



## Zoning land surface roughness for wind turbine installation using satellite remote sensing: a case study of kiashahr county

Arash Mesri<sup>1</sup> | Fatemeh Rahimi-Ajdadi<sup>2</sup> | Iraj Bagheri<sup>3</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, email: [arashmesrione@gmail.com](mailto:arashmesrione@gmail.com)
2. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, email: [rahimi\\_a@guilan.ac.ir](mailto:rahimi_a@guilan.ac.ir)
3. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, email: [irajbagheri@guilan.ac.ir](mailto:irajbagheri@guilan.ac.ir)

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Aug. 7, 2024

**Revised:** Sep. 18, 2024

**Accepted:** Oct. 16, 2024

**Published online:** Spring 2024

**Keywords:**

*Classification,*

*Landsat,*

*Markov Cellular Automata,*

*Roughness Length,*

*Wind Power Plant*

### ABSTRACT

The depletion of fossil fuels, environmental issues, and climate change make the development of renewable energy, especially wind energy, essential. The main challenge in developing wind energy is selecting suitable locations for power plants, where land roughness plays a significant role. This study aimed to prioritize suitable areas based on land roughness using remote sensing in Kiashahr. Land use classification results by the SVM algorithm from 2000 to 2020 showed changes in 2,957.66 hectares of the region. Predicted maps from Markov Cellular Automata models for 2030 were used to ensure practical application of results for future years. The simulated map was gridded based on Wieringa roughness length data to generate maps of roughness length and classes. Results showed that 84 cells, equivalent to 1,363.98 hectares, in the first and second classes have the best potential for wind power plants. Additionally, land use maps for 2030 indicated that a large part of the region is used for agriculture, mostly rice cultivation. These areas have a roughness length of 0.25 m for only two months of the year, and for the rest of the year, they have a roughness length of 0.1 m (class 4) and 0.03 m (class 3). Overall, considering a roughness length of up to 0.25 meters, 552 cells, equivalent to 8,963.36 hectares, were identified as suitable for wind power plants. The findings of this research can help identify suitable areas for wind power plant construction and assist in modeling wind speed near the hub of tall wind turbines.

Cite this article: Mesri, A., Rahimi Ajdadi, F., Bagheri, I., (2024) Zoning land surface roughness for wind turbine installation using satellite remote sensing: a case study of kiashahr county, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 55 (1), 93-112.

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.380477.665560>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.380477.665560>



## پهنه‌بندی زبری زمین با هدف تعیین مناطق مستعد نصب توربین بادی با استفاده از سنجش از دور

## ماهواره‌ای-مطالعه موردی: شهرستان گیاشهر

آرش مصری<sup>۱</sup> | فاطمه رحیمی اجدادی<sup>۲</sup> | ایرج باقری<sup>۳</sup><sup>۱</sup>. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. رایانامه: [arashmesrione@gmail.com](mailto:arashmesrione@gmail.com)<sup>۲</sup>. نویسنده مسئول، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. رایانامه: [rahimi\\_a@guilan.ac.ir](mailto:rahimi_a@guilan.ac.ir)<sup>۳</sup>. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. رایانامه: [irajbagheri@guilan.ac.ir](mailto:irajbagheri@guilan.ac.ir)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۵

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۳

## واژه‌های کلیدی:

سلولهای خودکار مارکوف،

طبقه‌بندی،

طول زبری،

لندست،

نیروگاه بادی

پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی، مشکلات زیست‌محیطی و تغییر اقلیم، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی باد را ضروری می‌سازد. چالش اصلی در توسعه انرژی بادی انتخاب محل مناسب برای نیروگاه است که زبری زمین نقش مهمی دارد. این پژوهش با هدف اولویت‌بندی مناطق مستعد از نظر زبری زمین با استفاده از سنجش از دور در گیاشهر انجام شد. نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی توسط الگوریتم SVM بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان‌دهنده تغییرات ۲۹۵۷/۶۶ هکتاری زمین‌های منطقه بود. برای تهیه نقشه زبری زمین از نقشه‌های پیش‌بینی شده توسط مدل سلول‌های خودکار مارکوف برای سال ۲۰۳۰ استفاده شد تا نتایج برای سال‌های آینده کاربردی باشد. نقشه شبیه‌سازی شده بر اساس اطلاعات طول زبری ویرینگا شبکه‌بندی شد تا نقشه‌های طول زبری و کلاس‌های زبری تولید شود. نتایج نشان داد ۸۴ سلول معادل ۱۳۶۳/۹۸ هکتار در دو کلاس اول و دوم دارای بهترین پتانسیل برای احداث نیروگاه بادی هستند. همچنین، نقشه‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰ نشان داد که بخش زیادی از منطقه دارای کاربری زراعی و بیشتر تحت کشت برنج است. این نواحی تنها در ۲ ماه از سال دارای طول زبری ۰/۲۵ متر بوده و در بقیه سال طول زبری‌های ۰/۱ متر (کلاس ۴) و ۰/۰۳ متر (کلاس ۳) را تجربه می‌کنند. در مجموع، با در نظر گرفتن طول زبری تا ۰/۲۵ متر، ۵۵۲ سلول معادل ۸۹۶۳/۳۶ هکتار برای احداث نیروگاه بادی مناسب تشخیص داده شد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به شناسایی مناطق مستعد احداث نیروگاه بادی و مدل‌سازی سرعت باد در نزدیکی هاب توربین‌های بادی کمک کند.

استناد: مصری؛ آرش، رحیمی اجدادی؛ فاطمه، باقری؛ ایرج، (۱۴۰۳) پهنه‌بندی زبری زمین با هدف تعیین مناطق مستعد نصب توربین بادی با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای-مطالعه موردی: شهرستان گیاشهر، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۵ (۱)، ۹۳-۱۱۲.

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.380477.665560>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.380477.665560>

## مقدمه

انرژی در حال حاضر یکی از با ارزش‌ترین عوامل در پیشرفت اقتصادی و تولید ثروت یک کشور محسوب می‌شود و یکی از موتورهای محرکه اصلی صنعت است (Carvalho et al., 2013). افزایش تقاضای انرژی در دهه‌های اخیر و نیاز به رفع شکاف بین تقاضا و عرضه انرژی از طریق تولید انرژی پایدار سبب شده تا دولت‌ها، سیاست‌های جدی را برای حمایت از سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر تعیین کنند (Ayodele & Ogunjuyigbe, 2015). ضرورت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر فقط از جهت نیازمندی به منابع انرژی پایدار نبوده، بلکه انرژی‌های نو در مقابل سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منابع پاک انرژی، سبب کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی شده و حداقل ضایعات ثانویه را تولید می‌کنند (Panwar et al., 2011). استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تامین انرژی، با ایجاد آلودگی هوا و تبعاتی چون گرمایش جهانی، باران‌های اسیدی و تغییر اقلیم تهدید جدی برای محیط‌زیست می‌باشد (IEA, 2015; Murthy & Rahi, 2017). متأسفانه در ایران به دلیل وجود منابع عظیم نفت و گاز همواره توجه کمتری به انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. براساس آمارهای موجود تا انتهای سال ۲۰۲۰، ایران با داشتن ۱۵۷/۸ میلیارد بشکه از لحاظ ذخایر نفت، بعد از کشورهای ونزوئلا، عربستان سعودی و کانادا در جایگاه چهارم قرار گرفته است. همچنین با توجه به ارزیابی منابع ذخیره گاز جهان ایران بعد از کشور روسیه با ۱۱۳۳/۶ تریلیون فوت مکعب در جایگاه دوم در بین ۹ کشور برتر دنیا قرار دارد (Dale, 2021). لزوم توجه به بحث انرژی در ایران از دو جنبه اهمیت بیشتری می‌یابد. از یک جنبه، دسترسی فراوان و قیمت کم حامل‌های انرژی در ایران سبب شده است تا سرانه مصرف انرژی بیش از میانگین جهانی شود. از طرف دیگر رشد جمعیت و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعتی، سبب بالا رفتن سرانه مصرف و تقاضای انرژی الکتریکی بیشتر از قبل شده است. این افزایش مصرف از طریق منابع فسیلی بوده که نتیجه آن افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای و مخاطرات محیط زیستی خواهد بود. طبق آخرین آمار در سال ۲۰۲۰، بزرگترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای در جهان به ترتیب شامل چین (10668 MtCO<sub>2</sub>), ایالات متحده (4713 MtCO<sub>2</sub>), هند (2442 MtCO<sub>2</sub>), روسیه (1577 MtCO<sub>2</sub>), ژاپن (1031 MtCO<sub>2</sub>), ایران (745 MtCO<sub>2</sub>), آلمان (644 MtCO<sub>2</sub>), عربستان سعودی (626 MtCO<sub>2</sub>), کره جنوبی (598 MtCO<sub>2</sub>) و اندونزی (590 MtCO<sub>2</sub>) می‌باشند (Tiseo, 2021). ایران با داشتن سهم ۲/۱۴ درصدی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در رتبه ششم از این رده‌بندی قرار دارد.

با توجه به مطالب گفته شده اولویت اصلی در توسعه انرژی‌های نو در ایران را می‌توان به مباحث زیست‌محیطی و کاهش گازهای گلخانه‌ای مربوط دانست. از بین منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، باد به سبب هزینه رقابتی آن نسبت به سایر روش‌های مرسوم تولید انرژی، فناوری بالغ، قابلیت اطمینان بالا و در دسترس بودن منابع باد در همه جای جهان، مورد توجه بیشتری قرار دارد (Ayodele & Ogunjuyigbe, 2016). سهم ایران از مجموع انواع انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۲۹۲۲ مگاوات است و سهم انرژی بادی از این مقدار برابر ۳۰۳ مگاوات می‌باشد (IRENA, 2021). در مجموع سهم ایران در تولید الکتریسیته از انرژی باد در جهان، تنها ۰/۰۴ درصد است. این در حالی است که بر اساس اهداف بلند مدت تعیین شده در سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه صنعت باد ایران، لازم است سهم نیروگاه‌های بادی حداقل به ۲۴/۵ گیگاوات تا سال ۲۰۲۵ افزایش یابد. همچنین، بر اساس اهداف کوتاه مدت همین سند باید حداقل ۲۰۰۰ مگاوات توربین بادی تولید، بومی شده و نصب شود. انتخاب محل مناسب همواره یکی از چالش‌های مهم و قدم اول برای هر گونه تصمیم‌گیری در احداث یک نیروگاه بادی می‌باشد. چنین انتخابی برآیند مطالعه و ارزیابی دقیق پارامترهای مختلف اقلیمی، جغرافیایی، زیست‌محیطی و اجتماعی - اقتصادی بوده و این عوامل به‌شدت بر روی بازدهی سرمایه‌گذاری در آن تاثیرگذار می‌باشند. برای مثال، برخی از پارامترهای اجتماعی موثر، تاثیرات بصری بر روی منظره، ایجاد صدا و تداخلات الکترومغناطیس می‌باشند و تاثیر بر روی حیات وحش منطقه را می‌توان از جمله پارامترهای زیست محیطی موثر دانست (Baban & Parry, 2001; Baležentis & Zeng, 2013; Gorsevski et al., 2013; Guo et al., 2020). در این بین یکی از پارامترهای اصلی، سرعت باد در منطقه است که ارتباط مستقیم با توان مستخرج از یک توربین بادی و به عبارتی پتانسیل سنجی ایجاد سایت را دارد. سرعت باد متاثر از دو فاکتور می‌باشد: یکی فاکتورهای محیطی مانند توپوگرافی محلی، آب و هوا و محصولات کشاورزی و دیگری فاکتورهای مصنوعی که شامل سازه‌های دست ساز، موانع دائمی و موقت مانند ساختمان‌ها، خانه‌ها و فنس‌ها می‌باشند (Bañuelos-Ruedas et al., 2010). ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و فاکتورهای مصنوعی با پارامتری تحت عنوان طول زبری آزمین معرفی می‌شود که به شدت بر روی سرعت باد تاثیرگذار است و می‌توان آن را جزو مقدم‌ترین

1 Metric tons of carbon dioxide equivalent

2 Roughness length

فاکتورهای یادشده نام برد (Nayyar & Ali, 2020). علاوه بر این، طول زبری پارامتری ضروری برای ارزیابی جریان باد و پروفیل سرعت متوسط باد<sup>۲</sup> در ارتفاعات مختلف می باشد (Lukač et al., 2017). زیرا به طور معمول داده‌های اندازه‌گیری شده سرعت باد توسط ایستگاه‌های هواشناسی تامین می‌شود که مربوط به ارتفاع‌های عمدتاً تا ۱۰ متری از سطح زمین می‌باشند و کمبود اطلاعات برای ارتفاعات بالاتر در ارزیابی منابع باد وجود دارد (Liu et al., 2018). برای مدل‌سازی این داده‌ها و به‌دست آوردن داده‌های سرعت باد در ارتفاعات بین ۵۰-۱۲۰ متر، جایی که معمولاً هاب<sup>۳</sup> توربین‌های بادی قرار دارد (Murthy & Rahi, 2017)، از روش‌های مختلفی از جمله روش مونین-اوبوخوف<sup>۴</sup> و قانون پروفیل لگاریتمی باد<sup>۵</sup> استفاده می‌شود (Bañuelos-Ruedas et al., 2010). در تمامی این روش‌ها برای محاسبه سرعت باد نیاز به پارامتر طول زبری می باشد.

