



عنوان پروژه :

مکانیابی نیروگاه های DG با استفاده از  
سیستم GIS

جهت اخذ درجه کارشناسی  
رشته برق- قدرت

تهیه کننده :

سعید امینی

شهریور ۱۳۹۲

## تاریخچه GIS

برای اولین بار در اواسط دهه ۱۹۶۰ در ایالات متحده کار بر روی اولین سیستم اطلاعات جغرافیایی آغاز شد. در این سیستم ها عکس های هوایی، اطلاعات کشاورزی، جنگل داری، خاک، زمین شناسی و نقشه های مربوطه مورد استفاده قرار گرفتند. در دهه ۱۹۷۰ با پیشرفت علم و امکان دسترسی به فناوری های کامپیوتری و تکنولوژی های لازم برای کار با داده های مکانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی یا (GIS)، برای فراهم آوردن قدرت تجزیه و تحلیل حجم های بزرگ داده های جغرافیایی شکل گرفت. در دهه های اخیر به سبب گسترش تکنولوژی های کامپیوتری، سیستم های اطلاعات جغرافیایی امکان نگهداری به روز داده های زمین مرجع و نیز امکان ترکیب مجموعه داده های مختلف را به طور مؤثر فراهم ساخته اند. امروزه GIS برای تحقیق و بررسی های علمی، مدیریت منابع و ذخایر و همچنین برنامه ریزی های توسعه ای به کار گرفته می شود.

مکان یابی تخصص بسیار مهمی در نصب نیروگاه های برق، ایستگاه های مخابراتی، ایستگاه های خدمات شهری، پایگاه های نظامی، مراکز توریستی و مکان یابی ماشین آلات تولیدی در واحدهای صنعتی، به شمار می رود. به عنوان مثال در مکان یابی نیروگاه های برق که مقصود این پروژه است، هدف تعیین موقعیت احداث یک یا چند نیروگاه به منظور تامین انرژی مورد نیاز مناطق مسکونی یا صنعتی، سهولت دسترسی به منابع سوخت، سهولت دسترسی به مناطق مصرف، سهولت دسترسی به منابع آب، نیروی کار و سهولت دسترسی به شبکه حمل و نقل می باشد.

## فهرست مطالب

عنوان

صفحه

تاریخچه .....	۳
<b>فصل اول</b>	
مقدمه .....	۹
۱-۱ سیستم های اطلاعات جغرافیایی .....	۱۰
۲-۱ مولفه های GIS .....	۱۱
۳-۱ قابلیت های سیستم GIS در صنعت برق .....	۱۲
۱-۳-۱ قابلیت نمایش و انتخاب عوارض .....	۱۳
۲-۳-۱ قابلیت پرسش و پاسخ .....	۱۳
۱-۲-۳-۱ پرسش های مکانی .....	۱۴
۲-۲-۳-۱ پرسش های توصیفی .....	۱۴
۳-۲-۳-۱ پرسش های تابعی .....	۱۴
۴-۲-۳-۱ پرسش های زمانی .....	۱۴
۵-۲-۳-۱ پرسش های شرطی .....	۱۵
۳-۳-۱ قابلیت اندازه گیری .....	۱۵
۴-۳-۱ قابلیت ایجاد منطقه حائل .....	۱۵
۵-۳-۱ قابلیت مدلسازی و تجزیه و تحلیل ...	۱۶
۱-۵-۳-۱ تجزیه و تحلیل همپوشانی نقشه ها	۱۶
۲-۵-۳-۱ تجزیه و تحلیل شبکه .....	۱۶

۱-۳-۵-۳ ثبت و تحلیل حوادث شبکه انتقال نیرو

۱۷ .....

۱-۴-۴ شرح عملیات جمع آوری و آماده سازی اطلاعات مکانی و

توزیعی ۱۷ .....

۱-۴-۱ آماده سازی اطلاعات مکانی و توصیفی

توپوگرافی منطقه ۱۸ .....

۱-۴-۲ جمع آوری و آماده سازی اطلاعات مکانی شبکه

انتقال ۱۸ .....

۱-۴-۳ جمع آوری و آماده سازی اطلاعات توصیفی کلیه

عوارض و موجودیت های غیرمکانی ۱۹ .....

نتیجه گیری ۲۰ .....

## فصل دوم

مقدمه ۲۲ .....

۱-۲ تعریف تولید پراکنده ۲۳ .....

۲-۲ اهداف استفاده از تولیدات پراکنده ۲۴ .....

۳-۲ علل رویکرد به منابع تولید پراکنده ۲۵ .....

۴-۲ مزایای استفاده از تولیدات پراکنده ۲۶ .....

۵-۲ معایب استفاده از تولیدات پراکنده ۲۷ .....

۶-۲ معرفی انواع تولید پراکنده ۲۷ .....

۱-۶-۲ ماشین حرارتی داخلی ۲۸ .....

۲-۶-۲ توربین احتراقی یا گازی ۲۹ .....

۳-۶-۲ میکروتوربین ۲۹ .....

۴-۶-۲ پیل سوختی ۳۰ .....

۵-۶-۲ توربین بادی ۳۴ .....

۲-۶-۵-۱ مزایای بهره برداری از انرژی باد ۳۶

۲-۶-۶ فتوولتائیک ..... ۳۸

۲-۶-۷ انرژی گرمایی خورشیدی ..... ۴۱

۲-۶-۸ زمین گرمایی ..... ۴۱

۲-۶-۸-۱ فرآیند تولید برق در نیروگاه زمین

گرمایی ..... ۴۲

۲-۶-۹ چرخ لنگر ..... ۴۶

۲-۶-۱۰ واحد های آبی کوچک ..... ۴۶

۲-۶-۱۱ بیوماس ..... ۴۶

۲-۷ جایگاه انرژی های مختلف در جهان ..... ۴۸

۲-۸ پتانسیل منابع تولید پراکنده در ایران .... ۵۰

**نتیجه گیری** ..... ۵۱

## فصل سوم

**مقدمه** ..... ۵۴

۳-۱ مکان یابی نیروگاه ها بادی ..... ۵۵

۳-۱-۱ انرژی باد در ایران ..... ۵۵

۳-۱-۲ عوامل مهم در انتخاب محل استقرار توربین

های بادی ..... ۵۶

۳-۱-۳ منطقه مورد مطالعه ..... ۵۷

۳-۱-۴ روش انجام تحقیق ..... ۵۹

۳-۱-۵ معیار های مکان یابی ..... ۶۰

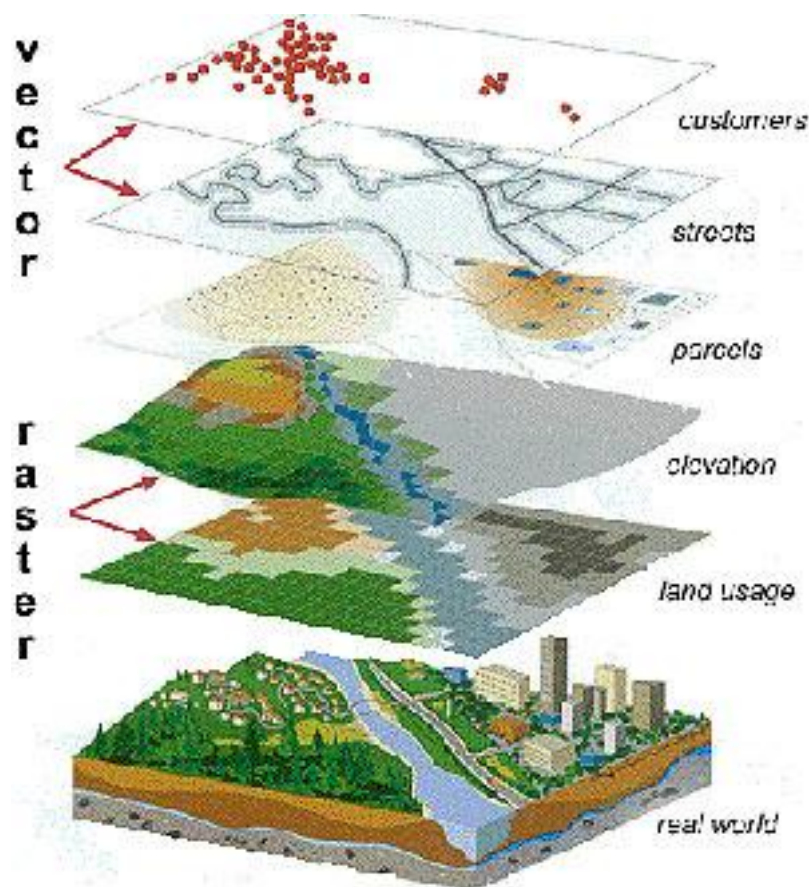
۳-۱-۵-۱ معیار های فنی ..... ۶۱

۳-۱-۵-۲ معیار های زیست محیطی ..... ۶۵

- ۳-۱-۵-۳ معیار های جغرافیایی ..... ۶۸
- ۳-۱-۶ تجزیه ، تحلیل و تلفیق داده ها .... ۷۱
- ۳-۱-۷ جمع آوری اطلاعات در چارچوب GIS ... ۷۱
- ۳-۱-۸ انتخاب و ارزیابی حریم معیارها .... ۷۲
- ۳-۱-۹ تعیین حریم هریک از معیار ها در محیط GIS  
..... ۷۳
- ۳-۱-۱۰ روی هم قرار دادن لایه ها ..... ۷۳
- ۳-۱-۱۱ ارزیابی پتانسیل باد قابل دسترس برق منطقه  
ای باخترا ..... ۷۵
- ۳-۱-۱۲ محاسبه ی حداکثر انرژی برق بادی قابل  
دسترس ..... ۷۶
- ۳-۱-۱۳ چیدمان توربین ها ..... ۷۶
- ۳-۱-۱۴ حذف بخش هایی با سرعت باد مطابق با کلاس IV  
استاندارد IEC توربین باد ..... ۷۷
- ۳-۱-۱۵ محاسبه ی حداکثر توان الکتریکی قابل دسترس  
..... ۷۸
- ۳-۱-۱۶ نتیجه گیری برای پتانسیل سنجی نیروگاه  
بادی در منطقه باخترا ..... ۷۸
- ۳-۲-۲ پتانسیل سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ..... ۷۹
- ۳-۲-۱ منطقه مورد مطالعه ..... ۸۰
- ۳-۲-۲ داده ها و روش کار ..... ۸۱
- ۳-۲-۳ پیشنهادات ..... ۹۰
- ۳-۲-۴ نتیجه گیری برای پتانسیل سنجی نیروگاه خورشیدی  
در استان خوزستان ..... ۹۲
- منابع و مآخذ ..... ۹۳

# فصل اول

## سیستم های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS)





**مقدمه :**

رشد فزاینده مصرف برق و به تبع آن افزایش تصاعد گونه، تأسیسات تولید و توزیع انرژی الکتریکی، نیاز برنامه های توسعه ای و بهبود بهره وری این صنعت در دسترسی به اطلاعات دقیق و به هنگام عوارض مرتبط با بخش برق را دو چندان ساخته است. از این رو، با توجه به مسائلی همچون عدم وجود اطلاعات مکانی دقیق و به هنگام از شبکه برق، حجم زیاد اطلاعات توصیفی موجود و مورد نیاز، ساز و کارها و محیط های گوناگون در دریافت، ذخیره سازی، بازیابی، به هنگام رسانی، پردازش و تبادل اطلاعات موجود، همچون آنالوگ بودن بخش اعظم اطلاعات و مشکلات ناشی از این موارد در فرآیند برنامه ریزی و مدیریت بهینه اطلاعات، در جهت پیاده سازی GIS شبکه انتقال و فوق توزیع برآمدیم. در این فصل کاربردهای GIS در صنعت برق و مراحل عملیاتی ایجاد پایگاه اطلاعات مکانی شبکه خطوط انتقال ارائه می گردد.

امروزه سیستم های مکانیزه اطلاعاتی، به لحاظ ویژگی هایی چون سرعت، دقت و سهولت استفاده، به صورت روز افزون و گسترده مورد توجه و استفاده مؤسسات مختلف در کاربردهای متنوع قرار می گیرد. رویارویی با حجم وسیع اطلاعات از یک سو و لزوم سرعت مبادله اطلاعات از طرف دیگر هر روز ارگان های بیشتری را ناگزیر از طرح و بررسی راه حل های مکانیزه برای سیستم های مدیریت و اطلاعات می نماید. مضاف بر این، قسمت عمده ای از تصمیمات اخذ شده توسط مدیران و برنامه ریزان در پروژه های مختلف عمرانی، زیست محیطی، دفاعی، امنیتی، مدیریت بحران و مدیریت ریسک به نوعی به مکان و موقعیت خاصی مربوط و منتسب می باشند.

## ۱-۱ سیستم های اطلاعات جغرافیایی

سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی بوده که قابلیت جمع آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات جغرافیایی (مکانی) را دارد. داده ها در یک (GIS) بر اساس موقعیتشان نشان داده می شوند.

تکنولوژی GIS با جمع آوری و تلفیق اطلاعات پایگاه داده های معمولی، به وسیله تصویر سازی و استفاده از آنالیز های جغرافیایی، اطلاعاتی را برای تهیه نقشه ها فراهم می سازد. این اطلاعات به منظور واضح تر جلوه دادن رویدادها، پیش بینی نتایج و تهیه نقشه ها به کار گرفته می شوند.

در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی واژه جغرافیایی یا (Geographic) عبارت است از موقعیت موضوع های داده ها، برحسب مختصات جغرافیایی (طول و عرض).

واژه (Information) یا اطلاعات نشان می دهد که داده ها در GIS برای ارائه دانسته های مفید، نه تنها به صورت نقشه ها و تصاویر رنگی بلکه بصورت گرافیک های آماری، جداول و پاسخ های نمایشی متنوعی به منظور جستجوهای عملی سازماندهی می شوند.

واژه (System) یا سیستم نیز نشان دهنده این است که GIS از چندین قسمت متصل و وابسته به یکدیگر برای کارکرد های گوناگون، ساخته شده است.

## ۲-۱ مؤلفه های GIS

یک سیستم GIS شامل یک بسته کامپیوتری (شامل سخت افزار و نرم افزار) از برنامه های رایانه ای با یک واسطه کاربر می باشد که دست یابی به عملیات و اهداف ویژه ای را فراهم می سازد. مؤلفه های چنین سیستمی به ترتیب عبارتند از:

(۱) کاربران (User): مهارت در انتخاب و استفاده از ابزارها در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی و شناخت کافی از اطلاعاتی که استفاده می شوند، یکی از موارد اساسی برای موفقیت در استفاده از تکنولوژی GIS است، که این از وظایف یک کاربر می باشد.

(۲) سخت افزارها (Hardware): امروزه شبکه های GIS شامل تعدادی workstation, x-station، کامپیوترهای شخصی، چاپگرها و پلاترها می باشد که معرف مؤلفه سخت افزار یک سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشند.

(۳) نرم افزارها (Software): به منظور استفاده بهتر از یک سیستم اطلاعات جغرافیایی، استفاده از نرم افزارهای به روز و توانمند توصیه می شود.

(۴) اطلاعات (Data): قلب هر GIS پایگاههای اطلاعاتی آن است. در این پایگاهها به پرسش هایی از قبیل چه شکلی است؟ کجاست؟ و چگونه به دیگر اشکال مرتبط می شود، پاسخ داده می شود.

(۵) روش ها (Methods): شیوه های صحیح به کارگیری اطلاعات در جهت رسیدن به اهداف ویژه در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی از مهمترین مؤلفه های آن است

سیستم اطلاعات جغرافیایی و کامپیوترها را نمی توان به طور مستقیم برای جهان واقعی به کار برد، زیرا کامپیوترها ی دیجیتالی براساس اعداد یا کاراکترهایی که در درون خود به صورت اعداد دو رقمی نگهداری می کنند، عمل می نمایند بنابراین پدیده های مورد نظر در جهان واقعی در یک سیستم کامپیوتری، باید به شکل نمادین عرضه شوند. پس ابتدا باید مرحله جمع آوری داده ها انجام گیرد و سپس فرایند فشرده سازی گستره زمین شناسی، ساختار، خواص ژئو فیزیکی یا هر ویژگی دیگری از سطح زمین که اطلاعات آن گردآوری شده بود، به شکل قابل دستیابی در کامپیوتر با استفاده از مدلهای نمادین صورت گیرد.

**داده هایی که در سیستم اطلاعات جغرافیایی می توانند وارد شوند دو نوع هستند:**

(۱) داده های مکانی که موقعیت جغرافیایی عوارض را نشان می دهند ( مانند نقاط یا خطوطی که عوارض جغرافیایی مانند خیابان، دریاچه و غیره را نشان می دهند)

(۲) داده های توصیفی غیر مکانی که به توصیف خصوصیات عوارض می پردازند، مثل شوری آب یک دریاچه و یا اطلاعاتی مانند اسم یک خیابان.

ورود داده ها به یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می تواند به اشکال، ثبت توسط صفحه کلید، هندسه مختصات، رقومی کردن دستی، اسکن کردن و وارد کردن فایل های رقومی موجود، صورت گیرد.

### ۳-۱ قابلیت های سیستم GIS در صنعت برق :

سامانه اطلاعات مکانی (GIS) دارای قابلیت های فراوانی در دستگاه های اجرایی من جمله صنعت برق می باشند که مهم ترین آنها عبارتند از : [۵]

### ۱-۳-۱ قابلیت نمایش و انتخاب عوارض:

یکی از قابلیت های اساسی مورد نیاز کاربران سیستم اطلاعات مکانی، امکانات و ابزار نمایشی و ترسیمی مناسب و کارا می باشد. GIS با در اختیار داشتن قابلیت های مختلف جهت ترسیم و نمایش عوارض مختلف، به کاربران این قابلیت را می دهد که در فعالیت های مختلف خود با انتخاب هر عارضه و یا لایه اطلاعاتی موجود در GIS، بتوانند آن را کارتوگرافی، ویرایش و یا بهنگام نماید. نمونه هایی از نیازهای قابل پاسخگویی توسط ابزار و امکانات نمایشی و ترسیمی GIS در صنعت برق عبارتند از : [۵]

- نمایش و تعیین موقعیت نیروگاهها و پستهای انتقال و فوق توزیع.
- نمایش نقشه مربوط به تجهیزات پستهای انتقال و فوق توزیع.
- نمایش و تعیین موقعیت خطوط انتقال و فوق توزیع.
- نمایش و تعیین موقعیت دکل ها.
- نمایش موقعیت مراکز دیسپاچینگ و حوزه تحت کنترل آن، محدوده فعالیت شرکت برق منطقه ای و شرکت های توزیع.
- نمایش و تعیین موقعیت مراکز مصرف.

### ۱-۳-۲ قابلیت پرسش و پاسخ :

کاربران سیستم های اطلاعات مکانی می بایست بتوانند بعد از ذخیره کردن اطلاعات مورد نیاز خود در GIS، پاسخ پرسش

های متنوع خود را از GIS دریافت کنند. ماهیت این پرسش ها ممکن است مکانی، موضوعی، تابعی، زمانی، شرطی، روند تغییرات و آماری باشد. [۵]

### ۱-۲-۳-۱ پرسش های مکانی :

این نوع پرسش ها در ارتباط با موقعیت یک شی یا گروهی از اشیاء و عوارض بوده که با استفاده از آن می توان موقعیت وقوع هر پدیده و یا عارضه خاص را در اسرع وقت مشخص نمود. به عنوان مثال می توان به یافتن دکل هایی که در یک مسیر خاص هستند، اشاره کرد که می توان با تجزیه و تحلیل و تلفیق اطلاعات، بهترین راه دسترسی به دکل ها را پیدا نمود. [۴]

### ۱-۲-۳-۲ پرسش های توصیفی :

این نوع پرسش ها براساس اطلاعات توصیفی منتسب شده به عوارض مختلف، انجام می پذیرد و با استفاده از آن می توان براساس اقلام اطلاعات توصیفی و مقادیر خاص معرفی شده برای آنها، یک عارضه یا عوارض دارای آن مقدار مشخص را جستجو و نمایش داد. [۴]

### ۱-۲-۳-۳ پرسش های تابعی :

با نوشتن توابع مختلف و با استفاده از عملگرهای منطقی (AND,OR,XOR,>,<,NOT,...) و عملکردهای ریاضی (+,\*,-,/,...) می توان انواع پرسش های تابعی را به سیستم معرفی نمود و در تجزیه و تحلیل های مورد نظر از آنها استفاده نمود. بعنوان مثال، با نوشتن یک تابع، می توان با استفاده از لایه های اطلاعاتی مربوط به توپوگرافی منطقه، راه های ارتباطی، رودخانه، عوارض مصنوعی، نوع خاک و .... بهترین مسیر برای ایجاد خط انتقال جدید را طراحی نمود. [۴]

## ۱-۳-۲-۴ پرسش های زمانی :

با استفاده از اطلاعات ذخیره شده در یک سیستم اطلاعات مکانی، پرسش های زمانی متنوعی را می توان مطرح کرد. به عنوان مثال می توان پست هایی که در چند ماه آینده نیاز به تعمیر اساسی دارند را مشخص نمود و یا تعیین کرد که در یک محدوده زمانی مشخص، چند پست و یا دکل و از چه نوعی به بهره برداری رسیده و یا در دست احداث می باشد. [۴]

## ۱-۳-۲-۵ پرسش های شرطی :

این نوع پرسش ها موقعیتهایی با شرایط خاص را که در عملیات جستجوی مکانی مورد نیازی باشند، مشخص می نمایند. به عنوان مثال می توان به یافتن مناطق حائل در اطراف یک عارضه و یا جستجوی یک مکان که دارای شرایط مشخص و تعیین شده باشد، اشاره نمود. [۴]

## ۱-۳-۳ قابلیت اندازه گیری :

سیستم GIS می بایست قابلیت اندازه گیری مساحت، محیط، طول و فاصله را به روش های مختلف در اختیار کاربران قرار دهد. قابلیت های فوق کاربردهای متنوعی را محقق می سازد، به طور مثال امکان محاسبه مساحت یک پست برق، طول یک خط انتقال و فاصله یک پست از شهرهای مجاور آن به صورت رودررو (Interactive)، بوجود می آید. [۲، ۵]

## ۱-۳-۴ قابلیت ایجاد منطقه حائل :

سیستم GIS می بایست به کاربر امکان دهد تا برای عوارض مورد نظر، منطقه حائل ایجاد نماید و از آن در آنالیزهای مختلف استفاده نماید. تعیین نقاط هم فاصله مکانی از یک

عارضه خاص نظیر خطوط انتقال برق فشار قوی، به منظور رعایت حریم ها و یا ارزیابی خسارت وارده در اثر توسعه خطوط انتقال، دارای اهمیت می باشد. مزایای بکارگیری GIS در این راستا عبارتند از : [۵،۱]

- ایجاد حریم در اطراف خطوط انتقال نیرو.
- مشخص نمودن حریم راه های ارتباطی.
- مشخص نمودن حریم رودخانه ها.
- مشخص نمودن حریم خطوط لوله نفت و گاز.
- مشخص نمودن حریم تأسیسات شبکه برق.

