نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال هشتم، شماره بیست و هشتم، بهار ۱۳۹۶
شاپا چاپی: ۵۲۲۹-۲۲۲۸، شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶
دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۰ - پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۶
http://jupm.miau.ac.ir/
صص ۸۲-۶۱

پهنه‌بندی و مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان اصفهان

مسعود تقوایی: استاد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران*
عفت صبوحی: دانشجوی دکتری تخصصی شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

یکی از مشکلات قابل توجه در بحث انرژی، روند کاهشی منابع تجدیدناپذیر با اثرات مخرب زیست محیطی بالاست. پژوهش‌های متعدد با هدف یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر جایگزین، همگان را متوجه خورشید و استفاده از انرژی آن (با هزینه کمتر نسبت به سایر صورتهای انرژی) نموده است. با هدف پهنه بندی و مکان یابی نقاط مستعد استقرار پنلهای خورشیدی در مقیاس منطقه‌ای، نقشه پهنه بندی دریافت انرژی خورشید تهیه شده توسط سازمان انرژی‌های نو در ایران بررسی و استان اصفهان با پتانسیل ساعات آفتابی زیاد در طول سال برای پژوهش انتخاب شد. این پژوهش از نظر ماهیت و هدف کاربردی و از نظر روش انجام، ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای، توصیفی و تحلیلی است. اطلاعات مورد نیاز از طریق منابع کتابخانه‌ای گردآوری و سپس با استفاده از نقشه‌های طبیعی و با بهره‌گیری از نرم افزار GIS لایه‌های مختلف تهیه و با برهم گذاری نقشه‌های مکان‌های مناسب از طریق همپوشانی وزنی، پهنه‌های مناسب اقلیمی مکانیابی شدند. سپس از بین گزینه‌های مختلف با استفاده از روش تاپسیس بهینه‌ترین مکان انتخاب شده است. نتایج نشان داد که حدود ۱۷ درصد از مساحت استان در وضعیت بسیار مطلوب از لحاظ استقرار پنل‌های خورشیدی قرار دارد. بهترین مکان‌ها برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی به ترتیب شهرستان‌های نایین، میمه، گلپایگان و شهرضا تشخیص داده شدند. در نهایت پژوهش پیشنهاد می‌کند به منظور استفاده بیشتر از انرژی تولید شده، کاربری‌های پر مصرف در نزدیکی مراکز جمع آوری و ذخیره انرژی مکانیابی شوند.

واژه‌های کلیدی: پهنه بندی، مکانیابی، اقلیم، نیروگاه خورشیدی، تاپسیس

*نویسنده مسؤول: Email: m.taghvaei@geo.ui.ac.ir

۱- مقدمه

۱-۱- طرح مسأله

اگر در گذشته بحران غذا و یا بحران آب آشامیدنی حیات بشر را به خطر می‌انداخت، امروزه کارشناسان بر این اعتقادند که بحران آینده که حیات بشریت را تهدید می‌کند، بحران انرژی است (Shu,2008)، (Pareto,2008) ،(Murkeheide, 2005)، (Dudley2008). حیات بشر امروزی به طور مستقیم و غیرمستقیم به منابع مختلف انرژی مانند نفت و گاز و زغال سنگ و. .. وابسته است و تصور زندگی بدون دسترسی به این منابع، دشوار و حتی غیرممکن است. (EIA,2011)، (Sheng& Azevedo,2005) کاهش منابع فسیلی، خطر نیروگاه‌های هسته‌ای، افزایش چشم گیر نیاز به انرژی فسیلی برای مصارف صنعتی (خصوصاً در کشورهایی که به مرحله صنعتی نزدیک می‌شوند(، نیاز به سازگاری با محیط زیست و کنترل آلودگی هوا و اثر گازهای گلخانه‌ای و ... به رشد سرمایه گذاری کشورهای مختلف دنیا در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر منجر شده است (فرقانی، آخوندی،۱۳۹۲). از طرفی، گذشت سریع زمان، این زنگ خطر را بلندتر و واضح‌تر به گوش می‌رساند که منابع انرژی تجدید ناپذیر در حال پایان است، بنابراین ضرورت کشف و استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر بیش از پیش اهمیت می‌یابد (Bolinger,M. et al.2005)، (Demirel, 2012)، (Capehart,2007). هر چند تعاریف متفاوتی از انرژیهای تجدیدپذیر وجود دارد، اما به بیان کلی به آن دسته از منابع انرژی گفته می‌شوند که پس از طی دوره زمانی معین امکان بازگشت به طبیعت را داشته باشند. سوخت‌های فسیلی که برای تولید دوباره به میلیونها سال زمان نیاز دارند در این دسته قرار نمی‌گیرند. در برابر انرژیهایی چون خورشید، زیست توده‌ها، باد، آب، موج، جزر ومد، سوخت‌های زیستی و ... که به وسیله فرایندهای طبیعی طی مدت زمان به نسبت کوتاهی باز تولید می‌شوند از جمله انرژی‌های تجدید پذیر هستند (احمدپور،۱۳۹۳).

تحقیقات نشان داده است که انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر است که می‌تواند مشکل رو به ازدیاد ناشی از محیط گلخانه کره زمین را به مرور برطرف کرده (Weisser, 2007) و ضمن بازگرداندن تعادل به طبیعت و ترمیم لایه اوزون جو زمین، زندگی تمام موجودات در این کره خاکی را تثبیت کند (Fraisse, 2009)، (World Energy Council,2015,34). میزان تابش این انرژی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده (صفایی و همکاران،۱۳۸۳) و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را داراست. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است (کسمایی، ۱۳۷۲) و طبق آمار هواشناسی ایران و با توجه به میزان تابش خورشید مشخص می‌شود که شهرهای بزرگ و کوچک ایران به‌طور متوسط از ۲۵۰ تا ۲۹۱ روز آفتابی در سال برخوردارند که این امر بیانگر پتانسیل بسیار بالای انرژی خورشید در کشور است (موسوی بایگی، ۱۳۹۰، ٦٦٥). برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالتی آرمانی عنوان می‌کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه صدور انرژی برق فعال شود. (حق پرست کاشانی،۱۳۸۸). با مراجعه به نقشه پتانسیل تابش خورشیدی که توسط سازمان انرژی‌های نو تهیه شده است این موضوع مورد قبول خواهد بود که استان

اصفهان از پتانسیل بالایی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی برخوردار است (کاظم زاده حنانی و همکاران،۱۳۸۰: ۵۲) که با وجود مشکل آلودگی هوا، افتتاح چنین نیروگاهی می‌تواند در بهبود وضع هوا تأثیر بسزایی بگذارد (سعیدی و همکاران،۱۳۸٤) البته باید این مسأله را توسعه داده و در اکثر نقاط استان از این نیروگاه‌ها استفاده نمود.

۱-۲- اهمیت و ضرورت

افزایش خطرات و نگرانیهای تدریجی در مورد اثرات مخرب انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد فرآیند انرژیهای فسیلی (کارگری، مستوری، ۱۳۸۹)، بالا بودن هزینه تولید و محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی (نقوی آزاد،۱۳۹۱)، میزان بالای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و آلودگی هوا، مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی از جمله تبعات ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی هستند که تهدید جدی برای جامعه بشری به شمار می‌رود. (IPCC. 2000) عدم مدیریت کارآمد مصرف انرژی، زیرساخت‌های قدیمی و بی‌بهره از تکنولوژی‌های جدید، بحران آب و نیاز مبرم به روش‌های شیرین کردن آب از چالش‌های روز محیط زیست و انرژی هستند که باعث شدند تا مهم‌ترین چالش‌ها در دنیای امروز جستجوی راه‌های تولید انرژی باشد و مسیر تولید انرژی به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر برود. (IEA,2005) شرایط نامناسب تولید و مصرف انرژی در ایران نسبت به جمعیت آن (نوعی و همکاران، ۱۳۸٤)، موقعیت کشور را در بعد انرژی، بحرانی‌تر می‌سازد. طبق آمار وزارت نیرو شدت مصرف انرژی در ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ با ۳۰ درصد رشد، از ٤۱ درصد به ۷۱ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که اروپا با کاهش ۱۰ درصدی شدت مصرف انرژی، این نسبت را از ۲۹ درصد به ۱۹ درصد رسانده است. (Pareto,2008) شدت مصرف انرژی در ایران ۱۰ برابر اتحادیه اروپا، ۱۷ برابر ژاپن، ٤ برابر کانادا و ۲ برابر چین است. (بهبودی و همکاران، ۱۳۸۹)، (نشریه سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۳۹٤) بنا به گزارش آژانس اطلاعات انرژی آمریکا (U.S. Energy Information Administration EIA)، ایران در سال ۲۰۰۷ نوزدهمین مصرف کننده برق در جهان بوده است. (عیسی زاده، مهرانفر، ۱۳۹۱) نزدیک به ۸۰ درصد انرژی تولیدی در بخش بالادست نفت و نیرو به مصرف می‌رسد که راندمان نیروگاه‌ها را حدوداً به ۳٦ درصد و میزان بازیافت آن را به ۲٦ درصد می‌رساند. (سازمان انرژی‌های نو ایران،1390) میزان مصرف انرژی در ایران در سال ۲۰۱۲ شامل ۲۹ درصد مصرف انرژی در بخش صنعت، ۲۵ درصد در بخش خانگی، ۱۳ درصد در بخش کشاورزی و حمل‌ونقل، ۱۲ درصد در بخش تجاری و عمومی، ٤ درصد مصارف داخلی نیروگاه‌ها، ۲ درصد سایر مصارف و ۱۵ درصد تلفات است. به استناد اطلاعات سازمان انرژی‌های نو تا سال ۲۰۳۰ ایران وارد نقطه قرمز بحران آب می‌شود، افزود: در این حالت نیاز مبرم به شیرین‌کننده‌های آب در کشور وجود دارد. (پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی،۱۳۹۰) در سال ۱۳۹۳، ٦۱۱ میلیون متریک تن دی‌اکسیدکربن در کشور تولید شده است. عمده منابع منتشر کننده دی‌اکسیدکربن در ایران در سال ۲۰۱۳، عبارتند از ۳۳ درصد نیروگاه‌های برق، ۲۵ درصد خانگی، ۲۳ درصد حمل‌ونقل، ۱۷ درصد صنعت و ۲ درصد نیز بخش کشاورزی. هزینه اجتماعی دی‌اکسیدکربن در ایران به‌طور تقریبی ۱۲ دلار به

ازای هر تن است و در مجموع هزینه‌ای معادل هفت میلیارد و ۳۰۰ میلیون دلار در بردارد و دو میلیارد و ٤۱۹ میلیون دلار آن هزینه بخش نیروگاهی است (منجذب، حاجی ابولی، ۱۳۹٤).

