



Investigating the Maximum Wind Speed and Wind Direction of Synoptic Stations in the East of Lake Urmia

Pouya Allahverdipour^a, Mohammad Taghi Sattari^{b*}

^a Ph.D Student in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

^b Associate Professor in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

Received: 1 February 2024

Revised: 16 June 2024

Accepted: 24 June 2024

Extended Abstract

Introduction

Using wind and converting it into a source of energy has been practiced in many countries since ancient times. On the other hand, weather is the cause of many natural disasters and accidents, and no part of the planet is immune to atmospheric hazards. Strong and intense winds, known as storms, cause significant damage to human living environments every year. Approximately 90% of the world's natural disasters are related to climatic factors. After floods, which account for approximately 35% of these disasters, storms are responsible for about 30% of the damage caused by natural disasters. The level of risk and damage caused by strong winds and storms depends on their direction, intensity, and the geographical location of the region. Considering the importance of wind in terms of its risks and potential, the study of this phenomenon has drawn the attention of researchers worldwide. Due to its arid and semi-arid climate, Iran experiences the negative effects and consequences of wind more than its benefits. East Azarbaijan Province, located east of Lake Urmia, is one of the windy regions of the country. Due to its proximity to the salt bed formed by the drying up of Lake Urmia, the province faces significant environmental and health hazards. By studying the speed and direction of strong winds in this region, management plans can be developed, vulnerability thresholds for structures determined, and resistant designs implemented to reduce resulting damages. The purpose of this

* .Corresponding author: Mohammad Taghi Sattari Email: mtsattar@tabrizu.ac.ir Tel:+9809144015802

How to cite this Article: Allahverdipour, P., & Sattari, M.T. (2024). Investigating the Maximum Wind Speed and Wind Direction of Synoptic Stations in the East of Lake Urmia. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 197-221.



research is to investigate the speed and direction of maximum wind and its changes while identifying vulnerable and windy areas east of Lake Urmia.

Material and Methods

This research investigated the speed, changes, and direction of maximum wind at 16 synoptic stations located east of Lake Urmia during the period of 1394–1401. The non-parametric Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimator were used to determine the trend of wind speed changes. Wind Rose diagrams were used to analyze the prevailing wind direction. All calculations related to data preparation and tests for checking the trend of maximum wind speed were performed using XLSTAT software, and WRPLOT software was used to generate wind diagrams.

Results and Discussion

According to the results of the non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator, among the 16 stations investigated in the east of Lake Urmia, significant increasing trends in maximum wind speed changes were observed only at Shabestar and Sahand stations, with Sen's slopes of +0.089 and +0.070, respectively. A significant decreasing trend was observed at Tabriz, Malekan, and Maragheh stations, with Sen's slopes of -0.058, -0.037, and -0.092, respectively. No trend in maximum wind speed changes was observed at Kalibar, Mianeh, Jolfa, Bostanabad, Bonab, and Sarab stations. Based on the Wind Rose diagrams, the prevailing wind direction at most stations is from the west and southwest, which could potentially increase respiratory diseases in the future due to salt storms originating from the dry bed of Lake Urmia affecting the eastern provinces. This pattern is likely related to the pressure gradient influenced by topography, the presence of Sahand mountain heights in the region, surface friction based on geographical characteristics, land use, and urban structures.

At specific stations, the prevailing wind direction was observed as follows: Bonab and Sarab from the west; Ahar, Charoimaq, Mianeh, Tabriz, and Varzeqan from the southwest; Bostanabad, Heris, Malekan, Marand, and Shabestar from the south; Jolfa and Kalibar from the northwest; Maragheh from the east; and Sahand from the west and southwest. The frequency of strong winds was high across all stations, with more than 50% of maximum winds exceeding 11.11 m/s.

Conclusion

The results of this research revealed that the maximum wind speed in the east of Lake Urmia was recorded at Varzeqan and Marand stations, while the lowest values were recorded at Kalibar and Jolfa stations. According to the Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimator, changes in maximum wind speed at most synoptic stations showed either no trend or a decreasing trend, with significant increasing trends observed only at Shabestar and Sahand stations. Significant decreasing trends were observed at Tabriz, Malekan, and Maragheh stations. The prevailing wind direction at most stations was found to be from the west and southwest. These findings should be considered in structural design, including the orientation of buildings, power plants, and wind turbines.

Additionally, they are critical for agricultural planning, such as rain irrigation system design.

The high frequency of strong winds across all synoptic stations underscores the vulnerability of this area to strong winds and storms, highlighting the importance of structural resilience. However, from an energy perspective, the region holds significant potential for wind power generation. Given the necessity of reducing dependence on fossil fuels due to their negative environmental impacts, including climate change, decreased precipitation, rising temperatures, and reduced water resources, utilizing wind power as a clean energy source becomes essential.

One limitation of this research was its focus on the eastern part of Lake Urmia. A broader study encompassing the entire Lake Urmia basin in all directions would provide a more comprehensive understanding of wind speed and direction changes under conditions of Lake Urmia's drying and the expansion of the salt bed. This would enable more precise land-use planning and management strategies for the coming years.

Keywords: Wind Speed and Direction Analysis, Mann-Kendall and Sen's Slope Index, Atmospheric Hazards, Environmental Impacts, Urmia Lake, Wind Power Potential .

How to cite this Article: Allahverdipour, P., & Sattari, M.T. (2024). Investigating the Maximum Wind Speed and Wind Direction of Synoptic Stations in the East of Lake Urmia. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 197-221.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)



بررسی سرعت و جهت باد بیشینه در ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه

پویا اللهویدی پور - دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

محمدتقی ستاری^۱ - دانشیار مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۴

چکیده

با توجه به اهمیت باد از دیدگاه مخاطرات و پتانسیل‌های آن، بررسی این موضوع مورد توجه محققان کشورهای مختلف است. استان آذربایجان شرقی در شرق دریاچه ارومیه و یکی از مناطق بادخیز کشور قرار دارد و به علت هم‌جواری با بستر نمکی حاصل از خشک‌شدن دریاچه ارومیه، در معرض مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی است. در این تحقیق سرعت، روند تغییرات و جهت باد بیشینه ۱۶ ایستگاه همدیدی واقع در شرق دریاچه ارومیه در دوره ۱۳۹۴-۱۴۰۱ بررسی شد. برای تعیین روند تغییرات سرعت باد از آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین گر شیب سن و برای بررسی جهت باد از نمودار گلباد استفاده شد. مطابق نتایج، تغییرات سرعت باد بیشینه فقط در دو ایستگاه شبستر و سهند به ترتیب با شیب $+۰/۰۸۹$ و $+۰/۰۷۰$ روند افزایشی معنی‌دار و در ایستگاه‌های تبریز، ملکان و مراغه به ترتیب با شیب $۰/۰۵۸$ ، $-۰/۰۳۷$ و $-۰/۰۹۲$ روند کاهشی معنی‌دار داشت و در ایستگاه‌های کلبر، میانه، جلفا، بستان‌آباد، بناب و سراب بدون روند بود. مطابق نمودارهای گلباد، در اکثر ایستگاه‌ها جهت باد غالب از سمت غرب و جنوب‌غربی است که این موضوع می‌تواند در آینده موجب افزایش بیماری‌های تنفسی در اثر طوفان‌های نمکی برخاسته از بستر خشک دریاچه ارومیه در استان‌های شرقی آن شود. به‌طورکلی علت این امر می‌تواند مرتبط با گرادیان فشار با توجه به توپوگرافی و وجود ارتفاعات کوه سهند در منطقه، اصطکاک سطحی با توجه به مشخصات جغرافیایی، کاربری اراضی و وجود ساختمان‌ها در مناطق شهری و دیگر عوامل جغرافیایی مرتبط با این مسئله باشد. فراوانی بادهای شدید در همه ایستگاه‌ها زیاد بوده و بیش از ۵۰٪ از بادهای بیشینه در همه ایستگاه‌ها سرعتی بیش از $۱۱/۱۱ \text{ m/s}$ دارند. اگرچه نتایج این تحقیق لزوم توجه به آسیب‌پذیری مناطق شرقی دریاچه ارومیه از نظر مخاطرات محیطی را نشان می‌دهد، ولی از دیدگاه انرژی، نشانگر پتانسیل مناسب این منطقه برای تولید انرژی بادی است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل سرعت و جهت باد، شاخص من-کندال و شیب سن، مخاطرات جوی، تاثیرات محیطی،

دریاچه ارومیه، تانسیل انرژی باد.