### ۵-۳-۱ قابلیت مدلسازی و تجزیه و تحلیل :

یکی از قابلیت های مهم سیستم های اطلاعات مکانی، قابلیت مدلسازی و تجزیه و تحلیل می باشد. بدین ترتیب یک سری مدل ها و توابع به سیستم معرفی می شوند و سیستم بعد از تجزیه و تحلیل مدل ها، می تواند اثر انجام یک کار را مشخص نموده و یا تصمیم گیری کند که آن کار یا عملیات به چه نحوی انجام شود که حالت بهینه را دربر داشته باشد. در زیر به پاره ای از این موارد اشاره می گردد . [۵،۶]

### ۱-۵-۳-۱ تجزیه و تحلیل همپوشانی نقشه ها :

این قابلیت یکی از اساسی ترین توابع تجزیه و تحلیل در GIS می باشد. بطوریکه با استفاده از آن می توان چندین لایه اطلاعاتی را بر روی یکدیگر منطبق کرده و با اعمال اوپراتورهای منطقی و ریاضی، مکان های بهینه را انتخاب نمود. [۶]

### ۲-۵-۳-۱ تجزیه و تحلیل شبکه :

یکی از توابع معروف در GIS، توابع مربوط به تجزیه و تحلیل شبکه برداری می باشند. این توابع با تجزیه و



تحلیل یک شبکه (نظیر شبکه برق) و لحاظ کردن پارامترهای مختلف نظیر : محدوده نقاط جمعیتی، کاربری اراضی، املاک، شیب منطقه، زمین شناسی و .... تصمیم گیری و برنامه ریزی بهینه (نظیر تعیین بهترین مکان احداث پست) را انجام می دهد. [۶]

### ۱-۳-۵-۳ ثبت و تحلیل حوادث شبکه انتقال نیرو :

بسیاری از حوادث شبکه های برق منشأ جغرافیایی دارند. لذا با تجزیه و تحلیل لایه های اطلاعات جغرافیایی از قبیل نزولات جوی، باد، رطوبت هوا، سیل، زمین شناسی و ناهمواری ها و حوادث گذشته، می توان محل و زمان وقوع حوادث را پیش بینی نمود و علت وقوع حوادث مختلف را در مناطق مختلف شبکه مورد تحلیل قرار داد. نمونه هایی از این قابلیت های GIS در این رابطه عبارتند از : [۶]

- تهیه آمار از حوادث و تجزیه و تحلیل آنها و استفاده از آنها در جهت توسعه شبکه.
- اعلام مسیرهایی که دچار مشکل هستند و ثبت و نمایش آنها توسط GIS .
- تحلیل جغرافیایی حوادث در مسیر یک خط و یا یک پست .
- تحلیل و مسیریابی خرابی ها در شبکه انتقال.
- ارزیابی نقش عوامل طبیعی و اقلیمی در وقوع حوادث مختلف در شبکه برق.

### ۱-۴ شرح عملیات اجرایی جمع آوری و آماده سازی اطلاعات مکانی و توزیعی :

شرکت برق منطقه ای مازندران در سال ۸۳ از طرف شرکت توانیر بعنوان پایلوت صنعت برق کشور در اجرای پروژه GIS

شبکه تولید، انتقال و فوق توزیع براساس دستورالعمل ها و استانداردهای طرح جمع GIS در محدوده استان های مازندران و گلستان انتخاب شد. اجرای پروژه GIS شامل مراحل زیر می باشد : [۳]

- جمع آوری، تولید و آماده سازی اطلاعات مکانی پایه.
- جمع آوری، تولید و آماده سازی اطلاعات توصیفی پایه.
- طراحی و تولید نرم افزار.
- یکپارچه سازی و تلفیق اطلاعات و نرم افزار.
- آموزش و اطلاع رسانی.
- استقرار و پیاده سازی سیستم.

شرح عملیات اجرایی انجام پذیرفته جهت جمع آوری و آماده سازی اطلاعات مکانی و توصیفی سامانه اطلاعات مکانی در فاز تولید و انتقال، ذیلاً ارائه می گردد :

#### ۱-۴-۱ آماده سازی اطلاعات مکانی و توصیفی توپوگرافی منطقه :

نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح بعنوان نقشه های پایه پروژه به تعداد ۱۰۶ شیت مطابق با استاندارد و دستورالعمل تدوین شده در طرح جامع GIS صنعت برق در بخش انتقال و فوق توزیع که شامل تغییر سیستم مختصات، تصویر و بیضوی مبنا و همچنین یکپارچه سازی محدوده پوششی دو استان و ساختار دهی داده های مکانی و توصیفی جهت استفاده در محیط GIS می باشد . [۲]

#### ۲-۴-۱ جمع آوری و آماده سازی اطلاعات مکانی شبکه انتقال :

در این مرحله اطلاعات مکانی و توصیفی نیروگاه ها، پست های ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت موجود و در دست احداث، خطوط انتقال ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت موجود در دست احداث، دکل های مخابراتی و اجزای نقشه های دیاگرام تک خطی پست های انتقال (تجهیزات پستها)، جمع آوری و در محیط GIS مطابق با استاندارد و دستورالعمل های تدوین شده در طرح جامع GIS ذخیره سازی شده است. عملیات اجرایی این مرحله شامل برداشت مختصات ۴ پست ۴۰۰ کیلوولت و ۱۱ پست ۲۳۰ کیلوولت موجود و در دست احداث، دکل های برق (۳۳۶۴ دکل واقع بر روی ۱۰۹۱ کیلومتر خط ۴۰۰ کیلوولت و ۳۱۳۴ دکل واقع بر روی ۱۲۱۷ کیلومتر خط ۲۳۰ کیلوولت) و خطوط انتقال (۶ خط ۴۰۰ کیلوولت و ۱۸ خط ۲۳۰ کیلوولت) بوسیله گیرنده های DGPS و GPS دستی بوده است که بعد از تخلیه و آماده سازی اطلاعات نسبت به کدگذاری و ذخیره سازی بصورت عوارض مختلف عاری از خطاهایی مانند Gap، Silver، Overshoot، Undershoot و... در محیط GIS با فرمت Arcview Shape File اقدام گردیده است. [۲ و ۳]

### ۱-۴-۳ جمع آوری و آماده سازی اطلاعات توصیفی کلیه عوارض و موجودیت های غیر مکانی :

در این بخش از پروژه نسبت به جمع آوری اطلاعات توصیفی مربوط به نیروگاه، خطوط انتقال نیرو، دکل های موجود، پست های انتقال و غیره به صورت برداشت میدانی و استفاده از اسناد و مدارک موجود اقدام گردیده است. در حین جمع آوری اطلاعات توصیفی و قبل از ذخیره سازی اطلاعات به پایگاه داده با توجه به استاندارد پایگاه اطلاعات مکانی صنعت برق در بخش انتقال و فوق توزیع طراحی و پیاده سازی شده است. به عبارت دیگر، مدل منطقی در قالب جداول و فرم های اطلاعاتی طراحی شده و جداول اطلاعاتی توسط کلیدهای ارتباطی به یکدیگر مرتبط شده اند. ذخیره سازی و آماده سازی اطلاعات توصیفی کلیه عوارض و موجودیت های غیر مکانی انتقال در پایگاه داده SQL Server2000 انجام پذیرفته است.

با توجه به ماهیت مکانی بیش از ۸۰ درصد اطلاعات مرتبط با مدیریت و برنامه ریزی صنعت برق از یک سو و گستردگی جغرافیایی شبکه ها و تأسیسات تولید، انتقال و توزیع نیرو که در ارتباط با سایر عوارض طبیعی و مصنوعی قرار دارند از سوی دیگر موجب شد تا در کشورهای توسعه یافته GIS با توانایی عرضه اطلاعات مکان مرجع به عنوان یک سامانه مؤثر حامی تصمیم گیری و برنامه ریزی صنعت برق مورد توجه قرار گیرد. ضمن اینکه GIS قادر است به عنوان یک بانک اطلاعاتی مطمئن و کارآمد، اطلاعات صحیح و بهنگام شبکه انتقال و توزیع نیرو را در زمان و مکان مناسب و نتایج بدست آمده از پردازش آنها را تحت شرایط استاندارد نگهداری کرده و در زمینه های مختلف برنامه ریزی، طراحی و توسعه، امور بهره برداری و... در اختیار کاربران قرار دهد. [۲، ۳]

### نتیجه گیری :

با توجه به ماهیت مکانی بیش از ۸۰ درصد اطلاعات مرتبط با مدیریت و برنامه ریزی صنعت برق از یک سو و گستردگی جغرافیایی شبکه ها و تأسیسات تولید، انتقال و توزیع نیرو که در ارتباط با سایر عوارض طبیعی و مصنوعی قرار دارند از سوی دیگر موجب شد تا در کشورهای توسعه یافته GIS با توانایی عرضه اطلاعات مکان مرجع به عنوان یک سامانه مؤثر حامی تصمیم گیری و برنامه ریزی صنعت برق مورد توجه قرار گیرد. ضمن اینکه GIS قادر است به عنوان یک بانک اطلاعاتی مطمئن و کارآمد، اطلاعات صحیح و بهنگام شبکه انتقال و توزیع نیرو را در زمان و مکان مناسب و نتایج بدست آمده از پردازش آنها را تحت شرایط استاندارد نگهداری کرده و در زمینه های مختلف برنامه ریزی، طراحی

و توسعه، امور بهره برداری و.... در اختیار کاربران قرار دهد.

## فصل دوم

تولیدات پراکنده  
(نیروگاه های DG)

## مقدمه

استفاده از مولد های کوچک برای تولید برق بعد از ایجاد نیروگاه های بزرگ رنگ باخت اما با پیشرفت تکنولوژی های تولید برق در مقیاس کوچک و ایجاد تجدید ساختار در صنعت برق و مسائل زیست محیطی ، باعث مطرح شدن مجدد این مولد ها در صنعت تولید برق شده است .

بالا رفتن هزینه های انتقال و توزیع ، به مولد های تولید پراکنده این امکان را می دهد که برق تولیدی خود را به قیمتی ارزانتر در اختیار مصرف کنندگان قرار دهد . بخصوص در سیستم های تجدید ساختار شده ، تولید پراکنده می تواند در مناطقی که دارای LMP<sup>1</sup> بالاتری هستند توجیه اقتصادی داشته باشد . علاوه براین تولید پراکنده امکان استفاده از منابع پاک برای تولید برق را می دهد .

ارزیابی اقتصادی این مولد ها ضرورت رویکرد کشورمان را به این نوع مولد ها نشان می دهد بخصوص با وجود روستاهایی که از شهر دور هستند و سیستم انتقال انرژی به آنها از نوع فوق توزیع می باشد که دارای تلفات بالایی است ، می توان با استفاده از این مولد ها از یک طرف تلفات در شبکه را کاهش داد و از طرف دیگر تولید انرژی برق را در کشور افزایش داد .

---

<sup>1</sup> Local Marginal Price

۲- ۱ تعریف تولید پراکنده (DG)<sup>۱</sup>

تعاریف مختلفی برای تولید پراکنده بکار رفته است ، عموماً عبارتست از تولید برق در محل مصرف اما گاهی به تکنولوژی هایی گفته می شود که از منابع تجدید پذیر برای تولید برق استفاده می کنند ، ولی تعریف جامع و بدون محدودیت آن عبارت است از " منبع انرژی الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف کننده وصل می گردد " . مقادیر نامی این تولیدات متفاوت است ، این مولد ها نسبتاً کوچک بوده و معمولاً ظرفیت آن ها محدود می باشد . این واحد ها در پست ها و در فیدر های توزیع ، در نزدیکی بار ها قرار می گیرند و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می شوند . IEEE<sup>۲</sup> ، تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاه های مرکزی کوچکتر باشند و قادر به نسب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده تعریف کرده است . [۸]

IEA<sup>۳</sup> ، واحد های تولید پراکنده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می کنند DG معرفی می کند . اتصال DG ها به شبکه علیرغم مزایایی که برای شبکه دارد ، اما باعث ایجاد هارمونیک در شبکه و کاهش امپدانس اتصال کوتاه می شود . ضمناً اگر در هنگام خاموشی ، DG متصل به شبکه به صورت جزیره ای کار کند می تواند برای تعمیر کاران شبکه خطرناک باشد . اما این مسائل باعث نادیده گرفتن مزایای این نوع مولد ها نمی شود .

همانطور که جدول ۱-۲ نشان می دهد استفاده از این مولدها در جهان در حال افزایش است.

<sup>۱</sup> Distributed Generation  
<sup>۲</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers  
<sup>۳</sup> International Energy Agency

جدول ۲-۱ : سهم DG ها از تولید برق در جهان

سال	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۸
ظرفیت نسب شده و در حال نسب انرژی برق در جهان (GW)	۳۲۶۶	۳۵۵۵	۳۸۷۲
سیر افزایش انرژی برق در جهان (GW)	۱۱۱	۱۱۴	۱۱۹
سیر افزایش تولید پراکنده (GW)	۱۱,۲	۲۴	۴۴
سهم تولید پراکنده	۱۰%	۲۱%	۳۷%

## ۲-۲ اهداف استفاده از تولیدات پراکنده

اهداف استفاده از تولید پراکنده از دید شرکت توزیع و از دید مشترک متفاوت است .

در واقع اگر مالک DG شرکت توزیع باشد اهداف مورد نظر می تواند آزاد سازی ظرفیت شبکه توزیع ، بهبود قابلیت اطمینان سیستم ، تولید همزمان برق و حرارت ، بهبود کیفیت توان و پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات باشد .

اگر مالکیت DG در اختیار مشترک باشد ، این اهداف می تواند فروش برق و در بازار انرژی ، فروش برق به عنوان سرویس جانبی ، بهبود قابلیت اطمینان خود و یا تشویق های دریافتی از شبکه های توزیع و ... باشد .

متأسفانه چون مالکیت بیشتر تولیدات پراکنده در اختیار مشترکین می باشد ، لذا شرکت های توزیع کنترل کمتری روی اندازه و محل نصب تولیدات پراکنده دارند . در نتیجه برای جلوگیری از تاثیر گذاری منفی تولیدات پراکنده بر پارامتر های مختلف سیستم ، باید یک استاندارد کلی و جامع برای کنترل ، نصب و جاییابی این تولیدات وجود داشته باشد.[۸]

بطور کلی هدف از استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع ، تامین تمام یا قسمتی از توان مصرفی



شبکه بصورت تمام وقت یا پاره وقت می باشد که در این میان هدف اصلی تولید توان اکتیو است . [۷]

## ۲-۳ علل رویکرد به منابع تولید پراکنده

در ساختار قدیم صنعت برق در کشورهای پیشرفته ، وظایف تولید ، انتقال و توزیع توان بر عهده ی شرکت برق بوده است ، افزایش میزان تقاضای توان در چند سال اخیر ، در بسیاری از کشورها موجب شد که این شرکت ها نتوانند جوابگوی این میزان تقاضای زیاد باشند در نتیجه خاموشی ، قطع برق ، معیوب شدن تجهیزات و... در بسیاری از کشورها صورت گرفت و به تبع آن قیمت ها در دوره های پیک به شدت بالا رفت . این در حالی بود که همراه با رشد اقتصادی کشورها که منجر به افزایش میزان انرژی مورد نیاز آن ها بود ، مساله کیفیت توان و قابلیت اطمینان آن نیز اهمیت پیدا نمود .

علاوه بر این بحران نفت در سال ۱۹۷۳ موجب شد که بسیاری از کشورهایی که در صنعت خود به سوخت های فسیلی وابسته بودند ، در پی یافتن جایگزینی مناسب برای این سوخت ها باشند . همچنین با افزایش آگاهی عمومی در مورد مسائل زیست محیطی ، یافتن جایگزینی مناسب برای سوخت های فسیلی اهمیت بیشتری پیدا کرد و مطالعات انجام شده نشان می دهد که انرژی های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشید ، باد ، آب ، بیوماس ، زمین گرمایی و... که از نظر زیست محیطی تمیز بوده ، میتوانند جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی باشند . بدین ترتیب عواملی مانند تجدید ساختار صنعت برق ، نیاز به افزایش ظرفیت سیستم و پیشرفت تکنولوژی به طور همزمان ، پایه و اساس معرفی تکنولوژی های تولید پراکنده می باشند . [۹]

عوامل محرک فراوانی باعث افزایش تمایل به کارگیری سیستم های تولید پراکنده شده است که بطور کلی این

عوامل را می توان در پنج گروه به شرح زیر تقسیم بندی نمود : [۱۰]

۱- پیشرفت های صنعتی چشمگیر در ساخت و بکارگیری تکنولوژی های مرتبط

۲- محدودیت های موجود در احداث خطوط انتقال نیرو

۳- ورود بحث بازار برق و مسائل مرتبط با آن در سیستم های قدرت

۴- افزایش تقاضای مشترکین برای سرویس با قابلیت اطمینان بالا

۵- حساسیت های بالا در خصوص آلودگی های محیط زیست

## ۲-۴ مزایای استفاده از تولید پراکنده

بطور کلی استفاده از نیروگاه های با تولید پراکنده در شبکه قدرت مزایای زیر را به همراه دارد . [۱۱]

۱- کم کردن هزینه مربوط به تجهیزات قدرت

۲- کاهش تلفات انتقال قدرت

۳- سهولت امکان بازیافت گرما در این نیروگاه ها

۴- زمان نصب و بهره بردای کوتاه از این نیروگاه ها

۵- تحقق خصوصی سازی واقعی با تبدیل سرمایه گذاران بزرگ به سرمایه گذاران کوچک

۶- کاهش آلودگی های زیست محیطی و صوتی نیروگاه های بزرگ

۷- آزاد شدن ظرفیت سیستم های انتقال و توزیع اعم از خطوط و پست ها

۸- استفاده ی بعضی از منابع تولید پراکنده از منابع تجدیدپذیر

۹- امکان کاربرد مجزا یا متصل به شبکه

## ۲-۵ معایب استفاده از تولیدات پراکنده

علیرغم تمام مزایای DG باید توجه خاصی به اثرات منفی احتمالی آن روی شبکه توزیع داشته باشیم که شاید بیشترین این تأثیرات، مسائل مربوط به سطح ولتاژ و هماهنگی حفاظتی باشد. [۱۲]

همچنین موجب پیچیده شدن شبکه و در نتیجه توسعه سیستم حفاظت شبکه شده و نیز بهره‌برداری و کنترل شبکه را نیز مشکل می‌سازد. [۱۳]

و همانطور که قبلاً نیز اشاره شد اتصال DG ها به شبکه باعث ایجاد هارمونیک در شبکه و کاهش امپدانس اتصال کوتاه می‌شود. ضمناً اگر در هنگام خاموشی، DG متصل به شبکه به صورت جزیره‌ای کار کند می‌تواند برای تعمیرکاران شبکه خطرناک باشد. [۱۴]

## ۲-۶ معرفی انواع تولید پراکنده

در چند دهه اخیر، حضور منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه‌های توزیع با روند رو به رشدی مواجه بوده است. مخصوصاً با افزایش منابع جدید انرژی که دارای توان کوچک و ولتاژ پایین می‌باشند، این مسئله به شدت افزایش یافته است. در این راستا استفاده از مولدهای چرخان مانند ژنراتور سنکرون، به خاطر قابلیت بکارگیری آنها در نیروگاه‌های کوچک حرارتی و آبی و حتی در مزرعه‌های بادی و همچنین به خاطر امکان کنترل مستقل توان اکتیو و راکتیو تزریقی آنها، افزایش چشمگیری داشته است. [۱۵]

بطور معمول در ژنراتورهای بزرگ، گاورنر نقش تثبیت فرکانس و سیستم تحریک نقش تنظیم کننده ولتاژ را دارد، ولی این مسئله در مورد ژنراتورهای سنکرون کوچکی که به شبکه توزیع متصل می‌شوند، صادق نیست. زیرا که هم فرکانس و هم ولتاژ توسط خود شبکه نگه داشته می‌شود. ژنراتورهای

کوچک DG کنترل خیلی کمی روی ولتاژ دارند و روی فرکانس اصلاً کنترل ندارند . [۱۶] در سیستم‌های تولید پراکنده، گاورنر توان خروجی را کنترل می‌کند و سیستم تحریک مقدار توان راکتیو را مشخص می‌نماید . [۱۵]

تولیدات پراکنده دارای انواع مختلفی می‌باشند که بسته به نوع آن، ظرفیت نامی و نیز قیمت آن متفاوت است. توربین‌های گازی کوچک با ظرفیت حدود ۵۰۰ کیلووات تا ۲۰ مگاوات و بازده حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد و پیل‌های سوختی با ظرفیت حدود ۵۰ کیلووات تا ۳ مگاوات و بازده حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد به تدریج در شبکه‌های توزیع و مصارف صنعتی و تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. سایر تولیدات پراکنده مثل میکروتوربین‌ها، توربین بادی، توربین آبی، فتوولتائیک، انرژی گرمایی خورشیدی، چرخ لنگر، بیوماس، باتری، ذخیره‌ای خازنی، زمین گرمایی (Geothermal) و ... هم در حال گسترش هستند. [۸]

البته این فناوری‌های تولید انرژی، خود به دو دسته تجدیدناپذیر مانند میکروتوربین‌ها، پیل‌های سوختی، توربین‌های گازی و احتراقی و ... و تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی و .. تقسیم می‌شوند. [۱۷]

## ۲-۶-۱ ماشین حرارتی داخلی (ICE)

هم اکنون دو نوع دیزل و گازسوز تکنولوژی ICE در دنیا موجود است. این نوع تولید پراکنده دارای هزینه نصب نسبتاً پایین، راندمان بالا و زمان استارت کم می‌باشد. همچنین مناسب بودن برای تولید توأم توان و گرما (CHP) و ارزان بودن و در دسترس بودن قطعات، از دیگر مزایای این تولید پراکنده می‌باشد. مقدار بالای آلودگی محیطی  $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}_2$ ، نیاز به تعداد دفعات زیاد بازبینی و تعمیرات، هزینه بهره‌برداری و آلودگی صوتی زیاد تکنولوژی ICE از معایب آن به شمار می‌روند . [۱۸]

