The University of Tehran Press

Journal of Sustainable Energy Systems

Online ISSN: 2980-8693

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Assessing Wind Energy Potential In The Territorial Waters Of Hormozgan Province

Maedeh Maher[1] | Afshin Danehkar[2] | Hossein Yousefi[3*]

1. Master of Science (MSc), Land Use Planning and Environmental Assessment, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: maede9901@gmail.com
2. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: danehkar@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technologies, University of Tehran, Iran. Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 21 October 2022
Revised 20 November 2022
Accepted 11 February 2023
Published Online 06 May 2024

Keywords:
Wind energy,
Weibull distribution,
Windographer,
Hormozgan province.

ABSTRACT

Amid contemporary environmental challenges, the pursuit of clean energy solutions emerges as imperative. Wind energy, recognized as a key renewable resource, presents a viable alternative to fossil fuels for electricity generation. However, the untapped potential of wind energy in marine environments remains largely unexplored by clean energy planners. This study investigates the wind energy potential in the territorial waters of Hormozgan province, aiming to assess its suitability for electricity generation. The analysis begins with the examination of wind data collected from 190 points within the study area over the statistical period spanning from 2005 to 2016, at hourly intervals. Parameters including mean wind speed, Weibull probability distribution function, and wind power density were computed using Windographer software version 3.1.4. Subsequently, GIS10.3 software was utilized to delineate zones of wind speed and wind power densities. Results indicate that the western regions of the territorial waters of Hormozgan province exhibit the highest average wind speed (6.66 m/s) and density (322 W/m^2), suggesting their potential for offshore wind farm development. This study underscores the importance of leveraging wind energy resources in maritime environments to address energy needs sustainably and informs strategic decision-making in clean energy planning.

Cite this article: Maher, M.; Danehkar, A. & Yousefi, H. (2023). Assessing Wind Energy Potential In The Territorial Waters Of Hormozgan Province. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 2 (3), 257-271. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373708.1057

© Maedeh Maher, Afshin Danehkar, Hossein Yousefi.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373708.1057

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

The necessity for energy development research, particularly in developing nations, has become increasingly apparent amidst global industrialization. Historically, industries have heavily relied on fossil fuels, leading to severe environmental degradation and persistent challenges for humanity. In response, clean energy has emerged as a pivotal solution to mitigate these environmental concerns and foster global sustainable development. Wind energy, encompassing both onshore and offshore resources, stands out as a significant component of clean energy, recognized for its potential to address these pressing issues.Scientific analyses consistently underscore wind energy's vast and abundant potential as a global energy source. For instance, the European Environment Agency projects Europe's wind potential to reach 70,000 terawatt-hours by 2020, with a further increase to over 75,000 terawatt-hours by 2030, including economically competitive yields.

Iran, blessed with abundant wind and solar energy resources due to its unique geographical location, is poised to efficiently harness these resources. Extensive studies of Iranian synoptic wind

data over a decade reveal the feasibility of wind power generation across various regions, including coastal areas such as the Oman Sea and the Persian Gulf islands, as well as several provinces. Wind energy offers numerous advantages, notably substantial reductions in greenhouse gas emissions, with each kilowatt-hour of wind power generated estimated to reduce CO2 emissions by approximately one kilogram.The vast maritime zones in Iran's northern and southern regions have substantial potential for strategic development. Utilizing renewable energy resources, particularly in coastal and marine areas, provides a feasible route towards sustainable development. Nevertheless, there is currently a lack of comprehensive assessments regarding the feasibility and technological needs for harnessing wind and other marine energies in these regions. Due to the greater consistency of wind in coastal areas as opposed to inland regions, coastal zones offer significant opportunities for wind energy utilization.Despite this potential, Iran lacks a comprehensive assessment of its offshore wind potential, unlike leading countries prioritizing offshore wind turbine installations. Strategic documents on wind energy from China and Europe emphasize the importance of assessing and exploiting offshore wind potential. Therefore, a critical step towards developing Iran's offshore wind industry involves evaluating the feasibility of offshore turbine installations