۱- مقدمه

استفاده از باد و تبدیل آن به انرژی و منبع نیرو از گذشته‌های بسیار دور در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله ایران، مصر، چین و ایتالیا با اهداف مختلف مثل انتقال آب جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی و آسیاب انجام شده است. آمار مربوط به اوایل قرن حاکمی از آن است که بیش از ۸۳ درصد از تولید انرژی از نیروی باد، فقط در پنج کشور شامل آلمان، آمریکا، دانمارک، هند و اسپانیا انجام می‌یابد. بسیاری از کشورهای دیگر نیز در حال حرکت به سمت استفاده از این انرژی می‌باشند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ حدود ۸۰٪ از انرژی الکتریکی جهان در مقایسه با ۲۶/۲٪ فعلی از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود (Hafner, Tagliapietra & de Strasser, 2018). از طرف دیگر علت بسیاری از خطرات طبیعی و حوادث ناگوار، آب‌وهوا است. هیچ نقطه از کره زمین نسبت به مخاطرات جوی مصون نیست (Mofidi & Kamali, 2012). بادهای قوی و شدید که به‌عنوان طوفان شناخته می‌شوند، همه‌ساله خسارت‌های بسیار زیادی بر محیط زندگی انسان‌ها وارد می‌کنند. حدود ۹۰٪ از بلایای طبیعی در دنیا در ارتباط با عوامل اقلیمی است و بعد از سیل با حدود ۳۵٪، طوفان با حدود ۳۰٪ بیشترین میزان آسیب‌های ناشی از بلایای طبیعی را شامل می‌شود. میزان خطرات و آسیب‌های ناشی از بادهای شدید و طوفان‌ها به جهت وزش و شدت آن‌ها و همچنین موقعیت جغرافیایی منطقه بستگی دارد. به دلیل قرارگرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، آثار و پیامدهای ناگوار باد بسیار بیشتر از فواید آن است. یکی از عوامل تلفات شدید آب به‌خصوص در بخش کشاورزی، تبخیر - تعرق است که مسئله باد از مهم‌ترین تشدیدکننده‌های آن محسوب می‌شود. در شرایطی که سرعت باد روندی افزایشی داشته باشد، آسیب‌های آن بیشتر نیز خواهد شد (Raeispoor, Beykrezaei & Tavoosi, 2013).

در زمینه بررسی باد تحقیقات بسیاری توسط پژوهشگران در ایران و سراسر دنیا از دیدگاه‌های مختلف انجام یافته است. ینگ و همکاران (Ying, Yong & Zongci, 2013) به بررسی تندبادهای چین در دوره ۲۰۰۴-۱۹۵۶ پرداخته و نشان دادند که روند رخداد تندبادهای سالانه و فصلی در این کشور، به‌ویژه در فصل بهار کاهشی است. بیلر و همکاران (Bilir, Imir, Devrim & Albostan, 2015) با بررسی توزیع سرعت باد فصلی و سالانه در ترکیه با استفاده از داده‌های سرعت باد از ژوئن ۲۰۱۲ تا ژوئن ۲۰۱۳ نتیجه گرفتند که جهت باد غالب جنوب‌شرقی و بیشترین مقدار انرژی باد مربوط به فصل زمستان و کمترین مقدار آن مربوط به فصل پاییز است. همچنین این منطقه از قدرت باد قابل‌توجهی برخوردار بوده و استفاده از توربین‌های بادی در مقیاس کوچک را پیشنهاد دادند. کلینک (Klink, 2015) در تحقیقی در منطقه ساحلی کشور آمریکا، روند بادهای با سرعت بیش از ۲ m/s و الگوی فصلی بادهای مذکور را شناسایی و طبقه‌بندی کرد. حنفی و ایران پور (Hanafi & Iranpour, 2017) با تحلیل سرعت باد ایران با استفاده از داده‌های جهت و سرعت باد

۱۴۵ ایستگاه همدیدی در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱) نشان دادند که بسیاری از نواحی ایران دارای پتانسیل مناسب استفاده از انرژی بادی برای تولید انرژی الکتریکی است. ایشان منطقه منجیل و زابل را به عنوان بهترین مناطق از این نظر معرفی کردند. دباغیان و همکاران (Dabbaghiyan, Fazelpour, Abnavi & Rosen, 2016) با بررسی انرژی باد در استان بوشهر با استفاده از داده‌های سرعت باد چهار منطقه بوشهر، عسلویه، بردخون و دلوار در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که منطقه بردخون نسبت به مناطق دیگر از پتانسیل بیشتری برای استفاده از انرژی بادی برخوردار است. عساکره و همکاران (Asakereh, Beyranvand & Doustkamian, 2019) با ارزیابی انرژی باد در ایستگاه همدیدی اردبیل در دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۹، میانگین سرعت باد در این ایستگاه را برابر با $7/4 \text{ m/s}$ و درصد وقوع باد آرام را برابر با ۴۳٪ تعیین کردند. همچنین باد غالب این ایستگاه از جهت شرق تعیین شد. آزورین مولینا و همکاران (Azorin-Molina et al., 2018) با بررسی روند تغییرات سرعت باد عربستان با استفاده از داده‌های ۱۹ ایستگاه همدیدی در دوره ۲۰۱۳-۱۹۷۸، کاهش معنی‌دار سرعت باد در مقیاس سالانه و فصل‌های زمستان و بهار را نتیجه گرفتند؛ اما در فصل تابستان و پاییز روند معنی‌داری وجود نداشت. قائدی (Ghaedi, 2019) با بررسی روند سرعت باد در ایران با استفاده از داده‌های ۹۶ ایستگاه همدیدی در دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸) و با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و برآوردگر شیب سن نتیجه گرفت که با وجود عدم مشاهده الگوی زمانی و مکانی مشخص در روند سرعت باد کل ایران، به‌طور کلی ۴۳٪ از ایستگاه‌های همدیدی ایران دارای روند مثبت در سرعت باد هستند. همچنین در ۹/۳٪ از کل پهنه کشور سرعت باد دارای روند منفی است. محمود و همکاران (Mahmood, Resen & Khamees, 2020) با تحلیل سرعت باد در ایستگاه همدیدی السلمان در کشور عراق نشان دادند که حدود ۵۰٪ سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متری، بیش از 5 m/s بوده است. همچنین این منطقه دارای پتانسیل برای احداث توربین‌های بادی کوچک برای تولید برق است. مولایی و لشکری (Molaei & Lashkari, 2020) با بررسی روند تغییرات سرعت باد در مرکز ایران با استفاده از داده‌های هفت ایستگاه همدیدی در دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۰ و آزمون ناپارامتری من-کندال نشان دادند که متوسط سرعت باد در این منطقه $3/19 \text{ m/s}$ بوده و بیشترین روند افزایشی و کاهش سرعت باد به ترتیب در ماه‌های مارس و دسامبر است. مزیدی و بهاء‌الدین بیگی (Mazidi & Bahaaddinbeygi, 2021) با هدف مطالعه روند دمای متوسط، بارش و سرعت باد مناطق شمالی و غربی استان کرمان، از روش رگرسیون کمترین مربعات و آزمون ناپارامتری من-کندال و داده‌های ایستگاه‌های همدیدی انار، زرنند، سیرجان و شهر بابک در دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۹) استفاده کردند. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که سرعت باد در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند مثبت است. مطابق نتایج روش رگرسیونی نیز سرعت باد در ایستگاه‌های انار، زرنند، سیرجان و کرمان دارای روند مثبت و در ایستگاه شهر بابک بدون روند است. دنگ و همکاران (Deng, Azorin-Molina, Minola, Zhang & Chen)

(2021) در مطالعه‌ای نشان دادند که در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰ سرعت باد سطحی در نیمکره شمالی و جنوبی کره زمین به ترتیب روند کاهشی و افزایشی (معنی دار سطح ۰/۱) داشته است؛ اما در دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۰ در نیمکره شمالی این روند افزایشی شده و در نیمکره جنوبی تمایل به روند کاهشی داشته است. در تحقیقی لیباند و پائس (Libanda & Paeth, 2023) در کشور زامبیا در قاره آفریقا، نشان دادند که باد غالب این کشور از سمت جنوب شرقی بوده و سرعت میانگین آن $2/8 \text{ m/s}$ است. همچنین در بیشتر نقاط این کشور افزایش معنی داری در سرعت باد مشاهده می‌شود. ستاری و اللهویردی پور (Sattari & Allahverdipour, 2024) با استفاده از روش‌های هوشمند درختی شامل جنگل تصادفی^۱ (RF)، درخت اضافی^۲ (ET) و مدل M5، سرعت باد ماهانه ایستگاه‌های همدید شرق دریاچه ارومیه را پیش‌بینی و تحلیل کردند که مدل RF به‌عنوان بهترین مدل معرفی شد. راهجا و همکاران (Raheja, Wadalkar, Chaudhuri & Pandit, 2024) روند سرعت باد سطحی مناطق شمال کشور هند را در دوره ۴۰ ساله اخیر (۱۹۸۱-۲۰۲۰) بررسی کرده و نشان دادند که از سال ۱۹۸۱ سرعت باد سطحی در این مناطق کاهش یافته است.

استان آذربایجان شرقی به‌عنوان یکی از استان‌های شمال غربی ایران در یکی از مناطق بادخیز کشور و در شرق دریاچه ارومیه قرار گرفته است. خشک شدن دریاچه ارومیه باعث به‌وجود آمدن بستری از نمک در این منطقه شده که آنهم موجب به هم خوردن تعادل اکولوژیک و گسترش بیماری‌های گوارشی و تنفسی در استان‌های ساحلی شده است. در چنین شرایطی با مطالعه و شناخت سرعت و جهت بادهای شدید این منطقه، می‌توان نسبت به برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، تعیین آستانه آسیب‌پذیری سازه‌ها و طراحی سازه‌های مقاوم در آینده و کاهش خسارت‌های ناشی از آن اقدام کرد. با توجه به پیشینه تحقیق و با وجود اهمیت بررسی سرعت و جهت باد بیشینه چه از لحاظ مخاطرات محتمل و چه از لحاظ پتانسیل‌های آن در تولید انرژی بادی، تحقیقات بسیار کمی در این خصوص انجام شده است؛ بنابراین هدف این پژوهش بررسی سرعت، جهت باد بیشینه و روند تغییرات آن از یک طرف و شناسایی مناطق مستعد و بادخیز در شرق دریاچه ارومیه است.

