فصلنامه مطالعات مدیریت شهری
سال چهارم/ شماره دهم/ تابستان ۱۳۹۱

امکان سنجی احداث نیروگاه فتوولتائیک به منظور تأمین برق شهر مطالعه موردی:حوزه شهری گرمسار

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۷

نرگس منصوری
کارشناس ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
nmansoori229@gmail.com (مسئول مکاتبات)
اسماعیل شیعه
عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران *es_shieh@Iustac.ir*

چکیده

مقدمه و هدف پژوهش: طبق ترازنامه انرژی ۹۹/۸۸ درصد از انرژی مورد نیاز ایران، از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. این در حالی است که بر اساس آمار بانک جهانی، خسارت ناشی از آلودگی هوا در ایران؛ در ده سال آینده به ۱۶ میلیارد دلار خواهد رسید. در چنین شرایطی و به خصوص با توجه به قابلیت‌های بالقوه سرزمین برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر؛ بهره‌گیری از این منابع خدادادی راه حلی مناسب محسوب می‌شود. استفاده از انرژی خورشیدی به صورت فتوولتائیک در ابعاد یک نیروگاه برای تأمین برق شهر یکی از راه‌های نوین و کارامد در مناطق با تابش مناسب نور خورشید است. هدف پژوهش حاضر یافتن معیارها و زیر معیارهای موثر بر ایجاد مزارع فتوولتائیک در حوزه شهری گرمسار است.

روش پژوهش: این پژوهش که با استفاده از روش «تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی»[1] به وزن‌دهی معیارها و زیر معیارهای مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک پرداخته است، «توصیفی-تحلیلی» است. گردآوری اطلاعات از راه پرسشنامه مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است.

یافته‌ها:

۱) در میان معیارهای مختلف برای ایجاد مزارع فتوولتائیک، اقتصاد و از میان زیر معیارهای موجود، قیمت نهایی برق از وزن بالاتری نسبت به سایر عوامل برخوردار است.

۲) مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه فتوولتائیک در حوزه شهری گرمسار؛ به عنوان یکی از مناطق مرکزی ایران، قابلیت بهره برداری به منظور تولید برق شهر را دارد.

نتیجه گیری: استفاده از روش «تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی» برای تعیین عوامل موثر بر امکان سنجی و مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک، شرایط لازم برای وزن‌دهی لایه‌های گوناگون در «سیستم اطلاعات جغرافیایی»[2] را فراهم می‌کند؛ و بر اساس روی هم گذاری لایه‌های گوناگون می‌توان مناطق بهینه جهت احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک را شناسایی نمود.

واژگان کلیدی: امکان سنجی، انرژی فتوولتائیک، حوزه شهری، منابع انرژی تجدیدپذیر

مقدمه

بحث انرژی به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه در جهان مطرح است و به این ترتیب برنامه‌ریزی برای تأمین انرژی و روش‌های تهیه آن بر سیاست‌های کلان ملی و منطقه‌ای تأثیر به سزایی دارد. در چنین شرایطی و با توجه به قابلیت‌های گوناگون و بالای سرزمین برای استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر تحقیق و بررسی همه جانبه در مورد استفاده بهینه از این قابلیت‌ها ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

با رویکرد توسعه پایدار در کنار شرایط اقلیمی و جغرافیایی، عوامل دیگری مانند مسائل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی و به طور کلی سه مشخصه انسان، فضا و فعالیت در امکان سنجی بهره برداری از این قابلیت‌های سرزمین اهمیت می‌یابد؛ و به این ترتیب برنامه‌ریزی برای استفاده از منابع انرژی صورت فضایی می‌یابد.

امروزه برنامه‌ریزی برای تأمین انرژی اهمیت خاصی پیدا کرده است. منابع انرژی تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی در حال اتمام است و طبق برآوردهای انجام شده تا سی سال آینده این منابع در اکثر کشورها به پایان می‌رسد. این در حالی است که مشکلات غیر قابل جبران زیست محیطی همچون گرم شدن کره زمین، از بین رفتن فصل‌ها و آلودگی هوا که منشأ بیماری‌های گونه‌های جانوری و گیاهی است، ناشی از استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر است. در چنین شرایطی تلاشی بین‌المللی برای تغییر منابع انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای رهایی از این معضلات ضروری است.

ایران به عنوان کشوری با تابش بسیار مناسب خورشید در بسیاری نقاط قابلیت‌های لازم برای بهره برداری از این نعمت خدادادی را دارد. در پژوهش حاضر سعی شده است با توجه به مطالعات بین‌المللی انجام شده و همچنین شرایط محدوده مورد مطالعه، عوامل موثر بر برنامه‌ریزی برای احداث نیروگاه فتوولتائیک در حوزه شهری گرمسار بررسی شود و اهمیت هر یک از عوامل مورد ارزیابی قرار گیرد. این بررسی به عنوان گامی لازم برای برنامه‌ریزی استفاده از منابع انرژی می‌تواند راهنمای برنامه ریزان انرژی شهر باشد.

مروری بر چارچوب مفهومی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی؛ روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به سادگی، انعطاف پذیری، به‌کارگیری معیارهای کیفی و کمی به طور همزمان ونیز قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در بررسی موضوعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای کاربرد مطلوب داشته باشد. (زبردست ۱۳۸۰، ۱۳)

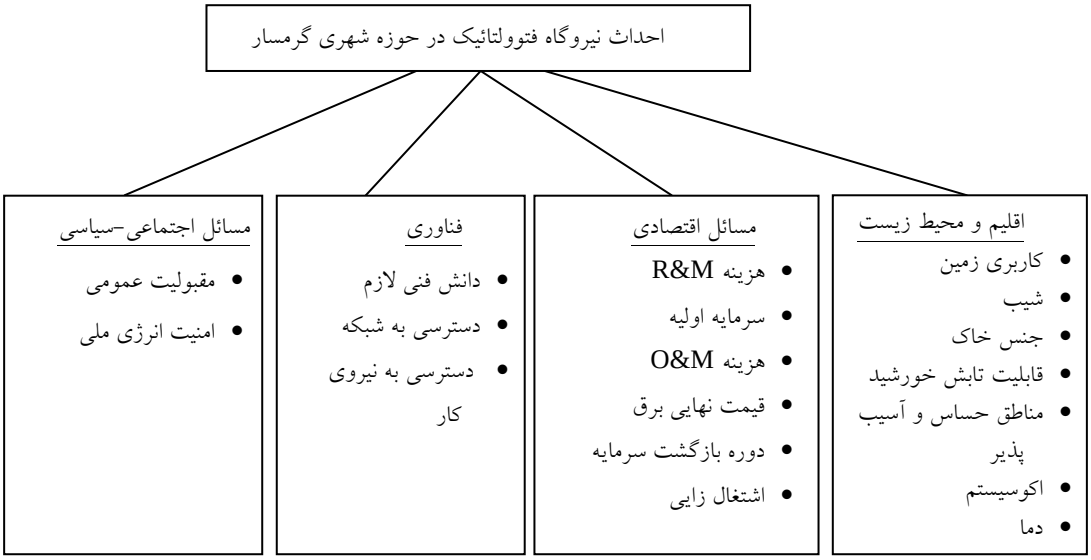
اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که در آن هدف‌ها، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود. چهار مرحله بعدی در این روش، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها و زیر معیارها، محاسبه‌ی وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه‌ی امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست. (اشکوری ۱۳۸۸، ۱۳۳)