## ۲-۶-۲ توربین احتراقی یا گازی

وسیله‌ای برای تبدیل انرژی حرارتی به مکانیکی است. این مولد برای تولید انرژی مکانیکی در هواپیماها، پالایشگاه‌ها و یا برای فشرده کردن گازها و سیستم‌های تولید برق کاربرد دارد. در مقایسه با نیروگاه‌های بخاری، آبی و اتمی، این نیروگاه‌ها کم حجم‌تر و سبک‌تر هستند. هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً پایین، در دسترس بودن گاز طبیعی با قیمت پایین و ثابت در بسیاری از کشورها، راندمان نسبتاً بالا و زمان نصب کوتاه، از مزایای توربین گازی شمار می‌آیند. امتیاز مهم آن‌ها این است که به سرعت می‌توان آن‌ها را به شبکه متصل یا از آن قطع نمود، بطوریکه زمان استارت توربین‌های گازی تا توان خروجی کامل معمولاً در حدود ۲ الی ۱۰ دقیقه است، لذا توربین‌های گازی یک انتخاب مناسب جهت تأمین ظرفیت رزرو سریع به شمار می‌روند و معمولاً از آن‌ها برای تولید برق در مواقع پیک استفاده می‌شود. اگرچه میزان آلودگی محیطی  $\text{CO}_2$  توربین‌های گازی نسبتاً بالاست، ولی میزان آلودگی محیطی  $\text{NO}_x$  این توربین‌ها در حد بسیار پایینی می‌باشد. عمر کوتاه و سوخت گران از معایب این نوع سیستم‌ها می‌باشد [۱۹، ۱۸]

## ۳-۶-۲ میکروتوربین

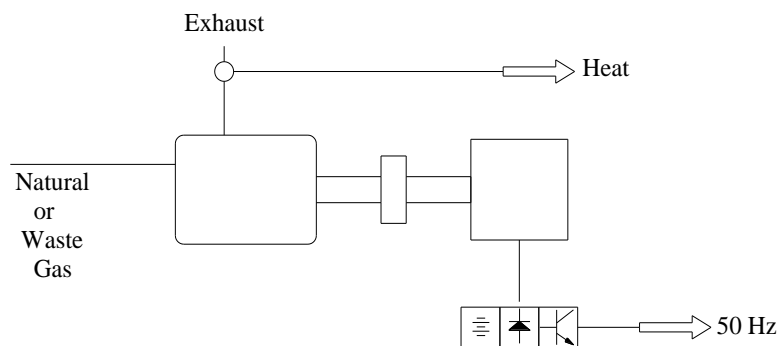
میکروتوربین‌ها در حقیقت بسط یافته تکنولوژی توربین گازی در ابعاد و ظرفیت‌های کوچکتر هستند. البته به جز اندازه، موارد طراحی معین دیگری نیز این تکنولوژی را از دیگر انواع توربین‌های احتراقی متمایز می‌کند. از مشخصه‌های برجسته اکثر میکروتوربین‌ها سرعت گردش بسیار بالا و مهندسی هوشمند در طراحی می‌باشد. مزایای اصلی میکرو توربین‌ها آلودگی صوتی کم، ابعاد کوچک، تعداد کم بخش‌های متحرک، فاصله زمانی طولانی بین دو تعمیر متوالی،

قابلیت انعطاف در سوخت مصرفی و قابلیت استفاده از سوخت‌های زائد و بی‌مصرف می‌باشد. [۱۸]

میکروتوربین‌های کوچک در محدوده ۲۵ الی ۱۰۰ کیلووات بوده، سرعت آن‌ها تقریباً بین ۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰ دور بر دقیقه است و ولتاژ خروجی آن‌ها در حدود ۵۰۰ ولت بوده و یاتاقان مورد استفاده در آن‌ها از نوع هوایی است.

میکروتوربین‌ها دارای حجم کمی بوده و از یک مبدل الکترونیکی قدرت برای تبدیل فرکانس استفاده می‌کنند. [۱۹]

هنگامی که یک پروسه (CHP) برای این نوع تولیدات پراکنده اعمال گردد، راندمان می‌تواند به حدود ۸۵ درصد نیز برسد. زمان استارت برای میکروتوربین‌های تجاری در حدود ۱۲۰ ثانیه گزارش شده است. میکروتوربین‌ها به دلیل دمای احتراق پایین، از لحاظ آلودگی محیطی  $\text{NO}_x$  بسیار مناسب می‌باشند، اگر چه آلودگی محیطی  $\text{CO}_2$  آن‌ها گاهی بیشتر از ماشین‌های احتراق داخلی می‌باشد. [۱۸]

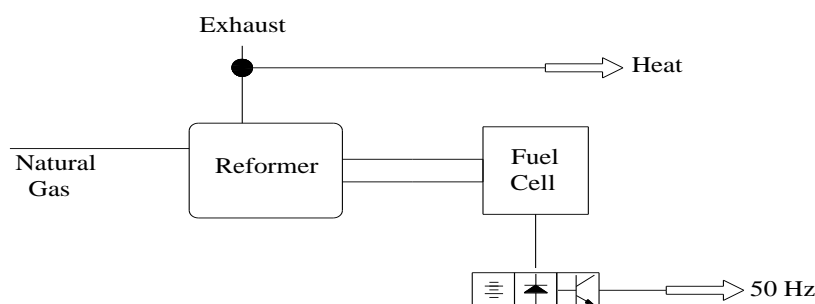


شکل ۱-۲ اجزاء میکروتوربین‌ها

## ۲-۶-۲ پیل سوختی

پیل سوختی یک سیستم تبدیل انرژی الکتروشیمیایی است که در آن انرژی شیمیایی مستقیماً به انرژی الکتریکی و گرمایی تبدیل می‌شود. هر عدد پیل سوختی دو عدد الکتروود دارد که یکی مثبت و دیگری منفی می‌باشد که به طور عام کاتد و آنود نامیده می‌شوند. واکنش‌هایی که تولید

الکتریسیته می‌کنند در الکترودها اتفاق می‌افتند. همچنین هر پیل سوختی یک الکترولیت دارد که ذرات دارای بار الکتریکی را از یک الکتروده به الکتروده دیگر منتقل می‌کند، هیدروژن سوخت اصلی است، ولی پیل‌های سوختی به اکسیژن نیز نیاز دارند. یکی از مزیت‌های پیل‌های سوختی، تولید الکتریسیته با ایجاد حداقل آلودگی می‌باشد. بیشتر اکسیژن و هیدروژنی که در تولید الکتریسیته به کار می‌رود در نهایت با ترکیب شدن با یکدیگر تولید آب می‌کنند.



شکل ۲-۲ مراحل عملکرد پیل‌های سوختی

انواع مختلفی از پیل‌های سوختی وجود دارد که هر یک تا حدودی متفاوت عمل می‌کنند. ولی به طور عمومی اتم‌های هیدروژن در آن‌ها وارد پیل سوختی می‌شوند، جایی که یک واکنش شیمیایی آن‌ها را از الکتروده‌هایشان جدا می‌کنند، اتم‌های هیدروژن در این حالت یونیزه هستند و حامل بار الکتریکی مثبت می‌باشند. الکتروده‌های دارای بار منفی باعث تولید جریان در سیم‌ها می‌شوند که برای تولید جریان AC، جریان DC خروجی از پیل سوختی باید از مبدل عبور کند.

علت انتخاب این نوع نیروگاه نیز، این بود که ستاد ویژه فن‌آوری نانو اخیراً اعلام نمود برای تولید هیدروژن در پیل‌های سوختی روشی با کارایی مؤثرتر و زیست سازگار به نام فن‌آوری نانو استفاده می‌کنند. این موضوع را محققان دانشگاه rutgers در مقاله‌ای در journal of American society آوریل ۲۰۰۵ اعلام کرده‌اند که چگونه از فن‌آوری نانو و استفاده از فلزات و انجام واکنش‌های شیمیایی هیدروژن مورد نیاز را در پیل‌های سوختی تامین می‌کنند و این در

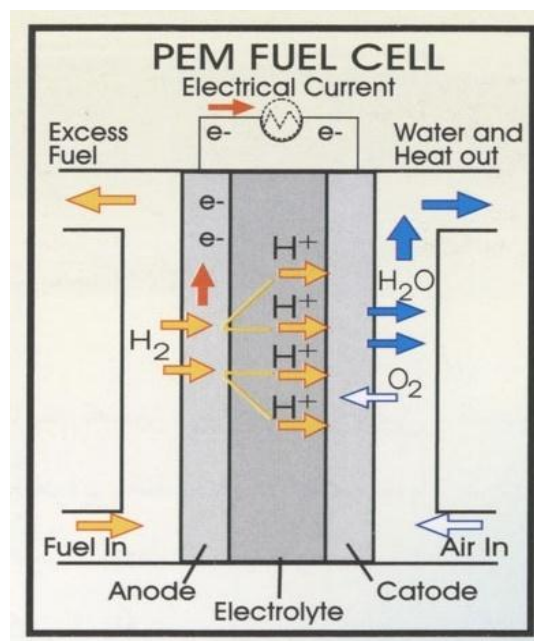
صورتی است که هر کیلوگرم هیدروژن می‌تواند چند صد مگاوات ساعت انرژی تولید کند. [۲۰]

این نوع تکنولوژی دارای مزایایی از قبیل راندمان بالا، ابعاد کوچک، آلودگی صوتی کم، میزان آلودگی محیطی قابل صرف‌نظر، قابلیت اطمینان بالا، تشعشعات پایین، اغتشاش کم و توانایی تنظیم آزاد میزان تولید الکتریسیته و گرما می‌باشد.

بهره‌برداری از پیل‌های سوختی مشابه باطری می‌باشد، با این تفاوت که در آن‌ها سوخت مصرف می‌شود.

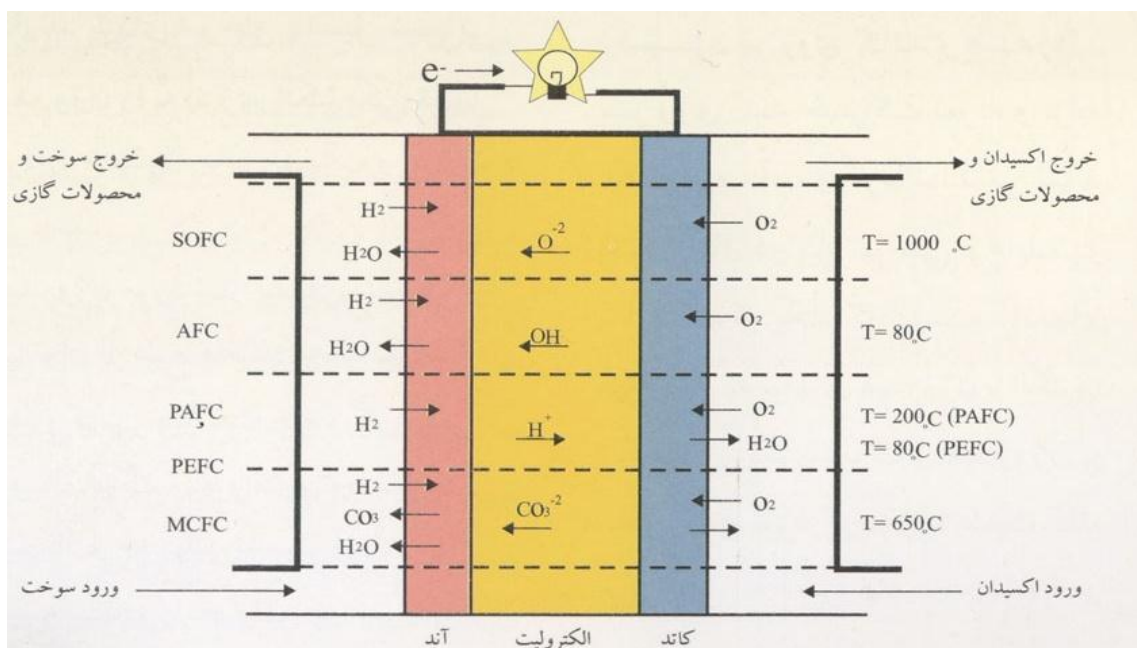
انواع سلول‌های سوختی بر اساس ماده الکترولیت آن‌ها تقسیم‌بندی می‌گردند که برخی از آن‌ها عبارتند از: آلکالین (AFC)، کربنات مذاب (MCFC)، اسید فسفریک (PAFC)، پروتون تبادل غشایی (PEMFC) و اکسید جامد (SOFC).

از معایب سلول سوختی زمان استارت بالا (در حدود ۱ الی ۴ ساعت برای نوع PAFC) می‌باشد که برای مقاصد همچون تأمین ظرفیت رزرو چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. [۲۱]



شکل ۲-۳ پیل سوختی پلیمری





شکل ۲-۴ مقایسه انواع مختلف پیل سوختی و یون جابجا شونده

پیل های سوختی می توانند در بخش های مختلف تولید انرژی الکتریکی نیروگاهی حضور یابند. این حوزه ها عبارتند از: هتل ها، مدارس، بیمارستان ها، ساختمان های اداری و محل های خرید. پیل های سوختی دمای بالا می توانند برای کاربردهای تولید گرما و برق مورد استفاده قرار گیرند.

پیل های سوختی در کاربردهای برق اضطراری، خانگی و تولید همزمان نیز مورد توجه قرار گرفته اند.



شکل ۵-۲ پیل سوختی در کاربری‌های خانگی

کشور ایران از یک سو با بالا بودن مصرف سالیانه سوخت و از سوی دیگر با عدم توسعه یافتگی مناسب فناوری در صنایع خودرو و نیروگاهی روبه‌رو است و عدم توجه به مشکلات ناشی از آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز موجب مشکلات جدی زیست محیطی در کلان شهرها شده است. توسعه فناوری پیل‌های سوختی می‌تواند یک راه حل مناسب جهت توسعه پایدار و بلند مدت باشد. [۲۲]

## ۵-۶-۲ توربین بادی

در سال‌های اخیر، مشکلات زیست محیطی و مسائل مربوط به آب و هوای کره زمین بعثت استفاده از منابع انرژی فسیلی بر شدت این تمایلات افزوده است. از سال ۱۹۷۵ پیشرفت‌های شگرفی در زمینه توربین‌های بادی در جهت تولید برق بعمل آمده است. در سال ۱۹۸۰ اولین توربین برق بادی متصل به شبکه سراسری نصب گردید. بعد از مدت کوتاهی اولین مزرعه برق بادی چند مگاواتی در آمریکا نصب و به بهره‌برداری رسید.

در پایان سال ۱۹۹۰ ظرفیت توربین‌های برق بادی متصل به شبکه در جهان به ۲۰۰ MW رسید که توانایی تولید سالانه ۳۲۰۰ Gwh برق را داشته که تقریباً تمام این تولید مربوط به ایالت کالیفرنیا آمریکا و کشور دانمارک بود. امروزه کشورهای دیگر نظیر هلند، آلمان، بریتانیا، ایتالیا و هندوستان برنامه‌های ملی و ویژه‌ای را در جهت توسعه و عرضه تجاری انرژی باد آغاز کرده‌اند در طی دهه گذشته، هزینه تولید انرژی به کمک توربین‌های بادی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

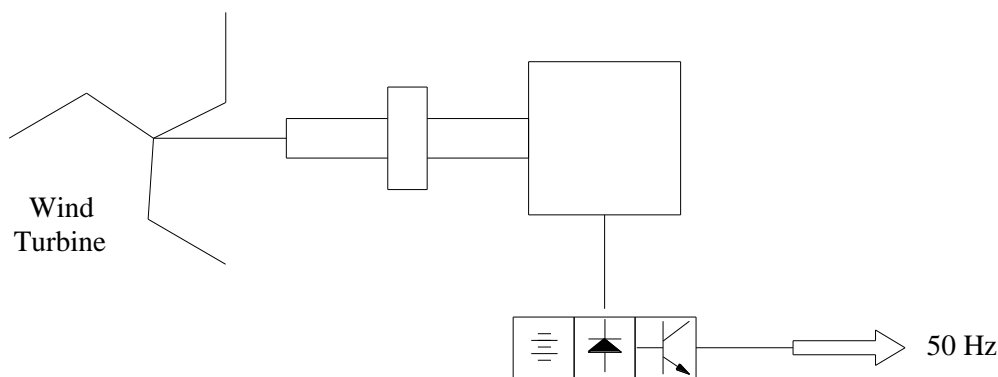
در حال حاضر، توربین‌های بادی از کارایی و قابلیت اطمینان بیشتری در مقایسه با ۱۵ سال پیش برخوردارند. با این همه، استفاده وسیع از سیستم‌های مبدل انرژی باد (WECS) هنوز آغاز نگردیده است. در مباحث مربوط به انرژی

باد، بیشتر تأکیدات بر توربین های بادی مولد برق جهت اتصال به شبکه است، زیرا این نوع از کاربرد انرژی باد می تواند سهم مهمی در تأمین برق مصرفی جهان داشته باشد. براساس برنامه سیاست های جاری (CP)، تخمین زده می شود که سهم انرژی باد در تأمین انرژی جهان در سال ۲۰۲۰ تقریباً برابر با ۳۷۵ Twh در سال خواهد بود. این میزان انرژی با استفاده از توربین های بادی، به ظرفیت مجموع ۱۸۰ Gwh تولید خواهد گردید، اما در قالب برنامه ضرورت های زیست محیطی (ED) سهم این انرژی در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۹۷۰ Twh در سال خواهد بود که با استفاده از توربین های بادی به ظرفیت مجموع ۴۷۰ GW تولید خواهد شد. بطور کلی با استفاده از انرژی باد، بعنوان یک منبع انرژی در دراز مدت، می توان دو برابر مصرف انرژی الکتریکی فعلی جهان را تأمین کرد. [۲۲]

توربین های بادی انرژی موجود در باد را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. باد یک منبع متغیر می باشد که نمی توان انرژی آن را ذخیره کرد، بنابراین توربین های بادی باید در همان زمان، مورد بهره برداری قرار گیرند. [۱۹]

ثبات مورد استفاده در این سیستم از نوع القایی می باشد و به دلیل نوسانات سرعت باد، سرعت سنکرون نمی شود. همچنین این نیروگاه قادر به تولید توان راکتیو (Q) نمی باشد (مدار میدان مجزا ندارد). و این توان توسط یک منبع خارجی مانند خازن استاتیک یا خازن سنکرون تأمین می گردد. توان تولیدی توربین های بادی کسری از سرعت باد است. در این نیروگاه نسبت نوک پره ها از طریق رابطه (۲-۱) محاسبه می گردد. [۲۳]

$$\frac{V_{wind}}{V_{bladerotating}} = \text{blade head ratio} \quad (1-2)$$



شکل ۶-۲ اجزاء توربین بادی

## ۶-۵-۱ مزایای بهره‌برداری از انرژی باد

انرژی باد نیز مانند سایر منابع انرژی تجدیدپذیر از ویژگی‌ها و مزایای بالاتری نسبت به سایر منابع انرژی برخوردار است که اهم این مزایا عبارتند از:

۱- عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت که در نتیجه از میزان مصرف سوخت‌های فسیلی می‌کاهد.

۲- رایگان بودن انرژی باد

۳- توانایی تأمین بخشی از تقاضای انرژی برق

۴- کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد نسبت به انرژی‌های فسیلی

۵- کمتر بودن هزینه‌های جاری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی باد در بلندمدت

۶- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی

۷- قدرت مانور زیاد، جهت بهره‌برداری در هر ظرفیت و اندازه (از چند وات تا چندین مگاوات)

۸- عدم نیاز به آب

۹- عدم نیاز به زمین زیاد برای نصب

۱۰- نداشتن آلودگی محیط زیست نسبت به سوخت‌های فسیلی

۱۱- افزایش قابلیت اطمینان در تولید انرژی برق

۱۲- ایجاد اشتغال

کاربردهای نیروگاهی توربین‌های برق بادی شامل کاربردهای متصل به شبکه برق‌رسانی است که به شرح زیر می‌باشند: [۲۲]

### ۱- توربین‌های بادی منفرد:

از این توربین‌ها جهت تأمین بارهای الکتریکی از نوع مسکونی، تجاری، صنعتی یا کشاورزی استفاده می‌شود. بار مصرفی در مجاورت توربین قرار داشته و بار مصرفی به شبکه نیز متصل است. اکثراً این توربین‌ها در نزدیکی کشتزارها یا گروهی از منازل قرار داده می‌شوند. عموماً اندازه این توربین‌ها بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلووات است.

### ۲- مزارع بادی:

این کاربرد معمولاً چندین توربین بادی متمرکز را شامل می‌شود و به منظور تأمین انرژی که از طریق شبکه توزیع می‌شود، طراحی شده و این موضوع در مقابل توربین‌های بادی منفرد مورد قبل که به منظور تأمین انرژی مصرفی بار الکتریکی در محل طراحی می‌گردد، مطرح است.

اندازه‌های معمولی این توربین‌های بادی بین ۵۰ تا ۵۰۰ کیلووات است. سیاست‌های ملی تولید انرژی، تعیین‌کننده بازار پراکنده توربین‌های متصل به شبکه است. مثلاً در آمریکا، دانمارک، هلند و آلمان به افراد اجازه داده شده که توربین‌های بادی در تملک خود را به شبکه وصل نموده و تولید اضافی خود را به سازمان برق محلی بفروشند.

امروزه هدف اصلی محققین، حرکت به سمت راه اندازی واحدهای بزرگتر مزارع برق بادی می باشد.