بر همین اساس، در برنامه WASP<sup>۶</sup> که به‌طور معمول برای پیش‌بینی منابع بادی استفاده می‌شود (Đurišić & Mikulović, 2012)، برای ارتفاعات بالاتر نیاز به برون‌یابی سرعت باد می‌باشد که لازمه آن نیز ایجاد نقشه زبری سطح می باشد (Mortensen et al., 2008). همچنین داده‌های زبری برای یک سایت بادی معین اغلب به‌صورت یک گل رز زبری<sup>۷</sup> ایجاد می‌شود و به این ترتیب مشخص می‌شود که چگونه سرعت باد در هر بخش به‌دلیل ناهمواری‌های مختلف زمین تغییر می‌کند (Danish Wind Industry Association, 2003). تمامی موارد گفته شده اهمیت زبری زمین را در ارزیابی منابع بادی آشکار می‌سازد و بنابراین تعیین طول زبری زمین جزو گام‌های اول تعیین مناسب بودن منطقه برای احداث یک سایت انرژی بادی می باشد. یک روش مرسوم برای تعیین طول زبری زمین، استفاده از نوع پوشش زمین است. در منابع علمی، پوشش‌های مختلف زمین از جهت تاثیرگذاری بر سرعت باد به طبقه‌های مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. برای مثال آب دارای طول زبری ۰/۰۰۰۲ متر و شهرهای خیلی بزرگ با ساختمان‌ها و برج‌های بلند دارای طول زبری بزرگ‌تر از ۲ متر هستند (Jon Wieringa, 1992). به این معنی که آب تقریباً اثری بر کاهش سرعت باد نداشته و در عوض برج‌های بلند مانع بزرگی در مقابل سرعت باد می‌باشند.

تعیین نوع پوشش زمین به‌طور معمول از طریق بررسی میدانی انجام می‌شود. یکی از روش‌های مقرون به‌صرفه در تعیین زبری زمین به‌خصوص برای مناطق وسیع که می‌توان از آن به‌عنوان جایگزین مناسبی برای روش‌های معمول میدانی استفاده کرد، به‌کارگیری فناوری سنجش از دور می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان نقشه‌های پوشش زمین را تهیه کرد و با تلفیق این نقشه‌ها با کلاس‌های زبری مربوط به هر نوع پوشش، تخمین مناسبی از رتبه‌بندی زبری منطقه به‌دست آورد. با توجه به مطالب گفته شده هدف این مقاله بررسی و اولویت‌بندی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه‌های بادی با توجه به پارامتر زبری زمین در منطقه کیش است. این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به‌منظور پیش‌بینی شرایط زبری زمین تا سال ۲۰۳۰، به دنبال شناسایی بهترین مناطق برای توسعه انرژی بادی است. نتایج این مطالعه می‌تواند به انتخاب بهینه محل نیروگاه‌های بادی کمک کند و نقش مهمی در بهره‌برداری بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر داشته باشد. هدف کلی از مطالعه حاضر انتخاب مناطق مناسب و اولویت‌سنجی آنها در احداث سایت انرژی بادی می‌باشد. در این مطالعه به این نکته توجه شد که در رتبه‌بندی زمین برای انتخاب مناطق مساعد احداث سایت، بویژه در مناطقی که دارای سابقه تغییرات اراضی شدید می باشند، عامل زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این در حالی است که در منطقه مورد مطالعه که جزو مناطق ساحلی و خوش آب و هوای شمال ایران می باشند، در طی دو دهه گذشته به دلایل مختلف از جمله تغییر اقلیم و دلایل اجتماعی-اقتصادی تغییرات کاربری شتابی صورت گرفته است و متأسفانه این روند همچنان ادامه دارد. بنابراین با در نظر گرفتن فاکتور تغییرپذیری زبری با زمان، در گام اول، تغییرات زمین در دو دهه گذشته مدل‌سازی شده و سپس با استفاده از مدل به‌دست آمده، تغییرات پوشش زمین در ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شد. در نهایت از نقشه پیش‌بینی شده برای تهیه نقشه زبری استفاده شد. لازم به ذکر است با شناسایی تغییرات کاربری‌های اراضی در گذشته و پیش‌بینی آن برای آینده برای برنامه‌ریزان این امکان ایجاد می‌شود تا در تصمیم‌گیری‌های خود تغییرات احتمالی را مدنظر قرار دهند. به این ترتیب می‌توان مناطق مستعد کنونی را شناسایی کرده و وضعیت آن در آینده را مورد بررسی قرار داد. همچنین مناطقی که ممکن است در آینده مستعد شناخته شوند شناسایی می‌شوند و از این طریق تصمیمات

---

1 Wind flow  
2 The profile of average wind speed  
3 Hub  
4 Monin-Obukhov (M-O)  
5 Logarithmic wind profile law  
6 Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)  
7 Roughness rose

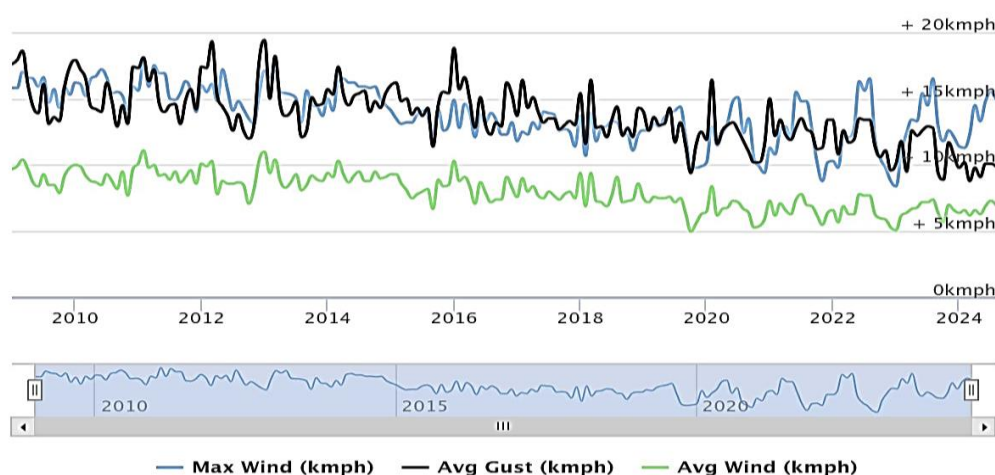
دقیق‌تری اخذ می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بندرکياشهر می‌باشد که یکی از شهرهای شمالی استان گیلان و از توابع شهرستان آستانه اشرفیه با وسعت حدود ۱۹۰ کیلومتر مربع است که در طول جغرافیایی ۴۹° ۵۳' ۴۱" تا ۵۰° ۱۱' ۰۹" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷° ۱۹' ۲۹" تا ۳۷° ۲۸' ۰۳" شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط کياشهر ۲۶ متر پایین‌تر از سطح دریای آزاد است و اطلاعات به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی آن در طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ نشان‌دهنده فصل‌های همیشه مرطوب در منطقه است. میانگین سالانه دما در منطقه ۱۶/۷۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه آن ۱۳۵۶/۳۸ میلی‌متر است. همچنین متوسط حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال یعنی تیر و مرداد، ۳۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دما در سردترین ماه سال یعنی دی و بهمن، ۰/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Naghinezhad et al., 2006). در شکل ۱ میانگین سرعت باد بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ داده شده است. طبق نمودار، سرعت باد بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ بین دو مقدار ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر بر ساعت نوسان می‌کند. مقادیر بیشینه تا ۱۸ کیلومتر بر ساعت نیز ثبت شده است. لازم به ذکر است اعداد داده شده متوسط سرعت باد در روز است و طبیعتاً در برخی از ساعت‌های روز این مقدار بیشتر خواهد بود (world weather online, 2024). در منابع مختلف، حداقل سرعت مورد نیاز برای گردش توربین‌های بادی کوچک مقیاس ۸ کیلومتر بر ساعت ذکر شده، در حالیکه عموماً سرعت شروع تولید الکتریسیته در ۱۲/۶ کیلومتر بر ساعت اتفاق می‌افتد<sup>۱</sup>.

با توجه به موارد ذکر شده، پتانسیل منطقه از نظر سرعت باد میانگین برای نصب توربین‌های محور افقی با مقیاس کوچک و متوسط مناسب می‌باشد. افزون بر این، از آنجا که منطقه مطالعاتی یکی از شهرستانهای ساحلی استان گیلان است، بادهای ساحلی به‌عنوان یکی از منابع باد محلی در اکثر ساعات شبانه‌روز در جریان می‌باشد. دلیل این امر آنست که وقتی خورشید به سطح زمین می‌تابد، زمین زودتر از دریا گرم می‌شود. در نتیجه هوای گرم خشکی، که سبکتر است به بالا حرکت کرده و هوای سرد سطح دریا به سمت خشکی حرکت می‌کند و جای آن را می‌گیرد. در روز باد از دریا به خشکی می‌وزد. اما در شب برعکس، خشکی حرارت را سریع‌تر از دست داده و نسبت به دریا خنک‌تر می‌شود و جریان باد از خشکی به طرف دریاست. بنابراین چه در شب و چه در روز وزش باد را خواهیم داشت. به‌عبارت دیگر، بخش شمالی منطقه که در نزدیکی دریا واقع شده است، به دلیل داشتن سرعت باد بالاتر نسبت به سایر بخش‌ها، پتانسیل بهتری برای احداث نیروگاه بادی خواهد بود. با توجه به مطالب ذکر شده، مطالعه حاضر با در نظر گرفتن وجود پتانسیل مناسب از نقطه نظر سرعت باد به بررسی پارامتر زبری زمین می‌پردازد.



