

مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی
سال یکم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۹۳-۱۱۰

اولویت‌بندی عوامل موثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

زین‌العابدین صادقی

استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان
abed_sadeghi@yahoo.com

زهرا دل‌الباشی اصفهانی

دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان
zahradalbashi@yahoo.com

حمیدرضا حری

استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان
horryhr@uk.ac.ir

روند مصرف انرژی در سال‌های گذشته بسیار سریع و نگران‌کننده بوده است. این روند در کشورهای در حال توسعه و علی‌خصوص در ایران بسیار بالاتر از میانگین جهانی است. یک واقعیت پذیرفته شده برای جوامع بشری این است که انرژی موردنیاز دنیا، به سرعت رو به افزایش است و در حال حاضر منابع انرژی فسیلی ارزان قیمت نیز به آرامی، اما بطور یقین، در چندین دهه‌ی دیگر به اتمام خواهد رسید. برای حفظ این منابع فسیلی با ارزش برای نسل‌های آتی و جلوگیری از خسارت‌های زیست‌محیطی ناشی از سوختن آن‌ها و پاسخگویی به افزایش تقاضای روزافزون انرژی، راهی جز روی آوردن بشر به استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدشونده باقی‌نمانده است. در این تحقیق در ابتدا به بررسی عوامل مؤثر بر انرژی خورشیدی و بادی پرداخته شده است و سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MADM مناسب‌ترین مکان‌ها در استان کرمان جهت احداث نیروگاه‌های بادی و خورشیدی شناسایی شده‌اند. برای شناسایی مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی از نرم‌افزار GIS استفاده شده است و برای شناسایی مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی از روش‌های AHP، TOPSIS، SAW و در نهایت روش‌های تلفیقی MADM استفاده شده است. در این تحقیق شهرستان سیرجان به عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی و شهرستان رفسنجان به عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، انرژی بادی، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره.

۱. مقدمه

امروزه انرژی‌های نو به رغم ناشناخته ماندن، به سرعت در حال گسترش و نفوذ است و غفلت از آن، غیر قابل جبران خواهد بود. انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زیست‌توده، بیوگاز و انرژی زمین‌گرمایی از عمده‌ترین منابع انرژی‌های پاک می‌باشند. سه موضوع در سال ۱۹۹۵ میلادی، سبب ایجاد نقطه عطفی برای انرژی‌های تجدیدپذیر شده‌است:

تغییرات آب و هوایی بر اثر انباشت گازهای گل‌خانه‌ای در جو
افزایش تقاضای مصرف انرژی برق سراسر جهان

گشوده‌شدن چشم‌انداز نوید بخشی در مورد فناوری انرژی تجدیدپذیر که با صراحت از سوی کارشناسان اعلام شد.

باید در نظر گرفت که در واقع، در ازاء هر کیلووات ساعت برق تولیدی از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای زغال‌سنگ از انتشار حدود یک کیلوگرم دی‌اکسیدکربن جلوگیری خواهد شد. بنابراین به‌عنوان نمونه، برای هر یک درصد انرژی متداول که توسط انرژی باد جانشین شود، حدود ۱۳ درصد انتشار CO₂ کاهش می‌یابد. همچنین، کاهش سولفور و اکسید نیترات (عوامل باران اسیدی) یکی دیگر از منابع محیط زیستی انرژی باد است.

در ایران وجود زمینه مناسب اقلیمی و تابش آفتاب در بیشتر مناطق و در بیشتر فصول سال، همچنین وجود پستی و بلندی‌ها در مسیر نهرهای آب، داشتن مناطق واجد پتانسیل بالای باد و قابلیت‌های تولید انرژی زمین‌گرمایی، زمینه لازم و مناسبی را برای استفاده و گسترش انرژی‌های نو و پاک فراهم آورده است. در زمینه مکانیابی پتانسیل‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران مطالعات مختلفی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گرفته است.

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تحت عنوان "پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS" به نتایج زیر دست یافتند: در این تحقیق در ابتدا به بررسی عوامل مؤثر بر انرژی خورشیدی پرداخته شده و با تلفیق آنها در محیط GIS، مناطق مستعدتر در استان خوزستان شناسایی شدند. این مهم با تحلیل ساعات آفتابی به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و پارامترهای مؤثر بر ساعات آفتابی شامل ابرناکی، روزهای گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و بارش سالانه، در محیط GIS تحقق یافت. نهایتاً نقشه‌های مربوطه در محیط GIS تهیه و وزن دهی شده و با تلفیق نقشه‌های مذکور به روش وزنی، نقشه نهایی که نشان‌دهنده مناطق با پتانسیل مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی خورشید است بدست آمد.

بر این اساس شهرهای بهبهان، رازمهر و باغ ملک و منطقه کوچکی از شوشتر به‌عنوان مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی پیشنهاد می‌گردد.