در کشور ما دفتر باد و امواج سازمان انرژی های نو ایران (سانا) به منظور توسعه، ترویج، برنامه ریزی، نظارت و مدیریت اجرای طرح ها و بهره برداری از انرژی بادی، اقدام به مدیریت ساخت، نصب و خرید توربین های برق بادی به شرح ذیل نموده است:

- ۱- مدیریت طراحی، ساخت و نصب توربین های بادی ۶۰۰ کیلووات منجیل و ۱۰ کیلووات تبریز
- ۲- مدیریت و بهره برداری ۲ واحد توربین بادی ۱۳۰ کیلووات دیزآباد استان خراسان
- ۳- پروژه اجرای مزرعه بادی ۶۰ مگاوات منجیل با وام یمنی ژاپنی
- ۴- همکاری با سازمان GEF جهت شناخت موانع و توسعه نیروگاه های برق بادی
- ۵- مدیریت طراحی ساخت نصب و بهره برداری توربین محور ۶۰ کیلووات بجنورد و توربین محور عمودی موجود در منجیل

## ۶-۶-۲ فتوولتائیک

به پدیده ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم های محرک، الکتریسیته تولید کند، پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند، سیستم فتوولتائیک گویند. [۲۲]

در سال ۱۸۳۹، فیزیکدان فرانسوی، ادموند بکورل کشف کرد که برخی مواد مشخص هنگامی که در معرض تابش نور آفتاب قرار می گیرند جریان های الکتریکی کوچکی تولید می کنند. قبل از دهه ۱۹۴۰ راندمان تبدیل انرژی الکتریکی در این مواد حدود ۱ تا ۲ درصد بود، در سال ۱۹۵۴، آزمایشگاه های بل از این مواد فتوولتائیک سیلیکونی

استفاده کرد و راندمان تبدیل انرژی به الکتریسیته را به ۴ درصد رساند. [۲۳]

در فناوری فتوولتائیک، از سلول‌های نیمه هادی که هر کدام از یک دیود P-N بزرگ تشکیل شده‌اند، استفاده می‌شود. به این صورت که با تابش نور بر روی هر سلول، ولتاژ و جریان DC تولید می‌شود. چندین سلول با هم ترکیب شده و یک ماژول را برای تولید جریان و ولتاژ مورد نظر ایجاد می‌کنند. جریان خروجی تابعی از تابش، دما، سرعت باد و ضرایب مخصوص برای فناوری سلول‌ها است. [۱۹]

امروزه اینگونه سلول‌ها عموماً از ماده سیلسیم تهیه می‌شوند و سیلسیم مورد نیاز از شن و ماسه تهیه می‌شود که در مناطق کویری کشور به فراوانی یافت می‌گردد. [۲۲]

سیستم‌های فتوولتائیک را می‌توان بطور کلی به سه بخش اصلی تقسیم نمود که بطور خلاصه به توضیح آن‌ها می‌پردازیم :

[۲۲]

#### ۱- پنل‌های خورشیدی:

این بخش درواقع مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی بدون واسطه مکانیکی می‌باشد. لازم به ذکر است جریان و ولتاژ خروجی از این پنل‌ها DC (مستقیم) می‌باشد.

#### ۲- تولید توان مطلوب یا بخش کنترل:

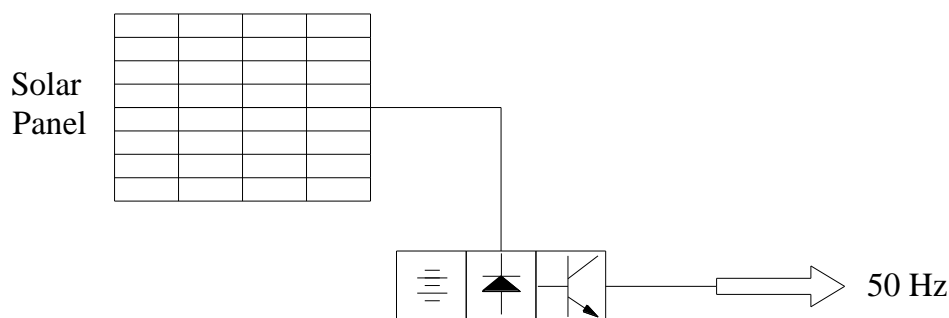
این بخش درواقع کلیه مشخصات سیستم را کنترل کرده و توان ورودی پنل‌ها را طبق طراحی انجام شده و نیاز مصرف کننده به بار یا باطری تزریق یا کنترل می‌کند. لازم به ذکر است که در این بخش مشخصات و عناصر تشکیل دهنده با توجه به نیازهای بار الکتریکی و مصرف کننده و نیز شرایط آب و هوایی محلی تغییر می‌کند.

## ۳- مصرف کننده یا بار الکتریکی:

با توجه به خروجی DC پنل‌های فتوولتائیک، مصرف کننده می‌تواند دو نوع DC یا AC باشد. همچنین با آرایش‌های مختلف پنل‌های فتوولتائیک می‌توان نیاز مصرف کنندگان مختلف را با توان‌های متفاوت تأمین نمود.

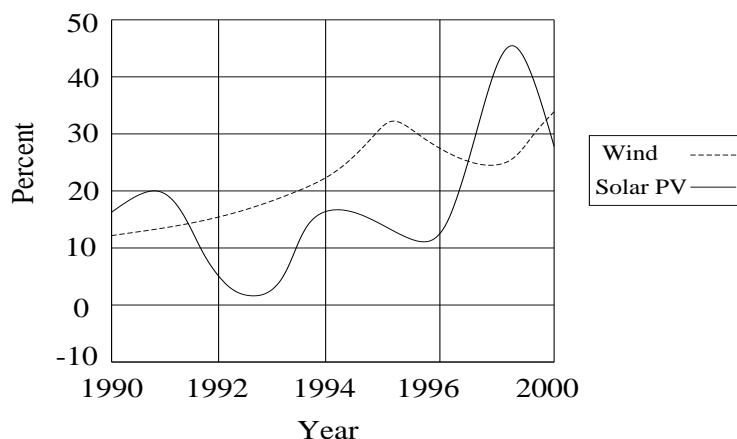
با توجه به کاهش روز افزون ذخایر سوخت فسیلی و خطرات ناشی از بکارگیری نیروگاه‌های اتمی، گمان قوی وجود دارد که در آینده‌ای نه‌چندان دور سلول‌های خورشیدی با تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی برق بعنوان جایگزین مناسب و بی‌خطر برای سوخت‌های فسیلی و نیروگاه‌های اتمی توسط بشر بکار گرفته شود.

همزمان با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در بخش انرژی الکتریکی مورد نیاز ساختمان‌ها، اطلاعات و تجربیات کافی جهت احداث واحدهای بزرگتر حاصل گردید و هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای جهان، نیروگاه فتوولتائیک در واحدهای کوچک و بزرگ و به صورت اتصال به شبکه و یا مستقل از شبکه، نصب و راه‌اندازی شده است، ولی این تأسیسات دارای هزینه ساخت، راه‌اندازی و نگهداری می‌باشند که فعلاً مقرون به صرفه و اقتصادی نیست. [۲۲]



شکل ۲-۷ نحوه ی عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک





شکل ۲-۸ نرخ افزایش استحصال انرژی از باد و فتوولتائیک در جهان

## ۲-۶-۷ انرژی گرمایی خورشیدی

از این انرژی برای گرم کردن سیال استفاده می‌کنند و سیال گرم شده باعث حرکت کردن توربین می‌شود. برای متمرکز کردن اشعه‌های خورشیدی بر روی محفظه حاوی سیال، از آئینه‌های متمرکز کننده یا انعکاس دهنده استفاده می‌شود. [۱۹]

نیروگاه‌های خورشیدی می‌توانند با تولید برق به شبکه سراسری برق نیرو برسانند و در عین امکان تأمین شبکه‌های کوچک و ناحیه‌ای، احتیاج به تأسیس خطوط فشارقوی طولانی جهت انتقال برق ندارند و نیاز به هزینه زیاد احداث شبکه‌های انتقال نمی‌باشد. [۲۲]

## ۲-۶-۸ زمین گرمایی

تولید برق با استفاده از منابع انرژی زمین گرمایی با درجه حرارت بالا طی ده سال اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. [۲۲]

در این روش از گرمای پوسته زمین برای تولید برق استفاده می‌شود. این انرژی یا به صورت گرمای مستقیم

استفاده می‌شود یا به توان مکانیکی تبدیل شده، سپس به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. [۱۹]

نخستین تلاش‌ها در لاردرو (ایتالیا) در سال ۱۹۰۴ برای تولید برق با استفاده از انرژی زمین گرمایی صورت گرفت و از آن زمان تا کنون فعالیت‌های زیادی در سراسر دنیا صورت گرفته است.

ساخت نیروگاه‌های دو مداری باعث پیشرفت‌های چشمگیری در تولید برق با استفاده از انرژی زمین گرمایی شده است و در حال حاضر با به تکامل رسیدن این تکنولوژی به طور تجاری از آب‌های گرم زیرزمینی با درجه حرارت معمولی (بیشتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد) برق تولید می‌شود. [۲۲]

## ۲-۶-۸-۱ فرآیند تولید برق در نیروگاه زمین گرمایی (Geothermal power plant)

بطور ساده می‌توان گفت نیروگاه‌های زمین گرمایی به دو دسته مهم تقسیم می‌شوند: [۱۶]

### ۱- نیروگاه زمین گرمایی با سیال دو فاز (بخار و مایع) (Flash steam power plant)

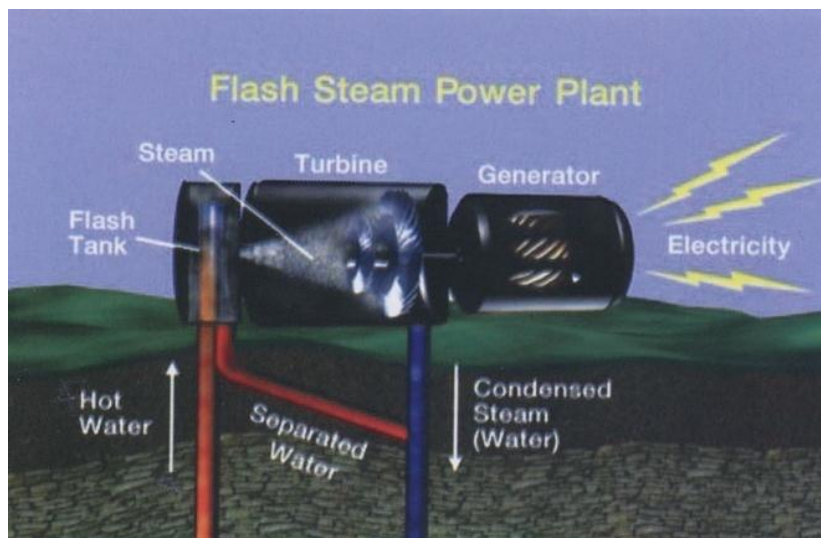
### ۲- نیروگاه زمین گرمایی با سیال تک فاز (مایع) (Binary cycle power plant)



شکل ۹-۲ نمونه ای از یک نیروگاه زمین گرمایی

## ۱- نیروگاه زمین گرمایی با سیال دو فاز:

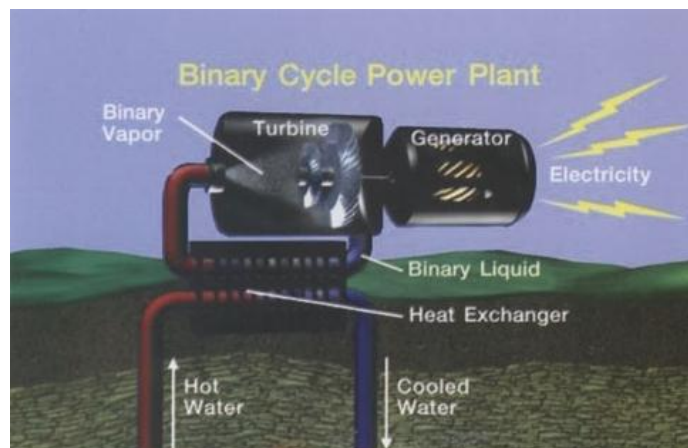
سیالی که معمولاً به شکل دو فاز مایع و بخار می‌باشد از چاه‌های زمین گرمایی خارج می‌شود که هر چه تعداد این چاه‌ها بیشتر باشد میزان مایع و بخار خارج شده از چاه‌ها و متناسب با آن میزان تولید برق نیز بیشتر می‌شود. این سیالات در مخزن جدا کننده بخار از مایع جمع‌آوری شده و در این مخزن فاز بخار از مایع جدا می‌شود. بخار جدا شده وارد توربین شده و باعث چرخش پره‌های توربین می‌شود. پره‌ها نیز به نوبه خود محور توربین و در نتیجه محور ژنراتور را به حرکت وامی‌دارند که باعث به وجود آمدن قطب‌های مثبت و منفی در ژنراتور شده و در نتیجه برق تولید می‌شود. [۲۲]



شکل ۱۰-۲ نیروگاه زمین گرمایی دو فازی

## ۲- نیروگاه زمین گرمایی با سیال تک فاز:

در این نوع نیروگاه ها، نیاز به مخزن جدا کننده نمی باشد، زیرا آب گرم وارد مبدل حرارتی شده و حرارت خود را به سیال عامل دیگری که نقطه جوش پایین تری نسبت به آب دارد منتقل می کند. معمولاً سیال عامل را سیال هایی مانند: ایزوپنتان، ایزوبوتان و ... در نظر می گیرند. در این فرآیند سیال عامل به بخار تبدیل شده و به توربین منتقل می شود که در اینجا توربین و ژنراتور طبق توضیحات فوق می توانند برق تولید کنند. جهت بالا بردن راندمان نیروگاه ها و تولید برق بیشتر می توان این دو نوع نیروگاه را به صورت موازی و یا سری ترکیب نمود و یا با استفاده از مبدل های حرارتی جهت عملیات پیش گرمایش راندمان نیروگاه را بیشتر نمود. [۲۲]



شکل ۱۱-۲ نیروگاه زمین گرمایی با سیال تک فاز

انرژی زمین گرمایی سومین نوع از انرژی‌های نو می‌باشد که در دنیا جهت تولید برق بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تا سال ۱۹۹۹ میزان تولید الکتریسیته در جهان توسط نیروگاه‌های زمین گرمایی ۷۹۷۴ Mw بوده است. [۲۲]

کشورهایی که بیشترین برق را با استفاده از نصب نیروگاه‌های زمین گرمایی تولید می‌کنند عبارتند از: [۲۲]

آمریکا ۲۲۰۰ مگاوات الکتریکی

فیلیپین ۱۹۰۰ مگاوات الکتریکی

نیوزیلند ۴۳۷ مگاوات الکتریکی

مکزیک ۷۵۵ مگاوات الکتریکی

ایتالیا ۷۸۵ مگاوات الکتریکی

ژاپن ۵۴۷ مگاوات الکتریکی

اندونزی ۵۹۰ مگاوات الکتریکی

ایسلند ۱۷۰ مگاوات الکتریکی

## ۲-۶-۹ چرخ لنگر

چرخ لنگر سیستم ذخیره کننده انرژی الکترومکانیکی است که انرژی را به صورت انرژی جنبشی در یک جسم گردان ذخیره می کند. این سیستم ها معمولاً به دو صورت روتورهای فولادی و روتورهای از جنس رزین ساخته می شوند. در هر دو نوع سیستم، روتور در خلاء می چرخد. در سیستم های با روتور فولادی بیشتر بر همان اینرسی روتور برای ذخیره انرژی تأکید دارند و در سیستم های با روتور مرکب بیشتر بر سرعت روتور برای ذخیره انرژی تأکید می کنند. [۱۹]

## ۲-۶-۱۰ واحدهای آبی کوچک

به طور کلی واحدهای آبی کوچک به دو دسته میکروهیدرو و مینی هیدرو تقسیم می شوند.

در عمل، تولید توان الکتریکی برای واحدهای میکروهیدرو در حدود ۵ تا ۱۰۰ کیلووات و برای مینی هیدرو در حدود ۵۰۰ کیلووات تا ۱۰ مگاوات می باشد. ارتفاع آب برای چنین واحدهایی می تواند در گستره های از ۱,۵ تا ۴۰۰ متر با محدوده دبی صدها لیتر تا ده ها متر مکعب بر ثانیه باشد. [۱۹]

## ۲-۶-۱۱ بیوماس

بیوماس نوعی ماده آلی است که بوسیله گیاهان اعم از گیاهان خاکی، آبی و مشتقات آن ها تولید می شود. برخلاف زغال سنگ، نفت و گاز، ... بیوماس را می توان منبع انرژی تجدیدپذیر تلقی کرد، زیرا عمر گیاه تجدید می گردد. انواع مختلف بیوماس به صورتی هستند که حجم زیادی را اشغال می کنند و حاوی مقدار زیادی آب هستند، لذا انتقال آن ها مقرون به صرفه نیست و باید نزدیک به محل تولید باشند، بنابراین محدودیت مکانی دارند. [۱۹]



در زمینه تولید برق از منابع تجدید شونده، زیست توده پس از انرژی آب در جایگاه دوم قرار دارد و در سال ۲۰۰۰ حدود ۶ درصد سهم جهانی را به خود اختصاص داده است، به طوریکه در سال ۲۰۰۰ مجموع ظرفیت نیروگاهی نصب شده جهت بهره برداری از انرژی زیست توده در کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری های اقتصادی (OECD) معادل ۲۳۰۰۰ مگاوات بوده است، ولی هنوز با توجه به عوامل اقتصادی و اجتماعی موضوع زیاده روی در مصرف انرژی های تجدید شندی و کمبود تولید بیوماس به عنوان یک انرژی نوین در کشورهای پیشرفته جهان به صورت یک خلاء احساس می شود. [۲۲]



شکل ۲-۱۲ یک نیروگاه زیست توده با سوخت زائدات کشاورزی

در شهر شیراز به همت سازمان بازیافت و تبدیل مواد، آزمایش راه اندازی موتور دوگانه سوز با بیوگاز به قدرت حدود ۹ کیلووات الکتریکی نیز با موفقیت به انجام رسیده است. [۲۲]

## ۷-۲ جایگاه انرژی‌های مختلف در جهان

دست یافتن به انواع مختلف منابع انرژی و تأمین نیاز بشر، مهمترین نگرانی و دغدغه جهان امروز است. جدول (۲-۲) منابع عمده تأمین انرژی و درصد آن‌ها را در جهان نشان می‌دهد. [۲۲]

جدول ۲-۲ منابع عمده تأمین انرژی و میزان مصرف آن‌ها در جهان

انواع انرژی	میزان انرژی تولید شده (EJ)	میزان درصد مصرف در جهان
سوخت‌های فسیلی	۳۲۰	۸۰٪
انرژی‌های تجدیدپذیر (نو)	۵۶	۱۴٪
انرژی هسته‌ای	۲۶	۶٪

سوخت‌های فسیلی نیز به نوبه خود شامل سه منبع به شرح جدول (۲-۳) می‌باشند.

جدول ۲-۳ سوخت‌های فسیلی و میزان مصرف آن‌ها در جهان

سوخت‌های فسیلی	میزان انرژی تولید شده (EJ)	میزان درصد مصرف در جهان
نفت	۱۴۲	۳۶٪
گاز طبیعی	۸۵	۲۱٪
زغال سنگ	۹۳	۲۳٪

جدول (۲-۴) نیز درصد میزان مصرف و میزان انرژی تولیدی در جهان را در بخش انرژی‌های نو نشان می‌دهد.

جدول ۲-۴ انرژی‌های نو و میزان مصرف آن‌ها در جهان

انرژی‌های نو	میزان انرژی تولید شده (EJ)	میزان درصد مصرف در جهان
بیوماس	۳۸	۱۰٪
برق آبی، زمین گرمایی، باد و خورشیدی	۱۸	۴٪



جالب است بدانید که با توجه به تجدیدپذیر بودن و همچنین پاک بودن انرژی های نو، میزان استفاده از این منابع در جهان، به سرعت رو به افزایش می باشد.

میزان تولید انرژی الکتریکی توسط انرژی های نو در جهان معادل ۲۸۲۶ TWh می باشد که از این بین سهم برق آبی ۹۲٪، بیوماس ۵,۵٪، زمین گرمایی ۱,۶٪، باد ۰,۶٪ و خورشیدی ۰,۰۵٪ است. [۲۲]

در جدول (۲-۵) انواع فناوری های بکار رفته در تولیدات پراکنده و مقدار تولید رایج هر کدام از آن ها بیان شده است. [۱۹]

جدول ۲-۵ فناوری های بکار رفته در تولیدات پراکنده

فناوری	اندازه مرسوم برای هر ماژول
توربین گازی سیکل ترکیبی	۳۵ تا ۴۰۰ مگاوات
موتورهای احتراق داخلی	۵ کیلووات تا ۱۰ مگاوات
توربین های احتراقی	۱ تا ۲۵۰ مگاوات
میکروتوربین ها	۳۵ کیلووات تا ۱ مگاوات
آبی کوچک	۱ تا ۱۰۰ مگاوات
میکرو هیدرو	۲۵ کیلووات تا ۱ مگاوات
توربین بادی	۲۰۰ وات تا ۳ مگاوات
فتوولتائیک	۲۰ وات تا ۱۰ مگاوات
انرژی خورشیدی (گیرنده مرکزی)	۱ تا ۱۰ مگاوات
انرژی خورشیدی (سیستم Lutz)	۱۰ تا ۸۰ مگاوات
بیوماس	۱۰۰ کیلووات تا ۲۰ مگاوات
پیل سوختی از نوع P	۲۰۰ کیلووات تا ۲ مگاوات
پیل سوختی از نوع MC	۲۵۰ کیلووات تا ۲ مگاوات
پیل سوختی از نوع PE	۱ کیلووات تا ۲۵۰ کیلووات
پیل سوختی از نوع SO	۲۵۰ کیلووات تا ۵ مگاوات
زمین گرمایی	۵ تا ۱۰۰ مگاوات
انرژی موج	۱۰۰ کیلووات تا ۱ مگاوات
موتور چرخ لنگر	۲ تا ۱۰ کیلووات
انباره باتری	۵۰۰ کیلووات تا ۵ مگاوات

## ۸-۲ پتانسیل منابع تولید پراکنده در ایران

جدول (۶-۲) پتانسیل‌های بالقوه موجود در کشور را برای تعدادی از منابع تولید پراکنده نشان می‌دهد.

جدول ۶-۲ پتانسیل‌های موجود در کشور

پتانسیل موجود	منابع
۲۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال	انرژی خورشیدی [۱۸]
۶۵۰۰ مگاوات الکتریکی	انرژی باد [۱۹، ۱۸]
۲۲۰۰۰ مگاوات حرارتی / ۳۳۰۵۲ گیگاوات ساعت الکتریکی	انرژی بیوماس [۲۱، ۲۰]
۷۴۰۰ مگاوات	زمین‌گرمایی [۲۱]
۴۲۰۰ مگاوات	برق آبی کوچک [۲۲]
قابل توجه نیست	انرژی جزرومد

لازم به ذکر است که مطالعات پتانسیل‌سنجی برای سایر انواع منابع تولید پراکنده در ایران انجام نشده است.