با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی شهرها و روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. (صفایی و همکاران،۱۳۸۳) استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل‌نقل، نگهداری و عوامل مشابه است. (استادزاد، ۱۳۹۲)، (احمدپور،۱۳۹۳)

۱-٤- اهداف

پژوهش حاضر با بررسی مناطق مستعد دریافت بالاتر از میانگین جهانی انرژی تابشی خورشیدی (صفایی و همکاران، ۱۳۸۳)، منطقه استان اصفهان را انتخاب نموده و اولویت بندی مکانهای احداث نیروگاه خورشیدی را مورد توجه داشته است. در این راستا استفاده بهینه انرژی خورشیدی در مقیاس منطقه‌ای را به‌عنوان هدف اصلی انتخاب نموده است و در ادامه افزایش کارایی کلکتورهای منطقه‌ای (نیروگاه‌های خورشیدی) و کاهش میزان اتلاف انرژی ذخیره شده در جریان انتقال میان مراکز مصرف منطقه‌ای را مورد توجه قرار داده است.

۱-۳- پیشینه پژوهش

در بررسی پیشینه پژوهش حاضر می‌توان دو گروه پژوهش را معرفی نمود:

گروه اول پژوهش‌هایی هستند که مشابه پژوهش حاضر به پهنه بندی و مکانیابی نیروگاه خورشیدی در استان‌های مختلف پرداخته‌اند مانند حیدری و همکاران (۱۳۸۸) به مکان یابی ساخت نیروگاه خورشیدی در ایران پرداخته و استان کرمان را مناسبترین مکان تشخیص دادند. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، شهرهای بهبهان، رامهرمز و باغ ملک و منطقه کوچکی از شوشتر را به عنوان مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی در این استان پیشنهاد می‌کند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی با عنوان کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکانیابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS در استان تهران، منطقه ۹ را به‌عنوان مناسب‌ترین منطقه معرفی نموده است. موقری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان امکان سنجی و پهنه بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنجهای اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان، بهترین مکان برای بهره برداری از انرژی خورشیدی شهرستان سراوان و سیب سوران و پس از آن شهرهای خاش، ایرانشهر و بخش‌هایی از زهک و نیکشهر را معرفی نمود. شرافتی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش پهنه بندی کشور برای مکانیابی قطب‌های مستعد توسعه گلخانه‌های خورشیدی، حدفاصل شرق استان فارس و غرب استان کرمان را مستعدترین مکان معرفی نموده است. صادقی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان اولویت بندی عوامل مؤثر بر مکانیابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدید پذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره، شهرستان سیرجان را به‌عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه

خورشیدی و شهرستان رفسنجان را به‌عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی معرفی نموده است.

گروه دوم پژوهش‌هایی که به بررسی موقعیت استان اصفهان در میان سایر استانها از نظر دریافت انرژی خورشیدی و احداث نیروگاه می‌پردازد مانند خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۶) پژوهشی با عنوان مکانیابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی را انجام دادند و استان یزد را به‌عنوان مناسب‌ترین مکان جغرافیایی و ایستگاه اصفهان را به جهت شباهت با ایستگاه یزد در رتبه دوم جهت احداث نیروگاه خورشیدی معرفی نموده است. فرج‌سبکبار و همکاران (۱۳۹۲) پژوهشی با عنوان تناسب سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتاییک به کمک تلفیق سیستم‌های جمع ساده وزنی و استنتاج فازی در ایران انجام داده‌اند و استان اصفهان را در رتبه پنجم معرفی نمودند.

۱-۶- سؤال و فرضیه

سؤالات پژوهش عبارتند از:

- چگونه می‌توان بیشترین میزان انرژی خورشیدی را در کلکتور ذخیره نمود؟
- کدام ویژگی جغرافیایی منطقه در میزان جمع آوری انرژی خورشیدی بیشترین تأثیر را دارد؟

در نهایت فرضیه‌های زیر برای شروع پژوهش انتخاب شده‌اند:

- در هر منطقه می‌توان انرژی خورشیدی را جمع آوری و مصرف نمود.
- از انرژی جمع آوری شده در مناطق مستعد می‌توان در مناطق همسایه کم استعداد استفاده نمود.

۱-۵- روش تحقیق

این پژوهش یک تحقیق توسعه‌ای از نوع روش تحقیق کمی – توصیفی – تحلیلی است. مبانی تئوریک آن بر اساس مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای انجام گرفته است. معیارهر مورد استفاده جهت مکانیابی براساس ضوابط مکانیابی انتخاب شده است. با توجه به اینکه فرایند مکانیابی یک مسأله تصمیم گیری چند صفته بوده و با استفاده از مدل رستری قابل انجام است، باید در انتخاب نرم افزار این نکته را مدنظر قرار داد که نرم افزار منتخب علاوه بر مدل وکتوری، مدل رستری را نیز مورد پشتیبانی قرار داده و علاوه بر این موارد، قابلیت استفاده از قواعد تصمیم گیری چند صفته را داشته باشد. در این راستا به کمک تکنیک تاپسیس (TOPSIS) معیارها مورد ارزیابی و وزن دهی قرار گرفتند. سپس اطلاعات مورد نیاز از داده‌های سازمان هواشناسی در بازه زمانی ۲۰ ساله استخراج و جهت آماده سازی لایه‌ها در نرم افزار GIS و تهیه نقشه اولویت بندی اقلیمی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین با توجه به ضریب تاثیر برابر سه عامل ارتفاع، کاربری اراضی و دسترسی، لایه‌های این عوامل نیز تهیه شدند. در نهایت به کمک روش تلفیق در GIS، نقشه اولویت بندی مکانی تهیه شده است. (یشگاهی فرد،۱۳۹۰)

۱-۷- معرفی متغیرها و شاخص‌ها

در این پژوهش با استناد به پژوهش‌های مشابه ۷ متغیر اقلیمی شامل گرد و غبار، وزش باد، ابرناکی، بارندگی، رطوبت هوا، دمای محیط و تابش خورشیدی و ۳ متغیر فیزیکی ارتفاع، فاصله تا مراکز مصرف و کاربری اراضی انتخاب شدند. سپس برای تعریف ضریب اهمیت معیارهای اقلیمی، متخصصان شاخص‌های مدیریت انرژی را شامل افزایش انرژی

دریافتی و کاهش اتلاف انرژی را در نظر گرفتند. در نهایت متغییر وزش باد با دریافت ضریب ۰ از روند تحلیل حذف شد.

۱-۸- محدوده و قلمرو پژوهش

این پژوهش به دنبال مکانیابی نیروگاه خورشیدی جهت دریافت متمرکز انرژی خورشیدی در استان اصفهان و بر اساس اطلاعات سینوپتیک دوره ۲۰ ساله است.

۲- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

- برنامه‌ریزی منطقه‌ای

برنامه ریزی منطقه‌ای کوششی است متشکل و منظم برای انتخاب بهترین روش‌های موجود به منظور رسیدن به هدفی خاص در یک منطقه با کوشش در جهت بالابردن سطح زندگی مردم؛ به عبارت دیگر کوششی جهت به دست آوردن حداکثر استفاده از منابع کمیاب موجود در منطقه است. مفهوم برنامه‌ریزی منطقه‌ای همان مفهوم برنامه ریزی در منطقه[1] است یعنی برنامه ریزی برای انسان‌ها، فعالیت‌ها و منطقه‌ای که این فعالیت‌های انسانی در آن شکل می‌گیرد (زیاری،۱۳۹٤) و فرایندی است در جهت تنظیم و هماهنگ کردن برنامه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی با نیازها و امکانات هر منطقه و مکان که باید به سه سؤال اساسی پاسخ دهد: در حال حاضر منطقه چه موقعیتی دارد؟ (ارائه تحلیل از نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها)، منطقه به کجا می‌خواهد برود؟ (چشم انداز، اهداف اصلی، اولویت‌های مبتنی بر جهت گیریهای آمایش)، منطقه چگونه به اهداف تعیین شده دست می‌یابد؟ در برنامه ریزی منطقه‌ای سعی بر آن است تا حوزه‌هایی که دارای ویژگی‌ها و استعدادهای بالقوه و مسائل اقتصادی - اجتماعی خاص هستند جدای از سایر مناطق مورد توجه قرار گیرند. در شرایطی که دنیای امروز با دو بحران زیست محیطی و کمبود منابع انرژی دست و پنجه نرم می‌کند و این دو بحران اثر تشدید کننده‌ای بر بحران اقتصادی جهانی دارد، به نظر می‌رسد تدوین برنامه ریزی‌های منطقه‌ای در باب مدیریت انرژی می‌تواند زمینه کنترل بحران را بهتر فراهم کند.