شکل ۱. نقشه میانگین سرعت باد بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ (world weather online, 2024)

1 <https://www.worldweatheronline.com/kiashahr-weather-averages/gilan/ir.aspx>

2 Cut-in speed

3 <https://www.level.org.nz/energy/renewable-electricity-generation/wind-turbine-systems/>

## استخراج نقشه‌های کاربری اراضی

## داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و تصویر سال ۲۰۲۰ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مجموعه ۲ سطح یک<sup>۱</sup> برای استخراج نقشه‌های کاربری اراضی گیاه‌پوشی استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۲</sup> دریافت شدند. با توجه به اهمیت شناسایی مناسب پوشش اراضی زراعی در منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای در ماه‌های خرداد و تیر استفاده گردید. این تصاویر از لحاظ عدم پوشش ابر و بارندگی پیش از اخذ تصویر، دارای شرایط مناسبی هستند. جزئیات تصاویر اخذ شده در جدول ۱ داده شده است. همچنین در این پژوهش از نقشه‌های قدیمی کاربری اراضی تهیه شده در قالب شیپ‌فایل<sup>۳</sup> که در دهه‌ی ۱۳۸۰ از هر دو منطقه تهیه شده بود و نیز مدل رقومی ارتفاع به دست آمده از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ
TM	۳۴	۱۶۶	۲۰۰۰/۰۶/۰۶
TM	۳۴	۱۶۶	۲۰۱۰/۰۶/۰۲
OLI	۳۴	۱۶۶	۲۰۲۰/۰۶/۱۳

## پیش‌پردازش تصاویر

قبل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تصحیحات هندسی، رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر اولیه اعمال شدند. تصحیح رادیومتریک با استفاده از ابزار Radiometric Calibration در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام پذیرفت. تصحیح اتمسفری به منظور اصلاح خطاهای پخش و جذب اتمسفری امواج رسیده به سنجنده با استفاده از الگوریتم QUAC<sup>۴</sup> انجام شد. این الگوریتم یکی از الگوریتم‌های قدرتمند برای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و ابرطیفی می‌باشد. برای تصحیح اتمسفری تصاویر با استفاده از این الگوریتم، از داده‌های رادیانس شده به دست آمده از مرحله قبل استفاده شد. پس از انجام مراحل پیش پردازش تصاویر، اقدام به شناسایی انواع کاربری‌های منطقه با استفاده از تصاویر گوگل ارث، بازدید میدانی و مشورت با افراد آشنا به منطقه شد. بر این اساس ۶ کاربری موجود در منطقه شامل پهنه‌های ماسه‌ای، مناطق مسکونی، مناطق آبی، مرتع و علفزارها، اراضی زراعی و جنگل شناسایی شد و یک طبقه اضافی به عنوان سایر اراضی نیز در نظر گرفته شد.

## طبقه‌بندی تصاویر

فرآیند تولید انواع نقشه‌های موضوعی از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم‌ها و روش‌های مختلف یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور می‌باشد. فرآیندهای طبقه‌بندی در دو دسته معرفی می‌شوند: ۱- طبقه‌بندی نظارت‌شده ۲- طبقه‌بندی نظارت‌نشده. در طبقه‌بندی نظارت‌نشده کاربر هیچ آشنایی با منطقه مطالعاتی ندارد و نرم‌افزار به صورت خودکار کل منطقه را دسته‌بندی می‌کند و کاربر فقط می‌تواند مشخص کند که کل منطقه در چند طبقه و کلاس ارائه شود. به طور معمول از طبقه‌بندی نظارت‌نشده به منظور بررسی تفکیک‌پذیری طیفی پدیده‌های مختلف زمینی استفاده می‌شود. در طبقه‌بندی نظارت‌شده کاربر از منطقه مطالعاتی و پدیده‌های موجود در آن شناخت قبلی دارد و مناطقی را به عنوان نمونه‌های تعلیمی مشخص می‌کند. در این پژوهش جهت شناسایی و آشکارسازی پدیده‌ها با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. روش ماشین بردار پشتیبان یک روش آماری غیرپارامتریک نظارت‌شده است که جهت طبقه‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از همه‌ی باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، برای به دست آوردن نمونه‌هایی که مرز کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند، استفاده می‌شود. سپس با استفاده از آن‌ها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه، برای جداسازی کلاس‌ها محاسبه می‌شود. به این نمونه‌ها بردارهای پشتیبان می‌گویند. برای ارزیابی دقت مدل از پارامترهای صحت کلی و ضریب کاپا استفاده شد.

1 Collection 2 - Level 1

2 United States Geological Survey (USGS)

3 Shape File

4. QUick Atmospheric Correction (QUAC)

### مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات

با توجه به خاصیت پویایی تغییرات کاربری زمین بویژه در منطقه مورد مطالعه تصمیم بر این شد که به جای استفاده از نقشه‌های کاربری فعلی از نقشه پیش‌بینی شده در سال ۲۰۳۰ استفاده شد. به عبارت دیگر بدلیل تغییرات کاربری با زمان و نیز فاصله زمانی مطالعات امکان‌سنجی جهت تصمیم‌گیری برای احداث یک نیروگاه تا زمان کامل شدن پروژه از نقشه‌های شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۳۰ استفاده شد.

### مدل‌سازی با استفاده از CA-Markov

جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، از مدل زنجیره‌ای مارکوف برای تعیین احتمال تغییر هر طبقه کاربری اراضی به سایر طبقات و یا عدم تغییر طبقات استفاده شد. مدل‌های مارکوف برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین مزایای زیادی دارند، از جمله پیش‌بینی کارآمد تغییرات بر اساس الگوهای گذشته، سادگی و کارایی در اجرا و کاربرد مناسب برای تحلیل‌های بلندمدت. با این حال، محدودیت‌هایی نیز دارند؛ از جمله عدم توانایی در نظر گرفتن تأثیرات محیطی و اقتصادی و دقت کم در مقیاس‌های محلی که ممکن است دقت شبیه‌سازی را کاهش دهد. برای بهبود دقت مدل، ممکن است نیاز به ترکیب این مدل با داده‌های محیطی دقیق‌تر و یا مدل‌های دیگر باشد. از آنجا که مدل‌های زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار هر کدام به تنهایی دارای محدودیت‌هایی هستند، تلفیق این دو مدل به‌عنوان روشی مناسب در مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Li & Reynolds, 1997). در مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف، زنجیره مارکوف تغییرات زمانی میان کلاس‌های کاربری اراضی را به احتمالات تبدیل می‌کند و تغییرات مکانی میان کلاس‌های کاربری اراضی به‌وسیله قوانین تعیین‌شده توسط سلول‌های خودکار مشخص و کنترل می‌شوند (Eastman, 2003). به این ترتیب که ابتدا زنجیره مارکوف محاسبه احتمالات تبدیل را انجام می‌دهد و سپس براساس عملکرد مکانی سلول‌های خودکار، شبیه‌سازی و مدل‌سازی کاربری اراضی در آینده انجام می‌شود. به این منظور از ابزار Markov در نرم‌افزار ادیسی استفاده شد. برای تعیین احتمال تغییر با استفاده از این مدل نیاز به دو نقشه کاربری اراضی است که اولین نقشه به‌عنوان نقشه زمان t (سال ۲۰۰۰) و نقشه دوم به‌عنوان نقشه زمان t+1 (سال ۲۰۱۰) به مدل معرفی شدند و ماتریس احتمالات انتقال و ماتریس مساحت‌های انتقال برای زمان t+2 (سال ۲۰۲۰) محاسبه گردید. در ادامه از مدل CA-Markov برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ استفاده شد. در این مدل نقشه کاربری‌های اراضی سال ۲۰۱۰، ماتریس مساحت‌های انتقال به‌دست‌آمده از مرحله قبل و نقشه‌های تناسب مکانی کاربری‌های زمین به مدل وارد شدند و نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ تولید شد. ارزیابی نتایج حاصل از مدل CA-Markov در سال ۲۰۲۰ توسط مقایسه آن با نقشه واقعیت زمینی تهیه‌شده در همین سال انجام شد. در ادامه و به‌منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰، از مدل زنجیره‌ای مارکوف بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شد تا ماتریس مساحت‌های انتقال حاصل شود. از نقشه سال ۲۰۲۰ به‌عنوان نقشه پایه، ماتریس مساحت‌های انتقال سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و نقشه تناسب به‌دست‌آمده در مرحله قبل استفاده شد تا نقشه سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل CA-Markov پیش‌بینی شود.

### زبری زمین

در ارتفاع‌های پایین‌تر سرعت باد تحت تاثیر اصطکاک روی سطح زمین قرار می‌گیرد. به‌طور کلی هر چقدر زبری سطح زمین بیشتر باشد، سرعت باد کمتر می‌شود. جنگل‌ها و شهرهای بزرگ به‌طور قابل توجهی سرعت باد را کاهش می‌دهند. در حالی که باندهای بتنی فرودگاه‌ها فقط کمی سرعت باد را کاهش می‌دهند. سطوح آب حتی صاف‌تر از باندهای بتنی فرودگاه‌ها هستند و تاثیر کمتری بر باد خواهند داشت. زبری سطح زمین به‌طور مداوم به‌عنوان یک مانع حرکتی برای جریان هوایی عمل می‌کند. برای توصیف، مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار باد و تلاطم آن در همه مقیاس‌ها، آگاهی صحیح از قدرت این مانع حرکتی ضروری است. در مقیاس محلی، اگر بخواهیم سرعت باد در مکان نزدیک یا در ارتفاع متفاوت از موقعیت بادسنج را بدانیم، همیشه به اطلاعاتی در مورد زبری زمین نیاز داریم (J Wieringa & Van der Veer, 1976). اصطلاح طول زبری در واقع فاصله‌ای از سطح زمین است که در آن سرعت باد از نظر تئوری باید صفر باشد. برطبق نظریه شباهت مونین-ابوخوف، یک رابطه لگاریتمی بین سرعت باد (در جهت افقی) و ارتفاع اندازه‌گیری شده وجود دارد که طبق رابطه ۱ ارائه می‌شود (Zhang et al., 2017).

$$U_z = (u_* / k) \ln((z - d_0) / z_0) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه  $u_*$  سرعت اصطکاک حاصل از اندازه‌گیری نیمرخ باد (متر بر ثانیه)،  $k$  ثابت فون کارمن<sup>۱</sup> (معمولاً ۰/۴ تنظیم می‌شود)،



$U_z$  میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) در ارتفاع  $Z$  (متر)،  $d_0$  ارتفاع جابه‌جایی صفر (متر) و  $Z_0$  طول زبری است (متر). بر این اساس می‌توان طول زبری را طبق رابطه بالا و با اندازه‌گیری سرعت اصطکاکی و میانگین سرعت باد (در ارتفاع مشخص)، در یک مکان معین و نسبتاً صاف به‌دست آورد (در محاسبه زبری سطح، ارتفاع جابه‌جایی را می‌توان نادیده گرفت). همچنین طول زبری را می‌توان توسط رابطه تجربی و ساده‌ای که توسط لتائو (Lettau, 1969) ارائه شده است به‌دست‌آورد.

$$Z_0 = 0.5 h (S/A_H) \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه  $h$  ارتفاع امان و  $S$  سطح مقطع عمودی رو به باد است. علاوه‌بر این برای امان‌های زبری که به‌طور مساوی در یک منطقه قرار دارند، تراکم را می‌توان با میانگین سطح افقی ( $A_H$ ) موجود برای هر امان توصیف کرد. طول زبری برای هر یک از انواع مختلف مناطق متفاوت است. ویرینگا (Jon Wieringa, 1992) طول زبری را با توجه به چهار دسته اصلی و براساس کلاس‌های طول زبری که داونپورت تعریف کرده بود، استخراج کرد (جدول ۲). در این پژوهش از کلاس‌های تعریف شده توسط ویرینگا (۱۹۹۲) استفاده شد.

جدول ۲. کلاس‌های زبری داونپورت تجدیدنظر شده به‌وسیله ویرینگا (Jon Wieringa, 1992)

کلاس	نوع سطح	توصیف منظره	طول زبری (متر)
۱	بسیار صاف (دریا)	دریا یا دریاچه (صرف نظر از اندازه موج)، جزر و مد، دشت مسطح پوشیده از برف، بیابان صاف و بدون ناهمواری، آسفالت و بتن بدون مانع تا چندین کیلومتر	۰/۰۰۰۲
۲	صاف	سطح زمین بدون هیچ‌گونه موانع قابل توجه و با پوشش گیاهی ناچیز (به‌عنوان مثال؛ سواحل، تکه یخ بدون برجستگی بزرگ، مرداب و مناطق پوشیده از برف یا مناطق باز)	۰/۰۰۵
۳	باز	زمین با پوشش گیاهی کم (به‌عنوان مثال علف) و موانع تنها با فاصله ۵۰ برابر ارتفاع خود از یکدیگر (به‌عنوان مثال؛ زمین چرای حیوانات بدون بادگیر، زمین پرخس و خار، دشت و توندرا و باند فرودگاه‌ها)	۰/۰۳
۴	تقریباً باز	مناطق زراعی با پوشش کم و منظم محصولات، زمین نسبتاً باز با موانع پراکنده (به‌عنوان مثال پرچین‌های اندک، یک ردیف از درختان، مزارع تنها) با فاصله افقی حداقل ۲۰ برابر ارتفاع مانع	۰/۱
۵	زبر (ناهموار)	مناطق توسعه‌یافته (جدید) با محصولات زراعی زیاد یا محصولاتی با ارتفاع متفاوت و موانع پراکنده (به‌عنوان مثال مزارعی با بادگیرهایی از نوع درختان و درختچه‌ها، تاکستان‌ها) در فواصل نسبی حدود ۱۵ برابر ارتفاع موانع	۰/۲۵
۶	بسیار زبر	مناطق کشت شده (قدیمی) با دسته‌ای از موانع نسبتاً بزرگ (مزارع بزرگ، توده‌های جنگلی) که توسط فضاهای بازی در حدود ۱۰ برابر ارتفاع موانع از هم جدا شده‌اند. همچنین پوشش گیاهی کم ارتفاع با فاصله‌های کم، مانند بوته‌زار، باغات، جنگل‌های متراکم	۰/۵
۷	بسته	چشم‌اندازی که به‌طور کاملاً منظم با موانع بزرگ و مشابه پوشانده شده است که فواصل بین موانع به اندازه ارتفاع موانع می‌باشد (برای مثال جنگل‌هایی منظم با درختان بالغ، شهرها یا روستاهای همگن و یکدست).	۱
۸	آشفته (پر هرج و مرج)	مراکز شهرهای بزرگ با ترکیبی از ساختمان‌های کم ارتفاع و بلند. همچنین جنگل‌های بزرگ نامنظم با فضاهای خالی زیاد (مناطق باز که در آن برای مثال چمن رشد کرده است) بین جنگل.	۲ >

بر این اساس، مقادیر طول زبری برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی مطابق جدول ۳ تعیین شد. با توجه به اینکه پدیده‌های موجود در کلاس سایر اراضی شامل مرداب، استخر، زمین صاف و غیره است، طول زبری ۰/۰۰۵ برای آن در نظر گرفته شد.



جدول ۳. طول زبری تعیین شده برای کلاسه‌های مختلف کاربری در کیشهر

کلاس‌ها	طول زبری (متر)
مناطق مسکونی	۱
جنگل	۱
مناطق زراعی	۰/۲۵
مرتع و علفزارها	۰/۰۳
پهنه‌های ماسه‌ای	۰/۰۰۵
سایر اراضی*	۰/۰۰۵
مناطق آبی	۰/۰۰۰۲

\* شامل مرداب، استخر و زمین صاف

### ایجاد شبکه‌های شش ضلعی

در تحقیق حاضر، محدوده‌های مطالعاتی به شبکه‌هایی با سلول‌های شش ضلعی تقسیم شد. به این منظور از جعبه‌ابزار Tessellation برای ساخت این شبکه‌ها بهره برده شد. سلول‌بندی بر روی نقشه پیش‌بینی شده حاصل از اجرای مدل CA-Markov در سال ۲۰۳۰ انجام شد و طول هر ضلع شش ضلعی ۲۵۰ متر تعیین شد. صحت شبکه‌های ایجاد شده با اندازه‌گیری طول ضلع ۲۰ عدد شش ضلعی که به‌طور تصادفی انتخاب شدند بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که طول هر ضلع شش ضلعی و طول مربوط به شش ضلعی که در همسایگی قرار دارد یکسان است.

جهت تهیه نقشه‌های زبری ابتدا از ابزار Tabulate Area برای تعیین تعداد پیکسل‌های هر کلاس کاربری اراضی در هر سلول شش ضلعی استفاده شد. در ادامه برای تعیین زبری هر سلول از میانگین وزنی کلاس‌ها طبق رابطه ۳ استفاده شد.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه  $\bar{x}$  طول زبری محاسبه شده برای شش ضلعی،  $n$  تعداد کلاس‌های موجود در شش ضلعی،  $w_i$  تعداد پیکسل‌های کلاس  $i$  در شش ضلعی و  $X_i$  طول زبری کلاس  $i$  است. پس از محاسبه طول زبری هر سلول شش ضلعی نقشه‌های زبری زمین تهیه شدند.

### نتایج و بحث

#### نتایج حاصل از نقشه‌های کاربری اراضی ایجاد شده به وسیله روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده

تصاویر طبقه‌بندی شده کاربری اراضی به وسیله روش ماشین بردار پشتیبان در کیشهر در شکل ۲ نشان داده شده است.

#### ارزیابی دقت نقشه‌های تولید شده

در جدول ۴ نتایج حاصل از ارزیابی دقت، برای نقشه‌های تولید شده توسط الگوریتم ماشین بردار پشتیبان داده شده است. نتایج حاکی از دقت خوب طبقه‌بندی در هر سه سال می باشد. با این وجود، احتمال بروز خطاهایی به دلیل کیفیت داده‌های ورودی، تنوع کاربری اراضی و تنظیمات الگوریتم وجود دارد. برای کاهش این خطاها، می‌توان از داده‌های با کیفیت‌تر و بهبود تنظیمات الگوریتم استفاده کرد.

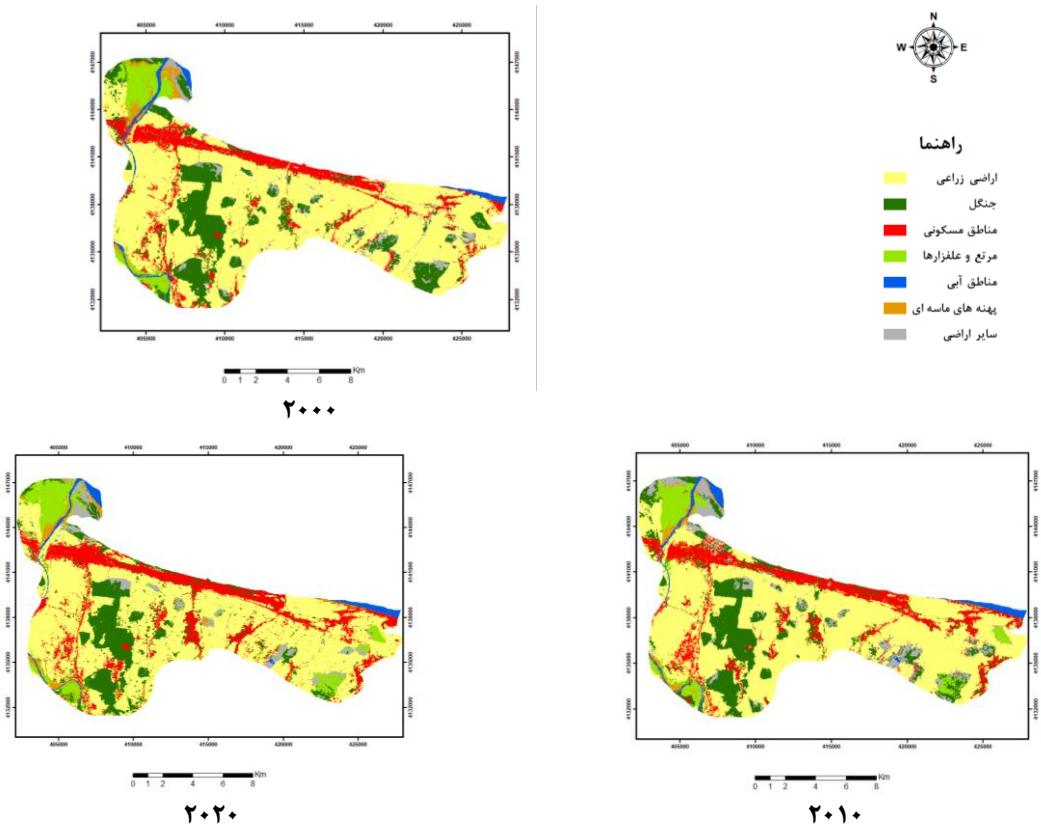
جدول ۴. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی

سال بررسی	شاخص ارزیابی	
	ضریب کاپا	صحت کلی (%)
۲۰۰۰	۰/۸۹۲۴	۹۰/۹۰
۲۰۱۰	۰/۹۱۱۱	۹۲/۵۲
۲۰۲۰	۰/۹۲۳۰	۹۳/۶۳

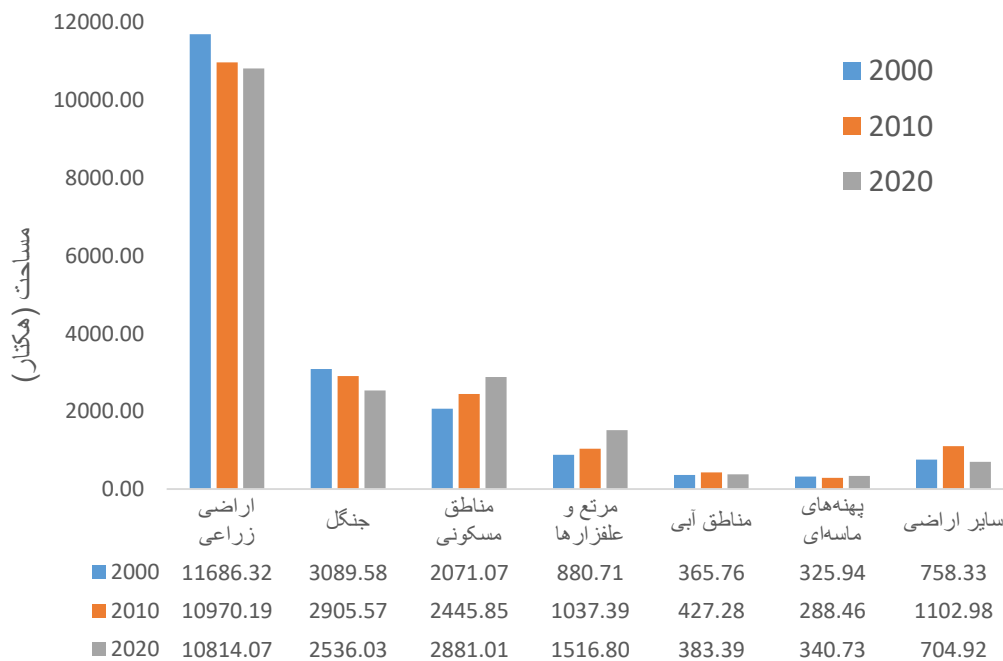
### آشکارسازی تغییرات

مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ در کیشهر در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به نمودار، اراضی زراعی بیشترین مساحت را نسبت به سایر کاربری‌ها در هر سه سال مورد مطالعه دارد. همچنین کلاس جنگل در سال ۲۰۰۰ با مساحت ۳۰۸۹/۵۸ هکتار پس از اراضی زراعی بیشترین مساحت را در کیشهر داشت ولی به دلیل قطع بی‌رویه درختان، افزایش جمعیت و

رشد ساخت و سازهای مسکونی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مساحت آن کاهش پیدا کرده است، به طوری که در سال ۲۰۲۰ مناطق مسکونی در جایگاه دوم پس از اراضی زراعی قرار می‌گیرد.

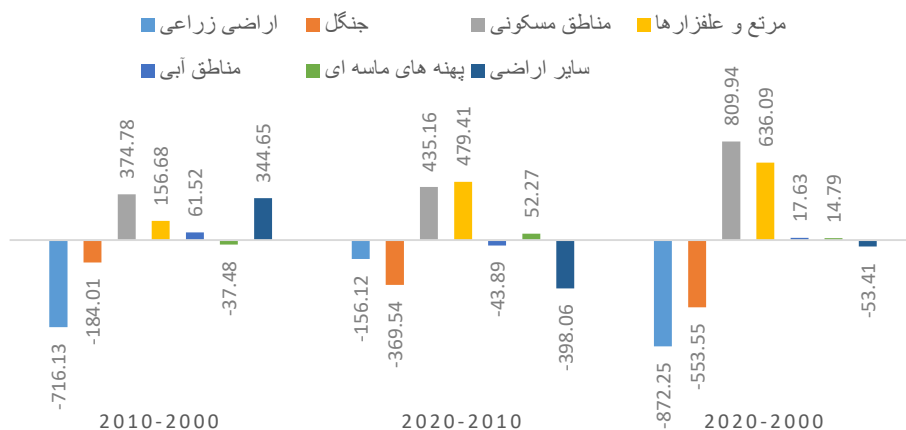


شکل ۲. تصاویر طبقه‌بندی شده کاربری اراضی با طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. مساحت هر یک از کاربری‌ها طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ در منطقه کیشهر

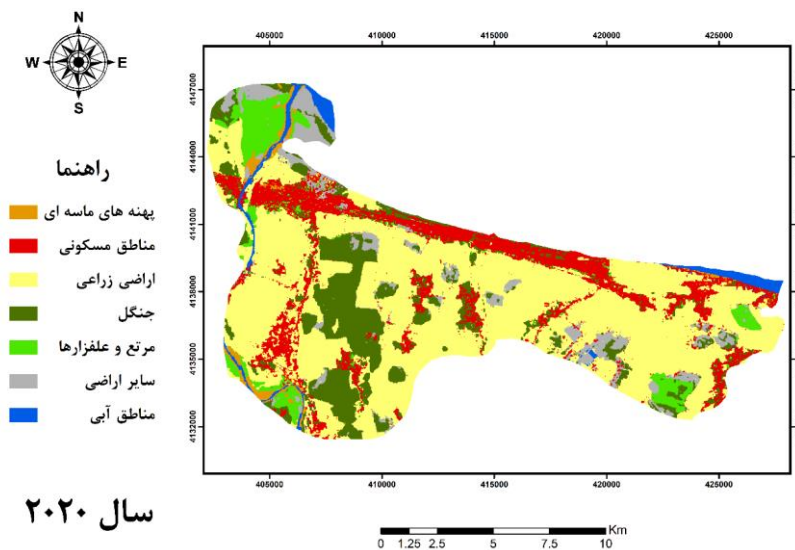
در شکل ۴ تغییرات خالص هر یک از کاربری‌ها در بخش کیشهر طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده است. مساحت اراضی زراعی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با کاهش ۶/۱۲ درصدی همراه بوده است. همچنین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی اراضی زراعی با شدت کمتری ادامه داشته است، به طوری که این کاهش به مقدار ۱/۴۲ درصد بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ رسیده است. در مجموع در این بیست سال مساحت اراضی زراعی ۸۷۲/۲۵ هکتار معادل ۷/۴۶ درصد نزول داشته است. بیشتر تغییراتی که در این بیست سال در اراضی زراعی رخ داده است مربوط به تبدیل شدن ۶۴۱ هکتار از این کاربری به مناطق مسکونی، ۱۸۲ هکتار به مرتع و علفزارها و ۱۶۷ هکتار به جنگل‌ها می‌باشد. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مساحت جنگل‌ها ۵/۹۵ درصد کاهش یافته است، اما طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی این کاربری نسبت به ده سال قبل، دو برابر شده و به ۱۲/۷۱- درصد رسیده است. در مجموع در این بیست سال مساحت جنگل‌ها ۵۵۳/۵۵ هکتار معادل ۱۷/۹۱ درصد کاهش یافته است. مناطق مسکونی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ رشدی بالغ بر ۱۸/۰۹ درصد داشتند. روند رو به رشد مناطق مسکونی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ ادامه یافته است، به طوری که ۱۷/۷۹ درصد بر مساحت این کاربری افزوده شده است. در مجموع در مدت بیست سال ۸۰۹/۹۴ هکتار معادل ۳۹/۱۰ درصد بر مساحت مناطق مسکونی در بخش کیشهر افزوده شده است. مساحت کلاس مرتع و علفزارها بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با افزایش ۱۷/۷۹ درصدی همراه بوده است. همچنین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ روند افزایشی این کاربری نسبت به ده سال قبل، بیشتر از دو برابر شده و به ۴۶/۲۱ درصد رسیده است. در مجموع در مدت زمان بیست سال کاربری مرتع و علفزارها ۶۳۶/۰۹ هکتار معادل ۷۲/۲۲ درصد رشد داشته است. کلاس مناطق آبی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با رشد ۱۶/۸۲ درصدی همراه بوده است ولی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به مقدار ۱۰/۲۷ درصد کاهش داشته است. در مجموع در این بیست سال ۱۷/۶۳ هکتار معادل ۴/۸۲ درصد رشد داشته است. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ پهنه‌های ماسه‌ای با کاهش ۱۱/۵۰ درصدی روبه‌رو بوده‌اند، ولی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ پهنه‌های ماسه‌ای ۱۸/۱۲ درصد رشد کردند. در مجموع در این مدت زمان بیست ساله، مساحت پهنه‌های ماسه‌ای ۱۴/۷۹ هکتار معادل ۴/۵۳ درصد افزایش یافته است. کیشهر طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ دچار تغییراتی به مساحت ۱۸۷۵/۲۵ هکتار شده است و این تغییرات در ده ساله دوم یعنی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ شدت یافته است، به طوری که در این مدت ۱۹۳۴/۴۵ هکتار از اراضی دچار تغییر شده‌اند. در مجموع در این بیست سال ۲۹۵۷/۶۶ هکتار تغییرات کاربری اراضی در بخش کیشهر صورت گرفته است.



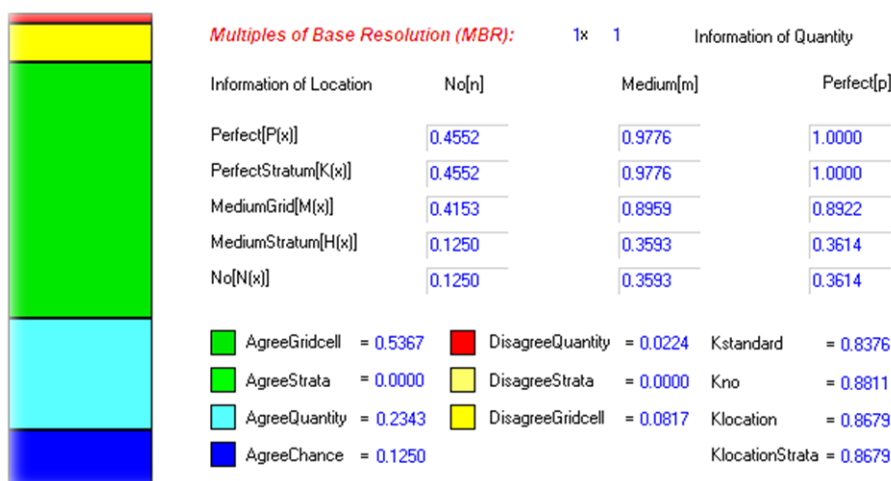
شکل ۴. تغییرات خالص کاربری‌های اراضی بخش کیشهر طی دوره‌های مورد مطالعه برحسب هکتار

#### شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی بخش کیشهر با استفاده از مدل CA-Markov در سال ۲۰۲۰

در شکل ۵ نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری‌های اراضی بخش کیشهر در سال ۲۰۲۰ آورده شده است. در ادامه جهت ارزیابی شبیه‌سازی صورت‌گرفته از ابزار Validate در نرم‌افزار ادریسی استفاده شد. در این ابزار نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۲۰ به‌عنوان نقشه مرجع و نقشه پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۲۰ به‌عنوان نقشه مقایسه معرفی شدند. نتایج ارزیابی حاصل از شبیه‌سازی در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۵. نقشه پیش‌بینی‌شده بخش گیاشهر در سال ۲۰۲۰ حاصل از اجرای مدل CA-Markov



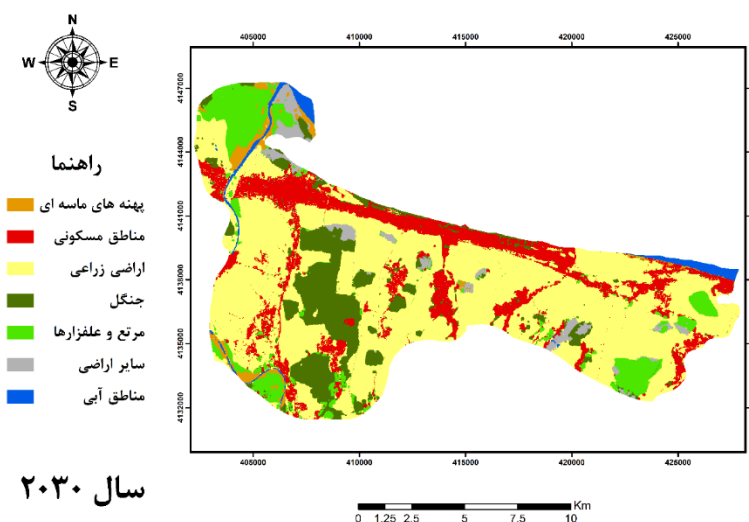
شکل ۶. توافق و عدم توافق بین نقشه واقعی سال ۲۰۲۰ با نقشه حاصل از شبیه‌سازی در سال ۲۰۲۰

براساس شکل ۶ استنباط می‌شود که توافق بین نقشه واقعی و پیش‌بینی‌شده  $[M(m)]$  برابر  $0.8959$  است، عدم توافق بین دو نقشه نیز باتوجه به رابطه  $1 - [M(m)]$  برابر با  $0.1041$  است، توافق ناشی از شانس  $[N(n)]$  که بدون داشتن هیچ اطلاعاتی از موقعیت و کمیت به‌دست می‌آید، برابر  $0.1250$  است، رابطه  $[N(m)] - [N(n)]$  که نشان‌دهنده توافق ناشی از کمیت (تعداد سلول‌ها برای هر کلاس در هر دو نقشه) است برابر  $0.2343$  است، عدم توافق ناشی از کمیت نیز براساس فرمول  $[P(p)] - [P(m)]$  به‌دست می‌آید که برابر  $0.0224$  است و توافق و عدم توافق مکانی (مکان کلاس‌ها در دو نقشه واقعی و پیش‌بینی‌شده) به‌ترتیب  $0.8376$  و  $0.1624$  برآورد شد. شاخص  $Kstandard$  که همان کاپای کلی در مقایسه دو نقشه با ابزار Crosstab است، برابر  $0.8376$  بود. همچنین شاخص  $Klocation$  که توانایی مدل در پیش‌بینی مکان پیکسل‌ها را نشان می‌دهد، برابر  $0.8679$  می‌باشد. نتایج ذکر شده نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند به‌طور قابل اعتمادی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در آینده استفاده شود.

#### شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی بخش گیاشهر با استفاده از مدل CA-Markov در سال ۲۰۳۰

پس از ایجاد نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۲۰ با مدل CA-Markov و ارزیابی صحت آن، شبیه‌سازی نقشه سال ۲۰۳۰ انجام شد. به این منظور ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به مدل Markov وارد شدند تا ماتریس احتمالات انتقال و ماتریس مساحت‌های انتقال برای سال ۲۰۳۰ محاسبه شود. در ادامه از مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰

استفاده شد. در این مدل نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰، ماتریس مساحت‌های انتقال به‌دست‌آمده طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و نقشه‌های تناسب مکانی به‌عنوان متغیرهای ورودی وارد شدند تا نقشه کاربری‌های اراضی برای سال ۲۰۳۰ شبیه‌سازی شود. در شکل ۷ نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری‌های اراضی بخش گیاشهر در سال ۲۰۳۰ آورده شده است. همچنین در جدول ۵ مساحت و درصد کاربری‌های اراضی در نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۲۰ و نقشه‌های پیش‌بینی‌شده حاصل از اجرای مدل CA-Markov در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ آورده شده است.



سال ۲۰۳۰

شکل ۷. نقشه پیش‌بینی‌شده بخش گیاشهر در سال ۲۰۳۰ حاصل از اجرای مدل CA-Markov

جدول ۵. مساحت کاربری‌های اراضی در نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۲۰ و نقشه‌های پیش‌بینی‌شده حاصل از CA-Markov در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰

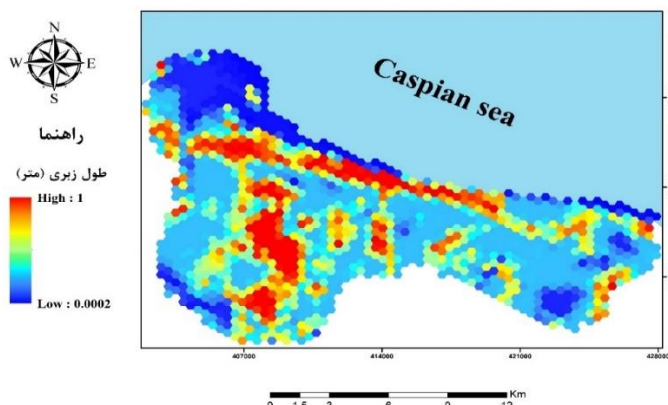
کلاس‌ها	نقشه طبقه‌بندی‌شده ۲۰۲۰		نقشه پیش‌بینی‌شده ۲۰۲۰		نقشه پیش‌بینی‌شده ۲۰۳۰	
	مساحت (ha)	درصد	مساحت (ha)	درصد	مساحت (ha)	درصد
اراضی زراعی	۱۰۸۱۴/۰۷	۵۶/۳۹	۱۰۴۶۵/۴۹	۵۴/۶۳	۱۰۶۶۶/۸۹	۵۵/۶۹
جنگل	۲۵۳۶/۰۳	۱۳/۲۲	۲۸۵۲/۱۶	۱۴/۸۹	۲۲۶۶/۱۷	۱۱/۸۳
مناطق مسکونی	۲۸۸۱/۰۱	۱۵/۰۲	۲۷۲۳/۸۷	۱۴/۲۲	۳۱۴۰/۴۳	۱۶/۴۰
مرتع و علفزارها	۱۵۱۶/۸۰	۷/۹۱	۱۱۳۳/۸۶	۵/۹۲	۱۷۸۶/۰۷	۹/۳۲
مناطق آبی	۳۸۳/۳۹	۲	۴۷۸/۲۱	۲/۵۰	۳۵۶/۶۰	۱/۸۶
پهنه‌های ماسه‌ای	۳۴۰/۷۳	۱/۷۸	۳۰۲/۱۷	۱/۵۸	۳۷۳/۶۳	۱/۹۵
سایر اراضی	۷۰۴/۹۲	۳/۶۸	۱۱۹۹/۹۹	۶/۲۶	۵۶۵/۹۶	۲/۹۵

براساس جدول ۵ اراضی زراعی در نقشه پیش‌بینی‌شده همانند نقشه طبقه‌بندی‌شده با کاهش مساحت در سال ۲۰۲۰ همراه است، اما شدت کاهش آن بیشتر از نقشه طبقه‌بندی‌شده می‌باشد که به‌دلیل افزایش نظارت بر تغییرات کاربری اراضی زراعی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و در نتیجه کاهش تغییر این اراضی در این دهه می‌باشد. همانطور که پیش از این گفته شده بود، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ اراضی زراعی با کاهش ۷۱۶/۱۳ هکتاری روبه‌رو بودند که این مقدار در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به ۱۵۶/۱۲- هکتار رسیده است. همچنین براساس نقشه شبیه‌سازی‌شده در سال ۲۰۳۰ مساحت این اراضی ۱۴۷/۱۸ هکتار معادل ۱/۳۶ درصد کاهش خواهد یافت. مساحت جنگل‌ها در نقشه پیش‌بینی‌شده همانند نقشه طبقه‌بندی‌شده در سال ۲۰۲۰ با کاهش همراه است ولی مقدار آن در نقشه پیش‌بینی‌شده کمتر است. دلیل این امر افزایش دوبرابری تخریب جنگل‌ها در بازه ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در این منطقه می‌باشد. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ جنگل‌ها با کاهش ۱۸۴/۰۱ هکتاری روبه‌رو بودند که این مقدار در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به ۳۶۹/۵۴- هکتار رسیده است. براساس نتایج حاصل از نقشه پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۳۰ نیز مساحت جنگل‌ها ۲۶۹/۸۶ هکتار معادل ۱۰/۶۴ درصد کاهش خواهد یافت. مناطق مسکونی در نقشه پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۲۰ نسبت به نقشه طبقه‌بندی‌شده در همین سال با رشد همراه بوده ولی مقدار آن کمی کمتر است که به‌دلیل افزایش روند شهرنشینی و در نتیجه رشد ساخت و سازها بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. براساس نتایج حاصل از نقشه پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۳۰ مساحت مناطق مسکونی ۲۵۹/۴۲ هکتار معادل ۹ درصد افزایش خواهد یافت. مراتع و علفزارها در نقشه پیش‌بینی‌شده

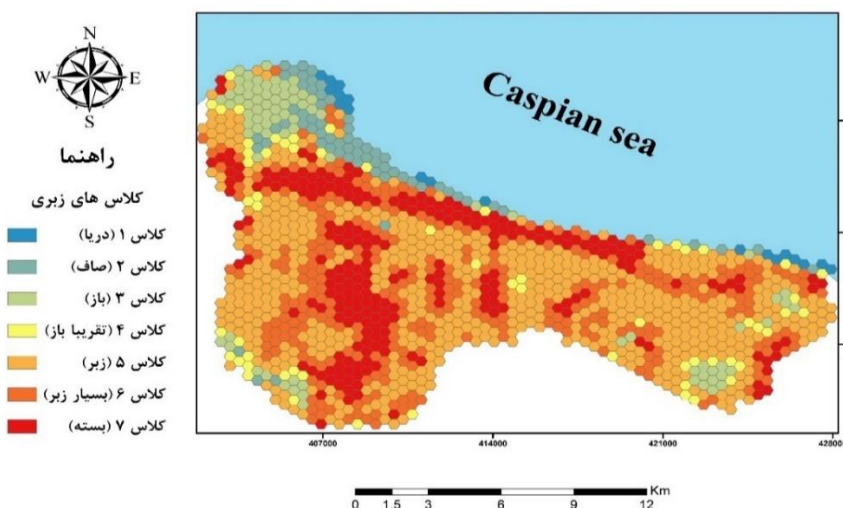
همانند نقشه طبقه‌بندی شده با افزایش مساحت در سال ۲۰۲۰ همراه است، اما شدت رشد آن کمتر از نقشه طبقه‌بندی شده می‌باشد که دلیل این امر رشد بیشتر از ۲/۵ برابری این اراضی در بازه سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. نتایج حاصل از نقشه پیش‌بینی شده در سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که مساحت مراتع و علفزارها ۲۶۹/۲۷ هکتار معادل ۱۷/۷۵ درصد افزایش خواهد یافت. مناطق آبی حاصل از شبیه‌سازی در سال ۲۰۲۰ برخلاف نقشه طبقه‌بندی شده در همین سال با رشد ۱۱/۹۱ درصدی نسبت به سال ۲۰۱۰ همراه بوده است. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ شاهد افزایش ۶۱/۵۲ هکتاری در این کاربری بودیم، اما به دلیل تغییرات زیاد کاربری در دهه دوم این مطالعه، این روند نزولی شد و ۴۳/۸۹ هکتار از این اراضی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ کاهش یافت. به همین دلیل مقدار شبیه‌سازی شده با مقدار طبقه‌بندی شده متفاوت است. همچنین نتایج حاصل از نقشه پیش‌بینی شده در سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که مساحت مناطق آبی ۲۶/۷۹ هکتار معادل ۶/۹۸ درصد کاهش خواهد یافت. پهنه‌های ماسه‌ای حاصل از شبیه‌سازی در سال ۲۰۲۰ همانند نقشه طبقه‌بندی شده در همین سال با رشد همراه بوده است ولی این رشد کمتر از نقشه طبقه‌بندی شده می‌باشد. دلیل این امر این است که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ شاهد کاهش این اراضی به مقدار ۳۷/۴۸ هکتار بودیم ولی در دهه دوم مطالعه روند بالعکس شده و بر پهنه‌های ماسه‌ای ۵۲/۲۷ هکتار افزوده شده است. براساس نتایج حاصل از نقشه پیش‌بینی شده در سال ۲۰۳۰ مساحت پهنه‌های ماسه‌ای ۳۲/۹ هکتار معادل ۹/۶۵ درصد افزایش خواهد یافت.

### نتایج حاصل از نقشه‌های زبری در کیشهر

در شکل ۸ نقشه زبری کیشهر براساس بازه تغییرات بین بیشترین و کمترین میزان آورده شده است. در این نقشه رنگ آبی و بویژه آبی پررنگ از نقاط دارای زبری کم می‌باشد. همچنین نقاط به رنگ قرمز دارای بیشترین زبری در منطقه هستند. نقشه کلاس‌های زبری که با استفاده از داده‌های طول زبری و براساس کلاس‌های جدول ویرینگا تهیه شده است نیز در شکل ۹ داده شده است.