در ایران به دلیل عدم وجود دستورالعمل مشخص در زمینه چگونگی اتصال تولیدات پراکنده به شبکه و همچنین خرید و فروش انرژی آن‌ها موانعی بر سر راه توسعه منابع فوق وجود دارد. به عبارت دیگر تنظیم دستورالعمل‌های مشخص در زمینه اتصال و چگونگی خرید انرژی از منابع تولید پراکنده می‌تواند باعث تشویق صاحبان منابع فوق به تعامل با شرکت‌های برق گردد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات :

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که هنوز تعریف ثابت و مشخصی برای منابع تولید پراکنده ارائه نشده است. به عبارت دیگر با توجه به مشخصاتی چون نوع تکنولوژی، ظرفیت مولدها، محل اتصال، نوع کاربرد و ... تعاریف متفاوتی می‌توان برای منابع تولید پراکنده متصور بود. آنچه مسلم است این است که پرداختن به منابع تولید پراکنده می‌تواند از دیدگاه‌های مختلف و با اهداف متفاوتی دنبال شود که این امر روند تصمیم‌گیری در خصوص استفاده از این منابع را پیچیده می‌نماید. لیکن با توجه به مطالعات انجام شده، موارد زیر را می‌توان از عمده‌ترین شاخص‌های تصمیم‌گیری در مورد بکارگیری منابع تولید پراکنده در ایران ذکر نمود که لازم است در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ گردند.

- پیش‌بینی پتانسیل و ظرفیت موجود در کشور
- آینده تکنولوژیکی منابع تولید پراکنده در دنیا (به لحاظ هزینه‌ای)
- پیش‌بینی دستیابی به تکنولوژی
- نوع انرژی اولیه مورد نیاز و آینده آن
- ارزیابی اقتصادی منابع تولید پراکنده (در شرایط حاضر و آینده)
- بدین لحاظ با توجه به موارد فوق، رتبه‌بندی منابع تولید پراکنده به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد:
- ظرفیت‌های موجود در صنایع کشور (عمدتاً موتورهای رفت و برگشتی و توربین‌های گازی)
- کاربردهای شهری (میکروتوربین‌ها و توربین‌های گازی)

- کاربردهای نقاط پراکنده (بادی، آبی کوچک و فتوولتائیک)

تفاوت‌های اساسی بین مطالعات انجام شده باعث گردیده تا در آمارها و نتایج ارائه شده نیز این اختلاف دیده شود. در کشور ما، با توجه به شرایط خاص و منابع گوناگون، از جمله راهکارهای مقابله با مسائلی چون افزایش روز افزون تقاضا و کمبود منابع مالی جهت سرمایه‌گذاری در صنعت برق، استفاده از منابع تولید انرژی موجود و تشویق و ترغیب بخش خصوصی به مشارکت در صنعت برق می‌باشد. این امر می‌تواند با شفاف‌سازی و مشخص کردن تعاریف و چگونگی برخورد با این تولیدکنندگان محقق شود. همانگونه که ملاحظه شد تعریف منابع تولید پراکنده در ایران با هدف در بر گرفتن منابع تولید انرژی موجود در صنایع کشور و همچنین منابع کوچک موجود در سطح شبکه توزیع ارائه شده است. بدین‌ترتیب این امکان فراهم می‌گردد تا ضمن استفاده از ظرفیت‌های موجود، ظرفیت‌های جدید در سطح شبکه توزیع و نزدیک به نقاط مصرف نیز وارد چرخه شوند.

# فصل سوم

مکان یابی نیروگاه های DG با  
استفاده از سیستم GIS

## مقدمه

نیروگاه های تولید پراکنده به خاطر به کار گیری منابع انرژی تجدید پذیر از جمله باد و اشعه خورشید و ... که می توانند از دید زیست محیطی نیز ارزشمند باشند ، سهم قابل توجهی از تولید جهانی را به خود اختصاص داده اند . باتوجه به اینکه انرژی از موارد ضروری برای توسعه ی اقتصادی - اجتماعی و ارتقای کیفیت زندگی بشر می باشد ، متخصصین و برنامه ریزان انرژی در دنیا اتفاق نظر دارند که انرژی های تجدید پذیر باید نقشی بهتر از آنچه امروز در دنیا برای تامین انرژی مورد نیاز جوامع بشری دارند ، ایفا نمایند . به همین دلیل باید به دنبال جایگاهی برای انرژی تجدید پذیر و پاک در طول دهه های آتی بود . انرژی برق بادی و برق خورشیدی بدلیل شرایط اقتصادی بهتر و همچنین عدم آلایندهی محیط زیست و نامحدود بودن منابع بادی و خورشیدی امروزه بیشتر از منابع دیگر مورد توجه واقع شده است .

افزایش تقاضا برای انرژی نیازمند یک استراتژی متوازن و درازمدت است که شامل منابع متفاوت و راه حل های خاص منطقه ای نظیر بهره گیری بیشتر از منابع انرژی جایگزین، تکنولوژی تولید بهینه انرژی و تشویق بخش خصوصی به استفاده از تکنولوژی پاک است. بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت های فسیلی تأمین می شود. احتراق سوخت های فسیلی باعث ورود حجم عظیمی از اکسیدهای سولفور و نیتروژن، منوکسید کربن و دی اکسید کربن در هوا می گردد.

انرژی های باد و خورشید خطرات و اثرات نامطلوب زیست محیطی از خود باقی نگذاشته و برای کشورهایی که فاقد منابع زیر زمینی هستند مناسب ترین راه برای دسترسی به نیرو و رشد و توسعه اقتصادی است . [۳۰]

### ۱-۳ مکان یابی نیروگاه های بادی

انرژی باد به عنوان یکی از انواع انرژی های تجدید پذیر از دیرباز ذهن بشر را به خود معطوف نموده و بشر همواره به فکر استفاده از این انرژی بوده است . نیروگاه های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط زیست از جمله منابع انرژی پرتعداد بوده و در چند سال اخیر رشد بسیار خوبی داشته است .

در این پروژه می خواهیم به بیان روشی کاربردی برای پتانسیل سنجی منابع بادی با قابلیت تولید برق ، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با در نظر گرفتن معیارهای انتخاب مزارع بادی پردازیم

در ادامه مناطق مستعد جهت استقرار نیروگاه های بادی با توجه به موجودیت باد و موقعیت جغرافیایی محل ، مورد بررسی و مطالعه دقیق قرار می گیرد و برنامه منظمی جهت مشخص نمودن محل مناسب استقرار نیروگاه بادی پیشنهاد می گردد .

### ۱-۱-۳ انرژی باد در ایران

ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرار گرفتن در یک منطقه ی کم فشار و مجاورت با مناطق پر فشار شمال و شمال غرب به طور کلی در زمستان و تابستان در مسیر باد های عمده ی زیر قرار دارد :

۱- بادهایی که در زمستان از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه و آسیای مرکزی می وزد .

۲- بادهایی که در تابستان از طرف اقیانوس هند و همچنین شمال غرب به سمت ایران می وزد.

### ۳-۱-۲ عوامل مهم در انتخاب محل استقرار توربین های بادی

موارد مهم جهت شناسایی یک منطقه مستعد برای نصب توربین های بادی عبارتند از :

( الف ) استقرار ماشین های بادی در مکان هایی که مقدار انرژی تولید شده جوابگوی مصرف باشد .

( ب ) پرهیز از مکان هایی که سبب مخاطره توبین های بادی می شود . مثل اغتشاش ، یخبندان ، موانع ، ذرات شن و نمک در هوا ، نامسطح بودن و شیب زمین که سبب افزایش قیمت نگهداری توربین ، کوتاهی عمر و افت انرژی تولیدی خواهد شد .

( ج ) اقتصادی بودن انرژی تولیدی در مقایسه با انرژی های دیگر .

با توجه به بند های (الف) و (ب) شناسایی وضعیت جغرافیایی منطقه و خصوصیات و موجودیت باد امری ضروری است .

در سال ۱۳۸۱ سازمان انرژی های نو ایران اقدام به اجرای پروژه ملی پتانسیل سنجی و تهیه اطلس رنگی باد کشور کرد ، که این پروژه در سال ۱۳۸۸ خاتمه یافت . در این اطلس ۲۶ منطقه از کشور شامل ۴۵ سایت مورد مطالعه قرار گرفته اند ، که بر اساس اطلس مذکور پتانسیل کل استفاده از انرژی باد در ۲۰ سایت مذکور معادل ۶۵۰۰ مگا وات می باشد . [۴۵] و میزان برق قابل استحصال از انرژی برق بادی در کل کشور در حدود ۲۰۰۰۰ مگا وات برآورد شده است.

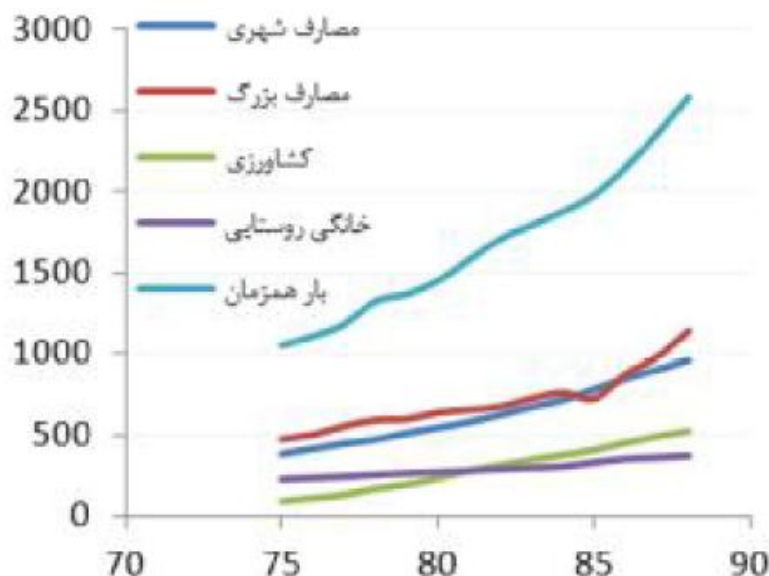
از دیگر اقدامات مهم صورت گرفته در زمینه ی انرژی باد ، ساخت توربین های بادی در داخل کشور و سعی در بومی سازی این صنعت بوده است . اولین کارخانه توربین های بادی کشور در سال ۱۳۷۹ به بهره برداری رسیده است . در ابتدا این کارخانه قادر به ساخت ۷۰ درصد از



در این پروژه به پتانسیل سنجی منطقه ی باختر می پردازیم ، و اینکه آیا احداث نیروگاه بادی در این منطقه پاسخ گوی میزان برق مورد نیاز می باشد یا خیر .

برق منطقه ای باختر متشکل از سه استان مرکزی ، لرستان و همدان به مرکزیت اراک با وسعت ۷۶۵۲۲ کیلومتر مربع شامل ۲۵ شهرستان ، ۶۵ شهر ، ۲۱۲ دهستان و جمعیتی بالغ بر ۴۵۰۰۰۰۰ نفر می باشد ، که از شمال به برق منطقه ای زنجان ، از غرب به برق منطقه ای غرب ، از جنوب به سازمان آب و برق خوزستان ، از جنوب شرقی به منطقه ی اصفهان و از شرق و شمال شرقی به منطقه ای تهران محدود می شود . شکل ۳-۱ محدوده ی برق منطقه ای باختر را نشان می دهد .

میزان برق مصرفی در سال ۱۳۸۸ در این منطقه ۲۵۸۲ مگاوات بوده است [۲۸] و پیش بینی می شود این مقدار تا سال ۱۴۰۴ به حدود ۷۳۰۸ مگاوات افزایش یابد . این منطقه شامل دو نیروگاه حرارتی سیکل بخار شازند اراک به ظرفیت نامی ۱۳۰۰ مگاوات و مفتاح همدان به ظرفیت نامی ۱۰۰۰ مگاوات و نیروگاه حرارتی سیکل گازی دورود به ظرفیت نامی ۶۰ مگاوات می باشد . میزان انرژی تولیدی سال ۱۳۸۸ نیروگاه شازند برابر با ۸۲۶۳ میلیون کیلو وات ساعت ، نیروگاه مفتاح همدان برابر ۴۸۵۰ میلیون کیلو وات ساعت و نیروگاه دورود برابر با ۶۷ میلیون کیلو وات ساعت بوده است . مقدار انرژی ورودی به شبکه برق منطقه ای باختر در سال ۱۳۸۸ از شرکت های برق منطقه ای تهران ، غرب ، اصفهان ، زنجان و خوزستان برابر ۹۷۲۰ میلیون کیلو وات ساعت و میزان انرژی خروجی از شبکه برق منطقه ای باختر به شرکت های همجوار ۸۵۷۱ میلیون کیلو وات ساعت برآورد شده است . حال با توجه به مقدار انرژی مصرفی ۱۴۳۲۹ میلیون کیلو وات ساعتی شبکه برق منطقه ای باختر در این سال و میزان انرژی الکتریکی تولیدی ۱۳۱۸۰ میلیون کیلو وات ساعتی در این منطقه مشهود می باشد ، که این میزان از شرکت های برق منطقه ای همسایه تامین گردیده است . حال با توجه به نیاز منطقه و پتانسیل های انرژی باد در این سه استان ، با برنامه ریزی مناسب می توان این میزان کسری انرژی را از انرژی برق بادی تامین نمود . در شکل ۲-۳ حداکثر بار مصرفی به تفکیک نوع مصرف در بین سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۸ در برق منطقه ای باختر نشان داده شده است . [۳۰]



شکل ۳-۲: حداکثر بار مصرفی (مگاوات) برق منطقه ای  
باختر از سال ۷۵ تا ۸۸

### ۳-۱-۴ روش انجام تحقیق

برای تصمیم گیری درباره ی منابع طبیعی ، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می تواند یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی مکانی گزینه های انتخابی باشد . به طور سنتی ، روی هم قرار دادن لایه ها و تعیین حریم ها ، برای مطالعات مکان یابی مورد استفاده قرار می گرفته است . اما هنگامی که متغیر های اساسی زیادی وجود داشته باشد روی هم قرار دادن لایه ها مشکل می شود . [۳۹]

عملکرد تحلیل کنونی و تحلیل فضایی متداول و تکنیک های مدلسازی ، مبتنی بر منطق بولین می باشد که به صورت ضمنی فرض می کند که عوارض موجود در پایگاه داده های فضایی و ویژگی های آنها می تواند به طور جداگانه تعریف گردند . در این روش ، تصمیم گیری از یک شایستگی نتیجه می شود که این ارزیابی ، درجه ای است که نشان می دهد یک مکان به مجموعه ای مناسب یا نامناسب تعلق دارد و با توجه به آن هر مکان در هر معیار می تواند مقداری

برابر با صفر یا یک به خود اختصاص دهد و فرض بر آن است که معیار ها دارای اهمیت یکسانی باشند . در حالت کلی ، مجموعه نامناسب ، بعنوان مکمل مجموعه مناسب در نظر گرفته می شود. فصل مشترک بولین که در واقع عملیات روی نقشه های محدودیت بولین است ، یک And منطقی را انجام می دهد که در نهایت تنها مکان هایی را که در تمامی نقشه ها با عنوان (مقدار یک) مشخص شده اند ، انتخاب می کند . در واقع مناسب بودن پیکسل K ام نقشه ی نهایی بصورت زیر تعیین می شود : [۴۰]

$$S^K = \sum w_i x_i^k \quad (۱-۳)$$

در این رابطه  $X_i^k$  ارزش معیار i در k امین پیکسل و w i وزن معیار در آن پیکسل است که با صفر یا یک بیان می شود . بنابراین اگر معیار i برای پیکسل k ام بصورت نامناسب تعریف شود ،  $w_i$  برابر صفر می شود و پیکسل k حذف خواهد شد .

### ۳-۱-۵ معیارهای مکان یابی

معیارهای مکان یابی معمولا در قالب گروه های مختلف زیست محیطی ، جغرافیایی ، بوم شناختی ، جمعیتی ، کاربری زمین ، هیدرولوژیکی ، اقتصادی ، امنیتی ، فنی و ... مورد مطالعه قرار می گیرند . اما به دلیل هم پوشانی بعضی از این گروه ها در این مطالعه ، آنها را در ۴ گروه زیر دسته بندی می کنیم :

- فنی
- زیست محیطی
- جغرافیایی
- اقتصادی

## ۳-۱-۵-۱ معیارهای فنی

معیار فنی مورد بررسی ما در پتانسیل سنجی انرژی باد ، عبارت است از : انتخاب نوع توربین ، سرعت باد مطابق با مشخصات توربین . استاندارد IEC-61400-1 و حداقل فاصله از خطوط انتقال توان الکتریکی منطقه می باشد .

## الف) نوع توربین

این معیار مستقیماً در اندازه ی مزرعه بادی و توان تولیدی ما تاثیر گذار خواهد بود. اندازه ی توربین در ارتفاع برج (که باید متناسب با ارتفاع بادی که مورد بررسی قرار می گیرد باشد) تأثیر دارد. همچنین قطر پره های توربین بر ارتفاع برج، مطابق با رابطه ی (۳) برتوان تولیدی توربین ها ، چیدمان و فضای اشغالی توسط توربین ها و در نتیجه تعداد توربین های مزرعه بادی ما مؤثر خواهند بود. [۴۲]

استفاده از توربین های متصل به شبکه و جدا از شبکه نیز در روند انتخاب تاثیر گذارند، در این پروژه مبنای استفاده از توربین های متصل به شبکه می باشد. میانگین سرعت باد موجود در منطقه ی مورد مطالعه باید مطابق با کلاس بندی های توربین های بادی و مطابق با استاندارد بین المللی IEC61400\_۱ باشد. این استاندارد چهار کلاس مختلف برای توربین های بادی جهت انطباق با شرایط بادی محل های گوناگون تعریف نموده است . مقادیر سرعت باد برای هر یک از این کلاس ها در جدول (۲-۳) آورده شده است [۳۸] .

جدول ۱-۳ طبقه بندی کلاس های توربین بادی

IEC Wind Turbine Class	I	II	III	IV
Average wind speed at hub-height (m/s)	۱۰	۸/۵	۷/۵	۶
Characteristic turbulence Class A	%۱۸			
Characteristic turbulence Class B	%۱۴			

با توجه به رابطه شماره (۲) و استاندارد ذکر شده باید توربینی مورد استفاده قرار گیرد که در سرعت های بادی عملکرد بهتری داشته باشد.

(۲-۳)

$$P = (1/2) \rho A v^3 C_p$$

در رابطه ی فوق P توان خروجی توربین، A سطح جاروب ،  
 $\rho$  دانسیته هوا برابر  $1/23 \text{ kg/m}^3$  ، V سرعت باد و  
 $C_p$  ضریب توان می باشد.

به همین منظور در این مطالعه، از توربین مدل Gamesa G58-850 kW متصل به شبکه با کلاس باد IIIa و ساخت کشور اسپانیا با مشخصات زیر استفاده گردیده است.

جدول ۲-۳ : مشخصات فنی توربین Gamesa G58-850 KW [۸]

قطر روتور	۵۸ متر
سطح جاروب	۲۶۴۲ مترمربع
ارتفاع برج	۵۵ متر
توان نامی	۸۵۰ کیلووات
ولتاژ خروجی	۶۹۰ ولت
حداقل سرعت باد برای تولید برق	۳ متر بر ثانیه
حداکثر سرعت باد برای تولید برق	۲۳ متر بر ثانیه

**(ب) سرعت باد**

این معیار، مهمترین معیار در نصب نیروگاه های بادی به شمار می رود. هرچه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین های بادی نیز افزایش خواهد یافت. البته در این بین محدودیت هایی نیز وجود دارد که شامل حداقل و حداکثر سرعت باد جهت تبدیل انرژی باد به انرژی الکتریکی می باشد، که معمولا توسط شرکت سازنده ی توربین مشخص می شود. این میزان در توربین های مختلف متفاوت است. معمولا حداقل سرعت باد جهت راه اندازی توربین های بزرگ بین ۳ تا ۴ متر بر ثانیه بسته به نوع و طراحی توربین است. [۳۳] از دیگر نکاتی که در انتخاب حداقل سرعت باد باید مد نظر قرار گیرد، حداقل سرعتی است که در کلاس بندی های توربین های بادی مطابق با استاندارد بین المللی IEC61400-1 برای توربین های بادی در نظر گرفته شده است. این سرعت مربوط به کلاس IV بوده و برابر ۶ متر بر ثانیه می باشد. [۳۸]

بنابراین با توجه مطالب ذکر شده، میزان انرژی در این سرعت باد، هزینه های تولید این انرژی نرخ برق تولیدی از انرژی های تجدیدپذیر، در این پروژه میزان حداقل سرعت باد ۶ متر بر ثانیه در نظر گرفته می شود. برای تعیین این معیار به نقشه ی رقومی اطلس باد منطقه نیازمندی داریم.

**(ج) نقشه ی اطلس سرعت باد**

انتخاب مناطق با سرعت مناسب نیازمند داشتن اطلاعات باد منطقه ی مورد مطالعه استفاده قرار میگیرد، به همین جهت از نقشه ی اطلس میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۶۰ متر کشور استفاده شده است. اطلاعات اطلس باد برای تعیین شرایط باد در بلند مدت مورد استفاده قرار می گیرد. اطلس باد شامل اطلاعاتی از قبیل عوارض زمین در هر منطقه و اطلاعات سالانه ی سرعت باد ایستگاه های بادسنجی می باشد. فرایند طراحی اطلس باد از انتخاب محل مورد

مطالعه شروع می شود و سپس با استفاده از معادلات قانون توان (۳) و انحرافات سمتی باد (۵)، حاسبه ی تاثیرات ناهمواری های، ساختار باد مخالف و تغییرات ارتفاع در آن لحاظ می گردد . [۳۶، ۴۲]

(۳-۳)

$$U_z = U_{ref} (Z/Z_{ref})^\alpha$$

که در این رابطه  $U_x$  سرعت باد در ارتفاع  $Z$ ،  $U_{ref}$  سرعت باد در ارتفاعات پایه ی  $Z_{ref}$  و  $\alpha$  ضریب تغییر سمت باد می باشد. یک روش محاسبه ی  $\alpha$  به شکل تابعی از سرعت باد و ارتفاع به شکل زیر می باشد . [۳۴]

(۴-۳)

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \times \ln(U_z)}{1 - 0.088 \times \ln(Z/10)}$$

انحراف سمتی باد با استفاده از معادله ی ۵ محاسبه می گردد .

$$U_z = U_{ref} \times [ (\ln Z/Z_0 / \ln (Z_{ref}/Z_0)) ] \quad (۵-۳)$$

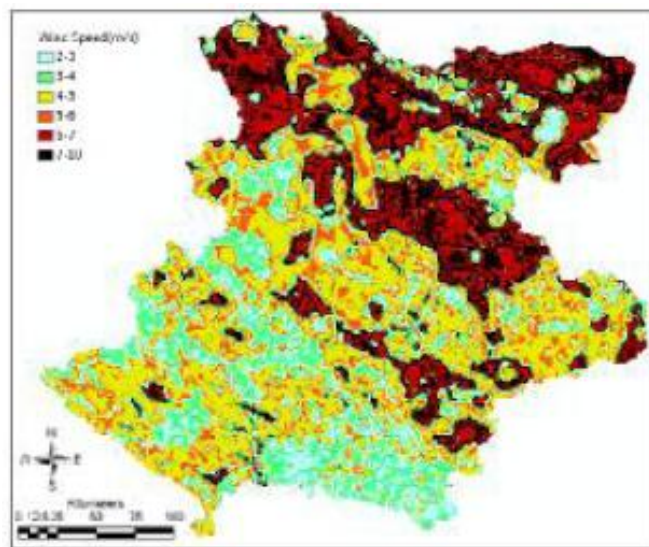
در این معادله  $U_x$  سرعت باد در ارتفاع  $Z$  از سطح زمین،  $U_{ref}$  سرعت باد در ارتفاع مرجع،  $Z$  ارتفاع از سطح زمین،  $Z_{ref}$  ارتفاع مرجع و  $Z_0$  طول ناهمواری ها در جهت جریان باد می باشد.