Methodology

In this study, we aimed to estimate the potential wind energy resources in the territorial waters of Hormozgan province through a comprehensive analysis employing statistical methods and mathematical models. The analysis focused on key parameters such as wind speed, direction, and the Weibull probability distribution function. Windographer software was utilized for the calculation of wind power density at various locations. Our dataset comprised daily statistics recorded at 1-hour intervals for an extensive 11-year period spanning from 2005 to 2016. This valuable data was sourced from the SATBA database (Renewable Energy and Electricity Efficiency Organization), and collected via meteorological satellites. The study area encompassed 190 distinct points within the territorial waters of Hormozgan province, with measurements taken at heights ranging from 25 to 200 meters above sea level. Given the diversity of wind turbine installations and their operational heights, we selected the industry-standard height of 80 meters as the reference for our calculations. By meticulously analyzing wind data at this height, we aimed to provide valuable insights into the potential wind energy resources available in the region. Our findings contribute to the broader understanding of renewable energy potential in marine environments, thus offering valuable guidance for future energy planning and policy formulation.

Results and Conclusion

In response to escalating electricity demand and heightened air pollution concerns, exploring sustainable energy alternatives is paramount. Wind power, recognized for its renewable nature, offers a promising solution. Traditional land-based wind turbine placement often faces challenges, prompting interest in offshore wind farms. These installations, situated at sea, promise reduced noise and fewer conflicts with land use.

Iran's vast coastal borders offer a promising opportunity for harnessing wind energy. This study focused on analyzing the wind energy potential in Hormozgan province's coastal and territorial waters using Windographer software. The results reveal favorable wind conditions, with average speeds ranging from 4.43 to 6.66 meters per second. Areas with speeds exceeding 6 meters per second and power densities exceeding 300 W/m^2 demonstrate significant potential, especially in Bandarlange, Parsian, and Jask cities.

Despite lower potential in southern areas, wind speeds exceeding 4 meters per second and power densities exceeding 120 watts per square meter remain noteworthy. Leveraging wind energy could meet future electricity needs for industrial and residential sectors. However, selecting suitable offshore wind farm locations demands consideration of various factors, including environmental impact and economic viability. Thorough studies are crucial for informed decision-making and sustainable wind energy development.

انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

ارزیابی پتانسیل انرژی باد در آب‌های سرزمینی استان هرمزگان

مائده ماهر[۱] | افشین دانه‌کار[۲] | حسین یوسفی[۳*]

۱. کارشناس ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران. رایانامه: maede9901@gmail.com

۲. استاد گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران. رایانامه: danehkar@ut.ac.ir

۳. نویسندهٔ مسئول، دانشیار دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران. رایانامه: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

کلیدواژه:
انرژی باد،
توزیع ویبول،
ویندوگرافر،
استان هرمزگان

چکیده

امروزه بشر با چالش‌های فراوان محیط زیستی روبه‌رو است. انرژی‌های پاک یکی از راه‌های برون‌رفت از معضلات محیط زیستی حال حاضر در دنیا است. باد به عنوان یکی از منابع مهم این انرژی همواره مورد توجه بوده و جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی به منظور تولید برق است. پیکره‌های آبی گسترده‌ای در شمال و جنوب کشور وجود دارند که به طور شایسته مورد توجه برنامه‌ریزان توسعهٔ انرژی‌های پاک قرار نگرفته‌اند. این تحقیق به بررسی پتانسیل انرژی باد در آب‌های سرزمینی استان هرمزگان برای بهره‌برداری از انرژی برق و یافتن پهنه‌های مناسب سرعت و چگالی توان باد می‌پردازد. قدم اول برای دستیابی به این هدف، تجزیه‌وتحلیل داده‌های باد است. برای این منظور، داده‌های سرعت و جهت باد در ۱۹۰ نقطه از محدودهٔ مورد مطالعه طی سال‌های آماری (۲۰۰۵-۲۰۱۶) میلادی که در فاصلهٔ زمانی ۱ ساعته برداشت شده‌اند جمع‌آوری شد و میانگین سرعت باد، پارامترهای تابع توزیع احتمال ویبول و پس از آن چگالی توان باد برای تمامی نقاط به دست آمد. درخور یادآوری است که تجزیه‌وتحلیل پارامترهای باد در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر انجام گرفته است. پس از آن نیز با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS، پهنه‌های میانگین سرعت باد و چگالی توان باد تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد بالاترین میانگین سرعت و چگالی توان باد در این محدوده به‌ترتیب ۶/۶۶ (m/s) و ۳۲۲ ($\frac{W}{m^2}$) است. همچنین مطابق با نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی میانگین سرعت باد و چگالی توان باد، پهنه‌های غربی آب‌های سرزمینی استان هرمزگان پتانسیل بالاتری جهت راه‌اندازی مزارع بادی دریایی را دارند.

