

## اثر پارامترهای محیطی ایستگاه بر ویژگی‌های باد در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه

سمیه رفعتی<sup>\*</sup>، مصطفی کریمی<sup>۲</sup>

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

۲- گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۵/۱۱

### چکیده

تغییر پارامترهای محیطی می‌تواند ویژگی‌های باد را به شدت تحت‌تاثیر قرار دهد، بنابراین برای تعیین پتانسیل باد در مکان‌ها و ارتفاعاتی غیر از نقطه‌ی اندازه‌گیری، تعیین اثر پارامترهای محیطی بر داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار حائز اهمیت است. هدف از این مطالعه بررسی میزان تاثیر پارامترهای محیطی مثل زبری سطح و موانع اطراف ایستگاه بر ویژگی‌های باد بوده است. برای این منظور از داده‌های سرعت و جهت باد ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه (دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹)، مدل رقومی ارتفاع و نقشه کاربری زمین استفاده شد. همچنین نقشه موانع در اطراف ایستگاه‌های سینوپتیک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث (لندست و کوپرنیک) تهیه گردید و برای برآورد ویژگی‌های باد در شرایط محیطی متفاوت با شرایط ایستگاه نرم‌افزار WASP به کار گرفته شد. براساس نتایج به دست آمده، تغییر میانگین سرعت باد بسته به ویژگی‌های محیطی ایستگاه‌ها از ۴۰٪ در ایستگاه اسلام‌آباد تا ۹٪ در ایستگاه هرسین و تغییر چگالی توان باد نیز از بیش از ۸۱٪ در روانسر و اسلام‌آباد غرب تا حدود ۲۷٪ در هرسین متغیر بوده است. تعدد موانع در جهت باد غالب در ایستگاه‌های روانسر و سرپل‌ذهاب و ارتفاع زیاد موانع در ایستگاه‌های کرمانشاه و اسلام‌آباد و همچنین زبری زیاد در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر، اسلام‌آباد غرب، جوانرود و گیلان‌غرب تاثیر بسزایی در کاهش میانگین سرعت باد تا بیش از ۲۶ درصد و همچنین چگالی توان باد تا بیش از ۶۲ درصد داشته است. بنابراین نادیده گرفتن اثر پارامترهای محیطی به‌طور ویژه در مطالعات مربوط به تعیین پتانسیل باد می‌تواند الویت‌های معرفی مناسب‌ترین مکان برای تولید انرژی را تغییر دهد.

**واژه‌های کلیدی:** استان کرمانشاه، پارامترهای محیطی، سرعت باد، نرم‌افزار WASP.

## مقدمه

باد سطحی عاملی مهم در شکل‌گیری شرایط اقلیمی یک محل و همچنین منبع مهمی برای تولید انرژی است (Wan et al, 2010). انرژی بادی یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک است که به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. در به کارگیری انرژی باد مهم‌ترین مساله، انتخاب بهترین محل برای استقرار توربین‌های بادی است. گام مهم برای مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی و به کارگیری توربین‌های بادی بررسی پتانسیل انرژی بادی در منطقه است که می‌تواند به دلیل طبیعت منابع انرژی باد چالش برانگیز باشد. ویژگی‌های انرژی باد از نظر سرعت و جهت، درجه‌ی بالایی از تغییرپذیری زمانی و مکانی را نشان می‌دهد. تغییرپذیری می‌تواند به عدم قطعیت احتمالی منجر شود و این عدم قطعیت ممکن است عملکرد سیستم را به‌طور مهمی تحت‌تاثیر قرار دهد (Aien et al, 2014). متأسفانه مشاهدات باد به تغییر ویژگی‌های محیطی در محل ایستگاه بسیار حساس است. بنابراین این مساله که تغییر ویژگی‌های محیطی تا چه اندازه ویژگی‌های باد را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد، می‌تواند به درک بهتر ویژگی‌های باد کمک نماید. از سوی دیگر در بررسی‌های امکان‌سنجی بهره‌برداری از انرژی بادی، جهت برآورد پتانسیل باد در مکان‌ها و یا ارتفاعاتی غیر از نقطه‌ی اندازه‌گیری داده‌های سرعت باد، لازم است اطلس باد یا اقلیم باد عمومی تولید شود. در مجموعه‌ی داده‌های اطلس باد اثرات مربوط به شرایط ویژه‌ی مکان از مشاهدات باد حذف می‌شود و مجموعه‌ی داده‌های اطلس باد مستقل از مکان هستند. سپس با کاربرد اطلس باد محاسبه شده می‌توان اقلیم باد را در هر نقطه و ارتفاع ویژه با اجرای محاسبات معکوس و

با تعیین ویژگی‌های زمین در اطراف مکان مورد پیش‌بینی تخمین زد (Troen and Petersen, 1989). کیم و لیم (Kim and Lim, 2017) اثر توپوگرافی و زبری سطحی جزیره را بر تخمین تولید انرژی سالانه (AEP) مزرعه‌ی بادی دریایی با کاربرد نرم‌افزارهای WASP و WindPRO بررسی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد در ارتفاعات بالاتر (۶۰ متر نسبت ۳۰ متر از سطح زمین) میزان خطای AEP با مدل‌سازی غیردقیق توپوگرافی به شدت (تا ۳۸٪) کاهش می‌یابد. همچنین مدل‌سازی غیردقیق زبری سطح جزیره اثرات کمی بر پیش‌بینی AEP داشته است. بایرن و همکاران (Byrne et al, 2018) اثرات موانع را بر کارایی توربین بادی شهری بزرگ مقیاس مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد ساختمان‌های عریض با ارتفاعی برابر ۲۰٪ ارتفاع توربین می‌تواند اثر قابل توجهی در قیاس با ساختمان‌های باریک بلندتر در کاهش انرژی داشته باشد و تپه‌هایی با فاصله ۸ کیلومتر از سایت توربین بر کاهش تولید انرژی اثر دارند. بنابراین برای تعیین پتانسیل باد، تخمین اثر پارامترهای محیطی بر داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار حایز اهمیت است. با این وجود در مطالعات بررسی منطقه‌ای پتانسیل باد، نادیده انگاشتن این موضوع بسیار رایج است، به عبارت دیگر پتانسیل باد در مناطق مختلف تنها براساس داده‌های اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه‌های سینوپتیک مورد ارزیابی قرار گرفته و به منطقه‌ی اطراف آن تعمیم داده می‌شود و تاثیر پارامترهای محیطی بر نتایج نادیده گرفته می‌شود. به عنوان نمونه در ایران می‌توان به مطالعات گندم‌کار (۱۳۸۸)، رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، محمدی و همکاران (۱۳۹۱)، مجرد و همتی (۱۳۹۲)،

با آگاهی به این که مطالعات بسیاری به موضوع پتانسیل باد بدون توجه به اهمیت پارامترهای محیطی بر نتایج پتانسیل باد پرداخته‌اند، به نظر می‌رسد انجام مطالعه‌ای که میزان اهمیت آن را نشان دهد، ضروری است، در حالی که چنین مطالعه‌ای در ایران انجام نشده است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی میزان تاثیر پارامترهای محیطی بر میانگین سرعت و چگالی توان باد است، که در راستای بررسی پتانسیل تولید انرژی بادی در استان کرمانشاه به آن پرداخته شد. البته نتایج این بررسی می‌تواند در تفسیر نتایج بسیاری از مطالعات در رابطه با باد اندازه‌گیری شده، در سطح استان کرمانشاه به کار گرفته شود.

#### مواد و روش‌ها

در این مطالعه ابتدا داده‌های سرعت و جهت باد ایستگاه‌های سینوپتیک و سینوپتیک تکمیلی استان کرمانشاه (جدول ۱) در دوره آماری مشترک پنج ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۹) از سازمان هواشناسی اخذ شد. پس از کنترل کیفی و بررسی‌های مربوط به همگنی داده‌ها و در صورت لزوم اصلاح آن‌ها (رفعتی و همکاران، ۱۳۹۷)، برای بررسی اثر پارامترهای محیطی ایستگاه بر ویژگی‌های باد نرم‌افزار WASP به کار گرفته شد. آمار باد مشاهده شده محلی می‌تواند با استفاده از داده‌های توپوگرافی، زبری سطح و موانع برای تولید اطلس باد به کار روند. منظور از اطلس باد برآورد ویژگی‌های باد در ارتفاع و زبری سطوح مختلف با حذف موانع موجود در ایستگاه است. به عبارت دیگر اطلس باد برآورد ویژگی‌های عمومی باد در منطقه با حذف اثرات محلی مربوط به مکان اندازه‌گیری داده‌های باد است. در این مطالعه ویژگی‌های باد اندازه‌گیری شده در شرایط ایستگاه

جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳)، خسروی و همکاران (۱۳۹۵)، اشاره نمود. همچنین در برخی از مطالعات از جمله محمدی (۱۳۹۴) و اختصاصی و قایمی‌نیا (۱۳۹۶)، معروفی و همکاران (۱۳۹۶)، منتیس و همکاران (Mentis et al, 2015)، به تولید نقشه و پهنه‌بندی سرعت باد با استفاده از روش‌های درون‌یابی مثل وزن‌دهی عکس فاصله، کریجینگ یا کوکریجینگ پرداخته شد، در حالی که اهمیت پارامتر مهمی مثل زبری زمین در نظر گرفته نشده است. اما در محدود کارهایی مثل تهیه اطلس باد ایران با کاربرد مدل سه‌بعدی جو KLIMM ساختار توپوگرافی و کاربری اراضی در تخمین پتانسیل باد در نظر گرفته شده است (Ameri and Hosseini, 2006). از سوی دیگر در مطالعات میکروسایتینگ که پتانسیل باد و میزان تولید انرژی به‌طور دقیق برای نقطه‌ای مشخص براساس داده‌های اندازه‌گیری شده در نقطه‌ای دیگر برآورد می‌شود، با کاربرد نرم‌افزارهایی مثل WASP یا HOMER اثر پارامترهای محیطی بر داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه بادسنجی به‌طور دقیق در نظر گرفته می‌شود. مطالعات جمای و مرزوک (Djamai and Merzouk, 2011)، شاهدی و همکاران (Shaahid et al, 2014)، ویوسکا و همکاران (Waewsaka et al, 2014) و بودای و گوئری (Boudia and Guerri, 2015) بر این اساس انجام شده است. با توجه به این که وقتی از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک برای بررسی پتانسیل باد بهره گرفته می‌شود، مقصود تعیین ویژگی‌های باد به‌طور ویژه و تنها برای آن نقطه نیست، بلکه آن نقطه به عنوان نماینده‌ی یک منطقه انتخاب شده است، می‌توان این سوال را مطرح نمود که در نظر نگرفتن این موضوع تا چه میزان می‌تواند بر دقت نتایج تاثیر گذارد. همچنین

ایستگاه مورد مقایسه قرار گرفته و میزان تاثیر ویژگی‌های محیطی در هر ایستگاه برآورد شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با ویژگی‌های باد برآورد شده در شرایط معین و مشابه ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین و زبری سطح ۰/۰۳ متر و همچنین عدم وجود مانع در اطراف

جدول ۱: ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی و جهت باد غالب و جهت بیشینه میانگین سرعت باد در آن‌ها

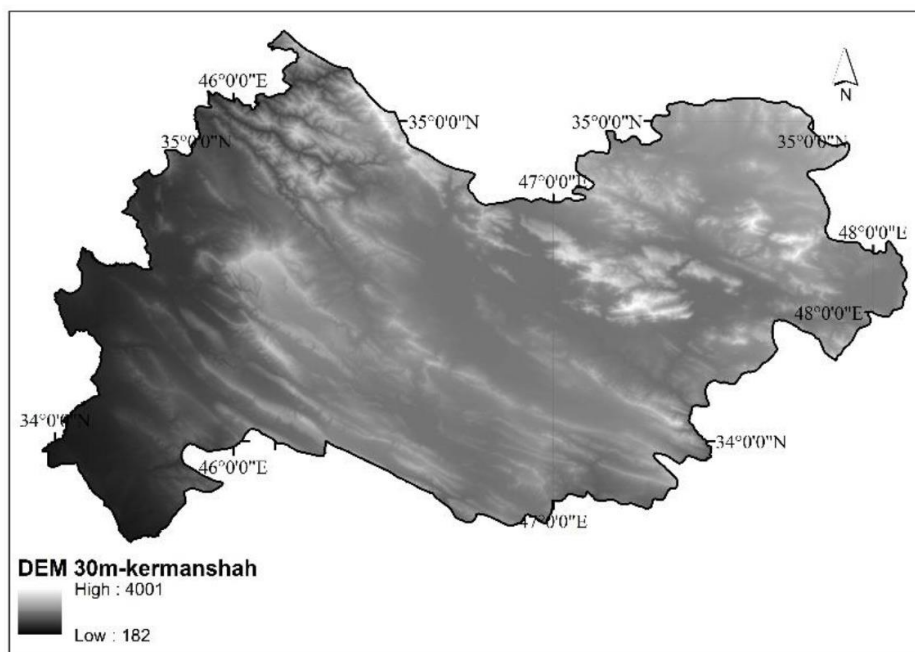
ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین سرعت باد (m/s)	جهت باد غالب اول	جهت باد غالب دوم	جهت بیشینه میانگین سرعت باد
کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۲/۷۱	غربی	جنوب شرقی و شمال غربی	جنوب غربی
روانسر	۴۶/۶۵	۳۴/۷۲	۲/۰۶	شمال غربی	غربی	شمال شرقی
اسلام‌آباد غرب	۴۶/۴۷	۳۴/۱۲	۲/۲۲	غربی	شمال غربی	جنوبی
کنگاور	۴۷/۹۸	۳۴/۵	۱/۹۵	جنوب غربی	غربی	جنوب غربی
سرپل ذهاب	۴۵/۸۷	۳۴/۴۵	۱/۷۸	جنوب شرقی	غربی	جنوبی
هرسین	۴۷/۵۵	۳۴/۲۷	۳/۰۷	غربی	جنوب غربی	جنوبی
قصرشیرین	۴۵/۶۰	۳۴/۵۳	۲/۵۵	غربی	شمالی	جنوبی
سنقر	۴۷/۵۸	۳۴/۷۸	۳/۰۸	جنوب غربی	غربی	جنوبی
جوانرود	۴۶/۵	۳۴/۷۷	۲/۱۳	غربی	جنوب شرقی	غربی
سرارود	۴۷/۲۹	۳۴/۳۳	۳/۴۳	غربی	شرقی	شرقی
گیلان غرب	۴۵/۹۳	۳۴/۱۳	۳/۸۲	شرقی	غربی	شرقی
سومار	۴۵/۶۵	۳۳/۸۳	۴/۱۹	شمال غربی	شمال شرقی	جنوب شرقی
تازه‌آباد	۴۶/۱۵	۳۴/۷۵	۴/۶۶	جنوب شرقی	غربی	جنوب شرقی

منبع: محاسبات نویسندگان براساس داده‌های سازمان هواشناسی

### نقشه توپوگرافی

داده‌های ارتفاع SRTM در حال حاضر برای تمامی مناطق خشکی بین ۵۷ درجه جنوبی و ۶۰ درجه شمالی موجود است. این داده‌های شبکه‌ای می‌تواند جهت تولید نقشه منحنی میزان ارتفاع برای کاربرد در نرم‌افزار WASP به کار رود (راهنمای نرم‌افزار WASP). بنابراین مدل رقومی ارتفاع (DEM) با رزولوشن ۳۰ متر از سایت NASA SRTM اخذ و نقشه توپوگرافی منطقه با

استفاده از آن با فواصل منحنی میزان ۱۰ متر در نرم‌افزار ArcGIS تولید شد. لازم به ذکر است از آن‌جا که فواصل منحنی میزان مورد استفاده در این پژوهش بسیار کم است، امکان نمایش آن با مقیاس کوچک وجود ندارد، بنابراین تنها مدل رقومی ارتفاع استان کرمانشاه ارائه شده است (شکل ۱).

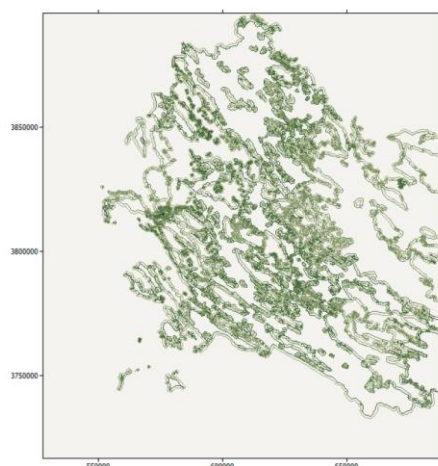


شکل ۱: مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه (منبع: از سایت NASA SRTM)

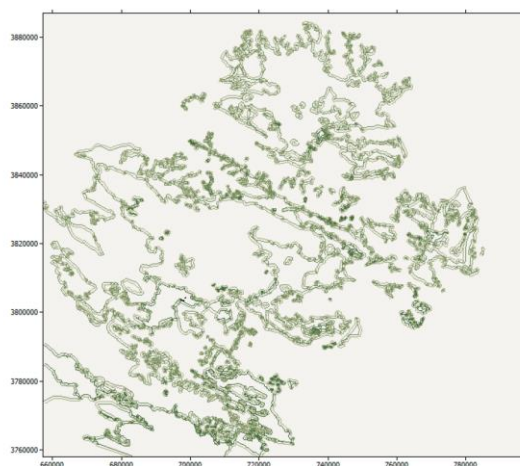
#### نقشه‌ی زبری سطح زمین

برای محاسبه اطلس باد منطقه دانستن زبری سطح زمین ضروری است. زبری سطح به وسیله‌ی اندازه و توزیع عناصر ناهموار آن تعیین می‌شود. برای سطوح خشکی این عناصر عمدتاً شامل گیاهان، ساخت و سازها، سطوح خاک هستند. تروان و پترسون (Troen and Petersen, 1989) نواحی مختلف را به چهار کلاس زبری تقسیم کردند. کلاس صفر شامل نواحی آبی مثل دریا و دریاچه است. ناهمواری این کلاس ( $z_0$ ) برابر  $m$   $0/0002$  است، هر چند اغلب صفر در نظر گرفته می‌شود. کلاس یک زبری شامل نواحی باز با بادشکن‌های اندک هستند. مزارع هموار با شیب کم در این گروه در نظر گرفته می‌شوند. ناهمواری در این کلاس برابر  $m$   $0/03$  است. کلاس ۲ شامل مزارع با بادشکن‌هایی با میانگین فاصله بیش از  $m$   $1000$ ، و ساختمان‌های پراکنده است. ناهمواری در این کلاس برابر  $m$   $0/1$  است. کلاس ۳ شامل نواحی شهری، جنگل‌ها، و مزارع با بادشکن‌های