نوراللهی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تحت عنوان "پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS" به این نتایج دست یافتند:

این مقاله 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 می‌پردازد. در روش محاسبه پتانسیل باد در این مقاله معیارهای موردنظر با اهمیتی یکسان مورد بررسی قرار گرفته‌اند و این معیارها شامل معیارهای فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و جغرافیایی می‌باشند. نتایج حاصل از این پروژه، پتانسیل سنجی مناطق مساعد جهت تولید برق از انرژی بادی برای توربین‌های بزرگ با توجه به استانداردهای بین‌المللی، بیان استانداردها و معیارهای مورد بررسی برای پتانسیل سنجی منابع باد و در نهایت پیاده‌سازی موارد ذکر شده در برق منطقه‌ای باختر با هدف پتانسیل سنجی منابع باد منطقه‌ای می‌باشد. این مطالعات نشان داده است که با فرض استفاده از توربین Gamesa G58 میتوان حداکثر ۱۸۹۷ مگاوات برق بادی در منطقه مورد مطالعه تولید کرد که این مقدار تأمین‌کننده ۲۶ درصد برق منطقه‌ای در افق ۱۴۰۴ می‌باشد. نمونه‌های از کارهای انجام شده در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای دیگر نیز به صورت زیر می‌باشد:

یو و همکاران (۲۰۰۶) در مقاله‌ای تحت عنوان "ارزیابی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS از منابع انرژی تجدیدپذیر محلی گوناگون" به بررسی منابع انرژی خورشیدی، باد و زیست توده در یک منطقه روستایی در جنوب غربی تایوان با استفاده از تجزیه تحلیل مفاهیم فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و سیاسی به منظور ایجاد یک مدل ارزیابی برای توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر محلی پرداختند. نتایج این تحقیق می‌تواند به ایجاد یک چشم‌انداز توسعه برای توسعه سیستم‌های انرژی پایدار مبتنی بر منابع طبیعی محلی در دسترس و تسهیل انتقال انرژی ملی و سیاست‌های زیست‌محیطی کمک کند.

زامبلی و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی تحت عنوان "سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری GIS برای مدیریت جنگل‌های منطقه‌ای برای بررسی در دسترس بودن منابع زیست توده برای تولید انرژی تجدیدپذیر"، یک روش جدید را به منظور ارزیابی منابع زیست توده در دسترس در جنگل برای تولید انرژی در منطقه آلف توسعه دادند. روش بکار بسته شده در این تحقیق ترکیبی از PostgreSQL, PostGIS, GRASS می‌باشد.

۲. مطالب اصلی

۱-۲. منطقه مورد مطالعه

استان کرمان سرزمینی مرتفع و کوهستانی است بطوریکه در محدوده کویر لوت و چاله جازموریان با کمتر از ۲۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و ارتفاعات کوهستان، هزار، چوپار با ارتفاع بیش از ۴۴۶۵ متر از سطح دریا، اختلاف ارتفاع ۴۲۶۵ متری را شاهد هستیم تفاوت های زیاد توپوگرافی تنوع شرایط اقلیمی و شرایط اکولوژیکی زیادی را در استان شکل داده است. ارتفاعات استان کرمان دنباله رشته کوه‌های مرکزی ایران است که از منطقه آذربایجان به طرف بلوچستان کشیده شده است که متأثر از زمین‌شناسی منطقه می‌باشد.

اقلیم استان کرمان از نظر تقسیم بندیهای اقلیمی جزو اقلیم نیمه خشک بیابانی و گرم محسوب گردیده است. این استان در محل تلاقی رشته کوه‌های مرتفع زاگرس و مرکزی ایران به طول تقریباً ۱۶۰ کیلومتر واقع شده است و عرض این کویر، کرمان را از سیستان و بلوچستان جدا می‌کند. این تلاقی استثنایی بین بلندی و پستی، بین ناحیه کوهستانی و کویری، بین گرمی و سردی و ویژگی‌های محیطی کم نظیر و اوضاع طبیعی خاصی را بوجود آورده است که در کمتر منطقه ای از فلات استثنایی ایران می‌توان مشاهده کرد. امتداد سلسله جبال زاگرس و کوه‌های مرکزی، استان پهناور کرمان را می‌توان به دو بخش متمایز خشک کویری و معتدل کوهپایه‌ای تفکیک نموده که در تلاقی با یکدیگر از لحاظ اقلیمی سه منطقه کویری و حاشیه کویری، گرمسیری و سردسیری و کوهستانی را شکل داده‌اند.

۲-۲. مبانی نظری تحقیق

۱-۲-۲. روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می‌شود. این عناصر شامل شیوه‌های مختلف کار و اولویت دادن به ویژگی‌ها است.

ایجاد ساختار سلسله مراتبی

تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به ساختاری سلسله مراتبی، مهم‌ترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود. در مسئله مکانیابی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، هدف انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر از بین چند گزینه است. معیارها و زیرمعیارها، شامل عواملی هستند که باعث ایجاد تفاوت در گزینه‌ها می‌شود. اعتبار هر مکان برحسب معیارها سنجیده می‌شود. در روش AHP هر معیاری دارای وزن خاصی است که باید توسط کاربر به روش‌های مختلف اعمال شود. همچنین می‌توان هر معیار را به چند جزء کوچکتر تقسیم کرده و آنها را با یکدیگر مقایسه و وزن دهی کرد.

تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها چند روش وجود دارد که معمول‌ترین آنها، مقایسه دودویی است. در این روش معیارها مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار نسبت به دیگری مشخص می‌شوند. برای این کار می‌توان از یک روش استاندارد ارائه شده توسط ساعتی استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که به هر مقایسه دودویی یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داد می‌شود.

جدول ۱. امتیازات در نظر گرفته‌شده برای ترجیحات

| مقدار عددی | ترجیحات |
|---------------|-------------------------|
| ۱ | ترجیح کم |
| ۳ | کمی مرجح |
| ۵ | ترجیح بیشتر |
| ۷ | ترجیح خیلی بیشتر |
| ۹ | کاملاً مرجح |
| ۲ و ۴ و ۶ و ۸ | ترجیحات بین فواصل طبقات |

مأخذ: نتایج تحقیق.

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها را باید تعیین کرد. در این مرحله ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری، زیرمعیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد. فرآیند به دست آوردن وزن گزینه‌ها نسبت به هر یک معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. مقایسه گزینه‌های مختلف نسبت به زیرمعیارها و یا معیارها صورت می‌پذیرد، در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر نسبت به هدف مطالعه صورت می‌گیرد. زیرمعیارها هم کمی‌اند و هم کیفی. این مطلب نشان‌دهنده مزیت دیگر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که با ترکیبی از معیارهای کمی و کیفی سروکار دارد.

تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها

در این مرحله از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی که منجر به بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود.

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

که در آن، W_k : ضریب اهمیت معیار، k ، W_i : ضریب اهمیت معیار i ، g_{ij} : امتیاز گزینه j در ارتباط با زیرمعیار.

۲-۲-۲. روش TOPSIS

در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایده‌آل، فاصله آن نقطه از نقطه ایده‌آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنا که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی باشد.

الگوریتم:

حل مسئله با این روش مستلزم شش گام است:

گام صفر: به دست آوردن ماتریس تصمیم

در این روش ماتریس تصمیمی ارزیابی می‌شود که شامل m گزینه و n شاخص است.

قدم یکم - تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس بی‌مقیاس شده با استفاده از فرمول:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (2)$$

قدم دوم - ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار W به‌عنوان ورودی به الگوریتم

$$W = \{ W_1, W_2, \dots, W_n \} \quad (3)$$

$$\text{ماتریس بی‌مقیاس وزین} = N_d \cdot W_{n,n} \quad (4)$$

بطوریکه N_d ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها در آن بی‌مقیاس و قابل مقایسه شده است و $W_{n,n}$: ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر خواهد بود.

قدم سوم - مشخص نمودن راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

$$A^* = \{ (\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J^c) | i = 1, 2, 3, \dots, m \}$$

$$= \{ V_1^*, V_2^*, \dots, V_j^*, \dots, V_n^* \}$$

$$A^- = \{ (\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J^c) | i = 1, 2, \dots, m \}$$

$$= \{ V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^- \}$$

قدم چهارم - محاسبه اندازه جدایی (فاصله)

فاصله گزینه A_i با ایده‌آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی بدین قرار است:

$$S_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

$$S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (6)$$

قدم پنجم - محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده‌آل

$$C_i = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}} \quad 0 < C_i < 1 \quad (7)$$

ملاحظه می‌شود که چنانچه $A_i = A_i^+$ گردد آنگاه $C_i = 1$ و در صورتیکه $A_i = A_i^-$ آنگاه $C_i = 0$ خواهد شد.

قدم ششم - رتبه‌بندی گزینه‌ها: بر اساس ترتیب نزولی C_i می‌توان گزینه‌های موجود از مسأله مفروض را رتبه‌بندی نمود.

۳-۲-۲. روش SAW

این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های بکارگیری شده در MADM است بطوریکه با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت شاخص‌ها) برای آن مناسب‌ترین گزینه A^* بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$A^* = \{A_i \mid \text{Max} \sum_{j=1}^n n_{ij} W_j\} \quad (8)$$

به بیانی دیگر در روش SAW گزینه‌ای انتخاب می‌شود که حاصل جمع مقادیر بی‌مقیاس شده وزنی آن از بقیه گزینه‌ها بیشتر باشد.

۴-۲-۲. روش‌های تلفیقی MADM

ممکن است با توجه به تکنیک‌های مختلفی که در بالا ذکر شد، رتبه‌های متفاوتی برای یک مسأله واحد بدست بیاید، آن موقع بایستی برای اجماع در رتبه‌بندی‌های گوناگون از روش‌های ادغام که عبارتند از روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپ‌لند استفاده نمود.

روش میانگین رتبه‌ها

این روش گزینه‌ها را بر اساس میانگین رتبه‌های بدست آمده از روش‌های مختلف MADM اولویت‌بندی می‌کند.

روش بردا

این روش بر اساس قاعده اکثریت استوار است. برای مثال اگر سه گزینه A_1, A_2, A_3 را در نظر بگیریم، اگر روش‌های مختلفی که A_1 را بر A_3 ترجیح می‌دهند سه روش باشند و تنها یک روش A_3 را بر A_1 ترجیح دهد، طبق اکثریت، A_1 بر A_3 ترجیح دارد و این مورد را در مقایسه زوجی، با M نشان می‌دهیم. اگر در این مقایسه زوجی رأی اکثریت وجود نداشت و یا آرا با هم مساوی بود، آن را با X کدگذاری می‌کنیم. M به منزله آن است که سطر بر ستون ارجحیت دارد و X نشانگر آن است که ستون بر سطر ارجحیت دارد. هر مقایسه زوجی به صورت جداگانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد مقایسات برابر $\frac{m(m-1)}{2}$ است که m تعداد گزینه‌ها است. معیار اولویت در این روش آن است که در چند دفعه، بردهای گزینه یعنی M در سطر دارای اکثریت است.

روش کپ لند

این روش با پایان روش بردا شروع می‌شود. روش کپ لند نه فقط تعداد بردها، بلکه تعداد باخت‌ها را هم برای هر گزینه محاسبه می‌کند. $\sum R$ تعداد باخت‌ها را برای هر گزینه نشان می‌دهد. امتیازی که کپ لند به هر گزینه می‌دهد با کم کردن تعداد باخت‌ها ($\sum R$) از تعداد بردها ($\sum C$) محاسبه می‌شود.

مرحله ادغام

در این مرحله تلاش میشود با توجه به سه استرژزی اولویت‌بندی گفته شده از طریق تشکیل یک مجموعه رتبه‌بندی جزئی (Poset) به یک اجماع رسید.

۲-۲-۵. معیارهای مکانیابی نیروگاه خورشیدی

- ساعات آفتابی: ساعات آفتابی مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید می‌باشد. ساعات آفتابی مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است.

- گرد و غبار: از ترکیبات مهم جوی، بویژه در حوالی سطح زمین ترکیبات غیرگازی و جامدی است که هواویز نامیده می‌شود. هواویزها ۱۵ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می‌کنند. بنابراین مناطقی حائز اهمیت‌اند که کمترین روزهای غبار آلودگی را در سال داشته باشند.

- ارتفاع: هر قدر ارتفاع منطقه‌ای از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌گردد. جو ضخیم از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. از آنجایی که مواد درشت‌تر و غلیظ‌تر در طبقات پایین جمع می‌گردند، جو بالای کوه‌ها رقیق‌تر بوده و ضخامت جو هم کمتر است. ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را هم کنترل می‌کند. بنابراین مناطق مرتفع بدلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می‌باشند.

- درجه حرارت منطقه: یکی از اجزاء سیستم‌های فتوولتائیک، مبدل انرژی یعنی پنل خورشیدی می‌باشد، برای اینکه این سیستم توان و انرژی مورد نیاز بار مورد نظر را تأمین نماید، بایستی به درستی طراحی شود. یکی از مواردی که در تعیین اندازه پنل مورد نیاز مؤثر است، بازده آن می‌باشد. بازده پنل به دمای آن بستگی دارد و دمای پنل نیز ناشی از دمای محیط و شدت تابش خورشید است. همانطور که گفته شد توان خروجی پنل با تغییرات دمای سلول تغییر می‌کند، با توجه به روبرط گفته شده در کتاب کزاک توان خروجی پنل با درجه حرارت رابطه عکس دارد.

۲-۲-۶. معیارهای مکانیابی نیروگاه بادی

معیارهای فنی:

- سرعت باد ≥ 6 متر بر ثانیه

- فاصله از خطوط انتقال توان الکتریکی ≥ 250 متر

معیارهای زیست‌محیطی

- فاصله از مناطق شهری و جمعیتی: مزارع بادی حداقل باید ۲۰۰۰ متر از شهرها و ۵۰۰ متر از مراکز جمعیتی فاصله داشته باشد.

- حداقل فاصله از مسیرهای حمل و نقل: مطالعات در کشورهای پیشرو در صنعت برق بادی نشان می‌دهد که توربین‌های بادی باید حداقل ۲۵۰ متر از خطوط راه‌آهن، ۳۰۰۰ متر از بزرگراه‌ها و ۵۰۰ متر از جاده‌های محلی فاصله داشته باشد.

معیارهای جغرافیایی

ارتفاع: با توجه به محدودیت‌های انتقال تجهیزات و میزان هزینه لازم برای انتقال تجهیزات در ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر از سطح دریا میزان حداکثر ارتفاع مجاز فرض شده در این پروژه توسط نویسنده ۲۰۰۰ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است.

معیارهای اقتصادی

حداکثر فاصله مجاز از جاده‌های ارتباطی و خطوط انتقال انرژی الکتریکی ۱۰۰۰۰ متر می‌باشد.

۳. نتایج**۳-۱. تخمین‌های مربوط به نیروگاه خورشیدی****۳-۱-۱. بررسی نتایج با استفاده از روش AHP**

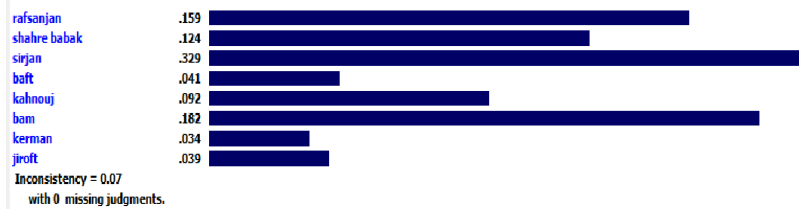
در این بخش به بررسی پرسشنامه‌ها که از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران این حوزه تکمیل شده است و تحلیل نظرات کارشناسان با کمک تکنیک تحلیل سلسله مراتبی پرداخته می‌شود. به منظور افزایش در دقت و سرعت محاسبات از نرم افزار مرتبط با آن به نام EXPERT CHOICE استفاده شده است و پس از تعیین میزان اهمیت معیارها، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها استخراج می‌شود.

در نرم‌افزار EXPERT CHOICE پس از تعریف کردن معیارها و گزینه‌های موردنظر در ابتدا باید اطلاعات مربوط به مقایسات زوجی گزینه‌ها را با توجه به هر کدام از معیارها بطور جداگانه وارد کنیم.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ساعات آفتابی

| جیرفت | کرمان | بم | کهنوج | بافت | سیرجان | شهر بابک | رفسنجان | ساعات آفتابی |
|-------|-------|----|-------|------|--------|----------|---------|--------------|
| ۵ | ۵ | ۲ | ۳ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | رفسنجان |
| ۵ | ۵ | ۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱ | - | شهر بابک |
| ۸ | ۷ | ۳ | ۴ | ۵ | ۱ | - | - | سیرجان |
| ۳ | ۲ | ۴ | ۳ | ۱ | - | - | - | بافت |
| ۴ | ۴ | ۲ | ۱ | - | - | - | - | کهنوج |
| ۵ | ۵ | ۱ | - | - | - | - | - | بم |
| ۲ | ۱ | - | - | - | - | - | - | کرمان |
| ۱ | - | - | - | - | - | - | - | جیرفت |

مأخذ: نتایج تحقیق.



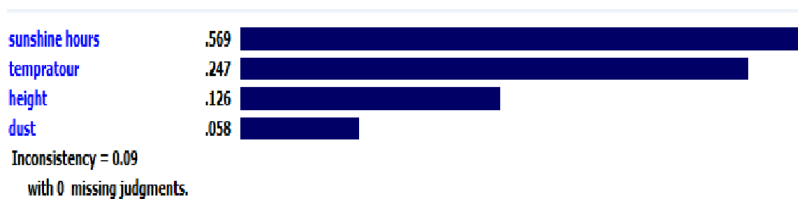
نمودار ۱. وزن محاسبه شده گزینه‌ها با توجه به معیار ساعات آفتابی در نرم‌افزار EXPERT CHOICE

برای بقیه معیارهای مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی مانند درجه حرارت، ارتفاع و تعداد روزهای گردوغبار نیز مانند بالا عمل می‌شود.

جدول ۳. ماتریس مقایسه زوجی معیارها

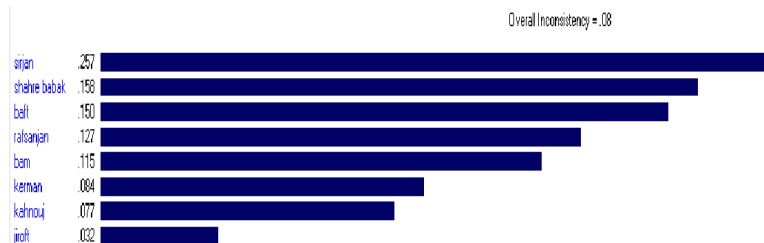
| | ساعات آفتابی | درجه حرارت | تعداد روزهای گردوغبار | ارتفاع |
|-----------------------|--------------|------------|-----------------------|--------|
| ساعات آفتابی | ۱ | ۳ | ۶ | ۶ |
| درجه حرارت | - | ۱ | ۴ | ۳ |
| تعداد روزهای گردوغبار | - | - | ۱ | ۴ |
| ارتفاع | - | - | - | ۱ |

مأخذ: نتایج تحقیق.



نمودار ۲. وزن محاسبه شده برای معیارها در نرم‌افزار EXPERT CHOICE

و در نهایت وزن محاسبه شده برای گزینه‌ها در نرم‌افزار EXPERT CHOICE به صورت زیر می‌باشد.



نمودار ۳. وزن نهایی گزینه‌ها در روش AHP

اولویت‌بندی شهرستان‌ها در روش AHP به صورت زیر می‌باشد:

۱- سیرجان ۲- شهر بابک ۳- بافت ۴- رفسنجان ۵- بم ۶- کرمان ۷- کهنوج ۸- جیرفت

۲. بررسی نتایج به کمک روش TOPSIS

در نرم‌افزار EXPERT CHOICE در ضمن تخمین‌ها، ماتریس تصمیم و بردار وزن مربوط به شاخص‌ها نیز بدست می‌آید.

جدول ۴. ماتریس تصمیم

| | ارتفاع | گردوغبار | دما | ساعات آفتابی |
|----------|--------|----------|-------|--------------|
| رفسنجان | ۰,۰۸۴ | ۰,۰۸۶ | ۰,۰۹۲ | ۰,۱۵۹ |
| شهر بابک | ۰,۲۰۵ | ۰,۰۷۴ | ۰,۲۱۶ | ۰,۱۲۴ |
| سیرجان | ۰,۱۲۷ | ۰,۱۴۹ | ۰,۱۹۱ | ۰,۳۲۹ |
| بافت | ۰,۳۵۳ | ۰,۲۱۶ | ۰,۲۶۳ | ۰,۰۴۱ |
| کهنوج | ۰,۰۱۹ | ۰,۳۹۶ | ۰,۰۲۱ | ۰,۰۹۲ |
| بم | ۰,۰۴۳ | ۰,۰۳۴ | ۰,۰۳۱ | ۰,۱۸۲ |
| کرمان | ۰,۱۴۴ | ۰,۰۲۶ | ۰,۱۶۴ | ۰,۰۳۴ |
| جیرفت | ۰,۰۲۴ | ۰,۰۱۹ | ۰,۰۲۳ | ۰,۰۳۹ |

مأخذ: نتایج تحقیق.

در ابتدا باید ماتریس تصمیم‌گیری موجود را به یک ماتریس بی‌مقیاس شده تبدیل نمایم.

جدول ۵. ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| ۰,۳۶۰۲۰۹ | ۰,۲۱۱۲۸۷ | ۰,۱۷۵۲۷۷ | ۰,۱۸۱۸۶۲ |
| ۰,۲۸۰۹۱۷ | ۰,۴۹۶۰۶۵ | ۰,۱۵۰۸۲ | ۰,۴۴۳۸۳ |
| ۰,۷۵۴۳۳۷ | ۰,۴۳۸۶۵ | ۰,۳۰۳۶۷۸ | ۰,۲۷۴۹۵۸ |
| ۰,۰۹۲۸۸۴ | ۰,۶۰۴۰۰۵ | ۰,۴۴۰۲۳۱ | ۰,۷۶۴۲۵۳ |
| ۰,۲۰۸۴۲۳ | ۰,۰۴۸۲۲۹ | ۰,۸۰۷۰۹۱ | ۰,۰۴۱۱۳۵ |
| ۰,۴۱۲۳۱۴ | ۰,۰۷۱۱۹۴ | ۰,۰۶۹۲۹۶ | ۰,۰۹۳۰۹۶ |
| ۰,۰۷۷۰۲۶ | ۰,۳۷۶۶۴۲ | ۰,۰۵۲۹۹۱ | ۰,۳۱۱۷۶۳ |
| ۰,۰۸۸۳۵۳ | ۰,۰۵۲۸۲۲ | ۰,۰۳۸۷۲۴ | ۰,۰۵۱۹۶۱ |

مأخذ: نتایج تحقیق.

سپس باید ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده را در ماتریس مربوط به وزن معیارها که به صورت زیر می‌باشد ضرب کرد تا ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس وزین بدست آید.

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس وزین

| | | | |
|----------|----------|-----------|----------|
| ۰,۲۰۴۹۵۹ | ۰,۰۵۲۱۸۸ | ۰,۰۱۰۱۶۶ | ۰,۰۲۲۹۱۵ |
| ۰,۱۵۹۸۴۲ | ۰,۱۲۲۵۲۸ | ۰,۰۰۸۷۴۸ | ۰,۰۵۵۹۲۳ |
| ۰,۴۲۴۰۹۷ | ۰,۱۰۸۳۴۷ | ۰,۰۱۷۶۱۳ | ۰,۰۳۴۶۴۵ |
| ۰,۰۵۲۸۵۱ | ۰,۱۴۹۱۸۹ | ۰,۰۲۵۵۳۳ | ۰,۰۹۶۲۹۶ |
| ۰,۱۱۸۵۹۲ | ۰,۰۱۱۹۱۲ | ۰,۰۴۶۸۱۱ | ۰,۰۰۵۱۸۳ |
| ۰,۲۳۴۶۰۷ | ۰,۰۱۷۵۸۵ | ۰,۰۰۴۰۱۹ | ۰,۰۱۱۷۳ |
| ۰,۰۴۳۸۲۸ | ۰,۰۹۳۰۳۱ | ۰,۰۰۳۳۰۷۳ | ۰,۰۳۹۲۸۲ |
| ۰,۰۵۰۲۷۳ | ۰,۰۱۳۰۴۷ | ۰,۰۰۲۲۴۶ | ۰,۰۰۶۵۴۷ |

مأخذ:

حال باید گزینه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی مشخص گردد، برای اینکار برای ساعات آفتابی مقدار ماکزیمم، برای درجه حرارت مقدار مینیمم، برای تعداد روزهای گردوغبار مینیمم و برای ارتفاع مقدار ماکزیمم را در نظر می‌گیریم.

$$A^+ = \{ 0,424097, 0,011912, 0,002246, 0,096296 \}$$

$$A^- = \{ 0,149189, 0,043828, 0,046811, 0,005183 \}$$

پس از محاسبه فاصله گزینه‌ها با ایده‌آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی و محاسبه نزدیکی نسبی هریک از گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل، در نهایت اولویت‌بندی شهرستان‌های استان کرمان برای احداث نیروگاه خورشیدی به صورت زیر بدست آمد.

۱- سیرجان ۲- بم ۳- رفسنجان ۴- کهنوج ۵- شهربابک ۶- جیرفت ۷- بافت ۸- کرمان

۳. بررسی نتایج به کمک روش SAW

اولویت‌بندی شهرستان‌های استان کرمان با استفاده از روش SAW جهت احداث نیروگاه خورشیدی به صورت زیر می‌باشد:

۱- سیرجان ۲- شهربابک ۳- بافت ۴- رفسنجان ۵- بم ۶- کرمان و کهنوج ۷- جیرفت

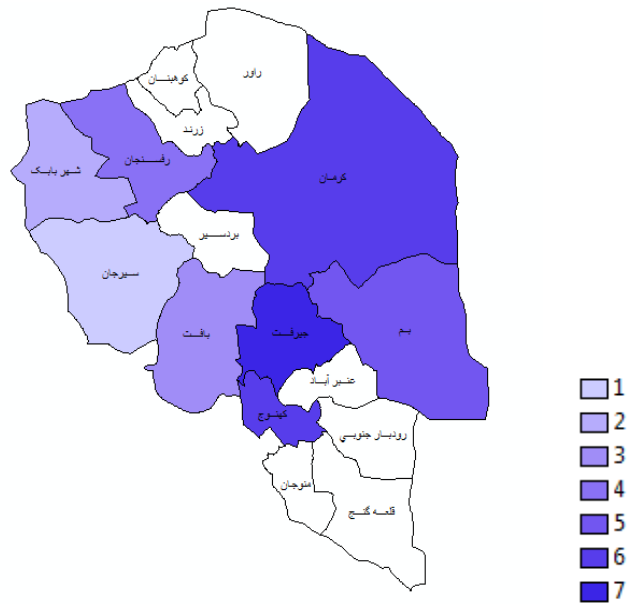
روش‌های تلفیقی MADM

جدول ۷. نتیجه نهایی حاصل از ادغام

| نتیجه نهایی | اولویت‌بندی روش کپ‌لند | اولویت‌بندی روش بردا | اولویت‌بندی روش میانگین رتبه‌ها |
|---------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| سیرجان | سیرجان | سیرجان | سیرجان |
| شهربابک | شهربابک | شهربابک | شهربابک |
| بافت | بافت | بافت | رفسنجان |
| رفسنجان | رفسنجان | رفسنجان | بم |
| بم | بم | بم | بافت |
| کهنوج - کرمان | کهنوج - کرمان | کهنوج - کرمان | کهنوج |
| جیرفت | جیرفت | جیرفت | کرمان |
| | | | جیرفت |

مأخذ: نتایج تحقیق.

در این تحقیق بهترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی در استان کرمان، شهرستان سیرجان بدست آمد. در شکل زیر شهرستان‌هایی از استان کرمان که دارای ایستگاه سینوپتیک نبوده و اطلاعاتشان را در اختیار نداشتیم با رنگ سفید نشان داده شده‌اند، شهرستان‌های دارای رنگ آبی شهرستان‌هایی می‌باشند که طبقه‌بندی کردیم، شهرستان‌های دارای رنگ آبی کم‌رنگ‌تر بوده مکان‌های مناسب‌تری جهت احداث نیروگاه خورشیدی می‌باشند.

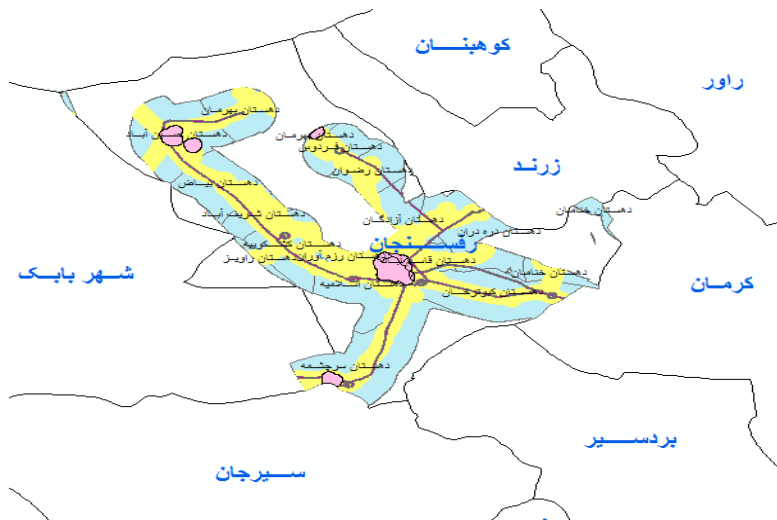


شکل ۱. طبقه‌بندی مکان‌های مورد نظر

۲-۳. تخمین‌های مربوط به نیروگاه بادی

در ابتدا اطلاعات مورد استفاده مانند سرعت باد و ارتفاع و نقشه GIS شهرستان‌های استان کرمان، فاصله از خطوط انتقال توان الکتریکی و فاصله از جاده‌ها تهیه شد سپس حریم مربوط هر کدام از معیارهای مؤثر در مکانیابی نیروگاه بادی مشخص گردید. بنابراین در ابتدا مقادیر اطلاعات جمع‌آوری شده در نرم‌افزار لحاظ شده تا بر روی نقشه‌های بدست‌آمده در قسمت نخست این بخش اعمال شود و نقشه‌ی حریم مناسب هر یک از معیارها تهیه گردد، بطوریکه مناطقی که در موقعیتی نزدیکتر از حداقل فاصله‌ی تعیین شده به معیارهای مورد بررسی و یا دورتر از حداکثر میزان فاصله تعیین شده از معیارهای مورد بررسی قرار گرفته‌اند، حذف می‌شوند. با توجه به اینکه نقشه GIS مربوط به سرعت باد و ارتفاع را در اختیار نداشتیم این اطلاعات را با استفاده از اضافه کردن فیلد به جدول اطلاعاتی نقشه GIS استان کرمان (به تفکیک شهرستان‌ها) اضافه کردیم. سپس حریم‌های مربوط به سرعت باد و ارتفاع را با استفاده از ابزار Select By Attribute اعمال کردیم. بدین ترتیب مکان‌های با سرعت باد و ارتفاع مناسب بطور جداگانه مشخص شدند. نتیجه حاصل از همپوشانی مکان‌های با ارتفاع و سرعت باد مناسب شهرستان سیرجان می‌باشد.

برای تعیین حریم مناسب شهرها، بزرگراه‌ها و خطوط انتقال توان الکتریکی با توجه به اینکه نقشه GIS مربوط به آنها را در اختیار داریم از ابزار Buffering استفاده می‌کنیم. در نهایت با استفاده از همپوشانی کلیه لایه‌های بدست آمده، مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی در استان کرمان به صورت شکل (۶) بدست آمد.



شکل ۲. نتیجه نهایی مکان‌یابی نیروگاه بادی

قسمت‌های نشان داده شده با رنگ زرد در شکل (۶) مکان‌های به فاصله ۳۰۰۰ متری از جاده‌ها، خطوط نشان داده شده با رنگ بنفش تیره در شکل بالا مکان‌های به فاصله ۲۵۰ متری از خطوط انتقال توان الکتریکی و قسمت‌های نشان داده شده با رنگ بنفش روشن فواصل ۲۰۰۰ متری از شهرها می‌باشد که همانطور که گفته شد نیروگاه بادی نباید در این مکان‌ها قرار گیرد، بنابراین در نهایت فقط قسمت‌های نشان داده شده با رنگ آبی در شکل بالا برای احداث نیروگاه بادی در استان کرمان مناسب می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق که با راهنمایی و مشاوره دکتر زین‌العابدین صادقی و دکتر حمیدرضا حری انجام شد، مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه بادی و نیروگاه خورشیدی در سطح استان کرمان شناسایی شدند. برای شناسایی مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی از مدل‌های AHP، TOPSIS، SAW و