استناد: ماهر، مائده؛ دانه‌کار، افشین و یوسفی، حسین (۱۴۰۲). ارزیابی پتانسیل انرژی باد در آب‌های سرزمینی استان هرمزگان. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۲ (۳) ۲۵۷-۲۷۱ . DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373708.1057

© مائده ماهر، افشین دانه‌کار، حسین یوسفی.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373708.1057

۱. مقدمه

بحث انرژی در توسعهٔ روزافزون صنایع مولد دنیا به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه نیازی حیاتی محسوب می‌شود. تا به امروز، دنیای صنعت بر پاشنهٔ سوخت‌های فسیلی چرخیده که این خود خسارت محیط زیستی برگشت‌ناپذیری را بر زمین تحمیل کرده و همواره با خطر اتمام خود بشر را دچار چالش کرده است. انرژی پاک راه برون‌رفت از این چالش بزرگ و حرکت به سوی توسعهٔ پایدار جهانی است. از این‌رو، انرژی باد به عنوان حوزهٔ وسیعی از انرژی پاک، در ساحل و خشکی همواره مد نظر بوده است، لذا انرژی باد یکی از منابع مهم انرژی روی کرهٔ زمین است [۱].

تا کنون تحلیل‌های علمی بسیاری نشان داده است که انرژی باد می‌تواند یک منبع انرژی با گستردگی مناسب و با میزان زیاد در سراسر کرهٔ زمین به حساب آید. بر اساس گزارش فنی آژانس محیط زیست اروپا[1] پتانسیل باد در اروپا تا سال ۲۰۲۰ به ۷۰ هزار تراوات ساعت خواهد رسید و تا سال ۲۰۳۰ این میزان حدود ۷۵ هزار تراوات ساعت می‌شود که ۱۲۲۰۰ کیلووات ساعت از این مقدار به طور اقتصادی پتانسیل رقابتی شدن خواهد داشت [۲].

طبق آمار ارائه‌شده توسط سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق ایران (ساتبا)، جایگزینی ۱ درصد از انرژی برق بادی با انرژی برق تولیدی از نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌تواند به میزان ۳ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. به طور معمول، انرژی باد در خشکی برای تولید برق استفاده می‌شود؛ اما این نوع توربین‌های بادی خشکی دارای محدودیت‌ها و اشکالاتی است، به این دلیل که پتانسیل باد خشکی مانند پتانسیل باد در شرایط دریا، بالا نیست و نیز به دلیل نفوذ بصری و سروصدای ایجادشده توسط پروانه‌های توربین، برای انسان ناخوشایند است [۳].

بسیاری از مناطق توسعه‌یافته از لحاظ اقتصادی در مناطق ساحلی توزیع شده‌اند که اغلب در این محدوده‌ها فقدان منابع، به‌ویژه برق، وجود دارد. کمبود برق می‌تواند اثرات جدی اجتماعی و اقتصادی به دنبال داشته باشد و توجه به شرایط محلی در بهره‌برداری کامل از منابع انرژی پاک مانند باد، موج و انرژی خورشیدی تأثیر مثبتی بر کاهش بحران انرژی خواهد داشت. انرژی بادی فراساحلی یک منبع تجدیدپذیر، بی‌خطر و غیرآلاینده محسوب می‌شود که دارای ذخایر فراوان بوده و به طور گسترده‌ای توزیع شده و به همین دلیل توجه زیادی به آن شده است [۴].

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA[2]) انتشار CO_2 ناشی از احتراق سوخت در سال ۲۰۱۶ برای سومین سال متوالی ۳۲/۳ گیگا تن باقی مانده است. کشورها و مناطق عمدهٔ مسئول در انتشار آن به‌ترتیب چین (۲۸٪)، ایالات متحدهٔ آمریکا (۱۵٪)، اتحادیهٔ اروپا (۱۰٪)، روسیه (۴٪)، ژاپن (۴٪)، کره (۲٪)، ایران (۲٪) و کانادا (۲٪) است. همچنین در این گزارش بیان می‌شود که عوامل متعددی همانند اندازهٔ جمعیت، ترکیب انرژی، تولید ناخالص داخلی و عوامل دیگر در توضیح میزان کل تولید CO_2 در یک کشور مرتبط است [۵]. همان‌طور که گفته شد، کشور ایران رتبهٔ هفتم در میان تولیدکنندگان دی‌اکسید کربن را دارد.

ویرایش ۲۰۱۷ گزارش وضعیت جهانی تجدیدپذیرهای رن۲۱[3] [۶]، نشان می‌دهد گذار جهانی در عرصهٔ انرژی در حال روی دادن است، ثبت رکوردهای جدید در افزایش ظرفیت‌های نصب‌شده انرژی تجدیدپذیر، هزینه‌های به‌سرعت رو به کاهش به‌خصوص در مورد برق بادی و خورشیدی فتوولتاییک، همچنین جدا بودن رشد اقتصادی از انتشار دی‌اکسید کربن مرتبط با حامل‌های انرژی برای سومین سال متوالی، همگی بیانگر این مسئله است. در سال ۲۰۱۶ دانمارک و آلمان در بالاترین میزان، موفق به تولید به‌ترتیب ۱۴۰ درصد و ۸۶/۳ درصد از تولید برق خود از منابع تجدیدپذیر شده‌اند.

کشور ایران دارای منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر زیادی است. ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی خود دارای منابع فراوان انرژی بادی و خورشیدی است. منابع انرژی تجدیدپذیر همچون باد و خورشید، رایگان، تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست هستند. یک مطالعهٔ ۱۰ ساله از داده‌های باد ایستگاه‌های سینوپتیک ایران نشان می‌دهد تولید برق بادی در بسیاری از مناطق ایران ازجمله سواحل دریای عمان و جزایر خلیج‌فارس و همچنین در برخی از استان‌های ایران امکان‌پذیر است [۷]. یکی از مزیت‌های اصلی استفاده از انرژی باد، کاهش چشمگیر تولید گازهای گلخانه‌ای ازجمله CO_2 است [۸]. پژوهش‌های

1. the European Environment Agency
2. International Energy Agency
3. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

صورت‌گرفته نشان می‌دهد تولید یک کیلووات ساعت برق توسط نیروگاه‌های بادی حدود یک کیلوگرم از انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 را کاهش می‌دهد [۹].

پیکره‌های آبی دریایی گسترده در شمال و جنوب کشور، ظرفیت‌های قابل برنامه‌ریزی برای توسعه‌های نوین محسوب می‌شوند که تا کنون به حد کفایت مورد توجه و برنامه‌ریزی قرار نگرفته‌اند. یکی از فعالیت‌های قابل توسعه در منطقهٔ ساحلی و به‌ویژه در آب‌های ساحلی، بهره‌برداری از ظرفیت‌های تولید انرژی‌های پاک و کم‌کربن است. ضرورت دارد که مزیت‌های نسبی مناطق ساحلی و دریایی به‌ویژه در حوزهٔ انرژی‌های نو و پاک مورد توجه قرار گیرد.

در مناطق دریایی خدمات چندگانه‌ای وجود دارد که یکی از آن‌ها فرصت استحصال انرژی‌های پاک و انرژی‌های نو و یا کم‌کربن است که می‌تواند به شکل‌های مختلف باد، تابش، جزرومد، جریان و موج استحصال شود؛ اما در حال حاضر امکان‌سنجی دقیقی در این مورد صورت نگرفته است که در چه مکان و به چه میزان ظرفیت بهره‌برداری از این انرژی‌ها وجود دارد و با توجه به فنّاوری موجود، چه راهکاری برای بهره‌برداری از چنین ظرفیتی وجود دارد. انرژی باد ازجمله انرژی‌های تجدیدپذیر است که به علت گستردگی، قدرت بازدهی بالا، اقتصادی بودن و همچنین ابعاد وسیع‌تر بهره‌برداری، از جایگاه ویژه‌ای در بین سایر انرژی‌های تجدیدپذیر برخوردار است [۱۰]. از آنجا که در مناطق ساحلی تداوم وزش باد نسبت به فلات اصلی زیاد است، این مناطق پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد دارند.

