

## مکان یابی بهینه نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک) و توسعه تکنولوژی انرژی های تجدید پذیر در ایران

علیرضا اکبری<sup>۱</sup>

### چکیده

با توجه به رشد و توسعه تکنولوژی در صنایع مختلف و بکارگیری و تولید بهینه منابع انرژی پاک در جهان در بین جوامع پیشرفته از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. اهمیت و ارزش منابع انرژی همواره کشورهای پیشرفته رادر پی پیدا کردن منابع نامحدود و با صرفه اقتصادی ترقیب کرده است. رشد شدید فن آوریهای نوین در کلیه سطوح صنایع نیاز انسان را به استفاده روز افزون از نیروی برق به عنوان یک انرژی پاک و بهینه را بر می شمارد. با توجه به محدود بودن منابع انرژی فسیلی جهت استفاده در تولید برق نیروگاههای بخار و ایجاد آلاینده های زیست محیطی تولید انرژی تجدید ناپذیر با استفاده از انرژی بادی، آبی و خورشیدی توجه محققین و مسئولین کشور ایران را به خود جلب کرده است. شرایط اقلیمی مناسب در ایران به واسطه داشتن مناطق طبیعی گرمسیر و سردسیر پتانسیل بسیار بالایی جهت تاسیس سیستم های تولید انرژی با استفاده از منابع انرژی خورشیدی، بادی و آبی بوجود آورده که با توجه به نامحدود بودن منابع و هزینه بر بودن اجرای پروژه ها، پیدا کردن بهینه ترین مکان جهت تاسیس و ذخیره سازی انرژی با کمترین هزینه مد نظر می باشد. استفاده از روشهای نوین تولید انرژی الکتریکی در جهت برآورده کردن بخشی از انرژی مورد نیاز مصارف خانگی، صنعتی، پتروشیمی و پالایشگاه می تواند به رشد اقتصادی ایران کمک شایانی خواهد کرد. استفاده از نیروگاه خورشیدی (فتوولتائیک)<sup>۲</sup> بدلیل نامحدود بودن انرژی و ایجاد تاسیسات در هر مکانی با هزینه کم و بدون محدودیت و عدم نیاز به شبکه توزیع برق از مزیت بالایی برخوردار می باشد. لذا در این تحقیق با استفاده از تکنیک های مکانیابی به بررسی استقرار بهینه نیروگاه های خورشیدی و ذخیره سازی آن در ایران با رویکرد مطالعه موردی و بصورت کاربردی پرداخته شده است.

**کلید واژه ها:** مکانیابی، انرژیهای تجدید پذیر، انرژی خورشیدی، فتوولتائیک، مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه تهران [alireza\\_akbari6@yahoo.com](mailto:alireza_akbari6@yahoo.com)

<sup>۲</sup>PV: Photovoltaic

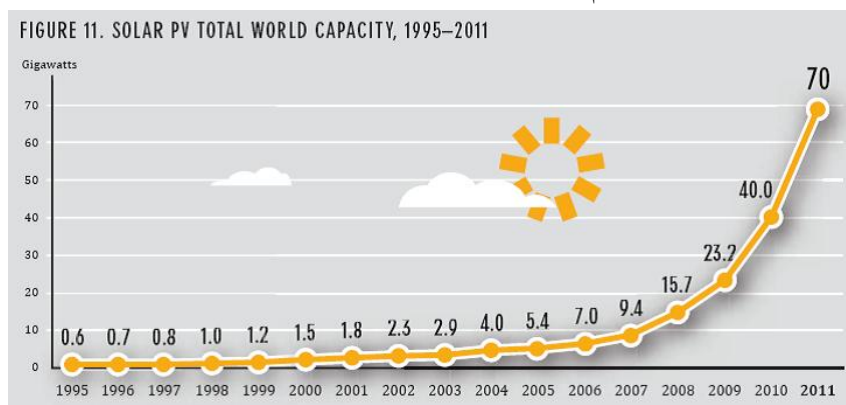
### مقدمه

تشدید بحران انرژی در کشورهای مختلف جهان، بسیاری از این کشورها را بر آن داشته است که با حرکت به سمت منابع جایگزین و تجدیدپذیر انرژی، سبد مصرفی انرژی در کشور خود را تغییر داده و با اعمال تغییراتی در برنامه پیش روی خود در این خصوص، زمینه را به منظور توسعه استفاده هرچه بیشتر از این منابع در کشور خود فراهم کنند. کشور ایران با توجه به پتانسیل بالای منابع انرژی تجدیدپذیر، در چند سال اخیر حرکت خود را به سمت واقعی نمودن قیمت حاملهای انرژی خود به منظور توسعه کاربرد این انرژی ها متناسب با تحولات جهانی، آغاز نموده است و امکانات و ساختارهای سیاستگذاری خود را در زمینه انرژیهای تجدیدپذیر مورد بازبینی قرار داده تا با طراحی ساختاری پویا و حذف موانع و مشکلات موجود، راه توسعه کاربرد این منابع انرژی را در کشور سرعت بخشد. در ذیل به بررسی برخی از تحقیقات انجام شده در حوزه ایجاد نیروگاه های خورشیدی و نحوه ذخیره سازی آنها می پردازیم.

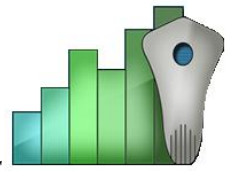
### مقاله سازمان انرژی نو ایران: انرژی خورشیدی-۱۳۹۲

#### بازار سیستم های فتوولتائیک و پیش بینی وضعیت آن در جهان

به پدیده های که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم های محرک، الکتریسیته تولید کند پدیده فتوولتائیک و به هرسیستمی که از این پدیده ها استفاده کند سیستم فتوولتائیک می گویند. سیستم فتوولتائیک یکی از پر مصرف ترین کاربردهای انرژیهای نو می باشد و تاکنون سیستمهای گوناگونی با ظرفیتهای مختلف (چند وات تا چند مگاوات) در سراسر جهان نصب و راه اندازی شده است. بطور عمده سیستم های فتوولتائیک در دو کاربرد عمده استفاده می شود: کاربردهای مستقل از شبکه و کاربردهای متصل به شبکه. حدود دو دهه پس از ورود سلول های فتوولتائیک به عرصه عمومی تولید انرژی، ارتباط تنگاتنگ سیاست و منابع انرژی موجب رشد بهره گیری از این سیستم ها گردیده است.



شکل ۱: میزان ظرفیت نصب شده فتوولتائیک در جهان ۱۹۹۵-۲۰۱۱



با برآورد جهانی انجام شده با افزایش تولید سیستم های فتوولتائیک، میانگین قیمت آنها با ضریب دو در پایان هر دودهمه کاهش یافته است به طور یکه سریعترین روند رشد در تکنولوژی های انرژی، با رشد سالیانه ۵۰ درصدی به سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه تعلق پیدا کرده است. ظرفیت نصب شده این سیستمها در جهان گواه این قضیه است به گونه ای که در سال ۲۰۱۱ ظرفیت نصب شده جهانی به حدود ۷۰ گیگاوات رسیده که نسبت به پنج سال قبل بیش از ۱۰ برابر شده است.

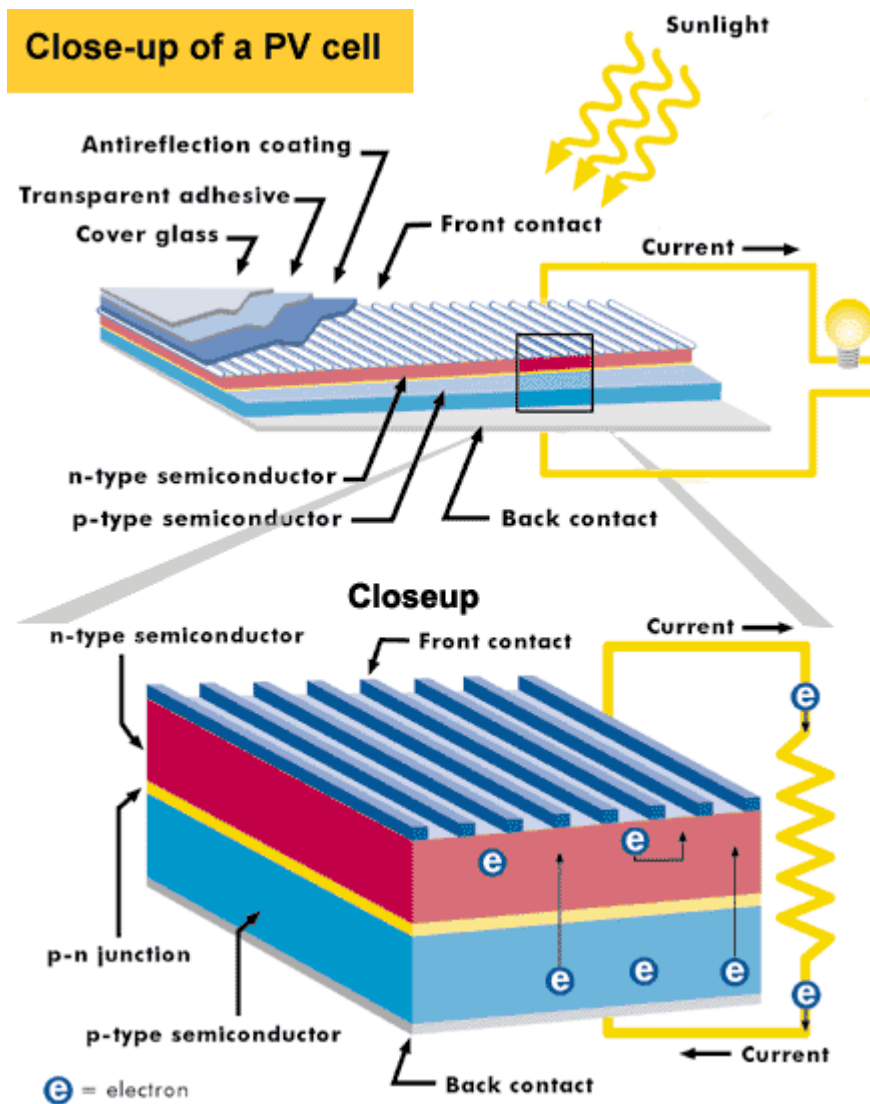
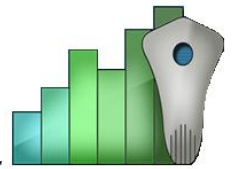
### فناوری های سیستمهای فتوولتائیک