ساختار سلسله مراتبی این تحقیق که ارتباط بین هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه مورد بررسی را بیان می‌کند، در نمودار ۱ مشاهده می‌شود.

در مرحله بعد از پژوهشگران سه رشته محیط زیست، آمایش سرزمین و اقتصاد سبز خواسته شد تا به مقایسه عوامل مذکور بپردازند. از این مرحله به بعد؛ عملیات ریاضی تحلیل سلسله مراتبی برای رسیدن به تصمیم بهینه به شرح زیر شروع می‌شود که با استفاده از نرم افزار Expert choice انجام شده است:

مرحله اول) مقایسات زوجی

اساس این روش بر مبنای مقایسات زوجی قرار دارد؛ لذا پس از تشکیل درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل و عناصر موجود در هر سطح پایین به بالا نسبت به تک تک عوامل و عناصر موجود در سطوح بالاتر به صورت دو به دو توسط تصمیم گیرنده مورد مقایسه قرار می‌گیرند. به این ترتیب جدول‌های مقایسه‌ای ایجاد می‌گردد. مقایسات زوجی و امتیازدهی مربوطه بر اساس جدول استاندارد شده ساعتی به صورت جدول ۱ انجام می‌گیرد. حاصل کار تشکیل یک ماتریس است که آن را A می‌نامیم؛ لذا A یک ماتریس مثبت و معکوس پذیر است. به طوری که اگر $a_{ij}=1$ باشد، آنگاه i=j. این روش در دهه ۸۰ در تصمیمات گروهی نیز استفاده شد. به این ترتیب تعداد تصمیم گیرندگان:$l=1,2,3,\ldots,k$ و در مورد معیارها و زیر معیارها نیز داریم: $i,j=1,2,3,\ldots,n$ (هاشمی، ۱۳۸۵ :۲)



نمودار ۱: ساختار تحلیل سلسله مراتبی در عوامل موثر بر احداث نیروگاه فتوولتائیک در حوزه شهری گرمسار

مرحله دوم)استخراج ضریب اهمیت هر یک از ماتریس‌ها

برای استخراج ضریب اهمیت؛ از دو مفهوم نرمال سازی و میانگین موزون استفاده می‌شود. پس از نرمال کردن، از مقادیر هر سطر ماتریس نرمال شده، میانگین گرفته می‌شود تا اولویت (میزان اهمیت) عامل مربوط در سطر مذکور به دست آید. (همان، ۳)

مرحله سوم) محاسبه نرخ سازگاری

یکی از نقاط قوت فرایند تحلیل سلسله مراتبی، استفاده از نرخ سازگاری برای بررسی درجه پایایی ماتریس‌های مقایسات زوجی است. سنجش نرخ سازگاری با استفاده از منطق ریاضی بردارهای ویژه صورت می‌گیرد. بدیهی است چون تصمیم گیرنده به مقایسه زوجی عوامل می‌پردازد امکان دارد مقایسات او در کل با هم سازگار نباشد؛ لذا وجود یا عدم وجود سازگاری در مقایسات، با محاسبه نرخ سازگاری انجام می‌شود. (همان، ۳)

ادبیات پژوهش

- **آمایش سرزمین**

به طور کلی آمایش سرزمین عبارت از «تنظیم رابطه بین انسان، سرزمین و فعالیت‌های انسان در سرزمین به منظور بهره -برداری در خور و پایدار از جمیع امکانات انسانی و فضایی سرزمین در جهت بهبود وضعیت مادی و معنوی اجتماع در طول زمان است». (مخدوم ۱۳۸۰، ۲۴)

فرایند آمایش سرزمین که به طور هم زمان ارائه چارچوب‌های توسعه در قالب بخش‌های اقتصادی و یا در قلمرو مناطق گوناگون کشور را امکان پذیر می‌سازد، در واقع مهم‌ترین ابزار هماهنگ‌سازی بین جهت گیری‌های توسعه بخشی و اصول توسعه منطقه‌ای است. (پیشگفتار مطالعات طرح آمایش سرزمین اسلامی ایران، ۱۳۶۸)

جدول ۱: مقیاس ۹ کمیتی برای مقایسه دو دویی معیارها

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف دو معیار اهمیت برابر دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت iاز jبیشتر است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت iاز j خیلی بیشتر است
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت iاز j خیلی بیشتر است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر iاز j به اثبات رسیده است
۲ و ۴ و ۶ و ۸		هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.

مآخذ (زبردست ۱۳۸۰، ۱۵)

یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی منطقه ای، کاهش نابرابری فضایی است. برای کاهش شکاف بین مناطق کمتر توسعه یافته و بیشتر توسعه یافته، برنامه‌ریزی منطقه‌ای باید به گونه‌ای انجام گیرد تا ضمن جلوگیری از شکاف بیشتر بین مناطق، شکاف موجود نیز هرچه بیشتر کاهش یابد. . (عظیمی ۱۳۸۴، ۱)

- **منابع انرژی تجدیدپذیر**

انرژی تجدید پذیر بنا به تعریف عبارت است از «انرژی به دست آمده از جریان‌های انرژی پیوسته یا متناوب قابل بازگشت به محیط زیست». یا به عبارت دیگر: «جریانات انرژی جایگزین شونده به همان میزان که مصرف شوند». از دیدگاه نظری، چشمه‌ی انرژی پایدار، چشمه‌ای است که با استفاده‌ی پیوسته، تمام شدنی نباشد، الزاماً دارای آلودگی زیاد و موثر و یا سایر مسائل زیست محیطی نبوده و همچنین دارای خطرات و لطماتی برای سلامتی و یا بی عدالتی‌های اجتماعی نشود. (عظیمی ۱۳۸۴، ۲۰)

ویژگی‌های منابع انرژی تجدیدپذیر را می‌توان به این ترتیب تقسیم بندی کرد (معینی ۱۳۹۰، ۱) :

- وجود ذخایر عظیم پایان ناپذیر
- دسترسی آسان
- وجود منابع پاک
- بهره‌گیری از انرژی متناسب با شرایط جغرافیایی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی کشور

انواع منابع انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین گرمایی، انرژی زیست توده، انرژی امواج و جزر و مد دریا و انرژی آبی (برق آبی) است.