این عمل توسط نرم افزار (Wind atlas Analysis and application Program) WASP انجام می پذیرد .

نرم افزار WASP از اطلاعات خام باد همراه با نقشه ی ناهمواری های منطقه ی مورد مطالعه استفاده نموده و میزان سرعت باد را در ارتفاع مورد نظر در آن منطقه



محاسبه می نماید. و در نهایت این اطلس مطابق شکل (۳-۳) به نقشه ای رقومی در محیط GIS تبدیل می شد.



شکل ۳-۳ : نقشه ی رقومی سرعت باد برق منطقه ای باختر

#### د) حداقل فاصله از خطوط انتقال توان الکتریکی

خطوط انتقال توان الکتریکی به طور کلی از نظر ایمنی، امنیت شبکه و همچنین امکان دسترسی سریع جهت نصب تجهیزات و تعمیرات احتمالی، در مکان یابی مزارع بادی تاثیر گذار می باشند. مطالعات نشان داده است که بهترین فاصله از شبکه ی برق برای ایمنی مزارع بادی و شبکه ۲۵۰ متر می باشد که ای فاصله به عنوان فاصله معیار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. [۳۳]

#### ۳-۱-۵-۲ معیار های زیست محیطی

معیار های زیست محیطی در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل حداقل فاصله از شهر ها و مراکز جمعیتی، حداقل فاصله از راه های اعم از جاده های فرعی، بزرگراه ها و آزاد راه ها، حداقل فاصله از خطوط راه آهن، حداقل فاصله از فرودگاه ها اعم از محلی و نظامی و حداقل فاصله از مناطق حفاظت شده سازمان حفاظت محیط زیست کشور، سواحل، تالاب ها و رودخانه ها می باشند.

### الف) حداقل فاصله از مناطق شهری و جمعیتی

شهر ها و مناطق جمعیتی با جمعیت زیاد، ممکن است به جهات ایمنی، سروصدا و منظره، تحت تاثیر مزارع بادی قرار گیرند. از نظر بین المللی، سیاست کاهش تأثیرات دیداری توربین های بادی بر مناطق، به دلیل تأثیر بر جمعیت بیشتر، در شهر ها نسبت به مناطق روستایی ارجحیت دارد، لذا مطالعات مختلف نشان داده است که مزارع بادی حداقل باید ۲۰۰۰ متر از شهر ها و ۵۰۰ متر از مراکز جمعیتی فاصله داشته باشد [۴۳، ۴۴].

### ب) حداقل فاصله مسیر های حمل و نقل

مسیر های جابجایی افراد از منطقه ای به منطقه ی دیگر تقسیم بندی هایی دارد که شامل جاده ها، راه آهن و سایر راه ها مانند راه های دسترسی محلی می باشد. طبیعت مسیر ها (مخصوصا اگر ارزش توریستی و منظره ای داشته باشند)، اهمیت نسبی آنها (ملی، استانی، منطقه ای و محلی)، ظرفیت حمل و نقل و توپوگرافی مسیر ها نقش بسزایی در اهمیت تأثیر مزارع بادی بر چشم انداز جاده دارد. مطالعات در کشور های پیشرو در صنعت برق بادی نشان می دهد که توربین های بادی باید حداقل ۲۵۰ متر از خطوط راه آهن، ۳۰۰۰ متر از بزرگراه ها و ۵۰۰ متر از جاده های محلی فاصله داشته باشد [۳۲، ۳۴، ۴۴].

### ج) حداقل فاصله از فرودگاه ها اعم از محلی و نظامی

مزارع بادی به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر این معیار تأثیر گذار هستند. عملکرد رادارها و ارتفاع هواپیما های عبور از روی توربین های بادی مجاور آنها، بر محل احداث مزارع بادی تأثیرگذارند. در مورد رادار های اصلی، توربین های بادی پارازیت به آنها ارسال میکنند؛ در مورد فرودگاه های نظامی، این مناطق علاوه بر مسایل ذکر شده در مورد فرودگاه های غیر نظامی از نظر امنیتی دارای اهمیت خاصی می باشند. مناطق پدافندی پر اهمیت ملی، به جهت برقراری امنیت غیر نظامی از نظر

امنیتی دارای اهمیت خاصی می باشند. مناطق پدافندی پر اهمیت ملی، به جهت برقراری امنیت با درجه ی بالا و اطمینان از اقامت جمعیت کم در آن، نیازمند محدوده ی مناطق توسعه تیافته هستند.

بنابراین محدوده ی حریم قابل توجه برای معیار های فوق مورد نیاز است، مطالعات بیانگر آن هستند که باید حداقل فاصله از فرودگاه های نظامی ۱۵۰۰۰ متر و از فرودگاه های محلی ۲۵۰۰ متر باشد [۳۴، ۴۳، ۴۶].

#### (د) مناطق حفاظت شده

منطقه ی حفاظت شده به منطقه ای اطلاق می شود که شامل اراضی طبیعی و دارای منابع طبیعی اع از جنگل، مرتع، حیات وحش و... بوده که از لحاظ ظرفیت تکثیر یا تولید مثل (گیاهی و جانوری) و همچنین حفظ و احیاء رستنی ها و جانوران دارای اهمیت ویژه ای است و به ۴ بخش تقسیم می شوند:

- اثر طبیعی ملی
- پناهگاه حیات وحش
- منطقه حفاظت شده
- پارک ملی

این مناطق به دلیل دارا بودن جنگل ها و یا مراتع پر ارزش و مناظر زیبا و برای جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی و جانوری موجود در آنها مورد حفاظت قرار گرفته اند. مزارع بادی به دلیل اضافه کردن یک عامل تکنولوژیکی به منظره طبیعی، بر خاصیت ذاتی طبیعت این مناطق تأثیر منفی میگذارند، بنابر این حداقل فاصله جهت نصب توربین بادی از این مناطق ۲۰۰۰ متر در نظر گرفته می شود. [۳۴]

#### (ه) ساحل و رودخانه

سواحل و رودخانه ها، به عنوان اقامتگاه ها و تفرجگاه های خاص بوده و از عوامل طبیعی بر روی زمین به شمار می روند. توربین های بادی واقع در سواحل و نزدیک به آنها و

در مجاورت رودخانه ها، تأثیرات نامطلوبی بر جلوه ی این مناطق خواهند گذاشت. این مناطق همچنین از نظر زیست محیطی، زیستگاه بسیاری از پرندگان خاص هستند، که همواره مراقبت از آنها دارای اهمیت بوده است. میزان فاصله ی توربین بادی از این مناطق ۵۰۰ متر در نظر گرفته می شود. [۳۴]

### و) تالابها

دامنه ی این مناطق از تالاب های وسیع و با اهمیت بین المللی تا مرداب های محلی کوچک است. این مناطق از نظر زیبایی منطقه و حفظ منابع طبیعی و نیز به عنوان زیستگاه پرندگان آبی و سایر گونه ها دارای اهمیت می باشد. به همین منظور از مجاورت مزارع بادی با این تالابها به دلیل تصادف پرندگان با توربین ها و از بین رفتن آنها خودداری میگردد. به دلیل اینکه تالاب ها زیستگاه و محل مهاجرت پرندگان در فصول مختلف می باشد و افزایش تعداد پرندگان مهاجر باعث افزایش تصادفات آنها با توربین های بادی خواهد بود، لذا باید سعی شود توربین ها از این تالاب ها حداقل میزان ۵۰۰ متر فاصله داشته و حتی المقدور در مسیر عبور پرندگان قرار نگیرند. [۳۴، ۴۷]

### ۳-۵-۱-۳ معیار های جغرافیایی

معیار های جغرافیایی مورد بررسی ، حداکثر شیب زمین در این منطقه و حداکثر ارتفاع از سطح دریا می باشند .

## الف) ارتفاع

این معیار شامل میزان ارتفاع از سطح دریا می باشد. میزان ارتفاع باید به مقداری باشد که انتقال تجهیزات را با مشکل همراه نسازد. همچنین، افزایش ارتفاع با توجه به رابطه ی ۳ در میزان سرعت باد تاثیر گذار است و با افزایش ارتفاع، سرعت باد نیز افزایش می یابد. اما افزایش ارتفاع، منجر به کاهش فشار و دمای هوا نیز می شود که این کاهش فشار و دمای هوا همانطور که در رابطه ی شماره ی ۶ مشاهده می شود در میزان توان استحصال از توربین تاثیرگذار خواهد بود و بنابراین نباید میزان ارتفاع به قدری باشد که در میزان این توان تغییرات محسوسی ایجاد نماید . [۳۷]

$$(۷-۳)$$

$$\frac{\bar{V}}{\bar{V}_0} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^a$$

که در این رابطه  $V$  سرعت باد در ارتفاع  $H$  ،  $V_0$  سرعت باد در ارتفاع پایه ی  $H_0$  و  $a$  ضریب تغییر سمت باد می باشد.

$$(۸-۳)$$

$$E_G = E_U C_H C_T$$

$E_G$  انرژی خالص تولید شده ،  $E_U$  انرژی ناخالص تولیدی و  $C_T$  و  $C_H$  به ترتیب ضرایب دما و فشار هستند که برابرند با:

$$(۹-۳)$$

$$C_H = \frac{P}{P_0}$$

$$(۱۰-۳)$$

$$C_T = \frac{T}{T_0}$$

در این روابط  $P$  و  $T$  فشار و دما در ارتفاع  $H$ ،  $P_0$ ،  $T_0$  فشار و دمای استاندارد و برابر  $101.3/3$  KPa و  $288/1$  K تعریف شده اند.

با توجه به محدودیت های انتقال تجهیزات و میزان هزینه ی لازم برای انتقال تجهیزات در ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و با توجه به رابطه ی (۳-۸)، میزان حداکثر ارتفاع مجاز فرض شده در این پروژه توسط نویسنده ۲۰۰۰ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است.

### (ب) شیب

شیب منطقه نیز از عوامل مهم در عملکرد مناسب توربین ها و نصب آنها می باشد. گاهی اتفاق می افتد که تمام یا بخشی از توربین بادی توسط تپه ها و کوه ها پنهان می شود که ممکن است مانع دستیابی به توان مؤثر و مورد نیاز شود. رعایت معیار توپوگرافی می تواند این مشکلات را مرتفع سازد. شکل شماره (۳-۴) تاثیر تغییرات زیاد شیب بر مزرعه بادی را نشان می دهد. همچنین میزان شیب نباید به حدی باشد که مانع از نصب توربین گردد بنابراین حداکثر میزان شیب ۱۰٪ در نظر گرفته می گردد. [۴۴]



شکل ۳-۴ : تاثیر تغییرات زیاد شیب بر مزرعه بادی

### ج) معیارهای اقتصادی

یکی از مهم ترین معیارهای مورد بررسی در پتانسیل سنجی و مکانیابی نیروگاه های بادی، معیارهای اقتصادی هستند که شامل حداکثر فاصله از جاده ها و حداکثر استفاده از خطوط انتقال توان الکتریکی که استفاده از انرژی برق- بادی را توجیه پذیر می سازد می باشند.

احداث جاده های ارتباطی و خطط انتقال انرژی الکتریکی جدید بسیار هزینه بر بوده و همچنین از عوامل اجتناب ناپذیر در احداث مزرعه ی بادی و انتقال انرژی تولیدی از مزارع بادی به شبکه ی برق می باشند. به عنوان معیارهای اقتصادی مدنظر قرار گرفته اند و حداکثر فاصله مجاز از این دو معیار ۱۰۰۰۰ متر می باشد. [۴۲]

### ۳-۱-۶ تجزیه، تحلیل و تلفیق داده ها

در این بخش اطلاعات مختلف و معیارهای بررسی شده با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان سیستم کمک به تصمیم گیری<sup>۱</sup> (DSS) با هم ترکیب و تلفیق شده و مکان مناسب برای احداث توربین های بادی انتخاب می شود. هدف، تعیین مناسب ترین محل برای احداث توربین های بادی است به طوریکه محدودیت ها و مشکلات احداث توربین بادی را نداشته باشد. جهت تجزیه و تحلیل و تلفیق داده ها، با توجه به مدل مفهومی ارائه شده شماره (۱۱) بصورت زیر انجام گردید.

### ۳-۱-۷ جمع آوری اطلاعات در چارچوب GIS

ابتدا اطلاعات مورد نیاز و نقشه های راه ها، آبراهه ها، شهرهای بزرگ و مراکز جمعیتی و مراکز جمعیتی، راه آهن، فرودگاه های محلی و نظامی، خطوط انتقال توان الکتریکی،

مناطق حفاظت شده و اطلس باد این ۳ استان تهیه شدند و سپس به همراه نقشه ی شیب و ارتفاع، درمحیط GIS مدل شده و به نقشه ی رقومی تبدیل گردیدند.

### ۳-۱-۸ انتخاب و ارزیابی حریم معیارها

میزان حداقل و حداکثر فاصله از هر یک از معیارها در جداول شماره (۳-۳, ۳-۴, ۳-۵) آورده شده است. این مقادیر با در نظر گرفتن اصول فنی، اقتصادی و عملیاتی و با استفاده از برآوردها و استانداردهای ملی و بین المللی و با بیشترین توجهات به معیارهای بیان شده در این مقاله، تعیین گردیده اند.

جدول ۳-۳ : حداقل و حداکثر فاصله از

معیارهای مورد بررسی

معیار مورد مطالعه	حداقل فاصله (m)	حداکثر فاصله (m)	منابع
شهرها	۲۰۰۰	-	[۱۶ و ۱۷]
مراکز جمعیتی	۵۰۰	-	[۱۷]
راه های محلی	۵۰۰	۱۰۰۰۰	[۷ و ۱۷]
راه های ملی	۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	[۵ و ۱۷]
راه آهن	۲۵۰	-	[۷]
فرودگاه ها	۲۵۰۰	-	[۲۰ و ۱۶ و ۷]
فرودگاه نظامی	۱۵۰۰۰	-	[۷]
خطوط انتقال برق	۲۵۰	۱۰۰۰۰	[۷ و ۱۷]
آبراهه ها، سواحل و تالابها	۵۰۰	-	[۷ و ۲۰]
مناطق حفاظت شده	۲۰۰۰	-	[۷]



جدول ۳-۴ : حداقل سرعت باد از نظر فنی و اقتصادی

[۶]	۳ (M/S)	حداقل سرعت باد از نظر فنی توربین باد
[۹]	۶ (M/S)	حداقل سرعت باد فنی از مطابق با استاندارد IEC

جدول ۳-۵ : حداکثر ارتفاع و شیب مجاز

[۱۳]	٪۱۰	شیب
[۱]	۲۰۰۰ متر	ارتفاع از سطح دریا

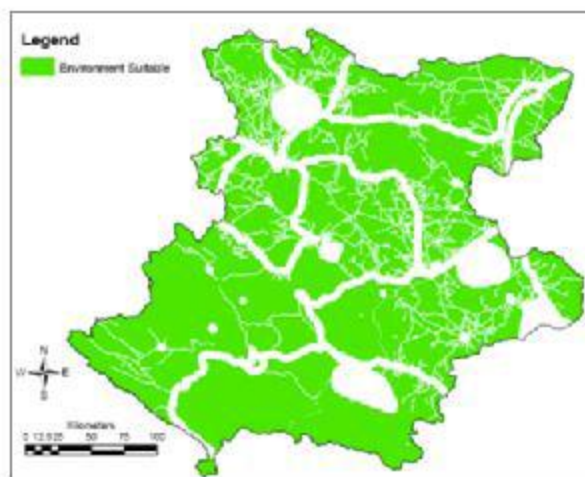
### ۳-۱-۹ تعیین حریم هریک از معیارها در محیط GIS

در این مرحله، مقادیر بدست آمده در مرحله ی دوم در نرم افزار لحاظ شده تا بر روی نقشه های بدست آمده در قسمت نخست این بخش، اعمال شود و نقشه ی حریم مناسب هریک از معیارها تهیه می گردد، بطوریکه مناطقی که در موقعیتی نزدیکتر از حداقل فاصله ی تعیین شده به معیارهای شهرها و مراکز جمعیتی، راه ها و راه آهن، فرودگاه های محلی و نظامی، خطوط انتقال برق، آبراهه ها و مناطق حفاظت شده و یا دورتر از حداکثر میزان فاصله ی تعیین شده از معیارهای راه ها و خطوط انتقال برق قرار گرفته اند، حذف می شوند. همچنین مناطق با شیب بالای ۱۰٪ از نقشه ی شیب، ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از نقشه ی ارتفاع و مناطق با سرعت باد کمتر از ۶ متر بر از نقشه ی رقومی اطلس باد نیز حذف خواهند شد.

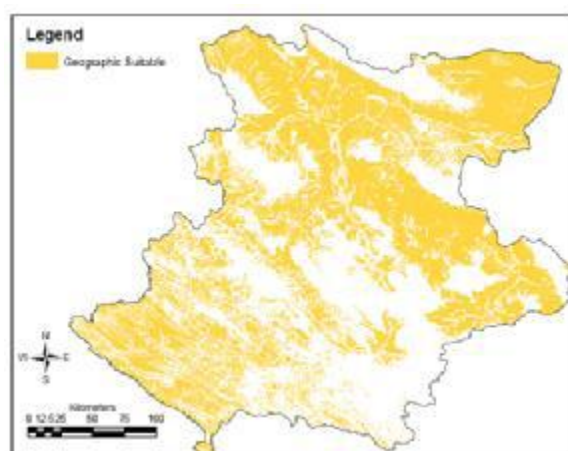
### ۳-۱-۱۰ روی هم قرار دادن لایه ها

در این مرحله، لایه های رقومی مرحله سوم در قالب ۴ گروه معیار اصلی دسته بندی شده و لایه های هر دسته با یکدیگر AND منطقی می شوند، که این عمل به انتخاب فصل مشترک هندسی لایه ها (نقاطی

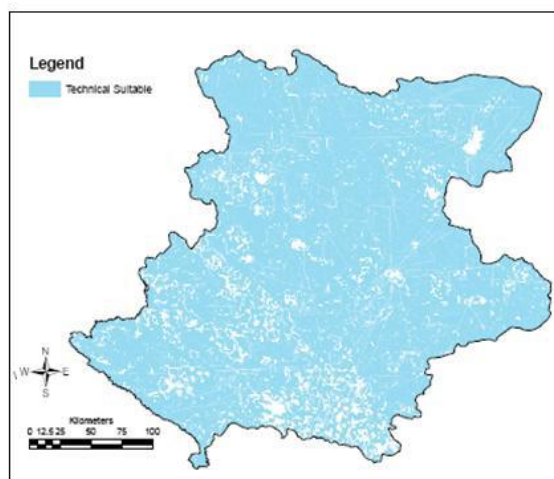
که در همهی لایه ها مشترک می باشند و امکان نصب توربین و استفاده از انرژی باد در آنها امکان پذیر است (منجر گردیده و حاصل آن برای معیارهای زیست محیطی در کل، معیارهای جغرافیایی در شکل (۳-۶)، معیارهای فنی در شکل (۳-۷) و معیارهای اقتصادی در شکل (۳-۸) نشان داده شده است.



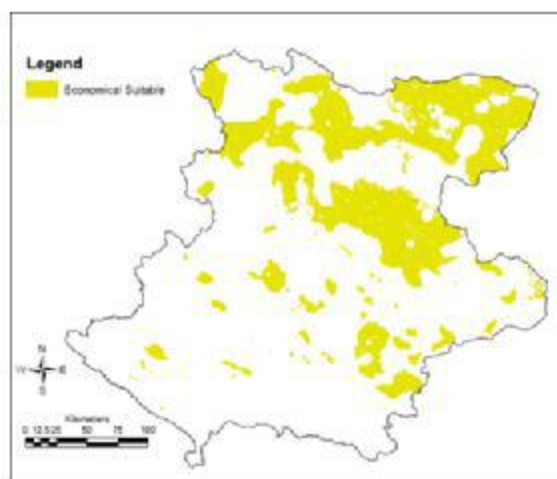
شکل ۳-۵: نقشه ی مناطق مناسب از نظر معیارهای زیست محیطی



شکل ۳-۶: نقشه ی مناطق مناسب از نظر معیارهای جغرافیایی



شکل ۳-۷: نقشه ی مناطق مناسب از نظر معیار های فنی

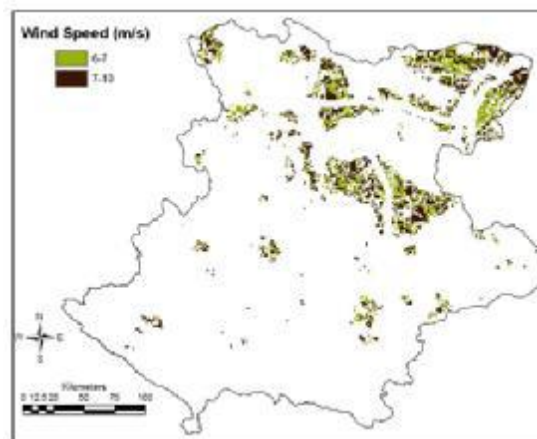


شکل ۳-۸: نقشه ی مناطق مناسب از نظر معیار های اقتصادی

### ۳-۱-۱۱ ارزیابی پتانسیل باد قابل دسترس برق منطقه ای باختر

پس از تشکیل لایه های ذکر شده در بند ۴، با روی هم قرار دادن این لایه ها و انتخاب قسمت های مشترک در هر چهار لایه، پتانسیل باد قابل استفاده جهت تولید انرژی برق بادی که در شکل

(۳-۹) نشان داده شده است، بدست می آید. با توجه به نقشه ی فوق می توان حداکثر انرژی الکتریکی قابل استحصال از باد را در برق منطقه ای باختر محاسبه نمود.