در حال حاضر پتانسیل باد ایران در بخش فراساحلی تعیین نشده است و اطلس مدونی از وضعیت باد فراساحلی ایران وجود ندارد. این در حالی است که تمامی کشورهای پیشرو در عرصهٔ توربین بادی در صورت مجاورت با مناطق فراساحلی، چشم‌اندازی در راستای توسعهٔ ظرفیت توربین‌های بادی فراساحلی دارند. این مهم در مطالعهٔ اسناد راهبردی انرژی باد چین و اروپا نیز مشاهده می‌شود؛ بنابراین اولین و یکی از گام‌های مهم در راستای توسعهٔ صنعت بادی فراساحلی در ایران امکان‌سنجی نصب توربین‌های فراساحلی در ایران است.

۲. پیشینهٔ تحقیق

مطالعات متعددی در ارتباط با استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف خشکی بر اساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی انجام‌شده است؛ سلطانی و همکاران [۱۱] بیان می‌کنند نخستین قدم جهت دستیابی به انرژی باد، مکان‌یابی نقاطی با چگالی قدرت باد مناسب است. در این مطالعه ابتدا ضرایب k و c محاسبه و پس از آن چگالی قدرت باد در منطقهٔ بندر امیرآباد محاسبه شده است و مشخص شده که منطقهٔ مورد مطالعه در کلاس‌های باد پتانسیل ضعیفی دارد، در حالی که انتظاری و همکاران [۱۲] با استفاده از داده‌های روزانه و ساعتی باد طی دورهٔ ۳۰ ساله و با استفاده از روش‌های آماری و روابط ریاضی، مقدار انرژی پتانسیل باد در ارتفاع ۴۰ متری را محاسبه و برآورد کردند و سپس، به امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی بر اساس داده‌های موجود و برای سرعت باد بیش از ۴ متر بر ثانیه در سبزوار پرداختند و نیز برآورد اقتصادی از هزینهٔ توربین‌های بادی و دورهٔ بازگشت سرمایه انجام دادند.

در پژوهشی دیگر، دیاز و همکاران [۱۳] در مطالعه‌ای با عنوان «مقایسهٔ تکنیک‌های تحلیل چندمعیاره برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب سایت مزارع بادی دریایی شناور»، دو روش را برای ارزیابی رویکردهای مختلف انتخاب و همچنین فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تجزیه‌وتحلیل تصمیم چند ویژگی (MADA) با استفاده از استدلال ترکیبی شواهد (ER) و رویکرد AHP مقایسه کردند. همچنین مطالعات موردی برای تحلیل ارزیابی روش‌شناسی ارائه شد. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد هر رویکرد برای مشکلات انتخاب مکان مزرعهٔ بادی، به‌ویژه برای حمایت از تصمیم‌گیری گروهی و مدل‌سازی عدم قطعیت مناسب است. این در حالی است که طبق مطالعهٔ لو و همکاران [۱۴] با عنوان «ساخت یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر خاکستری برای انتخاب سایت مزرعهٔ بادی فراساحلی»، یک مدل ترکیبی از فرایند شبکهٔ تحلیلی مبتنی بر آزمایش و ارزیابی آزمایشگاهی تصمیم‌گیری خاکستری (DANP خاکستری) و روش‌های تحلیل رابطهٔ خاکستری مبتنی بر احتمال (P-GRA) استفاده شده است. همچنین در این مطالعه بیان شده است که DANP خاکستری نه‌تنها می‌تواند رابطهٔ شبکه تأثیرگذار معیارها را ترسیم کند، بلکه مجموعه‌ای از معیارها را نیز بر وزن‌های تأثیرگذار ایجاد می‌کند. در این مطالعه همچنین یک مطالعهٔ موردی از

یک مثال تایوان برای بررسی امکان‌سنجی مدل پیشنهادی استفاده می‌شود. درنهایت، یک تحلیل حساسیت برای نشان دادن استحکام و نوآوری مدل پیشنهادی انجام شده است.