۲- مواد و روش‌ها

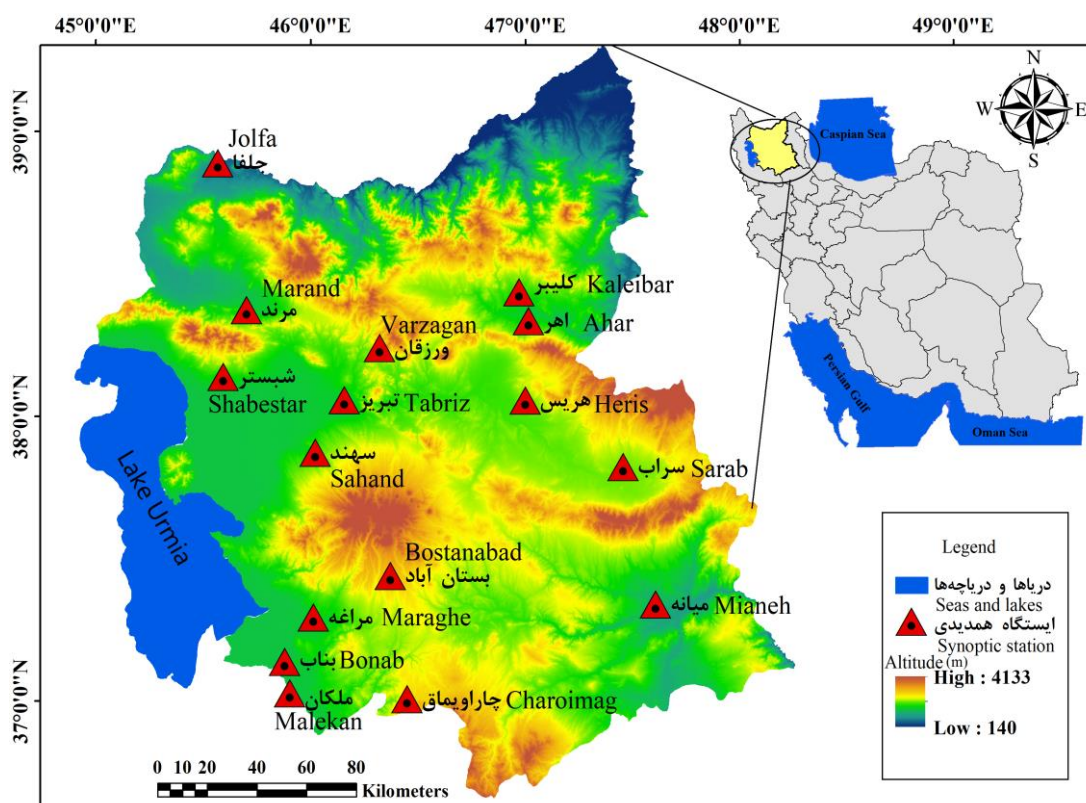
۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی در شمال غربی ایران، در شرق دریاچه ارومیه و در موقعیت ۴۸-۴۵ درجه طول شرقی و ۳۹-۳۶ درجه عرض شمالی قرار گرفته است. بیشتر بخش‌های این استان در حوضه آبریز دریاچه

¹ Random Forest

² Extra Tree

ارومیه بوده و بخش‌هایی از شمال و شرق آن در حوضه آبریز دریای خزر واقع شده است. مطابق با طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم این استان نیمه‌خشک است ولی با توجه به تنوع توپوگرافی آن، از شمال تا جنوب و شرق تا غرب، شرایط آب‌وهوایی متفاوتی دارد (Allahverdipour, Ghorbani & Asadi, 2024). میانگین بارش سالانه آذربایجان شرقی حدود ۲۵۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدمیدی استان آذربایجان شرقی واقع در شرق دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدمیدی استان آذربایجان شرقی

Fig.1. Geographical location of the synoptic stations in East Azarbaijan province

۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق با هدف بررسی سرعت و جهت باد بیشینه در شرق دریاچه ارومیه، از داده‌های سرعت و جهت باد مربوط به ۱۶ ایستگاه همدمیدی واقع در استان آذربایجان شرقی از فروردین ۱۳۹۴ تا اسفند ۱۴۰۱ استفاده شده است. لازمه هر تحقیق علمی که در آن از آمار و داده‌های اقلیمی استفاده می‌شود، صحت‌سنجی داده‌ها است. واضح است که بدون اطمینان از صحت و کیفیت داده‌ها، نمی‌توان از آن‌ها برای استخراج نتایج

قابل قبول استفاده کرد (Allahverdipour & Sattari, 2023). داده‌های مورد استفاده در این پژوهش قبل از انجام هرگونه محاسبات، مورد بررسی آماری و صحت‌سنجی قرار گرفت و نسبت به تکمیل داده‌های گمشده و حذف داده‌های پرت اقدام شد. تمام محاسبات مربوط به آماده‌سازی داده‌ها و آزمون‌های بررسی روند سری سرعت باد بیشینه با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT انجام شده و برای رسم نمودارهای گلباد از نرم‌افزار WRPLOT استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات آماری داده‌های مربوط به هر یک از ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات آماری سرعت باد بیشینه ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه

Table 1- Statistical characteristics of the maximum wind speed related to the synoptic stations in the east of Lake Urmia

ایستگاه همدید Synoptic station	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (متر) Altitude (m/s)	کمینه (متر بر ثانیه) Minimum (m/s)	بیشینه (متر بر ثانیه) Maximum (m/s)	میانگین (متر بر ثانیه) Mean (m/s)	انحراف معیار (متر بر ثانیه) Standard deviation (m/s)
جلفا Jolfa	45°38'	38°57'	680	2	28	17.05	4.94
کلبر Kaleibar	47°02'	38°53'	1000	2	30	12.81	4.66
بناب Bonab	46°03'	37°19'	1260	4	22	13.08	3.35
اهر Ahar	47°03'	38°28'	1350	10	30	19.21	3.82
شبستر Shabestar	45°68'	38°18'	1350	3	26	14.86	4.70
ملکان Malekan	46°06'	37°08'	1350	4	22	13.22	3.50
چاراویماق Charoimag	46°59'	37°08'	1350	6	30	13.53	3.65
تبریز Tabriz	46°19'	38°05'	1370	6	23	15.23	3.42
مراغه Maraghe	46°15'	37°23'	1440	6	29	15.93	4.42
مرند Marand	45°77'	38°42'	1550	4	35	14.42	6.53
ورزقان Varzagan	46°93'	38°31'	1600	8	36	18.18	4.69
سهند Sahand	46°12'	37°93'	1641	5	33	20.26	6.21
سراب Sarab	47°31'	37°52'	1680	8	28	16.66	4.13

بستان‌آباد Bostanabad	46°49'	37°51'	1700	8	26	14.42	3.74
میانه Mianeh	47°25'	37°40'	1900	6	30	13.09	4.42
هریس Heris	47°07'	38°15'	1962	7	32	16.40	5.33

۲-۲-۱- تحلیل روند

هدف از بررسی روند تشخیص وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی یعنی افزایش یا کاهش در سری داده‌ها است. با توجه به اینکه در روش‌های پارامتری فرضیات اولیه‌ای مانند نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود دارد، روش ناپارامتری من-کندال در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی کاربرد بیشتری دارد. همچنین روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری حساسیت کمتری به مقادیر حدی دارند و نیز آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری‌های زمانی، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند داده‌ها استفاده کرد (Ahmadi, Khalili, Behmanesh & Verdinzhad, 2013).

۲-۲-۱-۱- آزمون من-کندال

آزمون من-کندال که به‌عنوان یکی از آزمون‌های ناپارامتری بررسی روند سری داده‌ها شناخته می‌شود، ابتدا توسط من (Mann, 1945) ارائه شده و توسط کندال (Kendall, 1948) توسعه و ارتقا یافت. روش محاسبه آماره آزمون من-کندال به شرح زیر است. با فرض اینکه تعداد داده‌های موجود سری زمانی مربوط به پارامتر موردنظر در دوره آماری موردبررسی n باشد، ابتدا آماره S طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

در رابطه ۱ پارامترهای x_j و x_k به ترتیب مقدار داده j ام و k ام بوده و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت است که به صورت رابطه ۲ تعریف شده است.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

واریانس آماره S که به صورت $\text{Var}(s)$ نشان داده می‌شود، با استفاده از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i-5)}{18} \quad (3)$$

در رابطه ۳ پارامترهای t_i و P به ترتیب تعداد داده‌های دسته i ام و تعداد گروه‌های یکسان را نشان می‌دهند.