سلول فتوولتائیک نور خورشید را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. اصل مقدماتی در این تکنولوژی پدیده " فتوالکتریک " است که اولین بار توسط انیشتین مطرح گردید. "فتو" به معنای نور و "ولتائیک" به معنای الکتریسته می باشد. عنصر اصلی در ساخت سلولهای خورشیدی، نیمه هادیهایی مانند سیلیکون و گالیم آرسناید می باشد. اساس کار سلولهای خورشیدی بر مبنای تئوری الکترونهای مدارات اتم قابل توجیه است.

در سطح خارجی تراز انرژی اتم دو سطح تراز مشخص وجود دارد. سطح تراز ظرفیت اتم (والانس) که در عملیات شیمیایی دخالت دارد و سطح تراز هدایت اتم (لایه هدایت) که در هدایت الکتریکی نقش دارد. همان طور که میدانید هر اتم برای اینکه از تراز ظرفیتی خود به تراز هدایت انتقال یابد، احتیاج به مقدار مشخصی انرژی دارد که به آن انرژی گپ می گویند. علت استفاده از نیمه هادی های هم دقیقاً به این خاطر است که این عناصر نیاز به انرژی گپ بسیار پائین دارند تا به تراز هدایت منتقل گردند و با حرارتی کم در حد حرارت محیط می توانند این انرژی را تامین نمایند. در نیمه هادیها با اضافه کردن ناخالصی به کریستال خالص آنها می توان میزان انرژی گپ را بیش از پیش کاهش داد. اگر به سیلیسیم که یک نیمه هادی است فسفر اضافه شود دارای بار منفی و اگر (بر) اضافه شود دارای بار مثبت می گردد.

حال اگر به الکترونی که در تراز ظرفیت است انرژی بیش از مقدار انرژی گپ داده شود به تراز هدایت منتقل شده و باعث ایجاد الکترون و حفره ای آزاد می گردد. لذا از همین خاصیت برای ساخت نیمه هادی های نوع N و P استفاده می گردد.

در اثر برخورد نور به سطح نیمه هادی نوع PN و کسب انرژی گپ، حاملهای بار (الکترون - حفره) بوجود آمده که می توانند در داخل نیمه هادی حرکت نموده و تولید الکتریسته نمایند.

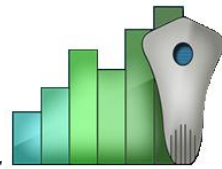


شکل ۲: نمایی از یک سلول فتوولتائیک (PV)

مواد گوناگونی تاکنون در ساخت سلول های خورشیدی استفاده شده اند که بازده و هزینه های ساخت متفاوتی دارند. در واقع این سلول ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند طول موج های نور خورشید را که به سطح زمین می رسد با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند. موادی که برای ساخت سلول های خورشیدی استفاده می شوند را می توان در سه نسل طبقه بندی نمود.

نسل اول فن آوریهای فتوولتائیک: سلولهای کریستالی

سیلیکون یکی از فراوان ترین عناصر حال حاضر کره زمین می باشد. این عنصر یک نیمه هادی بسیار مناسب برای استفاده در سیستمهای فتوولتائیک می باشد. سلولهای کریستالی سیلیکون بسته به این که ویفرهای سیلیکونی به چه روش ساخته می شوند به ۲ دسته کلی تقسیم بندی می شوند: مونو کریستال سیلیکونی و پلی کریستال سیلیکونی. دسته دیگر از سلولهای کریستالی شامل گالیم آرسناید می باشد



### نسل دوم فن آوریهای فتوولتائیک: سلولهای خورشیدی تین فیلم

پس از بیش از ۲۰ سال تحقیق و توسعه، سلولهای خورشیدی تین فیلم شروع به گسترش نمودند. تین فیلم ها به طور قابل ملاحظه ای در هزینه تولید الکتریسیته نسبت به ویفرهای سیلیکونی کاهش ایجاد نمودند.

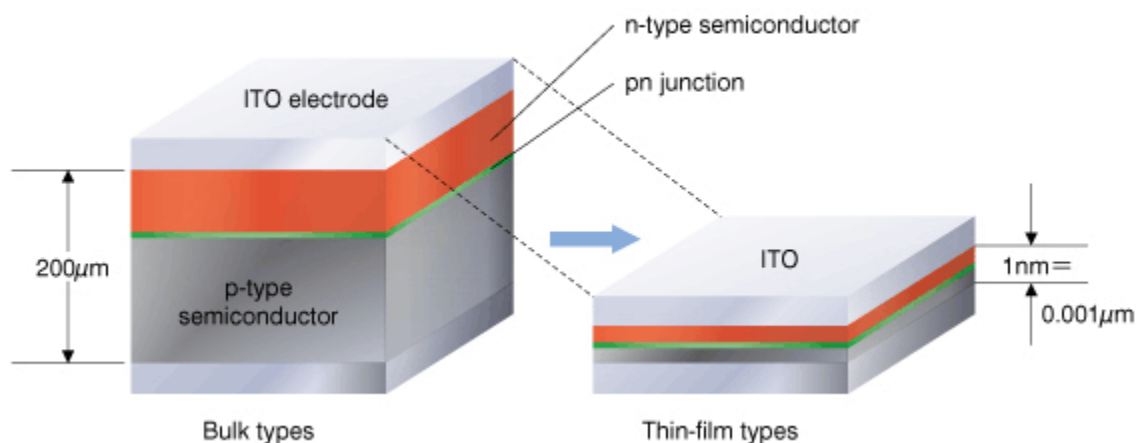
سه نوع اصلی سلولهای خورشیدی تین فیلم که در حال حاضر تجاری شده اند شامل:

سیلیکونهای آمورف (a-Si) و (a-Si/ $\mu$ c-Si)

کادمیوم تلورید (Cd-Te)

مس- ایندیم- سلنید (CIS) و مس- ایندیم- گالیم- دیسلنید (CIGS)

### Silicon thickness required in thin-film Photovoltaic cells



شکل ۳: مقایسه ای از ضخامت سیلیکون مورد نیاز در تین فیلم ها و سلولهای کریستالی

### نسل سوم فن آوریهای فتوولتائیک

فن آوری های این نسل در مرحله پیش از تجاری سازی به سر می برند. فن آوری های نسل سوم به دسته های زیر تقسیم می شوند:

CPV

سلول های خورشیدی ارگانیک

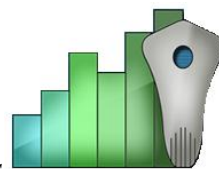
سلول های خورشیدی حساس به رنگ

سلول های خورشیدی پلیمری

سلول های خورشیدی مبتنی بر کریستال های مایع

### ضرورت بکارگیری سیستم های تولید انرژی خورشیدی در ایران

از دلایل ضرورت بکارگیری این سیستم ها در کشور ایران می توان به موارد متعددی اشاره نمود که به برخی از آنها اشاره می شود.



برخورداری از پتانسیل عظیم خورشیدی در ایران مهمترین دلیل ضرورت این انرژی می باشد که کشور ما را از بسیاری کشورهای جهان متمایز می سازد. ایران روی کمر بند خورشیدی جهان قرار گرفته است و یکی از کشورهای است که از تابش نور خورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار بوده و از مناطق بسیار مستعد برای بهره گیری از این انرژی است. همچنین وجود منابع اولیه معادن سیلیس با غنای بالا در 90 درصد خاک کشور به عنوان ماده اولیه ساخت سلولهای فتوولتائیک، وجود زمینهای بلا استفاده وسیع در کشور جهت نصب سیستمهای خورشیدی، امکان جایگزینی تدریجی سیستمهای خورشیدی به جای بهره برداری از نیروگاههای فسیلی و افزایش ارزش افزوده سوختهای فسیلی در ایران، افزایش امنیت انرژی، تاثیر بر اشتغال بویژه در سطح نیروهای تحصیلکرده، نداشتن اثرات مخرب زیست محیطی و قابلیت توسعه پایدار، قابلیت اشتغال زائی، سودمندی برای اقتصاد ملی، تولید پراکنده و کاهش اتکا به شبکه های سراسری انتقال انرژی از دیگر عوامل موجود در توجیه پذیری استفاده از این سیستمها از دید کلان در ایران هستند.

