳۲            | نیروگاه توکبیس کوچک        | ۵۵۰                           | لینک های سهمی شکل  | ۲۷۰                | ۱۹۸۳            | ۱۸                          |
| S. T. E. P             | Georgia Power CO.                      | Shenandoah, CA, USA    | ۳۳            | تولید قدرت الکتریکی و بخار | ۴۴۰                           | لینک های سهمی شکل  | ۴۴۰۰               | ۱۹۸۳            | ۱۸                          |
| SOLAR ONE              | Southern Calif Edison Company          | Barstow, CA, USA       | ۳۵            | نیروگاه آزمایش             | ۵۱۰                           | دریانت کننده مرکزی | ۷۲۵۳۸              | ۱۹۸۳            | ۳۶                          |
| SEGS1                  | Luz Solar Partners                     | Barstow, CA, USA       | ۳۵            | —                          | ۳۰۰                           | طرقه های سهمی شکل  | ۱۰۰۰۰۰             | ۱۹۸۳            | ۱۲                          |
| SEGS2                  | Luz Solar Partners                     | Barstow, CA, USA       | ۳۵            | تولید الکتریسیته تجاری     | ۳۰۰                           | طرقه های سهمی شکل  | ۱۶۵۰۰۰             | ۱۹۸۵            | ۱                           |
| Vanguard               | US DOE                                 | Palm Springs, CA, USA  | ۳۴            | ۳۵ کیلووات                 | ۷۰۰                           | لینک های سهمی شکل  | ۹۲                 | ۱۹۸۳            | ۳۳                          |
| Advanco                |                                        |                        |               | مقداران مدل                |                               |                    |                    |                 |                             |

جدول ۴: ادامه

| کارخانه      | کارفرما                        | موقعیت                  | عرض جغرافیایی | کاربرد                | درجه حرارت کار (سانتیگراد) | نوع کلکتور       | سطح چیده شده (مترمربع) | سال شروع به کار | پربود کنترل و نگهداری (ماه) |
|--------------|--------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Solar Part 1 | La Jet Energy                  | Warner Springs, CA, USA | ۳۳            | —                     | ۴۰۰                        | دیسکهای سهمی شکل | ۳۰۳۰۰                  | ۱۹۸۴            | ۲۳                          |
| Dish 1       | Southern Calif, Edison Company | Bartlow, CA, USA        | ۳۵            | ۷۵ کیلوات پیمانان مدل | ۷۰۰                        | دیسکهای سهمی شکل | ۹۲                     | ۱۹۸۵            | ۳                           |

جدول ۴: ادامه

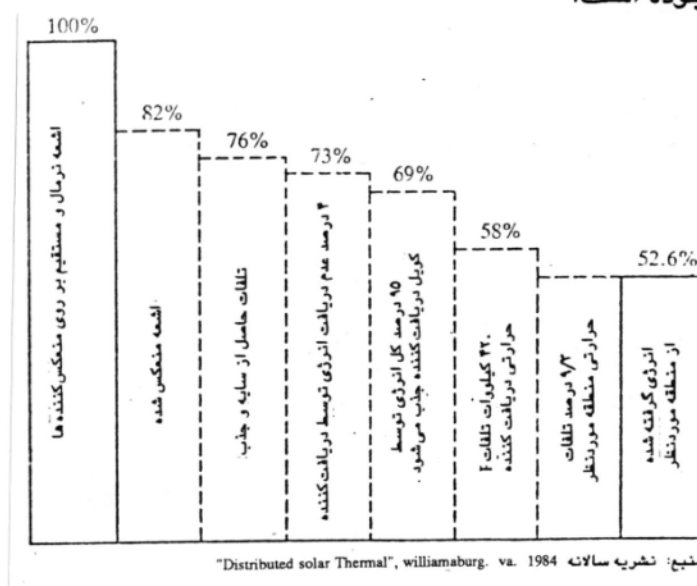
مطالعه و ساخت هستند ولی سازندگان کشور ایالات متحده بیشترین تعداد این سیستمها را ساخته‌اند و بیش از ۱۰۰۰۰۰ مترمربع از این طوقه‌ها تا سال ۱۹۸۵ در آن کشور به منظور آزمایش و نشان دادن چگونگی بهره‌برداری ساخته شده است.

واحدهای بزرگی که با استفاده از این تکنولوژی از انرژی خورشیدی، الکتریسیته تولید می‌کنند SEG1 و SEG2 در کالیفرنیا ایالات متحده هستند. SEG1 با سطح کلکتور ۷۰۰۰۰ مترمربع توان ۱۴/۸ مگاوات و SEG2 با سطح کلکتور ۱۶۰۰۰۰ مترمربع، حدود ۳۰ مگاوات نیرو تولید می‌کنند. کمپانی سازنده این واحدها سعی دارد که واحدهای دیگری نیز با قدرت حدود ۳۰ مگاوات و بیشتر بسازد.

ب - در مورد دیسکهای سهمی شکل، در کشورهای ایالات متحده و استرالیا، تحقیقات و کاربردها بیشتر است. سیستم واقع در Shenandoah در ایالات متحده که شرکت Georgia Power آن را ساخته است، از سال ۱۹۸۲ شروع به کار کرده و دارای ۱۱۴ دیسک و ۳ مگاوات قدرت است. این نیروگاه دارای یک مرکز حرارتی است. خروجی سیستم به صورت ۴۰۰ کیلووات الکتریکی و ۲۵۰ تن هوا برای تهویه مطبوع و ۶۵۰ کیلوگرم بخار در ساعت در درجه حرارت ۱۸۲ درجه سانتیگراد است. در شکل ۲۶، راندمان کار کلکتور (که در حالت پایدار برابر ۵۲/۶ درصد می‌باشد) مشخص شده است.

نیروگاه Warner Spring در کالیفرنیا ایالات متحده از هفتصد دیسک با قطر ۷/۴ متر (مساحت ۴۳ مترمربع) ساخته شده است که گرما را به یک

مرکز حرارتی منتقل می کند و در آنجا ۴/۹ مگاوات انرژی بدست می آید. بر اساس گزارش سازمان انرژی ایالات متحده، هزینه کلکتور این نیروگاه ۱۵ دلار بر مترمربع و هزینه کلی سیستم ۳۴۰۰ دلار بر کیلووات بوده است.