روش‌های تلفیقی MADM استفاده شده‌است و برای شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه بادی از نرم‌افزار GIS و روش همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده‌است. با استفاده از مدل‌های AHP، TOPSIS، SAW، MADM و بر اساس معیارهای مورد نظر بخش‌های مختلف منطقه از نظر قابلیت استقرار نیروگاه‌های خورشیدی اولویت‌بندی شدند و شهرستان سیرجان بعنوان بهترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی بدست آمد. با استفاده از نرم‌افزار GIS و بر اساس معیاری مورد نظر مناطق با پتانسیل مناسب انرژی باد در استان کرمان بدست آمد که در سطح استان کرمان تنها قسمت‌هایی از شهرستان سیرجان دارای حداقل شرایط لازم جهت احداث نیروگاه بادی بود. این تحقیق به برنامه‌ریزان کمک زیادی می‌کند تا بتوانند بهتر تصمیم‌گیری نمایند. مسلم است هرچه از معیارهای بیشتر و دقیق‌تری استفاده شود، نتیجه بهتری را می‌توان انتظار داشت.

منابع

- اسفندیاری، علی، رنگزی، کاظم، صابری، عظیم و مهدی فتاحی مقدم (۱۳۹۰)، پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، همایش ملی ژئوماتیک ۹۰. اصغرپور، م (۱۳۹۰)، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران چاپ دهم.
- زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰)، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مجله علمی پژوهشی دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، شماره ۱۰.
- سالنامه آماری استان کرمان.
- ساعتی، توماس (۱۳۷۹)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ترجمه الهیاری، انتشارات دانشگاه عالی دفاع ملی.
- علیچانی، بهلول (۱۳۸۳)، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، تعداد صفحه ۲۲۲.
- علیچانی، بهلول و محمدرضا کاویانی (۱۳۸۳)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، تعداد صفحه ۲۸۲.
- علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، موسوی، فرهاد و محمد موسوی بایگی (۱۳۷۹)، هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، تعداد صفحه ۲۸۹.
- مؤمنی، منصور (۱۳۸۵)، مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- نوراللهی، یونس، اشرف، سیدمحمدعلی و محسن زمانی (۱۳۹۰)، پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نشریه انرژی ایران، شماره ۱، دوره ۴.
- هاشمی، م و م کرونی (۱۳۹۱)، خورشید، انرژی‌های پاک، انتشارات کیان رایانه سبز.

- Bennui, A. Rattanamanee, P. Puetpaiboon, U. Phukpattaranont, P. Chetpattananondh, K.** (2007), "Title of the Conference Paper", *SITE SELECTION FOR LARGE WIND TURBINE USING GIS, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment*, Thailand.
- Bowen, W.** (1990), "Title of the Journal Paper", *Subjective Judgments and Data Environment Analysis in Site Selection*, *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol. 14, PP. 133-144.
- Cheng, D & Wang, S.** (2006), "Title of the Journal Paper", *GIS-Based Evaluation of Multifarious Local Renewable Energy Sources: A Case Study of the Chigu Area of Southwestern Taiwan*, *Energy Policy*, Vol. 34, PP. 730-742.
- Cimren, E, B & Cathay, E, Budak** (2007), "Title of the Journal Paper", *Development of a Machine Tool Selection System Using AHP*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 35, PP. 363-376.
- DEADP.** (2006), *Strategic 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.
- Gilbert, M. Masres.** (2004), "Title of the Journal Paper", *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, Stanford University, A JOHN WILEY & SONS, INC.
- Gipe, P.** (1995), "Title of the journal Paper", *Wind Energy Comes of Age*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Kozak, T.** (2009), "Title of the Conference Paper", *Inteluence of Ambient Temperature on the Amount of Electric Energy Produced by Solar Modules*, 16th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits Systems.
- Moreno, Jimenez.** (2005), "Title of the Book", *A Spreadsheet Module for Consistent Consensus Building in AHP-Group Decision Making*, *Group Decision and Negotiation*, Vol. 14, PP. 89-108.
- Ngai, E. W. T.** (2003), "Title of the Journal Paper", *Selection of Web Sites for Online Advertising Using the AHP*, *Information & Management*, Vol. 40, PP. 233-242.
- Nguyen, K. Q.** (2007), "Title of the Journal Paper", *Wind Energy in Vietnam: Resource Assessment, Development Status and Future Implications*, *Energy Policy*, Vol. 35, PP. 1405-1413.
- Serwan, M. Baban, J. Parry, T.** (2001), "Title of the Journal Paper", *Developing and Applying A GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms in the UK*, *Renewable Energy*, Vol. 24, PP. 59-71.
- Yue, C. Wang, S.** (2006), "Title of the Journal Paper", *GIS-Based Evaluation of Multifarious Local Renewable Energy Sources: A Case Study of the Chigu Area of Southwestern Taiwan*, *Energy Policy*, Vol. 34, PP. 730-742.
- Zambelli, P & Lora, C & Spinelli, R & Tattoni, C & Vitti, A & Zatelli, P & Ciolli, M.** (2012), "Title of the journal Paper", *A GIS Decision Support System for Regional Forest Management to Assess Biomass Availability for Renewable Energy Production*, *Environmental Modeling & Software*, Vol. 38, PP. 203-213.