در نهایت آماره آزمون من-کندال (Z_S) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

مقدار مثبت Z_S نشان‌دهنده روند صعودی (افزایشی) و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند نزولی (کاهشی) در داده‌ها است. سطح معنی‌داری این آزمون با فرض صفر (H_0) که به معنی عدم وجود روند در داده‌ها است، به شرط برقراری رابطه ۵ و در غیر این صورت با رد فرض H_0 و قبول فرض مقابل آن یعنی وجود روند معنی‌دار در سری داده‌ها تعیین می‌شود.

$$-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2} \quad (5)$$

در رابطه ۵ پارامتر α نشان‌دهنده سطح معنی‌داری این آزمون است (Mann1945; Kendall, 1948).

۲-۱-۲-۲- شیب خط تخمین‌گر سن

روش شیب تخمین‌گر سن که یک روش ناپارامتری برای تخمین میزان شیب روند در یک سری داده است، توسط سن (Sen, 1968) توسعه یافته و ارائه شده است. میزان شیب یک سری از داده‌ها در روش شیب سن، با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right], \quad (j > i) \quad (6)$$

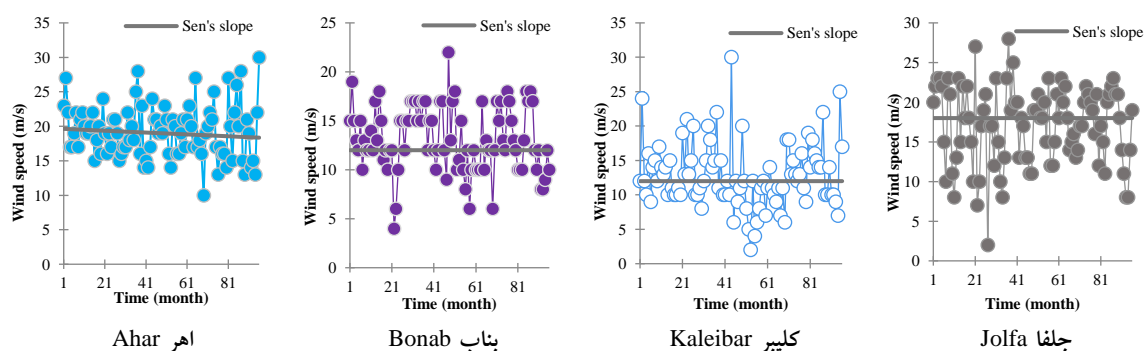
در رابطه ۶ پارامترهای X_j و X_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام سری داده‌ها بوده و پارامتر β نشان‌دهنده میزان شیب خط روند در سری داده‌ها است. مقدار مثبت β به معنی روند افزایشی (صعودی) و مقدار منفی آن به معنی روند کاهش (نزولی) در سری داده‌های موردبررسی است (Sen, 1968).

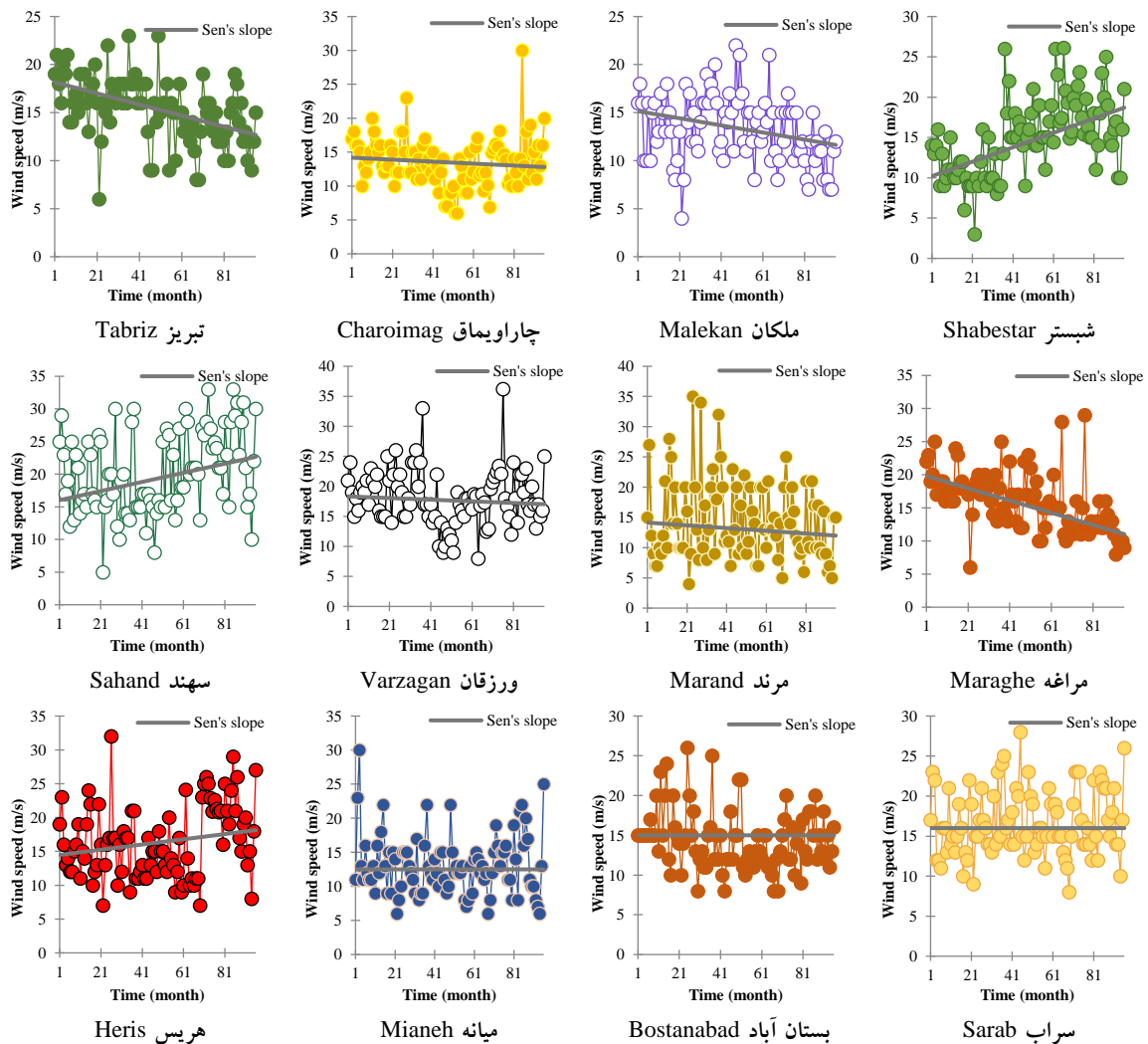
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج بررسی روند تغییرات سرعت باد بیشینه

در شکل ۲ نمودارهای روند تغییرات و شیب سن سرعت باد بیشینه مربوط به ۱۶ ایستگاه همدیدی واقع در شرق دریاچه ارومیه نشان داده شده است.

مطابق شکل ۲ میزان سرعت باد بیشینه و همچنین روند تغییرات آن در ایستگاه‌های همدیدی مختلف، یکسان نیست. علت تفاوت در میزان سرعت باد در ایستگاه‌های همدیدی مختلف، می‌تواند به دلیل توپوگرافی منطقه و اختلاف ارتفاع ایستگاه‌های همدیدی از یکدیگر باشد. از طرفی قرارگیری کوه سهند و ارتفاعات اطراف آن در این منطقه، می‌تواند از دلایل اصلی اختلاف سرعت باد در این منطقه باشد. همچنین تأثیر امواج مدیترانه‌ای از سمت غرب و جنوب‌غربی و امواج سرد و خشک سیبری از سمت شمال و شمال‌شرقی این استان از عوامل مهم تفاوت در سرعت باد بیشینه مربوط به ایستگاه‌های همدیدی مختلف این منطقه محسوب می‌شود. با توجه به شکل ۲ بیشترین میزان سرعت باد بیشینه در ایستگاه‌های ورزقان و مرند به ترتیب با سرعت $36/2$ m/s و 35 m/s ثبت شده است. کمترین میزان سرعت باد بیشینه مربوط به ایستگاه‌های کلیبر و جلفا با 2 m/s است. البته بیشترین اختلاف میان کمترین و بیشترین میزان سرعت باد بعد از ایستگاه‌های مرند و ورزقان به ترتیب با 31 m/s و $28/2$ m/s، در این دو ایستگاه یعنی کلیبر و جلفا به ترتیب با 28 m/s و 26 m/s است. کمترین اختلاف نیز مربوط به ایستگاه تبریز با 18 m/s بوده و بعد از آن ایستگاه‌های بستان آباد، بناب و ملکان همگی با 18 m/s در جایگاه بعدی قرار دارند. ثبات سرعت باد و اختلاف کم در کمترین و بیشترین میزان آن، برای برنامه‌ریزی جهت استفاده از توربین‌های مولد انرژی از نیروی باد حائز اهمیت است.