شکل ۳-۹: نقشه پتانسیل سنجی باد برق منطقه ای باختر

حال با استفاده از نرم افزار GIS مساحتی را که باد در هریک از سرعت های یاد شده در آن می وزد، بدست می آوریم و سپس با توجه به یکی از الگوهای موجود جهت چیدمان توربین بادی و مشخصات توربین در نظر گرفته شده در این تحقیق، میزان انرژی الکتریکی قابل استحصال از باد محاسبه می گردد.

### ۳-۱-۱۲ محاسبه ی حداکثر انرژی برق بادی قابل دسترس

برای محاسبه ی انرژی برق بادی قابل دسترس به عواملی از قبیل پتانسیل باد قابل دسترسی که در قسمت های قبلی محاسبه گردید، مساحت زمین قابل دسترس، نحوه ی چیدمان توربین ها و مشخصات فنی توربین جهت مشخص شدن حداکثر تعداد توربین ها نیازمند می باشیم .

### ۳-۱-۱۳ چیدمان توربین ها

روش های مختلفی برای چیدمان توربین ها در کنار هم در مزارع بادی جهت کاهش اثرات توربین ها بر روی یکدیگر مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله از روش به کار گرفته شده توسط

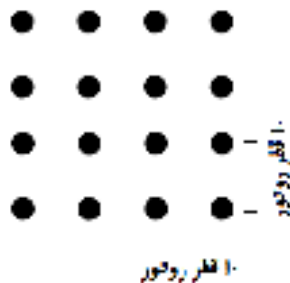
(Lissaman و et al) با تلفات چیدمان کمتر از ۱۰ % استفاده گردید. [۴۱]

شکل شماره (۳-۱۰) نحوه ی چیدمان توربین ها را با این روش نشان می دهد .

اما با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به جهت باد نقطه ای در اطلس باد کشور وجود ندارد و نمی توان با استفاده از این اطلس، جهت باد در هر نقطه را تعیین نمود، لذا فاصله ی توربین ها را مطابق شکل شماره (۳-۱۱) در هر دو جهت (هم موافق و هم مخالف جریان باد) به یک اندازه و برابر بیشترین فاصله مورد نیاز در این مدل در نظر گرفته شده است.



شکل شماره (۳-۱۰) نحوه ی چیدمان توربین ها با روش Lissaman



شکل شماره (۳-۱۱) نحوه ی چیدمان در نظر گرفته شده در این پروژه

### ۳-۱-۱۴ حذف بخش هایی با سرعت باد مطابق با کلاس IV استاندارد IEC توربین های باد

همانطور که پیشتر نیز بیان شد و با توجه به میانگین سرعت های باد موجود در منطقه ی مورد مطالعه، توربین بادی با کلاس III و IV در این منطقه می تواند مورد استفاده قرار گیرد . اما نظر به آنکه شرکت های سازنده ی توربین های بزرگ تا کنون تنها به

تولید توربین های بادی با کلاس III و II و I پرداخته اند و توربین های بزرگ با کلاس IV هنوز به مرحله ی تولید صنعتی نرسیده اند، بنابراین مناطق با سرعت های بادی بین ۶ تا ۷ متر بر ثانیه که در حدود ۳۱۳۴ کیلومتر مربع از سطح منطقه را اشغال می نمایند، در این قسمت که به محاسبه ی تعداد توربین های بادی قابل نصب می پردازد، از محاسبات حذف می گردند.

### ۳-۱-۱۵ محاسبه ی حداکثر توان الکتریکی قابل دسترس

با توجه به قطر توربین انتخاب شده که برابر ۵۸ متر می باشد، هر توربین مساحتی برابر  $580 \times 580$  متر مربع را به خود اختصاص می دهد. یعنی حداکثر ۷۲۶۷ توربین در مناطق با سرعت ۷ تا ۸ متر بر ثانیه قابل نصب خواهد بود. با توجه به نوع توربین انتخاب شده در این پروژه جدول شماره (۳-۲) و رابطه شماره ی ۳-۱ توان خروجی توربین در سرعت باد ذکر شده محاسبه می گردد، حال با استفاده از نمودار توان به سرعت باد توربین انتخاب شده و تعداد توربین های قابل نصب، حداکثر توان الکتریکی حاصل از نصب این نوع توربین در برق منطقه ای باختر محاسبه می گردد. که این مقدار با در نظر گرفتن ۱۰٪ تلفات چیدمان برابر با ۱۸۹۷ مگاوات می باشد.

### ۳-۱-۱۶ نتیجه گیری برای پستانسیل سنجی نیروگاه بادی در منطقه باختر

کشور ایران در روند توسعه خود نیاز به افزایش انرژی دارد و ضرورتاً می بایست در برنامه ریزی توسعه خود جایگاه ویژه ای را برای تامین انرژی در نظر داشته باشد. استفاده گسترده از منابع انرژی فسیلی در بخشهای اقتصادی ضمن ایجاد مواد آلاینده، کاهش سریع این منابع را منجر گردیده است. لذا بایستی گرایش به استفاده از منابع انرژی تجدید شونده به دلایلی همچون تجدید پذیر بودن، در دسترس بودن، آلودگی کمتر و مهمتر از همه توسعه پایدار اقتصادی مورد توجه ویژه قرار گیرد. هم اکنون برق

منطقه ای باختر با وجود شهرک های صنعتی فراوان و بزرگ و آلاینده یکی از مناطق کشور می باشد که مصرف برق آن بیشتر از تولید بوده و نیازمند افزایش تولید انرژی الکتریکی می باشد که قطعاً استفاده از انرژی های تجدید پذیر از جمله انرژی باد، می تواند این برق منطقه ای را در رسیدن به اهدافی همچون تنوع بخشی سبد انرژی، استفاده از منابع انرژی بومی، کاهش اثرات زیست محیطی و در نهایت توسعه ای پایدار بخش انرژی یاری نماید. مطالعه ای حاضر که با استفاده از اطلس انرژی باد و با در نظر گرفتن داده های فنی، زیست محیطی، جغرافیایی و اقتصادی ذکر شده در مقاله انجام شده است، نشان داد که در برق منطقه ای باختر توان تولید قریب ۱۹۰۰ مگاوات برق بادی وجود دارد که می تواند توسط مدیران و برنامه ریزان محلی و ملی مورد توجه واقع شود و برنامه ریزی های لازم برای استفاده از این منبع لایزال الهی صورت گیرد.

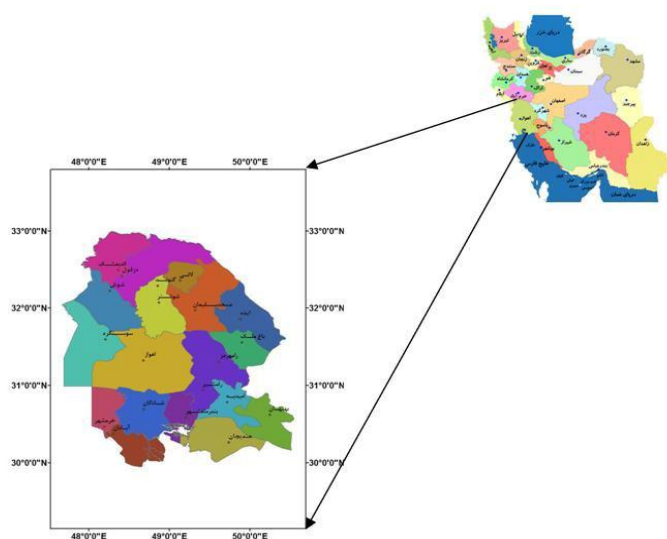
### ۲-۳ پتانسیل سنجی احداث نیروگاه های خورشیدی

انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی یکی از مهم ترین، قابل دسترس ترین و پاک ترین منابع کره زمین است و برای بهره برداری از آن نیاز به تکنولوژی پیشرفته و پرخرج نیست. این انرژی به عنوان یک منبع مفید که فاقد خطر و اثرات نامطلوب زیست محیطی است می تواند در مناطقی که محدودیت منابع زیر زمینی دارند و همچنین مناطق خشک از جمله ایران برای رشد و توسعه اقتصادی استفاده گردد. هدف، پتانسیل سنجی به جهت یافتن منطقه مستعد و دارای پتانسیل بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی می باشد. [۵۶] در این پروژه در ابتدا به بررسی عوامل موثر بر انرژی خورشیدی پرداخته شده و با تلفیق آنها در محیط GIS، مناطق مستعدتر در شناسایی شدند. در این پروژه برای مثال، با توجه به شرایط آب و هوایی و ویژگی های اقلیمی، استان خوزستان را مورد مطالعه و مکان یابی قرار می دهیم. این مهم با تحلیل ساعات آفتابی به عنوان مهم ترین پارامتر در بهره برداری از انرژی خورشیدی و پارامترهای موثر بر ساعات آفتابی شامل ابرناکی، روزهای گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و بارش سالانه، در محیط GIS تحقق یافت.

نهایتاً نقشه های مربوطه در محیط GIS تهیه و وزن دهی شده و با تلفیق نقشه های مذکور به روش وزنی، نقشه نهایی که نشان دهنده مناطق با پتانسیل مناسب جهت بهره برداری از انرژی خورشید است بدست آمد. بر این اساس شهرهای بهبهان، رامهرمز و باغ ملک و منطقه کوچکی از شوشتر به عنوان مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی پیشنهاد می گردد. [۴۸]

### ۳-۲-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه خوزستان با وسعتی حدود ۶۴۲۸۲ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۴/۵ میلیون نفر در جنوب غربی کشور واقع شده است. این منطقه در بین عرض های جغرافیایی ۲۹° ۵۸' تا ۵۸° ۳۲' شمالی و طول های جغرافیایی ۴۲° ۴۷' تا ۳۹° ۵۰' شرقی قرار گرفته است. آب و هوای استان خوزستان و مناطق کوهستانی و مرتفع، با تابستان های معتدل و زمستان های سرد و در نواحی کوهپایه ای دارای آب و هوای نیمه بیابانی می باشد و در نواحی پست و جلگه ای هر چه به سمت جنوب و جنوب شرقی پیش رویم خصوصیات آب و هوایی از نیمه بیابانی به بیابانی کناره ای تبدیل می شود. عمدتاً زمستان های این ناحیه، کوتاه و معتدل و تابستان ها طولانی و گرم است. [۵۶]



شکل ۳-۱۲ : منطقه مورد مطالعه



## ۳-۲-۲ داده ها و روش کار

جهت مطالعه منطقه از آمار و اطلاعات پایه ای زیر استفاده شد:

- ۱- نقشه توپوگرافی رقومی شده به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه .
- ۲- آمار ماهانه و سالانه پارامترهای اقلیمی از ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی منطقه و ایستگاه های مجاور به تعداد ۲۸ ایستگاه در دوره آماری ۳۰ ساله .
- ۳- داده های مورد نیاز در این پژوهش از سال نامه های سازمان هواشناسی برای مدت ۳۰ سال اخذ و وارد محیط Excel گردید و با استفاده از نرم افزار GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در محیط نرم افزار GIS، موقعیت ایستگاه ها با توجه به مختصات جغرافیایی آنها به نقشه رقومی منطقه اضافه ی و پایگاه داده مربوطه تشکیل گردید . [۵۷] برای تهیه نقشه پارامترهای اقلیمی، ابتدا لایه ی مربوط به هر پارامتر با استفاده از روش درون یابی تهیه و سپس یک وزن درون لایه ای تعریف شد. بدین ترتیب که هر لایه به چندین کلاس طبقه بندی شده و هر طبقه با توجه به اهمیت آن وزن دهی شد و نقشه مربوط به آن تهیه گردید. سپس برای بدست آوردن نقشه نهایی که نشان دهنده مناطق پتانسیلی می باشد یک وزن بین لایه ای با توجه به اهمیت و اثرگذاری هر یک از لایه ها اعمال گردید. سپس با تلفیق لایه های وزن دهی شده نقشه مناطق هم پتانسیل که نشان دهنده مناطق دارای پتانسیل بالا جهت احداث نیروگاه می باشد به دست آمد. اطلاعات آماری برخی از ایستگاه ها در جدول ۳-۶ آمده است . [۴۹]

جدول ۳-۶ : اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه های استان خوزستان

بارندگی (mm) (	رطوبت نسبی	روز های ابر ی	روزها ی غبارآ لود	ساعات آفتابی	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه
۳۴۹, ۹	۴۲	۳۲	۲۴	۳۲۲ ۸,۶	۳۱۳	۵۰۱۴	۳۰۳۶	بهبهان
۳۴۴, ۴	۳۸	۳۴	۳۶	۳۱۳ ۳,۵	۱۵۰, ۵	۴۹۳۶	۳۱۱۶	رامهرمز
۲۱۳, ۴	۴۳	۳۶	۶۶	۳۰۴ ۹	۲۲, ۵	۴۸۴۰	۳۱۲۰	اهواز
۴۰۴, ۶	۴۷	۴۹	۱۱۱	۲۷۶ ۴,۳	۱۴۳	۴۸۲۳	۳۲۲۴	دزفول
۶۹۴, ۱	۴۰	۴۷	۳۰	۳۱۹ ۳,۱	۷۶۷	۴۹۵۲	۳۱۵۱	ایذه
۲۵۳	۴۶	۳۱	۳۲	۳۲۲ ۱,۱	۷	۴۹۴۴	۳۰۱۷	هندیجان
۱۵۶	۴۶	۳۵	۵۸	۳۰۵ ۲,۲	۶,۶	۴۸۱۵	۳۰۲۲	آبادان
۴۷۸, ۵	۳۷	۳۰	۲۹	۳۱۳ ۹,۷	۶۷	۴۸۵۰	۳۰۲۳	شوشتر

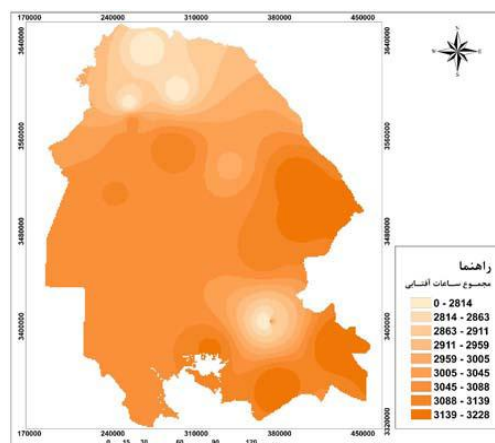
### الف: ساعات آفتابی

ساعات آفتابی مهم ترین پارامتر اقلیمی است که نشان دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید می باشد . ساعات آفتابی مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تاثیر چند عامل مؤثر بر تابش می باشد. یکی از این عوامل، مدت زمان تابش که خود معلول عرض جغرافیایی است، که در پارامتر ساعات آفتابی به طور مستقیم اثرگذار است و دیگری میزان ابرناکی و غبارآلودگی شدید هوا که هر دو این عوامل با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارند. برای تهیه لایه ساعات آفتابی از مجموع ساعات آفتابی سالانه ایستگاه های هواشناسی استفاده شد. متوسط واقعی ساعات آفتابی منطقه حدود ۳۰۳۶,۶۴۵ ساعت در سال می باشد که عدد خوبی

برای بهره برداری از انرژی خورشید می باشد. وزن مربوط به پهنه بندی لایه ساعات آفتابی در جدول ۷-۳ و نقشه مربوط به آن در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. [۵۰،۵۸]

جدول ۷-۳ : میزان ساعات آفتابی و وزن اعمال شده به آن

ساعات در سال	آفتابی (ساعت)	وزن شده	اعمال
۰-۲۸۱۴	۱		
۲۸۱۴-۲۸۶۳	۲		
۲۸۶۳-۲۹۱۱	۳		
۲۹۱۱-۲۹۵۹	۴		
۲۹۵۹-۳۰۰۵	۵		
۳۰۰۵-۳۰۴۵	۶		
۳۰۴۵-۳۰۸۸	۷		
۳۰۸۸-۳۱۳۹	۸		
۳۱۳۹-۳۲۲۸	۹		



شکل ۳-۱۳: نقشه توزیع ساعات آفتابی در استان خوزستان (ساعات در سال)

## ب: ابرناکی

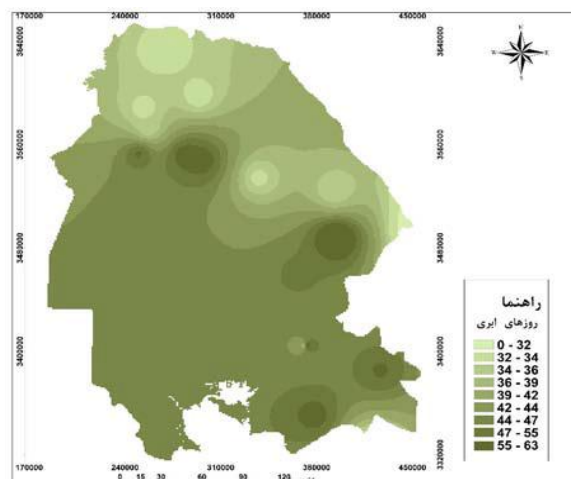
از دیگر لایه های مورد استفاده در این پژوهش تعداد روزهای ابری در سال می باشد. مهم ترین عامل از نظر کنترل انرژی تابشی خورشید ابرناکی آسمان است. ابرها به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را برمی گردانند. در مواقعی که هوا آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت

اعظم انرژی خورشید به زمین می رسد . ایستگاه باغ ملک با ۲۷ روز ابری در سال کمترین و ایستگاه مازو با ۵۰ روز ابری در سال بیشترین روز ابری را در منطقه دارا می باشند. وزن مربوط به پهنه بندی روزهای ابری در جدول ۳-۸ و نقشه مربوط به آن در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است . [۵۰]

جدول ۳-۸ : تعداد روز های ابری و وزن اعمال شده به آن

وزن اعمال شده	روزهای ابری ( در سال )
۹	۰ - ۳۲
۸	۳۲ - ۳۴
۷	۳۴ - ۳۶
۶	۳۶ - ۳۹
۵	۳۹ - ۴۲
۴	۴۲ - ۴۴
۳	۴۴ - ۴۷
۲	۴۷ - ۵۵
۱	۵۵ - ۶۳

شکل ۳-۱۴ : نقشه توزیع روز های ابری در استان خوزستان (روز در سال )

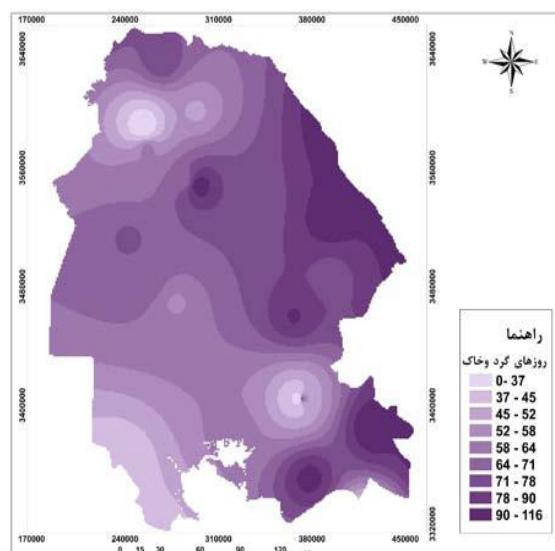


## ج : گرد و خاک

از ترکیبات مهم جوی، در حوالی سطح زمین ترکیبات غیر گازی و جامدی است که هواویز نامیده می شود. هواویزها شامل ذرات غبار به ابعاد مختلف، پس گازهای صنعتی، زایده های سوخت مانند دود و نیز ذراتی چون ذرات نمک اند. مقدار هواویزها به شدت متغیر است و در ارتفاعات و بعد هر بارش رو به کاهش می گذارد. در حالت کلی دو اثر متضاد مواد معلق در هوا این است که این مواد با انعکاس پرتوهای خورشید به خارج از جو باعث سرد شدن زمین می شوند. یا ممکن است با جذب انرژی خورشید موجب گرم شدن هوا گردند. هواویزها ۱۵ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می کنند. بنابراین مناطقی حائز اهمیت اند که کمترین غبار آلودگی را در سال داشته باشند. جهت تهیه این لایه اطلاعاتی از تعداد روزهای گرد و خاک در سال استفاده شد. وزن مربوط به پهنه بندی لایه روزهای گرد و خاک در جدول ۳-۹ و نقشه مربوط به آن در شکل های ۳-۱۵ نشان داده شده است. [۵۰، ۵۱]

جدول ۳-۹ : تعداد روزهای گرد و خاک و وزن اعمال شده به آن

وزن اعمال شده	روزهای گرد و خاک (روز در سال)
۹	۰ - ۳۷
۸	۳۷ - ۴۵
۷	۴۵ - ۵۲
۶	۵۲ - ۵۸
۵	۵۸ - ۶۴
۴	۶۴ - ۷۱
۳	۷۱ - ۷۸
۲	۷۸ - ۹۰
۱	۹۰ - ۱۱۶



شکل ۳- ۱۵: نقشه تعداد روز های گرد و خاک در استان خوزستان (روز در سال)

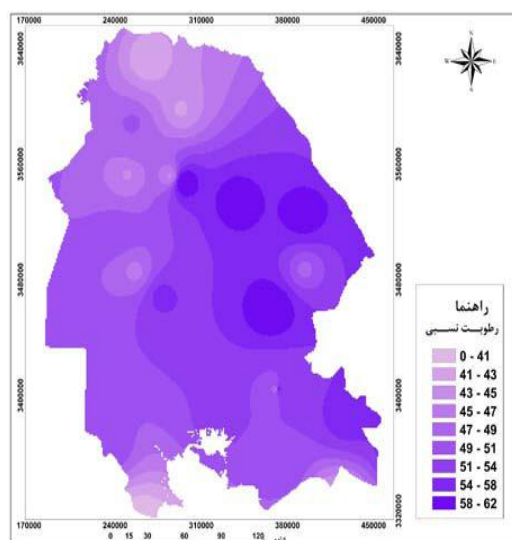
#### د : رطوبت نسبی

به مقدار آبی که در هوا وجود دارد رطوبت گفته می شود. در مقیاس جهانی، به طور متوسط یک درصد حجم اتمسفر را بخار آب تشکیل می دهد. اما عملاً ممکن است در یک مکان، هوا فاقد بخار آب بوده و یا در نقطه ای دیگر تا ۴ درصد حجمی بخار آب وجود داشته باشد. بخار آب و دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) مهم ترین جذب کننده های انرژی تابشی در جو می باشند. معمولاً وقتی از رطوبت نام برده می شود، منظور رطوبت نسبی است، که عبارت است از نسبت مقدار بخار آب موجود در هوا به مقدار بخار آبی که اگر هوا در همان درجه حرارت می داشت به صورت اشباع بود. این نسبت همیشه به صورت درصد بیان می شود. رطوبت نسبی با تغییر درجه حرارت به طور معکوس کم و زیاد می شود. بیشترین رطوبت به ایستگاه مازو با ۸۵ درصد و کمترین با ۳۷ درصد مربوط به ایستگاه شوشتر می باشد. مناطق با رطوبت بالا به دلیل جذب انرژی موج کوتاه خورشید توسط بخار آب اتمسفر مستعد بهره برداری از انرژی خورشید نیستند. برای تهیه این لایه از میانگین رطوبت نسبی سالانه ایستگاه های هواشناسی استفاده شد. وزن مربوط به پهنه بندی لایه رطوبت