شکل ۸. نقشه زبری بخش کیشهر براساس کمترین و بیشترین بازه

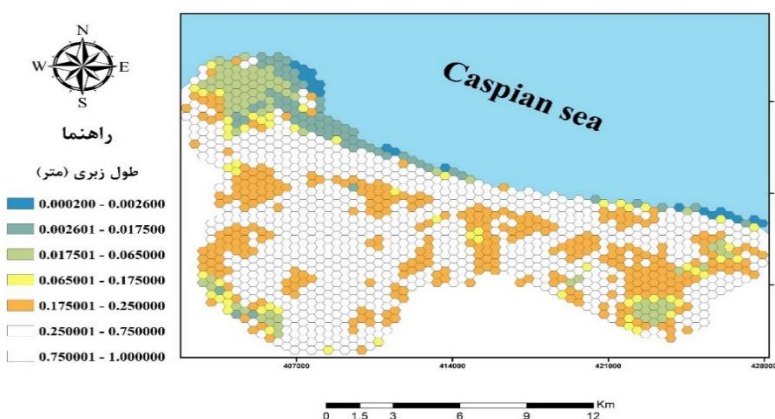


شکل ۹. نقشه زبری بخش کیشهر براساس کلاس‌های طول زبری

با توجه به پهنه‌بندی زبری منطقه، دوازده سلول یا به عبارتی ۱۹۴/۸۵ هکتار دارای طول زبری ۰/۰۰۰۲ متر می‌باشد که در کلاس ۱ (دریا) قرار می‌گیرد. در شکل ۹ این سلول‌ها با رنگ آبی و در قسمت شمال و شرق منطقه که دریای خزر است، قابل مشاهده می‌باشند. به‌طور کلی سلول‌های آبی و سبز (کلاس ۱ تا ۳) که مناطق مرتع و علفزارها، ساحل و دریا هستند با مساحت ۲۷۱۱/۷۴ هکتار، جز مناطق مساعد از لحاظ زبری برای احداث یک نیروگاه بادی می‌باشند. در کلاس ۴، سلول‌های مناطقی با زبری تقریباً باز قرار می‌گیرند که مساحت ۹۷۴/۲۷ هکتار از منطقه را تشکیل می‌دهند. این سلول‌ها که به رنگ زرد مشخص شده‌اند، بیشتر از تلفیق اراضی زراعی با مرتع و علفزارها، پهنه‌های ماسه‌ای، مناطق آبی و سایر اراضی بوجود آمده‌اند. در مطالعه انجام شده توسط نایار و علی (Nayyar & Ali, 2020) منطقه مورد مطالعه به ۹ طبقه کاربری شامل پیکره‌های آبی، جنگل متراکم، جنگل کم تراکم، درختان تنک، مزارع کشاورزی، مرتع، مسکونی، حومه و فضای باز تقسیم شد و کلاس زبری آنها با توجه به جدول ترون و پترسن (Troen & Petersen, 1989) تعیین گردید. برای مثال به کاربری پیکره‌های آبی، مرتع و اراضی کشاورزی به ترتیب کلاس‌های زبری صفر، ۵/۰ و ۱ اختصاص داده شد. در جدول ۶ تعداد سلول‌ها و مساحت آنها در روی زمین به تفکیک هر کلاس زبری داده شده است. بیشترین تعداد سلول‌ها مربوط به طول زبری در بازه ۰/۱۷۵۰۰۱ تا ۰/۳۷۵۰۰۱ متر با ۵۷۷ سلول می‌باشد که مساحتی برابر با ۹۳۶۹/۳۱ هکتار را در بر می‌گیرند. این سلول‌ها بیشتر از تلفیق اراضی زراعی با سایر کاربری‌ها بوجود آمده‌اند و در سرتاسر منطقه قابل مشاهده می‌باشند. تعداد ۵۸ سلول معادل ۹۴۱/۸۰ هکتار دارای طول زبری ۱ متر است و در سطح بسته قرار دارد که با رنگ قرمز پر رنگ در شکل نشان داده شده است. این سلول‌ها عمدتاً در ناحیه مرکزی جنگل‌ها و ناحیه شمالی که مناطق مسکونی قرار دارند، قابل مشاهده هستند. با توجه به این که هر چقدر که طول زبری کمتر باشد، در نتیجه تلاطم و مانع‌های بر سر باد نیز کمتر خواهد بود، لذا بر این اساس و با توجه به جدول ۶ بهترین نقاط موجود، در شکل ۱۰ به نمایش گذاشته شدند. در این شکل برای نمایش بهتر نقاط مستعد از لحاظ زبری برای احداث نیروگاه بادی، بازه‌های با مقادیر زبری بالا بدون رنگ به نمایش درآمده است و تنها سلول‌هایی که دارای طول زبری کوچکتر مساوی ۰/۲۵ هستند، نشان داده شده‌اند. مناطق نارنجی رنگی در شکل دیده می‌شوند که در بازه ۰/۱۷۵۰۰۱ تا ۰/۲۵ متر قرار دارند. این مناطق شامل ۳۲۵ سلول با مساحت ۵۲۷۷/۳۴ هکتار می‌باشد و بیشتر آن را اراضی یکپارچه زراعی تشکیل می‌دهد که موانع بر سر باد نسبت به دیگر مناطق کمتر می‌باشد. در مجموع در منطقه کیشهر ۵۵۲ سلول برابر با ۸۹۶۳/۳۶ هکتار به‌عنوان مناطق مساعد از لحاظ زبری برای احداث یک نیروگاه بادی در نظر گرفته شد.

جدول ۶. تعداد و مساحت سلول‌ها به تفکیک کلاس‌های زبری براساس جدول زبری ویرینگا

کلاس‌های طول زبری (رقم)	کلاس‌های طول زبری (اسم)	طول زبری (متر)	تعداد سلول‌ها	مساحت (هکتار)
۱	دریا	۰ - ۰/۰۰۲۶۰۰	۱۹	۳۰۸/۵۲
۲	صاف	۰/۰۰۲۶۰۱ - ۰/۰۱۷۵۰۰	۶۵	۱۰۵۵/۴۶
۳	باز	۰/۰۱۷۵۰۱ - ۰/۰۶۵۰۰۰	۸۳	۱۳۴۷/۷۵
۴	تقریباً باز	۰/۰۶۵۰۰۱ - ۰/۱۷۵۰۰۰	۶۰	۹۷۴/۲۷
۵	زبر	۰/۱۷۵۰۰۱ - ۰/۳۷۵۰۰۰	۵۷۷	۹۳۶۹/۳۱
۶	بسیار زبر	۰/۳۷۵۰۰۱ - ۰/۷۵۰۰۰۰	۲۹۹	۴۸۵۵/۱۵
۷	بسته	۰/۷۵۰۰۰۱ - ۱/۰۰۰۰۰۰	۲۳۵	۳۸۱۵/۹۲
اراضی زراعی				۵۲۷۷/۳۴



شکل ۱۰. نقشه مناطق با زبری کوچکتر مساوی ۰/۲۵ متر در کیشهر

با توجه به کلاس‌های کاربری اراضی (شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی، جنگل، مرتع و علفزارها، پهنه‌های ماسه‌ای، مناطق آبی و سایر اراضی) وقتی سلولی دارای زبری  $0/25$  باشد به این معنی است که به‌طور خالص در محدوده اراضی یکپارچه زراعی قرار دارد و هیچ کاربری دیگری در این سلول وجود ندارد. به همین دلیل طول زبری  $0/25$  به عنوان آستانه بالایی برای مناطق مستعد بادی در نظر گرفته شد تا سلول مورد نظر، کاربری‌های با طول زبری ۱ (یعنی مسکونی و جنگل) را شامل نشود. نکته دیگر این است که به‌دلیل شرایط خاص خاک منطقه که دارای بافت رسی سنگین است، کشت رایج منطقه برنج بوده که به‌صورت غرقابی کشت می‌شود. تقویم زراعی کشت برنج در منطقه بین اواسط اردیبهشت تا اواسط شهریور می‌باشد و در بقیه ماه‌های سال معمولاً زمین بدون کشت باقی می‌ماند. در مناطق محدودی که کشت دوم صورت می‌گیرد عمدتاً محصولاتی چون سبزیجات برگ‌ی و غده‌ای، شبدر و کلزا کشت می‌شود که می‌توانند در طول زبری  $0/1$  متر طبقه‌بندی شوند. به عبارت دیگر بیشتر زمین‌های زراعی منطقه تنها حدود ۴ ماه از سال تحت کشت قرار می‌گیرند. این در حالی است که در دو ماه نخست از این تقویم زراعی پوشش برنج‌زارها کوتاه بوده و از لحاظ طبقه زبری می‌بایست در کلاس ۳ (مناطق باز با طول زبری  $0/03$  متر) طبقه‌بندی شوند. با توجه به کشت غرقابی برنج در این منطقه پوشش زمین در ماه قبل از نشاء برنج به‌صورت کاملاً مسطح با لایه‌ای از آب بر روی سطح مزرعه است که در این حالت می‌توانند حتی در کلاس ۲ با طول زبری  $0/05$  نیز طبقه‌بندی شود. رشد رویشی قابل ملاحظه‌ی برنج در دو ماه دوم از تقویم زراعی یعنی اواسط خرداد تا اواسط مرداد می‌باشد.

نتیجه اینکه طول زبری  $0/25$  متر که برای این مناطق در نقشه شکل ۱۰ مشخص شده است، تنها برای ۲ ماه از سال مصداق دارد و حدود ۱۰ ماه از سال زمین پوشیده از بقایای خشک‌شده شالی‌های برنج است. با توجه به اینکه روش مرسوم برداشت در منطقه استفاده از کمباین‌های برنج whole crop است، عملاً طول بسیار اندکی از گیاه برنج بر روی زمین باقی می‌ماند. این در حالی است که بقایای کاه نیز توسط بیلرها بسته‌بندی شده و برای غذای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع پوشش زمین طبق جدول ویرینگا دارای طول زبری  $0/03$  متر و یا  $0/1$  متر کلاسه‌بندی می‌شود. نتیجه اینکه در حدود ۱۰ ماه از سال مناطقی که در شکل ۱۰ جزو مناطق زبر (کلاس ۵ با طول زبری  $0/25$  متر) طبقه‌بندی می‌شوند، در واقع دارای طول زبری  $0/03$  و یا  $0/1$  متر و در کلاس باز و یا تقریباً باز قرار دارند. چنین مناطقی برای نصب توربین‌های بادی مستعد شناخته می‌شوند. امروزه با توجه به رشد فوق‌العاده انرژی بادی، در سراسر دنیا توربین‌ها اغلب در زمین‌های زراعی یا در نزدیکی آن نصب می‌شوند. حتی اگر نتوان مناطق زراعی شکل ۱۰ را به‌دلیل مشکلات عدم تغییر کاربری برای احداث یک سایت انرژی بادی متمرکز در نظر گرفت، می‌توان از آن‌ها برای نصب توربین‌های پراکنده در مزارع برای نیازهای انرژی در مزرعه استفاده کرد. با توجه به اهمیت نصب توربین‌های بادی در مناطق زراعی، تغییرات فصلی در زبری زمین در این مناطق نقش مهمی در تعیین پتانسیل بادی دارند. برای بهینه‌سازی استفاده از انرژی باد و تعیین زمان‌های مناسب برای بهره‌برداری، باید تحلیل‌های دقیق‌تری از الگوهای فصلی انجام شود. این تغییرات همچنین می‌تواند برای برنامه‌ریزی نصب توربین‌های پراکنده در مزارع برای تأمین انرژی محلی نیز اهمیت داشته باشد. علاوه بر این، تأثیر رطوبت زمین و تغییرات دمایی فصلی که ناشی از کشت غرقابی برنج است، باید در نظر گرفته شود. رطوبت و تغییرات دمایی ممکن است تأثیراتی بر جریان‌های بادی و توزیع آن در منطقه بگذارند، که این موضوع می‌تواند بر بهره‌وری انرژی بادی در فصول مختلف تأثیرگذار باشد. از فواید مهم نصب توربین‌های بادی در اراضی زراعی می‌توان به مخلوط کردن هوا و رساندن دی‌اکسیدکربن بیشتر به محصولات، کاهش تشکیل شبنم بر روی محصولات کشاورزی و در نتیجه کاهش بیماری‌های مربوط به آن، تعدیل آب و هوا (شب‌ها را گرم‌تر و روزها را خنک‌تر می‌کند) و افزایش درآمد کشاورزان اشاره کرد (Inman, 2011). این تحقیق با هدف ایجاد روشی برای شناسایی مناطق مستعد برای احداث یک نیروگاه بادی در منطقه مورد مطالعاتی گیاه‌شهر که دستخوش تغییرات زیادی در دهه‌های گذشته بود انجام گرفته است. در مطالعاتی که پیش از این به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی انجام گرفته است، بیشتر تمرکز بر ارزیابی سرعت باد بوده و پارامتر زبری زمین و تغییرات آن در کاربری‌های مختلف زمین کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در بیشتر این مطالعات، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند مطالعات سرپتسیداکس و تسوتسوس (Gkeka-Serpetsidaki & Tsoutsos, 2021) و ون هارن و تناکیس (Van Haaren & Fthenakis, 2011) یا مدل‌سازی سرعت باد ایستگاه‌های هواشناسی مانند مطالعات زینعلی و عظیمی (Zeynali & Azimi, 2017) و سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2016) استفاده شده است. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری برای شناسایی مناطق مستعد احداث یک نیروگاه بادی دارای معایبی است که می‌توان به داده‌های بسیار زیاد و هزینه و زمان‌بر بودن پردازش آن‌ها و عدم اطمینان در وزن‌دهی معیارها اشاره داشت. همچنین مدل‌سازی داده‌های سرعت باد ایستگاه‌های هواشناسی برای تولید نقشه‌های سرعت باد دارای معایبی است که می‌توان به فاصله زیاد ایستگاه‌ها از هم و در نتیجه دقت پایین اندازه‌گیری، نیازمند بودن به داده‌های جوی دقیق و به‌روز و پیچیدگی بالای این مدل‌ها و تأثیرات عوامل محیطی و



محلی مانند درختان و ساختمان‌ها بر روی سرعت باد اشاره کرد.

## نتیجه گیری

این پژوهش با هدف تعیین زبری زمین به‌عنوان یکی از پارامترهای موثر در پتانسیل‌سنجی مکانی برای احداث نیروگاه‌های بادی انجام شده است. پس از آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی طی دو دهه اخیر به‌دلیل تغییرات شدید کاربری‌ها، در گام بعدی به شبیه‌سازی تغییرات در سال ۲۰۳۰ پرداخته شد. سپس از نقشه‌های پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۳۰ به‌منظور تهیه نقشه‌های طول زبری و کلاس زبری زمین استفاده شد. براساس نتایج به‌دست آمده از نقشه‌های زبری در بخش کیشهر تعداد ۸۴ سلول معادل ۱۳۶۳/۹۸ هکتار در کلاس ۱ و ۲ قرار دارند که می‌توانند مناطق بسیار مساعدی از لحاظ زبری برای احداث یک سایت انرژی بادی باشند. اکثر این سلول‌ها به‌صورت یکپارچه، در قسمت‌های شمال و شرق منطقه قرار دارند و در معرض بادهای ساحلی و شمالی می‌باشند و می‌توان انتظار داشت که اولویت دارترین مناطق برای احداث سایت انرژی بادی صرف نظر از سایر پارامترهای موثر، این سلول‌ها باشند. همچنین ۱۰۶۶۶/۸۹ هکتار از وسعت کیشهر را برنج‌زارهایی تشکیل می‌دهند که تنها در ۴ ماه از سال زیرکشت قرار می‌گیرند. با توجه به بافت ویژه بخش اعظمی از این زمین‌ها (زمین‌های وسیع و باز) که خالی از موانع می‌باشند، این نوع کاربری‌ها برای نصب توربین‌های بادی حائز اهمیت هستند. بر این اساس و با توجه به نتایج این تحقیق، ۵۲۷۷/۳۴ هکتار از زمین‌های زراعی منطقه دارای پتانسیل مناسبی از لحاظ زبری زمین برای نصب توربین‌های بادی هستند و پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران توجه ویژه‌ای به توسعه توربین‌های بادی در این مناطق داشته باشند. احداث توربین‌های بادی در این مناطق می‌تواند به افزایش سهم انرژی بادی در تولید انرژی ملی کمک کرده و منطقه را به یکی از قطب‌های تولید انرژی پاک تبدیل کند. سیاست‌گذاران می‌توانند با تمرکز بر این مناطق، استراتژی‌هایی برای جذب سرمایه‌گذاری در زمینه نیروگاه‌های بادی تدوین کنند و زیرساخت‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری از این منابع طبیعی را فراهم آورند. این امر می‌تواند تأثیرات مثبتی بر اقتصاد محلی، اشتغال‌زایی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی داشته باشد.

با این حال، در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای این پژوهش برخی محدودیت‌ها نیز وجود دارد. وضوح مکانی تصاویر ممکن است برای ارزیابی دقیق زبری زمین کافی نباشد و تغییرات کوچک یا پیچیده کاربری‌ها را به‌خوبی نشان ندهد. علاوه بر این، دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای ممکن است به دلیل شرایط آب و هوایی (مانند پوشش ابری) یا محدودیت‌های زمانی در ثبت تصاویر، دچار مشکل شود. همچنین، تصاویر ماهواره‌ای ممکن است در برخی موارد قادر به تشخیص دقیق ویژگی‌های سطحی نباشند، که این امر می‌تواند در طبقه‌بندی کاربری زمین و تعیین زبری خطاهایی ایجاد کند. از این رو، نیاز به تصاویر با کیفیت مکانی و وضوح بالاتری برای شناسایی کاربری‌های اراضی و در نتیجه بهبود دقت نتایج وجود دارد. در مقاله حاضر به معرفی روشی جدید جهت شناسایی مناطق مستعد احداث نیروگاه بادی از نقطه‌نظر ویژگی زبری زمین در منطقه‌ای پرداخته شد که شرط اولیه احداث نیروگاه/توربین بادی یعنی سرعت باد مناسب برقرار بود پیشنهاد می‌شود که این روش در سایر مناطق که دارای کاربری اراضی و پوشش زمین متفاوتی نسبت به منطقه مورد مطالعه در تحقیق (که دارای بافت کاربری خاصی به لحاظ پوشش سبز منطقه بود) هستند، انجام شود. این مطالعات باید پس از امکان‌سنجی اولیه از نظر دارا بودن میانگین سرعت باد مورد قبول انجام شود.

## سیاسگذاری

نویسندگان از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه گیلان و پارک علم و فناوری گیلان از این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

## REFERENCES

- Ayodele, T., & Ogunjuyigbe, A. (2015). Mitigation of wind power intermittency: Storage technology approach. *Renewable and sustainable energy reviews*, 44, 447-456. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.034>
- Ayodele, T., & Ogunjuyigbe, A. (2016). Wind energy potential of Vesleskarvet and the feasibility of meeting the South African 's SANAE IV energy demand. *Renewable and sustainable energy reviews*, 56, 226-234. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.053>
- Baban, S. M., & Parry, T. (2001). Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in



- the UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59-71. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00169-5)
- Baležentis, T., & Zeng, S. (2013). Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 543-550. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.066>
- Bañuelos-Ruedas, F., Angeles-Camacho, C., & Rios-Marcuello, S. (2010). Analysis and validation of the methodology used in the extrapolation of wind speed data at different heights. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(8), 2383-2391. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.001>
- Carvalho, D., Rocha, A., Santos, C. S., & Pereira, R. (2013). Wind resource modelling in complex terrain using different mesoscale-microscale coupling techniques. *Applied Energy*, 108, 493-504. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.074>
- Dale, S. (2021). BP statistical review of world energy. *BP Plc, London, United Kingdom*, 16-34 .
- Danish Wind Industry Association. (2003). The Roughness Rose. Retrieved from <http://www.xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/rrose.htm>
- Đurišić, Ž., & Mikulović, J. (2012). A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WASP. *Renewable Energy*, 41, 407-411. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.016>
- Eastman, J. R. (2003). *IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing* (Vol. 328). Clark University Worcester: Clark lab.
- Gkeka-Serpetsidaki, P., & Tsoutsos, T. (2021). Sustainable site selection of offshore wind farms using GIS-based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process. Case study: Island of Crete (Greece). In *Low Carbon Energy Technologies in Sustainable Energy Systems* (pp. 329-342): Elsevier.
- Gorsevski, P. V., Cathcart, S. C., Mirzaei, G., Jamali, M. M., Ye, X., & Gomezdelcampo, E. (2013). A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio. *Energy Policy*, 55, 374-385. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.013>
- Guo, X., Zhang, X., Du, S., Li, C., Siu, Y. L., Rong, Y., & Yang, H. (2020). The impact of onshore wind power projects on ecological corridors and landscape connectivity in Shanxi, China. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120075. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120075>
- IEA. (2015). *World Outlook Energy 2015*. Paris: IEA.
- Inman, M. (2011). Planting Wind Energy on Farms May Help Crops, Say Researchers. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/science/article/111219-wind-turbines-help-crops-on-farms>
- IRENA. (2021). Renewable capacity statistics 2021 International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi.
- Lettau, H. (1969). Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element description. *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, 8(5), 828-832 .
- Liu, J., Gao, C. Y., Ren, J., Gao, Z., Liang, H., & Wang, L. (2018). Wind resource potential assessment using a long term tower measurement approach: A case study of Beijing in China. *Journal of Cleaner Production*, 174, 917-926. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.347>
- Lukač, N., Štumberger, G., & Žalik, B. (2017). Wind resource assessment using airborne LiDAR data and smoothed particle hydrodynamics. *Environmental Modelling & Software*, 95, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.05.006>
- Mortensen, N. G., Rathmann, O., & Nielsen, M. (2008). *WASP 9 course notes*. Technical University of Denmark: Risø National Laboratory.
- Murthy, K., & Rahi, O. (2017). A comprehensive review of wind resource assessment. *Renewable and sustainable energy reviews*, 72, 1320-1342. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.038>
- Naghinezhad, A., Saeidi, M. S., Norouzi, M., & Faridi, M. (2006). Contribution to the vascular and bryophyte flora as well as habitat diversity of the boujagh national park, n. Iran. 5, 100-125 .
- Nayyar, Z. A., & Ali, A. (2020). Roughness classification utilizing remote sensing techniques for wind resource assessment. *Renewable Energy*, 149, 66-79. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.044>
- Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1513-1524. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Sefeedpari, P., Keyhani, A., Pishgar Komleh, S. H., Khanali, M., & Akram, A. (2016). Evaluating the potential

- of wind energy generation through statistical analysis of wind characteristics – case study :Eqlid county of fars province. *iranian journal of biosystems engineering (iranian journal of agricultural sciences)*, 47(3), 469-483. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=545210> (in persian)
- Tiseo, I. (2021). Carbon dioxide emissions in 2010 and 2020, by select country (in million metric tons). Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/270499/co2-emissions-in-selected-countries/>
- Troen, I., & Petersen, E. L. (1989). *European wind atlas*: Risø National Laboratory.
- Van Haaren, R., & Fthenakis, V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(7), 3332-3340 .
- Wieringa, J. (1992). Updating the Davenport roughness classification. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41(1-3), 357-368. doi:[https://doi.org/10.1016/0167-6105\(92\)90434-C](https://doi.org/10.1016/0167-6105(92)90434-C)
- Wieringa, J., & Van der Veer, P. (1976). *Nederlandse windstations 1971-1974*: KNMI.
- world weather online, w (۲۰۲۴). Annual Weather Averages. Retrieved from <https://www.worldweatheronline.com/kiashahr-weather-averages/gilan/ir.aspx>
- Zeynali, B., & Azimi, A. (2017). Evaluation of wind energy potential in the north-west of iran by using fuzzy algorithm. *JOURNAL OF REGIONAL PLANNING*, 6(24), 73-87. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=522679> (in persian)
- Zhang, F., Sha, M., Wang, G., Li, Z., & Shao, Y. (2017). Urban Aerodynamic Roughness Length Mapping Using Multitemporal SAR Data. *Advances in Meteorology*. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/8958926>



## Zoning land surface roughness for wind turbine installation using satellite remote sensing: a case study of kiashahr county

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

Energy is considered one of the key factors in economic advancement and wealth creation for countries. Due to the scarcity of fossil fuel resources and environmental damage, government support policies for investment in renewable energy have become increasingly important. Wind energy, as a clean and inexhaustible source, is a suitable option for exploitation. However, one of the major challenges in wind energy development is selecting the appropriate location for establishing power plants, where land roughness plays a very significant role. Unfortunately, in Iran, due to the vast reserves of oil and gas, there has been less attention given to renewable energies, and despite the high potential in this field, sufficient development has not occurred. This research aims to prioritize suitable areas in terms of land roughness using satellite images within the Kiashahr study area.

#### Materials and methods

In this research, land use changes in the region between 2000 and 2020 were detected using supervised classification with the Support Vector Machine (SVM) algorithm. Then, the CA-Markov model was used to simulate land use changes for the year 2030, and the predicted map was utilized to create maps of roughness length and roughness classes. The predicted map was gridded based on Wieringa roughness length information to produce zoning maps of roughness length and roughness classes.

#### Results and discussion

Between 2000 and 2020, forests decreased by 553.55 hectares. Contributing factors to this reduction include forest encroachment, excessive tree cutting, and forest destruction for villa construction. Residential areas expanded by 809.94 hectares between 2000 and 2020. Most of these changes resulted from the conversion of agricultural land edges into residential areas, driven by rural migration, population growth, and increased demand for new housing. This construction boom in the region has led to an increase in roughness length. Based on the results obtained from roughness maps, 84 cells, equivalent to 1363.98 hectares, in Kiashahr fall into classes 1 and 2. These areas are very suitable in terms of roughness for establishing a wind energy site. Most of these cells are concentrated in the northern and eastern parts of the region, exposed to coastal and northern winds, making them the highest priority areas for establishing a wind energy site, irrespective of other influencing parameters. Additionally, 10666.89 hectares of Kiashahr are agricultural lands, of which 5277.34 hectares have suitable roughness potential for installing wind turbines. These areas experience a roughness length of 0.25 meters for only two months of the year, while the rest of the year they experience roughness lengths of 0.1 meters (class 4) and 0.03 meters (class 3). Overall, considering a roughness length of up to 0.25 meters, 552 cells, equivalent to 8963.36 hectares, have been identified as suitable for establishing a wind power plant.

#### Conclusion

The findings of this research showed that using classification algorithms and modeling methods, large areas can be studied for the potential of wind power plants. This method not only identifies suitable areas for wind farm construction for decision-makers but also serves as a database for modeling wind speed near the hubs of tall wind turbines, which require roughness as an input parameter.