کشور ایران با داشتن دومین منابع بزرگ گاز جهان و سومین ذخیره شناخته شده نفت و با داشتن بیش از ۳٦۰ روز آفتابی در بعضی مناطق صحرایی تا مدت‌ها خود را مبرا از این بحران‌ها می‌دانست (Moghadam, 2011) اما با آزادسازی قیمت‌ها طی سال‌های گذشته که باعث افزایش شدید قیمت این حامل‌های انرژی و در نتیجه افزایش قیمت تمام شده تولید در کشور شده، سازمانهای متولی انرژی نیز به سوی مدیریت انرژی سوق داده است.

- منابع انرژی

بهره گیری از انرژی از ابتدای تاریخ تمدن انسان مورد نظر بوده و دانشمندان از دیرباز در پی آن بوده‌اند که ابزار و ماشین‌هایی را اختراع کنند که انرژی پست‌تر را به انرژی بالاتر تبدیل کنند تا از آن بهره گیری بیشتری بنمایند و در این رهگذر است که انگیزه‌ای قوی برای رشد صنعتی جوامع انسانی به وجود آمد. منابع انرژی به دو دسته منابع تجدیدناپذیرمانند سوخت‌های فسیلی که بعد از مصرف، برای همیشه از دست

[1] منظور از منطقه عبارت است از تمام یا بخشی از یک تا چند استان با خصوصیات مورداشاره در تعریف ناحیه که عبارت است از حداقل یک یا چند شهرستان که ازنظر ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی همگون بوده و ازنظر اقتصادی، اجتماعی، دارای ارتباطات فعال متقابل باشند. بعبارت دیگر تمام یا بخشی از یک تا چند استان که از نظر ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی همگون بوده و از نظر اقتصادی و اجتماعی دارای ارتباطات فعال متقابل باشند (بصیرت، ۱۳۹۰)

می‌روند و منابع تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، زمین گرما، زیست توده و آب که می‌توانند در یک دوره زمانی کوتاه تجدید یا احیاء شوند، (احمدپور،۱۳۹۳)تقسیم می‌شوند:

- انرژی خورشیدی (Solar Energy)

انرژی ستاره خورشید یکی از منابع انرژیهای تجدیدپذیر و از منابع عمده تأمین انرژی در منظومه شمسی است که در نتیجه گرما و نور تولید شده توسط خورشید تولید می‌شود. (HARPER,2009) انرژی متصاعد شده از خورشید در حدود ۸/۳ در ۱۰۲۳ کیلووات در ثانیه است که یک سوم آنها در فضا پخش می‌شوند و بقیه به‌صورت انرژی گرما و نور به زمین می‌رسند؛ بنابراین سهم زمین در دریافت انرژی از خورشید میزان کمی از کل انرژی تابشی آن است. (Gunerhan, 2007,779) میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را داراست. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می‌دهد ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه صدور انرژی برق فعال شود. (نصیری، ۱۳۹۱)

- مدیریت انرژی خورشیدی

اتحادیه اروپا با معرفی استاندارد EN 16001 در سال ۲۰۰۹ گام موثری را در پیاده سازی استاندارد مدیریت انرژی (EnMS) برداشت. این استاندارد به طور گسترده‌ای در کشور اسپانیا به کار گرفته شده و شرکت ASYS یک شرکت پیشگام در زمینه ممیزی انرژی در آن کشورهای آمریکای لاتین است. شایان ذکر است که کشور اسپانیا یکی از پیشروترین کشورهای جهان در زمینه مدیریت انرژی بوده و بیشترین نیروگاه‌های خورشیدی در جهان را دارد. (بهره دار و همکاران،۱۳۹۳)

به‌طور کلی مدیریت انرژی خورشیدی شامل مدیریت در چهار حوزه اصلی است که عبارتند از:

الف. دریافت: توسط پنلهای خورشیدی

ب. جمع آوری: وظیفه جمع آوری و انتقال انرژی خورشیدی به منابع ذخیره کننده بر عهده تمامی اجزا تشکیل دهنده نیروگاه‌های خورشیدی است.

ج. ذخیره: مهم‌ترین مسأله در مدیریت انرژی خورشیدی، ذخیره سازی انرژی دریافتی اضافی است که با توجه به ماهیت تابشی و حرارتی صورت اولیه انرژی خورشیدی برای مدت محدود امکان پذیر است

د. انتقال: با توجه به اینکه انرژی خورشیدی باید به‌صورت انرژی الکتریکی تبدیل و سپس ذخیره شود باید برای انتقال انرژی تبدیل شده از سیستم‌های انتقال برق بین مراکز مصرف استفاده نمود. (Duffie,2013)

- نیروگاه انرژی خورشیدی

در حال حاضر تکنولوژی احداث نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی به ۵ دسته نیروگاه‌های حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی (Parabolic Trough)، دریافت کننده مرکزی (CRS)، بشقابی (بشقابک سهموی (Parabolic Dish))، دودکش‌های خورشیدی (Solar Chimney)، کلکتورهای فرنل (Fresnel Collector) تقسیم بندی می‌گردند (کردجمشیدی، پورشاهید،۱۳۹۰).

از جمله راهکارهای پیشنهادی مهندسان درگیر با برنامه، تبدیل انرژی به‌صورت‌های قابل ذخیره سازی

مانند انرژی الکتریکی و حرارتی است (فرقانی، آخوندی،۱۳۹۲).

- تاسیسات نیروگاه انرژی خورشیدی

از انرژی خورشیدی برای مصارف مختلف خانگی و صنعتی در مقیاس کلان (نیروگاهی) و خرد (غیر نیروگاهی) استفاده می‌شود که یا توسط سیستم‌های جمع آوری حرارتی، انرژی گرمایی را ذخیره نموده و یا توسط سیستم‌های فتوولتاییک مستقیماً پرتوهای خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. (پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی،۱۳۹۰) به پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاه از مکانیزم‌های محرک، الکتریسیته تولید کند پدیده فتوولتاییک و به هر سیستمی که از این پدیده‌ها استفاده کند سیستم فتوولتاییک گویند (فرهمندفر، ۱۳۸۹)

الف. کاربردهای‌های نیروگاهی سیستم‌های فتوولتاییک: تأسیساتی که با استفاده از آنها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شود (سانا،1387) نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود مانند نیروگاه‌های خورشیدی در آمریکا و هند و نیروگاه فوتوولتائیک خورشیدی با ظرفیت ۲۰ کیلووات در دانشگاه الزهرا (س)

ب. کاربردهای غیر نیروگاهی از انرژی حرارتی خورشید: این سیستم‌ها عمدتاً برای تأمین آب گرم یا حرارت درون منازل استفاده می‌شوند (Shariah et al, 2002)، (Bales, 2003) مانند آبگرمکن‌های خورشیدی و حمام خورشیدی، آب شیرین کن خورشیدی، خشک کن خورشیدی، اجاق‌های خورشیدی، کوره خورشیدی، خانه‌های خورشیدی؛ مانند آب گرمکن و حمام خورشیدی در نقاط مختلف کشور از جمله استان‌های خراسان، سیستان و بلوچستان، یزد و کرمان

- مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی

استفاده از انرژی خورشیدی تابع شرایطی است که می‌تواند در میزان بازدهی و صرفه اقتصادی آن برای مصرف کننده مؤثر باشد. مهم‌ترین این شرایط مکان‌یابی نواحی‌ای است که شرایط احداث نیروگاه را دارا باشند. مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌ها و پارامترهای دیگر برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. قابلیت‌ها و توان‌های یک مکان با توجه به اینکه برای چه مفاهیمی در نظر گرفته شود، متفاوت خواهد بود (رئوفی راد، حقیقی خوشخو، ۱۳۷۳) و علیرغم تنوع گسترده در سه گروه کلی قابل تفکیک هستند: نظریه‌های مربوط به حداقل کردن هزینه[۲]، نظریه‌های مربوط به تجزیه و تحلیل بازار[۳]، نظریه‌های مربوط به حداکثر نمودن سود[۴]. با توجه به سیر تحول تئوریها و نظریه‌های مکان‌یابی، بسته به نوع کارکرد مورد نظر، باید شاخص‌ها با معیارهایی تلفیق شود تا توان مکان با توجه به آن مورد بررسی قرار گیرد (کریمی،۱۳۸۲) در روش تخصیص – مکان، جواب‌های بهینه با در نظر گرفته میزان کارآیی ارزیابی می‌شوند. فرآیند تعیین مکان بهینه برای یک یا چند مرکز است که به کاراترین شکل، کالاها و خدمات را به جمعیت پیرامون خود برسانند. شاخص‌های ارزیابی زیرمعیارهای مکانیابی در این مدل شامل حداقل رساندن میزان مسافت

---

[۲] تعیین مکان با تأکید بر حداقل کردن هزینه‌های عوامل تولید، نظریه‌پردازان: فان تانون، آلفرد وبر، پالاندر و هوور.

۳ تأکید بر تقاضا و عوامل تشکیل‌دهنده بازارهای در دسترس و حداکثر کردن درآمد است صاحب‌نظران: لوش، کریستالر و پرو

٤ ترکیبی منطقی است از دو نگرش فوق، پیشکسوتان این گروه: گرینهارت، ایزارد، راسترون، روستو، رنر، وبر و اسمیت

پیموده شده، به حداکثر رساندن تعداد مصرف کنندگان و یا توسعه منطقه خدماتی هستند.

در مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی اولین زیر معیار، تعریف محیط جغرافیایی مناسب است که شرایط فیزیکی زمین مانند ارتفاع منطقه، شیب، پایداری زمین و جنس زمین (مازریا،1385)، (Skeiker, 2009)، (Gunerhan, 2007)، نوع پوشش گیاهی، آلودگی زیست محیطی، نوع منابع آبی (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۱) و عوامل اقلیمی منطقه مانند میزان تابش دریافتی، ابرناکی، رطوبت هوا و بارندگی، جهت وزش باد (Muneer, T. et al.2006) و ... را شامل می‌شود (رشیدزاده و همکاران، ۱۳۹۱) دومین زیر معیار، دسترسی و مسیرهای ارتباطی در مناطق مسکونی و غیر مسکونی، نزدیکی به مراکز مصرف شامل مناطق مسکونی، صنعتی، اداری و تجاری، نوع کاربری اراضی و موقعیت مناطق جمعیتی (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۱) را شامل می‌شود. زیر معیار آخر، تکنولوژی موجود در منطقه برای احداث نیروگاه و تعبیه سیستم‌های جذب، ذخیره، انتقال و مصرف (صمدی، یوسفی،۱۳۸۵) در تاسیسات خاص مانند تاسیسات صنعتی، فرودگاه، سد و پالایشگاه و نزدیکی به ایستگاه‌های توزیع برق در مراکز مسکونی (به داغی و همکاران، ۱۳۹۲) است.

- دیدگاه‌های محققان

دیپیپو (Dipippo,2012) در کتاب خود تحت عنوان نیروگاه‌های انرژی ژئوترمال «به اصول و روشهای بهره برداری از انرژیهای زمین گرمایی پرداخته است. کنیزارین (Kenisarin,2007) در پژوهش خود افزایش مستمر در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای را دلیل جهت گیری به سمت استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدید پذیر می‌داند. هنمن (Henemann,2012)در مقاله خود تحت عنوان ساخت فتوولتائیک یکپارچه جهت تولید انرژی خورشیدی «به معرفی روش‌های کارامدتر جهت بهره برداری از انرژی خورشید توسط سلول‌های فتوولتائیک پرداخته است. میلر (Miller, 2012) به معرفی روش‌های بهره برداری انرژی خورشیدی در نیروگاه‌های خورشیدی در کشور هند پرداخته است. فنگ (Fang,2012) در مقاله خود به اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی برای خانواده‌های روستایی در فلات چینگ‌های و تبت برای انطباق با تغییرات آب و هوایی اشاره کرده است.

۳- تحلیل یافته‌ها

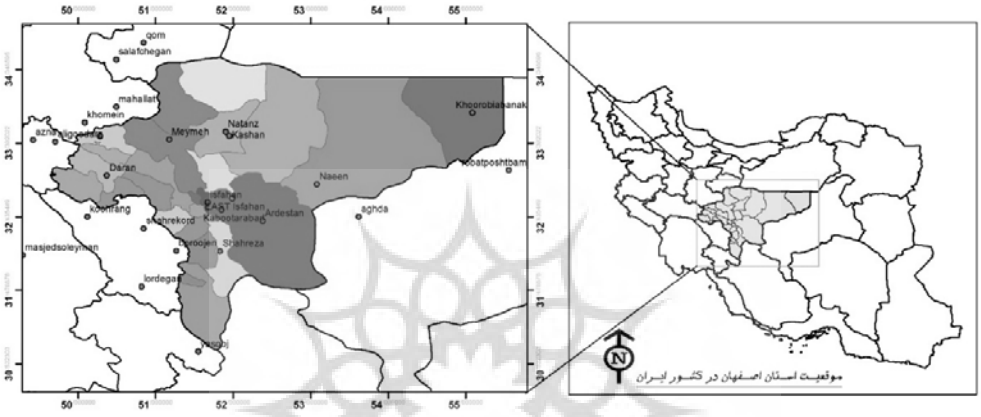
با بررسی منابع مطالعاتی گوناگون معیارهای مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی در سه کلاس طبیعی، اقتصادی – اجتماعی و تکنولوژیکی شناسایی و در شش زیرکلاس فیزیکی، بیولوژیکی، اقلیمی، دسترسی، فنی و ایمنی و زیر ساختی طبقه بندی می‌شوند. این پژوهش به دنبال بررسی عوامل جغرافیایی شامل بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا ساعت آفتابی، ابرناکی، گردوخاک، بارندگی و رطوبت نسبی در میزان تابش دریافتی، عوامل اقتصادی، اجتماعی شامل کاربری اراضی، دسترسی و در نهایت اولویت بندی تخصیص مکان استقرار نیروگاه انرژی خورشیدی است.

- شناخت قلمرو پژوهش

در مطالعات مربوط به سازمان انرژی‌های نو ایران، بیان شده است که با توجه به استانداردهای بین‌المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵ کیلووات ساعت در مترمربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد استفاده از مدلهای انرژی خورشیدی نظیر

کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در این گزارش، میانگین انرژی تابشی خورشید مناطق مرکزی و بالاخص استان اصفهان بالاتر از حد متوسط جهانی با متوسط ٤/٥ تا ٥/٢ کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه‌گیری شده است که از متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران یعنی ٤/٥ کیلو وات ساعت بر مترمربع بالاتر بوده و نشان دهنده پتانسیل بالای منطقه برای احداث نیروگاه انرژی خورشیدی است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۱).

استان اصفهان در ۳۰ تا ۳٤ درجه شمالی عرض جغرافیایی و ٤۹ تا ٥٦ درجه شرقی طول جغرافیایی در منطقه‌ای با ارتفاع متوسط 1578/1 متر از سطح دریا قرار گرفته است.



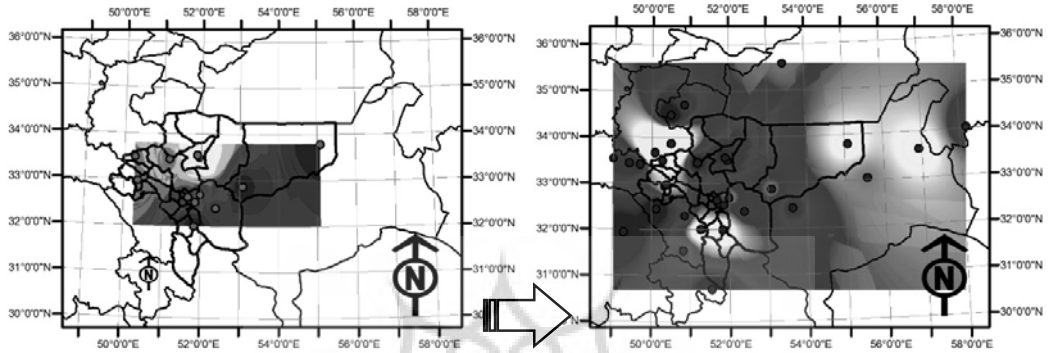
شکل ۱- نقشه موقعیت استان اصفهان

اطلاعات مورد نیاز ایستگاه‌های سینوپتیک استان اصفهان از اطلاعات سازمان هواشناسی استخراج و در جدول زیر تنظیم و توسط برنامه GIS بر روی نقشه مشخص شده است:

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک در استان اصفهان (میانگین دوره ۲۰ ساله)

ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع	میانگین بارش	رطوبت نسبی	گرد و خاک	ساعت آفتابی	ابرناکی		
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی						ابرناکی ۸/۸-۷	ابرناکی ٦/۸-۳	ابرناکی ۲/۸-۰
اصفهان	51/67	32/62	1550/4	125	39	20/7	3279/8	33/2	89/9	241/8
اردستان	52/38	32/38	1252/4	127/1	30	23	3239/6	34/6	94/7	236/1
داران	50/37	32/97	2290	330	41	5/6	3212/4	29/4	85	250/6
کبوترآباد	51/85	32/52	1545	112/8	40	8/2	3233/6	34/9	91/3	238/9
کاشان	51/45	33/98	982/3	136	40	6/1	2934/9	35/7	85	243/9
خوروبیابانک	55/08	33/78	845	83/9	32	26/5	3373/5	26/9	76	262/3
میمه	51/17	33/43	1980	163/7	37	5/1	3268/3	42/2	108/2	214/7
گلپایگان	50/28	33/47	1870	273/7	38	1/9	3237/6	32/6	95	237/4
نایین	53/08	32/85	1549	98/1	29	29/5	3260/7	31/8	93/7	240/1
نطنز	51/90	33/53	1684/9	195/3	35	4/8	3130/7	42	95/7	227
شهرضا	51/83	31/98	1845/2	142/2	36	13/9	3359/8	22/9	88/2	253/9
شرق اصفهان	51/87	32/67	1543	106/1	39	58/5	3224	30/5	95/5	239/1

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر کل استان اصفهان است؛ اما پس از درونیابی اولیه مشخص شد که انتخاب ایستگاه‌های درون استان به تنهایی کافی نیست. بنابراین، باید اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های همسایه نیز وارد شود تا همپوشانی کامل در سراسر استان اتفاق بیفتد؛ بنابراین در مرحله دوم اطلاعات اقلیمی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک در استان‌های همجوار نیز جمع آوری شدند. میزان پوشش استان مجدد بررسی شد که همپوشانی مطلوب ایستگاه‌ها در تصویر زیر به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۲- افزایش میزان همپوشانی با افزایش داده‌های مناطق همسایه

- تجزیه و تحلیل

جهت مکانیابی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، باید عوامل مؤثر، معیارها و محودیت‌ها به‌صورت لایه‌های نقشه تهیه شده و مورد پردازش و تحلیل قرار گیرند. در این مطالعه براساس ضوابط مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی و متناسب با نوع مدل کاربردی در این تحقیق TOPSIS و شناخت شرایط جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، عوامل مؤثر جغرافیایی در مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی شامل ساعت آفتابی و دمای محیط به‌عنوان عوامل افزاینده و وزش باد، ابرناکی، بارندگی، رطوبت هوا، گرد و غبار به‌عنوان عوامل کاهنده جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی در نظر گرفته شدند.

- تعیین ضریب اهمیت معیارها به کمک تکنیک تاپسیس

به منظور سنجش درجه اهمیت شاخص‌های اقلیمی در مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی پرسشنامه زیر در اختیار گروه متخصصان قرار گرفت و به کمک تکنیک تاپسیس اولویت‌ها تعیین شده است.

ماتریس تصمیم: در مرحله نخست ماتریسی از داده‌ها براساس 7 گزینه (شاخص اقلیمی) و ۲ شاخص (مدیریت انرژی) تشکیل شد. (جدول ۲)

جدول ۲- نیازسنجی آموزشی اولیه از نظر متخصصان

		شاخص مدیریت انرژی	
		افزایش انرژی دریافتی	کاهش اتلاف انرژی
شاخص‌های اقلیمی	گرد و غبار	۲	۵
	وزش باد	۱	۱
	ابرناکی	۱	٤
	بارندگی	۳	۱
	رطوبت هوا	۲	۳
	دمای محیط	٤	٤
	ساعت آفتابی	۵	۵

وزن دهی شاخص‌ها: با توجه به ماتریس اولیه، وزن هریک از شاخص‌ها به کمک روش آنتروپی شانون تعیین و در جدول زیر آمده است. (روش آنتروپی شانون نشاندهنده مقدار عدم اطمینان (درجه انحراف) موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعات است که وزن شاخص از تقسیم آن بر مجموع انراف‌ها به دست می‌آید.) در این جدول باید نوع تأثیر هر شاخص نیز تعیین شود که در اینجا همه تأثیر مثبت دارند. (جدول ۳)

جدول ۳- وزن دهی به شاخص‌ها با استفاده از روش آنتروپی شانون

شاخص	افزایش انرژی دریافتی	کاهش اتلاف انرژی	مجموع
آنتروپی	۲۲	0/23	
درجه انحراف	0/80	0/77	1/57
وزن شاخص	0/51	0/49	

ماتریس نرمال: به منظور اطمینان از یکسانی واحدهای تمامی معیارها، باید دیمانسیون واحدها از بین برود و مقادیر کمی به ارقام بدون بعد تبدیل شود. به همین جهت هر درایه ماتریس تصمیم بر مجموع مجذور تمام درایه‌های هر ستون تقسیم و در جای خود نوشته می‌شود (جدول ٤).

جدول ٤- ماتریس نرمال

		افزایش انرژی دریافتی	کاهش اتلاف انرژی
شاخص‌های اقلیمی	گرد و غبار	0/067	0/269
	وزش باد	0/017	0/011
	ابرناکی	0/017	0/172
	بارندگی	0/150	0/011
	رطوبت هوا	0/067	0/097
	دمای محیط	0/267	0/172
	ساعت آفتابی	0/417	0/269

ماتریس نرمال موزون (بی مقیاس): به منظور تصمیم گیری صحیح باید تأثیر اهمیت شاخص (معیار) در امتیاز هر گزینه در نظر گرفته شود. به این منظور ماتریس نرمال موزون تشکیل می‌شود. هر درایه از حاصلضرب ماتریس نرمال در وزن شاخص به دست می‌آید (جدول ۵).

جدول ۵- ماتریس نرمال موزون (بی مقیاس)

		افزایش انرژی دریافتی	کاهش اتلاف انرژی
شاخص‌های اقلیمی	گرد و غبار	۰۳٤/۰	0/132
	وزش باد	0/0085	0/005
	ابرناکی	0/0085	0/084
	بارندگی	0/0765	۰۰۵/۰
	رطوبت هوا	0/034	0/047
	دمای محیط	۱۳٦/۰	0/084
	ساعت آفتابی	۳0/21	۱۳۲/۰

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \middle| j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \middle| j \in J' \right) \right\}$$

$$A^- = \left\{ v_1^-, v_2^-, ..., v_n^- \right\}$$

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \middle| j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \middle| j \in J' \right) \right\}$$

$$A^* = \left\{ v_1^*, v_2^*, ..., v_n^* \right\}$$

ایده آل‌های مثبت و منفی: در این مرحله باید ایده آل‌های مثبت و منفی تعیین شود. چون همه شاخص‌ها تأثیر مثبت داشتند پس هر گزینه که امتیاز بیشتری دارد به‌عنوان ایده آل مثبت و هر گزینه که امتیاز کمتری دارد به‌عنوان ایده آل منفی در نظر گرفته می‌شود (جدول ٦).

جدول ٦- تعیین ایده آل مثبت وایده آل منفی و فاصله هر گزینه از ایده آل

افزایش انرژی دریافتی		کاهش اتلاف انرژی	
ایده آل +	ایده آل -	ایده آل +	ایده آل -
۰/۲۱۳	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۵	۰/۱۳۲

فاصله گزینه‌ها تا ایده آل‌های مثبت و منفی: برای به دست آوردن فاصله باید از مجموع توان دوم اختلاف درایه‌ها از مقدار ایده آل جذر گرفته شود.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}}$$

$$d_j^+ = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^m v_{ij} - v_j^+\right)^2} \quad d_j^- = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^m v_{ij} - v_j^-\right)^2}$$

$$CL_1 = \frac{d_j^-}{d_j^- + d_j^+}$$

تعیین نزدیکی نسبی: در اینجا ضریبی که از تقسیم گزینه حداقل بر مجموع گزینه‌های حداقل و حداکثر است به‌عنوان وزن نهایی گزینه‌ها به دست آمده که می‌تواند معیار مناسبی برای رتبه بندی گزینه‌ها باشد. (جدول ۷)

جدول ۷- اولویت بندی گزینه‌ها براساس نزدیکی نسبی

		فاصله از ایده آل +	فاصله از ایده آل -	نزدیکی نسبی	رتبه بندی گزینه‌ها	توضیحات
شاخص‌های اقلیمی	گرد و غبار	0/20	0/13	0/40	۳	
	وزش باد	0/29	0/00	0/00	۷	حذف شاخص
	ابرناکی	0/24	0/08	0/25	٤	
	بارندگی	0/25	0/07	0/21	٥	
	رطوبت هوا	0/24	0/05	0/17	٦	
	دمای محیط	0/15	0/15	0/50	۲	
	ساعت آفتابی	0/08	0/24	0/75	۱	

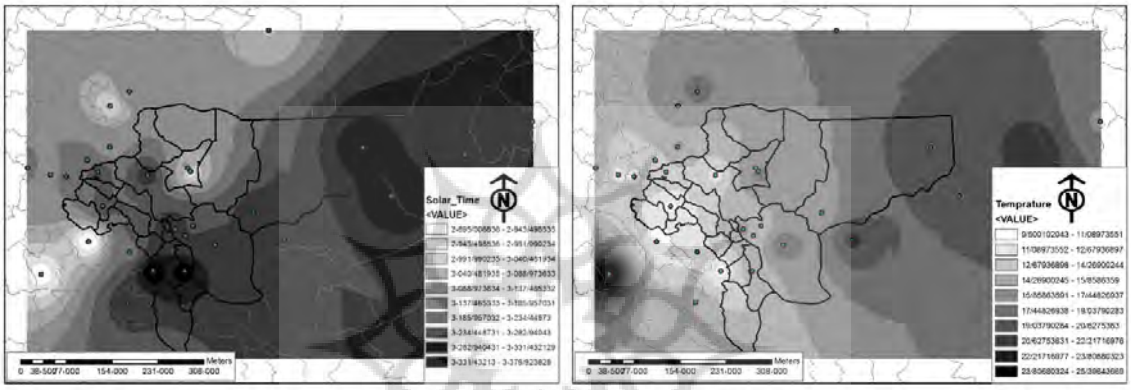
- تهیه لایه‌های مورد نیاز مکانیابی نیروگاه انرژی خورشیدی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

این مرحله فرایندی است که شامل اخذ داده، تغییرات فرمت، زمین مرجع نمودن، تنظیم کردن و مستندسازی داده‌هاست (فرج زاده، ١٣٨٤). داده‌هایی که به سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شدند عبارتند از نقشه رقومی از لایه‌های اقلیمی ساعت آفتابی، دمای محیط، گرد و غبار، ابرناکی، بارندگی، رطوبت هوا و نقشه‌های رقومی از لایه‌های فیزیکی کاربری اراضی وضع موجود، دسترسی و ارتفاع از سطح دریا.

سپس نقشه‌های تهیه شده استاندارد سازی و از طریق همپوشانی وزنی با هم تلفیق شدند. ضریب تاثیر عوامل اقلیمی از تکنیک TOPSIS و ضریب تاثیر عوامل فیزیکی یکسان در نظر گرفته شده است.

الف. عوامل اقلیمی

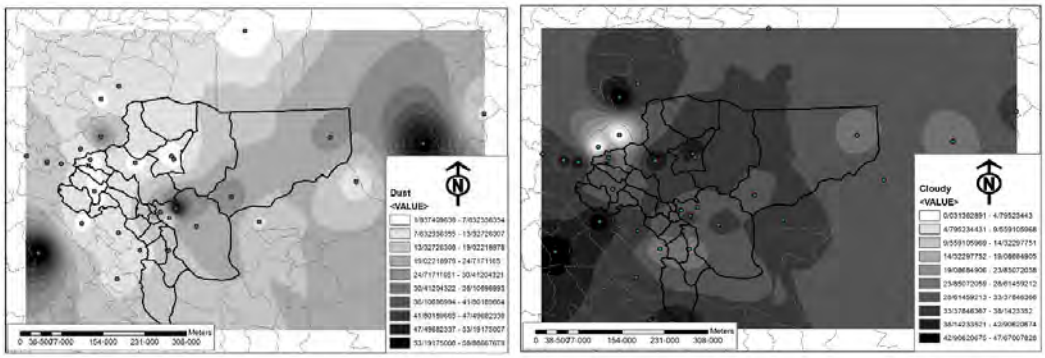
– ساعت آفتابی: ساعت آفتابی مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که نشاندهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است. ساعات آفتابی مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تأثیر عرض جغرافیایی و ابرناکی آسمان است. عرض جغرافیایی در پارامتر ساعات آفتابی به طور مستقیم اثر گذار است و میزان ابرناکی و غبار آلودگی شدید هوا با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارند. از طرف دیگر بالا بودن دمای محیط میزان انرژی دریافتی را افزایش و اتلاف انرژی را کاهش می‌دهد.



شکل ۳- طبقه بندی ساعت آفتابی و دمای میانگین ماهانه در سطح استان اصفهان

– گرد و خاک: از ترکیبات مهم جوی، به‌ویژه در حوالی سطح زمین ترکیبات غیرگازی و جامدی است که هواویز نامیده می‌شود. هواویزها ۱۵ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می‌کنند. هواویزها باعث جذب تابش مؤثر و تابش برگشتی می‌شوند و افزایش آنها باعث کاهش مقدار تابش کوتاه خورشید می‌شود. (علیجانی،1383) بنابراین مناطقی حائز اهمیتند که کمترین روزهای غبار آلودگی را در سال داشته باشند.

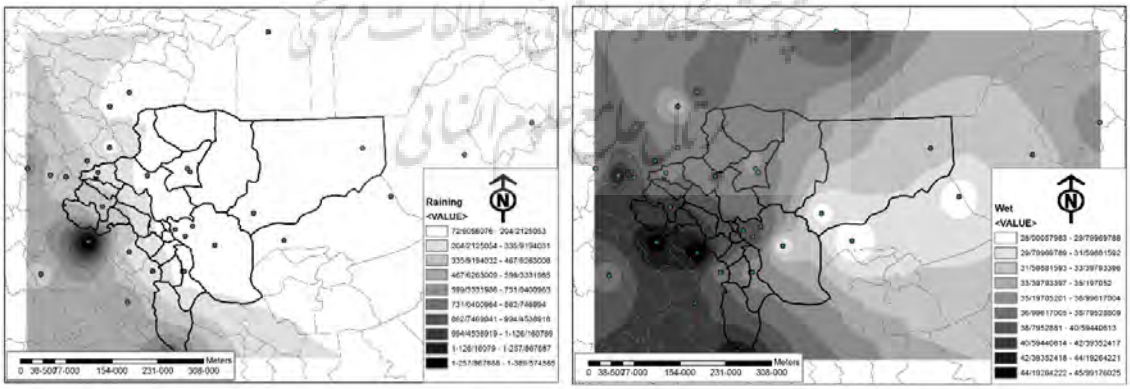
– ابرناکی: مهم‌ترین عامل از نظر کنترل انرژی تابشی خورشید ابرناکی آسمان است. ابرها باعث کاهش تابش خورشید و در نهایت کاهش تابش مؤثر می‌شوند. ابرها به طور متوسط 21 درصد انرژی موج کوتاه خورشید را برمی گردانند. در مواقعی که هوا آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت اعظم انرژی خورشید به زمین می‌رسد (علیجانی،1383).



شکل ٤- طبقه بندی ابرناکی و میزان گرد و خاک در سطح استان اصفهان

- 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 است و از 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 است (علیجانی، ۱۳۸۳)

- رطوبت نسبی: معمولاً وقتی از رطوبت نام برده می‌شود، منظور رطوبت نسبی است که همان نسبت مقدار بخار آب موجود در هوا به مقدار بخار آبی است که اگر هوا در همان درجه حرارت می‌داشت به صورت اشباع بود. این نسبت همیشه به صورت درصد بیان می‌شود. رطوبت نسبی با تغییر درجه حرارت به طور معکوس کم و زیاد می‌شود. مناطق با رطوبت بالا به دلیل جذب انرژی موج کوتاه خورشید توسط بخار آب اتمسفر مستعد بهره برداری از انرژی خورشید نیستند (علیجانی، ۱۳۸۳).

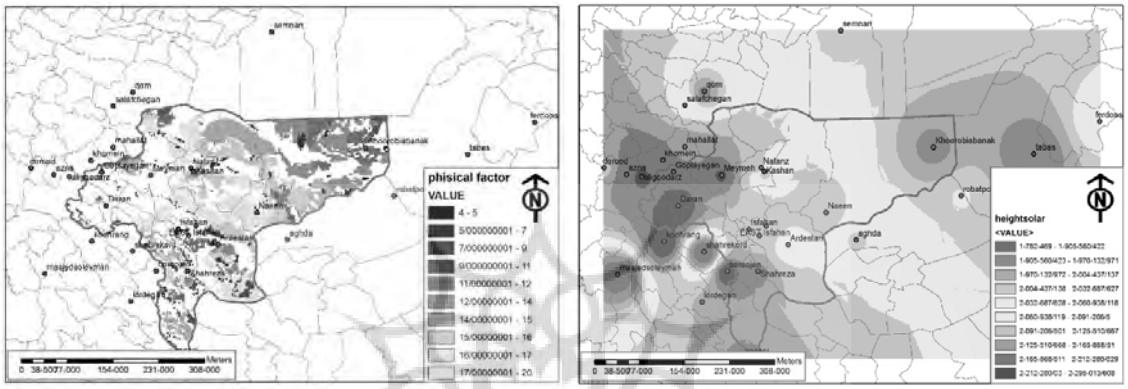


شکل ۵- طبقه بندی میزان بارندگی و رطوبت نسبی در سطح استان اصفهان

ب. عوامل فیزیکی: - **ارتفاع: مهم‌ترین عامل فیزیکی در مکانیابی سایت نیروگاه، ارتفاع آن از سطح دریا است. مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق**

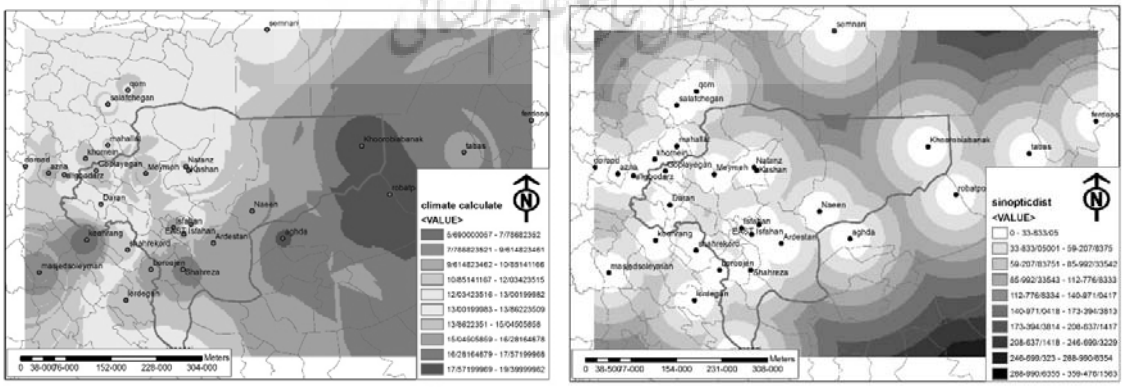
پست می‌باشند. میزان جذب و یا بازتابش انرژی حرارتی پرتوهای خورشیدی در لایه‌های بالایی جو کاهش و انرژی دریافتی افزایش می‌یابد (علیجانی، ۱۳۸۳) در نرم افزار GIS می‌توان به کمک دستور SOLAR HEIGHT، انرژی تابشی را در زمان‌های مشخص تعیین نمود.

– کاربری اراضی: با توجه به اثرات زیست محیطی و بیولوژیکی احداث نیروگاه، بهترین مکان استقرار در مناطق بایر و اراضی بلااستفاده است. بنابراین برای تعیین این اراضی از داده‌های کاربری اراضی و ارتفاع استفاده شد و مناطق مستعد شناسایی شدند.