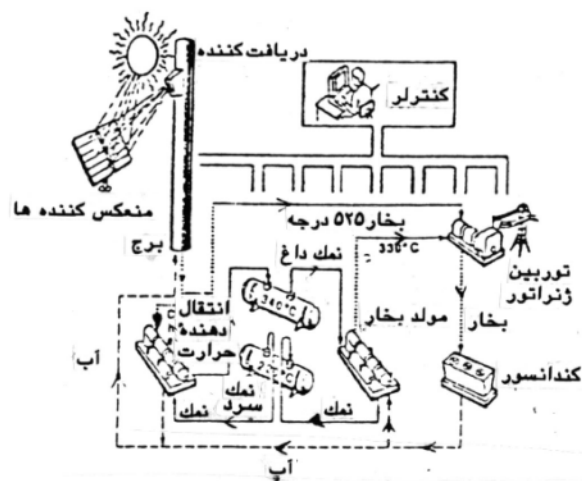


شکل ۲۶: راندمان عملکرد کلکتورهای خورشیدی

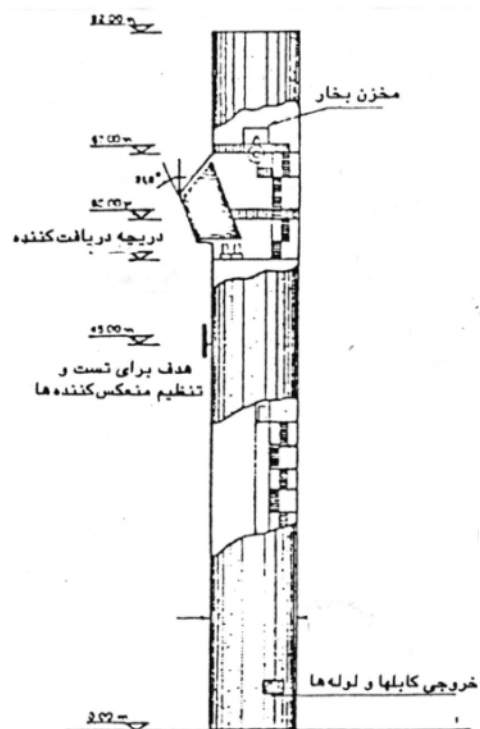
یک سیستم دارای ۵۲ دیسک متمرکز کننده که متمرکز کننده ها در اطراف یک دریافت کننده ثابت حرکت می کنند، در سال ۱۹۸۱ بوسیله یک کمپانی آلمانی در کویت نصب شده است.

## پ - دریافت کننده مرکزی

یک سیستم دریافت کننده مرکزی به نام THEMIS در سال ۱۹۸۶ در Targassonne فرانسه ساخته شده است که دارای ظرفیت ۲ مگاوات می باشد. این سیستم از ۲۰۱ هلیوستات استفاده کرده و مایع مورد استفاده آن برای



شكل ۲۷: شمای شماتيك CESA-I



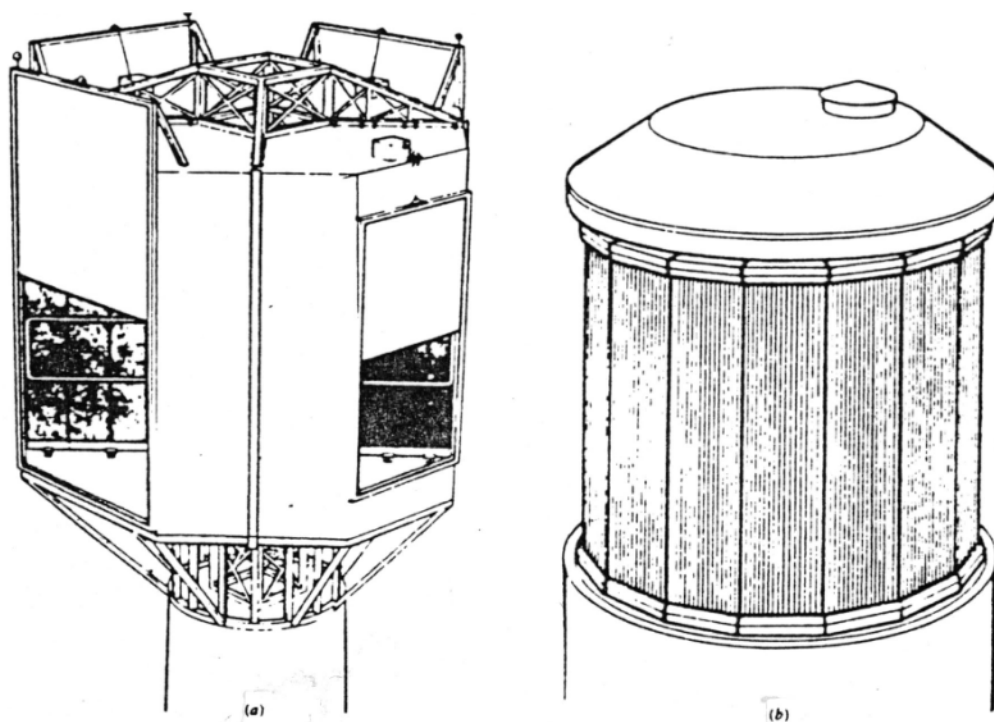
شكل ۲۸: شمای توصیفی برج CESA-I

انتقال حرارت، نمک گداخته است. این سیستم تا شش ساعت بدون وجود خورشید قادر به کار است. همچنین بایستی خاطرنشان کرد، این سیستم بزرگترین سیستمی است که از نمک گداخته برای انتقال حرارت استفاده می کند.

از سال ۱۹۷۹ تحت نظر وزارت صنعت و انرژی اسپانیا، طراحی و ساخت پروژه CESA1 شروع شد. این سیستم که يك واحد با قدرت ۱۲ مگاوات است از سال ۱۹۸۳ شروع به کار کرده است. این سیستم دارای ۳۰۰ هلیوستات است و دریافت کننده آن انرژی خود را بوسیله يك سیكل ترکیبی آب-بخار به يك مخزن نمک گداخته منتقل می کند. در شکل ۲۷ سیستم CESA1 به صورت شماتیک رسم شده است. در شکل ۲۸ نیز مشخصات برج این سیستم مشخص شده است.

دو نیروگاه حرارتی نیز در Nio ژاپن ساخته شده است. نیروگاهی که از سیستم دریافت کننده مرکزی استفاده می کند، دارای ۸۰۷ هلیوستات است و از دریافت کننده نوع حفره ای استفاده می کند (در شکل ۲۹ دو نوع سیستم دریافت کننده حفره ای و خارجی مشخص شده اند). در این سیستم از بخار اشباع شده برای توربین استفاده می شود و ذخیره انرژی معادل عملکرد سه ساعته در آن موجود است. سیستم دوم مشابه سیستم اول است با این تفاوت که در سیستم دوم از ترکیب هلیوستات و طوقه های سهمی شکل به عنوان منعکس کننده استفاده شده است. براساس آزمایشی که در سال ۱۹۸۴ انجام شده است، این دو نیروگاه با عملکرد در حدود ۲۱۲۵ ساعت در عرض دو سال ونیم، توانسته اند انرژی معادل ۱۲۳۵ مگاوات ساعت تولید کنند.