شکل ۲- نمودار روند تغییرات و شیب سن سرعت باد بیشینه ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه

Fig. 2. Changes trend and Sen's slope chart of the maximum wind speed related to the synoptic stations in the east of Lake Urmia

در جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن ارائه شده است. شکل ۳ نیز روند تغییرات سرعت باد بیشینه در ایستگاه‌های همدیدی آذربایجان شرقی را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۲ و شکل ۳ مشاهده می‌شود که روند تغییرات سرعت باد بیشینه در ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه یکسان نیست. با توجه به مقادیر آماره آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن، تغییرات سرعت باد در ایستگاه‌های کلیر، میانه، جلفا، بستان آباد، بناب و سراب روند مشخصی ندارد. ایستگاه‌های همدیدی تبریز، مرند، اهر، ملکان، مراغه، چاراویماق و ورزقان به ترتیب با شیب سن $-۰/۰۵۸$ ، $-۰/۰۲۳$ ، $-۰/۰۱۳$ ، $-۰/۰۳۷$ ، $-۰/۰۹۲$ ، $-۰/۰۱۵$ و $-۰/۰۱۴$ دارای روند نزولی (کاهش) در سرعت باد بیشینه هستند که

تبریز، ملکان و مراغه روند کاهشی معنی دار ($P < 0.05$) دارند. تغییرات سرعت باد بیشینه در ایستگاه‌های هریس، شبستر و سهند با شیب سن ۰/۰۳۸، ۰/۰۸۹ و ۰/۰۷۰ صعودی (افزایشی) بوده که فقط در دو ایستگاه شبستر و سهند افزایش معنی دار مشاهده می‌شود. بیابانی و همکاران (Biabani, Nazari Samani, Khosravi & Kazemzadeh, 2019) نیز در تحقیق خود نشان داده بودند که روند تغییرات سرعت باد در ایستگاه سهند افزایشی است که مشابه نتیجه این تحقیق است؛ اما برای ایستگاه تبریز روند کاهشی را نتیجه گرفته بودند که تفاوت نتایج می‌تواند به دلیل تفاوت در دوره آماری و سطح اطمینان متفاوت باشد. با توجه به عدم وجود روند یا روند کاهشی تغییرات سرعت باد بیشینه در اکثر ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه، این موضوع به معنی کاهش میزان سرعت باد این مناطق در آینده بوده و کاهش توان و پتانسیل تولید انرژی بادی و از طرف دیگر احتمال کاهش مخاطرات مربوط به بادهای شدید و وقوع طوفان در این مناطق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقدار روند تغییرات و شیب سن سرعت باد بیشینه ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه

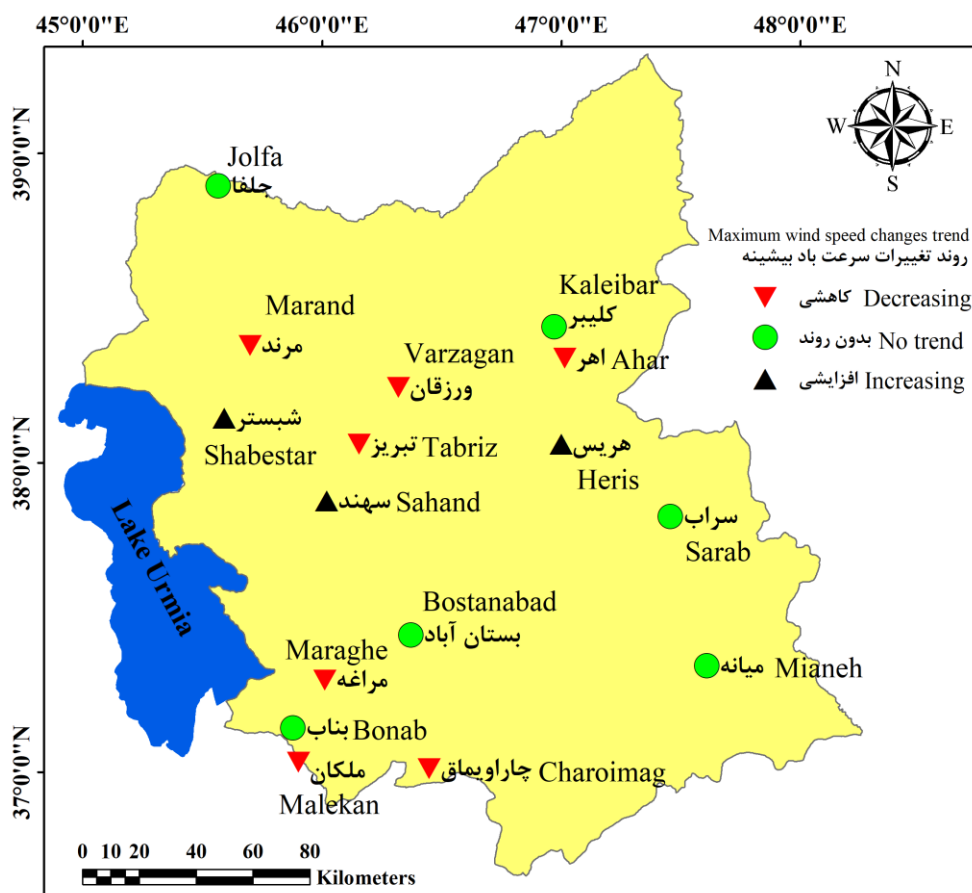
Table 2- The changes trend value and Sen's slope of the maximum wind speed related to the synoptic stations in the east of Lake Urmia

ایستگاه همدید Synoptic station	مقدار Z آزمون من - کندال Z-Value of the Mann-Kendall test	شیب سن Sen's Slop	p-value	نوع روند Trend type
جلفا Jolfa	-0.035	0.000	0.620	-
کلبر Kaleibar	-0.045	0.000	0.535	-
بناب Bonab	-0.107	0.000	0.146	-
اهر Ahar	-0.083	-0.013	0.248	کاهشی Decreasing
شبستر Shabestar	0.386	0.089	< 0.0001	افزایشی* Increasing*
ملکان Malekan	-0.224	-0.037	0.002	کاهشی* Decreasing*
چاراویماق Charoimag	-0.098	-0.015	0.171	کاهشی Decreasing
تبریز Tabriz	-0.364	-0.058	< 0.0001	کاهشی* Decreasing*
مراغه Maraghe	-0.471	-0.092	< 0.0001	کاهشی* Decreasing*
مرند Marand	-0.083	-0.023	0.244	کاهشی Decreasing

ورزقان Varzagan	-0.072	-0.014	0.307	کاهشی Decreasing
سهند Sahand	0.216	0.070	0.002	افزایشی* Increasing*
سراب Sarab	0.064	0.000	0.373	-
بستان‌آباد Bostanabad	-0.117	0.000	0.108	-
میانه Mianeh	-0.021	0.000	0.767	-
هریس Heris	0.127	0.038	0.073	افزایشی Increasing

* Indicates significance at the 5% level.

* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.



شکل ۳- روند تغییرات سرعت باد بیشینه در ایستگاه‌های هم‌دیدگی شرق دریاچه ارومیه

Fig. 3. The changes trend of maximum wind speed related to the synoptic stations in the east of Lake Urmia

جدول ۲ فراوانی وقوع سرعت باد بیشینه در هر یک از ۱۶ ایستگاه همدیدی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳ فراوانی بادهای شدید در همه ایستگاه‌ها زیاد بوده و در اکثر ماه‌ها سرعت باد بیشینه بیشتر از $5/71 \text{ m/s}$ است. بیش از ۵۰٪ از بادهای بیشینه در همه ایستگاه‌ها، سرعتی بیش از $11/11 \text{ m/s}$ دارند. این مسئله آسیب‌پذیری اکثر مناطق شرق دریاچه ارومیه از این نظر و لزوم توجه به مباحث سازه‌ای و پیشگیری از آسیب‌های احتمالی در این منطقه را نشان می‌دهد؛ اما از دیدگاه انرژی و پتانسیل تولید نیرو از توان باد، این منطقه قابلیت و پتانسیل مناسبی دارد. با توجه به لزوم کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی به دلیل تأثیرات منفی این نوع منابع انرژی بر اقلیم و گرمایش جهانی که منجر به تبخیر-تعرق زیاد و در نتیجه کاهش منابع آبی می‌شود، باید حرکت به سمت استفاده از منابع انرژی پاک از جمله نیروی باد مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نتایج این جدول بیشترین فراوانی بادهای شدید (با سرعت بیشتر از $11/11 \text{ m/s}$) مربوط به ایستگاه‌های همدیدی اهر، سهند و ورزقان به ترتیب با $98/96$ ، $94/79$ و $93/75$ درصد است. این مسئله آسیب‌پذیری بیشتر این مناطق و از دیدگاه دیگر پتانسیل بالای این مناطق از نظر توان تولید انرژی از نیروی باد را نشان می‌دهد. به‌طور کلی علت این امر می‌تواند به گرادیان فشار با توجه به توپوگرافی و وجود ارتفاعات کوه سهند در منطقه، اصطکاک سطحی با توجه به مشخصات جغرافیایی، کاربری اراضی و وجود ساختمان‌ها در مناطق شهری و دیگر عوامل جغرافیایی مرتبط با این مسئله مرتبط باشد (Shi, Dong, Xiao & Huang, 2021).