زیاد هستند. ناهمواری در این کلاس برابر  $m$   $0/4$  است. در این مطالعه نقشه‌ی کاربری اراضی از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه با مقیاس  $1:200000$  دریافت شد. سپس نقشه‌ی کاربری زمین در نرم‌افزار ArcGIS بازطبقه‌بندی شد، به این صورت که جنگل‌ها، باغات و مناطق شهری در کلاس ۳، اراضی کشاورزی در کلاس ۲ و مراتع و زمین‌های بایر در کلاس یک بازطبقه‌بندی شدند. در مرحله‌ی بعد با فراخوانی نقشه‌ی توپوگرافی به WASP Map Editor، نقشه‌ی بازطبقه‌بندی شده در این نرم‌افزار بر روی نقشه‌ی توپوگرافی رقومی شده و مقادیر ناهمواری آن‌ها مشخص شد. از آن‌جا که حجم اطلاعات این نقشه بسیار زیاد است، جهت تسریع در عملیات پردازش، کل استان به دو بخش شرقی و غربی تقسیم و نقشه‌ی هر بخش به طور مجزا آماده شد (شکل ۲). به این ترتیب دو نقشه که هر یک شامل توپوگرافی منطقه و زبری سطح بود، برای تهیه اطلس باد منطقه آماده‌ی ورود به نرم‌افزار WASP شد.



نقشه‌ی زبری سطحی غرب استان کرمانشاه



نقشه‌ی زبری سطحی شرق استان کرمانشاه

شکل ۲: نقشه‌ی زبری سطحی استان کرمانشاه (منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه)

### نقشه‌ی موانع ایستگاه‌ها

از آن‌جا که موانع می‌توانند باعث کاهش سرعت باد شوند، داشتن اطلاعاتی درباره‌ی موانع اطراف هر ایستگاه بادسنجی جهت تهیه اطلس باد لازم و ضروری است. در واقع عواملی که باعث می‌شود، یک مانع در کاهش سرعت باد موثر باشد و در واقع یک پناه‌گاه محسوب شود، عبارتند از:

-فاصله‌ی مانع تا ایستگاه

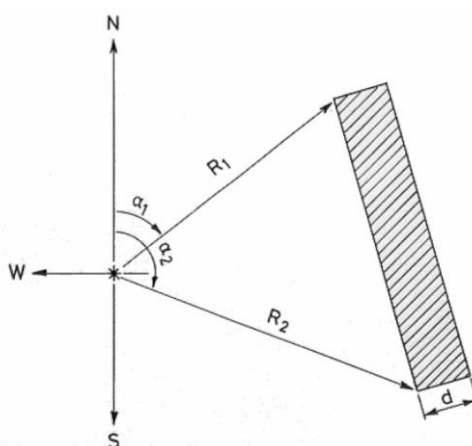
-ارتفاع مانع

-ارتفاع نقطه مورد نظر در ایستگاه

-طول مانع

-تخلخل مانع

تخلخل موانع برای ساختمان برابر صفر و برای درختان برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. یک ردیف از ساختمان‌های مشابه با فواصل یک سوم طول ساختمان تخلخلی برابر ۰/۳۳ خواهد داشت. بنابراین موقعیت هر مانع نسبت به ایستگاه و تخلخل آن باید مشخص شود (شکل ۳).



شکل ۳: طرح شماتیک از پارامترهای تعیین موقعیت مانع نسبت به محل اندازه‌گیری باد (منبع: راهنمای نرم‌افزار (WAsP)

۱۱ متر و کوتاه‌ترین مانع ارتفاعی در حدود ۴ متر و مرتفع‌ترین آن ارتفاعی در حدود ۳۰ متر دارد. ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در محدود شهری واقع شده است که زبری سطح آن ۰/۴ متر در نظر گرفته شده است. البته در فاصله‌ای نسبتاً نزدیک در جنوب و جنوب‌غرب ایستگاه زمین‌های کشاورزی واقع شده است که زبری آن‌ها در حدود ۰/۱ در نظر گرفته شد (شکل ۴). بنابراین با وجود این موانع که اغلب در جهت باد غالب دوم ایستگاه قرار گرفته‌اند (جدول ۱) و بالا بودن زبری سطح انتظار می‌رود سرعت باد و در نتیجه چگالی توان باد برآورد شده در این ایستگاه کاهش نسبتاً بالایی نسبت به شرایط مفروض با زبری سطحی کمتر و عدم وجود موانع نشان دهد. جدول ۲ ویژگی‌های باد شامل میانگین سرعت باد و میانگین چگالی توان باد از داده‌های اندازه‌گیری شده در شرایط ایستگاه (تحت‌تاثیر وجود موانع و زبری سطحی متفاوت) و داده‌های برآورد شده با حذف موانع و در شرایط زبری سطح  $m \ 0.03$  را در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه نشان می‌دهد. میانگین سرعت باد در شرایط ایستگاه (مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه:  $2/91$  متر بر ثانیه) نسبت به شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی  $0.03$  متر ( $4/15$  متر بر ثانیه) حدود  $30\%$  کمتر است. همچنین میانگین چگالی توان باد براساس داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه حدود  $41$  وات بر متر مربع و برای شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی  $0.03$  متر حدود  $119$  وات بر متر مربع برآورد شده است، بنابراین نوع کاربری زمین (شهری) و موانع موجود در اطراف ایستگاه باعث کاهش حدود  $65$  درصدی چگالی توان باد در مکان ایستگاه در ارتفاع  $10$  متری از سطح زمین شده است (جدول ۲).

$\alpha_1$ : زاویه‌ی گوشه اول با شمال ( $^\circ$ )

$R_1$ : فاصله‌ی شعاعی با گوشه اول (m)

$\alpha_2$ : زاویه‌ی گوشه دوم با شمال ( $^\circ$ )

$R_2$ : فاصله‌ی شعاعی با گوشه دوم (m)

h: ارتفاع مانع (m)

d: عرض مانع (m)

p: تخلخل (صفر تا یک)

موانعی به عنوان مانع موثر در کاهش سرعت یا پناهگاه در نظر گرفته می‌شوند که دو شرط زیر را داشته باشند:

-فاصله‌ی مانع تا ایستگاه سنجش باد کمتر از  $50$  برابر ارتفاع مانع باشد.

-ارتفاع مانع بیش‌تر از یک سوم ارتفاع باد سنج (برای ایستگاه سینوپتیک  $10$  متر) باشد، به عبارت دیگر برای ایستگاه سینوپتیک اگر ارتفاع مانع بیش‌تر از حدود  $3/33$  متر باشد.

نقشه‌ی موانع می‌تواند به وسیله‌ی عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و یا اندازه‌گیری در محل فراهم شود. در این بررسی موقعیت دقیق هر ایستگاه در گوگل ارث مشخص و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث (لندست و کوپرنیک) موقعیت و ویژگی موانع موثر در کاهش سرعت باد مشخص و اطلاعات آن وارد نرم‌افزار WASP شد.