شکل ۲۹: دریافت کننده مرکزی (a) نوع چهار حفره ای (b) نوع خارجی

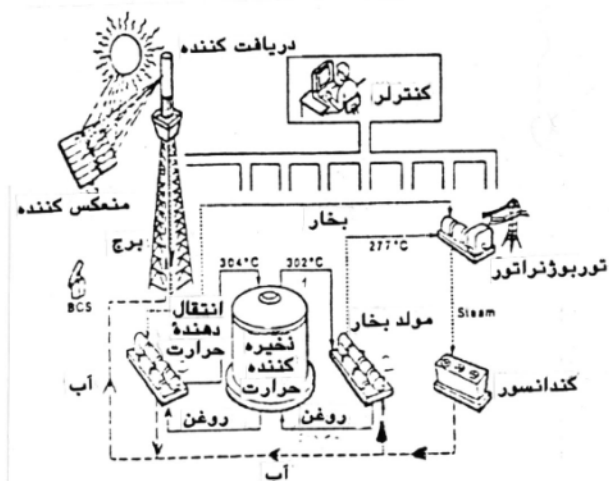
در ایالات متحده يك نیروگاه از نوع دریافت کننده مرکزی به نام Solar One در کالیفرنیا جنوبی در سال ۱۹۸۲ ساخته شده است. قدرت خروجی ماکزیمم این نیروگاه ۱۰ مگاوات، بلندی برج آن ۹۱/۴ متر و يك دریافت کننده از نوع خارجی با ارتفاع ۱۳/۷ متر بر روی برج سوار شده است. ۱۸۱۸ هلیوستات در اطراف کلكتور وجود دارند که سطح هريك ۳۹/۹ مترمربع است.

|                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| ماکزیم قدرت خروجی لحظه ای            | ۱۰/۸ مگاوات (خالص)         |
| ماکزیم تولید انرژی در روز            | ۶۲/۶۲ مگاوات ساعت (خالص)   |
| ماکزیم تولید انرژی در هفته           | ۴۵۵/۸ مگاوات ساعت (خالص)   |
| ماکزیم تولید انرژی در ماه            | ۱۷۵۵/۸۴ مگاوات ساعت (خالص) |
| ماکزیم تولید انرژی در سال            | ۸۸۰۳/۱۴ مگاوات ساعت (خالص) |
| بیشترین زمان کار در روز              | ۱۱/۶۸ ساعت                 |
| بیشترین زمان کار در هفته             | ۷۳/۰۲ ساعت                 |
| بیشترین زمان کار در سال              | ۱۸۰۱/۶ ساعت                |
| حداکثر تعداد هلیوستات های در حال کار | ۱۸۱۸ معادل صد در صد        |

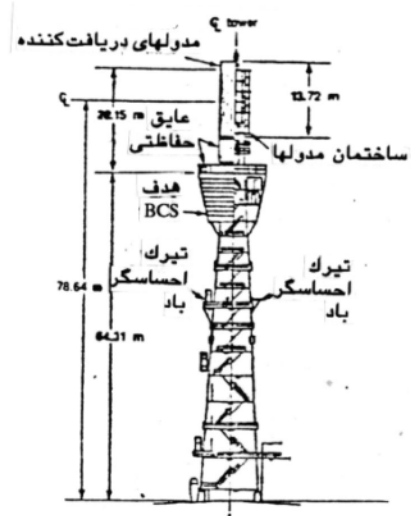
جدول ۵: اطلاعات عملیاتی مهم نیروگاه Solar One در سرتاسر

دسامبر ۱۹۸۵

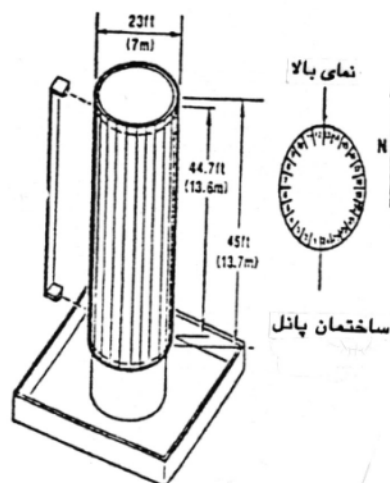
جدول ۵ اطلاعاتی را در مورد نیروگاه Solar One مشخص کرده است. در شکل ۳۰ این نیروگاه به صورت شماتیک نشان داده شده و در شکل ۳۱ نیز مشخصات برج مرکزی این نیروگاه نوشته شده است. شکل ۳۲ نیز مشخصات قسمت دریافت کننده انرژی را که از نوع خارجی است، نشان می دهد.



شکل ۳۰: شمای طرح Solar One



شکل ۳۱: تصویر برج نیروگاه Solar One



شکل ۳۲: نمای دریافت کننده Solar One

راندمان سالیانه نیروگاه Solar One برابر ۱۳ درصد محاسبه شده است. مطالعات انجام شده در اروپا و ایالات متحده نشان می‌دهد که سیستم‌های دارای سدیم مایع و یا نمک مذاب به عنوان ماده انتقال حرارت، دارای راندمان بهتری هستند لذا سازندگان به این مواد علاقه

بیشتری نشان می دهند. در جدول ۶ دانسیته ذخیره انرژی چند ماده ذخیره کننده انرژی استفاده شده در دریافت کننده ها نوشته شده است.

| چگالی ذخیره انرژی                           |      | ماده واسطه               |
|---------------------------------------------|------|--------------------------|
| مگاوات ساعت بر متر مکعب بی تی یو پرفوت مکعب |      |                          |
| ۸۰۰۰                                        | ۰/۰۸ | سدیم                     |
| ۱۴۰۰۰                                       | ۰/۱۵ | سنگ با ۲۵ درصد فضای خالی |
| ۲۱۰۰۰                                       | ۰/۲۲ | نمک مذاب (نیترات)        |

جدول ۶: دانسیته ذخیره سازی حرارت

در سیستم های دریافت کننده مرکزی، هلیوستات ها ۵۰-۴۰ درصد کل هزینه را شامل می شوند به همین دلیل کاهش این هزینه موجب کاهش هزینه کلی خواهد شد. در این زمینه مطالعات زیادی در حال انجام بوده و براساس مطالعاتی که انجام شده است اگر بخواهند با استفاده از دریافت کننده های مرکزی به صورت اقتصادی الکتریسیته تولید کنند، بایستی این سیستم حدود ۱۰۰ مگاوات قدرت داشته باشد. به عنوان مثال یک نیروگاه با ۶۰۰۰ هلیوستات با مساحت هر یک برابر ۱۰۰ مترمربع و یک دریافت کننده ۲۳ متری و ارتفاع برج ۱۳۶ متر به قطعه زمینی در حدود ۳/۱ میلیون مترمربع نیاز دارد.

## ت - حوضچه های آفتابی

تکنولوژی استفاده از حوضچه های آفتابی به صورت رایج و تجاری فقط در یک الی دو کشور پیشرفت کرده است. البته در این زمینه مطالعاتی در کشورهای ایالات متحده، استرالیا، ایتالیا، ژاپن و چند کشور دیگر

انجام می شود (به عنوان مثال در ایالات متحده در آزمایشگاه ملی آزمایشهای متعددی در این زمینه انجام شده است).

در کشور پرتغال يك حوضچه با عمق  $2/5$  متر و سطح  $1000$  مترمربع برای تامین حرارت ساختمانهای کشاورزی ساخته شده است. استرالیا يك استخر با  $2000$  مترمربع مساحت برای تولید الکتریسیته ساخته است و در کشور ویتنام در سال  $1985$  يك استخر با مساحت  $500$  مترمربع برای خشك کردن موز ساخته شده است.

راندمان سیستمهای حوضچه های آفتابی برای تولید حرارت،  $15$  درصد است ولی برای تولید الکتریسیته این راندمان برابر يك الی دو درصد است. با توجه به راندمان کم این حوضچه ها و با توجه به حجم زیاد آب مصرفی، این سیستمها هنوز در مراحل اولیه مطالعاتی هستند ولی با وجود این در کالیفرنیا ایالات متحده مراحل طراحی يك نیروگاه حوضچه آفتابی با ظرفیت  $12$  مگاوات انجام شده است. (این نیروگاه قسمتی از يك نیروگاه  $48$  مگاواتی است).