نسبی در جدول ۱۰-۳ و نقشه مربوط به آن در شکل ۱۶-۳ نشان داده شده است. [۵۰، ۵۲]

جدول ۱۰-۳ : رطوبت نسبی و وزن اعمال شده به آن

رطوبت نسبی (درصد)	وزن اعمال شده
۰-۴۱	۹
۴۱-۴۳	۸
۴۳-۴۵	۷
۴۵-۴۷	۶
۴۷-۴۹	۵
۴۹-۵۱	۴
۵۱-۵۴	۳
۵۴-۵۸	۲
۵۸-۶۲	۱



شکل ۱۶-۳ : نقشه نحوه پراکندگی رطوبت نسبی در استان خوزستان (درصد)

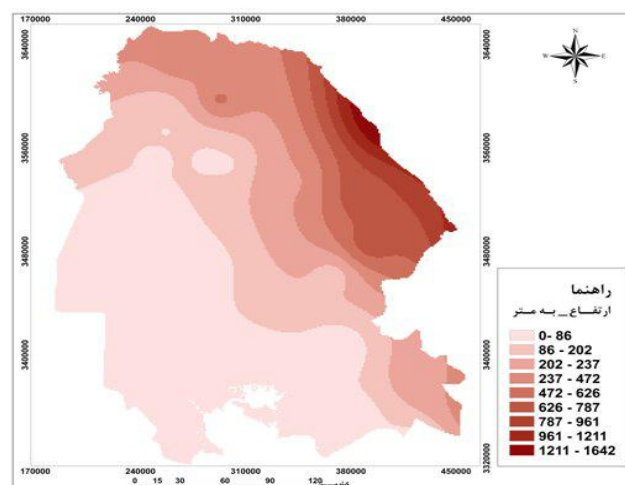
## ح: ارتفاع

هر قدر ارتفاع منطقه ای از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می گردد. جو ضخیم از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. از آنجایی که مواد درشت و غلیظتر در طبقات پایین جمع میگردند، جو بالای کوهها رقیقتر بوده و ضخامت جو هم کمتر میباشد. پس هر قدر ارتفاع منطقه بیشتر باشد

ترکیبات جو رقیقتر وضخامت جو کمتر است. ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را هم کنترل میکنند (علیجانی، ۱۳۸۳، ص ۲۰). بنابراین مناطق مرتفع بدلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست میباشد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح آزاد دریا ۱۸۶,۹۹۵ متر میباشد. جهت تهیه این لایه اطلاعاتی از ارتفاع ایستگاههای هواشناسی منطقه استفاده شد. وزن مربوط به پهنه‌بندی لایه ارتفاع در جدول ۳-۱۱ و نقشه مربوط به آن در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است. [۵۰]

جدول ۳-۱۱ : میزان ارتفاع از سطح دریا و وزن اعمال شده به آن

ارتفاع (متر)	وزن اعمال شده
۰-۸۶	۱
۸۶-۲۰۲	۲
۲۰۲-۲۳۷	۳
۲۳۷-۴۷۲	۴
۴۷۲-۶۲۶	۵
۶۲۶-۷۸۷	۶
۷۸۷-۹۶۱	۷
۹۶۱-۱۲۱۱	۸
۱۲۱۱-۱۶۴۲	۹



شکل ۳-۱۷ : نقشه توزیع ارتفاع در استان خوزستان ( متر )

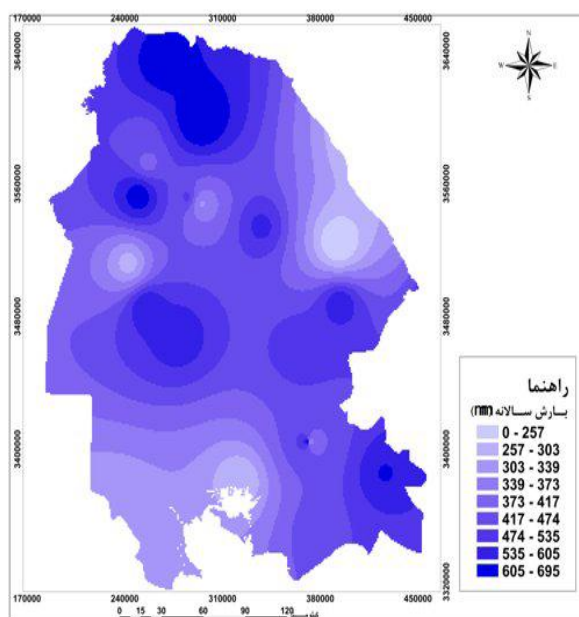


## و : بارندگی

بارندگی را میتوان مهمترین عاملی دانست که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. منظور از بارندگی کلیه نزولات جوی است که به سطح زمین وارد میشود. بنابراین مناطق با بارش بالا در طول سال از یک طرف حکایت از بالا بودن رطوبت منطقه دارد که خود مهمترین عامل جذب تابش موج کوتاه می باشد طرف دیگر نشان دهنده وجود ذرات معلق بالا در اتمسفر آن نقطه است، که هم در جذب و هم در انعکاس تابش موج کوتاه نقش دارد و هر دو این عوامل بیانگر بالا بودن شمار روزهای ابری در منطقه می باشد بارش باران اثرات نامطلوبی را، از اشکالات فنی گرفته تا کثیف شدن سطح صفحات فتوولتاییک را سبب میشود اما مناطق با بارش بسیار کم بدلیل فقر پوشش گیاهی و هم زیادی غبار آلودگی آن مناطق مطلوب نمیباشد (حیدری، ۱۳۸۸). متوسط بارش منطقه ۳۴۵,۱۹ میلیمتر در سال میباشد که ایستگاه ایزده با ۶۹۴,۱ میلیمتر در سال بیشترین و ایستگاه سردشت با ۱۵۶ میلیمتر کمترین بارش را دارا میباشد. برای تهیه لایه بارش از مجموع بارش سالانه ایستگاههای هواشناسی استفاده شد. وزن مربوط به پهنه بندی لایه بارش در جدول ۳-۱۵ و نقشه مربوط به آن در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است. [۵۳]

جدول ۳- ۱۲ : میزان بارش و وزن اعمال شده به آن

مجموع بارش سالانه ( میلی متر )	وزن اعمال شده به آن
۰-۲۵۷	۹
۲۵۷-۳۰۳	۸
۳۰۳-۳۳۹	۷
۳۳۹-۳۷۳	۶
۳۷۳-۴۱۷	۵
۴۱۷-۴۷۴	۴
۴۷۴-۵۳۵	۳
۵۳۵-۶۰۵	۲
۶۰۵-۶۹۵	۱



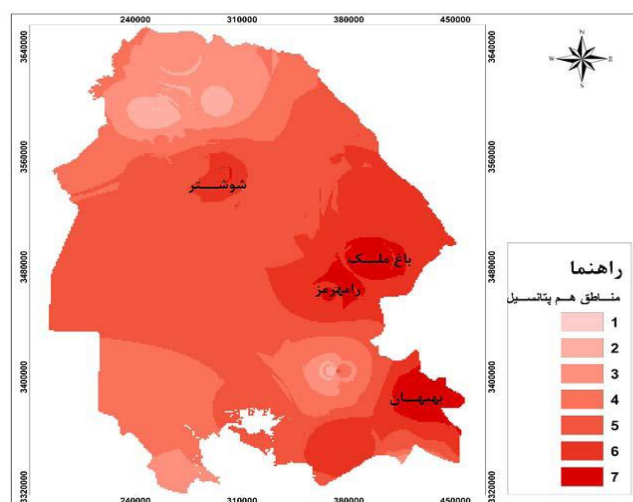
شکل ۳-۱۸: نقشه نحوه پراکندگی بارش سالیانه در استان خوزستان (میلی متر)

### ۳-۲-۳ پیشنهادات

در انتها براساس موارد ذکر شده در قسمتهای قبل، لایه های مجموع ساعات آفتابی سالانه، تعداد روزهای ابری، تعداد روزهای گرد و خاک، ارتفاع، رطوبت نسبی و بارش سالانه بر اساس همپوشانی وزنی با یکدیگر تلفیق گردیدند. نحوه وزندهی به این لایهها در جدول (۳-۱۳) آورده شده است. نتیجه حاصل شده نقشه مناطق پتانسیلی منطقه است که در آن مناطق به پهنههایی با پتانسیلهای متفاوت جهت بهرهبرداری از انرژی خورشید و احداث نیروگاههای خورشیدی تفکیک شدهاند. نقشه مربوطه در شکل (۳-۱۹) آورده شده است. بر این اساس شهرهای بهبهان، رامهرمز و باغ ملک و منطقه کوچکی از شوشتر بهعنوان مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی پیشنهاد می گردد. روشه های دیگر GIS برای پتانسیل سنجی و مکانیابی وجود دارد که استفاده از آنها می تواند نتایج بهتری در پی داشته باشد، که می توان به روشهای فازی و AHP اشاره کرد. [۵۴]

جدول (۳-۱۳) : وزن اعمال شده به لایه های اطلاعاتی

وزن اعمال شده	لایه های اطلاعاتی
۲۵	مجموع ساعات افتابی
۲۰	تعداد روز های ابری در سال
۱۸	تعداد روزهای گرد و خاک در سال
۱۵	درصد رطوبت نسبی اتمسفر
۱۲	ارتفاع (متر)
۱۰	مجموع بارندگی سالانه



شکل ۳- ۱۹ : نقشه مناطق پتانسیلی جهت احداث نیروگاه

### ۳-۲-۴ نتیجه گیری برای پتانسیل سنجی نیروگاه خورشیدی در استان خوزستان

انرژی خورشیدی از پاکترین، قابل دسترس ترین و ارزان ترین انرژی های جهان است که استفاده از آن اثرات سوء زیست محیطی از خود بر جای نمی گذارد. یکی از مطالعات اولیه در زمینه بهره برداری از این انرژی، شناسایی مناطق مستعد دارای پتانسیل بالا به لحاظ اقلیمی می باشد. از GIS به عنوان تکنولوژی برتر در این مهم و اتخاذ تصمیم های درست می توان استفاده کرد. [۵۵، ۵۶]

در نقشه پتانسیلی تهیه شده برای استان خوزستان، منطقه مورد مطالعه به ۷ کلاس قابل تقسیم بندی می باشد. که محدوده های با ارزش بالاتر دارای اهمیت بیشتری هستند. این مناطق عمدتاً در شرق و جنوب شرق خوزستان واقع شده اند و شهرهای بهبهان، رامهرمز، باغ ملک و قسمت کوچکی از شوشتر را شامل میشود.

## منابع و مأخذ

- ۱- شرکت توانیر (۱۳۸۳)، استانداردهای طرح جامع GIS انتقال و فوق توزیع صنعت برق.
- ۲- کرمی. ع (۱۳۸۳)، GIS ابزار برنامه ریزی برای توسعه، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی همدان.
- ۳- آرنف. ا (۱۳۷۵)، سیستم های اطلاعات جغرافیایی، انتشارات سازمان نقشه برداری کشور.
- ۴- تجویدی. گ (۱۳۸۲)، مقدمه ای بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، انتشارات سازمان نقشه برداری کشور.
- ۵- رحمانی. م (۱۳۸۴)، راهبردهای سامانه اطلاعات مکانی (GIS) در مدیریت آینده شهری با مؤثرسازی آن در توسعه منطقه ای، مجموعه مقالات اولین همایش راهبردهای توسعه منطقه ای نور.
- ۶- شرکت تعمیرات انتقال نیروی شمال (تانش) (۱۳۸۵)، گزارش نهایی پروژه GIS خطوط انتقال و فوق توزیع برق استان های مازندران و گلستان.
- 7- T.Ackermann, G.Anderson, L.Soder, "Distributed Generation: a definition", Elsevier science, PP195-204 Dec 2000.
- ۸- تورج امرایی، محمود فتوحی فیروزآباد، علیمحمد رنجبر و بابک مظفری، "تعیین اندازه و محل بهینه تولیدات پراکنده به منظور افزایش بارگذاری سیستم"، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران.
- ۹- سعید کمالی نیا، "بهبود ساختار شبکه برق با استفاده از قابلیت های تولید پراکنده و امکان سنجی نصب این منابع در ایران، هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، کرمان، ایران، شهریور ۱۳۸۴.
- 10- IEA, "Distributed Generation in Liberalized Electricity Markets", Paris, p. 128.
- ۱۱- محمد اسماعیل همدانی گلشن، سید علی عارفی فر و قاسم مصلحی، "به کارگیری آلگوریتم جستجوی ممنوع در تخصیص

بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو"، نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ایران.

۱۲- امیر مهرتاش، مسعود علی‌اکبر گلکار و سعید کمالی‌نیا، "تأثیر تولیدات پراکنده بر حفاظت شبکه‌های توزیع"، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق، صفحات ۱۲۲۱-۱۲۲۹، تهران، ایران.

۱۳- سید حسین حسینیان آهنگری و سید محمدتقی بطحائی، "انتخاب بهینه نیروگاه‌های تولید پراکنده در مناطق مختلف جغرافیایی ایران"، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق، صفحات ۱۷۹۸-۱۸۰۸، تهران، ایران.

14- W. El-Khattam, M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits", Electric Power Syst. Res., pp. 119-128, 2004.

15- R.K.Jaganathan, Power system analysis of grid connected embedded generators, Bachelor of engineering thesis, University of Queensland, Brisbane, Australia, October 2002.

16- N.Jenkins, "Embedded generation", Power Engineering Journal, June 1995, Vol.9, No. 3, PP. 150-154.

۱۷- مجید مرادلو، "بررسی اثر تولیدات پراکنده بر تلفات و THD شبکه زنجار بوسیله نرم افزار Digsilent"، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، تهران، ایران، شهریور ۱۳۸۵.

18- "Distributed Generation in Liberalized Electricity Markets", International Energy Agency, 2002.

19- Ijumba, N.M.; Jimoh, A.A.; Nkabinde, M.; "Influence of distributed generation on distribution network performance" AFRICON, 1999 IEEE, Volume: 2, 28 Sept.-1 Oct. 1999, Page(s): 961-964 vol.2.

20- E. M armolejo. C.Duque , M.T.Torres, "Analysis of the prospects for Colombian Electric Power Sector", IEEE Distributed Generation (DG) Trans. University of Los Andes, Bogota cogota Colombia, 2004.

21- Zareipour, H., et al, "Distributed Generation: Current Status and Challenges", in proc. 36<sup>th</sup> Annual North American Power Symposium (NAPS), University of Idaho, August 2004.

۲۲- گروه مؤلفین سازمان انرژی های نو ( سانا ) ، گزارش سازمان انرژی های نو WWW.SUNA.ORG.IR

23- Proger Lawrence & Stephen Middlekauff, "Applying Distributed Generation Tools in Power Design System", IEEE Industry Applications Magazine, Jan/Feb 2005. WWW.IEEE.ORG/IAS.

۲۴- دفتر برنامه ریزی انرژی، "ترازنامه انرژی سال ۱۳۷۹"، معاونت امور انرژی، وزارت نیرو.

25- "Strategic Plan for Distributed Energy Resources", Department of Energy USA, Sep 2000.

۲۶- حمیدرضا لاری "گزارش پتانسیل سنجی انرژی زیست توده و سهم آن در انرژی کشور"، پژوهشکده انرژی محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، دی ماه ۱۳۷۸.

۲۷- داریوش آزر و مهرداد عدل، "جایگاه انرژی های تجدیدپذیر در ساختار انرژی ایران و جهان" نشریه علمی برق شماره ۳۱ بهار ۱۳۸۰.

۲۷- "نیروگاه های برق آبی کوچک جریانی در ایران" معاونت عمران و صنایع روستای وزارت جهاد کشاورزی، پاییز ۱۳۷۹.

۲۸- شرکت برق منطقه ای باختر، پاییز ۱۳۸۹ ، کارنامه عملکرد سال ۱۳۸۸ ، گزارشات آماری، پورتال برق شرکت برق منطقه ای باختر، وزارت نیرو ، [Http://www.brec.ir](http://www.brec.ir).

۲۹- شرکت صبا نیرو، پاییز ۱۳۸۹ ، آمار ظرفیت نصب توربین های بادی در ایران، گزارشات آماری، پورتال شرکت صبا نیرو، [Http://www.sabaniroo.co.ir](http://www.sabaniroo.co.ir).

۳۰- عباسپور، مجید، غازی، ساناز، ۱۳۸۸ ، فرصت ها و چالشهای پیشروی توسعه ی بکارگیری انرژی های نو در کشور، همایشالگوی تولید و مصرف، توسعه پایدار، منابع انرژی و محیط زیست.

۳۱- معطی.م، صبوری.م، حسنی.ف، شهریور ۱۳۷۸ ، گزارش برآورد حداکثر بار و انرژی مورد نیاز برق منطقه ای باختر تا سال ۱۳۹۷ ، دفتر برنامه ریزی توسعه ی شرکت توانیر

- 32- Bennui1.A, Rattanamanee.P, Puetpaiboon.  
U,Phukpattaranont.P,Chetpattananondh.K,( 2007), SITE SELECTION FOR LARGE  
WIND TURBINE USING GIS, PSU-UNS International Conference on Engineering  
and Environment, Thailand.
- 33- Cheng-Dar Yue, Shi-Sian Wang. (2006)," GIS-Based Evaluation of Multifarious  
Local Renewable Energy Sources:A Case Study of the Chigu Area of Southwestern  
Taiwan, Energy Policy 34 , 730–742.
- 34 -DEADP, (2006). Strategic Initiative to Introduce Commercial Land Based Wind  
Energy Development to the Western Cape: Towards a Regional Methodology for  
Wind Energy Site Selection, Report Series 1 - 7, Department of Environmental Affairs  
and Development Planning, Cape Town.
- 35- Gamesa Corporaci.n Tecnol.gica ,Nov 2010 [www.gamesacorp.com](http://www.gamesacorp.com).
- 36- Gipe Paul. (2004), Wind power: Renewable Energy for Home, Farm and Business.  
NewYork: Chelsea Green.
- 37-Gipe, P., (1995), Wind Energy Comes of Age, John Wiley & Sons, Inc., New York,  
NY, USA.
- 38 -IEC61400-1: Cited in Wind Energy Handbook, Tony Burton,et al,John Wiley &  
sons  
UK).2001,ISBN:0471-48997-2,p.210.
- 39 -Janssen, R. and Rietveld, P. (1990). Multi-Criteria Analysis and Geographical  
Information Systems: An Application to Agricultural Land Use in the Netherlands. In:  
Scholten, H. and Stillwell, J.C.H.: Geographical Information Systems for Urban and  
Regional Planning. Kluwer Academic Publishers.
- 40- Jiang, H. and Eastman, J.R, (2000). Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria



Evaluation in GIS. Int. J. Geographical Information Systems, vol. 14, pp. 173-184.

41-Lissaman, P. B. S., Zaday, A., Gyatt, G. W. (1982) Critical Issues in the Design and Assessment of Wind Turbine Arrays. Proc. of the 4th International Symposium on Wind Energy Systems, Stockholm, Sweden.

42 -Manwell.J.F., McGowan.J.G and Rogers. A.L;(2002), Wind Energy Explained – Theory, Design and Application . New York: John Wiley & Sons.

43-Nguyen, K. Q. (2007). —Wind Energy in Vietnam: Resource Assessment, Development Status and Future Implications, Energy Policy, 35, 1405–1413.

44-Serwan M.J. Baban, Tim Parry, 2001, Developing and Applying a GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms in the UK, Renewable Energy 24, 59–71.

45- Sharif Moghaddasi.M, 2009, Wind Energy in Iran, Asian Journal on Energy and Environment, ISSN 1513-4121.

46-Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A., Corominas, J. 1998.  
—Evaluation

of Renewable Energy Potential Using a GIS Decision Support System, Renewable Energy, 13(3), 333-344.

47-Yue, C. D., Wang, S. S., 2006, GIS-Based Evaluation of Multifarious Local Renewable

Energy Sources: A Case Study of the Chigu Area of Southwestern Taiwan. Energy Policy, 34, 730–742.

۴۸- حیدری، مصطفی (۱۳۸۸). مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران. نشریه مبدل گرمایی.

۴۹- خدادوستان، ویدا (۱۳۷۶). خورشیدی. نشریه علمی آموزشی فرآیند.

- ۵۰- خوش اخلاق، فرامرز، روشن، غلامرضا برنا، رضا (۱۳۸۶). مکانیابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی. نشریه سپهر، شماره ۶۷
- ۵۱- سازمان هواشناسی کشور، سالنامه های آمار.
- ۵۲- علیجانی، بهلول و کاویانی، محمد رضا (۱۳۸۳). مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. تعداد صفحه (۲۸۲).
- ۵۳- علیجانی، بهلول (۱۳۸۳). آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور. تعداد صفحه (۲۲۲).
- ۵۴- علیزاده، امین. کمالی، غلامعلی. موسوی، فرهاد. موسوی بایگی، محمد (۱۳۷۹). هوا و اقلیم شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. تعداد صفحه (۲۸۹)
- ۵۵- علیزاده، امین (۱۳۸۶). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). تعداد صفحه (۶۲۰).
- ۵۶- اسفندیاری، علی. رنگزن، کاظم. صابری، عظیم. فتاحی مقدم، مهدی. همایش ملی ژئوماتیک اردیبهشت ۱۳۹۰.
- ۵۷- یوسفی، حسین. نور الهی، یونس. سلطان محمدی، مجید. ارجمندی، رضا. نشریه انرژی ایران / دوره ۱۵ شماره ۴ اسفند ۱۳۹۱.
- ۵۸- خوش اخلاق، فرامرز. روشن، غلامرضا. برنا، رضا. پژوهشگاه علوم انسانی، مقاله مکانیابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی