Archive of SID

نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره ششم، شماره ۳، اسفند ماه ۱۳۹۵

ارزیابی منابع و پتانسیل‌سنجی انرژی بادی به منظور تعیین اولویت‌های مکانی احداث نیروگاه‌های بادی در شهرستان دامغان

حسین یوسفی[۱]، سید محمد مهدی موسوی[۲]، یونس نوراللهی[*۱]

[۱] استادیار گروه مهندسی انرژی‌های نو و محیط زیست - دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران
{*noorollahi, hosseinyousefi}@ut.ac.ir

[۱] کارشناس ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر - دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران
mehdimousavi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۵، تاریخ تصویب آبان ۱۳۹۵)

چکیده

رشد فزاینده مصرف انرژی متناسب با توسعه اقتصادی و روند افزایش جمعیت با توجه به محدودیت ذخایر سوخت‌های فسیلی از یک طرف و معضلات زیست محیطی ناشی از مصرف اینگونه منابع انرژی از طرف دیگر، بهینه‌سازی در مصرف انرژی و استفاده از سایر منابع انرژی را ضروری می‌سازد. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی برق بادی بدلیل شرایط اقتصادی بهتر و همچنین عدم آلایندگی محیط زیست، امروزه بیشتر از سایر منابع تجدیدپذیر مورد توجه واقع شده است. تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی نیازمند توجه به معیارها و عوامل مختلفی است. در این تحقیق ضمن شناسایی پارامترهای مهم در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی، نقش و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل نیز مشخص گردیده است و براساس نقش و تأثیر متفاوت فاکتورهای مختلف، نقشه‌های متعددی تهیه گردیدند. جهت تلفیق نقشه‌ها، مدل فازی انتخاب و پیاده سازی گردیده است. به منظور انجام مطالعات ذکر شده، شهرستان دامغان از استان سمنان که از مناطق بادخیز کشور به حساب می‌آید، انتخاب گردیده است. مطالعات نشان می‌دهند که شهرستان دامغان بیشترین پتانسیل انرژی بادی را در استان سمنان دارا می‌باشد.

پس از بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌ها به کمک نرم افزار GIS، مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. مناطق مستعد در فاصله مناسبی از راه‌های دسترسی، خطوط انتقال نیرو، مراکز جمعیتی و ... قرار دارند. در مجموع ۲۲۴۰ کیلومتر مربع از شهرستان دامغان جهت احداث نیروگاه‌های بادی مناسب تشخیص داده شد (حدود ۱۶٪ از کل). میزان انرژی قابل استحصال از مزارع بادی در شهرستان دامغان با در نظر گرفتن کلیه معیارهای یاد شده و رعایت فواصل مناسب مابین مزارع بادی برای جلوگیری از افت توان، حدود ۱۰۰۰ مگاوات برآورد شد.

واژگان کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، معیارهای مکان‌یابی، منطق فازی، نیروگاه بادی، شهرستان دامغان

* نویسنده رابط

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

بدلیل رشد جمعیت، بالا رفتن سرانه مصرف انرژی الکتریکی، توسعه بخشهای صنعتی، کشاورزی و... میزان تقاضای انرژی الکتریکی پیوسته درحال افزایش بوده است. تأمین انرژی الکتریکی موردنیاز مصرف کنندگان، مستلزم توسعه شبکه برق کشور و از جمله احداث نیروگاه‌های جدید می باشد. با توجه به تأثیر موقعیت مکانی نیروگاه بر میزان تولید و بازدهی آن، هزینه تولید و انتقال انرژی، محیط زیست و ... ، انجام مطالعات گسترده در مورد مکان یک نیروگاه بادی ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه نیازمند توجه به معیارها و عوامل مختلفی است که اکثر آنها ماهیت مکان مرجع دارند. قابلیت GIS در ذخیره سازی، بازیابی، بهنگام سازی، پردازش، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی، استفاده از آن را بعنوان راه حلی مفید و کارآمد در مکانیابی نیروگاه‌های بادی مطرح می نماید.

در کشور ایران با توجه به بالا بودن میزان رشد اقتصادی و فعالیت های توسعه ای، تقاضای سالیانه برای انرژی‌های مختلف از جمله انرژی الکتریکی افزایش یافته است. به همین جهت احداث نیروگاه‌های بادی جدید در کشور جهت توسعه اقتصادی، به ضرورتی انکارناپذیر تبدیل شده است. اجرای این گونه طرح‌های عمرانی و توسعه‌ای، می‌تواند اثرات بالقوه‌ای را روی محیط زیست منطقه خود بر جای گذارد (اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های بادی بر محیط زیست منطقه عمدتاً مربوط به مرحله ساخت نیروگاه می‌باشد)، بخش قابل توجهی از این اثرات به گونه‌ای است که در صورت مکان‌یابی صحیح می‌توان آن را تا حد زیادی کنترل کرده و یا از شدت و میزان اثرات آنها کاست یا این مقدار را تا حد صفر پایین آورد.

در پژوهشی، میرحسینی و همکاران [۱]، پتانسیل انرژی باد را در استان سمنان مورد ارزیابی قرار دادند و نهایتاً شهرستان دامغان بهترین مکان برای نصب نیروگاه بادی در این استان تعیین گردید. ولی در این پژوهش، در خصوص اینکه چه بخش‌هایی از این استان برای احداث نیروگاه بادی مناسب است و یا محدودیت‌های زیست محیطی، فنی- اقتصادی و جغرافیایی چه چیزهایی هستند و چه سطحی از منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مطالعه‌ای صورت نگرفته است. لذا در تحقیق پیش رو، ضمن بررسی معیارهای مورد استفاده در دنیا، این معیارها بومی سازی شده و با استفاده از تکنیک ارزیابی چند معیاره، (MCDM)[۱]، مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت. در ادامه، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی کد نویسی لازم برای انجام مکانیابی توربین‌های بادی، انجام می‌شود. در نهایت سایت یابی دقیق مناطق دارای پتانسیل در این شهرستان با استفاده از تکنیک تحلیل سلسه مراتبی[۲]، طبقه بندی و اولویت بندی شده و بهترین مناطق جهت احداث مزارع بادی در شهرستان دامغان، مشخص شده و میزان پتانسیل قابل استحصال از انرژی باد در آن مناطق، برآورد می شود.

در این تحقیق عواملی که در پتانسیل‌سنجی، مکان‌یابی و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی موثر هستند مورد تصمیم گیری واقع می‌شوند. بدیهی است که با توجه به اینکه عوامل زیادی در تصمیم گیری یا انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی دخیل‌اند، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با توجه به قابلیت خود در مدیریت حجم زیاد داده‌های مکانی از منابع مختلف، مطلوب می‌باشد. استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) برای ارزش‌گذاری معیارهای موثر در تصمیم گیری و انتخاب مکان مناسب یکی از راهکارهای مفیدی است که در این تحقیق از آن بخوبی استفاده شده است. هدف این تحقیق با استفاده از تلفیق فازی در محیط GIS و روش‌های تصمیم گیری چند معیاره، انتخاب و اولویت گذاری مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی در شهرستان دامغان واقع در استان سمنان است.

۲- انرژی بادی در جهان

انجمن جهانی انرژی بادی گزارش کرده است که ظرفیت نیروگاه‌های بادی در جهان در سال ۲۰۱۳ به ۳۱۸۱۰۵ مگاوات رسیده است که ۲۰۰،۰۰۰ مگاوات آن در ۵ سال اخیر به بهره‌برداری رسیده است (شکل‌های ۱و۲). در سال ۲۰۱۳ به رغم مشکلات و بحران‌های اقتصادی جهانی، ۱۲,۵ درصد رشد در زمینه انرژی بادی ثبت شده است [۲].

---

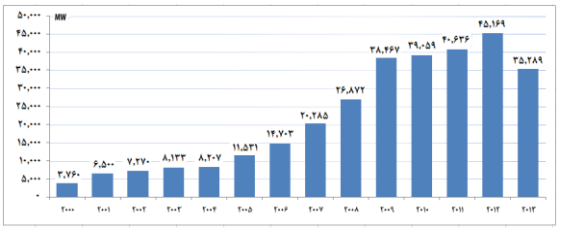
۱ Multi Criteria Decision Making
۲ Analytic Hierarchy Process (AHP)

www.SID.ir

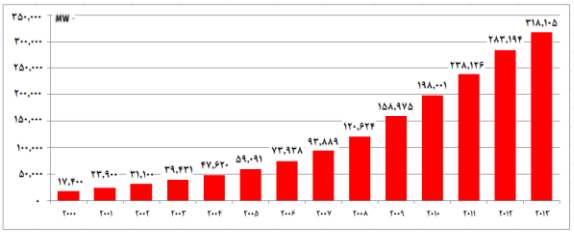
Archive of SID

انرژی بادی تا سال ۲۰۵۰ قادر خواهد شد ۱۸ درصد انرژی الکتریکی دنیا را تولید کند که در حال حاضر ۲/۶ درصد از انرژی الکتریکی دنیا توسط برق بادی تأمین می‌شود (شکل ۳). برای دست یابی به این هدف باید ظرفیت ۳۰۰ گیگاواتی حال حاضر صنعت برق ۸ تا ۱۰ برابر شود. هم‌اکنون در این صنعت سالانه ۷۸ میلیارد دلار هزینه می‌شود که تا پایان سال ۲۰۵۰ به ۱۵۰ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت (شکل ۴) [۳]. توسعه انرژی بادی به مقدار یاد شده خواهد توانست تا ۴/۸ گیگا تن از انتشار گاز CO_2 در سال تا سال ۲۰۵۰ جلوگیری کند (شکل ۵).

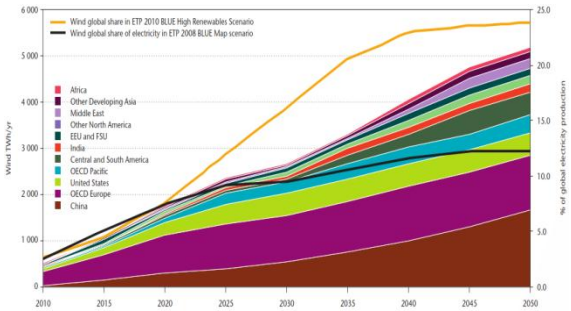
همچنین در هدف‌گذاری سال ۲۰۵۰ به کاهش ۲۵ درصدی هزینه تولید انرژی بادی در خشکی و ۴۵ درصدی هزینه تولید انرژی بادی در آبها دیده شده است. (شکل ۴)



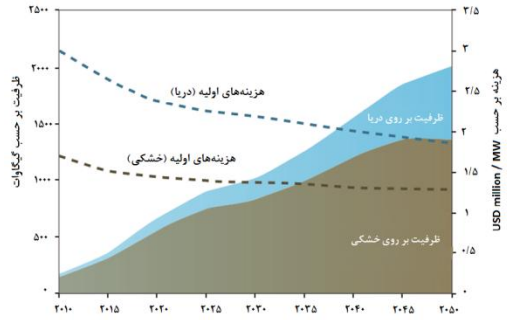
شکل۱- ظرفیت نصب شده توربین‌های بادی به تفکیک سال بر حسب مگاوات [۲]



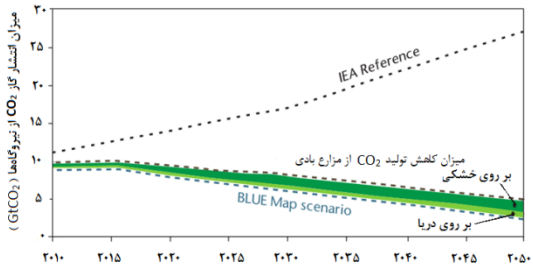
شکل۲- مجموع ظرفیت نصب شده توربی‌های بادی تا پایان سال ۲۰۱۳ بر حسب مگاوات [۲]



شکل۳- سهم منطقه‌ای انرژی بادی در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰ (تراوات ساعت) [۳]



شکل۴- ظرفیت توسعه انرژی بادی و کاهش قیمت‌های مربوط به آن در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۵۰ [۳]



شکل۵- میزان کاهش انتشار گاز CO_2 از توسعه انرژی بادی بین سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰ [۳]

۳- انرژی بادی در ایران

ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرار گرفتن در یک منطقه کم فشار مجاور به مناطق پرفشار شمال و شمال غرب به طور کلی در زمستان‌ها در مسیر بادهایی است که از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه و نیز آسیای مرکزی می‌وزد، و در تابستان‌ها در مسیر بادهایی است که از طرف اقیانوس هند و همچنین بادهای ورودی از سمت شمال غرب است.

در سال ۱۳۸۱ در سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) طرح ملی پتانسیل سنجی و تهیه اطلس بادی کشور آغاز گردید و تا سال ۱۳۸۸ به طول انجامید. طبق اطلس بادی تهیه شده در این طرح و بر اساس اطلاعات دریافتی از ۶۰ ایستگاه در مناطق مختلف کشور، میزان ظرفیت اسمی سایتها در حدود ۶۰۰۰۰ مگاوات می‌باشد. بر پایه پیش بینی‌های صورت گرفته، میزان انرژی قابل استحصال بادی کشور از لحاظ اقتصادی بالغ بر ۱۸۰۰۰ مگاوات تخمین زده می‌شود که مؤید پتانسیل قابل توجه کشور در زمینه احداث نیروگاههای بادی و همچنین اقتصادی بودن سرمایه گذاری در صنعت انرژی بادی می‌باشد [۴].

www.SID.ir

Archive of SID

تا پایان سال ۱۳۹۱ ظرفیت نیروگاه‌های بادی در حال بهره‌برداری در سراسر کشور ۱۰۶/۱ مگاوات بوده است که در جدول ۱ آورده شده است [۵].

در وزارت نیرو، نصب پنج هزار مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در قانون برنامه پنجم توسعه هدفگذاری شده است که از این میزان ۴۵۰۰ مگاوات آن برای توسعه برق بادی در نظر گرفته شده است، می‌توان گفت در پنج سال آینده قریب به چهار هزار مگاوات بازار در این زمینه برای توسعه بخش خصوصی وجود خواهد داشت.

بازار نیروگاه‌های بادی در ایران رو به شکوفایی است و ورود به این بازار می‌تواند آینده خوبی را در دراز مدت برای سرمایه گذاران تضمین کند. بنابراین اگر به ایران به صورت پایگاهی برای تولید تجهیزات و تأمین نیروی انسانی متخصص نگریسته شود بازارهای کشورهای منطقه می‌توانند مورد توجه قرار گیرند.

جدول۱- مشخصات سایت های توربین های بادی در حال بهره برداری کشور در سال ۱۳۹۱ است [۶]

نیروگاه بادی	سایت	استان	شهرستان	توربینهای نصب شده	
				تعداد	ظرفیت (کیلووات)
منجیل	پسکولان	گیلان	رودبار	۲۲	۱۴۵۲۰
	رودبار	گیلان	رودبار	۴	۲۱۵۰
	سیاهپوش	گیلان	رودبار	۴۴	۲۹۰۴۰
	منجیل	گیلان	رودبار	۳۱	۱۳۲۵۰
	هرزویل	گیلان	رودبار	۲۷	۱۳۵۰۰
بینالود		خراسان	نیشابور	۴۳	۲۸۳۸۰
سهند	دانشگاه سهند تبریز	آذربایجان شرقی	تبریز	۱	۱۰
	تبریز	آذربایجان شرقی	تبریز	۳	۱۹۸۰
لوتک	زابل	سیستان و بلوچستان	زابل	۱	۶۶۰
بابا کوهی شیراز	بابا کوهی	فارس	شیراز	۱	۶۶۰
ماهشهر خوزستان	ماهشهر	خوزستان	ماهشهر	۱	۶۶۰
سرعین اردبیل	سرعین اردبیل	اردبیل	اردبیل	۱	۶۶۰
صفه اصفهان	صفه اصفهان	اصفهان	اصفهان	۱	۶۶۰
جمع		-	-	۱۸۰	۱۰۶۱۳۰

۴- معرفی منطقه مورد مطالعه

استان سمنان بر اساس آخرین تقسیمات کشوری با داشتن ۵ شهرستان (دامغان، سمنان، شاهرود، گرمسار و مهدیشهر)، ۱۳ بخش، ۱۷ شهر و ۲۹ دهستان ، دارای مساحتی معادل ۹۷۴۹۱ کیلومتر مربع می‌باشد که بین ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی از مبدا استوا قرار گرفته است [۷].

این استان از جانب شمال به استان‌های خراسان شمال، گلستان و مازندران، از جنوب به استان‌های یزد و اصفهان، از مشرق به استان خراسان رضوی و از مغرب به استان‌های تهران و قم محدود است و مرکز آن شهر سمنان می‌باشد (شکل ۶).

بر اساس برآورد جمعیت استان در سال ۱۳۸۹ بالغ بر ۶۲۶۳۰۸ نفر بوده که از این تعداد ۴۸۰۲۶۹ نفر در مناطق شهری در مناطق شهری و ۱۴۶۰۳۹ نفر در مناطق روستایی ساکن بوده‌اند و تراکم نسبی جمعیت در همین سال ۶/۴۲ نفر در کیلومتر مربع است [۷].

استان سمنان در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز واقع شده که ارتفاع آن از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و به دشت کویر منتهی می‌شود. این استان به دو بخش کوهستانی و دشت‌های پایکوهی تقسیم می‌شود. از دیگر مشخصات جغرافیایی این منطقه وجود شیب با جهت شمال به جنوب است که علت آن مجاورت با سلسه کوه‌های البرز در شمال و زمین‌های هموار و کویر در جنوب است.

استان سمنان به دلیل نزدیکی با پایتخت ایران (استان تهران)، دارا بودن شبکه ارتباطی پیشرفته و راه آهن از جایگاه ویژه ای برخوردار است. این استان به دلیل موقعیت جغرافیایی، اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی و محدودیت‌های آب وخاک، از موقعیت کشاورزی مطلوبی برخوردار نیست. تنها دو درصد از کل مساحت استان زیر کشت آبی و دیم است. ولی در بخش دام داری، منطقه به علت داشتن مراتع غنی از وضعیت خوبی برخوردار است و به عنوان یکی از قطب‌های مهم دامپروری کشور به شمار می‌آید [۸]. از این رو با توجه به پتانسیل خوب این استان، این تحقیق به مطالعه انرژی بادی و ارزیابی مناطق مستعد جهت احداث مزارع بادی در شهرستان دامغان از استان سمنان می‌پردازد.

www.SID.ir

Archive of SID

تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص پتانسیل سنجی انرژی باد در اقلیم‌های مختلف جهان صورت گرفته است. از آن جمله، می‌توان به کارهای ذیل اشاره، کرد:

ایلیوت و همکاران [۹] پتانسیل انرژی باد را در ۴۸ ایالت آمریکا به کمک توزیع ویبول محاسبه و میزان انرژی باد قابل استحصال را برای کل کشور برآورد کردند. در نتیجه این تحقیق، وجود پتانسیل بالای انرژی بادی در دشتهای مرکزی آمریکا نسبت به دیگر مناطق این کشور را تأیید کرد. ایلیوت و همکاران [۱۰] و [۱۱] قبلاً نیز در تحقیقاتی دیگر اطلس انرژی باد ایالات متحده امریکا را تهیه کرده بودند.

جایاکومار و همکاران [۱۲] برای برآورد متوسط سرعت باد ۱۸ ایستگاه هواشناسی منطقه تامیل نادو هندوستان از توزیع آماری گاما استفاده کرده و نقشه پتانسیل انرژی باد منطقه را ترسیم کردند بعلاوه، آنها با مقایسه نتایج برآوردهای حاصل از بکارگیری توزیع‌های دو پارامتره ویبول و گاما، دریافتند که خروجی هر دو مدل تقریباً یکسان بوده است و قابل اعتماد هستند.

در کشور ایران به دلیل وجود منابع فراوان انرژی سوختهای فسیلی تحقیقات در خصوص ارزیابی منابع انرژی بادی در مقیاس میکرو و منطقه‌ای به جد مورد توجه واقع نشده است. اگرچه در خصوص انرژی‌های نو مطالعاتی در مقیاس ماکرو توسط کاویانی [۱۳]، سازمان هواشناسی کشور [۱۴]، راحلی سلیمی [۱۵]، ذوالفقاری [۱۶]، محمدی [۱۷] و جهانگیری [۱۸] صورت گرفته است، ولی هنوز خلاء پژوهش محسوس است. چرا که در کلیه تحقیقات مذکور تنها از یک روش مشابه آنهم برآورد پارامترهای توزیع ویبول با استفاده از جدول توزیع فراوانی استفاده شده است.

از آن جمله، زاهدی و همکاران [۱۹] با هدف بررسی پتانسیل انرژی باد در اردبیل با استفاده از داده‌های سه ساعته نتیجه گرفتند که ایستگاه اردبیل با سرعت متوسط ۶/۳۷ متر بر ثانیه برای بهره برداری از انرژی باد مناسب است.

گندم کار و همکاران [۲۰] نیز با روشی مشابه، استحصال انرژی بادی در منطقه سیستان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اطراف زابل مناسبترین منطقه برای احداث مزارع بادی در آن ناحیه است. همچنین پتانسیل انرژی باد در منطقه منجیل توسط مصطفایی پور و ابرقوئی [۲۱]، بررسی شد که این منطقه به عنوان یکی از مناطق باد خیز جهان معرفی شده است.

در پژوهشی دیگر، میرحسینی و همکاران [۲۲]، پتانسیل انرژی باد را در استان سمنان مورد ارزیابی قرار دادند و نهایتاً شهرستان دامغان بهترین مکان برای نصب نیروگاه بادی در این استان تعیین گردید. ولی در این پژوهش، در خصوص اینکه کجای این استان برای احداث نیروگاه بادی مناسب است و یا محدودیت‌های زیست محیطی، فنی- اقتصادی و جغرافیایی چه چیزهایی هستند و چه سطحی از منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مطالعه‌ای صورت نگرفته است. لذا در تحقیق پیش رو، ضمن بررسی معیارهای مورد استفاده در دنیا، این معیارها بومی سازی خواهند شد و با استفاده از تکنیک ارزیابی چند معیاره، مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت. در ادامه، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی کدنویسی لازم برای انجام مکانیابی توربین‌های بادی، انجام خواهد شد. در نهایت سایت یابی دقیق مناطق دارای پتانسیل در این شهرستان با استفاده از تکنیک تحلیل سلسه مراتبی، طبقه بندی و اولویت بندی شده و بهترین منطقه برای احداث مزرعه بادی، مشخص شده و میزان پتانسیل قابل استحصال از انرژی باد، برآورد خواهد شد.

۴-۱- شهرستان دامغان

شهرستان دامغان طبق آخرین سرشماری در سال ۱۳۸۹ با مساحت ۱۴۰۲۷ کیلومتر مربع با برآورد جمعیت ۸۸۹۱۰ نفر از طرف شمال به استان‌های گلستان و مازندران و از طرف جنوب به استان اصفهان و از طرف شرق به شهرستان شاهرود و از غرب به شهرستان‌های سمنان و مهدیشهر منتهی می‌شود [۸].

حداقل طول شرقی جغرافیایی شهرستان دامغان ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه و حداقل عرض شمالی جغرافیایی آن ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه قرار داشته و ارتفاع ایستگاه هواشناسی مرکز شهرستان از سطح دریا ۱۱۵۵ متر و اختلاف ساعت آن با تهران ۱۱ دقیقه و ۵ ثانیه می‌باشد [۸].

سلسله جبال البرز از قسمت شمالی این شهرستان می‌گذرد و تا شمال شهر امتداد و در آنجا، با زمین یکسان می‌گردد و در قسمت غرب بین دامغان و سمنان یک رشته آن تا حدود راه آهن ادامه دارد و خط الراس آن خط طبیعی شهرستان دامغان و سمنان است و در قسمت

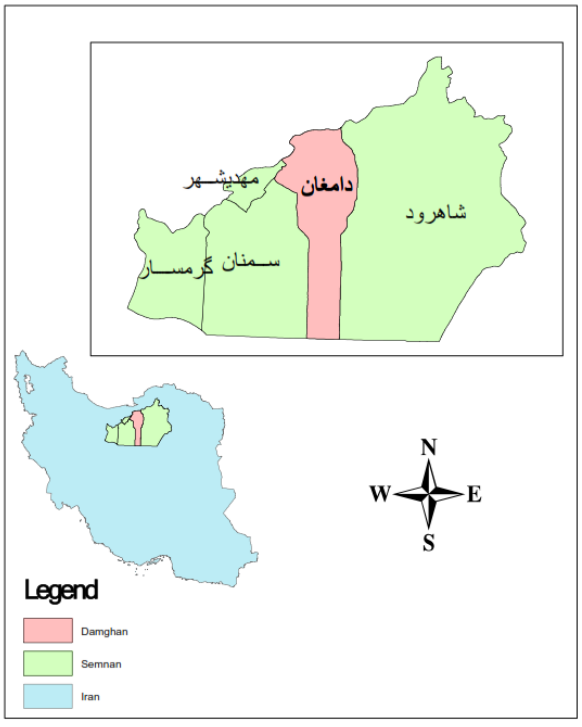
www.SID.ir

Archive of SID

جنوبی و حاشیه دشت کویر، کوه‌های کم ارتفاعی مشاهده می‌شود که قسمتی منفرد و پاره‌ای متصل به هم و تقریباً موازی با سلسله جبال البرز است.

بطور خلاصه میتوان گفت، دامغان در یک چاله مستقل زمین ساختی واقع شده که شمال آن را کوههای البرز و جنوب آن را دشت کویر (قسمتی از بزرگترین نمکزار ایران و جهان) فرا گرفته است. قسمت اعظم منطقه دامغان از دشت وسیعی که دارای شیبی مناسب (همگرا و بسیار ملایم با ۱٪) به سمت جنوبی می باشد. با توجه به شرایط طبیعی و ارتباطی مساعد و مناسب در بخش شمالی و شمال شرقی و شمال غربی دامغان، بیشترین تراکم جمعیت این شهرستان در این قسمت هاست. در بخش جنوبی به علت نامساعد بودن شرایط آب و هوایی و نیز نامساعد بودن خاک و وجود کویر و نیز فقدان آب خوب و کافی و همچنین دور بودن از جاده های اصلی، تراکم جمعیت کم است.

شهرستان دامغان با توجه به وجود ارتفاعات در شمال و دشت کویر در جنوب تقریباً می توان گفت که دارای سه تیپ اقلیمی است. منطقه نیمه خشک و معتدل تا سرد کوهستانی در شمال و منطقه خشک و معتدل در پایکوه و شهر دامغان و منطقه خشک معتدل تا گرم و کویری در جنوب.



شکل۶- موقعیت شهرستان دامغان و استان سمنان در کشور

بادهای دامغان از گذشته‌های دور معروف و شناخته شده بودند و به دلیل شدت و تنوع آن حتی باعث به وجود آمدن افسانه‌های مختلفی در این زمینه شده است. این بادهارا می‌توان به طور کلی به هفت قسمت دسته بندی کرد که عبارتند از:

۱- تورانه: این باد از بیستم فروردین شروع می‌شود به طور متناوب می‌وزد. گاهی ممکن است تا ۳ شبانه روز ادامه داشته باشد و گاهی از شب تا صبح بوزد. باد تورانه خنک است و از سمت سمنان می‌وزد. این باد تحت تأثیر جریان عمومی هوا به وجود می‌آید.

۲- باد چالو: احتمالاً نام آن از کوه چالویی در شمال دامغان گرفته شده است و از فروردین تا تیرماه می‌وزد. این باد به فرآورده‌های کشاورزی خسارت وارد می‌کند.

۳- باد شهریاری: از جنوب غربی می‌وزد و فصل وزش آن بهار و تابستان است. باد شهریاری به طور متناوب می‌وزد و معمولاً از بعد از ظهر شروع می‌شود و تا غروب ادامه می‌یابد. این باد نیز در اثر تفاوت دما به وجود می‌آید.

۴- باد بَشم: که از اواسط اسفند تا اواخر اردیبهشت می‌وزد و بعضی سال‌ها به سر درختی‌ها (میوه‌ها) صدمه می‌زند. این باد از کوه بشم، در شمال غربی دامغان می‌وزد و اغلب سبب ایجاد آن، تفاوت دما بین کوهستان و دشت است.

۵- باد راجی: بادی پرگرد و خاک است که از اواسط اسفند شروع می‌شود و تا اواخر اردیبهشت ادامه دارد.

۶- باد بسطام : از شمال شرقی شهرستان دامغان می‌وزد و وزش آن، فصل معینی ندارد.

۷- باد کویر: در تابستان می‌وزد و ۲ تا ۳ ساعت بیشتر ادامه ندارد. این باد در غرب دامغان به باد پایین مشهور است.

دلیل شدت وزش باد در دامغان این است که چون دامغان در انتهای دالانی از شعبات کوه البرز قرار گرفته، پیوسته در معرض بادهایی است که تقریباً همیشه در این معبد جریان دارد.

بطور کلی باید اشاره کرد که در شهرستان دامغان در گذشته و حال بدلیل تنوع بادها چه از نظر سرعت و شدت و چه از لحاظ مدت زمان وزش باد با سایر نقاط استان تفاوتهای فاحشی داشته بطوری که مسئله باد در شهر بسیاری از عوامل طبیعی، اجتماعی و اقتصادی را تحت الشعاع خود قرار داده و در واقع محدود کننده بسیاری از عوامل فوق بوده است. در این شهرستان وزش باد در تمامی فصول سال جریان داشته، اما در فصل تابستان از نظر سرعت و شدت به حداکثر خود می‌رسد. اگر قصد توصیف سرعت و وزش باد را در دامغان باشد، عدم وجود درختان

www.SID.ir

Archive of SID

بلند قامت و کهنسال در این شهرستان بهترین وصف است. قابل توجه است که جهت بادهای دامغان از سوی شمال غرب به جنوب شرق است. علاوه بر آن بادهای «تورانه» ـ «آریانه» ـ «باد شهریاری» ـ «باد چالو» ـ «باد راجی» ـ «باد بسطام» ـ «باد کویری» ـ در جهات مختلف و در فصول معین در این شهرستان جریان دارند [۲۳].

۴-۲- تولید و مصرف انرژی الکتریکی در استان سمنان و شهرستان دامغان

به طور کلی در استان سمنان در سال ۱۳۹۱، به میزان ۶۶۰/۵ مگاوات نیروگاه گازی وجودد داشته است که با تولید ۲۶۲۴/۶ گیگاوات ساعت برق به ۳۱۳۱۳۹ مشترک که شامل مشترکین خانگی، عمومی، تجاری، صنعتی، کشاورزی و حتی روشنایی معابر می‌باشند، برق مورد نیاز این مشترکین را تأمین کرده‌اند [۵].

در حال حاضر کلیه نیاز الکتریکی در شبکه برق استان با احداث نیروگاه‌های حرارتی جدید انجام می‌شود. تاکنون تمامی این نیروگاه‌ها از نوع گازی بوده‌اند. اما امروزه استفاده از سیستم‌های تولید پراکنده و نیروگاه‌های تجدیدپذیر روشی است که اکثر کشورهای دنیا برای تأمین نیاز برق خود و همچنین پیک سایی بکار گرفته‌اند. البته درصورتیکه از روش‌های ذخیره سازی انرژی الکتریکی تولیدی از منابع تجدیدپذیر برای پیک سایی ستفاده گردد سیستم پایداری بیشتری خواهد داشت.

با توجه به ظرفیت بسیار خوب استان سمنان به منظور بهره‌گیری از انرژی بادی، بنظر می‌رسد که استفاده از این منبع رایگان انرژی، راهکار بسیار مناسبی برای حل مسأله تأمین نیاز برق و همچنین پیک سایی می‌باشد. لذا در ادامه این تحقیق، با ذکر معیارهای مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی، امکان احداث این مزارع در شهرستان دامغان از استان سمنان بررسی خواهد شد و در نهایت مکان‌های مناسب شناسایی خواهند شد.

۵- تعیین معیارهای موثر در فرایند مکان یابی نیروگاه

مطالعه روش‌های رایج مکان‌یابی سایت‌های صنعتی و همچنین تجربیات مربوط به استفاده از GIS و تصمیم گیری چند معیاری در این زمینه، نشان می‌دهد که تعیین مکان مناسب برای نیروگاه تا حد زیادی به شناخت کامل و صحیح معیارهای موثر وابسته است. عدم توجه به هر یک از عوامل اساسی در این زمینه ممکن است منجر به انتخاب یک مکان نامناسب گردد و خسارت‌های فروان و زیانباری در پی داشته باشد.

از آنجا که احداث و بهره برداری نیروگاه نیازمند اختصاص هزینه‌های کلان و صرف هزینه طولانی می باشد، دقت در تعیین بهترین مکان برای آن می‌تواند تا حد زیادی از هزینه-های غیر ضروری بکاهد. مکان انتخابی باید به گونه‌ای باشد که دسترسی به معیارهای مورد نیاز در مرحله ساخت و بهره برداری با حداقل هزینه امکان پذیر باشد. و همچنین سایت‌ها علاوه بر توان زیست محیطی بازدهی بالایی داشته باشند. علاوه بر این زمین انتخابی باید از استحکام کافی جهت ساخت چنین سازه‌هایی برخوردار باشد. به عنوان نمونه، از ساخت نیروگاه بر روی گسل، باتلاق، زمین‌های دارای خاک سست و نظیر آن که احتمال نشست دارند، بایستی خودداری گردد. همچنین لازم است مکانی انتخاب گردد که سایت تا حد ممکن از گزند حوادث طبیعی نظیر سیل و زلزله مصون بماند. همچنین مکان انتخابی باید به گونه‌ای باشد که با احداث و بهره برداری از آن، بهداشت عمومی، منابع طبیعی، زندگی جانداران مختلف و غیره در معرض خطر قرار نگیرند. به همین دلیل اثرات مختلف ناشی از احداث و بهره برداری از این سایت‌ها و همچنین عواملی که باید از آنها در مقابل اثرات منفی ناشی از احداث سایت‌ها محافظت نمود مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این ساخت نیروگاه اثرات اجتماعی و فرهنگی نیز به دنبال دارد که این اثرات می‌توانند مثبت یا منفی باشند. بهتر است در انتخاب مکان تا جایی که ممکن است، این اثرات را نیز مورد توجه قرار دارد. به عنوان نمونه، احداث نیروگاه، چرخ صنایع بزرگ و کوچک زیادی را به حرکت در می‌آورد و برای مدت زمان طولانی فرصت‌های شغلی فراوانی ایجاد می‌نماید. با توجه به این مسئله معیارهایی نظیر میزان بیکاری نیز می‌تواند در انتخاب مکان نیروگاه مدنظر قرار گیرد. لیکن باید توجه داشت که چنین معیارهایی در مقایسه با عوامل زیر بنایی مانند نزدیکی به خطوط شبکه و راه‌های ارتباطی چندان حائز اهمیت نیستند.

در این مطالعه سعی بر این بوده که معیارهای موثر تشریح گردند. مطالعه انجام شده در سطح کل استان و در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ است. بررسی مطالعات مذکور نشان می‌دهد که اغلب معیارهای موثر مکان مرجع می‌باشند. لذا استفاده از یک سیستم مکانی نظیر GIS می‌تواند بستر مناسبی را جهت بکارگیری این عوامل در تعیین مکان مناسب فراهم می‌کند. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ معیارهای مورد استفاده، لایه های اطلاعاتی عوامل و عوارض مورد نیاز هر معیار، اثرات و اهمیت هر معیار در فرایند مکان یابی، مشخص

www.SID.ir

Archive of SID

شده است. با توجه به موارد مطرح شده معیارهای زیر برای مکان یابی نیروگاه های بادی در استان سمنان مورد استفاده قرار گرفتند. این معیارها مختص شرایط استان سمنان می باشد ولی می‌توان از این معیارها برای دیگر نقاط کشور نیز با تغییرات اندکی استفاده نمود. نقش موثر هر معیار در فرایند مکان یابی و دلیل انتخاب آن در ادامه تشریح شده است.

در منابع علمی مختلف، معیارها و پارامترهای مؤثر جهت استقرار نیروگاههای بادی، عموماً در قالب گروه‌های مختلفی مانند زیست محیطی، جغرافیایی، بوم شناختی، جمعیتی، کاربری زمین، هیدرولوژیکی، امنیتی، فنی و... مورد مطالعه قرار می‌گرفته‌اند. اما به دلیل همپوشانی بعضی از این گروه‌ها و جامعیت برخی نسبت به سایرین، در این مطالعه جهت ترسیم و بررسی و طبقه‌بندی موضوعی معیارها، در ۳ گروه معیارهای زیست محیطی، معیارهای فنی - اقتصادی و معیارهای جغرافیایی طبقه بندی خواهند شد.

معیارهای زیست محیطی شامل حداقل فاصله از مناطق حفاظت شده سازمان حفاظت محیط زیست کشور، شهرها و مراکز جمعیتی، سواحل، تالاب‌ها، جنگل‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌باشند. معیارهای فنی و اقتصادی مورد بررسی در استقرار نیروگاه بادی، عبارتند از انتخاب نوع توربین بر اساس سرعت باد مطابق با مشخصات توربین و استاندارد IEC-61400-1، فاصله از راه‌ها، اعم از جاده‌های فرعی، بزرگراه‌ها و آزاد راه‌ها، فاصله از خطوط راه آهن، فاصله از فرودگاه‌ها، اعم از محلی و نظامی و فاصله ازخطوط انتقال برق منطقه می‌باشند.

معیارهای جغرافیایی مورد بررسی شامل حداکثر ارتفاع از سطح دریا و حداکثر درصد شیب زمین می‌باشند. در جدول ۲ کلیه معیارهای موثر در فرآیند مکانیابی نیروگاه‌های بادی درج شده است. در این جدول پس از تقسیم بندی معیارها به سه گروه ذکر شده، بزرگی هر معیار و روش تلفیق آن با دیگر معیارها نیز در مقابل آن نوشته شده است.

جدول۲- معیارهای موثر در انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی

نوع معیار	نام معیار	بزرگی معیار	روش تلفیق لایه‌ها	مرجع
معیار فنی – اقتصادی	حداقل و حداکثر فاصله از راه‌های اصلی	۲۵۰۰ متر – ۴۰ کیلومتر	فازی	[۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹]
	حداقل و حداکثر فاصله از راه‌های فرعی	۵۰۰ متر – ۴۰ کیلومتر	فازی	[۲۵، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۶]
	حداقل و حداکثر فاصله از خطوط انتقال برق	۲۵۰ متر – ۳۰ کیلومتر	فازی	[۳۱، ۳۴، ۳۵، ۳۶]
	حداقل فاصله از خطوط راه آهن	۲۵۰ متر	بولین	[۲۴،۲۵، ۳۷]
	حداقل فاصله از فرودگاه‌های نظامی	۱۵۰۰۰ متر	بولین	[۳۳، ۳۶]
	حداقل فاصله از فرودگاه‌های محلی	۲۵۰۰ متر	بولین	[۲۵، ۲۶، ۲۴، ۲۷، ۳۶]
	حداقل فاصله از خطوط انتقال نفت و گاز	۵۰۰ متر	بولین	[۲۴]
	حداقل فاصله از خطوط مخابرات	۵۰۰ متر	بولین	[۲۴]
	سرعت باد و انتخاب کلاس باد	بیشتر از ۵/۵ m/s	فازی	[۳۱، ۳۵، ۳۷]
معیارهای جغرافیایی	حداکثر ارتفاع از سطح دریا	۲۰۰۰ متر	فازی	[۳۶، ۳۷، ۳۲، ۲۴]
	حداکثر درصد شیب زمین	۱۵ درصد	فازی	[۴۱، ۳۳]
معیارهای زیست محیطی	حداقل فاصله از شهرها	۲۰۰۰ متر	بولین	[۳۱، ۲۴]
	حداقل فاصله از روستاها	۵۰۰ متر	بولین	[۳۱، ۲۴، ۳۷]
	حداقل فاصله از خانه‌های تکی	۵۰۰ متر	بولین	[۳۳، ۳۴]
	حداقل فاصله از مناطق صنعتی	۲۵۰ متر	بولین	[۲۴]
	حداقل فاصله از گسل‌های اصلی و فرعی	۱۰۰۰ متر	بولین	[۳۶]
	حداقل فاصله از گسل‌های معکوس	۲۰۰۰ متر	بولین	[۳۶]
	حداقل فاصله از تالاب‌ها	۵۰۰ متر	بولین	[۳۱، ۲۴]
	حداقل فاصله از رودخانه‌ها	۵۰۰ متر	بولین	[۳۳، ۳۶]
	حداقل فاصله از دریاها و دریاچه‌ها	۵۰۰ متر	بولین	[۳۲، ۳۵، ۲۴]
	حداقل فاصله از سواحل	۵۰۰ متر	بولین	[۳۴، ۳۲، ۳۳]
	حداقل فاصله از معادن	۱۰۰ متر	بولین	[۳۵]
	حداقل فاصله از سدها	۱۰۰ متر	بولین	[۳۵]
	حداقل فاصله از جنگل‌ها	۲۰۰ متر	بولین	[۳۰، ۳۲]
	حداقل فاصله از باغستان‌ها	۵۰ متر	بولین	[۳۵]
	حداقل فاصله از مناطق تاریخی	۱۰۰۰ متر	بولین	[۳۳]
	حداقل فاصله از چشمه‌ها	۲۰۰ متر	بولین	[۳۵]
	حداقل فاصله از غارها	۲۰۰ متر	بولین	[۳۴]
	حداقل فاصله از مسیرهای عبور سیلاب	۵۰۰ متر	بولین	[۳۴]
	حداقل فاصله از مناطق حفاظت شده	۲۰۰۰ متر	بولین	[۳۱، ۲۹، ۳۳، ۳۴]

www.SID.ir

Archive of SID

۶- پردازش لایه‌ها و تهیه نقشه‌های لازم

نحوه عملکرد و نقش معیارهایی که در جدول ۲ ذکر شده است در مکانیابی نیروگاه بادی متفاوت است. با توجه به ماهیت و نقش معیارهای مختلف در مکان‌یابی لازم است تا لایه‌های اطلاعاتی متفاوتی تهیه شوند و تلفیق این لایه‌ها با یکدیگر نیز ساختار پیچیده و متفاوتی دارد که به سادگی نمی‌توان هر لایه را مشابه لایه دیگر با هم ادغام کرد.

معیارهای ذکر شده در جدول ۲ را با هدف تلفیق بهتر و صحیح تر آنها با یکدیگر و برای آنکه اثر لایه‌ای در سایه لایه دیگر قرار نگیرد، به دو دسته معیارهای محدودیت و معیارهای طبقه‌بندی کننده (فازی) تقسیم شده‌اند (به ستون نحوه تلفیق لایه‌ها توجه شود). ابتدا لایه‌های اطلاعاتی موجود در دسته محدودیت با روش بولین با یکدیگر تلفیق شده و نقشه محدودیت ایجاد شده است. سپس دیگر لایه‌ها پس از فازی سازی و با در نظر گرفتن وزن هر لایه نقشه فازی را ایجاد می‌کنند. در انتها دو نقشه محدودیت و فازی بایکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی را بوجود آورده است. شرح مفصل آن در بخش‌های زیر قابل مشاهده است.

۶-۱- آنالیز محدودیت‌ها و ایجاد نقشه محدودیت

نقشه محدودیت که نشان دهنده مکان‌های نامناسب برای ساخت و ساز در منطقه مورد مطالعه است (مطابق با قوانین و آئین نامه‌های ملی و محلی یا بین‌المللی)، از تلفیق معیارهای ذکر شده در جدول ۲ به روش بولین با ضرایب یکسان بدست آمده است (شکل ۷).

مطابق با نقشه محدوددیت بدست آمده، در کل از حدود ۱۴۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت شهرستان دامغان، حدود ۱/۵ هزار کیلومتر مربع به لحاظ مسائل یاد شده، غیر قابل استفاده جهت احداث مزارع بادی تشخیص داده شده است. این مقدار برابر ۱۰/۷ ٪ از کل مساحت شهرستان دامغان را تشکیل می‌دهد.

در این نقشه، مناطق آبی رنگ مناطق هستند که مشکل زیست محیطی و فنی اولیه جهت احداث مزارع بادی را ندارند و مناطق حذف شده که به رنگ سفید در آمده‌اند، مکان‌های نامناسب برای ساخت و ساز را نمایش می‌دهند.

نقشه محدودیت به تنهایی قابل استفاده نمی‌باشد زیرا فقط مکان‌هایی را نشان می‌دهد که از لحاظ قانونی امکان احداث مزارع بادی در آنها فراهم است، اما به مناسب بودن یا نبودن آن مکانها هیچ اشاره‌ای نمی‌کند. همچنین مناطق باقی مانده از اهمیت یکسانی به منظور احداث مزارع بادی برخوردار نیستند و برخی مناطق مناسبتر از مناطق دیگر هستند. لذا در ادامه با استفاده از منطق فازی و با درنظر گرفتن لایه‌هایی که در ادامه تشریح می‌شوند، ابتدا هر لایه فازی می‌گردد و سپس لایه‌های فازی شده با بهره‌گیریی از روش AHP وزن دهی می‌گردند و سپس با تلفیق این لایه‌ها، نقشه فازی تهیه می‌گردد که با تلفیق این نقشه با نقشه محدودیت، نقشه نهایی تهیه می‌گردد که نشان دهنده مناطق مستعد و مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی می‌باشد.

شکل۷- نقشه محدودیت شهرستان دامغان (نقاطی که امکان نصب توربین در آنها امکان پذیر نمی‌باشد)

۶-۲- ایجاد نقشه‌های فاکتور و فازی سازی لایه‌ها

با توجه به این نکته که نقشه محدودیت به تنهایی قابل استفاده نمی‌باشد، دیگر معیارها که عبارتند از راه‌های دسترسی، خطوط انتقال برق، ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین و سرعت باد، به منظور تصمیم‌گیری بهتر و صحیح‌تر، به صورت نقشه‌های فازی تهیه گردیدند.

در این تحقیق، نقشه‌های فاکتور فازی به نحوی ایجاد گردیده‌اند که مقدار هر پیکسل بر روی آنها، علاوه بر اهمیت نسبی هر نقشه فاکتور، بیانگر اهمیت نسبی هر

www.SID.ir

Archive of SID

کلاس از نقشه فاکتور مورد نظر نیز باشد. این مقدار عددی بین ۰ تا ۱ است. تعیین درجه عضویت با استفاده از توابع مناسب صورت گردید. توابع فازی در روابط ۱ تا ۵ آورده شده‌اند و نقشه‌های تولید شده یر این اساس در شکل ۸ نمایش داده شده است[۲۵، ۲۶، ۲۷].

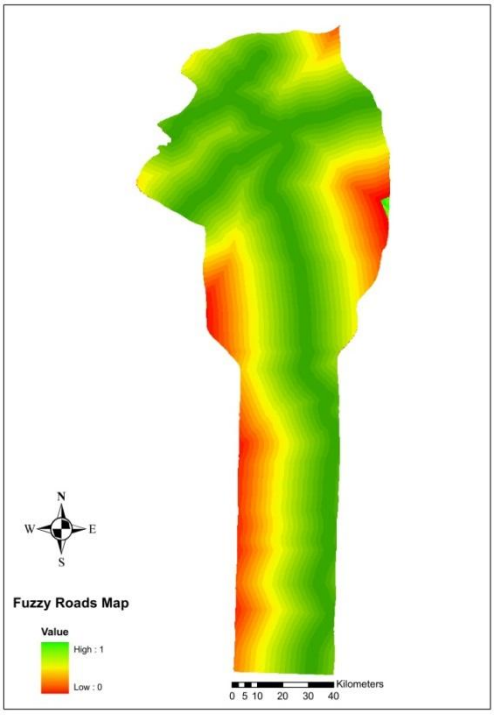
$$\mu(x)=\begin{cases}0 & x<500\\ \frac{1}{2}\left(1+\cos\left(\pi\left(\frac{x-500}{40000-500}\right)\right)\right) & 500\ll x\ll 40000\\ 0 & x>40000\end{cases} \quad (۱)$$

$$\mu(x)=\begin{cases}0 & x<250\\ \frac{1}{2}\left(1+\cos\left(\pi\left(\frac{x-250}{30000-250}\right)\right)\right) & 250\ll x\ll 30000\\ 0 & x>30000\end{cases} \quad (۲)$$

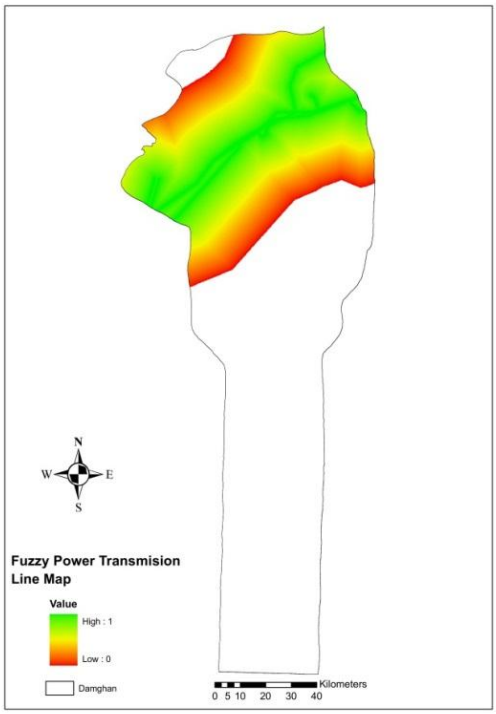
$$\mu(x)=\begin{cases}\frac{1}{2}\left(1+\cos\left(\pi\left(\frac{x-2000}{2000}\right)\right)\right) & 0\ll x\ll 2000\\ 0 & x>2000\end{cases} \quad (۳)$$

$$\mu(x)=\begin{cases}\frac{1}{2}\left(1+\cos\left(\pi\left(\frac{x-15}{15}\right)\right)\right) & 0\ll x\ll 15\\ 0 & x>15\end{cases} \quad (۴)$$

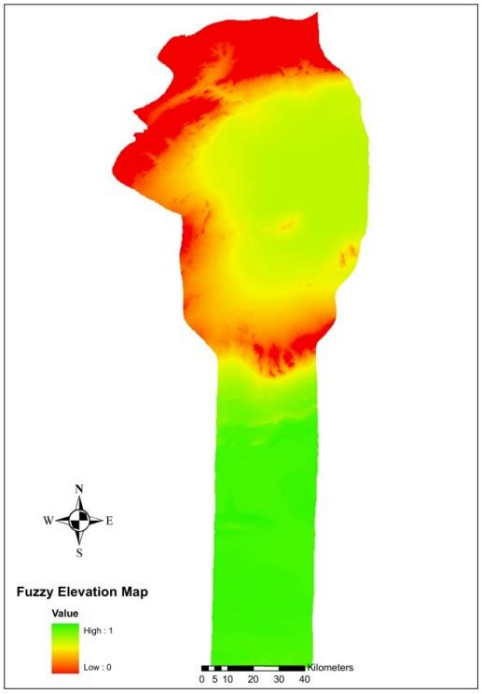
$$\mu(x)=\begin{cases}0 & x<4.1\\ \frac{1}{2}\left(1-\cos\left(\pi\left(\frac{x-4.1}{5.5-4.1}\right)\right)\right) & 4.1\ll x\ll 5.5\\ \frac{1}{2}\left(1-\cos\left(\pi\left(\frac{x-12}{12-4.1}\right)\right)\right) & 5.5\ll x<12\\ 1 & x\gg 12\end{cases} \quad (۵)$$



شکل۸- الف: نقشه‌های فازی شهرستان دامغان - نقشه فازی راه‌های دسترسی شهرستان دامغان



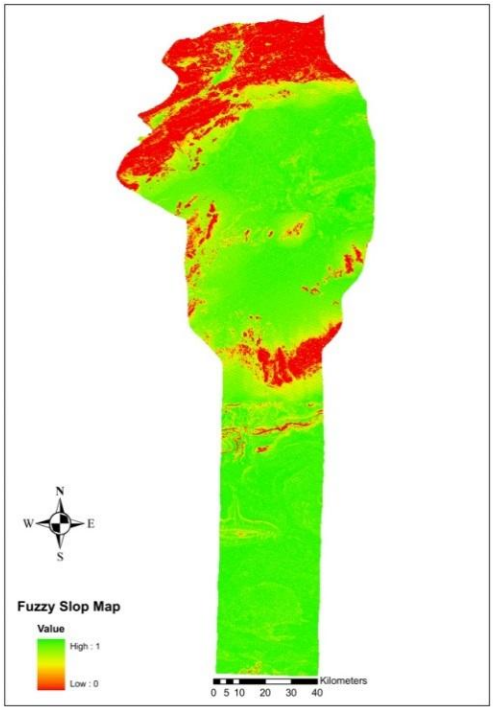
شکل۸- ب: نقشه‌های فازی شهرستان دامغان - نقشه فازی خطوط انتقال برق شهرستان



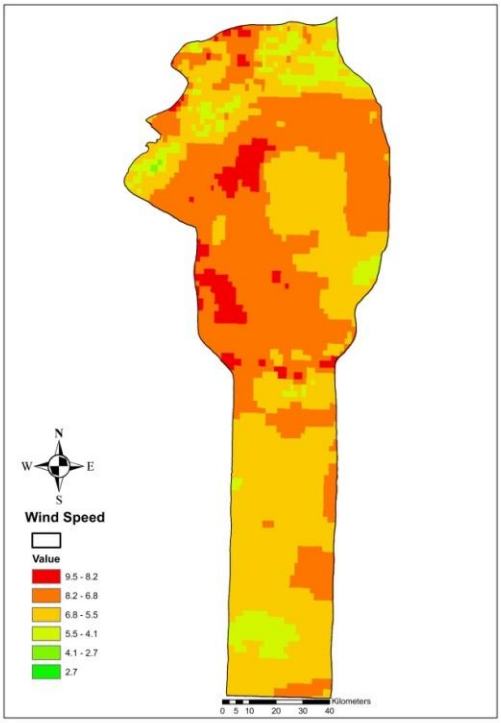
شکل۸- ج: نقشه‌های فازی شهرستان دامغان - نقشه فازی ارتفاع زمین در شهرستان دامغان

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸- د: نقشه‌های فازی شهرستان دامغان - نقشه فازی شیب زمین در شهرستان دامغان



شکل۸- ج: نقشه‌های فازی شهرستان دامغان - نقشه فازی سرعت باد در شهرستان دامغان فازی ارتفاع زمین در شهرستان دامغان

۷- تلفیق داده‌ها

هدف از تلفیق نقشه‌ها، تعیین مکان‌هایی با مناسبت بیشتر به منظور احداث نیروگاه می‌باشد. نقشه خروجی حاصل از تلفیق نقشه‌ها به گونه‌ای تهیه شده است که مقدار هر واحد مکانی بر روی آن، نشان دهنده میزان مناسب بودن مکان مربوطه برای احداث نیروگاه بادی، با در نظر گرفتن کلیه فاکتورهای موثر است. از بین تمامی مدل‌های معمول تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، مدل فازی، با توجه به قابلیت‌های این مدل در بین دیگر مدل‌ها، جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ساخته شده، انتخاب گردید. روش منطق فازی همواره برای تلفیق داده‌ها با لایه‌های متعدد در پروژه های اجرایی و تحقیقاتی مختلفی به کار گرفته شده است.

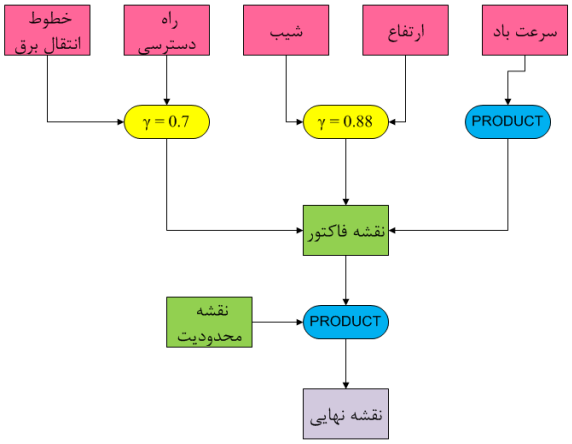
پس از تهیه نقشه‌های فاکتور فازی و نقشه محدودیت، تلفیق این نقشه‌ها با استفاده از عملگرهای فازی انجام می‌گیرد. انتخاب عملگرهای فازی مناسب جهت تلفیق لایه‌های مختلف با توجه به ارتباط و برهم کنش عوامل مربوط به آن لایه‌ها همواره کار دشواری بوده است. انتخاب عملگر فازی وابستگی زیادی به نوع داده‌های مکانی که با یکدیگر تلفیق می‌شوند، دارد. معمولاً نمی‌توان کلیه لایه‌های مورد نظر را تنها با یک نوع عملگر تلفیق نمود. در اغلب موارد لازم است تلفیق داده‌ها با استفاده از چندین عملگر به صورت جداگانه و یا ترکیبی از عملگرها که بسته به خصوصیات و ماهیت لایه‌ها انتخاب می شوند، انجام گردد.

روش فازی نسبت به روش‌های دیگر از انعطاف پذیری بیشتری در ترکیب نقشه‌های فاکتور برخوردار است. معمولاً جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف در روش فازی به جای استفاده از یک عملگر، شبکه‌های استنتاج فازی با استفاده از عملگرهای مختلف ایجاد می‌شود. در این تحقیق براساس منطق‌های متفاوت، شبکه‌های استنتاجی مختلفی طراحی شده است. و در نهایت، شبکه استنتاج فازی با استفاده از عملگرهای نشان داده شده در شکل ۹ جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی انتخاب گردید. در شبکه‌های استنتاجی طراحی شده به جای اینکه کلیه نقشه‌ها در یک مرحله تلفیق شوند، معیارها براساس دانش کارشناسی، ماهیت و نقش هر یک از آنها در تعیین مکان و ارتباط آنها با یکدیگر، کلاس بندی شده و لایه‌های اطلاعاتی مربوطه در مراحل مختلف تلفیق گردیدند. بدین صورت که یکبار با توضیحاتی که در مراحل قبلی ذکر شد، نقشه محدودیت بدست آمد. در نقشه محدودیت، نمی‌توان بیان کرد که کدام مکان در میان مناطق باقی مانده، جهت احداث مزارع بادی، مناسب‌تر است. لذا نقشه فاکتور فازی تهیه گردید تا این مسأله اصلاح شود و مکان‌ها از لحاظ

www.SID.ir

Archive of SID

ارزشی، ورزن داده شوند و بتوان آنها را با یکدیگر مقایسه کرد. در انتها نقشه‌های فازی توسط عملگرهای فازی نمایش داده شده در شکل ۹ بایکدیگر ادغام شده و نقشه فاکتور فازی را بوجود آوردند. نقشه نهایی از تلفیق نقشه فاکتور فازی در نقشه محدودست حاصل می‌شود.



شکل۹- شبکه استنتاجی طراحی شده برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

لازم به ذکر است که وزن لایه‌های مختلف فازی در هنگام تلفیق با استفاده از روش AHP و مطابق با جدول ۳ تعیین شده‌اند. برای رسیدن وزن مناسب لایه‌های فازی (جدول ۳)، ۲۰ پرسش‌نامه تهیه شد و از گروهی کارشناس، شامل استادان دانشگاه، کارشناسان و صاحبنظران خواسته شد به طور جداگانه این پرسشنامه‌ها را که در برگیرنده معیارهای حاصل از بررسی ادبیات تحقیق بودند، پر کنند و با توجه به تجارب، دانش و اندوخته‌های علمی، پیشنهادهای خود را ارائه دهند. سپس دیدگاه‌های گروه کارشناسی جمع آوری و میانگین حسابی و هندسی معیارها محاسبه گردید و پس از بررسی‌های تعیین درجه اهمیت نسبی معیارها و با در نظر گرفتن ضریب ناسازگاری C.I.[1]، جدول ۵ تهیه گردید. در این روش ضریب ناسازگاری برابر ۰/۱۳۸۲۱ بدست آمده است که بسیار مناسب می‌باشد (این مقدار باید کوچکتر از ۰/۱۵ باشد [۲۸، ۲۹، ۳۰]).

جدول۳- نتایج وزن دهی به لایه‌های مختلف فازی به روش AHP

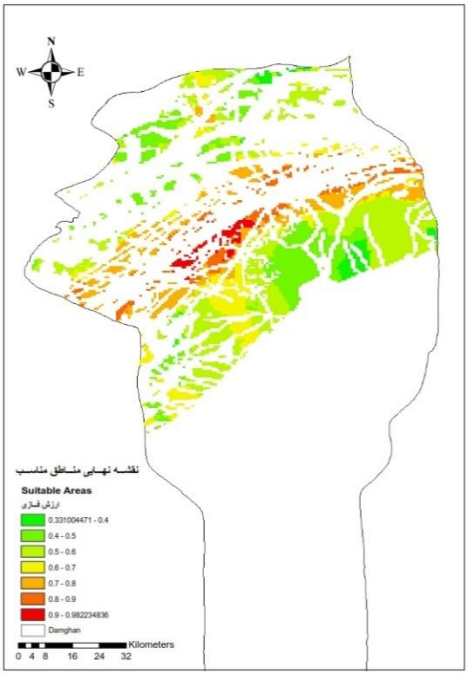
لایه‌ها نقشه فاکتور	وزن فاکتور
سرعت باد و کلاس باد	۰/۵۷۸۶۳۳
خطوط انتقال برق	۰/۲۱۰۹۷۴
راه‌های دسترسی	۰/۱۳۲۱۰۸
شیب زمین	۰/۰۴۹۷۴۶۱
ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۲۸۵۲۹۲

[1] Inconsistency Coefficient

در نهایت با مشخص شدن وزن هر معیار و با توجه به شبکه استنتاج فازی (شکل ۹) نقشه فاکتور فازی تهیه و با ترکیب آن با نقشه محدودیت، نقشه نهایی بدست می‌آید که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است که حدود ۲۲۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل و شکل ۱۰، حدود ۱۶ ٪ از زمین‌های شهرستان دامغان جهت احداث نیروگاه بادی مناسب تشخیص داده شده اند (حدود ۲۲۴۰ کیلومتر مربع از مجموع ۱۴۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت این استان).

همانطور که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است،۶۰ درصد از مکان‌های شناسایی شده دارای ارزش فازی بیشتر از ۰/۵ هستند. از آن میان ۱۰ درصد از مکان‌های مناسب دارای ارزش فازی بیشتر از ۰/۹ هستند که از بهترین شرایط از هر لحاظ جهت احداث مزارع بادی برخوردار هستند. ۱۵ درصد از مکان‌ها دارای ارزش فازی بین ۰/۸ تا ۰/۹ می‌باشند و ۲۵ درصد از مکان‌ها دارای ارزش فازی بین ۰/۷ تا ۰/۸ می‌باشند. درصد مکان‌هایی دارای ارزش فازی بین ۰/۶ تا ۰/۷ نیز همانند درصد مکان‌هایی دارای ارزش فازی بین ۰/۵ تا ۰/۶ می‌باشد، برابر ۱۰ درصد است.

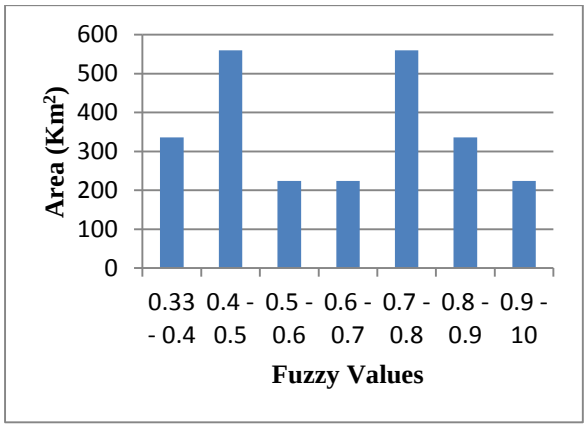
۱۵ درصد از مکان‌های شناسایی شده دارای ارزش فازی بین ۰/۳۳ تا ۰/۴ هستند (کمترین ارزش فازی برابر ۰/۳۳ است). ۲۵ درصد از مکان‌ها دارای ارزش فازی بین ۰/۴ تا ۰/۵ هستند و در مجموع تنها ۴۰ درصد از مکان‌های شناسایی شده دارای ارزش فازی کمتر از ۰/۵ هستند.



شکل۱۰- نقشه نهایی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه بادی در شهرستان دامغان

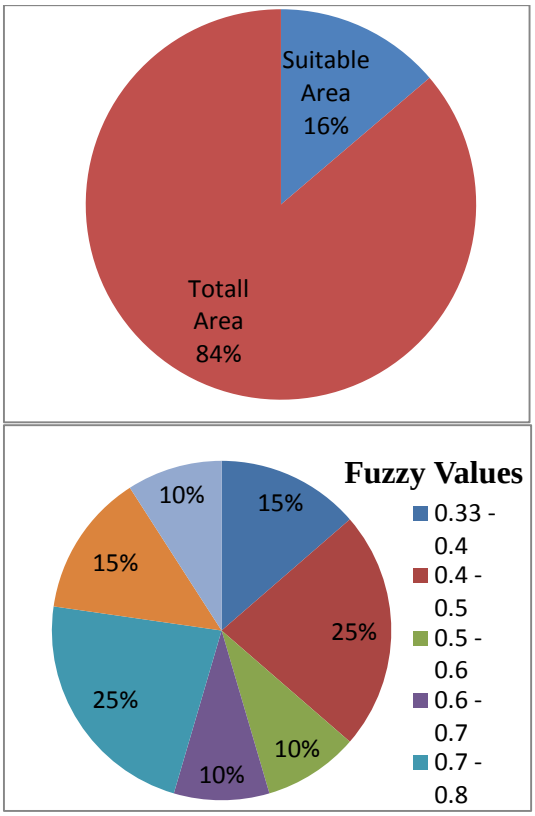
www.SID.ir

Archive of SID



ادامه شکل ۱۱- دسته بندی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه بادی در شهرستان دامغان

جهت اعتبار سنجی مدل انجام گرفته از نرم افزار Wind PRO کمک گرفته شده است و چگالی توان مناطق مشخص شده در شهرستان دامغان توسط آن نرم افزار محسابه گردیده است. نتایج محاسات توسط نرم افزار Wind PRO حاکی از دقت بسیار مناسب و دقیق روش انجام گرفته در این تحقیق است. شکل ۱۲ و جدول ۴ نتایج اعتبار سنجی مدل توسط نرم افزار یاد شده را نشان می‌دهند.

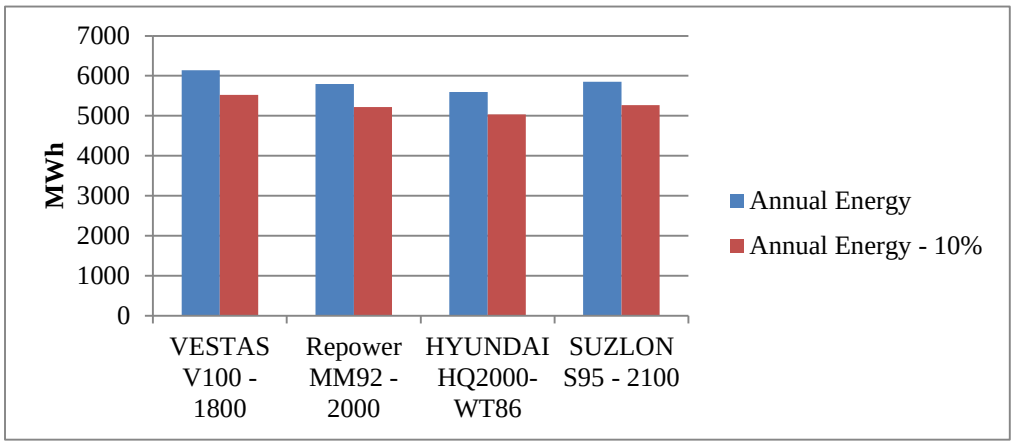


شکل ۱۱- دسته بندی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه بادی در شهرستان دامغان

جدول ۴- مقایسه توربین‌های مختلف برای چند نمونه مزرعه بادی قرار گرفته شده در نقشه نهایی *

توربین	نوع	توان اسمی (kW)	قطر پره (m)	ارتفاع هاب (m)	انرژی سالیانه (MWh)	انرژی سالیانه با درنظر گیری ۱۰٪ افت	سرعت متوسط باد (m/s)	ضریب ظرفیت (%)
VESTAS	V100	۱۸۰۰	۱۰۰	۸۰	۵۶۷۰/۲	۵۱۰۳	۶/۱۸	۳۵/۹
HYUNDAI	HQ2000	۲۰۰۰	۸۶/۷	۸۰	۵۰۸۷/۴	۴۵۷۹	۶/۱۸	۲۹
REpower	MM92	۲۰۰۰	۹۲/۵	۸۰	۵۲۹۳/۳	۴۷۶۴	۶/۱۸	۳۰/۲
SUZLON	S95	۲۱۰۰	۹۲/۵	۷۹	۵۳۳۳/۲	۴۸۰۰	۶/۱۷	۲۹

* برای انجام محاسبات مربوط به توان، سرعت باد متوسط ۶/۲ m/s و چگالی توان باد، ۲۳۶۳ kWh/m² در نظر گرفته شده است (بر اساس اطلاعات دکل بادسنجی و تعمیم آن به مکان توربین‌ها).



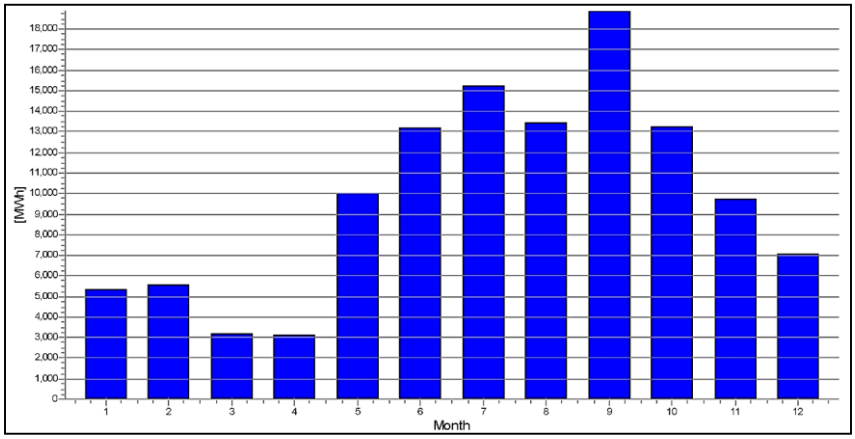
شکل ۱۲- نتایج اعتبار سنجی مدل (مقایسه توربین‌ها)

www.SID.ir

Archive of SID

در آخر، با استفاده از آمار برداشت شده توسط ایستگاه‌های بادسنجی در استان سمنان که از ملزومات تعیین محل احداث نیروگاه‌های بادی می‌باشد و تجزیه و تحلیل کردن این اطلاعات توسط نرم افزارهای مرتبط نظیرWind PRO و WAsP و با در نظر گرفتن میانگین دمای سالانه و ماهانه در مناطق مورد بررسی و باتوجه به تئوری چیدمان توربین‌های بادی لیزمن [۳۸]، میزان انرژی قابل استحصال از مزارع بادی در شهرستان دامغان با درنظر گرفتن کلیه معیارهای یاد شده و رعایت فواصل مناسب مابین مزارع بادی برای جهت جلوگیری از افت توان، حدود ۱۰۰۰ مگاوات برآورد شد.

بر اساس مطالعات صورت گرفته، کمترین میزان انرژی قابل استحصال از انرژی بادی در شهرستان دامغان برابر ۳۰،۰۰۰ مگاوات ساعت در ماه است که در ماه مارس و می اتفاق می‌افتد (شکل شماره ۱۳) و در باقی ماه‌های سال، میزان انرژی قابل استحصال از انرژی بادی بیشتر از این مقدار می‌باشد.



شکل۱۳- میزان انرژی قابل استحصال ماهانه از مزارع بادی در شهرستان دامغان

۸- نتیجه گیری

در این تحقیق ضمن شناسایی پارامترهای مهم در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی، نقش و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل نیز مشخص گردیده است و براساس نقش و تأثیر متفاوت فاکتورهای مختلف، و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) برای ارزش‌گذاری معیارهای موثر در تصمیم‌گیری و روش AHP، نقشه‌های متعددی از شهرستان دامغان واقع در استان سمنان تهیه گردیدند.

در این تحقیق ۱۶٪ از اراضی شهرستان دامغان جهت احداث نیروگاه بادی مناسب تشخیص داده شده اند (حدود ۲۲۴۰ کیلومتر مربع از مجموع ۱۴۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت این استان). میزان انرژی قابل استحصال از مزارع بادی در شهرستان دامغان با درنظر گرفتن کلیه معیارهای یاد شده و رعایت فواصل مناسب مابین مزارع بادی برای جهت جلوگیری از افت توان، حدود ۱۰۰۰ مگاوات برآورد شد.

مراجع

[1] Mirhosseini M, Sharifi F, and Sedaghat A, (2010), “Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, pp 449-459.

[2] Global Wind Report, Annual Market update 2013, Global Wind Energy Council (GWEC) www.gwec.net, [Accessed date May. 2014].

[3] Technology Roadmap: Wind Energy 2013, the new report, 21 October 2013 Edition, internatonal Energy Agency, www.iea.org, [Accessed date May. 2014].

[4] SUNA, National wind energy atlas of Iran, Renewable Energy Organization of Iran, www.suna.org.ir [Accessed date May. 2014].

[5] Tavanir, 2013, Iran Energy Balance Report, Ministry of energy, Energy and Electricity Deputy, p.384.

[6] Iran Statistic Office, 2008, Semnan Province Statistics, Iran Statistic office publishing co.

www.SID.ir

Archive of SID

[7] Iran Statistic Office, 2010, Semnan Province Statistics, Iran Statistic office publishing co.

[8] Semnan Government, 1992, Semnan province at a glance, Governmnet of Semnan, pp. 8-21.

[9] Elliott D.L and Schwartz M.N. (1993) "Wind Energy Potential in the United States", PNL-SA 23109. Pacific Northwest Laboratory, Richland.

[10] Elliott D. L, Wendell L. L. and Gower G. L. (1991) "An Assessment of the Available Windy Land Area and Wind Energy Potential in the Contiguous United States", PNL-7789, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington: pp 92.

[11] Elliott D.L, Aspliden C.I, Gower G.L, Holladay C.G, and Schwartz M.N. (1987) "Wind Energy Resource Assessment of the Caribbean and Central America", Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington: pp 115.

[12] Jayakumar D, Prashanthi Devi. M, Suriyanarayanan S, and Balasubramanian S., (2001) "Wind energy potential in Tamil Nadu India ؛Prediction and mapping using GIS", Tamil Nadu. India.

[13] Kavyani M. R, (1995) "Wind turbine and wind energy potential in Iran", Geographical Research, 36, pp 127-144.

[14] National Meteorological Organization, (1997), National wind energy atlas of Iran, National Meteorological Organization of Iran.

[15] Raheli Salimi J, (2003) "Assessment of the Wind Energy Natanz in the Iran", Centre for Development of renewable energy sources, Atomic Energy Organization of Iran, pp 115.

[16] Zolfaghari M, (2004) "Synoptic pattern of winds with speeds of 36 km per hour early to predict its Qom Province", Centre for Management Planning of Qom Province, Management Planning Organization, pp 326.

[17] Jahangiri M, (2003) "Assessment of the Wind Energy in Iran", Centre for Development of renewable energy sources, Atomic Energy Organization of Iran, pp 164.

[18] Jahangiri Z, Rahimzadeh F, KamaLI Gh, (2005) "Wind energy computed using two-parameter Weibull distribution in Iran", Geographical Research, 76, pp 151-170.

[19] Zahedi M, Salehi B, Jamil M, (2005) "Calculate the energy density and wind power in order to use it in the Ardabil Province", Geographical Research, 53, pp 41-55.

[20] Gandomkar A, Kavyani M. R, Masoudian S. A, (2007) "Evaluation of wind energy to generate electricity from wind energy in the Sistan Province", Journal of Isfahan University (Humanities), 27-(No. 6), pp 95-104.

[21] Abarghooei Hossein, and Mostafaeipour Ali, (2008) "Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, pp 1758-1766.

[22] Mirhosseini M, Sharifi F, and Sedaghat A, (2010), "Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, pp 449-459.

[23] Afsharfar N., 2006, Archaeology and History of Dark Millennium of Damghan, Pazineh Publishing Co.

[24] Noorollahi Y., Yousefi H., Mohammadi M., Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS, Sustainable Energy Technologies and Assessments 13 (2016) 38–50.

[25] Satkin M., Noorollahi Y., Abbaspour M., Yousefi H., Multi criteria site selection model for wind-compressed air energy storage power plants in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews 32 (2014).

[26] Yousefi H., Noorollahi Y., Ehara S., Itoi R., Yousefi A., Fujimitsua Y., Nishijimaa J., Sasaki K., Developing the Geothermal Resources Map of Iran, Geothermics 39, (2010) pp 140–151.

[27] Sliz Szkliniarz Beata, Vogt Joachim, "GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko–Pomorskie Voivodeship", Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1696–1707.

[28] Aydin N. Y., Kentel E., Duzgun S., GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 364–373.

[29] Haaren R. V., Fthenakis V., GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for NewYork State, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3332–3340.

[30] Serwan M.J. Baban, Parry T., Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK, Renewable Energy 24 (2001) 59–71.

www.SID.ir

Archive of SID

[31] Bonham G., Carter F., 1994, Geographical Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS Computer Methods in the Geosciences 13, Pergamon, New York, 398 pp.

[32] Mostafaeipour A., Abarghooei H., Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran. J Renew Sustain Energy Rev 12, (2008) 1758–66.

[33] Ameri M, Ghadiri M., Hosseini M., Recent advances in the implementation of wind energy in Iran, the 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006) 21–23 November 2006, Bangkok, Thailand.

[34] Peters, G., Wamser, C., Hinzpeter, H., Acoustic doppler and angle of arrival detection and comparisons with direct measurements at a 300 m mast. J. Appl. Meteor. 17, (1978) pp 1172–1178.

[35] Mostafaeipour A., Mostafaeipour N., Renewable energy issues and electricity production in Middle East compared with Iran. Journal of Renewable and Sustainable Energy Review, 13, (2009) pp 1641–5.

[36] S. Mehri, A. A. Alesheikh, H. Helali. Developing a Spatial Knowledge-Based Approach to Detect Changes of Cultivation Fields. JGST. 2015; 5 (2) :109-118, URL: http://jgst.issge.ir/article-1-293-fa.html

[37] A. Sabzali Yameqani, A. A. Alesheikh. Development and evaluation of a walkability index (Case Study: districts of the Ghom city). JGST. 2015; 5 (1) :159-174, URL: http://jgst.issge.ir/article-1-236-fa.html

[38] Lissaman, P. B. S., Zaday, A., Gyatt, G. W., Critical Issues in the Design and Assessment of Wind Turbine Arrays. Proc. of the fourth International Symposium on Wind Energy Systems, Stockholm, Sweden, 1982.

www.SID.ir