### ۳-۴- سیستمهای حرارت خورشیدی از نظر اقتصادی

براساس مطالعاتی که انجام شده است این سیستمها به طور متوسط بین  $2$  تا  $6$  برابر گرانتر از سیستمهای سنتی هستند و در شرایط یکسان قابل رقابت با این سیستمها نمی باشند.

سیستمهای طوقه ای می توانند در درجه حرارتی بین  $100$  تا  $315$  درجه سانتیگراد با هزینه  $27$  دلار بر مگا بی تی یو انرژی تولید کنند که این

هزینه بین دو تا چهار برابر هزینه سیستمهای گازی در ایالات متحده است.

در سال ۱۹۸۴ پس از مطالعاتی که بر روی يك سیستم دریافت کننده مرکزی در سوئیس انجام شد، به این نتیجه رسیدند که اگر يك سیستم دریافت کننده مرکزی با قدرت ۵۰ مگاوات به مدت ۴۰۰۰ ساعت کار کند، هزینه تولید برابر ۱۶ سنت بر کیلووات ساعت خواهد بود که قابل مقایسه با سیستمهای معمولی نیست.

در سال ۱۹۸۶ با توجه به مطالعات پنج ساله در ایالات متحده به این نتیجه رسیده اند که سیستمهای دریافت کننده مرکزی می توانند با هزینه ای معادل ۲۹۰۰ دلار بر کیلووات نصب شوند که با راندمان سالانه ۱۷ درصد و طول عمر ۳۰ سال چنانکه در جدول ۷ مشخص شده است، هزینه تولید برابر ۲۲/۶ سنت بر کیلووات خواهد بود البته اگر شرایطی که برای سال ۱۹۹۵ نیز در نظر گرفته شده است مهیا شود، باز هزینه این سیستمها حدود دو برابر هزینه سیستمهای سنتی است.

| اهداف در سال ۱۹۹۵                                                                | حالت فعلی              |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| ۲۲۰                                                                              | ۲۹۰                    | سرمایه گذاری اولیه (میلیون دلار)  |
| (۲۲۰۰ دلار بر کیلووات)                                                           | (۲۹۰۰ دلار بر کیلووات) |                                   |
| ۲۲                                                                               | ۱۷                     | راندمان متوسط (درصد)              |
| ۹۵                                                                               | ۹۰                     | در دسترس بودن (درصد)              |
| ۱۴۸                                                                              | ۱۰۸                    | تولید سالانه (گیگا وات ساعت)      |
| ۱۱/۵                                                                             | ۲۲/۶۱                  | هزینه تولید (سنت بر کیلووات ساعت) |
| فرضیات اساسی:                                                                    |                        |                                   |
| قدرت اسمی: ۱۰۰ مگاوات                                                            |                        |                                   |
| تابش مستقیم خورشید: ۲۶۹۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال                          |                        |                                   |
| هیلوستات: ۵۷۱۲۰۰ مترمربع                                                         |                        |                                   |
| هزینه تعمیر و نگهداری سالانه: ۶ دلار برای حالت فعلی و ۳ دلار برای تخمین سال ۱۹۹۵ |                        |                                   |
| عمر مفید سیستم: ۳۰ سال                                                           |                        |                                   |
| ضریب بهره: ۵ درصد                                                                |                        |                                   |

جدول ۷: اهداف تکنیکی بلند مدت برای CRS در ایالات متحده  
نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی (برحسب دلار ۱۹۸۴)

درمورد حوضچه های آبی می توان گفت که براساس نتایج بررسیهای انسیتو مطالعات الکتریکی ایالات متحده، اگر يك نیروگاه با ظرفیت ۵۰ مگاوات ساخته شود دارای هزینه ۵۴۰۰ دلار بر کیلووات خواهد بود و هزینه تولید الکتریسیته آن برابر ۲۶ سنت بر کیلووات ساعت خواهد شد که قابل مقایسه با سیستمهای سنتی نیست.



## ۵- فتوولتائیک<sup>۱</sup> (PV)

### ۵-۱- مقدمه

تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی را فتوولتائیک می‌گوییم. در این روش از خواص نیمه هادی‌ها استفاده می‌شود و از سری و موازی کردن تعداد زیادی از این سلول‌ها (نیمه هادی‌ها) ولتاژ و جریان مورد نظر بدست می‌آید.

در مورد فتوولتائیک، تکنولوژی‌های مختلفی وجود دارد و در سالهای اخیر این روشها به سرعت رشد کرده و بازارهای جدیدی در این زمینه تاسیس و گسترش یافته‌اند. تولید جهان از ۱ مگاوات در سال ۱۹۷۸ به ۲۴ مگاوات در سال ۱۹۸۵ رسیده است و برآورد تخمینی فروش در سال ۱۹۸۰ برابر ۸۵ میلیون دلار و در سال ۱۹۸۴ برابر ۴۰۰-۳۵۰ میلیون دلار بوده است.

بیش از ۱۰۰ کشور جهان از صنعت فتوولتائیک استفاده می‌کنند که در کشورهای استرالیا، بلژیک، کانادا، فرانسه، آلمان، ایتالیا، هلند، ژاپن و ایالات متحده این صنعت دارای رونق بیشتری است. در سال ۱۹۸۴ بیست و سه کمپانی آمریکایی به تولید در این زمینه پرداخته‌اند که چهار تولید کننده، خود از کمپانی‌های بزرگ نفتی هستند. در این سال بیست کمپانی در اروپا مشغول ساخت مدولهای PV بوده‌اند و چهارده کمپانی در ژاپن و ده کمپانی در کشورهای در حال توسعه اقدام به ساخت دستگاههای PV در حد کوچک کرده‌اند.

۱- Photovoltaic(PV)

| تاریخ تکمیل | قدرت خروجی<br>(کیلووات) | موقعیت        | پروژه                                                                       |
|-------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۱۹۸۱        | ۲۴۵                     | ارکانزاس      | Community college<br>(وزارت انرژی ایالات متحده)                             |
| ۱۹۸۱        | ۳۵۰                     | عربستان سعودی | SOLARS<br>(دولت ایالات متحده و عربستان)                                     |
| ۱۹۸۲        | ۲۲۵                     | آریزونا       | Sky Harbor Airport<br>(وزارت انرژی ایالات متحده)                            |
| ۱۹۸۲        | ۲۰۰                     | مریلند        | Solar Breeder<br>(Solarex)                                                  |
| ۱۹۸۲        | ۱۰۰۰                    | کالیفرنیا     | LUgo Station/Hesperia<br>(ARCO Solar/Southern)<br>(California Edison)       |
| ۱۹۸۴        | ۳۰۰                     | آلمان         | Pellworm Island<br>(بازار اقتصادی اروپا)                                    |
| ۱۹۸۴        | ۳۰۰                     | واشنگتن DC    | Georgetown University<br>Intercultural center<br>(وزارت انرژی ایالات متحده) |
| ۱۹۸۳        | ۶۴۰۰                    | کالیفرنیا     | Carrisa Plain<br>(ARCO solar/pachic Gas & Electric)                         |
| ۱۹۸۴        | ۲۰۰۰                    | کالیفرنیا     | Rancho Seco<br>(Sacramento Municipal Utility District)                      |
| ۱۹۸۵        | ۲۰۰                     | ژاپن          | NEDO / Tsukuba<br>(MITI ژاپن)                                               |
| ۱۹۸۶        | ۲۰۰                     | ژاپن          | NEDO school Project / Ichihara<br>(MITI ژاپن)                               |
| ۱۹۸۶        | ۱۱۰                     | آلاباما       | Solar Research<br>Project (Alabama power Co)                                |
| ۱۹۸۶        | ۱۰۰۰                    | ژاپن          | NEDO utility<br>System / Soijo<br>(MITI ژاپن)                               |
| ۱۹۸۷        | ۳۰۰                     | ایتالیا       | Delphos<br>(دولت ایتالیا)                                                   |

جدول ۸: نیروگاههای آزمایشی فتوولتائیک بزرگ (بیش از ۱۰۰ کیلووات)

## ۲-۵- کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک در جهان

علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی در مورد چگونگی استفاده، میزان تولید و اجزای فتوسلها، چندین واحد بزرگ PV نیز هم‌اکنون در حال کار هستند. واحدهای بزرگ (بیش از ۱۰۰ کیلووات) موجود در جهان تا سال ۱۹۸۷ در جدول ۸ نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول، مشخص می‌شود که چهار نیروگاه بیش از یک مگاوات نیرو تولید می‌کنند که سه واحد از آنها در ایالات متحده (کالیفرنیا) و یکی از آنها در ژاپن قرار دارد. از نکات جالب توجه دیگر این جدول، نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی عربستان سعودی است که در سال ۱۹۸۱ با مشارکت ایالات متحده ساخته شده است.

در جدول ۹ چندین نیروگاه فتوولتائیک با قدرت بالا که تا سال ۱۹۸۵ در اروپا راه‌اندازی شده، مشخص شده‌اند. در این جدول موقعیت و کاربرد این نیروگاه‌ها نیز مشخص شده است.

| قدرت (کیلووات) | محل                  | کشاربرد      |
|----------------|----------------------|--------------|
| ۵۰             | Crete Island, Greece | یونان        |
| ۵۰             | Mont Bouquet         | فرانسه       |
| ۵۰             | Fota Island          | ایرلند       |
| ۲۵             | Kaw                  | گویان فرانسه |
| ۵۰             | Terschelling Island  | هلند         |
| ۲۲             | Corsica Island       | فرانسه       |
| ۸۰             | Alicudi Island       | ایتالیا      |
| ۶۳             | Cheviotne            | پلایک        |
| ۵۰             | Nice                 | فرانسه       |
| ۶۵             | Tremiti Island       | ایتالیا      |
| ۲۵             | Giglio Island        | ایتالیا      |
| ۳۰             | Hoboken              | پلایک        |
| ۳۰             | Marchwood            | انگلستان     |
| ۱۰۰            | Kythnos Island       | یونان        |
| ۳۰۰            | Pellworm Island      | آلمان        |

جدول ۹: پروژه‌های آزمایشی فتوولتائیک در جامعه اروپا

با توجه به جدول ۱۰ (که میزان استفاده از فتوسل‌ها را مشخص کرده است)، دیده می‌شود که از فتوسل‌های نوع Single-Crystal Silicon برای تولید ۱۰/۸ مگاوات الکتریسیته استفاده شده است. این میزان، حدود ۴۴ درصد کل بازار را به خود اختصاص داده است. (لازم به توضیح است که این نوع فتوسل‌ها ۶۳ درصد بازار ایالات متحده را دربر گرفته است).

| نوع سلول             | امریکا | ژاپن | اروپا | دیگران | کل   |
|----------------------|--------|------|-------|--------|------|
| تک کریستالی سیلیکون  | ۵/۳    | ۲/۵  | ۱/۶   | ۱/۴    | ۱۰/۸ |
| چند کریستالی سیلیکون | ۲/۴    | ۰/۴  | ۲/۱   | .      | ۴/۹  |
| سیلیکون غیر کریستالی | ۰/۶    | ۷/۸  | .     | .      | ۸/۴  |
| نوع تغلیظ یافته      | ۰/۰۵   | .    | .     | .      | ۰/۰۵ |
| نوع نواری و بقیه     | ۰/۱۵   | .    | .     | .      | ۰/۱۵ |
| جمع                  | ۸/۵    | ۱۰/۷ | ۳/۷   | ۱/۴    | ۲۴/۳ |

منبع: مجله فتوولتائیک، فوریه ۱۹۸۶

جدول ۱۰: میزان مصرف جهانی سلول‌ها برحسب کشور و نوع سلول در سال ۱۹۸۵ (مگاوات)

سیستم نوع PS (Polycrystalline Silicon) با ۴/۹ مگاوات تولید، ۲۰ درصد بازار و سیستم نوع AS (Amorphous Silicon) با حدود ۸/۴۵ مگاوات، ۳۴ درصد بازار را به خود اختصاص داده است.

در جدول ۱۱ میزان مصرف و درصد شرکت در بازار انرژی فتوولتائیک کشورهای ایالات متحده، ژاپن و همچنین اروپا و بقیه جهان نشان داده شده است. مسئله قابل توجه افزایش میزان مصرف و تولید کشور ژاپن نسبت به ایالات متحده است.

| کشور   | مگاوات ارسالی به بازار |             |             | درصد سهم در بازار |         |         |
|--------|------------------------|-------------|-------------|-------------------|---------|---------|
|        | ۱۹۸۵                   | ۱۹۸۴        | ۱۹۸۳        | ۱۹۸۵              | ۱۹۸۴    | ۱۹۸۳    |
| امریکا | ۷/۵ - ۱۰               | ۸/۵ - ۱۵/۰  | ۹/۳ - ۱۳/۱  | ۳۷ - ۳۹           | ۴۶ - ۵۴ | ۶۰      |
| ژاپن   | ۶/۴ - ۱۱               | ۶/۶ - ۸/۹   | ۳/۸ - ۵/۳   | ۳۳ - ۴۱           | ۲۸ - ۳۶ | ۲۱ - ۲۴ |
| اروپا  | ۳/۷ - ۴/۵              | ۲/۶ - ۴     | ۲/۲ - ۳/۵   | ۱۷-۱۹             | ۱۴      | ۱۴-۱۷   |
| دیگران | ۱/۸-۱/۵                | ۰/۸-۱/۰     | ۰/۳-۰/۵     | ۵-۹               | ۳-۴     | ۱-۲     |
| جهان   | ۱۹/۴ - ۲۷              | ۱۸/۵ - ۲۸/۹ | ۱۵/۶ - ۲۲/۴ | —                 | —       | —       |