## نتایج

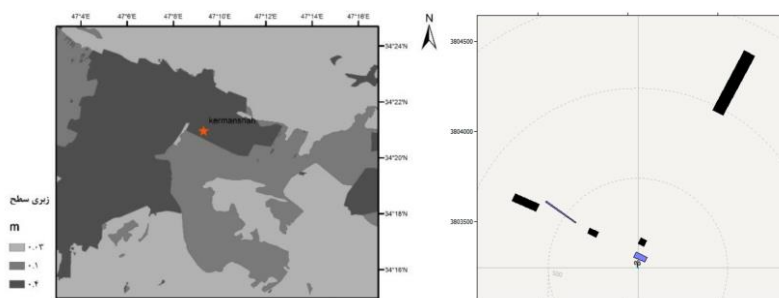
**تاثیر پارامترهای محیطی ایستگاه کرمانشاه بر ویژگی‌های باد**

شکل ۴ موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و زبری سطح اطراف این ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در اطراف ایستگاه کرمانشاه به‌طور کلی ۶ مانع عمده‌تاً در شمال‌شرق و شمال‌غرب شناسایی شد که ۴ مورد آن بدون تخلخل (ساختمان) و دو مانع با تخلخل حدود  $0/5$  (محدوده پوشیده از درخت) می‌باشد. میانگین ارتفاع این موانع حدود

جدول ۲: مقایسه ویژگی‌های باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و ویژگی‌های باد برآورد شده در شرایط زبری سطح ۰/۳ متر و عدم وجود مانع در اطراف ایستگاه

درصد تغییر	میانگین چگالی توان باد		درصد تغییر	میانگین سرعت باد		زبری سطح ایستگاه	ایستگاه
	برآورد شده	اندازه‌گیری شده		برآورد شده	اندازه‌گیری شده		
۶۵/۵	۱۱۹	۴۱	۲۹/۹	۴/۱۵	۲/۹۱	۰/۴	کرمانشاه
۸۶/۶	۳۳۷	۴۵	۳۹/۳	۳/۹۷	۲/۴۱	۰/۴	روانسر
۸۱/۲	۲۱۸	۴۱	۴۰/۱	۴/۲۶	۲/۵۵	۰/۴	اسلام‌آباد غرب
۳۲/۶	۹۲	۶۲	۱۵/۶	۲/۶۳	۲/۲۲	۰/۱	کنگاور
۶۵/۶	۹۳	۳۲	۳۰/۸	۳/۰۲	۲/۰۹	۰/۱	سرپل‌ذهاب
۲۷/۳	۱۳۹	۱۰۱	۹/۱	۴/۲۹	۳/۹	۰/۱	هرسین
۴۹	۱۰۲	۵۲	۱۸/۵	۳/۷۹	۳/۰۹	۰/۱	قصرشیرین
۴۷/۶	۲۲۵	۱۱۸	۲۰/۲	۴/۷۵	۳/۷۹	۰/۰۳	سنقر
۶۳/۲	۱۰۶	۳۹	۲۶/۱	۳/۸۳	۲/۸۳	۰/۴	جوانرود
۶۳/۷	۲۶۷	۹۷	۲۶/۴	۵/۵۶	۴/۰۹	۰/۱	سرارود
۶۱/۹	۳۱۲	۱۱۹	۲۷/۸	۶/۷	۴/۸۴	۰/۴	گیلان‌غرب
۳۶/۶	۲۲۱	۱۴۰	۱۴/۹	۵/۸۳	۴/۹۶	۰/۱	سومار
۳۸/۵	۲۶۰	۱۶۰	۱۴/۸	۶/۴۹	۵/۵۳	۰/۱	تازه‌آباد

منبع: محاسبات نویسندگان



شکل ۴: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه کرمانشاه

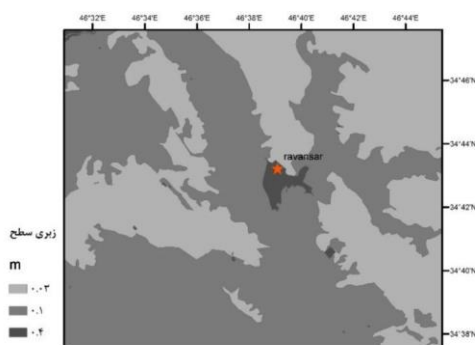
### تأثیر پارامترهای محیطی ایستگاه روانسر بر ویژگی‌های باد

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک روانسر و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هفت ساختمان و یک محوطه از پوشش گیاهی در اطراف این ایستگاه شروط یک مانع برای کاهش سرعت باد را در دوره آماری مورد بررسی داشته‌اند. میانگین ارتفاع موانع نزدیک به ۷ متر و مرتفع‌ترین مانع در

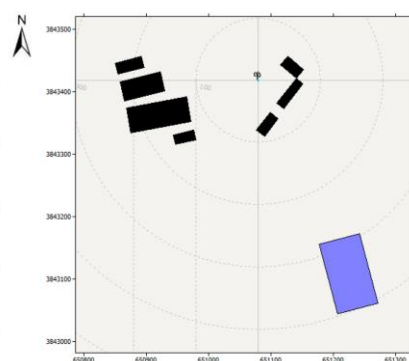
این محدوده حدود ۱۵ متر و همچنین کوتاه‌ترین مانع حدود ۴ متر ارتفاع دارند. موانع عمدتاً در غرب -جنوب‌غرب و شرق -جنوب‌شرق قرار گرفته‌اند. ایستگاه روانسر در محدوده شهری (زبری سطحی ۰/۴ متر) قرار گرفته است (شکل ۵). البته نواحی اطراف ایستگاه از جهت شمال -شمال‌شرقی زبری سطحی کم‌تری (۰/۰۳ متر) دارند. برآورد میانگین سرعت و چگالی توان باد با حذف موانع و کاهش زبری سطح تا ۰/۰۳ متر در اطراف ایستگاه روانسر همان‌طور که انتظار می‌رود



افزایش یافت. به عبارت دیگر وجود موانع در اطراف این ایستگاه و بویژه در جهت باد غالب ایستگاه و استقرار ایستگاه در محدوده‌ی شهری باعث کاهش حدود ۳۹ درصدی میانگین سرعت باد و حدود ۸۷ درصدی میانگین چگالی توان باد نسبت به شرایط مفروض شده است، که بسیار قابل توجه می‌باشد (جدول ۲).



ویژگی‌های باد را در این محدوده به شدت تحت-تاثیر قرار داد. به ویژه به این دلیل که اغلب موانع در جهت باد غالب دوم ایستگاه یعنی بادهای غربی (جدول ۱) و یک مانع در جهت بیشینه میانگین سرعت باد (شمال شرقی) با فاصله نسبتاً کمی از ایستگاه قرار گرفته است. میانگین سرعت باد از مقدار ۲/۴۱ به ۳/۹۷ متر بر ثانیه و میانگین چگالی توان باد از ۴۵ به ۳۳۷ وات بر متر مربع

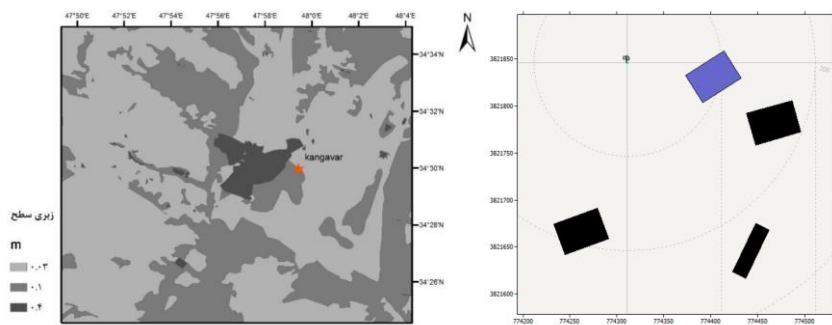


شکل ۵: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده‌ی ایستگاه روانسر

### تاثیر پارامترهای محیطی ایستگاه کنگاور بر ویژگی‌های باد

نگرفته‌اند (جدول ۱). بنابراین انتظار می‌رود ویژگی‌های باد در این ایستگاه از ویژگی‌های محیطی تاثیرات کمتری پذیرفته باشد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر ۲/۲۲ متر بر ثانیه و ۶۲ وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد برآورد شده در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی ۰/۰۳ متر به ترتیب برابر ۲/۶۳ متر بر ثانیه و ۹۲ وات بر متر مربع برآورد گردیده است. بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (عدم وجود مانع و زبری سطحی ۰/۰۳ متر) باعث کاهش حدود ۱۶ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۳۳ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است.

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک کنگاور و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، چهار مانع در جهات شرق تا جنوب ایستگاه شناسایی شده است که میانگین ارتفاع آن‌ها در حدود ۱۳ متر (ارتفاع موانع از ۸ تا ۱۵ متر متغیر است) برآورد شده است. ایستگاه سینوپتیک کنگاور در محدوده‌ای با زبری سطح ۰/۱ متر و با فاصله از محدوده شهری تاسیس شده است شکل ۶. زمین‌های سمت شمال غرب تا جنوب شرقی اطراف ایستگاه نیز زمین‌های بایر است که زبری سطحی کمتری (۰/۰۳) دارند. همچنین موانع در جهت باد غالب و بیشینه میانگین سرعت (جنوب غربی و غربی) قرار

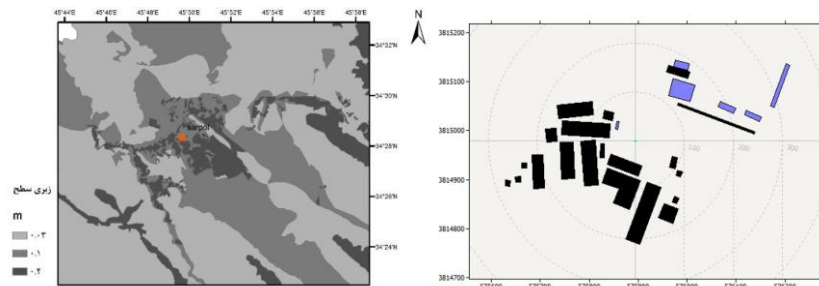


شکل ۶: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه کنگاور

**تأثیر پارامترهای محیطی ایستگاه سرپل ذهاب بر ویژگی‌های باد**

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک سرپل ذهاب و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ساختمان‌های زیادی در محدوده‌ی شمال غرب تا جنوب شرق این ایستگاه شناسایی شدند. همچنین چند ساختمان و محوطه‌ی پوشیده از درخت در شمال شرق تا شرق این ایستگاه در دوره آمار مورد بررسی (۲۰۰۹-۲۰۱۳) وجود داشته است. بنابراین بیش‌تر موانع در جهت باد غالب (جنوب شرقی و غربی) یا جهت بیشینه میانگین سرعت (جنوبی) قرار گرفته‌اند (جدول ۱). میانگین ارتفاع موانع حدود ۴ متر و مرتفع‌ترین مانع در این محدوده حدود ۶ متر و همچنین کم ارتفاع‌ترین مانع حدود ۳/۴ متر ارتفاع دارند. ایستگاه سرپل ذهاب در

محدوده زمین‌های کشاورزی (زبری سطحی ۰/۱ متر) قرار گرفته است. البته نواحی اطراف ایستگاه از باغات پوشیده شده که زبری سطحی بالاتری (۰/۴ متر) دارند (شکل ۷). برآورد میانگین سرعت و چگالی توان باد با حذف موانع و کاهش زبری سطح تا ۰/۰۳ متر در اطراف ایستگاه همان‌طور که انتظار می‌رود ویژگی‌های باد را در این محدوده تا مقدار قابل توجهی تحت تأثیر قرار داد، به طوری که میانگین سرعت باد از مقدار ۲/۰۹ به ۳/۰۲ متر بر ثانیه و میانگین چگالی توان باد از ۳۲ به ۹۳ وات بر متر مربع افزایش یافت. به عبارت دیگر وجود موانع در اطراف این ایستگاه و استقرار ایستگاه در محدوده‌ی زمین‌های کشاورزی و باغات اطراف باعث کاهش حدود ۳۱ درصدی میانگین سرعت باد و حدود ۶۶ درصدی میانگین چگالی توان باد نسبت به شرایط مفروض شده است (جدول ۲).

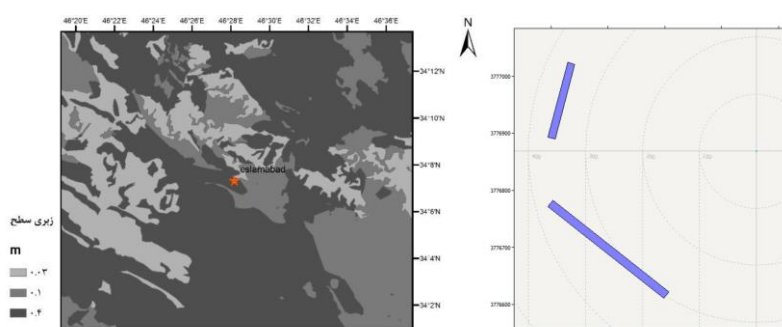


شکل ۷: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه سرپل ذهاب

برآورد میانگین سرعت و چگالی توان باد با حذف موانع و کاهش زبری سطح تا  $0/03$  متر در اطراف ایستگاه اسلام‌آباد غرب نیز ویژگی‌های باد را در این محدوده به شدت تحت‌تاثیر قرار داد، به طوری که میانگین سرعت باد از مقدار  $2/55$  به  $4/26$  متر بر ثانیه و میانگین چگالی توان باد از  $41$  به  $218$  وات بر متر مربع افزایش یافت. به عبارت دیگر وجود موانع در اطراف این ایستگاه و استقرار ایستگاه در محدوده‌ی با زبری سطح بالا باعث کاهش حدود  $40$  درصدی میانگین سرعت باد و حدود  $81$  درصدی میانگین چگالی توان باد نسبت به شرایط مفروض شده است، که قابل توجه می‌باشد (جدول ۲).

### تاثیر پارامترهای محیطی ایستگاه اسلام‌آباد غرب بر ویژگی‌های باد

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک اسلام‌آباد غرب و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنها دو مانع در شمال‌غرب-غرب (جهت باد غالب ایستگاه) و جنوب‌غرب ایستگاه با تخلخل حدود  $0/5$  شروط یک مانع برای کاهش سرعت باد را داشته‌اند. ارتفاع هر دو مانع در حدود  $13$  متر می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود این ایستگاه در محدوده‌ای با پوشش جنگلی و بنابراین زبری سطحی  $0/4$  متر قرار گرفته است. البته نواحی اطراف ایستگاه از جهت شمال-شمال شرقی زبری سطحی کم‌تری ( $0/03$  و  $0/1$  متر) دارند.



شکل ۸: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل  $0/5$ ) و نقشه زبری سطح در محدوده‌ی ایستگاه اسلام‌آباد غرب

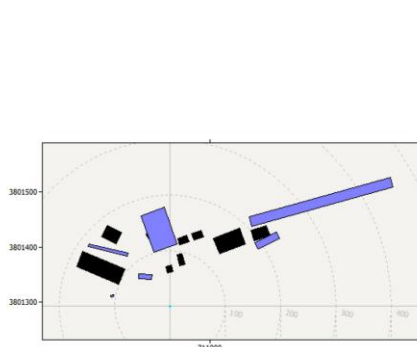
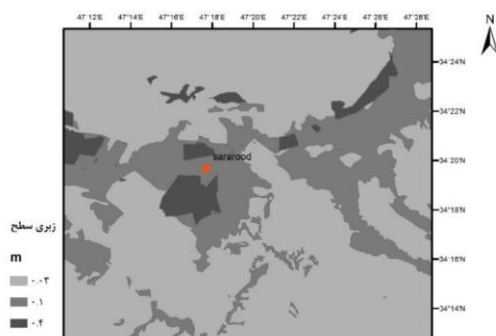
بیشینه میانگین سرعت باد نیستند (جدول ۱). میانگین ارتفاع موانع شناسایی شده نزدیک  $8$  متر (ارتفاع موانع از  $4$  تا  $20$  متر متغیر است) برآورد شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه سینوپتیک سرارود در محدوده‌ی اراضی کشاورزی (با زبری سطح  $0/1$  متر) که در شمال و جنوب آن شهرک‌های صنعتی (با زبری  $0/4$  متر) قرار دارد، تاسیس شده است. با توجه به جدول ۲، میانگین

### تاثیر پارامترهای محیطی ایستگاه سرارود بر ویژگی‌های باد

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک سرارود و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، موانع عمدتاً در جهات شمال‌شرق تا شمال‌غرب این ایستگاه قرار گرفته‌اند، که هیچ یک جهت باد غالب یا جهت

بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (عدم وجود مانع و زبری سطحی  $0/03$  متر) باعث کاهش حدود ۲۶ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۶۴ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است.

سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر  $4/09$  متر بر ثانیه و  $97$  وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد برآورد شده در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی  $0/03$  متر به ترتیب برابر  $5/56$  متر بر ثانیه و  $267$  وات بر متر مربع برآورد گردیده است.

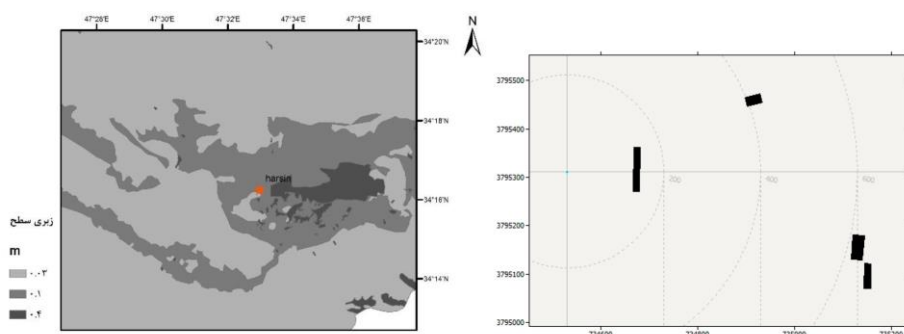


شکل ۹: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل  $0/5$ ) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه سرارود

آن مرتع قرار گرفته که زبری سطحی کم‌تری ( $0/03$ ) دارد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر  $3/9$  متر بر ثانیه و  $101$  وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد برآورد شده در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی  $0/03$  متر به ترتیب برابر  $4/29$  متر بر ثانیه و  $139$  وات بر متر مربع برآورد گردیده است. بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (عدم وجود مانع و زبری سطحی  $0/03$  متر) باعث کاهش حدود ۹ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۲۷ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است، که تاثیری نسبتاً کم می‌باشد.