از دید فنی نیز سیستم های فتوولتائیک دارای مزایایی نظیر امکان تولید در هر مکان و سازگاری با توپولوژی محل های نصب، قابلیت تولید در محل مصرف و عدم نیاز به سیستمهای انتقال و توزیع، توانایی تولید انرژی بدون مصرف سوخت و هزینه مربوطه، توان خروجی متنوع متناسب با نیاز مصرف کننده، توانایی ذخیره سازی انرژی و در آخر آسان بودن نصب، عملکرد و نگهداری می باشند.

### کاربردهای انرژی خورشیدی

در عصر حاضر از انرژی خورشیدی توسط سیستمهای مختلف و برای مقاصد متفاوت استفاده و بهره گیری می شود که عبارتند از:

- استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی
- تبدیل مستقیم نور حاصل از پرتوهای خورشید به الکتریسیته بوسیله تجهیزاتی فتوولتائیک

### کاربردهای سلولهای فتوولتائیک

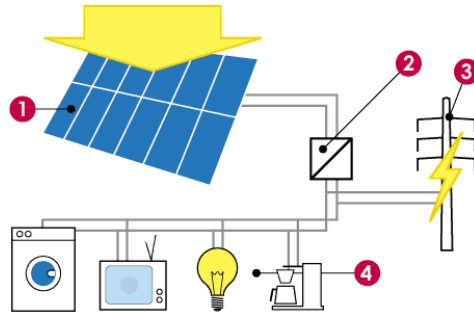
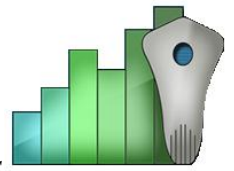
از جمله موارد کاربرد سلولهای فتوولتائیک عبارتند از:

تأمین انرژی مورد نیاز حصارهای الکتریکی، تأمین روشنایی مناطق دور افتاده، سیستمهای مخابراتی از راه دور، پمپاژ کردن آب، سیستمهای تصفیه آب، تأمین برق مناطق روستایی، ماشین حساب، ساعت و اسباب بازیها، سیستمهای اضطراری، یخچالهای نگهداری واکسن و خون برای مناطق دورافتاده، سیستمهای تهویه استخرها، ماهوارهها و تجهیزات فضایی

به طور کلی کاربردهای سلولهای فتوولتائیک را می توان به سه دسته طبقه بندی نمود:

کاربردهای متصل به شبکه سیستمهای فتوولتائیک:

طراحی سیستمهای فتوولتائیک متصل به شبکه، به گونه ای است که هم زمان و به طور متصل به شبکه برق سراسری عمل می نمایند.



۱. پانل های خورشیدی

۲. مبدل

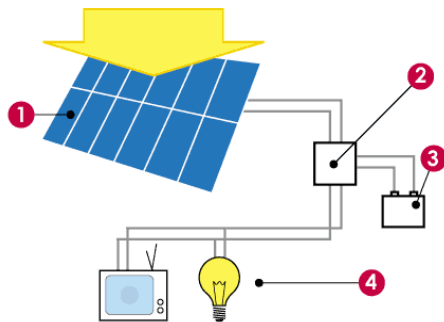
۳. شبکه برق

۴. تجهیزات

شکل ۴: اجزاء سیستم های متصل به شبکه فتوولتائیک

کاربردهای منفصل از شبکه سیستم های فتوولتائیک:

طراحی سیستم های منفصل از شبکه به گونه ای است که مستقل از شبکه برق سراسری عمل نموده و غالباً جهت تولید بار الکتریکی DC و یا AC طراحی می شوند.



۱. پانل های خورشیدی

۲. مبدل

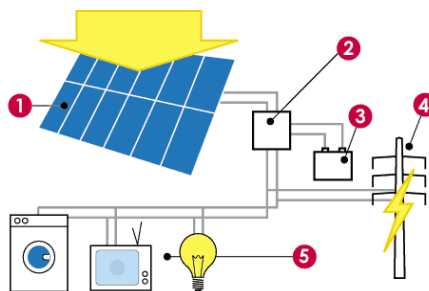
۳. باتری

۴. تجهیزات

شکل ۵: اجزا سیستم منفصل از شبکه فتوولتائیک

کاربردهای سیستم های پشتیبانی:

مهمترین کاربرد سیستم های پشتیبانی فتوولتائیکی، در طی دوره قطع برق شبکه سراسری است. یک سیستم پشتیبانی فتوولتائیک کوچک تأمین کننده برق مورد نیاز تجهیزاتی همچون روشنایی، کامپیوتر، تلفن، رادیو، فاکس و... می باشد و سیستم های بزرگ تر می توانند برق مورد نیاز تجهیزاتی همچون یخچال را در زمان قطع برق تأمین نمایند.



۱. پانل های خورشیدی

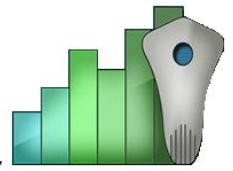
۲. مبدل

۳. باتری

۴. شبکه برق

۵. تجهیزات

شکل ۶: اجزا سیستم پشتیبانی فتوولتائیک



## مزایا و معایب استفاده از سیستم های فتوولتائیک

### برخی از مزایای استفاده از این سیستم ها عبارتند از :

انرژی خورشیدی تجدیدپذیر و نامحدود می باشد.

تولید برق توسط PV هیچ گونه انتشار آلاینده زیست محیطی رادر پی ندارد.

ماحول های خورشیدی بدون اتلاف انرژی ، نور خورشید را مستقیماً به برق تبدیل می نمایند.

سیستم های PV دارای اجزاء متحرک نمی باشند به همین دلیل نیاز به حداقل نگهداری و هزینه تعمیر دارند.

سیستم های PV به راحتی با افزودن تعداد ماچول ها و باتری های ذخیره سازی انرژی قابل گسترش می باشند.

خطر آتش سوزی در سیستم های PV به مراتب کمتر از سایر سیستم ها می باشد.

به کارگیری سلول های فتوولتائیک برای تولید برق در مناطق دور افتاده بسیار مفید می باشد.

سلول های PV در کاربردهای خانگی ، تجاری و صنعتی قابل نصب بر روی پشت بام ها می باشند از این رو فضاهای موجود اشغال نشده و برای سایر موارد به کار می روند.

### برخی از معایب استفاده از این سیستم ها عبارتند از :

هزینه تولید برق توسط سلول های PV بیشتر از هزینه تولیدی برق ناشی از سوخت های فسیلی می باشد. لازم به توضیح است که با افزایش تولید سلول های PV می توان هزینه ها را کاهش داد.

برق تولیدی از انرژی خورشیدی غیرقابل اعتماد بوده و همواره در دسترس نمی باشد و میزان تولیدات به شرایطی نظیر حالت وضعی خورشید، شرایط اتمسفر، ابری بودن و ... بستگی دارد.

هزینه های اولیه نصب سیستم های PV زیاد است.

به منظور استفاده از انرژی خورشیدی در شب باید از باتری برای ذخیره سازی انرژی استفاده گردد.

برای مصارف زیاد الکتریسیته، نیاز به مساحت زیادی برای نصب سلول های PV می باشد.

کمبود نیروهای متخصص و کارآمد برای طراحی و نصب سیستم های PV .

## استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی

این بخش از کاربرد های انرژی خورشیدی شامل دو گروه کاربرد های نیروگاهی و غیر نیروگاهی می باشد.