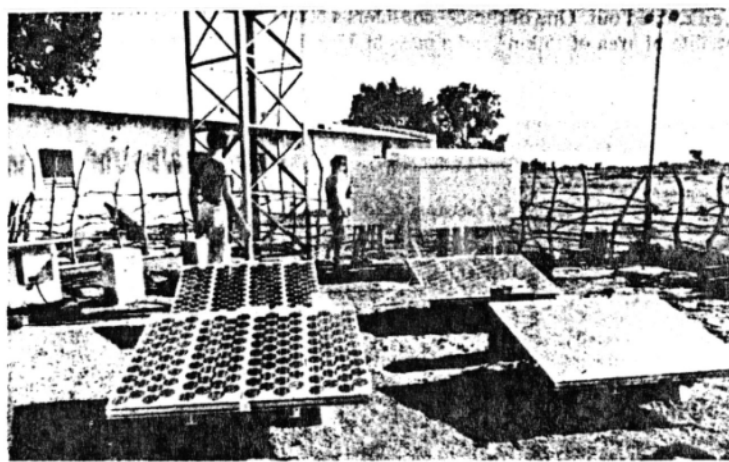
جدول ۱۱: ارزیابی تقاضای سالانه فتوولتائیک در جهان برحسب کشور و سهم آنها در بازار جهانی

سیستم‌های فتوولتائیک در ابعاد کوچک در کشورهای مختلف جهان دارای کاربرد زیادی شده‌اند. به عنوان نمونه کافی است یادآور شویم که در ایالات متحده سالانه در حدود ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ سیستم PV در حدود توان یک کیلووات و کمتر برای مناطق دورافتاده به فروش می‌رسد و یا هزاران منزل واقع در تفریحگاه‌های نیروژ از سیستم‌های PV کوچک استفاده می‌کنند و در کشور آلمان، استفاده از فتوسل‌های تک کریستاله و چند کریستاله بر روی سقف منازل مورد توجه قرار گرفته است (شکل ۳۳).

میزان تولید سیستم‌های فتوولتائیک در جهان در طول سال ۱۹۸۵ در حدود ۲۴ مگاوات بوده است و امید است این میزان در سال ۲۰۰۰ به ۴۵۰۰ مگاوات برسد. در کشورهای جهان سوم سعی می‌شود با کاهش هزینه سیستم‌های فتوولتائیک، آنها را جایگزین سیستم‌های دیزلی کنند و در مصارف محلی مورد استفاده قرار دهند. در شکل ۳۴ یک پمپ آب فتوولتائیک در کشور مالی نشان داده شده است.



شکل ۳۳: استفاده از سلولهای فتوولتائیک در منازل



شکل ۳۴: پمپ آب فتوولتائیک

## ۱-۲-۵- مقایسه نیروگاههای مختلف فتوولتائیک در ایالات متحده به عنوان بزرگترین تولید کننده جهان

ضریب ظرفیت و قابلیت، دو عدد برای مشخص کردن میزان کارایی سیستمها هستند که به صورت زیر تعریف می شوند:

میزان ساعات کار نیروگاه

قابلیت =  $\frac{\text{میزان ساعاتی که شرایط به گونه ای است که می توان از نیروگاه استفاده کرد}}{\text{میزان ساعات کار نیروگاه}}$

انرژی تولیدی در سال

ضریب ظرفیت =  $\frac{\text{انرژی تولیدی در سال}}{\text{میزان ساعات یک سال} \times \text{خروجی اسمی}}$

در جدولهای ۱۲ و ۱۳ مشخصات واحدهای مختلف با ساختارهای متفاوت تا سال ۱۹۸۸ در ایالات متحده مشخص شده اند. در جدول ۱۲-۱ ظرفیت اسمی اندازه گیری شده، نوع سلولها، نوع حرکت و تاریخ ساخت آنها مشخص گردیده اند.

| واحد                   | قدرت نامی (کیلووات DC) | قدرت اندازه گیری شده (کیلووات DC) | نوع مدول | نوع حرکت | سال شروع به کار |
|------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------|----------|-----------------|
| Phoenix - Sky Harbor   | ۲۲۵                    | -                                 | conc.    | ۲ محوری  | ۱۹۸۲            |
| Hesperia-Lugo1         | ۵۰۰                    | ۳۶۲                               | crys.    | ۲ محوری  | ۱۹۸۲            |
| Hesperia-Lugo2         | ۵۰۰                    | ۳۶۷                               | crys.    | ۲ محوری  | ۱۹۸۲            |
| SMUD PV1               | ۱۰۰۰                   | ۹۲۲                               | crys.    | ۱ محوری  | ۱۹۸۲            |
| Carrisa Plains         | ۶۵۰۰                   | ۵۱۲۰                              | crys.    | ۲ محوری  | ۱۹۸۲            |
| Phoenix- John Long     | ۲۰۰                    | ۱۶۶                               | crys.    | ثابت     | ۱۹۸۵            |
| SMUD PV2               | ۱۰۰۰                   | ۸۷۵                               | crys.    | ۱ محوری  | ۱۹۸۶            |
| Austin PV300           | ۳۲۶                    | ۲۵۸                               | crys.    | ۱ محوری  | ۱۹۸۶            |
| Deuroi                 | ۴                      | ۴                                 | amor     | ثابت     | ۱۹۸۷            |
| Orlando solar Progress | ۱۵                     | ۱۵                                | amor     | ثابت     | ۱۹۸۸            |

توجه:

conc: نوع تغلیظ یافته

crys: نلک کریستالی سیلیکون

amor: سیلیکون غیر کریستالی

جدول ۱۲: مشخصات واحدهای PV



در جدول ۱۳ همین واحدها از نظر قابلیت و ضریب ظرفیت در سالهای مختلف با هم مقایسه شده اند. از این جدول نتیجه می شود که Hesperia-Lugo بجز در سالهای ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷، دارای بهترین عملکرد بوده است. Phoenix-Sky به تدریج دارای عملکرد بهتری شده است تا اینکه به علت هزینه زیاد، از ادامه کار آن جلوگیری شده است.

| شیرگاه       | پارامترها | ۱۹۸۳ | ۱۹۸۴ | ۱۹۸۵ | ۱۹۸۶ | ۱۹۸۷ | ۱۹۸۸          | ۱۹۸۹          |
|--------------|-----------|------|------|------|------|------|---------------|---------------|
| Phoenix      | CF        | ۱۶   | ۱۰   | ۲۲   | ۲۲   | ۲۹ * | خارج از سرویس | خارج از سرویس |
| Sky Harbor   | AV        | ۵۸   | ۵۳   | n.a  | ۸۷   | ۹۲   |               |               |
| Hesperia     | CF        | ۲۵   | ۲۲   | ۲۵   | ۲۲   | ۲۸   | ۳۳            | ۲۵            |
| Lugo1        | AV        | n.a  | ۹۲   | ۹۶   | ۹۶   | ۹۷   | ۹۸            | n.a           |
| Hesperia     | CF        | ۲۵   | ۲۴   | ۲۵   | ۲۴   | ۳۰   | ۳۲            | ۲۴            |
| Lugo2        | AV        | n.a  | ۹۲   | ۹۶   | ۹۸   | ۹۷   | ۹۸            | n.a           |
| SMUD         | CF        | n.a  | n.a  | ۲۳   | ۲۵   | ۷    | ۰             | n.a           |
| PV1          | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | ۹۱   | ۲۴   | ۰             | n.a           |
| Carrisa      | CF        | ۲۹   | ۳۰   | ۲۹   | ۲۹   | ۲۵   | ۲۴            | ۲۲            |
| Plains       | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | n.a           | n.a           |
| Phoenix      | CF        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۲۲   | ۲۲            | ۲۴            |
| John Long    | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | n.a           | n.a           |
| SMUD         | CF        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۲۳ * | ۲۲            | ۱۹            |
| PV2          | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | ۹۱   | ۸۹   | ۸۳            | n.a           |
| Austin       | CF        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۲۲ * | ۲۵            | ۲۲            |
| PV300        | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۹۷   | ۱۰۰           | n.a           |
| Detroit      | CF        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۱۴ * | ۱۵            | ۱۴            |
|              | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۹۵   | ۹۵            | ۹۷            |
| Orland-Solar | CF        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۲۰   | ۲۰            | ۲۱            |
| Progress     | AV        | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | n.a  | ۹۳            | ۱۰۰           |

نویسه:  
 AV در دسترس بودن  
 CF ضریب ظرفیت  
 n.a غیر قابل دسترس  
 \* اندازه گیری شش ماهه  
 \*\* اندازه گیری ۱۳۴ روز

جدول ۱۳: ضریب ظرفیت و قابلیت واحدهای PV (درصد)

وضعیت Carrisa Plains به طور کلی بدتر شده است. ضریب ظرفیت Detroit از همه کمتر بوده و ضریب ظرفیت Sola Progress با همان تکنولوژی و روش

Detroit از آن بهتر بوده است، همچنین قابلیت (Detroit, Orlando, Austian) که از نوع جدیدترین سیستم‌ها هستند بیشترین است.

در جدول ۱۴ میزان متوسط هزینه نگهداری بعضی از واحدها مشخص شده است.

| نیروگاه             | زمان مورد مطالعه            | متوسط هزینه<br>سنت برکیلووات ساعت |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Phoenix-Sky Harbor  | آوریل ۱۹۸۵ الی مه ۱۹۸۷      | ۴/۸                               |
| Hesperia - Lugo     | ژوئای ۱۹۸۵ الی سپتامبر ۱۹۸۸ | ۱/۱                               |
| SMUD<br>Pv1 and PV2 | ژانویه ۱۹۸۶ الی ژوئن ۱۹۸۸   | ۰/۶                               |
| Carrisa<br>Plains   | ژوئای ۱۹۸۶ الی سپتامبر ۱۹۸۸ | ۰/۸                               |
| Austin              | ژانویه ۱۵۸۸ الی دسامبر ۱۹۸۸ | ۰/۸                               |

جدول ۱۴: هزینه‌های نگهداری برای نیروگاه‌های فتوولتائیک مختلف

با توجه به جدول ۱۴ می‌توان گفت که علت خارج شدن Phoenix-Sky از سرویس، هزینه نگهداری زیاد آن بوده است. همچنین دیده می‌شود که سیستم‌های دارای دو جهت حرکت، نسبت به سیستم‌های دارای یک جهت حرکت دارای هزینه نگهداری بیشتری هستند، ولی این افزایش هزینه، در ابعاد قابل قبولی قرار دارد.

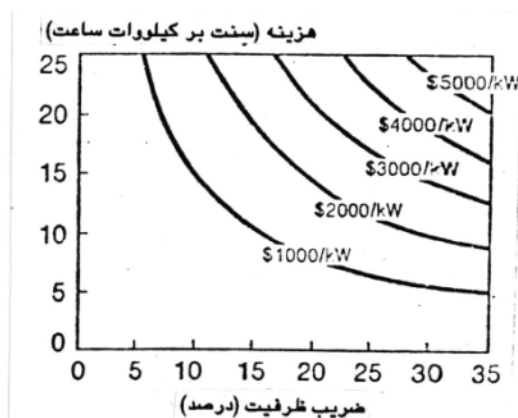
### ۳-۵- سیستم‌های فتوولتائیک از نظر اقتصادی

در سیستم‌های PV، بیشترین قسمت مخارج مربوط به هزینه اولیه

می‌شود. با اضافه کردن هزینه نگهداری، متوسط میزان هزینه نهایی به ازای هر کیلو وات ساعت مشخص می‌شود.

$$\text{هزینه نگهداری بر کیلووات ساعت} + \frac{\text{ضریب هزینه ثابت} \times \text{هزینه اولیه برحسب دلار بر کیلووات ساعت}}{\text{ضریب ظرفیت} \times 8760} = \text{هزینه نهایی برحسب دلار بر کیلووات ساعت}$$

در شکل ۳۵ با فرض ۱۲ درصد ضریب هزینه ثابت به ازای هر کیلووات ساعت ونیم سنت برای نگهداری، میزان هزینه تولید بر کیلووات ساعت براساس تابعی از ظرفیت و هزینه سرمایه گذاری، نشان داده شده است.



شکل ۳۵: هزینه متوسط الکتریسیته PV برحسب ضریب ظرفیت و هزینه سرمایه گذاری

تا سال ۱۹۸۹، کمترین هزینه سرمایه گذاری برای سیستم‌های PV برابر ۵۰۰۰ دلار بر کیلووات بوده است که به ازای آن و ضریب ظرفیت ۳۳

درصد، میزان هزینه تولید به بیش از ۲۰ سنت به ازای هر کیلو وات ساعت می‌رسد که قابل مقایسه با سیستم‌های سنتی (حدود ۵ سنت) نیست. سعی سازندگان بر آن است که میزان این هزینه را به ۲۵۰۰ دلار بر کیلووات برسانند و در این صورت هزینه تولید می‌تواند به کمتر از ۱۰ سنت به ازای هر کیلو وات برسد. برای اینکه سیستمها بتوانند قابل رقابت با سیستم‌های رایج باشند، هزینه تولید اولیه بایستی به ۱۰۰۰ دلار بر کیلووات کاهش یابد.

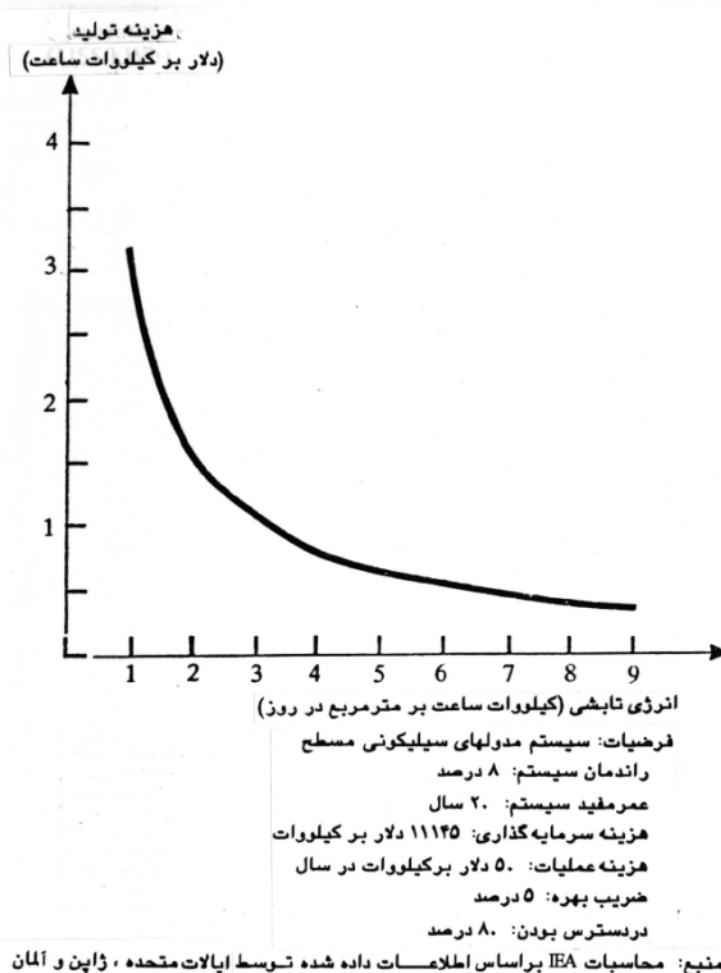
در جدول ۱۵ میزان هزینه سرمایه گذاری به ازای هر وات برای سیستم های ثابت و متحرك در سالهای مختلف پیش‌بینی شده است.

| صفحات صاف<br>ثابت (دلار) | صفحات صاف<br>متحرك (دلار) | سال  |
|--------------------------|---------------------------|------|
| ۷                        | ۹                         | ۱۹۸۶ |
| ۵/۹۶                     | ۶/۵۶                      | ۱۹۹۰ |
| ۵/۳۲                     | ۵/۷۱                      | ۱۹۹۵ |
| ۵/۸۳                     | ۶/۲۲                      | ۲۰۰۰ |

جدول ۱۵: میزان هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر وات برای سیستم‌های ثابت و متحرك

با توجه به آنچه که قبلاً نیز گفته شد، سیستم‌های فتوولتائیک هنوز قابل مقایسه با بسیاری از سیستم‌های دیگر انرژی نیستند و هم اکنون

فقط برای سیستم های مجزا، اقتصادی هستند. مانند تولید الکتریسیته در روستاهای دور افتاده، در دریاها و یا تقویت کننده های میکروویو.



شکل ۳۶: هزینه تولید واحدهای PV برحسب میزان تشعشع خورشید

هزینه تولید سیستم‌های PV به میزان تشعشع خورشید نیز بستگی دارد. در شکل ۲۶ هزینه تولید برحسب میزان تشعشع خورشید تحت شرایط مشخص شده در شکل، نشان داده شده است. اگر میزان تشعشع خورشید را ۶ کیلووات بر مترمربع در روز که بیش از مقدار متوسط و معمولی آن است) در نظر بگیریم، هزینه تولید ۵۰ سنت خواهد بود و اگر این میزان را ۴ کیلووات بر مترمربع در روز در نظر بگیریم، هزینه تولید برابر ۸۰ سنت می‌شود که هیچکدام قابل مقایسه با سیستم‌های سنتی نیستند.

برای کم کردن هزینه تولید، می‌توان هزینه اولیه را کاهش داد و یا اینکه طول عمر سیستم و راندمان تبدیل را افزایش داد. با توجه به گفته سازندگان این سیستم‌ها، هزینه اولیه در صورت دو برابر شدن تولید ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. اگر طول عمر مفید سیستم‌ها از ۲۰ سال به ۳۰ سال افزایش یابد، هزینه تولید ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند و اگر راندمان کل سیستم که ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است به ۱۵ درصد برسد، هزینه تولید به میزان ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

راندمان خود سلولهای خورشیدی نیز رو به افزایش است. در جدول ۱۶ راندمان انواع سلولها در سالهای مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند در جدول ۱۷ راندمان قابل دسترس مشخص شده است که نشان دهنده امکان بهبود راندمان در سالیان آینده است.

| انواع سلولها          | ۱۹۸۲<br>(درصد) | ۱۹۸۳<br>(درصد) | ۱۹۸۶<br>(درصد) |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| تك كريستالی سيليكون   | ۱۲             | ۱۶             | ۱۹             |
| چند كريستالی سيليكون  | ۱۰/۵           | ۱۴             | ۱۸             |
| نوارهای سيليكون (EFG) | ۱۲             | ۱۲             | ۱۵             |
| سيليكون غير كريستالی  | ۵              | ۷              | ۱۲             |
| ارسنيد گاليوم         | ۱۷ - ۱۵        | ۲۳             | ۲۴             |
| انيديوم مس            | ۱۰             | ۱۱             | ۱۲/۵           |

"Alternative Sources of Energy". May 1986

منبع:

جدول ۱۶: پیشرفت راندمان سلولهای فتوولتائیک در سالهای ۸۶-۱۹۸۲

| نوع سلول                              | راندمان قابل دسترسی<br>(درصد) |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| تك كريستالی سيليكون                   | ۲۵                            |
| چند كريستالی سيليكون                  | ۲۲                            |
| تك كريستالی تغلیط یافته               | ۲۹                            |
| نوارهای سيليكونی                      | ۲۵ - ۲۰                       |
| سيليكون غير كريستالی                  | ۱۸ - ۱۵                       |
| فیلمهای نازک چند اتصال:               |                               |
| - Si/CuInSe <sub>2</sub> غير كريستالی | ۲۵ - ۲۰                       |
| - CdTe/CuInSe <sub>2</sub>            | ۲۵ - ۲۰                       |
| - CaAs/CuInSe <sub>2</sub>            | ۲۵ - ۲۰                       |
| - سيليكون غير كريستالی انباشته شده    | ۱۸ - ۲۰                       |

Alternative Sources of Energy, May 1986

منبع:

جدول ۱۷: راندمان بالقوه سلولهای فتوولتائیک



**گروه بین‌المللی ره‌شهر تا کنون ۲۰ نشریه با عناوین زیر منتشر کرده است:**

- ۱- کاربرد جدید شیشه در نمای ساختمان (تابستان ۱۳۷۱)
- ۲- پارکینگ مراکز تجاری (پائیز ۱۳۷۱)
- ۳- محافظت در مقابل زلزله (زمستان ۱۳۷۱)
- ۴- جمع‌آوری و دفع زباله و مسائل ناشی از آن (زمستان ۱۳۷۱)
- ۵- طرح اسکان و سریع (زمستان ۱۳۷۱)
- ۶- مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز (بهار ۱۳۷۲)
- ۷- مهار آب با آب (بهار ۱۳۷۲)
- ۸- تحول سبز در معماری (بهار ۱۳۷۲)
- ۹- روندیابی و مدیریت سیلاب (بهار ۱۳۷۲)
- ۱۰- مطالعات اقتصادی جهت احداث مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۹)
- ۱۱- نگاهی کوتاه بر طراحی فضای سبز - "تجربیات کشورهای مختلف" (تابستان ۱۳۷۲)
- ۱۲- بازیافت آب در صنایع شن و ماسه‌شوئی (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۳- بناهای چوبی (کنده‌ای) در ایران و تجربیات کشورهای دیگر (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۴- نکاتی در مورد طراحی ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته پیش‌تنیده در مناطق زلزله‌خیز (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۵- اتوماسیون و بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع الکتریکی (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۶- انرژی دریاها (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۷- پارکینگ‌های مکانیکی اتوماتیک و نیمه اتوماتیک (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۸- انرژی باد (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۹- اصول طراحی ساختمان‌های اداری و بانک‌ها (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۰- انرژی خورشیدی (بهار ۱۳۷۳)