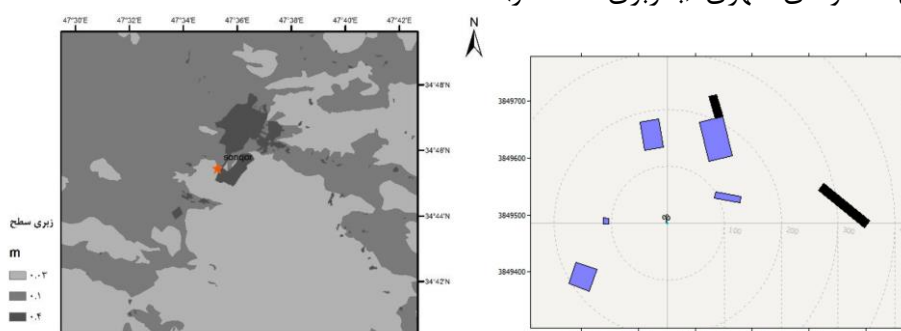
### تأثیر پارامترهای محیطی ایستگاه هرسین بر ویژگی‌های باد

شکل ۱۰ موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک هرسین و زبری سطح اطراف این ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، چهار مانع در جهات شمال شرق تا جنوب شرق ایستگاه شناسایی شده است که میانگین ارتفاع آن‌ها در حدود ۱۲ متر (ارتفاع موانع از  $3/5$  تا حدود ۱۸ متر) برآورد شده است. هیچ‌یک از این موانع در جهت باد غالب (غربی و جنوب‌غربی) یا بیشینه میانگین سرعت (جنوبی) قرار نگرفته‌اند (جدول ۱). همچنین ایستگاه سینوپتیک هرسین در محدوده‌ای با زبری سطح  $0/1$  متر (زمین‌های کشاورزی) تاسیس شده است. در شرق ایستگاه اندکی با فاصله، محدوده شهری (با زبری سطحی بیش‌تر) و در جنوب-جنوب‌غرب



شکل ۱۰: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه هرسین

و در شمال آن زمین‌های زراعی (با زبری ۰/۱ متر) قرار دارد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر ۳/۷۹ متر بر ثانیه و ۱۱۸ وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد برآورد شده در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی ۰/۰۳ متر به ترتیب برابر ۴/۷۵ متر بر ثانیه و ۲۲۵ وات بر متر مربع برآورد گردیده است. بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (عدم وجود موانع و زبری سطحی ۰/۰۳ متر) باعث کاهش حدود ۲۰ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۴۸ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است (شکل ۱۱).

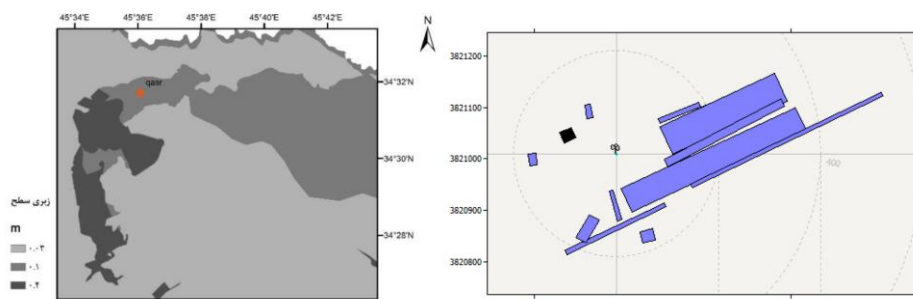


شکل ۱۱: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه سنقر

### تأثیر پارامترهای محیطی ایستگاه سنقر بر ویژگی‌های باد

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک سنقر و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در جهات مختلف این ایستگاه، به استثنای جنوب و جنوب‌شرق، موانعی اغلب نفوذپذیر شناسایی شده است. جهت باد غالب در این ایستگاه جنوب‌غربی و غربی و جهت بیشینه میانگین سرعت باد جنوبی می‌باشد (جدول ۱). میانگین ارتفاع موانع شناسایی شده نزدیک ۶ متر (متغیر از ۴ تا ۸ متر) برآورد شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه سینوپتیک سنقر در محدوده‌ای با زبری سطح ۰/۰۳ متر (مرتفع) تاسیس شده است، که با فاصله اندکی از ایستگاه، در شرق آن محدوده‌ی شهری (با زبری ۰/۴ متر)

کشاورزی) تاسیس شده است. محدوده‌ی شهری (با زبری ۰/۴ متر) در جنوب‌شرق آن و در شمال و جنوب آن مراتع (با زبری ۰/۳ متر) قرار دارد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر ۳/۰۹ متر بر ثانیه و ۵۲ وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد برآورد شده در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی ۰/۳ متر به ترتیب برابر ۳/۷۹ متر بر ثانیه و ۱۰۲ وات بر متر مربع برآورد گردیده است. بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (عدم وجود مانع و زبری سطحی ۰/۳ متر) باعث کاهش حدود ۱۹ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۴۹ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است.



شکل ۱۲: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی): تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده‌ی ایستگاه قصرشیرین

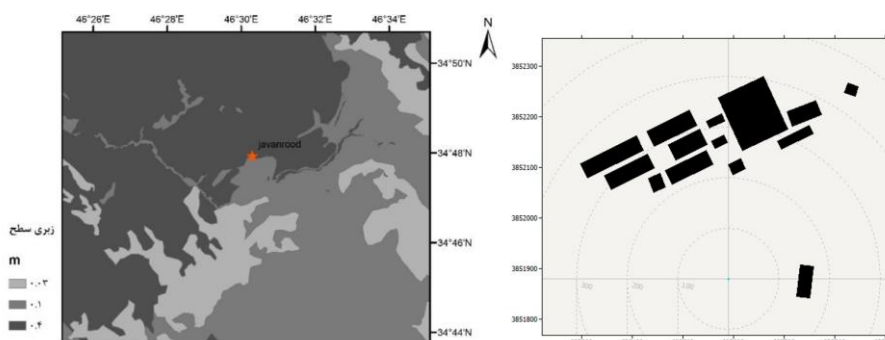
### تأثیر پارامترهای محیطی ایستگاه جوانرود بر ویژگی‌های باد

بیشینه میانگین سرعت نیستند (جدول ۱). میانگین ارتفاع موانع نزدیک به ۸ متر و مرتفع‌ترین مانع در این محدوده حدود ۱۳ متر و همچنین کم‌ارتفاع‌ترین مانع حدود ۴/۵ متر ارتفاع دارند. همان‌طور که در شکل ۱۳ ملاحظه می‌شود ایستگاه جوانرود در محدوده شهری (زبری سطحی ۰/۴ متر) قرار گرفته است. به‌طور کلی شمال و غرب این ایستگاه با اراضی با زبری بالا (مناطق

شکل ۱۳: موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک جوانرود و زبری سطح اطراف این ایستگاه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، موانع زیادی در شمال‌غرب، شمال و شمال‌شرق ایستگاه و تنها یک مانع در شرق آن شناسایی شد، که هیچ‌کدام جهت باد غالب یا

۳۹ به ۱۰۶ وات بر متر مربع افزایش یافت. به عبارت دیگر وجود موانع در اطراف این ایستگاه و استقرار ایستگاه در محدوده‌ی شهری باعث کاهش حدود ۲۶ درصدی میانگین سرعت باد و حدود ۶۳ درصدی میانگین چگالی توان باد نسبت به شرایط مفروض شده است (جدول ۲)، که نسبتاً قابل توجه می‌باشد.

شهری و جنگلی) و جنوب آن با اراضی با زبری سطحی کم‌تر (زمین‌های کشاورزی و مراتع) پوشیده شده است. حذف موانع و کاهش زبری سطح تا ۰/۰۳ متر در اطراف ایستگاه جانرود همان‌طور که انتظار می‌رود ویژگی‌های باد را در این محدوده تا اندازه زیادی تحت‌تاثیر قرار داد، به‌طوری که میانگین سرعت باد از مقدار ۲/۸۳ به ۳/۸۳ متر بر ثانیه و میانگین چگالی توان باد از

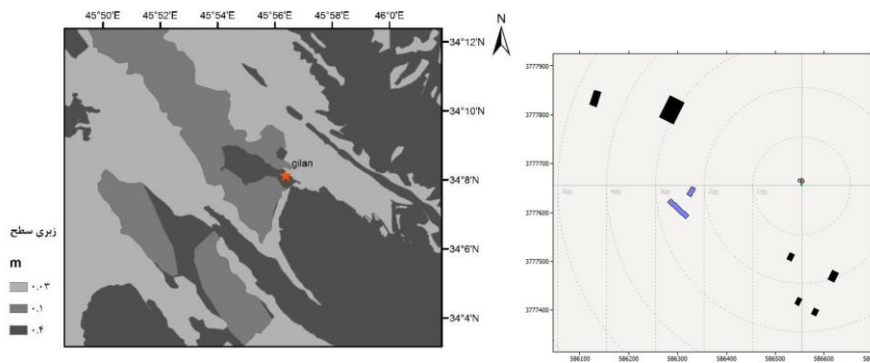


شکل ۱۳: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی): تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده‌ی ایستگاه جانرود

### تاثیر پارامترهای محیطی ایستگاه گیلان غرب بر ویژگی‌های باد

موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک گیلان غرب و زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، موانعی با نفوذپذیری صفر در شمال غرب و جنوب ایستگاه و دو مانع نفوذپذیر در غرب آن (جهت باد غالب دوم ایستگاه) شناسایی شد. میانگین ارتفاع موانع نزدیک به ۹ متر و مرتفع‌ترین مانع در این محدوده حدود ۱۰ متر و همچنین کم‌ارتفاع‌ترین مانع حدود ۶ متر ارتفاع دارند. همان‌طور که در شکل ۱۴ ملاحظه می‌شود ایستگاه گیلان غرب نیز در محدوده شهری (زبری سطحی ۰/۴ متر) قرار گرفته است. همچنین جنوب غرب آن از باغات و شمال غرب تا شرق ایستگاه و جنوب تا جنوب غرب

آن از اراضی با زبری کم‌تر (اراضی کشاورزی و مرتعی) پوشیده شده است. برآورد میانگین سرعت و چگالی توان باد با حذف موانع و کاهش زبری سطح تا ۰/۰۳ متر در اطراف ایستگاه گیلان غرب همان‌طور که انتظار می‌رود ویژگی‌های باد را در این محدوده تا اندازه زیادی تحت‌تاثیر قرار داد به طوری که میانگین سرعت باد از مقدار ۴/۸۴ به ۶/۷ متر بر ثانیه و میانگین چگالی توان باد از ۱۱۹ به ۳۱۲ وات بر متر مربع افزایش یافت. به عبارت دیگر وجود موانع در اطراف این ایستگاه و استقرار ایستگاه در محدوده‌ی شهری باعث کاهش حدود ۲۸ درصدی میانگین سرعت باد و حدود ۶۲ درصدی میانگین چگالی توان باد نسبت به شرایط مفروض شده است، که نسبتاً قابل توجه می‌باشد (شکل ۴).

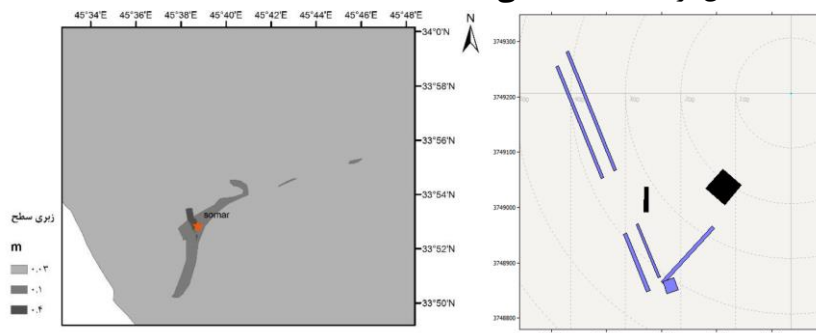


شکل ۱۴: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه گیلان غرب

**تأثیر پارامترهای محیطی ایستگاه سومار بر ویژگی‌های باد**

شکل ۱۵ موقعیت موانع شناسایی شده در ایستگاه سینوپتیک سومار و زبری سطح اطراف این ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، موانع عمدتاً نفوذپذیری در جهت غرب و جنوب‌غرب ایستگاه شناسایی شده است که میانگین ارتفاع آن‌ها در حدود ۸ متر (ارتفاع موانع از ۵ تا حدود ۹ متر) برآورد شده است. با توجه به جدول ۱ هیچ مانعی در جهت باد غالب ایستگاه (شمال‌غرب و شمال‌شرق) و یا جهت بیشینه میانگین سرعت باد (جنوب‌شرقی) قرار نگرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه سینوپتیک سومار در محدوده‌ای با زبری سطح ۰/۱ متر (زمین‌های کشاورزی) تاسیس شده است که البته از سمت شمال‌غرب فاصله اندکی با

محدوده شهری (با زبری سطحی ۰/۴) دارد. به‌طور کلی منطقه عمدتاً از مراتع پوشیده شده که زبری سطحی برابر ۰/۳ متر دارند. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر ۴/۹۶ متر بر ثانیه و ۱۴۰ وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد برآورد شده در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی ۰/۳ متر به ترتیب برابر ۵/۸۳ متر بر ثانیه و ۲۲۱ وات بر متر مربع می‌باشد. بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (عدم وجود مانع و زبری سطحی ۰/۳ متر) باعث کاهش حدود ۱۵ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۳۷ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است (شکل ۱۵).



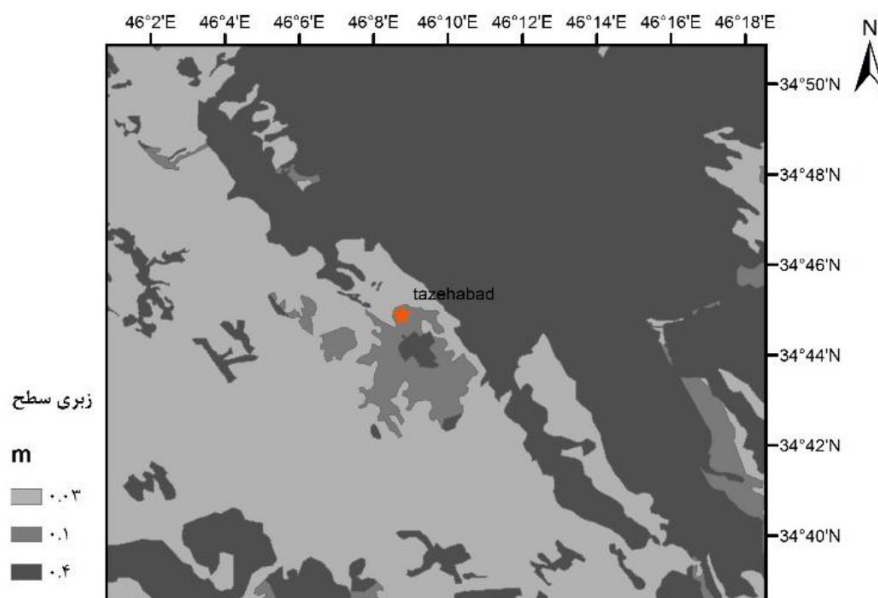
شکل ۱۵: موقعیت موانع شناسایی شده (رنگ مشکی: تخلخل صفر و رنگ آبی تخلخل ۰/۵) و نقشه زبری سطح در محدوده ایستگاه سومار



کم‌تری (۰/۰۳) قرار دارند. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین سرعت و چگالی توان باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه به ترتیب برابر ۵/۵۳ متر بر ثانیه و ۱۶۰ وات بر متر مربع و میانگین سرعت و چگالی توان باد در شرایط عدم وجود موانع و زبری سطحی ۰/۰۳ متر به ترتیب برابر ۶/۴۹ متر بر ثانیه و ۲۶۰ وات بر متر مربع برآورد گردیده است. بنابراین شرایط محیطی ایستگاه نسبت به شرایط مفروض (زبری سطحی ۰/۰۳ متر) باعث کاهش حدود ۱۵ درصدی در میانگین سرعت باد و کاهش حدود ۳۸ درصدی در میانگین چگالی توان باد شده است.

### تاثیر پارامترهای محیطی ایستگاه تازه‌آباد بر ویژگی‌های باد

در ایستگاه تازه‌آباد هیچ مانعی که شروط لازم برای این‌که به عنوان مانعی در برابر باد محسوب شود، شناسایی نشد. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است جهت باد غالب ایستگاه جنوب‌شرقی و پس از آن غربی و جهت بیشینه میانگین سرعت باد جنوب‌شرقی می‌باشد. زبری سطح اطراف این ایستگاه در شکل ۱۶ نشان داده شده است. ایستگاه سینوپتیک تازه‌آباد در محدوده‌ای با زبری سطح ۰/۱ متر (زمین‌های کشاورزی) تاسیس شده است که سمت جنوب آن، محدوده شهری (با زبری سطحی بیش‌تر) و سمت شمال با فاصله کمی مراتع با زبری سطحی



شکل ۱۶: نقشه زبری سطح در محدوده‌ی ایستگاه تازه‌آباد

سرارود در جهت شمال ایستگاه که فراوانی باد چندانی ندارند، شناسایی شد. مرتفع‌ترین موانع نیز در ایستگاه‌های کرمانشاه (شمال غرب و شمال شرق)، اسلام‌آباد غرب (غرب و جنوب غرب)، کنگاور (جنوب، جنوب شرق) و هرسین (شرق) با

### نتیجه‌گیری

از بین ایستگاه‌های موجود تنها در ایستگاه تازه‌آباد مانعی وجود نداشت. موانع زیادی در ایستگاه‌های سرپل‌ذهاب و روانسر در جهت وزش باد غالب دوم (بادهای غربی) و در ایستگاه‌های جوانرود و

حالی که مجرد و هم‌متی (۱۳۹۲) نشان دادند این ایستگاه ضعیف‌ترین موقعیت را از لحاظ توان باد داراست. مجرد و هم‌متی (۱۳۹۲) بیان نمودند این تفاوت از کاربرد روابط متفاوت نشأت می‌گیرد، و به نظر می‌رسد طبقه‌بندی قابلیت مناطق بر مبنای سرعت باد و تداوم سالانه‌ی باد به نتایج بهتری ختم شود. نتایج مطالعه کیم و لیم (Kim and Lim, 2017) که اثر توپوگرافی و زبری سطحی را بر تخمین تولید انرژی سالانه (AEP) مزرعه بادی دریایی بررسی کردند، نشان داد در ارتفاعات بالاتر (۶۰ متر نسبت ۳۰ متر از سطح زمین) میزان خطای AEP با مدل‌سازی غیردقیق توپوگرافی به شدت (تا ۳۸٪) کاهش می‌یابد. در حالی که مدل‌سازی غیردقیق زبری سطح اثرات کمی بر پیش‌بینی AEP داشته است. بایرن و همکاران (Byrne et al, 2018) نیز نشان دادند، ساختمان‌های عریض با ارتفاعی برابر ۲۰٪ ارتفاع توربین می‌تواند اثر قابل توجهی در قیاس با ساختمان‌های باریک بلندتر در کاهش انرژی داشته باشد و تپه‌هایی با فاصله ۸ کیلومتر از سایت توربین بر کاهش انرژی تولید شده اثر دارند. بنابراین نادیده گرفتن اثر پارامترهای محیطی به طور ویژه در مطالعات مربوط به تعیین پتانسیل باد می‌تواند الویت‌های معرفی مناسب‌ترین مکان در سطح منطقه برای تولید انرژی را تغییر دهد.

### سیاس‌گذاری

در پایان از حمایت مالی شرکت توزیع نیروی برق استان کرمانشاه در این تحقیق (در قالب طرح پژوهشی) تقدیر می‌گردد.

متوسط ارتفاع موانع بیش از ۱۰ متر مشاهده شده است. بیش‌ترین درصد تغییر میانگین سرعت باد در نتیجه ویژگی‌های محیطی در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، روانسر، سرپل‌ذهاب و کرمانشاه (به ترتیب ۴۰ تا ۳۰ درصد) و کم‌ترین تغییر میانگین سرعت باد در ایستگاه‌های هرسین، تازه‌آباد و سومار (۹ تا ۱۵ درصد) رخ داده است. ایستگاه‌های دیگر به ترتیب درصد تغییر سرعت باد عبارتند از گیلان‌غرب (۲۸٪)، سرارود (۲۶٪)، جوانرود (۲۶٪)، سنقر (۲۰٪)، قصرشیرین (۱۸٪) و کنگاور (۱۶٪). تغییرات چگالی توان باد نیز بسته به ویژگی‌های محیطی ایستگاه‌ها از بیش از ۸۱٪ در روانسر و اسلام‌آباد غرب تا حدود ۲۷٪ در هرسین متغیر است. ایستگاه‌های دیگر به ترتیب درصد تغییر چگالی توان باد عبارتند از سرپل‌ذهاب (۶۶٪)، کرمانشاه (۶۵٪)، سرارود (۶۴٪)، جوانرود (۶۳٪)، گیلان‌غرب (۶۲٪)، قصرشیرین (۴۹٪)، سنقر (۴۸٪)، تازه‌آباد (۳۸٪)، سومار (۳۷٪) و کنگاور (۳۳٪). بنابراین در میزان تاثیر ویژگی‌های محیطی بر ویژگی‌های باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین در ایستگاه‌ها تفاوت بسیار زیادی وجود دارد. به‌طوری‌که به عنوان مثال تعدد موانع در جهت باد غالب در ایستگاه‌های روانسر و سرپل‌ذهاب و ارتفاع زیاد موانع در ایستگاه‌های کرمانشاه و اسلام‌آباد و همچنین زبری زیاد در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر، اسلام‌آباد غرب، جوانرود و گیلان‌غرب تاثیر بسزایی در کاهش میانگین سرعت باد تا بیش از ۲۶ درصد و همچنین چگالی توان باد تا بیش از ۶۲ درصد داشته است. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) قابلیت ایستگاه سرپل‌ذهاب برای تولید انرژی بادی را مناسب نشان دادند در

## پانوشت

## 1-KLIimate Model Manze

مقدار برآورد شده بدون وجود موانع و در شرایط زبری ۰/۰۳ متر).

## 2-Wind Atlas Analysis and Application Program

## 3-Digital Elevation Model

۴-مقدار برآورد شده بدون وجود موانع و در شرایط زبری ۰/۰۳ متر (مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه-

## منابع

انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، سال یکم، شماره ۲، ص ۸۳-۱۱۰.

-گندم کار، ا.، ۱۳۸۸. ارزیابی پتانسیل باد در کشور ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره ۴، ص ۸۵-۱۰۰.

-محمدی، ح.، رستمی، ش.، تقوی، ف. و شمسی‌پور، ع.، ۱۳۹۱. پتانسیل‌سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲، ص ۱۹-۳۲.

-مجرد، ف. و همتی، ش.، ۱۳۹۲. ارزیابی قابلیت‌های انرژی باد در استان‌های کرمانشاه و کردستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۳، شماره ۲۹، ص ۱۳۷-۱۵۷.

-محمدی، ب.، ۱۳۹۴. ارزیابی توان باد در استان کردستان، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۲، ص ۳۲۳-۳۳۵.

-معروفی، ص.، سقایی، ص. و ارشاد فتح، ف.، ۱۳۹۶. بررسی توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و کلاسه‌بندی آن براساس روش تحلیل خوشه‌ای، مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، شماره ۱/۱، ص ۴۹-۵۹.

-اختصاصی، م. و قائمی‌نیا، ع.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی سرعت وزش باد بیشینه‌ی احتمالی در دوره بازگشت‌های مختلف در بخشی از مرکز ایران، مجله مهندسی اکوسیستم بیابان، سال ۶، شماره ۱۵، ص ۴۹-۵۸.

-رضایی بنفشه، م.، جهانبخش، س.، دین‌پژوه، ی. و اسمعیل‌پور، م.، ۱۳۹۳. امکان‌سنجی استفاده از انرژی باد در استان‌های اردبیل و زنجان، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۶، شماره ۳، ص ۲۶۱-۲۷۴.

-خسروی، م.، ابراهیمی، م. و بهروزی، م.، ۱۳۹۵. بررسی وضعیت انرژی باد در استان خوزستان به منظور استفاده از توربین‌های بادی، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۶، شماره ۲۲، ص ۲۹-۴۲.

-رحیم‌زاده، ف.، پدرام، م.، صداقت‌کردار، ع. و کمالی، غ.، ۱۳۸۸. برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره ۳، ص ۱۵۵-۱۷۲.

-رفعتی، س.، کریمی، م. و سام‌دلیری، ا.، ۱۳۹۷. پتانسیل‌یابی انرژی باد و ارزیابی اقتصادی تاسیس نیروگاه بادی در استان کرمانشاه، طرح پژوهشی شرکت توزیع نیروی برق کرمانشاه.

-صادقی، ز.، دلال‌باشی، ز. و حری، ح.، ۱۳۹۲. اولویت‌بندی عوامل موثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های

- Aien, M., Rashidinejad, M. and Fotuhi-Firuzabad, M., 2014. On possibilistic and probabilistic uncertainty assessment of power flow problem: a review and a new approach: *Renew Sustain Energy Rev*, v. 37, p. 883-895.
- Ameri, M., Ghadiri, M. and Hosseini, M., 2006. Recent advances in the implementation of wind energy in Iran: The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)", Bangkok, Thailand.
- Boudia, M. and Guerri, o., 2015. Investigation of wind power potential at Oran, northwest of Algeria: *Energy Conversion and Management*. v. 105, p. 81-92.
- Byrne, R., Hewitt, N., Griffiths, Ph. and MacArtain, P., 2018. Observed site obstacle impacts on the energy performance of a large scale urban wind turbine using an electrical energy rose: *Energy for Sustainable Development*, v. 43, p. 23-37.
- Djamai, M. and Merzouk, N.K., 2011. Wind farm feasibility study and site selection in Adrar, Algeria: *Energy Procedia*, v. 6, p. 136-142.
- Kim, Y. and Lim, H., 2017. Effect of island topography and surface roughness on the estimation of annual energy production of offshore wind farms: *Renewable Energy*, 103, p. 106-114.
- Mentis, M., Hermann, S., Howells, M., Welsch, M. and Siyal, S.H., 2015. Assessing the technical wind energy potential in Africa a GIS-based approach: *Renewable Energy*, v. 83, p.110-125.
- Shaahid, S.M., Al-Hadhrami, L.M. and Rahman, M.K., 2014. Potential of Establishment of Wind Farms in Western Province of Saudi Arabia: *Energy Procedia*, v. 52, p. 497-505.
- Troen, I. and Lundtang Petersen, E., 1989. *European Wind Atlas*. Roskilde: Risø National Laboratory.
- WAN, H., WANG, X.L. and SWAIL, V.R., 2010. Homogenization and Trend Analysis of Canadian Near-Surface Wind Speeds: *Journal of Climate*, v. 23, p. 1209-1225.
- Waewsak, J., Chaichana, T., Chancham, C., Landry, M. and Gagnon, Y., 2014. Micro-siting wind resource assessment and near Shore wind farm analysis in Pakpanang district, Nakhon Si Thammarat province, Thailand: *Energy Procedia*, v. 52, p. 204-215.