جدول ۳- فراوانی سرعت باد بیشینه ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه

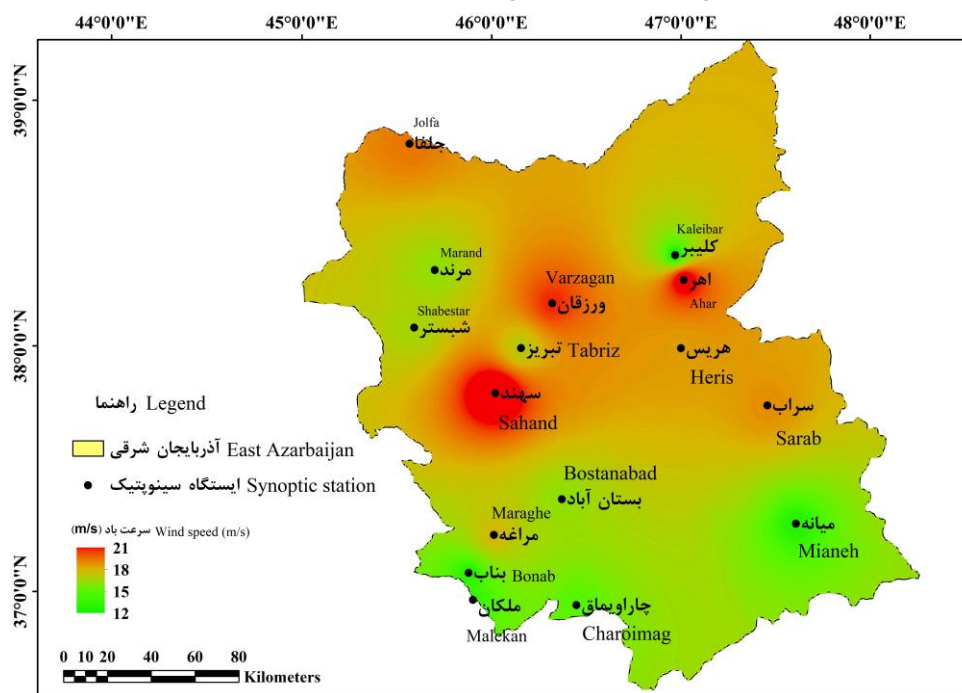
Table 3- The frequency of the maximum wind speed related to the synoptic stations in the east of Lake Urmia

ایستگاه همدید	سرعت باد بیشینه (m/s)						
	Maximum wind speed (m/s)						
Synoptic station	0-0.5	0.51-2.1	2.11-3.6	3.61-5.7	5.71-8.8	8.81-11.1	11.1<
جلفا Jolfa	فراوانی (تعداد ماه‌ها)						
	0	1	0	0	5	9	81
Jolfa	درصد فراوانی (%)						
	0	1.04	0	0	5.21	9.38	84.38
کلیبر Kaleibar	فراوانی (تعداد ماه‌ها)						
	0	1	0	2	9	31	53
Kaleibar	درصد فراوانی (%)						
	0	1.04	0	2.08	9.38	32.29	55.21
بناب Bonab	فراوانی (تعداد ماه‌ها)						
	0	0	0	1	6	20	69
Bonab	درصد فراوانی (%)						
	0	0	0	1.04	6.25	20.83	71.88
اهر Ahar	فراوانی (تعداد ماه‌ها)						
	0	0	0	0	0	1	95
Ahar	درصد فراوانی (%)						

	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	0	1.04	98.96
	Frequency percentage (%)							
شبه‌ستر	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	1	0	2	25	68
Shabestar	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	1.04	0	2.08	26.04	70.83
	Frequency percentage (%)							
ملکان	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	1	10	21	64
Malekan	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	1.04	10.42	21.88	66.67
	Frequency percentage (%)							
چاراویماق	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	5	21	70
Charoimag	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	5.21	21.88	72.92
	Frequency percentage (%)							
تبریز	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	3	9	84
Tabriz	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	3.13	9.38	87.50
	Frequency percentage (%)							
مراغه	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	2	12	82
Maraghe	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	2.08	12.5	85.42
	Frequency percentage (%)							
مرند	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	3	11	26	56
Marand	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	3.13	11.46	27.08	58.33
	Frequency percentage (%)							
ورزقان	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	1	5	90
Varzagan	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	1.04	5.21	93.75
	Frequency percentage (%)							
سهند	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	1	1	3	91
Sahand	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	1.04	1.04	3.13	94.79
	Frequency percentage (%)							
سراب	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	1	6	89
Sarab	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	1.04	6.25	92.71
	Frequency percentage (%)							
بستان‌آباد	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	4	15	77
Bostanabad	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)	0	0	0	0	4.17	15.63	80.21
	Frequency percentage (%)							
میانه	فراوانی (تعداد ماه‌ها)	0	0	0	0	13	24	59

Mianeh	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)							
	Frequency percentage (%)	0	0	0	0	13.54	25	61.46
هریس	Frequency (Monthes)							
	فراوانی (تعداد ماهها)							
	Frequency percentage (%)	0	0	0	0	3	16	77
Heris	Frequency (Monthes)							
	درصد فراوانی (%)							
	Frequency percentage (%)	0	0	0	0	3.13	16.67	80.21

شکل ۴ پهنه‌بندی مکانی متوسط سرعت باد بیشینه در استان آذربایجان شرقی واقع در شرق دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که سرعت باد بیشینه در شرق دریاچه ارومیه بیش از ۱۲ m/s بوده و البته در مناطق مرکزی و شمالی سرعت‌های بیشتری نیز دارد. متوسط سرعت باد بیشینه در مناطق مرکزی استان آذربایجان شرقی به ۲۱ m/s نیز می‌رسد.



شکل ۴- پهنه‌بندی مکانی متوسط سرعت باد بیشینه در شرق دریاچه ارومیه

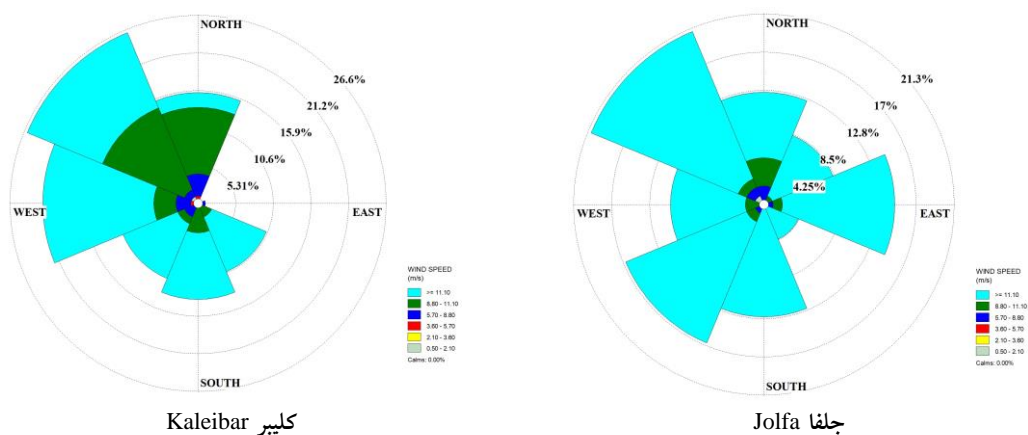
Fig.4. Spatial zoning of maximum wind speed means in the east of Lake Urmia

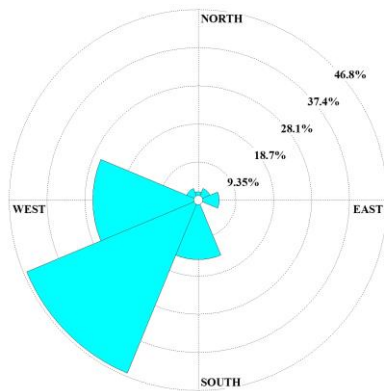
۳-۲- نتایج بررسی جهت باد بیشینه

شکل ۵ گلباد مربوط به هر یک از ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۵ در اکثر ایستگاه‌ها جهت باد غالب از سمت غرب و جنوب‌غربی است. باد غالب ایستگاه‌های همدیدی بناب و سراب از سمت غرب، ایستگاه‌های اهر، چاراویماق، میانه، تبریز و ورزقان از سمت

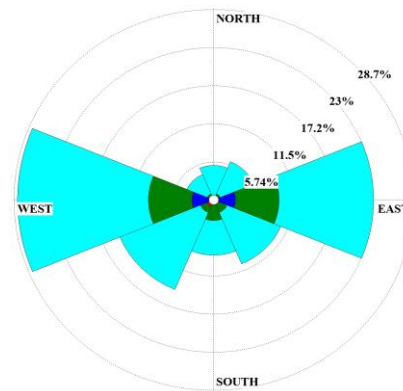
جنوب‌غربی، ایستگاه‌های بستان آباد، هریس، ملکان، مرند و شبستر از سمت جنوب، جلفا و کلیبر از سمت شمال‌غربی، ایستگاه مراغه از سمت شرق و ایستگاه سهند از سمت غرب و جنوب‌غربی است. از عوامل مؤثر در جهت باد غالب منطقه می‌توان توپوگرافی، نیروی گرادیان فشار و نیروی کوریولیس را نام برد. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، جهت باد غالب در نواحی مختلف از نیروهای موجود پیروی کرده و چنین جهت باد غالب در شرق دریاچه ارومیه منطقی به نظر می‌رسد (Shi et al., 2021).

بیشترین وزش باد بیشینه از یک جهت ثابت مربوط به ایستگاه همدیدی مراغه با وزش ۵۰٪ از بادهای شدید آن (با سرعت بیشتر از ۱۱/۱۱ m/s) از سمت شرق است و کمتر از ۲۰٪ بادهای شدید این منطقه از سمت غرب است. همچنین حدود ۱۰٪ از بادهای شرقی این منطقه با سرعت ۸/۸۱ تا ۱۱/۱ m/s رخ داده است. بعد از این ایستگاه، جهت باد غالب اهر و چاراویماق به ترتیب با ۴۶/۸٪ و ۴۵/۷٪ از سمت جنوب‌غربی و سراب با ۴۰/۴٪ از سمت غرب، همگی با سرعت بیشتر از ۱۱/۱۱ m/s، جهت ثابتی در وزش باد غالب دارند. در بقیه ایستگاه‌های همدیدی، وزش باد غالب از هر یک از جهت‌های مختلف کمتر از ۴۰٪ است. ضروری است این موضوع در مباحث سازه‌ای و سمت‌وسوی ساختمان‌ها و تأسیسات مختلف و همچنین بحث احداث نیروگاه‌ها یا توربین‌های بادی و یا در موضوع کشاورزی در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی و مباحث مرتبط در نظر گرفته شود.

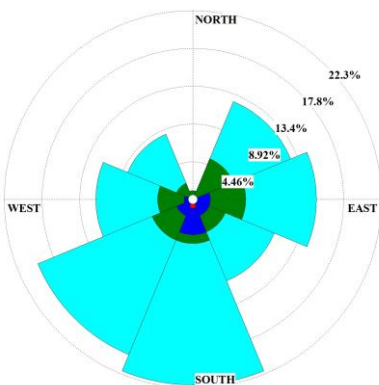




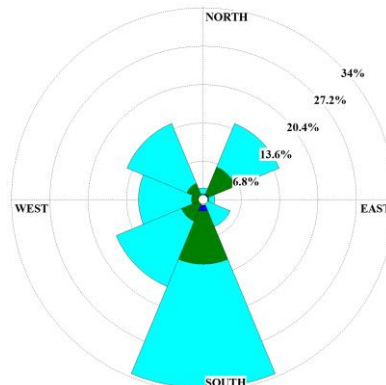
اهر Ahar



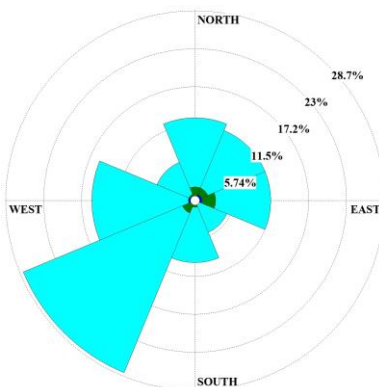
بناب Bonab



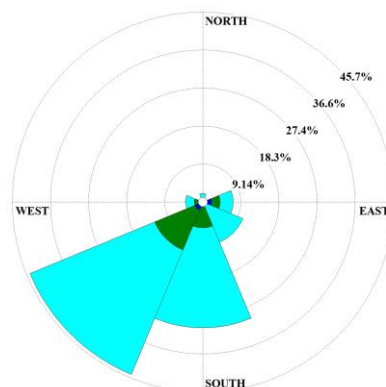
ملکان Malekan



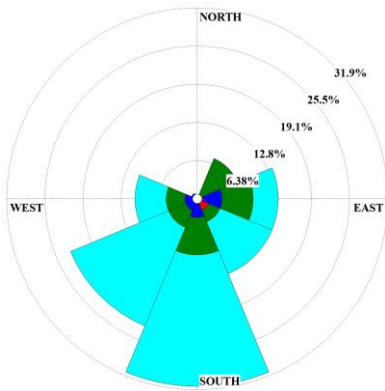
شهبستر Shabestar



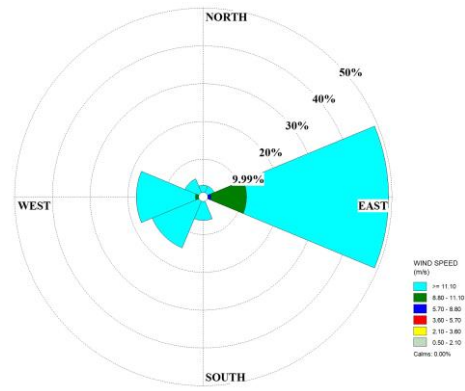
تبریز Tabriz



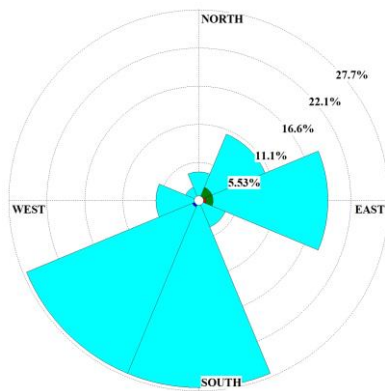
چاراویماق Charoimag



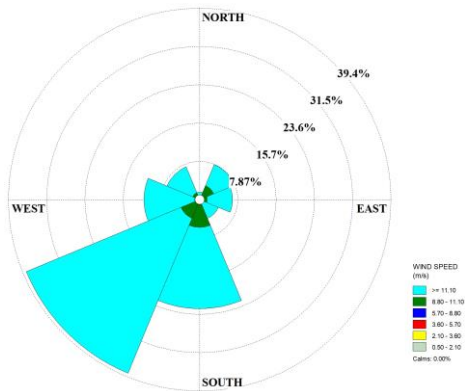
مرند Marand



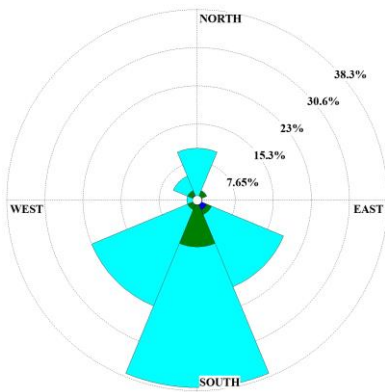
مراغه Maraghe



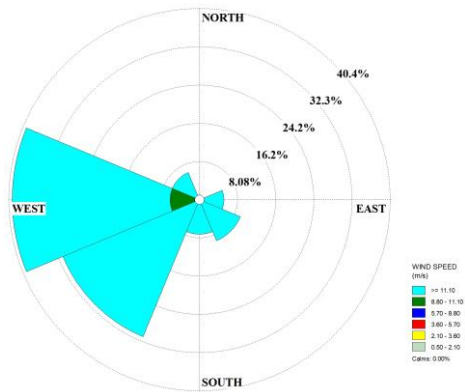
سهند Sahand



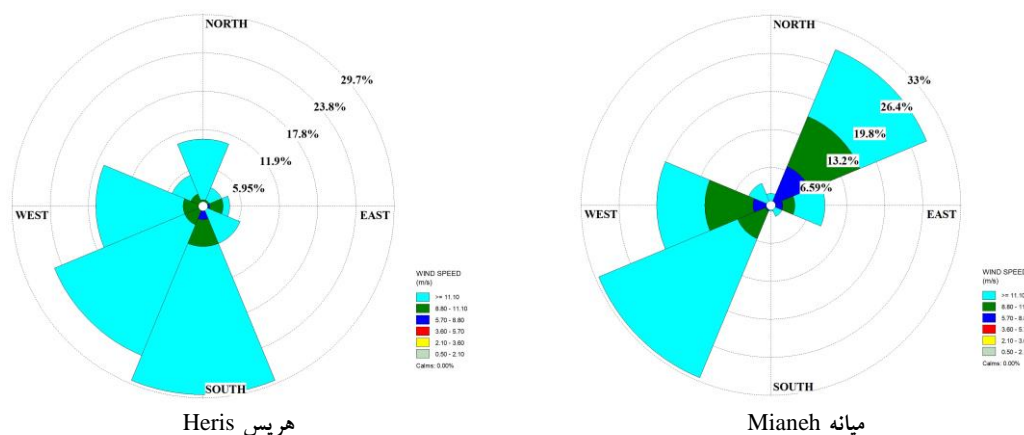
ورزقان Varzagan



بستان آباد Bostanabad



سراب Sarab



شکل ۵- گلباد مربوط به ایستگاه‌های همدیدی شرق دریاچه ارومیه
 Fig. 5. Wind Rose of the synoptic stations in the east of Lake Urmia

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با هدف بررسی روند تغییرات سرعت باد بیشینه و جهت باد غالب در شرق دریاچه ارومیه از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن و نمودار گلباد استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد میزان سرعت باد بیشینه در نواحی مختلف این منطقه یکسان نیست. از علت‌های این تفاوت، توپوگرافی منطقه و ارتفاع متفاوت ایستگاه‌های همدیدی، وجود ارتفاعات کوه سهند و جلوگیری آن از نفوذ بادهای به نواحی مختلف، تأثیر امواج مدیترانه‌ای از سمت غرب و جنوب‌غربی و امواج سرد و خشک سیبری از سمت شمال و شمال‌شرقی این منطقه است. بیشترین میزان سرعت باد بیشینه مربوط به ایستگاه‌های ورزقان و مرند و کمترین میزان آن مربوط به ایستگاه‌های کلیبر و جلفا است. مطابق نتایج آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن، تغییرات سرعت باد بیشینه در اکثر ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه هیچ روندی ندارد و یا دارای روند کاهشی است. فقط در دو ایستگاه شبستر و سهند روند افزایشی معنی‌دار وجود دارد. در ایستگاه‌های تبریز، ملکان و مراغه نیز روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد. تغییرات سرعت باد بیشینه در ایستگاه‌های کلیبر، میانه، جلفا، بستان‌آباد، بناب و سراب بدون روند، در ایستگاه‌های تبریز، مرند، اهر، ملکان، مراغه، چاراویماق و ورزقان دارای روند کاهشی و در ایستگاه‌های هریس، شبستر و سهند دارای روند افزایشی است.