### نیروگاههای حرارتی خورشیدی به پنج دسته تقسیم بندی می گردند:

نیروگاه های سهموی خطی<sup>۳</sup>

نیروگاه های دریافت کننده مرکزی<sup>۴</sup>

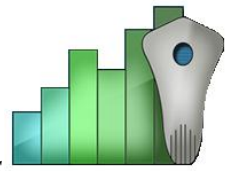
نیروگاه های بشقابک سهموی<sup>۵</sup>

<sup>3</sup> Parabolic Trough

<sup>4</sup> CRS

<sup>5</sup> Parabolic Dish



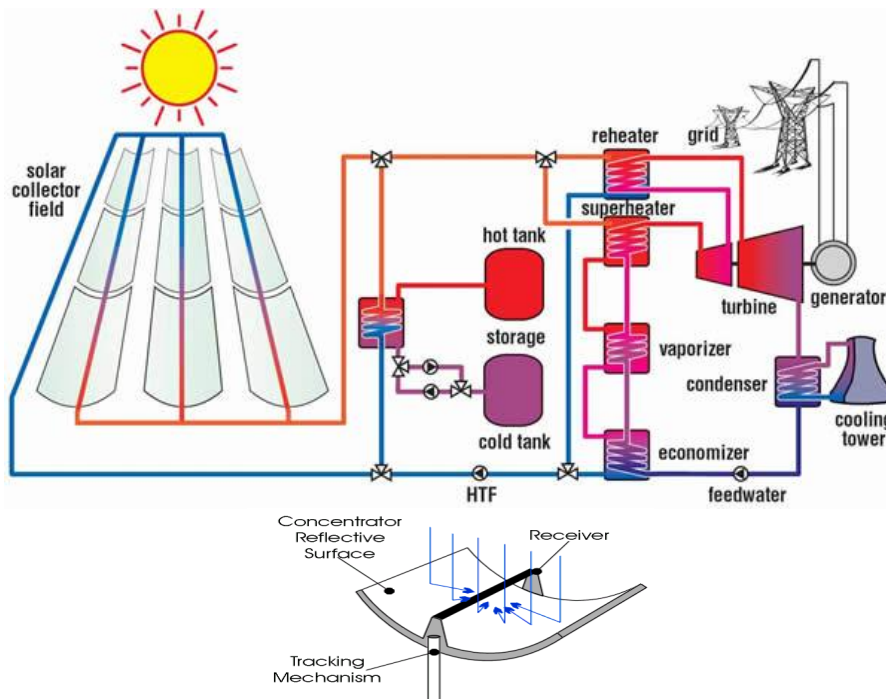


نیروگاه های دودکش خورشیدی<sup>۶</sup>

نیروگاه کلکتورهای فرنل<sup>۷</sup>

### نیروگاه های سهموی خطی

نیروگاههای حرارتی خورشیدی از نوع سیستم کلکتور سهموی خطی شامل ردیفهای موازی و طولانی از متمرکز کننده ها می باشند. بخش متمرکز کننده شامل سطوح انعکاسی سهموی است که از جنس آینه های شیشه ای تشکیل شده و روی یک ماده سازه نگهدارنده قرار می گیرند. دریافت کننده از لوله های جاذب با پوشش مخصوص تشکیل شده که بوسیله شیشه پیرکس پوشانده می شوند و در طول خط کانونی قرار می گیرند. بخش دریافت کننده در قسمتهای انتهایی روی دو تکیه گاه، قرار گرفته اند که این مجموعه روی تیرکهای اصلی سازه سوار است. سیستم ردیابی خورشید در این دستگاه ها تک محوره بوده و ردیابی خورشید از شرق به غرب انجام می گیرد. بگونه ای که پرتوهای خورشید در تمام مدت ردیابی بر روی لوله های جاذب منعکس شوند. یک سیال انتقال حرارت روغن با دمای حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد از میان لوله های جاذب در جریان می باشد و روغن داغ در مبدلهای حرارتی آب را به بخار تبدیل و بخار سوپرهیت طی عبور از توربین ژنراتور، انرژی الکتریکی تولید می کند. این نوع نیروگاهها با ذخیره حرارت قابلیت تولید برق را حتی در مواقعی که خورشید غروب نموده است را دارا هستند.



شکل ۷: نیروگاه های سهموی خطی

<sup>۶</sup> Solar Chimney

<sup>۷</sup> Fresnel Collector

### اجزاء اصلی نیروگاه های سهموی خطی

منعکس کننده از نوع آینه های سهموی

دریافت کننده تابش خورشیدی که پرتوهای منعکس شده را جذب کرده و موجب گرمایش سیال انتقال دهنده گرما می شود

مکانیزم حرکت دهنده (تک محوری) کلکتورهای سهموی به منظور ردیابی خورشید و کنترل کننده ها

اسکلت فلزی نگهدارنده و فونداسیون

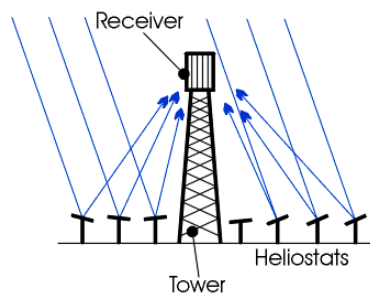
سیستمهای مربوط به تولید قدرت الکتریکی

تجهیزات مربوط به انتقال گرما

تجهیزات مربوط به تولید الکتریسیته و دفع گرمای تلف شده به محیط خارج

### نیروگاههای دریافت کننده مرکزی<sup>۸</sup>

این سیستم شامل مجموعه ای از آینه هایی است (هلیوستات) که هر یک بطور جداگانه انرژی خورشید را متمرکز و به برج دریافت کننده مرکزی منتقل می کنند. انرژی توسط یک مبدل حرارتی که در روی یک برج نصب شده است و گیرنده نامیده می شود جذب می شود. در آن جا آب به بخار سوپر هیت تبدیل شده و این بخار توربین ژنراتور را که در پائین برج نصب شده به حرکت در آورده و تولید برق می نماید.



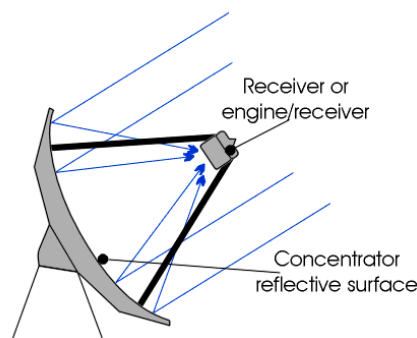
شکل ۸: نیروگاه دریافت کننده مرکزی

### نیروگاه های بشقابک سهموی<sup>۹</sup>

پرتوهای خورشید تابیده شده بر روی سطح متمرکز کننده سهموی در کانون آن جمع می شود. برای اینکه چنین سیستمی پر بازده باشد لازم است که این گردآورنده همواره بطرف خورشید ردیابی شود و در نتیجه به یک مکانیسم ردیابی دو محوره نیاز دارد. در این سیستم، نور خورشید در یک نقطه کانونی متمرکز می شود و یک موتور استرلینگ انرژی حرارتی این تشعشع تمرکز یافته را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و به کمک یک آلترناتور از این انرژی مکانیکی، الکتریسیته تولید می گردد.

<sup>8</sup> CRS

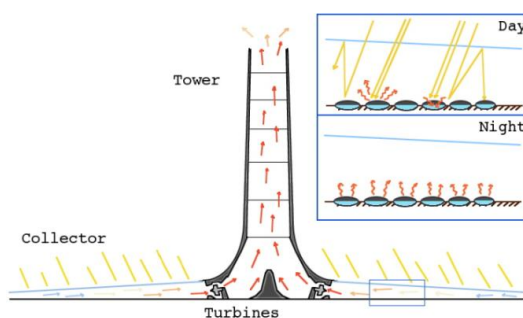
<sup>9</sup> Parabolic Dish



شکل ۹: نیروگاه های بشقابک سهموی

### نیروگاه های دودکش خورشیدی<sup>۱۰</sup>

نیروگاه دودکش خورشیدی، یک نیروگاه خورشیدی است که از ترکیب کلکتورهای هوای خورشیدی و برج هدایت کننده هوا برای تولید جریان هادی القائی هوا استفاده می کند و این جریان هوا موجب چرخش توربین های پله ای فشار و در نهایت تولید برق توسط ژنراتور می شود.



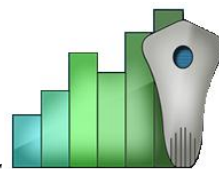
شکل ۱۰: نیروگاه های دودکش خورشیدی

### نیروگاه کلکتورهای فرنل<sup>۱۱</sup>

در این گونه نیروگاهها از کلکتور فرنل برای متمرکز کردن نور خورشید روی لوله گیرنده استفاده می شود. در این نیروگاه همانند نیروگاههای سهموی خطی، کلکتورها به صورت خطی و در جهت شمال جنوب نصب می شوند.

<sup>10</sup> Solar Chimney

<sup>11</sup> Fresnel Collector



کلکتورهای آن تعداد زیادی آینه تخت با پهنای کم و طول زیاد هستند که کنار هم دیگر قرار می گیرند. زاویه قرار گیری هر کدام از آینه ها بصورتی است که بازتاب نور خورشید را روی بخش دریافت کننده متمرکز کنند. در بخش دریافت کننده یک بازتاب دهنده ثانویه از نوع جفت سهموی قرار دارد که بازتاب آینه ها را جمع آوری کرده و روی لوله گیرنده می تاباند با گرم شدن لوله گیرنده سیال داخل آن گرم می شود.

### مرور برخی مقالات

باسار<sup>۱۲</sup> و موس<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۳) [2] در تحقیق خود به بررسی تخصیص بهینه و ظرفیت سیستم های ذخیره سازی انرژی اروپا با استفاده از سیستم قدرت ۱۰۰ درصدی انرژی های تجدید پذیر پرداختند موضوع مورد بحث آنها این بوده است که سیستم تامین تولید انرژی اروپا در آینده سهم بالایی از منابع انرژی تجدید پذیر را با توجه به سیاست انتشار گاز های گلخانه ای دارا خواهد بود. وجود یک سیستم تولید انرژی که شبکه توزیع انرژی را با توجه به تقاضا در مناطق مختلف در زمان مناسب را در اروپا فراهم کند. با استفاده از سیستم تولید انرژی تجدید پذیر<sup>۱۴</sup> که به اساس تقاضا در مناطق مختلف انرژی توزیع و ذخیره می گردد.

هزینه سیستم کارآمد می تواند بدست آید. برای پیدا کردن سیستم هدف مورد نظر از ابزار بهینه سازی ژنتیک بهینه سازی Genesys سیستم انرژی اروپا) استفاده شد. که بر این اساس موضوع در مناطق مختلف اروپا، شمال آفریقا، ترکیه و منطقه خاور میانه جهت مکانیابی سیستم های تولید انرژی مورد ارزیابی قرار گرفتند. که در نتیجه شهر منا<sup>۱۵</sup> در شمال آفریقا جهت تولید انرژی خورشیدی به عنوان بهترین مکان انتخاب شد. همچنین تلمبه ذخیره آبی<sup>۱۶</sup> به عنوان ذخیره ساز میان مدت در سیستم بهینه سازی به عنوان بهترین گزینه های مکانی در مناطق مرکزی اروپا شناخته شده اند. که می توانند در بالانس سیستم توزیع انرژی نقش مهمی را ایفا کنند.