- **انرژی خورشیدی**

انرژی خورشیدی یک منبع پایان ناپذیر انرژی پاک است که ۹۹/۹۸ درصد از انرژی را به عنوان انرژی تجدیدپذیر فراهم می‌سازد (Xinyu 1285,2011).

در شرایط آسمانی صاف یعنی در شرایط رطوبت و غبار بسیار کم و بدون آلودگی تابش خورشیدی در یک زمان مشخص تنها به عرض جغرافیائی محل و ارتفاع از سطح دریا و ضریب انعکاس زمین بستگی دارد. مقادیر حداکثر با افزایش ارتفاع زمین و افزایش خاصیت انعکاس زمین و همیشه در نیمروز به دست می‌آید. در شرایط ارتفاع خورشیدی کمتر و ضریب جذب اتمسفری و پراکندگی بیشتر، کل تابش کاهش پیدا کرده در حالی که بخش پراکنده تابش خورشیدی افزایش می‌یابد. (خادمی ۱۳۷۵، ۶۴)

اگر با نگرش کلان به زمین به عنوان یک سامانه انرژی بنگریم؛ مناطق با تابش مناسب توان برآوردن نیاز به انرژی تمام کره زمین را خواهند داشت. مساحت کل زمین در این مناطق با تابش خورشیدی زیاد (که بیشتر صحراهای خشک با استفاده‌های اقتصادی، گیاهی، حیوانی و انسانی نسبتاً کم هستند) در حدود ۳۶ میلیون کیلومتر مربع است که میانگین توان تابش مستقیم دریافتی توسط یک صفحه با ردگیری در دو محور در این مناطق به طور متوسط مساوی با $۰/۳\ Kw/m^2$ می‌باشد. اگر از نیروگاه‌های ۲۰۰Mw جمع کننده مرکزی استفاده کنیم و بازده آن‌ها را ۱۷ درصد فرض کنیم؛ آنگاه به ۵/۴ درصد از این مساحت نیاز داریم تا کل نیاز انرژی جهانی در سال ۲۰۲۰ را که توسط WEC تخمین زده شده تأمین نماییم. (خادمی ۱۳۷۵، ۱۱۷)

در عصر حاضر از انرژی خورشیدی توسط سامانه‌های مختلف و برای مقاصد متفاوت استفاده می‌شود که عبارتند از (محمودی نژاد ۱۳۸۹، ۱۹۱) :

۱) سامانه‌های های فتوبیولوژیک :تغییراتی که در حیات و زیست گیاهان و جانوران به وسیله‌ی نور خورشید و فتوسنتز ایجاد می‌شود.
۲) سامانه‌های شیمی خورشیدی: تغییرات شیمیایی در اثر الکترولیزورهای‌نوری، تأسیسات تهیه هیدروژن
۳) سامانه‌های فتوولتائیک :تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی با سلول‌های خورشیدی
۴) سامانه‌های گرمایش خورشیدی : شامل سامانه‌های تهیه آب گرم، گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، تهیه آب شیرین، برج‌های نیرو، خشک کن‌های خورشیدی و ...

در این تحقیق سامانه‌های فتوولتائیک و گرمایش خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- **فتوولتاییک خورشیدی** (PV)

سامانه فتوولتایی سامانه است که در آن انرژی خورشیدی جهت اهداف خاص به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. (پورسلطانی، ۸۹)

استفاده از این فناوری را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (Alam Hossain Mondal 2010,2403) :

۱) سامانه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه

این سامانه در کشورهایی به کار می‌رود که دارای شبکه‌های عظیم برق هستند. یک سامانه PV با تبدیل برق DC تولیدی به AC، انرژی تولیدی خود را به شبکه می‌فرستد؛ و به این ترتیب شبکه؛ برق تولیدی این سامانه را ذخیره می‌کند.

۲) سامانه برق خورشیدی خانگی (SHS)

۳) سامانه‌های هیبریدی

- سامانه‌های PV غیر مرکزی در سکونتگاه‌ها

امروزه سیستم‌های فتوولتاییک فراوانی وجود دارد که با توجه به کاربردهای آنها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. سیستم‌های تولید قدرت فتوولتاییک ثابت کرده‌اند که قابل اعتماد بوده و با توجه به تجربیاتی که به دست آمده، چه از نظر بهره برداری و چه از نظر هزینه سرویس و نگهداری، توجیه پذیر می‌باشد. بر اساس مطالعات و بررسی‌هایی که دپارتمان انرژی امریکا (DOE) به عمل آورده، احداث یک سامانه فتوولتاییک برای تولید برق، اغلب بسیار ارزان‌تر از تأمین برق مزبور با کشیدن خط جدیدی از شبکه سراسری و نگهداری آن است. (محمودی نژاد ۱۳۸۹، ۲۲۸) از جمله موارد استفاده از PV به صورت غیر مرکزی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (محمودی نژاد ۱۳۸۹، ۲۳۵):

- کاربردهای مستقل خود اتکا برای مناطق دوردست
- سیستم‌های انتقال (پمپینگ) PV در آبرسانی شهری
- سیستم‌های PV در مخابرات شهری
- آبگرمکن‌های فتوولتاییکی
- آب شیرین کن‌های فتوولتاییکی

سابقه پژوهش

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی و تصمیم گیری‌های چند معیاره جایگاه ویژه‌ای دارد. این روش در تصمیم گیری و ارزیابی مسائل شهری از جمله تأمین انرژی شهر نیز اهمیت یافته است. به خصوص از دهه ۷۰ میلادی که بحران انرژی باعث اولویت یافتن برنامه‌ریزی انرژی شد، پژوهشگران زیادی در سراسر دنیا به بررسی عوامل و معیارهای موثر بر این مسئله پرداخته‌اند. جدول ۲ پژوهشگرانی را که در دهه اخیر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به برنامه‌ریزی در زمینه انرژی پرداخته‌اند را نشان می‌دهد. در این جدول معیارهای مورد نظر هر یک از محققان نیز قابل مشاهده است.