مطابق نمودارهای گلباد، در اکثر ایستگاه‌ها جهت باد غالب از سمت غرب و جنوب‌غربی است. باد غالب ایستگاه‌های همدیدی بناب و سراب از سمت غرب، ایستگاه‌های اهر، چاراویماق، میانه، تبریز و ورزقان از سمت جنوب‌غربی، ایستگاه‌های بستان‌آباد، هریس، ملکان، مرند و شبستر از سمت جنوب، جلفا و کلیبر از سمت شمال‌غربی، ایستگاه مراغه از سمت شرق و ایستگاه سهند از سمت غرب و جنوب‌غربی است. از نظر

درصد وقوع بادهای شدید از یک جهت ثابت، در ایستگاه مراغه از سمت شرق، اهر و چاراویماق از سمت جنوب‌غربی و سراب از سمت غرب، بیشترین وزش باد غالب از یک جهت ثابت رخ داده است. فراوانی بادهای شدید در همه ایستگاه‌های همدیدی این منطقه بسیار زیاد بوده است. این مسئله از نظر آسیب‌پذیری این منطقه در مقابل بادهای شدید و طوفان‌ها و لزوم توجه به مباحث سازه‌ای اهمیت دارد؛ اما از دیدگاه انرژی و تولید نیرو، این منطقه دارای پتانسیل مناسبی است. با توجه به لزوم کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی به دلیل تأثیرات منفی آن‌ها بر اقلیم و وقوع گرمایش جهانی که منجر به کاهش بارش، افزایش دما، تبخیر-تعرق زیاد و در نتیجه کاهش منابع آبی می‌شود، باید حرکت به سمت استفاده از نیروی باد به‌عنوان یک منبع انرژی پاک در نظر گرفته شود. یکی از محدودیت‌های این تحقیق صرفاً مطالعه شرق دریاچه ارومیه بود. طبیعتی است اگر امکان مطالعه کل حوضه دریاچه ارومیه در جهات مختلف وجود داشت، می‌توانستیم در شرایط خشکیدگی دریاچه ارومیه و گستردگی بستر نمکی، تصویر دقیق‌تری از روند تغییرات سرعت و جهت باد داشته باشیم و برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری از دیدگاه آمایش سرزمین برای سال‌های آتی ارائه کنیم.

References

- Ahmadi, F., Khalili, K., Behmanesh, J., & Verdinzhad, V. (2013). Determination of Climate Changes on Air Temperature and Shahar-Chai River in the West of Urmia Lake Using Trend and Stationarity Analysis. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(4), 97-108. [In Persian] <https://doi.org/10.1001.1.25885952.1391.35.4.10.0>
- Allahverdipour, P., & Sattari, M. T. (2023). Comparing the performance of the multiple linear regression classic method and modern data mining methods in annual rainfall modeling (Case study: Ahvaz city). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 125-142. [In Persian] <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11337.1120>
- Allahverdipour, P., Ghorbani, M. A., & Asadi, E. (2024). Evaluating the effects of climate change on the climatic classification in Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(3), 95-112. [In Persian]. <https://doi.org/10.22098/mmws.2023.12755.1271>
- Asakereh, H., Beyranvand, A., & Doustkamian, M. (2019). Assessment of wind power in the synoptic station of Ardebil. *Spatial Planning*, 8(3), 65-82. [In Persian] <https://doi.org/10.22108/sppl.2018.110113.1179>
- Azorin-Molina, C., Rehman, S., Guijarro, J. A., McVicar, T. R., Minola, L., Chen, D., & Vicente-Serrano, S. M. (2018). Recent Trends in Wind Speed Across Saudi Arabia, 1978–2013: a Break in The Stilling. *International Journal of Climatology*, 38(1), e966-e984. <https://doi.org/10.1002/joc.5423>
- Biabani, L., Nazari Samani, A., Khosravi, H., & Kazemzadeh, M. (2019). An investigation of the trends of monthly wind speed fluctuation on the edge of Lake Urmia over the last 30

- years. *Journal of Arid Biome*, 9(1), 139-151. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008790.1398.9.1.11.5>
- Bilir, L., Imir, M., Devrim, Y., & Albostan, A. (2015). Seasonal and Yearly Wind Speed Distribution and Wind Power Density Analysis Based on Weibull Distribution Function. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(44), 15301-15310. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.140>
- Dabaghyan, A., Fazelpour, F., Abnavi, M. D., & Rosen, M. A. (2016). Evaluation of Wind Energy Potential in Province of Bushehr, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 455-466. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.148>
- Deng, K., Azorin-Molina, C., Minola, L., Zhang, G., & Chen, D. (2021). Global Near-Surface Wind Speed Changes over the Last Decades Revealed by Reanalyses and CMIP6 Model Simulations. *Journal of Climate*, 34(6), 2219-2234. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0310.1>
- Ghaedi, S. (2019). Wind Speed Trends in Iran. *Desert Management*, 7(13), 15-28. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/jdmal.2019.36529>
- Hafner, M., Tagliapietra, S., & de Strasser, L. (2018). The challenge of energy access in Africa. *Energy in Africa: Challenges and Opportunities*, 1-21. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92219-5_1
- Hanafi, A., & Iranpour, F. (2017). Evaluation and zoning of wind speed potential in the country in order to plan for wind power generation. *Journal of Climate Research*, 8(31), 73-88. [In Persian] https://clima.irimo.ir/article_68879.html
- Kendall, M. G. (1948). *Rank Correlation Methods* (3rd ed.). London: Griffin.
- Klink, K. (2015). Seasonal patterns and trends of fastest 2-min winds at coastal stations in the conterminous USA. *International Journal of Climatology*, 35(14), 4167-4175. <https://doi.org/10.1002/joc.4275>
- Libanda, B., & Paeth, H. (2023). Modelling wind speed across Zambia: Implications for wind energy. *International Journal of Climatology*, 43(2), 772-786. <https://doi.org/10.1002/joc.7826>
- Mahmood, F. H., Resen, A. K., & Khamees, A. B. (2020). Wind characteristic analysis based on Weibull distribution of Al-Salman site, Iraq. *Energy Reports*, 6, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.10.021>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mazidi, A., & Bahaaddinbeygi, H. (2021). Study of temperature, precipitation and wind speed trends in the northern and western regions of Kerman province using parametric and non-parametric tests. *Geography and Human Relationships*, 4(2), 246-254. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gahr.2021.296784.1587>
- Mofidi, A., & Kamali, S. (2012). Investigating the Structure of Dust-storms in the Sistan Region by using Regional Climate Model RegCM4; Case Study July 30, 2001. *1st National Desert Conference*, University of Tehran, Tehran, Iran. [In Persian]
- Molaei, A., & Lashkari, H. (2020). Investigation of wind speed trend changes in central Iran using ECMWF Reanalysis data. *Physical Geography Research*, 52(3), 481-498. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.295406.1007476>

- Raeispor, K., Beykrezaei, E., & Tavoosi, T. (2013). Statistical Analyze and Predicting Incident Probability of Stormy and Strong Winds in Kermanshah Province. *Geography and Environmental Planning*, 24(3), 93-106. [In Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1392.24.3.9.8>
- Raheja, L., Wadalkar, R., Chaudhuri, R. R., & Pandit, A. (2024). Surface wind speed trends for the period of 1981–2020 and their implication for a highly urbanised semi-arid Delhi–NCR and surrounding areas. *Journal of Earth System Science*, 133(2), 112.
<https://doi.org/10.1007/s12040-024-02322-2>
- Sattari, M. T., & Allahverdipour, P. (2024). Application of tree-based intelligence methods for wind speed estimation at the east of Lake Urmia. In: Kahraman, C., Cevik Onar, S., Cebi, S., Oztaysi, B., Tolga, A.C., Ucal Sari, I. (eds) Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1090. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67192-0_20
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Shi, H., Dong, Z., Xiao, N., & Huang, Q. (2021). Wind speed distributions used in wind energy assessment: a review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 769920.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.769920>
- Ying, J., Yong, L., & Zongci, Z. (2013). Maximum wind speed changes over China. *Acta Meteorology Sinica*, 27(1), 63-74. <https://doi.org/10.1007/s13351-013-0107-x>