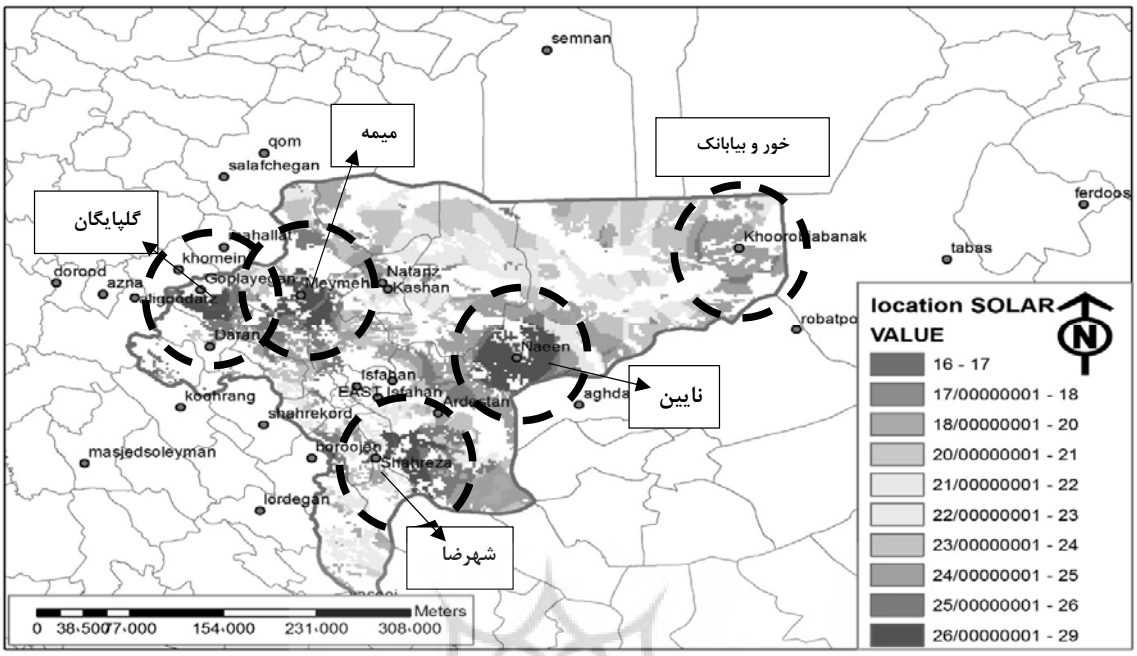


شکل ٦- طبقه بندی انرژی تابشی دریافتی و کاربری اراضی در لایه‌های ارتفاعی در سطح استان اصفهان

در نهایت لایه فاصله تا مراکز جمعیتی نیز تهیه شد. پس از اعمال درصد تأثیر، لایه‌های مجموع ساعات آفتابی سالانه، تعداد روزهای ابری در سال، تعداد روزهای بارانی در سال، تعداد روزهای گرد و غباری در سال، میانگین سالانه رطوبت نسبی، ارتفاع و مجموع بارندگی سالانه از طریق مدل همپوشانی وزنی، با هم تلفیق شده (Weighted Overlay) و لایه پهنه‌های مناسب جهت استقرار پنل‌های خورشیدی در استان اصفهان تهیه گردید. بر اساس نقشه نهایی همپوشانی، اولویت بندی مکانیابی احداث نیروگاه خورشیدی را در نقشه زیر به‌خوبی قابل مشاهده است:



شکل ۷- طبقه بندی فاصله مراکز جمعیتی و تلفیق اقلیمی در سطح استان اصفهان



شکل ۸- اولویت بندی مکانیابی احداث نیروگاه خورشیدی در سطح استان اصفهان

٤- نتیجه گیری

در سال‌های اخیر بحران جهانی انرژی، محدودیت سوخت‌های فسیلی افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمای روزافزون کره زمین موجب شده که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیری به ویژه انرژی خورشیدی نه تنها در نیروگاه‌های بزرگ برای مصارف عمومی بلکه در خانه‌ها برای استفاده شخصی رواج یابد. انواع نیروگاه‌های انرژی خورشیدی طراحی، ساخت و راه اندازی شده که روزانه بیش از هزار کیلو وات برق از طریق پروژه‌های مختلف تولید می‌کند و همچنین سالانه بیش از یکصد نوع تجهیزات جدید انرژی خورشیدی اختراع می‌شود تا اینکه بازار جهانی این صنعت مهم را در اختیار خود به‌صورت انحصاری محفوظ نگهدارد و به مرور زمان اکثر مکانهای مسکونی، تجاری، صنعتی و... از این انرژی برای برق و گرمای خود استفاده نمایند. کشور ایران به لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی و متوسط ساعت آفتابی سالانه بیش از ۲۹۰۰ ساعت، یکی از کشورهای مناسب جهان است و انرژی خورشیدی در آینده سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص خواهد داد. در این پژوهش سعی شد تا با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی و فیزیکی به شناسایی مناطق مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی در استان اصفهان پرداخته شود.

پس از تهیه نقشه پتانسیل مکانی مشخص شد که: حدود ۱۷ درصد از مساحت استان در وضعیت بسیار مطلوب، ۳۱ درصد در وضعیت مطلوب، ٤۲ درصد در وضعیت متوسط و ۱۰ درصد در وضعیت نامطلوب از لحاظ استقرار پنلهای خورشیدی قرار دارد. بهترین مکان برای بهره برداری از انرژی خورشیدی شهرستانهای نایین و میمه در اولویت اول

و گلپایگان در اولویت دوم و شهرضا در اولویت سوم تشخیص داده شدند.

با توجه به فاصله شهرستان خورو بیابانک از مراکز مصرف درون استان، می‌توان تبادل انرژی را در مقیاس فرامنطقه‌ای مدیریت نمود. مکان‌هایی که پتانسیل پایین دریافت انرژی خورشیدی دارند عمدتاً در فاصله کم از مناطق با پتانسیل بالا هستند که امکان انتقال انرژی به این مکانها وجود دارد. مناطق مختلف استان می‌توانند از صورتهای دیگر انرژی پاک مانند انرژی باد به‌خوبی استفاده نمایند؛ بنابراین به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در کل استان امکان نصب کلکتورهای متعدد و پراکنده در نقاط دریافت کننده بیشتر وجود دارد.

۵- پیشنهادها

برخی پیشنهادهای این پژوهش عبارتند از:

بررسی امکان استفاده از سایر انرژی‌های پاک مانند باد در مناطق مستعد؛

بررسی امکان افزایش دریافت انرژی با حذف موانع عبور پرتوهای خورشید مانند ایجاد امکان حرکت هوا به کمک جریانهای هوای مصنوعی به منظور کاهش گرد و غبار و رطوبت نسبی و در نتیجه افزایش ساعت آفتابی مفید؛

احداث تاسیسات و کاربری‌های متناسب با مصرف انرژی خورشیدی در اطراف نیروگاه‌های خورشیدی؛

امکان ایجاد خلاهای آلودگی هوا به منظور عبور پرتوهای نور خورشید از لایه‌های میانی جو از طریق ایجاد مغناطیس جوی؛

تعریف منطقه‌بندی جدید در صادرات و واردات صورت‌های مختلف انرژی‌های پاک؛

افزایش سطوح تیره دریافت کننده انرژی مانند کفسازی معابر و مسیرهای حرکتی، بام منازل، نماهای جنوبی و غربی ساختمانها و ... با هدف تأمین بخشی از انرژی مصرفی در مقیاس کوچک (خانه)؛

استفاده از تاسیسات با دو منبع تأمین انرژی شامل انرژی خورشیدی و دیگری انرژی آب یا باد؛

طراحی سیستم‌های هوشمند ذخیره انرژی‌های پاک متعدد و استفاده در مصارف متناسب؛

امکان استفاده از متمرکز کننده و بازتابنده در لایه‌های بالای موانع عبور نور خورشید (نصب بر روی نقاط ارتفاعی).

منابع

احمدپور، امین، (۱۳۹۳)، معرفی انواع انرژی‌های تجدید پذیر و بررسی مزایای استفاده از آن، ششمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد.

استادزاد، علی‌حسین، (۱۳۹۲)، پیش بینی بلندمدت سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی در قالب یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران (۱۴۲۰-۱۳۸۷)، مجله پژوهش‌های سیاستگذاری انرژی، سال یکم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، صفحات ۵-۲۸

اسفندیاری، علی، (۱۳۸۳)، پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS

بصیرت، میثم، (۱۳۹۰)، آشنایی با محدوده شهری، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

بهبودی، داود، مهین اصلانی نیا، نسیم، سجودی، سکینه، (۱۳۸۹)، تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در اقتصاد ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره ۲۶

بهره‌دار، سید ابوالفضل، جوادی، امیررضا، امانی، مژگان، (۱۳۹۳)، سامانه مدیریت انرژی بر مبنای استاندارد ISO۵۰۰۰۱:۲۰۱۱، انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران

پروژه ارزیابی توجیه پذیری و شناخت محیط بخش انرژی خورشیدی کشور، (۱۳۹۰)، سازمان انرژی‌های نو ایران، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی، گزارش شناخت وضع موجود کشور در زمینه برق خورشیدی /بررسی فن آوری‌های برق خورشیدی، پروژه نقشه راه احداث ۲۰۰۰ مگاوات برق خورشیدی و صنایع پشتیبان

پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی، (۱۳۹۰)، گزارش شناخت وضع موجود کشور در زمینه برق خورشیدی /بررسی فن آوری‌های برق خورشیدی، پروژه نقشه راه احداث ۲۰۰۰ مگاوات برق خورشیدی و صنایع پشتیبان

حق‌پرست، کاشانی و آرش و پژمان صالح ایزدخواست و حمیدرضا لاری (۱۳۸۸)، تدوین اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل تابش سنجی NRI، مجموعه مقالات بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق.

حیدری، مهدی، (۱۳۸۳)، مکان یابی ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، نفت و انرژی.

خوش اخلاق، فرهاد، (۱۳۸٦)، مکان یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی، نشریه سپهر.

رشیدزاده، مهدی؛ محمدحسین شمس؛ امیرحسین شیخ و پری خادمی ندوشن، (۱۳۹۱)، بررسی پتانسیل اقلیمی و تابش خورشیدی جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک در منطقه هلجرد، دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا

رئوفی‌راد، مجید، حقیقی خوشخو، رامین، (۱۳۷۳)، بررسی کلی فنی اقتصادی و پیشنهاد مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی، مجموعه مقالات سمینارهای انرژی خورشیدی.

زیاری، کرامت اله، (۱۳۹٤)، اصول و روش‌های برنامه ریزی منطقه ای، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات، چاپ ۱۳.

سازمان انرژی‌های نو ایران سانا، (۱۳۸۷)، گزارش اول: از انرژی‌های نو چه می‌دانید: انرژی خورشیدی، سازمان انرژی‌های نو ایران، تهران.

سعیدی، محسن، کرباسی، عبدالرضا، سهراب، تیکا، صمدی، رضا، (۱۳۸٤)، مدیریت زیست محیطی نیروگاه‌ها، وزارت نیرو- سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا).

شرافتی، کیهان، زارعی، قاسم، گازر، حمیدرضا، گرامی، کریم، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی کشور برای مکان‌یابی قطب مستعد توسعه گلخانه‌های خورشیدی، سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

صادقی، زین العابدین، دلال باشی اصفهانی، زهرا، حری، حمیدرضا، (۱۳۹۲)، مجله پژوهش‌های

برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی، سال یکم، شماره ۲، صفحات ۹۳-۱۱۰.

صفایی، بتول، خلجی اسدی، مرتضی، طالقانی، گیتی، (۱۳۸۳)، برآورد پتانسیل و شدت تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن، علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۳۳.

صمدی، رضا، یوسفی، حسین، (۱۳۸۵)، انتخاب بهینه محل احداث نیروگاه‌های حرارتی با لحاظ نمودن پارامترهای فنی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان فارس، سازمان بهره وری انرژی ایران، گروه محیط زیست

عیسی‌زاده، سعید، مهرانفر، جهانبخش، (۱۳۹۱)، بررسی ارتباط میان مصرف انرژی و سطح شهرنشینی در ایران، فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال اول، شماره دوم.

فرجی سبکبار، حسنعلی، پاک طینت مهدی آبادی،هادی، رحیمیکیان، اشکان، عشورنژاد، غدیر، (۱۳۹۲)، تناسب سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک به کمک تلفیق سیستم‌های جمع سادهٔ وزنی و استنتاج فازی در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ٤٥، شمارهٔ ٤، ٤٥-٦٠.

فرقانی، علی، آخوندی، علیرضا، (۱۳۹۲)، درآمدی بر تدوین نقشه راه نیروگاه خورشیدی در ایران، دوفصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۲۱.

فرهمندفر، زهرا، (۱۳۸۹)، آیا ایرانم یتواند انرژی خورشیدی را جایگزین کند، مجموعه مقالات اولین همایش از سلسله همایشهای تخصصی چشم انداز.

کارگری، نرگس، مستوری، رضا، (۱۳۸۹)، مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در انواع نیروگاه‌های برق با استفاده از رویکرد LCA، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره ۲.

کاظم زاده حنانی، سیامک (۱۳۸۰)، گزارش منطقه بندی اقلیمی و طرح آمارگیری پروژه: بهینه سازی لوازم و تجهیزات خانگی از دیدگاه مصرف انرژی، پژوهشکده علوم و فنآوری انرژی شریف.

کردجمشیدی، ماریا، پورشاهید، شیما، (۱۳۹۰)، امکان سنجی بهره گیری از نیروگاه‌های دودکش خورشیدی در ایران، نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید.

کسمایی، مرتضی، (۱۳۷۲)، پهنه‌بندی اقلیمی ایران مسکن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مازریا، ادوارد، (۱۳۸۵)، معماری خورشیدی غیرفعال، بیژن آقازاده، چاپ اول، پیک ادبیات، تهران.

منجذب، محمدرضا، حاجی ابولی، سروش، (۱۳۹٤)، برآورد مصرف بهینه برق خانگی ایران به روش مقایسه‌ای،فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی، ش. ۲۱.

موسوی بایگی، محمد و اشرف، بتول؛ (۱۳۹۰)، شناسایی مناطق با کمترین میزان ابرناکی به منظور پهنه بندی نواحی پرتابش کشور، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۳.

موقری، علیرضا، طاوسی، تقی، (۱۳۹۲)، امکان سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان، مجله پژوهشهای برنامه ریزی و سیاستگذاری انرژی، سال یکم، شماره ۱، صفحات ۹۹-۱۱٤.

نشریه سازمان انرژی نو ایران، (۱۳۹٤)،۱۲ دلیل لزوم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، سال هشتم، شماره ٤۳.

نصیری، مریم، (۱۳۹۱)، ارزیابی انرژی پتانسیل خورشیدی در مناطق بیابانی ایران، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.

نقوی آزاد، امیر، (۱۳۹۱)، انرژی خورشید جایگزینی برای انرژی‌های فسیلی، نشریه نشاء علم، سال دوم، شماره دوم، ٤۲-٤۸.

نوعی، سیدحسین؛ محسن پاکیزه سرشت و مرتضی آدینه نیا، (۱۳۸٤)، بحران انرژی و ایجاد الگو و ساختارهای مصرف بهینه انرژی، دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

یشگاهی فرد، زهرا، (۱۳۹۰)، سیستم اطلاعات جغرافیایی و نقش آن در مکان یابی مناطق مخاطره آمیز شهری (GIS).

یوسفی، حسین؛ نورالهی، یونس؛ سلطان محمدی، مجید؛ ارجمندی، رضا، (۱۳۹۱)، کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکانیابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS (مطالعه موردی استان تهران)، نشریه انرژی، دوره ۱۵، شماره ٤، صفحه ۸.

Bales, C and T Persson (2003), External DHW units for solar combisystems, Solar Energy, N.74, pp. 193-204.

Bolinger M, Wiser R, (2005), Balancing cost and risk: the treatment of renewable energy in western utility resource plans, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.

Capehart BL, (2007), Encyclopedia of energy engineering and technology. CRC Press, Boca Raton

Demirel, Y. (2012), Energy, Green Energy and Technology, Springer-Verlag London

Dipippo, R. (2012). Geothermal Power Plants, Massachusetts: Butterworth Heinemann

Dudley, Nigel, (2008), Back to the energy crisis— the need for a coherent policy towards energy systems,Policy Matters

Duffie, John A. Beckman,William A. (2013), Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley

EIA (2011), Renewable energy consumption and electricity preliminary statistics

Fang, Y. W. (2012), "Solar Energy Sorage Using Phase Changeh Materials", Renewable Energy Focus, PP. 508-518

Fraisse, G and Y Bai and N Le Pierrès and T Letz (2009), Comparative study of various optimization criteria for SDHWS and a suggestion for a new global evaluation, Solar Energy, N.83, pp. 232-245.

Gunerhan, H and A Hepbasli (2007), Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications,Building and Environment, N.42, pp. 779–783.

HARPER,GAVIN D. J. (2009), Solar Energy: projects for the EVIL GENIUS,McGraw-Hill Companies,Inc.

Henemann, A. (2008), "BIPV: Built-in Solar Energy", Renewable Energy Focus, PP. 14-19

IEA Energy Statistics Manual C OECD/IEA, 2005

IPCC. (2000), "Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories". Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kenisarin, M. (2007), Solar Energy Storage Using Phase Change Materials, PP. 1913-1965

Miller, A. L. (2012), Utiliti Scale Solar Power Plants, NEW Delhi: IFC

Moghadam, H and F Farshchi Tabrizi and A Zolfaghari Sharak (2011), Optimization of solar flat collector inclination,Desalination, N. 256, pp. 107-111.

Muckerheide, J. (2005), "How to build 6,000 Nuclear Plants by 2050". Executive Intelligence Review

Muneer, T. Muneer, S. (2006),Discourses on solar radiation modeling. Renewable and sustainable energy review, volumell, Issuet 4, pages 551-602

Pareto, V. E. and Pareto, Marcos Pompeu, (2008), The Urban Component of the Energy Crisis, Urbanistica, Forthcoming

Shariah, A and M.A Al-Akhras and I.A Al-Oman (2002), Optimizing the tilt angle of solar collectors, Renewable Energy, N.26,pp. 587–598

Sheng C, Azevedo JLT (2005) Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. Biomass Bioenergy 28:499–507

Shu, Frank H. (2008),"Global Change and the Energy Crisis, Scientific American Taiwan Special Issue, Dec., pp. 4-33

Skeiker, K (2009), Optimization tilt angle and orientation for solar collectors in Syria, Energy Conversion and Management,N.50, pp. 2439-2448.

Weighted Overlay

Weisser, D. (2007), A "guide to life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies", PESS/IAEA, Austria

World Energy Council, (2015), World Energy Issues Monitor