جدول ۲: معیارهای مورد بررسی در تحلیل سلسله مراتبی در دهه اخیر در بحث انرژی تجدیدپذیر

سال انتشار	استفاده از ارزیابی چند معیاری در بحث انرژی تجدید پذیر					محقق
	فناوری	اقتصاد	محیط زیست	مسائل اجتماعی	مسائل سیاسی	
۲۰۰۲	×	×	×			Afgan and carvalho,2002
۲۰۰۴	×	×				Aras et al. ,2004
۲۰۰۴		×			×	Kablam,2004
۲۰۰۴	×	×	×			Nigim et al. ,2004
۲۰۰۷	×	×	×			Lee et al. ,2007b
۲۰۰۷			×	×		Chatzimouratidis and Pilavachi,2007
۲۰۰۷		×	×	×		Nava and Daim,2007
۲۰۰۷		×	×			Daikoulak et al. ,2007
۲۰۰۷	×	×	×			Lee et al,2007a
۲۰۰۸	×		×	×		Chatzimouratidis and Pilavachi,2008a
۲۰۰۸		×				Jaber et al,2008
۲۰۰۸		×				Lee et al,2008b
۲۰۰۸	×	×	×			Papalexandrou et al,2008
۲۰۰۸	×			×	×	Stephen et al,2008
۲۰۰۹	×		×		×	Chen and Yu,2009
۲۰۰۹		×			×	Lee 2008a
۲۰۰۹	×	×	×			Pilavachi et al. ,2009
۲۰۰۹	×	×	×			Daim et al. ,2009
۲۰۰۹	×	×				Kahraman et al. ,2009
۲۰۰۹	×	×		×		Tsoutsos et al. ,2009
۲۰۱۰		×				Lee and Hwang. ,2010

روش شناسی و تبیین شاخص‌ها

همان طور که گفته شد اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی؛ ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که در آن هدف‌ها، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آنها نشان داده می‌شود. در این تحقیق، هدف، امکان سنجی و مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک برای تأمین برق شهری است. بر پایه تحقیقات انجام شده در مورد برنامه‌ریزی و مکان‌یابی انرژی‌های تجدیدپذیر، و همچنین با توجه به شرایط حوزه مورد مطالعه؛ طی این پژوهش، معیارهای محیط زیست، مسائل اقتصادی، فناوری و مسائل سیاسی-اجتماعی مورد توجه قرار گرفته شد. برای هر یک از این معیارها طبق فرایند تحلیل سلسله مراتبی؛ زیر معیارهایی در نظر گرفته شد که در اینجا شرح هر یک آمده است:

۱) اقلیم و محیط زیست

الف) زمین مناسب

زمین‌های کم ارزش از نظر رویش و زمین‌های با کاربری ضعیف در گذشته، که شرایط تابش خوب و یا وزش باد مناسب داشته باشند، بهترین گزینه برای استفاده به عنوان مزارع بادی و خورشیدی هستند. (Charabi 2011,2555)

بهترین پوشش شامل علف‌زارها، درختچه‌ها، جنگل‌های استپ، مزارع صیفی کاری، زمین‌های مسطح لم‌یزرع هستند. مناطق با پوشش گیاهی بلندتر و متراکم‌تر به خاطر ارزش‌های اکولوژیکی برای بهره برداری به عنوان مزارع بادی و خورشیدی مناسب نیست. (Janke 2010,2228)

با توجه به معادله کلی دیود که رفتار سامانه ساده فتوولتائیک را بیان می‌کند؛ افزایش دما سبب کاهش ولتاژ مدار باز و در نتیجه کاهش بازدهی سامانه فتوولتائیک می‌شود. (سردار آبادی ۱۳۹۰، ۱)

به این ترتیب لایه دمای محیط اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. سامانه فتوولتائیک در دماهای کمتر بازده بیشتری دارد.

نقاط سکونتگاهی، تپه‌های شنی و ریگ‌های روان، ابنیه تاریخی و زمین‌های با قابلیت گردشگری، مناطق با شیب بالای ۵ درصد، رودخانه‌ها و جاده‌ها و مناطق با خطرات طبیعی مانند زمین‌های سیل خیز از جمله زمین‌هایی هستند که برای استفاده در این مورد نامناسب هستند. (Charabi 2011,2557)

گسترش مزارع PV در مکان‌هایی بهینه است که تغییرات آب و هوایی کمی داشته باشد. چرا که این سامانه برای مدت طولانی و بدون نگهداری و پشتیبانی خاص برپا می‌شود. همچنین پرهیز از استقرار این سامانه در مسیر گرد و غبار، مکان‌های مه آلود و با رطوبت بالا نیز در بالا بردن بازده مزارع خورشیدی موثر است. برای مثال نیروگاه خورشیدی که سطح جمع کننده‌های آن در حالت پاکیزگی ۹۰ در صد بازده دارد؛ با وجود گرد و غبار سالانه ۱۰ درصد از بازده خود را از دست می‌دهد. از دیگر سو شستشوی تناوبی جمع کننده‌ها در شرایط جوی خشک و دور از منابع آب، هزینه‌ی برق فتوولتاییک حاصل را افزایش می‌دهد. . (همان، ۵)

ج) اکوسیستم و محافظت از آن

از نظر زیست محیطی، فناوری PV اثرات زیست محیطی منفی ندارد. این سامانه بدون آلودگی هوا و آلودگی صوتی است. البته این در صورتی است که مکان‌یابی با در نظر گرفتن مناطق حساس و آسیب پذیر زیست محیطی و چشم اندازهای خاص طبیعی انجام گیرد و خللی در دو مورد مذکور به وجود نیاورد. (Charabi 2011,2559)

۲) اقتصاد

شاخصه‌های مهم پروژه‌های انرژی، سرمایه بری زیاد و مقیاس بزرگ آنهاست که به طور اجتناب ناپذیری باعث اختلال در جوامع محلی چه به لحاظ اقتصادی و چه از بعد زیست محیطی می‌گردد. (طاهری فرد ۱۳۹۰، ۱۹)

فناوری انرژی خورشیدی بسیار متنوع است و بنابراین بازار و شرایط اقتصادی متفاوتی را ایجاب می‌کند. یکی از چالش‌های اصلی در بحث اقتصاد انرژی، تجزیه و تحلیل میزان انرژی تولیدی، با نوع فناوری، اندازه مزارع، کشور مورد بحث و زمان بررسی است. از هنگامی که قیمت سوخت فسیلی رو به افزایش گذاشت و فناوری استفاده از انرژی خورشیدی با گذر زمان دچار نوسان گردید، تجزیه و تحلیل اقتصادی در مورد آن هر سال با سال گذشته متفاوت است. (Timilsina 2011,451)

در این راستا می‌توان زیر معیارهایی برای بررسی معیار اقتصاد در نظر گرفت (Amer 2011,422) :

الف) هزینه تحقیق و توسعه (R&D)

هزینه تحقیق و توسعه در مورد گزینه‌های فناوری و تجزیه و تحلیل آن. عموماً گزینه‌ای از نظر اقتصادی مناسب‌تر است که میزان هزینه R&D آن کمتر باشد.