ذخیره سازی انرژی بلند مدت مانن سیستم ذخیره هیدروژن روش بهینه است که مناسب کشور ترکیه می باشد. بهینه ترین منطقه جهت تولید انرژی بادی با استفاده از توربین بادی منطقه بالکان می باشد.

ماکسی میلان<sup>۱۷</sup> و فیلو<sup>۱۸</sup> [3] در سال ۲۰۱۳ در تحقیق خود به بررسی اثرات استراتژی عملیاتی و کارایی و هزینه های سیستم های ذخیره سازی انرژی الکتریکی پرداختند. یک مسئله مهم فنی در سیستم های ذخیره سازی انرژی (EESSI) و استراتژی عملیاتی است که به شدت تحت تاثیر عملکرد هزینه و سود دهی قرار می گیرد. در این تحقیق به بررسی تاثیر انواع مختلف سیستم ها و هزینه های ذخیره سازی انرژی الکتریکی با استفاده از نسل فتوولتائیک در ساختمان و سیستم ترکیبی حرارتی و نیروگاه برق<sup>۱۹</sup> پرداخته شد.

<sup>12</sup> Christian Bussar

<sup>13</sup> Melchior Moos

<sup>14</sup> Renewable Energy Source (RES)

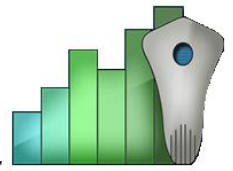
<sup>15</sup> Mena

<sup>16</sup> Pumped Hydro Storage

<sup>17</sup> Maximilian

<sup>18</sup> Philo

<sup>19</sup> Combined heat and power plant



آنان به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی پیاده سازی استراتژی عملیاتی در سیستم ذخیره سازی انرژی بصورت تئوری، کنترل و حل خواهد شد.

لاپرت و جندری<sup>۲۰</sup> در سال ۲۰۱۳ [4] در تحقیق خود به بررسی موضوع مکانیابی بهینه تاسیسات و اثرات نشت نفت در سواحل جنوبی نیوفاندلند پرداختند. با توجه به ترانزیت نفت از طریق حمل و نقل دریایی در این منطقه پدیده نشت نفت باعث بروز مشکلات زیست محیطی و اخلال در مناطق توریستی شده است. که با بررسی و تجزیه و تحلیل مکان پالایشگاهها و انبار تجهیزات و مخازن در پی رفع مشکل برآمدند. در این تحقیق سعی شد به دو سوال جواب داده شود. اول اینکه مرکز تجهیزات اضطراری در چه مکانی می بایست قرار گیرند؟ و دوم اینکه چه نوع تجهیزاتی در هر مرکز ذخیره و چگونه آنها قصد در پاسخ به رویداد نشت نفت دارند؟ در نتیجه محل مناسب، محل اضطراری تاسیسات و انبارهای تجهیزات در هر مرکز با استفاده از بهینه سازی داده ها انجام گرفته و هزینه زیست محیطی در مقابل تسهیلات و تجهیزات مد نظر خواهد بود.

### فصل ۳: طراحی تحقیق

#### معرفی مدل و مطالعه موردی

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته رویکرد این تحقیق بصورت کیفی به بررسی مکانیابی نیروگاه خورشیدی در ایران می پردازد. در این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع تلفیق اطلاعات، مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انتخاب و پیاده سازی گردید.

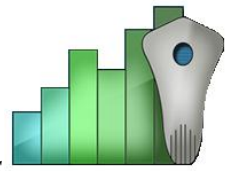
پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران [5]

انرژی خورشیدی یکی از منابع انرژیهای تجدیدپذیر و از مهمترین آنها می باشد. میزان تابش انری خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را داراست. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و میتواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین نماید.

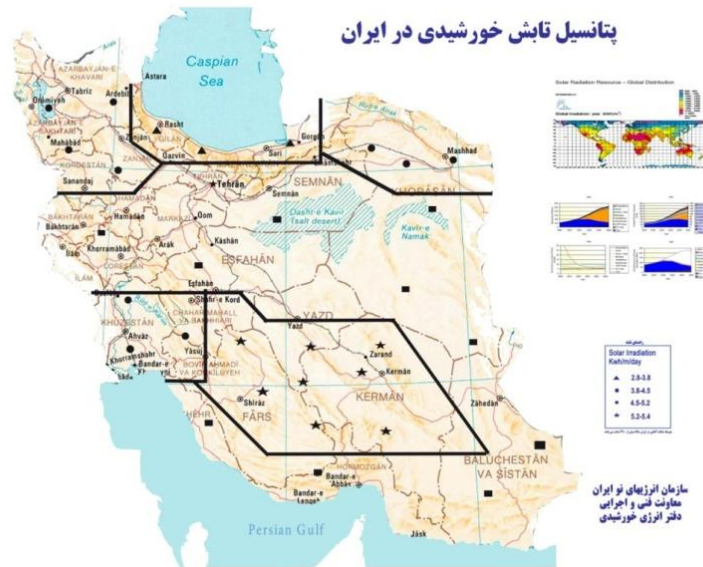
ایران کشوری است که به گفته متخصصان این فن با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۵/۵ - ۴/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالی آرمانی ادعا می کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه های دریافت انرژی تابشی می تواند انرژی مورد نیاز بخش های گسترده ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه صدور انرژی برق فعال شود.

با مطالعات انجام شده توسط DLR آلمان، در مساحتی بیش از ۲۰۰۰ کیلومترمربع، امکان نصب بیش از ۶۰۰۰۰ MW نیروگاه حرارتی خورشیدی وجود دارد. اگر مساحتی معادل ۱۰۰×۱۰۰ کیلومترمربع زمین را به ساخت نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک اختصاص دهیم، برق تولیدی آن معادل کل تولید برق کشور در سال ۱۳۸۹ خواهد بود.

<sup>20</sup> Gilbert Laporte, Michel Gendreau

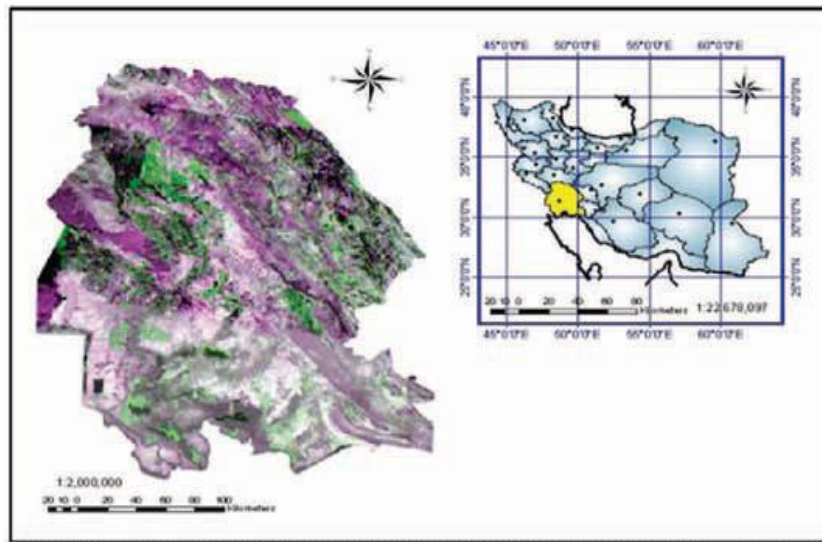


شکل ۱۰: پتانسیل تابش خورشیدی در ایران



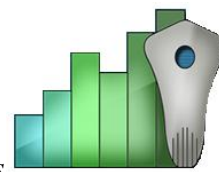
منطقه مورد مطالعه: [6]

استان خوزستان با مساحتی بالغ بر 64746 کیلومتر مربع، وسیع ترین استان در جنوب غربی ایران است. این استان در طول جغرافیایی 47 درجه و 42 دقیقه تا 50 درجه و 39 دقیقه و عرض جغرافیایی 29 درجه و 58 دقیقه تا 32 درجه و 58 دقیقه واقع گردیده است



شکل ۱۱: موقعیت استان خوزستان در کشور ایران

هر پروژه مکان یابی به عنوان یک مساله تصمیم گیری نیاز به مواد و ابزار مناسب برای رسیدن به نتیجه مطلوب دارد. در این جا به شرح مختصری از مواد و ابزار استفاده شده در تحقیق پرداخته می شود. در این تحقیق از تصویر ماهواره مربوط به سال 2007 استفاده شده است. به این منظور انجام عملیات پردازش و تجزیه و تحلیل و پهنه بندی داده های اقلیمی، تهیه سایر نقشه ها و همچنین انجام عملیات مکان یابی، به وسیله اکستنشن تخصصی انجام گردید



جهت محاسبه مساحت Spatial Analyst استفاده گردید. تهیه نقشه X Tools نقشه ها از اکستنشن های اقلیمی، جغرافیایی، اجتماعی اقتصادی، زیست محیطی و زمین شناسی و نقشه های مکان یابی احداث نیروگاه های فتولویک در سطح استان به کمک نرم افزار Arc GIS صورت پذیرفت. برای وزن دهی به لایه های اطلاعاتی استفاده از نرم افزار Expert choice گردید.

## فصل ۴: مدل سازی

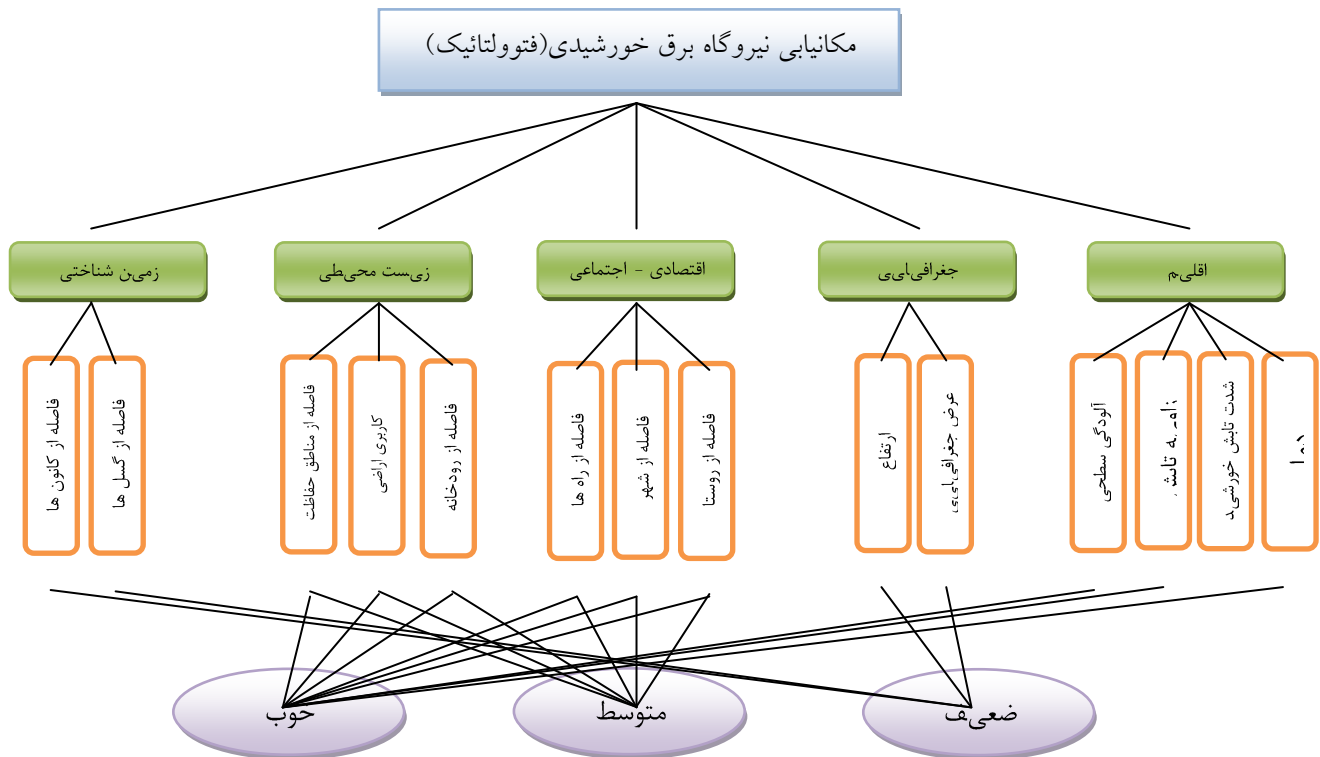
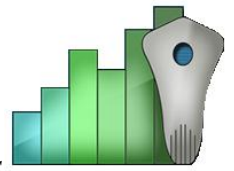
### روش پردازش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

این روش در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال ساعتی پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است. بر این اساس در فرآیند مکان یابی پس از تبیین اهداف کلی، بیان مقاصد، اهداف عملیاتی مکان یابی و تهیه گزینه های مختلف برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می گیرد تا بر اساس شایستگی نسبی هر یک از گزینه ها، گزینه مطلوب یا بهتر انتخاب شود. برای سنجش شایستگی نسبی هر یک از گزینه ها معمولاً از معیارها استفاده می شود. انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه های خورشیدی، یا به عبارت دیگر مکان یابی از این قاعده مستثنی نیست. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می شود. این عناصر شامل شیوه های مختلف کار و اولویت دادن به ویژگی ها است.

### ۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی

در اولین قدم، با ساختار سلسله مراتبی مربوط به این موضوع مشخص، که در آن سلسله مراتب چهار سطحی شامل هدف ها، معیارها، زیر معیارها و گزینه ها مواجه هستیم. تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به ساختار سلسله مراتبی، مهمترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می شود. در مسئله مکان یابی نیروگاه های خورشیدی، هدف انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه از بین چند گزینه است.

معیارها و زیر معیارها، شامل عواملی هستند که باعث ایجاد تفاوت در گزینه ها می شود. اعتبار هر مکان بر حسب معیارها سنجیده می شود. توجه به اینکه در عمل، تمامی معیارها دارای اهمیت یکسانی نیستند، در روش AHP نیز هر معیار دارای وزن خاصی است که باید توسط کاربر، به روشهای مختلف اعمال شود. همچنین می توان هر معیار را به چند جزء کوچکتر تقسیم و آنها را با یکدیگر مقایسه و وزن دهی کرد.



شکل ۱۲: نمودار مراحل ساخت سلسله مراتب مکانیابی نیروگاه خورشیدی

## ۲- تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

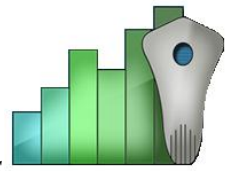
برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها، چند روش وجود دارد که معمول ترین آنها، مقایسه دو دویی می باشد. در این روش، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می شوند و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می شود. برای این کار، می توان از یک روش استاندارد ارائه شده توسط ساعتی استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که، به هر مقایسه دو دویی، یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده می شود. در جدول زیر هر عدد مشخص شده است.

برترها		مقدار عددی
Equally preference	برتری یکسان	۱
Moderately preference	کمی برتر	۳
Strongly preference	برتری بیشتر	۵
Very Strongly preference	برتری خیلی بیشتر	۷
Extremely preference	کاملاً برتر	۹
-	برترهای بین فواصل فوق	۲،۴،۶،۸

جدول ۱: مقایسه ۹ کمیته ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ضریب اهمیت گزینه ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، برتر بودن هر یک از گزینه ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها و اگر معیاری، زیر معیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می گیرد. فرآیند بدست آوردن وزن گزینه ها نسبت به هر یک از معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوتها بر مبنای مقایسه دو دویی معیارها، با گزینه ها و





بر اساس مقیاس ۹ کمیته ساعتی صورت می پذیرد. مقایسه گزینه های مختلف، نسبت به زیر معیارها و یا معیارها صورت می پذیرد، در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به زیر معیارها و یا معیارها صورت می پذیرد. در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می گیرد. زیر معیارها هم کمی اند و هم کیفی. این مطلب، نشان دهنده مزیت دیگر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که با ترکیبی از معیار کمی و کیفی سروکار دارد.

### ۳- تعیین امتیاز نهایی گزینه ها

در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه ها تعیین خواهد شد. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی منجر به بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می شود.

$$\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i (g_{ij}) = j \text{ گزینه (اولویت)}$$

که در آن:

$W_k$  ضریب اهمیت معیار  $k$

$W_i$  ضریب اهمیت زیر معیار  $i$

$g_{ij}$  امتیاز گزینه  $j$  در ارتباط با زیر معیار  $i$

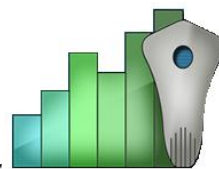
### ۴- بررسی سازگاری در قضاوت ها

یکی از امتیازات روش AHP، امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده برای تعیین اهمیت معیارها و زیر معیارهاست. سازوکارهایی که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت ها در نظر گرفته است. محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (IR) است. تجزیه و تحلیل سازگاری صورت می پذیرد. این معیار، باید از ۰/۱ کمتر باشد. استفاده از این ضریب به تجزیه و تحلیل تصمیم قبل از انتخاب نهایی مکان کمک می کند. در صورتی که معیار سازگاری از ۰/۱ بیشتر شود. نرم افزار (Dey, 2000) کاربر را با اخطار ناسازگاری با خبر می سازد.

### ۵- نتایج

#### ۶- معیارهای مکان یابی نیروگاه فتوولتائیک

تعیین مکان مناسب برای یک نیروگاه، تا حد زیادی به شناخت کامل و صحیح عوامل موثر و نحوه انتخاب آنها وابسته است. در جدول ۲ زیر عوامل موثر در مکانیابی نیروگاه خورشیدی ارائه شده است.



ردیف	کلاس عوامل	عوامل	اهمیت در مکان یابی	نوع اثر
۱	اقلیم	دما	هر چه دمای محیط بالا رود کارایی نیروگاه پایین می آید	تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی
		شدت تابش	هر چه شدت تابش بیشتر شود انرژی الکتریکی بیشتر تولید می شود	تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی
		زاویه تابش	هر چه زاویه تابش مستقیم تر باشد بازدهی سیستم بالاتر خواهد بود	تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی
		آلودگی سطحی	هر چه گرد و غبار و آلودگی سطحی بیشتر شود کارایی کم می شود	تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی
۲	جغرافیایی	طول و عرض جغرافیایی	هر چه به خط استوا نزدیکتر باشد کارایی بیشتر می شود	تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی
		ارتفاع	هر چه ارتفاع بیشتر شود کارایی بالاتر می رود	تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی
۳	اقتصادی - اجتماعی	فاصله از راه ها	هر چقدر به راههای دسترسی نزدیکتر باشد جهت تجهیز و نگهداری نیروگاه هزینه کمتری صرف می شود	اقتصادی، زیست محیطی
		فاصله از شهر	تامین برق و نیروی انسانی	اقتصادی، زیست محیطی
		فاصله از روستا	تامین برق و نیروی انسانی	اقتصادی، زیست محیطی
۴	زیست محیطی	فاصله از مناطق حفاظت	کاهش خسارات زیست محیطی ناشی از احداث و بهره برداری نیروگاه	زیست محیطی و حفاظت از گونه های گیاهی
		کاربری اراضی		اقتصادی، زیست محیطی
		فاصله از رودخانه ها		اقتصادی، زیست محیطی
۵	زمین شناسی	فاصله از کانون زلزله	تامین امنیت سازه های نیروگاهی	اقتصادی
		فاصله از گسل ها	تامین امنیت سازه های نیروگاهی	اقتصادی

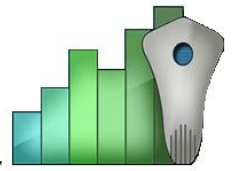
جدول ۲: معیارهای مکان یابی نیروگاه فتوولتائیک

## ۷- وزن معیار ها

ابتدا وزن بین معیار ها تعیین می شود. این وزن ها، با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف (مکان یابی احداث نیروگاه فتوولتائیک) تعیین می گردد. ابتدا معیارهای لایه ای اصلی با یکدیگر مقایسه می شوند جدول مقایسه زوجی معیار های لایه ای اصلی در مکانیابی نیروگاه را نشان می دهد. در جدول فوق، اعداد نمایش داده شده، بر اساس اهمیت معیار ردیف افقی نسبت به معیار ردیف عمودی اند. مقدار هر عدد نیز با توجه به مقادیر جدول ۱ و بر اساس معیار ساعتی تعیین شده است. شکل ۴ نمودار وزن محاسبه شده معیار ها در نرم افزار Expert Choice را نشان می دهد.

## معیار های اقلیمی

در این تحقیق عناصر اقلیمی، در مقایسه با معیارهای دیگر اهمیت بالاتری بوده و در نتیجه وزن بیشتری را به خود اختصاص داده است. در این خصوص پارامترهای اقلیمی دما، شدت تابش، زاویه تابش و آلودگی سطحی از زیر معیار های اقلیمی بوده که برای مکانیابی احداث نیروگاه فتوولتائیک انتخاب شده است.



### معیارهای جغرافیایی

یکی از عوامل اصلی که باید در مکان یابی احداث نیروگاه برقی فتوولتائیک مورد توجه قرار گیرد، معیارهای جغرافیایی می باشد. زیر معیارهای جغرافیایی مورد بررسی، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی است، که پس از وزن دهی، در محیط GIS مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

### معیارهای اقتصادی - اجتماعی

یکی از معیارهای مورد بررسی پتانسیل سنجی و مکان یابی نیروگاه های خورشیدی، معیار اقتصادی - اجتماعی هستند. این معیارها شامل زیر معیارهای حداقل فاصله از راه های ارتباطی، حداقل فاصله از شهرها و روستاها است.

### معیارهای زیست محیطی

معیارهای زیست محیطی یکی از عوامل مهم در مکان یابی نیروگاه فتوولتائیک به شمار می آیند. توجه به این مقوله یکی از اهداف پژوهشی در ایران و جهان است. معیارهای زیست محیطی شامل: زیر معیارهای فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه ها می باشد.

### معیارهای زمین شناسی

بررسی معیارهای زمین شناسی جهت احداث نیروگاه برق فتوولتائیک از نظر اقتصادی اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیر معیارهای زمین شناسی عبارتند از: فاصله از کانون های زلزله (لرزه خیزی) و فاصله از گسل ها که برای تعیین مکان مناسب جهت احداث نیروگاه مورد توجه قرار می گیرد.

جدول ۳. مقایسه دو دویی معیارهای مکان یابی

معیارهای مکان یابی	اقلیم	جغرافیایی	اقتصادی - اجتماعی	زیست محیطی	زمین شناسی	وزن
اقلیم	۱	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۵۸۱
جغرافیایی	-	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۱۸۵
اقتصادی - اجتماعی	-	-	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱۱۴
زیست محیطی	-	-	-	۱	۰/۳	۰/۰۷۳
زمین شناسی	-	-	-	-	۱	۰/۰۴۷

### وزن زیرمعیارها

پس از مقایسه ی معیارهای لایه های اصلی، نوبت به زیرمعیارها می رسد. در این مرحله، برای هر معیار، زیرمعیارهای آن با یکدیگر مقایسه می شوند. زیرمعیارهای هر لایه، به طور جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند. در نتیجه برای هر کدام از زیر معیارهای معیار اقلیمی، جغرافیایی، اقتصادی - اجتماعی، زیست محیطی و زمین شناسی مقایسه زوجی انجام می پذیرد.

### زیرمعیارهای اقلیمی

زیرمعیارهای اقلیمی دما، شدت تابش نور خورشید، زاویه تابش، سایه، آلودگی سطحی است، که پس از وزن دهی به وسیله نرم افزار مورد تجزیه و تحلیل GIS در محیط Expert Choice قرار می گیرند. جدول ۴ مقایسه زوجی

زیرمعیارهای معیار اقلیمی در مکان یابی احداث نیروگاه های فتوولتائیک را نشان می دهد. شکل 5 نشان دهنده نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای اقلیمی در نرم افزار Expert Choice است.

جدول ۴. مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار اقلیمی

وزن	آلودگی سطحی	زاویه تابش	شدت تابش نور خورشید	دما	زیرمعیارهای اقلیمی
۰/۵۴۹	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۱	دما
۰/۲۴۸	۰/۳	۰/۳	۱	-	شدت تابش نور خورشید
۰/۱۲۹	۰/۳	۱	-	-	زاویه تابش
۰/۰۷۴	۱	-	-	-	آلودگی سطحی

### زیرمعیارهای جغرافیایی

زیرمعیارهای جغرافیایی عبارتند از: ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی، این لایه ها به وسیله نرم افزار Expert Choice مورد تجزیه و تحلیل GIS وزن دهی شدند و در محیط قرار گرفتند. جدول 5 نشان دهنده مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار جغرافیایی در مکان یابی احداث نیروگاه های فتوولتائیک است. شکل 6 نمودار وزن محاسبه شده را زیرمعیارهای جغرافیایی در نرم افزار Expert Choice نشان می دهد.

جدول 5. مقایسه زوجی زیرمعیارهای جغرافیایی

وزن	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	زیرمعیارهای جغرافیایی
۰/۷۵	۰/۳	۱	ارتفاع از سطح دریا
۰/۲۵	۱	-	عرض جغرافیایی

### زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی

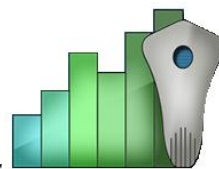
زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی شامل فاصله از راه های ارتباطی، فاصله از شهرها و روستاها است، که پس از بررسی در محیط Expert Choice وزن ها به وسیله نرم افزار طبقه بندی شدند. جدول 6 مقایسه زوجی GIS زیرمعیارهای، معیار اقتصادی-اجتماعی در مکان یابی احداث نیروگاه های فتوولتائیک را نشان می دهد. شکل 7 نشان دهنده نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی در نرم افزار Expert Choice است.

جدول 6. مقایسه زوجی زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی

وزن	فاصله از روستاها	فاصله از شهرها	فاصله از راه های ارتباطی	زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی
۰/۵۹۴	۰/۳	۰/۳	۱	فاصله از راه های ارتباطی
۰/۲۴۹	۰/۲	۱	-	فاصله از شهرها
۰/۱۵۷	۱	-	-	فاصله از روستاها

### زیرمعیارهای زیست محیطی

فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه ها جزء زیرمعیارهای زیست محیطی است، که پس در از وزن دهی به وسیله نرم افزار Expert Choice، در محیط GIS طبقه بندی شدند. جدول 7 نشانگر مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار زیست محیطی در مکان یابی احداث نیروگاه های فتوولتائیک است. شکل 8 نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زیست محیطی در نرم افزار Expert Choice را نشان می دهد.



جدول ۷ مقایسه زوجی زیر معیارهای زیست محیطی

وزن	فاصله از رودخانه ها	کاربری اراضی	فاصله از مناطق حفاظت شده	زیرمعیارهای زیست محیطی
۰/۵۹۴	۰/۳	۰/۳	۱	فاصله از مناطق حفاظت شده
۰/۲۴۹	۰/۲	۱	-	کاربری اراضی
۰/۱۵۷	۱	-	-	فاصله از رودخانه ها

### وزن گزینه ها

بعد از تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه ها تعیین می شود. در این مرحله، برای هر زیرمعیار، گزینه های آن با یکدیگر مقایسه می شوند. گزینه های هر زیرمعیار نیز به طور جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند. در اینجا به علت تعدد مقایسه ها از آوردن همه آن ها صرف نظر شده است. به عنوان مثال، مقایسه زوجی گزینه شدت تابش، عرض جغرافیایی، فاصله از راه های ارتباطی، فاصله از مناطق حفاظت شده و فاصله از گسل ها نشان داده شده است.

جدول ۸ مقایسه زوجی گزینه های شدت تابش نور خورشید

وزن	۵-۷	۴-۵	۳-۴	۱-۳	گزینه های شدت تابش نور
۰/۰۵۲	۷/۰	۵/۰	۳/۰	۱	۱-۳
۰/۱۰۹	۵/۰	۳/۰	۱	-	۳-۴
۰/۲۲۰	۵/۰	۱	-	-	۴-۵
۰/۶۱۹	۱	-	-	-	۵-۷

نرخ سازگار ۰/۰۹

جدول ۹ مقایسه زوجی گزینه های عرض جغرافیایی

وزن	>۱۵	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	گزینه های عرض جغرافیایی
۰/۵۴۴	۵	۵	۳	۱	۰-۵
۰/۲۷۱	۵	۳	۱	-	۵-۱۰
۰/۱۲۲	۳	۱	-	-	۱۰-۱۵
۰/۰۶۴	۱	-	-	-	>۱۵

نرخ سازگاری ۰/۰۷

جدول ۱۰: مقایسه زوجی گزینه های فاصله از راه های ارتباطی

وزن	>۵	۳-۵	۱-۳	۰-۱	گزینه های فاصله از راه های ارتباطی
۰/۵۴۴	۵	۵	۳	۱	۰-۱
۰/۲۷۱	۵	۳	۱	-	۱-۳
۰/۱۲۲	۳	۱	-	-	۳-۵
۰/۰۶۴	۱	-	-	-	>۵

نرخ سازگاری ۰/۰۷

جدول ۱۱: مقایسه زوجی گزینه های فاصله از مناطق مناطق حفاظت شده

وزن	>۶	۴-۶	۲-۴	۰-۲	گزینه های فاصله از مناطق مناطق حفاظت شده
۰/۵۴۴	۵	۳	۲	۱	۰-۲
۰/۲۷۱	۵	۳	۱	-	۲-۴
۰/۱۲۲	۳	۱	-	-	۴-۶
۰/۰۶۴	۱	-	-	-	>۶

نرخ سازگاری ۰/۰۴

جدول 12. مقایسه زوجی گزینه های فاصله از گسل ها

وزن	>۱۰	۶-۱۰	۱-۶	۰-۱	گزینه های فاصله از گسل ها
۰/۰۶۸	۵	۴	۳	۱	۰-۱
۰/۱۲۵	۵	۳	۱	-	۱-۶
۰/۲۶۰	۳	۱	-	-	۶-۱۰
۰/۵۴۷	۱	-	-	-	>۱۰

نرخ سازگاری ۰/۰۷

### تعیین امتیاز نهایی گزینه ها

در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه ها تعیین خواهد شد.

$$\text{امتیاز نهایی (اولویت) گزینه } j = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i (g_{ij})$$

که در آن:

$W_k$  ضریب اهمیت معیار  $k$

$W_i$  ضریب اهمیت زیر معیار  $i$

$g_{ij}$  امتیاز گزینه  $j$  در ارتباط با زیر معیار  $i$

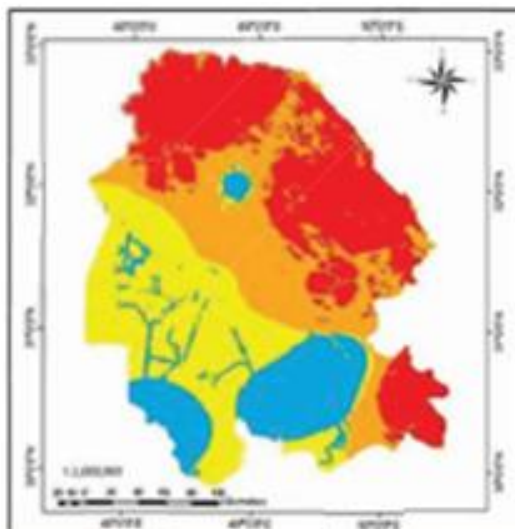
به عبارت ساده تر از ضرب هر یک از معیارها در زیر معیار مربوط به آن و از ضرب عدد به دست آمده در امتیاز گزینه مربوطه، امتیاز نهایی هر یک از گزینه ها به دست می آید. به عنوان مثال ضریب اهمیت معیار اقلیم عدد ۰/۵۸۱ است که در عدد ۰/۵۴۹ که ضریب اهمیت که یکی از زیر معیارهای آن یعنی شدت تابش نور است ضرب می شود و عدد به دست آمده ضرب در ۰/۰۵۲ که امتیاز گزینه  $A$  مربوط به آن است شده و امتیاز نهایی گزینه  $A$  به دست می آید.

$$\text{امتیاز نهایی گزینه } A \text{ برابر } ۰/۰۱۷ = ۰/۵۴۹ \times ۰/۵۸۱ \times ۰/۰۵۲$$

### نقشه مکان یابی نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک)

پس از تعیین عوامل مؤثر در مکان یابی نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک) و تهیه تمام لایه های اطلاعاتی به کمک توابع تحلیلی و تعیین وزن معیارهای مؤثر در مکان یابی نیروگاه بر GIS از قابلیت (AHP) اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور تلفیق و هم پوشانی نقشه ها GIS های نرم افزار استفاده شد. در نهایت نقشه مکان یابی نیروگاه های فتوولتائیک تهیه گردید. نقشه حاصله در 4 کلاس ضعیف، متوسط، خوب و عالی طبقه بندی شد. مناطق مجاز جهت احداث نیروگاه هادر طبقه عالی، در محدوده های جنوب، جنوب غربی، غرب و شمال استان خوزستان، با

مساحت 1020747 هکتار و مناطق محدودیت دار استان با پتانسیل ضعیف در محدوده های شمال، شمال شرقی و جنوب شرقی با مساحت 1987985 هکتار را در بر می گیرند. در جدول 13 مشخصات نقشه مکان یابی نیروگاه های فتوولتائیک ارائه شده است.

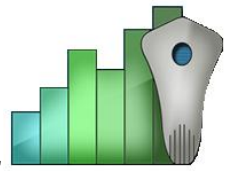


جدول 13. مشخصات نقشه مکان یابی نیروگاه فتوولتائیک استان خوزستان

ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	ضعیف	1987985	31/14
۲	متوسط	1702319	26/67
۳	خوب	1672822	26/20
۴	عالی	1020747	15/99

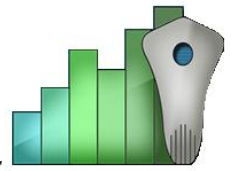
### نتیجه گیری

با توجه به نقشه نهایی، مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه های فتوولتائیک در سطح استان شناسایی شدند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشانگر پتانسیل بالای شهرهای آبادان، بندرماهشهر، بستان، امیدیه و شوشتر برای احداث این نوع نیروگاه ها می باشد. این مناطق با در نظر گرفتن مجموعه ای از عوامل تعیین شده اند که اختلافات فضایی موجود در قالب لایه های مختلف اطلاعاتی در مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میزان دقت اطلاعات تا حد زیادی تحت تأثیر دقت اطلاعات پایه ای و معیارهای انتخابی است که در مراحل مختلف تحقیق مورد استفاده قرار می گیرند. با تحقیقات انجام شده قابلیت تعمیم اطلاعات، ساخت مدل های جدید و آزمون روش های مختلف را دارا می باشند. و بر اساس معیارهای مورد نظر، AHP با استفاده از مدل بخش های مختلف منطقه از نظر قابلیت استقرار نیروگاه های فتوولتائیک اولویت بندی شدند. این موضوع به برنامه ریزان کمک زیادی می کند تا بتوانند بر اساس داده های مکانی بهتر تصمیم گیری نمایند. مسلم است هر چه از معیارهای بیشتر و دقیق تری استفاده شود، نتیجه بهتری را می توان انتظار داشت. به رغم انتقاداتی که بر این روش وارد می شود، این روش دارای مزایای بسیاری جهت مکان یابی



و نیز پهنه بندی جهت استقرار تاسیسات انسانی، انواع فعالیت ها و ارزیابی های زیست محیطی است و به خوبی از طریق آن می توان مناطق مناسب و نامناسب را جهت استقرار انواع فعالیت ها که دارای بعد مکانی و فضایی هستند و همچنین مکانیابی تسهیلات در فضای پیوسته به کار برد . با توجه به نتایج تحقیق حاضر، اولویت بندی معیارها در ساختار سلسله مراتبی، کالیبره کردن ضرایب و آستانه ها، گسترش معیارها و استفاده در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد .





**منابع:**

نشریه سازمان انرژی های نو ایران، ۱۳۹۲، انرژی خورشیدی

نشریه سازمان انرژی نو ایران، ۱۳۹۲. پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران

سازمان جغرافیایی ایران ۲۰۰۷. استان خوزستان

زبردست، اسفندیار و ۱۳۸۰، کاربرد فرآیند سلسله مراتبی در برنامه ریزی شهری و منطقه ای، مجله علمی پژوهشی دانشکده هنر زیبا، دانشگاه تهران

Christian Bussar, et al.(2013) Optimal allocation and capacity of energy storage systems in a future European power system with 100% renewable energy generation

Maximilian Schneider, et al.(2013) Effects of operational strategies on performance and cost of electric energy storage systems

Manish Verma, Michel Gendreau , Gilbert Laporte ,(2013. Optimal location and capability of oil-spill response facilities for the south coast of Newfoundland