



مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم‌یار در محیط GIS) براساس معیارهای توسعه پایدار شهری در استان اصفهان

پرویز بیات^{۱*}، فرهاد رضازاده^۲، پویان عسگرنیا^۳، طیبه زوار علی‌اکبری^۴

چکیده

ناپایداری توسعه شهری مهم‌ترین چالش هزاره سوم است. هدف اصلی توسعه پایدار تأمین نیازهای اساسی، بهبود سطح زندگی، اداره بهتر اکوسیستم‌ها و آینده امن بیان شده است: پایداری در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و منابع طبیعی مستلزم به کارگیری دستگاه‌های مدیریتی کارآمد و بهره‌گیری از انرژی‌های پایدار و تجدیدپذیر است. از جمله این انرژی‌ها، انرژی بادی است. مهم‌ترین اقدام در احداث نیروگاه بادی مکان‌یابی مناطق مستعد جهت ساخت نیروگاه بادی است. به دلیل وجود عوامل و محدودیت‌های متعدد در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی، سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری کارآمد جهت استفاده از داده‌های مکانی است. در این مطالعه عوامل و محدودیت‌های زیست‌محیطی، اقتصادی اجتماعی، اقلیم، جغرافیا و زمین‌شناسی در نظر گرفته شد و پس از استانداردسازی و وزن‌دهی همه عوامل و محدودیت‌ها، مشخص گردید سه اولویت اصلی در منطقه بادرود جهت احداث نیروگاه بادی وجود دارد که می‌تواند کمک بسزایی در تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار و به دنبال آن توسعه پایدار شهری انجام دهد.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، مکان‌یابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، انرژی تجدیدپذیر، نیروگاه بادی

۱- استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

۲- کارشناس ارشد طراحی فضاهای آموزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

۳- کارشناس ارشد منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

۴- کارشناس ارشد طراحی فضاهای آموزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

* نویسنده مسئول: Parvizbayat22@yahoo.com

۱- مقدمه

توسعه پایدار به مفهوم حرکت بر محور انسان- محیط است و توسعه امکانات اقتصادی با توجه به ملاحظات محیطی و عدالت اجتماعی را مورد توجه قرار می‌دهد. توسعه پایدار پس از مشکلات ایجاد شده از توسعه صرفاً اقتصادی پس از جنگ جهانی دوم مطرح گردید. با افزایش مشکلات دنیای مدرن، سامانه‌های پایدار در اولویت سیاست‌های کشورهای توسعه یافته قرار گرفت. کشورهای در حال توسعه مانند ایران نیز هم‌اکنون در پی اجرای این سیاست‌ها در جهت حل مشکلات مختلف فرهنگی، اجتماعی، زیست‌محیطی و با در نظر گرفتن پیامدهای اقتصادی هستند (کشتار قلاتی، انصاری و نازی دیزجی ۱۳۸۹).

توسعه پایدار شهری به‌عنوان جزئی از توسعه پایدار بر پایه استفاده معقول از منابع طبیعی استوار شده است و در این نوع توسعه ملاحظات سه‌گانه محیطی، اقتصادی و اجتماعی در کنار هم لحاظ خواهد شد. بنابراین شهر پایدار برآمده از فرآیند توسعه‌ای است که امکان ارتقای همیشگی سلامت اجتماعی- اقتصادی بوم‌شناسانه شهر و منطقه را فراهم کند. از جمله راهکارهای توسعه پایدار شهری بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار است. از جمله این انرژی‌ها باد است. باد یکی از مظاهر انرژی خورشیدی و همان‌هوای متحرک است و پیوسته جزء کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می‌رسد به انرژی باد تبدیل می‌شود (نصرالهی ۱۳۸۶).

انرژی باد از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر است. به علت گستردگی، قدرت بازدهی بالا، اقتصادی بودن و اینکه در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در ابعاد وسیع‌تری مورد بهره‌برداری قرار گرفته، عملاً از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (صادقی، دلال‌باشی اصفهانی و حری ۱۳۹۲). بنابراین لازم است توان انرژی باد مناطق جغرافیایی کشور به‌طور مستقل یا ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گیرد تا مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی مشخص گردد. (صلاحی ۱۳۸۳).

شمال استان اصفهان و در نزدیکی منطقه بادرود به علت وجود شرایط مناسب، یکی از مستعدترین مناطقی است که می‌توان از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی باد استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین مسائل در استفاده از انرژی باد، مکان‌یابی یا انتخاب بهترین مکان جهت استقرار توربین‌های بادی است. مکان‌یابی یکی از موضوعات فنی در بهره‌وری انرژی باد است (شوندی ۱۳۸۴). جهت مکان‌یابی صحیح و علمی می‌توان از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق آن با دستگاه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) بهره گرفت. در این تحقیق سعی بر آن است که با تلفیق GIS و DSS بهترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی در شمال اصفهان و منطقه بادرود را مشخص نمود.

اسفندیاری و دیگران (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به بررسی عوامل مؤثر بر انرژی خورشیدی و بادی پرداختند و با تلفیق آن‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی را مشخص کردند.

نورالهی، اشرف، و زمانی (۱۳۹۰) در تحقیقی بانوان پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از GIS، به بیان روشی کاربردی برای پتانسیل سنجی منابع بادی با قابلیت تولید برق، با استفاده از GIS و با در نظر گرفتن معیارهای انتخاب مزارع بادی پرداختند.

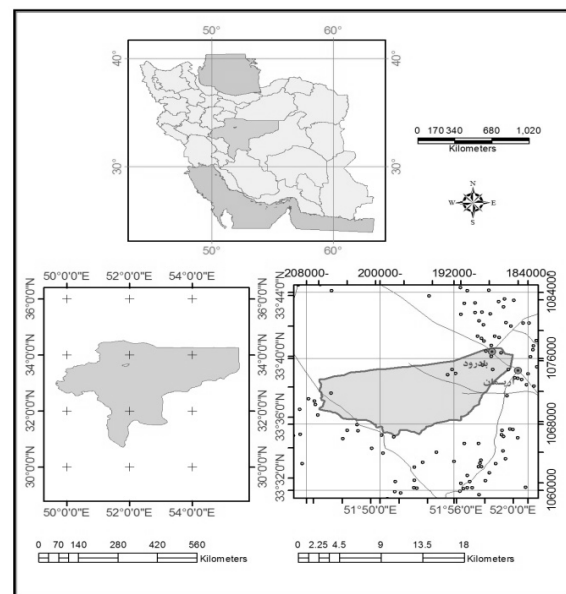
Bazzi (2008) در تحقیقی با عنوان مکان‌یابی مزارع باد بر اساس GIS، به مکان‌یابی توربین‌های بادی در مزارع لبنان پرداخت.

Zambelli et al (2012) در تحقیقی با عنوان DSS و GIS برای مدیریت جنگل‌های منطقه‌ای برای بررسی و در دسترس بودن منابع زیست‌توده برای تولید انرژی تجدیدپذیر، روشی جدید برای بهره‌گیری از DSS و GIS، برای بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در منطقه آلپ ابداع کردند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه بادرود در استان اصفهان و در شمال شهرستان نطنز و جنوب غربی کاشان واقع شده است و مختصات آن بین $33^{\circ} 41'$ تا $33^{\circ} 40'$ طول جغرافیایی و $52^{\circ} 00'$ تا $51^{\circ} 46'$ عرض جغرافیایی هست و ارتفاع آن بین ۱۰۵۰ تا ۲۱۰۰ متر از سطح دریاست (شکل (۱)).



شکل (۱). موقعیت بادرود در استان اصفهان

۲-۳- روش کار

در این مطالعه از عوامل و محدودیت‌های مؤثر در منطقه جهت مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی استفاده شد، (شکل (۲)). عوامل با استفاده از استانداردسازی فازی شدند و محدودیت‌ها با روش بولین استانداردسازی شدند و سپس به روش AHP وزن دهی عوامل و محدودیت‌ها صورت پذیرفت. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود. این عناصر شامل شیوه‌های مختلف کار و اولویت دادن به ویژگی‌هاست (Yue and Wang 2006).



شکل (۲). عوامل و محدودیت‌های مورد مطالعه در

مکان‌یابی نیروگاه بادی

۲-۲- روش تحقیق

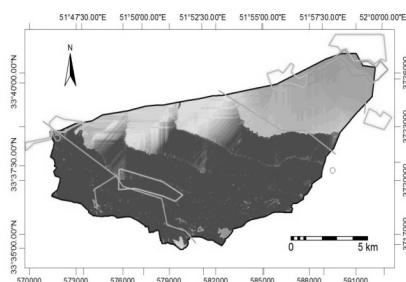
این مطالعه، با جمع‌آوری اطلاعات و آمار و مطالعه منابع موجود در این زمینه مانند نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی آغاز شد. سپس نقشه‌های شیب و DEM منطقه تهیه و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۴ و داده‌های آماری اقدام به تهیه نقشه‌های منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS گردید. در این پژوهش از نرم‌افزارهای ILWIS3.3 و Google Earth استفاده شده است.

- **سرعت باد:** هرچه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی افزایش می‌یابد (آقابراهیمی، امینی، و کمالی مقدم ۱۳۸۸).

- **شیب:** از عوامل مهم در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی شیب است، زیرا شیب مناسب سهولت ساخت سازه‌های نیروگاهی را به دنبال دارد. طبق مطالعات پژوهشگران مناسب‌ترین شیب جهت احداث نیروگاه شیب‌های کمتر از ۶٪ است.

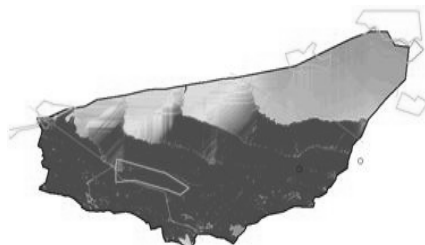
- **فاصله از جاده:** هرچه محل نیروگاه به جاده نزدیک‌تر باشد، دسترسی به محل و حمل تجهیزات راحت‌تر خواهد بود.

در شکل (۵) عامل شیب نشان داده شده است.



شکل (۵). عامل شیب

برای نمونه در شکل (۶) ارزش و اهمیت هر یک از عوامل و محدودیت‌ها نشان داده شده است.



شکل (۶). ارزش و اهمیت هر یک از عوامل و محدودیت‌ها در حوزه باد

با جمع‌آوری تمام لایه‌های اطلاعاتی و رقوم و رستری کردن همه لایه‌ها با یک زمین مرجع یکسان، مدل درختی در محیط SMCE نرم‌افزار ILWIS3.3 طراحی شدند. سپس تمامی عوامل با استفاده از استانداردسازی فازی شدند و محدودیت‌ها به روش بولین استانداردسازی شدند و در نهایت تمامی عوامل به روش AHP وزن‌دهی شدند (جدول (۱)).

جدول (۱). عوامل و محدودیت‌های مکانی به صورت نقشه‌های رستری با زمین مرجع یکسان

عوامل و محدودیت	دامنه عوامل و محدودیت	استانداردسازی
شیب	< 0.16 شیب	Inside [0,6]
زمین‌شناسی	فاصله از گسل	ترتیبی فازی
فاصله از جاده	نزدیک‌تر به جاده	معکوس ۳۰۰-۰
فاصله از مناطق مسکونی	نزدیک به مناطق مسکونی	معکوس ۱۰۰۰-۰
کاربری اراضی	غیر باغ کشاورزی	ترتیبی فازی
سرعت باد	بیشتر، بهتر	ترتیبی فازی

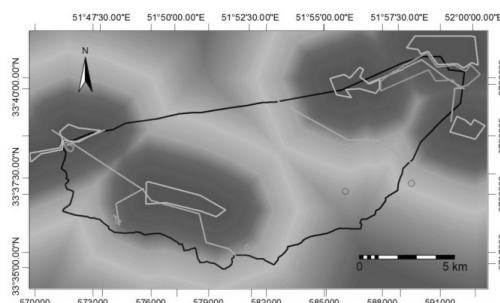
- **کاربری اراضی:** کاهش خسارت‌های محیطی ناشی از احداث و بهره‌برداری نیروگاه مدنظر قرار گرفته است (قدوسی پور ۱۳۸۸).

- **زمین‌شناسی:** در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی شناسایی سازندها از اهمیت بالایی برخوردار است.

- **فاصله مناطق مسکونی:** هرچه فاصله نیروگاه تا مناطق مسکونی کمتر باشد امکان بهره‌برداری از آن به صورت تأمین برق و نیروی انسانی راحت‌تر خواهد بود.

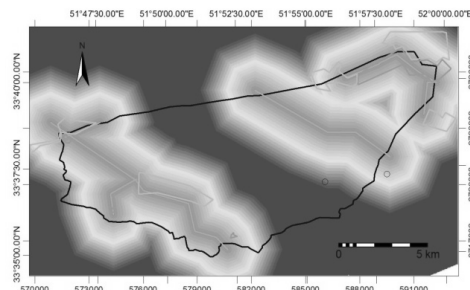
کلیه نقشه‌های موردنظر، توسط نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی همچنین تصاویر حاصل از Google Earth سال ۲۰۱۴ تهیه شدند.

نقشه‌های رقوم و محدودیت‌ها در منطقه بادرود در محیط GIS و توسط نرم‌افزار ILWIS 3.3 تهیه شدند و سپس هر یک از عوامل و محدودیت‌ها استانداردسازی و وزن دهی شدند و ارزش هر یک از آن‌ها تعیین گردید. در شکل (۳) عامل باد در حوزه بادرود نشان داده شده است.



شکل (۳). عامل باد

در شکل (۴) عامل فاصله از جاده نشان داده شده است.



شکل (۴). عامل فاصله از جاده

در این مطالعه، محل‌های مناسب جهت اجرای نیروگاه بادی با سه اولویت مشخص گردیدند که عبارت‌اند از: مناطق با اولویت اول با مساحت ۱۶۹۱ هکتار، مناطق با اولویت دوم با مساحت ۸۹۳ هکتار و مناطق با اولویت سوم با مساحت ۱۷۱۳ هکتار. به علت آنکه عوامل و محدودیت‌های به کار گرفته شده به‌دوراز خطای انسانی در نظر گرفته شده‌اند، نقشه نهایی نیز با دقت به‌دست آمد، چون از تلفیق لایه‌های خام پرهیز شده است. با بررسی نقشه‌های به‌دست آمده مشخص است که مناطق پیشنهادی نزدیک به جاده، مناطق مسکونی، اراضی زراعی و با شیب کم قرار دارند که این مناطق دشتی در شمال غربی حوزه واقع شده‌اند. با اینکه در مناطق جنوبی حوزه نیز مناطق زراعی، مسکونی و جاده وجود دارد ولی مناطقی برای ساخت نیروگاه در اولویت قرار نگرفتند که این به علت وجود محدودیت‌هایی مانند شیب زیاد و سنگی بودن ناحیه است.

مکان‌یابی عرصه‌های مناسب جهت نیروگاه بادی توسط GIS یعنی تلفیق لایه‌ها و در نظر گرفتن اشتراک مکان‌های مناسب، که این امر به‌تنهایی ارزش واقعی لایه‌ها را نشان نمی‌دهد.

تمامی لایه‌ها فارغ از میزان اهمیت آن‌ها (اهمیت کمتر یا بیشتر) در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی نقش دارند. استفاده از DSS و یا مدل‌های دیگر می‌تواند این نقص GIS را برطرف سازد یعنی با استفاده از مدل می‌توان ارزش هر لایه در تلفیق و مکان‌یابی دخالت داده شوند.

بر طبق این نظر با انتخاب محدودیت و عوامل مهم در حوزه بادرود نقشه‌ی اولویت‌بندی مشخص گردید. بازدیدهای محلی نیز در همین راستا صورت پذیرفت و مکان انتخاب شده جهت احداث نیروگاه بادی بسیار مناسب به نظر می‌رسد. بنابراین این روش جهت انتخاب سریع و موفق مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی برای مناطق با خصوصیات جغرافیایی یکسان، پیشنهاد می‌گردد.

در نهایت با استفاده از نقشه حاصل از ترکیب لایه‌ها که ارزش ۰ و ۱ دارد، اولویت‌ها مشخص شدند بدین شکل که هر نقطه به ۱ نزدیک‌تر باشد دارای اهمیت بیشتری است. در جدول (۲) وزن هر یک از عوامل و محدودیت‌ها نشان داده شده که بعد از رستری شدن در درختواره مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول (۲). وزن هر یک از عوامل و محدودیت‌ها

معیارهای مکان‌یابی	وزن
سرعت باد	۰/۵۸
شیب	۰/۵۱
فاصله از جاده	۰/۲۶
کاربری اراضی	۰/۰۶
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۱۳
زمین‌شناسی	۰/۰۵

۳- نتایج و بحث

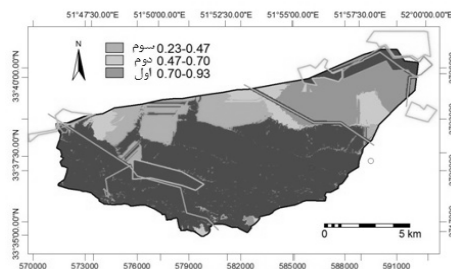
نقشه نهایی، از تلفیق عوامل و محدودیت‌ها به‌دست آمد که نقشه‌ی حاصل نقشه‌ای ترکیبی با ارزش‌های فازی هست که الویت بندی‌های مناسب جهت پروژه نیروگاه بادی را مشخص می‌کند. (جدول (۳)). مساحت اولویت‌های مکانی نیروگاه بادی در حوزه بادرود را نمایش می‌دهد.

جدول (۳). مساحت اولویت‌های مکانی نیروگاه بادی در حوزه بادرود

اولویت‌های مکانی	مساحت بر حسب هکتار
اولویت اول	۱۶۹۱
اولویت دوم	۸۹۳
اولویت سوم	۱۷۱۳
مجموع	۴۲۹۷

۴- نتیجه‌گیری

نقشه نهایی از تلفیق عوامل و محدودیت‌ها به دست آمد که نقشه‌ی حاصل نقشه‌ای ترکیبی با ارزش‌های فازی هست که در شکل (۷) اولویت‌های مکانی ساخت نیروگاه بادی در حوزه بادرورد نشان داده شده است.



شکل (۷). اولویت‌های مکانی نیروگاه بادی در حوزه بادرورد

نتایج این پژوهش توانایی GIS و DSS را در کمک به کاهش هزینه‌ها و در رسیدن به راهکارهای مناسب جهت توسعه پایدار شهری با استفاده از انرژی‌های پایدار و تجدیدشونده به کمک محیط‌زیست و منابع طبیعی را نشان می‌دهد.

۵- منابع

- آقا ابراهیمی، محمدرضا، احمد امینی و محمد کمالی مقدم. ۱۳۸۸. کاربرد GIS در امکان‌سنجی احداث نیروگاه‌های بادی مطالعه موردی: خراسان جنوبی. اولین کنفرانس انرژی تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، بیرجند.
- اسفندیاری، علی، کاظم صابری، عظیم فتاحی مقدم و مهدی فتاحی مقدم. ۱۳۹۰. پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS. همایش ملی ژئوماتیک، تهران.

- شوندی، شیوا. ۱۳۸۴. چیدمانی بهینه توربین‌های بادی در مزارع باد. ارائه‌شده در چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران.
- صادقی، زین‌العابدین، زهرا دلال باشی اصفهانی، و حمیدرضا حری. ۱۳۹۲. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی (۲۱): ۹۲-۱۱۰.
- صلاحی، برومند. ۱۳۸۳. پتانسیل سنجی انرژی باد و بر ارزش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمالی ویول در ایستگاه‌های سینوتیک استان اردبیل. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی (۱۹): ۸۷-۱۰۴.
- قدوسی‌پور، حمید. ۱۳۸۸. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. تهران: انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- کشتکار قلاتی، احمدرضا، مجتبی انصاری، و سجاد نازی دیزجی. ۱۳۸۹. توسعه سامانه بام سبز بر اساس معیارهای توسعه پایدار در ایران. فصلنامه هویت شهر (۶): ۱۵-۲۸.
- مرشدی، جعفر، رضا برنا، اسما اصغری‌پور دشت بزرگ، هدی احمدی، و زینب طاهری عبده‌وند. ۱۳۸۹. مکانیابی نیروگاه‌های بادی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS. مجله کاربرد سنجش ازدور سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی (۲۱): ۹۷-۱۱۱.
- نصرالهی، محمدرضا. ۱۳۸۶. مکانیابی نیروگاه‌های بادی با استفاده از روش‌های تحلیل چندگانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع. دانشگاه تهران.

- area of southwestern taiwan. energy policy 34(6): 730-742
- Zambelli, Pietro., Chiara Lora. Raffaele Spinelli. Clara Tattoni. Alfonso Vitti. Paolo Zatelli, and Marco Ciolli. 2012. A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production. Environmental modeling and software 38: 203-213.
 - نورالهی، یونس، سیدمحمدعلی اشرف، و محسن زمانی. ۱۳۹۰. پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). نشریه انرژی ایران ۱۴(۱): ۱-۲۱.
 - Bazzi, Ali, M. 2008. GIS-based wind farm site selection in Lebanon. IEEE international conference on electro / information technology explores, lebanon.
 - Yue, Cheng-Dar Yue and Shi-Sian Wang, and Shi Sian wang. 2006. GIS based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the chigu

Locating the Wind Power Plants by Using GIS based on Urban Stable Development Criteria in Iran

Parviz Bayat^{1,*}, Farhad Rezazadeh², Pooyan Askarniya³, TayebeZavar Aliakbari⁴

Abstract

Instability of the urban development is the most important challenge of the third millennium. Its main aim is to provide the fundamental needs, improve the life level, better management of ecosystems and secure future. In different economical, social, environmental and natural source dimensions, stability requires applying efficient management systems and benefiting from stable and renewable energies. Wind energy is one of these energies. The most important action in establishing wind power plants is to locate the susceptible regions for building wind power plant. Because of various factors and limitations in locating information flood distribution, geographical set is an efficient tool for using the local data. In this study, environmental, social and economical factors and limitations, climate, geography and geology have been considered and after standardizing and weighting all factors and limitations, it was found that Badrood region has main preference for establishing wind power plant, significantly help providing renewable and stable urban energies.

Keywords: *Stable Development, Locating, GIS, Renewable energy, Wind power plan*

1- Assistant Professor Department of Architecture, Islamic Azad University, Shaarekord Branch

2- Master of Educational Spaces Designing, Islamic Azad University, Shaarekord Branch

3- Master of Natural Resources, Islamic Azad University, Meybod Branch

4- Master of Educational Spaces Designing, Islamic Azad University, Shaarekord Branch

* Corresponding Author: *Parvizbayat22@yahoo.com*