ب) هزینه سرمایه گذاری اولیه

که در واقع هزینه نصب و راه اندازی مزارع می‌شود و خود شامل هزینه تجهیزات، نیروی انسانی، نصب، زیرساخت و حق مأموریت و حق مشاوره مشاوران انرژی می‌باشد.

ج) هزینه عملیات و نگهداری(O&M)

هزینه عملیات و نگهداری است که خود شامل حقوق کارمندان و هزینه امکانات لازم برای بقای سامانه است. گزینه با O&M کمتر، گزینه مناسب‌تر از نظر اقتصادی خواهد بود.

د) ارزش اقتصادی در طول زمان

میزان ارزش مزرعه مورد نظر در مدت طولانی است که می‌تواند با روش بازگشت سرمایه مورد بررسی قرار گیرد.

هـ) قیمت برق تولیدی

تخمین قیمت برق تولیدی از مزرعه مورد نظر است. پایین‌ترین قیمت برق تولیدی از نظر اقتصادی از آن بهترین گزینه در این مورد است.

دسترسی به نیروی کار، دسترسی به شبکه برق سراسری، هزینه انتقال، شیب، کاربری و قیمت زمین گزینه‌هایی هستند که در قیمت برق تولیدی تأثیر گذار است. (Charabi 2011,2560)

و) اشتغال زایی

تولید شغل بر رشد بازارهای بین‌المللی و صادرات انرژی‌های تجدیدپذیر موثر است و عاملی که بر ایجاد شغل در این زمینه اثر می‌گذارد، کاهش قیمت انواع فناوری انرژی تجدیدپذیر در آینده است. (Lehr 2012,2)

به طور کلی مشاغل ایجاد شده در این زمینه را می‌توان به دو دسته مشاغل مستقیم و مشاغل غیر مستقیم تقسیم کرد. که مشاغل مستقیم عموماً به مشاغل مرتبط با ساخت تجهیزات اولیه اطلاق می‌شود. (Dalton 2011,2123)

با دیدگاه دیگری، مشاغل تولید شده در این زمینه (انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر) را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد (Moreno 2006,733):

- تحقیق در مورد تغییرات آب و هوایی و اقلیم و اثرات زیست محیطی ناشی از این فناوری‌ها
- بررسی اقتصاد انرژی
- تحقیق در مورد انواع انرژی‌های تجدیدپذیر
- مدیریت پروژه
- نصب و نگهداری سامانه‌ها
- تولید تجهیزات و سلول‌های فتوولتائیک و تجهیزات انرژی گرمایی خورشید
- بازرسی انرژی در ساختمان

۳) فناوری

طبق گزارش (IEA) آژانس بین‌المللی انرژی، برق خورشیدی تا ۲۰۵۰ تا حدود ۲۰ – ۲۵ درصد رشد خواهد یافت. این شامل سامانه‌های PV و CSP می‌شود که قادر خواهند بود ۹۰۰۰Twh انرژی تولید کرده و سالانه در حدود ۶ میلیارد تن تولید CO_2 را کاهش دهد. در مقایسه PV و CSP، نیاز CSP به مخازن محدود آب برای خنک‌کنندگی و شستشوی آینه‌ها؛ باعث می‌شود استفاده از سامانه V در کشورهای خشک بهتر بنماید. با توجه به منابع آب در دسترس در کشورهای خشک، فناوری PV دوستدار محیط زیست و اقتصادی‌تر است. (Charabi 2011,2560)

قابلیت بهره برداری انرژی باد در جهان ۱۱۰ اگا ژول (هر اگا ژول معادل ۱۰۱۸ ژول) برآورد گردیده است. (محمودی نژاد ۱۳۸۹، ۲۶)

زیر معیارهای مربوط به فناوری را می‌توان به شرح زیر تقسیم بندی کرد (Amer 2011,422):

الف) داشتن علم و تجربه لازم در زمینه فناوری مورد نظر

ب) در دسترس بودن شبکه برق سراسری

ج) در دسترس بودن نیروی کار

دسترسی به نیروی کار، به عواملی همچون نزدیکی به شبکه راه و سکونتگاه‌ها بستگی دارد.

سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) برای فاصله مزارع خورشیدی و بادی، بیشینه فاصله تا شبکه راه را ۱۵۰۰ متر تخمین زده است و مناطقی که نزدیک جاده هستند از اهمیت بیشتری برخوردارند. (Janke 2010,2228)

۴) مسائل سیاسی و اجتماعی

الف) مقبولیت عمومی

عوامل زیادی بر مقبولیت عمومی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیرگذار است که از آن جمله می‌توان به سرمایه فرهنگی مردم منطقه اشاره کرد. ابعاد سرمایه فرهنگی در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. با بررسی موضوع از دیدگاه بوردیو، موارد زیر به ترتیب اهمیت، در این مورد رتبه بندی می‌شود (سامانی فام ۱۳۹۰، ۶): ۱) عادات؛ ۲) تأثیرپذیری از آموزه‌های تربیتی و اجتماعی؛ ۳) سبک زندگی خانواده؛ ۴) تأثیرپذیری از آموزه‌های علمی؛ ۵) میزان تحصیلات؛ ۶) تأثیر پذیری از تبلیغات رسانه‌ای و مطبوعاتی.

ب) امنیت انرژی ملی

یک کشور می‌تواند با استفاده از ظرفیت‌های بومی برای تولید انرژی از واردات انرژی جلوگیری کند. (Amer 2011,432) کاهش واردات انرژی و استقلال در این زمینه؛ باعث امنیت انرژی و با توجه به اهمیت بحث انرژی، موثر در امنیت ملی خواهد بود.

محدوده مطالعاتی

گرمسار؛ مرکز شهرستان گرمسار؛ در استان سمنان است. این شهرستان از شمال به شهرستان دماوند، از جنوب به شهرستان‌های اردستان و کاشان، از شرق به شهرستان سمنان و از غرب به شهرستان‌های ورامین و قم محدود می‌شود. این شهرستان از نظر جغرافیایی در ۵۲ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شرقی و ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه پهنای شمالی واقع شده است. گرمسار در دشت واقع شده و قسمت جنوبی آن کویری و ناحیه شمالی آن را ارتفاعات جنوبی البرز در بر گرفته است. میزان تابش خورشید در نقاط مختلف ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع تخمین زده شده است که این تابش به خصوص در نواحی مرکزی و کویری ایران من جمله حوزه شهری گرمسار از شدت بالاتری برخوردار است. طبق آخرین آمار جمعیتی، جمعیت این شهرستان ۶۷۸۴۷ نفر بوده که از این رقم ۲۹۷۰۶ نفر جمعیت شهر گرمسار، مرکز شهرستان است از این رو بررسی همه جانبه امکان سنجی و مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک به عنوان یکی از روش‌های بهره‌گیری از منابع عظیم تجدیدپذیر در کشور، برای تأمین برق شهری از اهمیت بالایی برخوردار است.

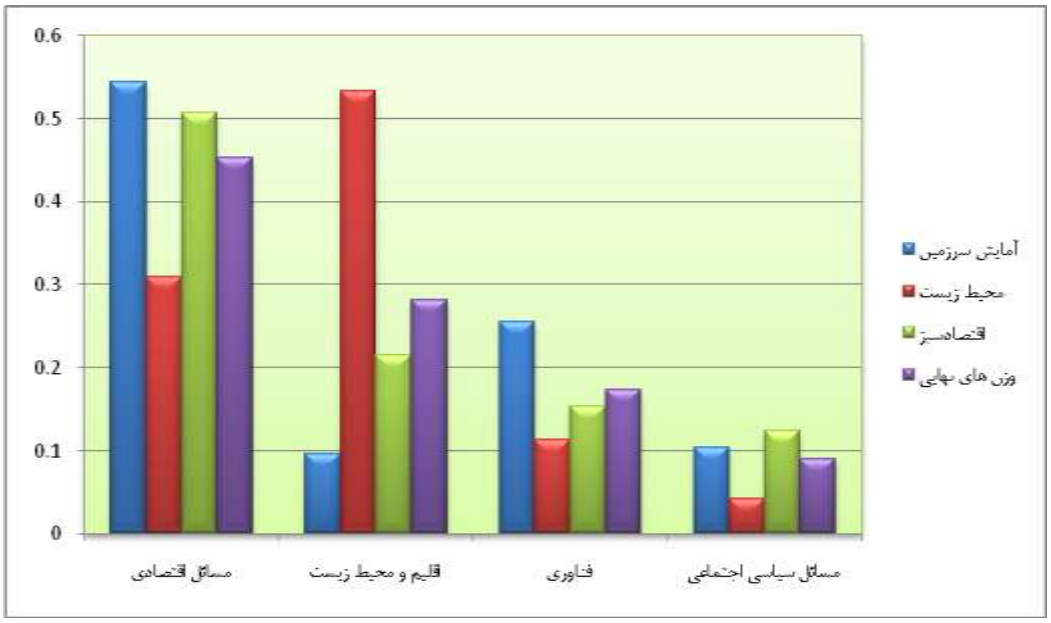
بحث و یافته‌ها

با توجه به هدف در فرایند سلسله مراتبی این پژوهش که امکان سنجی و مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک برای تأمین برق شهری است، معیارها و زیر معیارهای موثر مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق بر اساس پژوهش‌های انجام شده در زمینه با استفاده از نتایج به دست آمده به تکمیل زیر معیارها پرداخته است. در آخرین پژوهش‌های انجام شده در این رابطه؛ زیر معیارهای زمین مورد نیاز، منابع طبیعی مورد نیاز و تاکید بر اکوسیستم در معیار محیط زیست مورد توجه بوده است. در این تحقیق زیر معیارهای محیط زیست با توجه به پژوهش‌های انجام شده و توضیحات مذکور در روش شناسی و تبیین شاخص‌ها به عوامل زیر تغییر یافت:

کاربری زمین، شیب، جنس خاک، قابلیت تابش خورشید، توجه به مناطق حساس و آسیب پذیر، توجه به اکوسیستم و دما.

از دیگر سو با توجه به سیاست‌های بالا به پایین در کشور و همچنین ابعاد بهره برداری از انرژی تجدیدپذیر در پژوهش حاضر که ابعاد کلان و در سطح نیروگاه‌های عظیم تولید برق است، مسائل اجتماعی و مسائل سیاسی در یک معیار گنجانده شده و با عنوان مسائل سیاسی-اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته است. سایر معیارها و زیر معیارها بر اساس آخرین پژوهش‌های در این زمینه ارزیابی شده است.

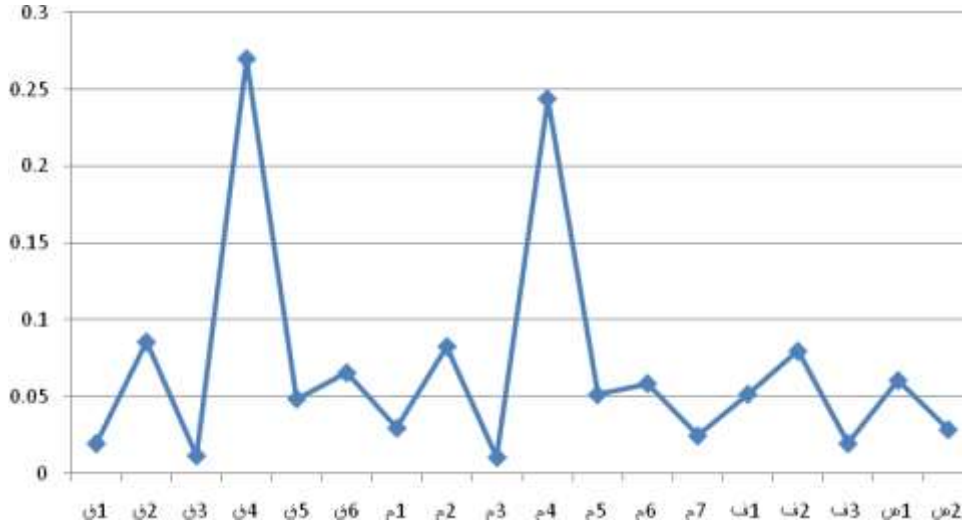
در فرایند تحلیل سلسله مراتبی معیارها و زیر معیارها باید دو به دو باهم مقایسه شوند و بنا به درجه اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها نسبت به هم، وزن‌دهی خواهند شد. از آنجا که از دیدگاه‌های مختلف، اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها متفاوت است، در این پژوهش از نظر متخصصان در زمینه‌های گوناگون مربوط به برنامه‌ریزی و انرژی استفاده شد. این متخصصان در سه رشته آمایش سرزمین، محیط زیست و اقتصاد سبز به مقایسه و وزن‌دهی به معیارها و زیر معیارهای مربوط از دیدگاه تخصص خود پرداختند. به این ترتیب با اجتماع آراء به دیدگاهی همه جانبه تر دست یافته شد. برای برآورد آراء در فرایند سلسله مراتبی از نرم افزار Expert choice استفاده شد. نتایج مقایسه و ارزیابی دو دویی معیارها از دیدگاه پژوهشگران، در نمودار ۲ مشاهده می‌شود و نتایج حاصل از مقایسه زیر معیارها؛ در جدول ۳ قابل مشاهده است و نمودار ۳ زیر معیارهای مورد بررسی را با توجه به وزن‌های داده شده مقایسه می‌کند.



نمودار ۲: مقایسه معیارهای مورد بررسی از دیدگاه پژوهشگران در زمینه‌های آمایش سرزمین، محیط زیست و اقتصاد سبز

جدول ۳ :وزن زیر معیارهای احداث نیروگاه فتوولتائیک برای تأمین برق شهری

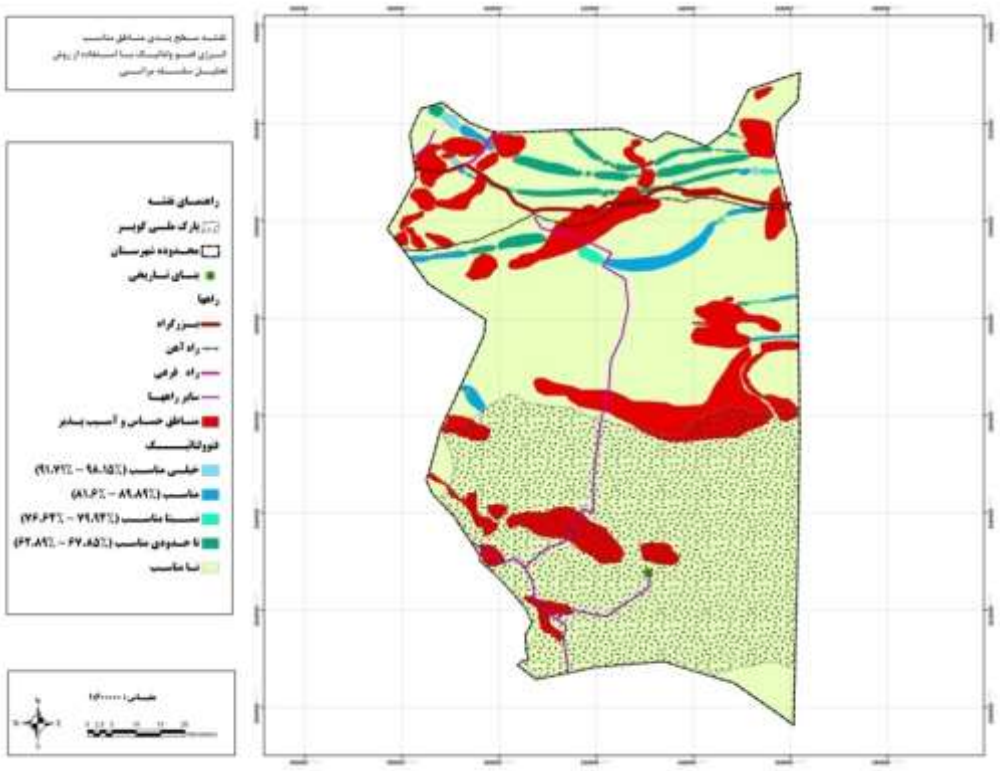
وزن	توضیح	علامت اختصاری
۰/۰۲	هزینه R&M	ق ۱
۰/۰۸۶	سرمایه اولیه	ق ۲
۰/۰۱۲	هزینه O&M	ق ۳
۰/۲۷	قیمت نهایی برق	ق ۴
۰/۰۴۹	دوره بازگشت سرمایه	ق ۵
۰/۰۶۶	اشتغال زایی	ق ۶
۰/۰۳	کاربری زمین	م ۱
۰/۰۸۳	شیب	م ۲
۰/۰۱۱	جنس خاک	م ۳
۰/۲۴۴	قابلیت تابش خورشید	م ۴
۰/۰۵۱۷	مناطق حساس و آسیب پذیر (خطر زلزله و سیل و فرسایش)	م ۵
۰/۰۵۹	محافظت از اکوسیستم	م ۶
۰/۰۲۵	دمای محیط	م ۷
۰/۰۵۲	دانش فنی لازم	ف ۱
۰/۰۸	دسترسی به شبکه	ف ۲
۰/۰۲	دسترسی به نیروی کار	ف ۳
۰/۰۶۱	مقبولیت عمومی	س ۱
۰/۰۲۹	امنیت انرژی ملی	س ۲



نمودار ۳: مقایسه زیر معیارهای احداث نیروگاه فتوولتائیک

جمع بندی و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد از بین معیارهای محیط زیست، اقتصاد، فناوری و مسائل سیاسی- اجتماعی، اقتصاد مهم‌ترین نقش را در امکان سنجی و مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک دارد. از آنجا که این فن آوری در حال گذار از مراحل علمی و آزمایشگاهی به تولید انبوه و تجاری شدن است، از نظر اقتصادی اهمیت ویژه‌ای دارد. از سوی دیگر با توجه به بهای پایین انرژی در کشورهای با منابع انرژی زیرزمینی تجدیدناپذیر، مانند کشورهای خاورمیانه زیر معیار قیمت تمام شده بـرق اهمیت بالایی دارد. چنانچه قیمت نهایی



نقشه ۱: سطح بندی مناطق مناسب احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک در حوزه شهری شهرستان گرمسار

برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر قابل مقایسه با قیمت نهایی برق تولیدی از روش‌های سنتی نباشد، استفاده از منابع تجدیدپذیر در حد شعار باقی خواهد ماند. یکی از عوامل موثر در قیمت تمام شده برق تولیدی در مزارع فتوولتائیک، قیمت زمین است. استفاده از بیابان‌های بدون کاربری در حوزه شهری گرمسار، می‌تواند تأثیر به سزایی در کاستن بهای برق تمام شده داشته باشد. همان‌طور که ذکر شد؛ یکی دیگر از عوامل کاستن بهای تمام شده برق، نزدیکی نیروگاه فتوولتائیک به شبکه برق سراسری است. مکان‌یابی نیروگاه شبکه برق فشار قوی در مجاورت این شبکه هزینه‌های ناشی از انتقال برق را به حداقل می‌رساند.

زیر معیار بعدی از لحاظ درجه اهمیت از سوی متخصصان، قابلیت تابش خورشید است. در اطلس تابش خورشید کشور که از سوی سازمان انرژی‌های نو (سانا) منتشر شده است، حوزه شهری گرمسار از تابش متوسط ۴/۵ KWh/m^2 تا ۵/۲ در روز برخوردار است که این میزان تابش، برای بهره برداری به منظور نیروگاه فتوولتائیک مناسب می‌باشد.

بنابراین از پژوهش حاضر نتیجه می‌شود، از میان معیارهای موثر بر امکان سنجی و مکان‌یابی نیروگاه فتوولتائیک، اقتصاد و از زیر معیارهای تأثیرگذار بر این موضوع، قیمت تمام شده برق تولیدی بیشترین تأثیر را داشته‌اند. پیشنهاد می‌گردد در محاسبه بهای تمام شده برق تولیدی از دیدگاه اقتصاد سبز استفاده شود. به این ترتیب در محاسبه بها، عواملی همچون عوامل اجتماعی مانند میزان تولید شغل و استفاده از فن آوری روز دنیا و عوامل زیست محیطی مانند بهای خسارت ناشی از استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن در نظر گرفته خواهد شد. این در حالی است که انجمن‌های حفاظت از محیط زیست بین‌المللی همچون ریو ۲۰۱۲ نیز در صدد تصویب مجازات‌های نقدی بر اساس میزان آلایندگی کشورها هستند. به این ترتیب نگاه همه جانبه به موضوع؛ بر لزوم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، در مقایسه با منابع تجدیدناپذیر صحه می‌گذارد.

منابع و مآخذ

۱) اشکوری، سید حسن معصومی. (۱۳۸۸). اصول و مبانی برنامه‌ریزی منطقه ای. چاپ پنجم، تهران: انتشارات پیام.

۲) بویل، گادفری. (۱۳۸۶). انرژی‌های نو، انرژی برای آینده‌ای پایدار (ترجمه‌ی عبدالرحیم پرتوی) چاپ اول، تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. (تاریخ نشر به زبان اصلی ۲۰۰۴).

۳) چیت چیان، حمید. (۱۳۹۰). انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و جهان. دومین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران.

۴) دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. (۱۳۹۰). ترازنامه انرژی ۱۳۸۸. تهران.

۵) زیردست، اسفندیار. (۱۳۸۰). کاربرد «فرایند تحلیل سلسله مراتبی» در برنامه‌ریزی شهری و منطقه ای. نشریه هنرهای زیبا، زمستان، تهران

۶) سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا). (۱۳۹۰). انرژی‌های تجدید پذیر؛ چالش‌ها و فرصت‌ها. دومین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران.

۷) سامانی فام، سیاوش. (۱۳۹۰). بررسی رابطه میان سرمایه فرهنگی و میزان علاقه‌مندی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (نو). نشریه شرکت توزیع برق آذربایجان شرقی.

۸) سردارآبادی، محمد؛ و محمد پسندیده‌فرد، (۱۳۹۰). تحلیل واحدهای فتوولتائیک حرارتی و بررسی عوامل موثر بر بازدهی آنها. دومین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران.

۹) عظیمی حسینی، محمد و دیگران. (۱۳۸۹). کاربرد GIS در مکان‌یابی. چاپ اول، تهران: مهرگان قلم.

۱۰)کلانتری، خلیل. (۱۳۸۸). برنامه‌ریزی و توسعه منطقه ای. چاپ سوم، تهران:خوشبین.

۱۱)محمودی نژاد، هادی. (۱۳۸۹). شهر خورشیدی و انرژی‌های نو. چاپ اول، تهران: هله.

۱۲)مخدوم فرخنده، مجید. (۱۳۸۰). شالوده آمایش سرزمین. چاپ چهارم، تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۱۳)مرکز آمار ایران. (۱۳۸۷). سالنامه آماری استان سمنان. فصل ۸، آب و برق.

۱۴)معینی پناه، نرگس. و مازیار علی مددی. (۱۳۹۰). بررسی انواع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در ایران. (بی جا)

۱۵)نیری، علی. (۱۳۸۹). مطالعات لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه در استان سمنان، اول، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۱۶)هیئت وزیران. (۱۳۹۰). ضوابط و معیارهای استقرار واحدها و فعالیت‌های صنعتی و تولیدی.
17) Amer,M. &Daim,T. U. (2011). Selection of Renewable Energy Technologies for a developing country. Journal of Energy for Sustainable Developmanet,15,420-435.
18) Alam Hossein Mondal,M. D. ,Denich,M. (2010). Assessment of Renewable Energy Resources Potential for electricity generation in Bangladesh. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews,14,2401-2413.
19) Charabi,Y. &Gastli,A. (2011). PV Site Suitability Analysis Using GIS-based Spatial fuzzy multi criteria evaluation. Journal of Renewable Energy,36,2554-2561.
20) Dalton,C. j. &Lewis,T. (2011). Metrics for measuring job creation by renewable energy technologies using Ireland as a case study. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews,15,2123-2133.
21) Janke,J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. Journal of Renewable Energy,35,2228-2234.
22) Lehr,U. ,Lutz,C. &Edler,D. (2011). Green Jobs Economic impacts of renewable energy in Germany. journal of Energy Policy.
23) Mc William,M. K. ,Kooten,G. C. &Crawford,C. (2012). A method for optimizing the location of wind farms. Journal of Renewable Energy,48,287-299.
24) Tavakoli,A. & Shafie Poor Motlagh,M. (2012). Energy, Economy and Environment,3Es Tool for Green Economy. Tehran: The second Iranian conference on Renewable Energy & Distributed Generation,2012.
25) Timilsina,G. R. ,Kurdgelashvili,l. &Narbel,P. A. (2012). solar Energy :Markets, economics and policies. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews,16,449-465.
26) Xinyu,G. ,Bo,J. ,Bin,L. I. ,Kai,Y. ,Hongguang,Z. &Boyuan,F. (2010). Study on Renewable Energy Development and policy in china. Journal of Energy Energy Production,5,1284-1290.
27) www. suna. org. ir تاریخ برداشت:۱۳۹۱/۳/۱۵

یادداشت‌ها

[1] AHP
[2] GIS