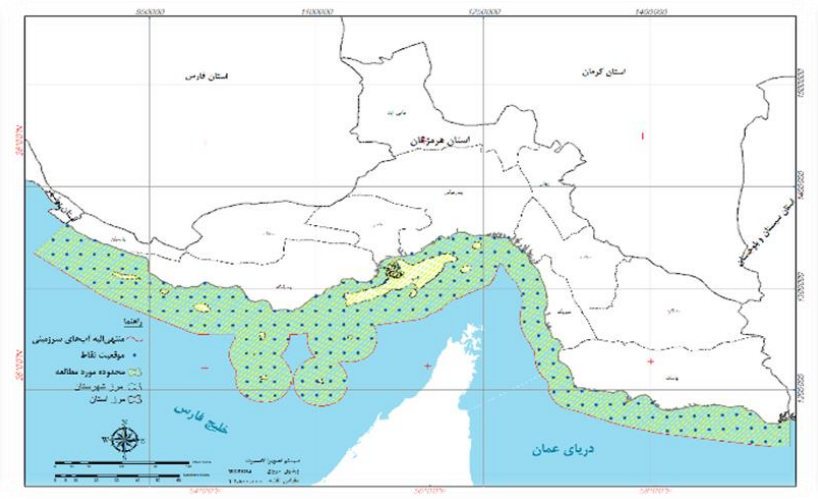
علاوه بر پژوهش‌های یادشده، سردار جنک و همکاران [۱۵] در مطالعه‌ای با عنوان «انتخاب مکان مناسب برای مزارع بادی فراساحلی در دریاهای ترکیه، رویکرد مبتنی بر GIS-MCDM»، به ارزیابی و امکان‌سنجی جامع یک نیروگاه بادی فراساحلی مورد نظر با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و راهنمایی تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) برای منطقهٔ ساحلی ترکیه پرداختند. در این مطالعه همچنین برای تعیین مکان بالقوه با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، ۳ معیار اصلی فنی (C1)، زیست‌محیطی (C2) و اجتماعی (C3) و ۱۳ زیرمعیار تعیین شده است. در صورتی که مهدی و باهاج [۱۷] با تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره به بررسی پتانسیل انرژی دریایی در مصر پرداخته‌اند. در این مطالعه روش جدیدی برای ارزیابی پتانسیل انرژی بادی فراساحلی ارائه شده است که کاربرد جهانی برای بهره‌برداری از این نوع انرژی دارد. این روش مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش‌های مقایسهٔ زوجی است که در ارتباط با ارزیابی مکانی سایت در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

آرژین و همکاران [۱۸] در مطالعه‌ای با عنوان «بررسی پتانسیل انرژی بادی دریایی در ترکیه بر پایهٔ مکان‌یابی چندمعیاره» به انتخاب مکان مناسب برای این مزارع با استفاده از معیارهای مناسب پرداختند. این مطالعه چارچوب روش‌شناختی را برای یافتن مناسب‌ترین مکان‌های مزرعهٔ بادی دریایی، با معیارهای مختلف انتخاب سایت ارائه می‌دهد. کاگلایان و همکاران [۱۹] جهت تعیین پتانسیل انرژی باد در چهار نقطه با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر قدرت خروجی به‌دست‌آمده از انرژی باد را مورد بررسی قرار دادند و منطقهٔ مناسب را از بین گزینه‌ها انتخاب کردند.

مقایسه و بررسی مطالعات داخلی و بین‌المللی نشان‌دهندهٔ این امر است که تصمیم‌گیری چندمعیاره در این قبیل مطالعات بسیار کاربردی است و می‌تواند نتایج صحیح و کاملی را ارائه دهد. این در حالی است که در برخی از مطالعات به‌خصوص مطالعات داخلی معیارها و شاخص‌ها به طور جامع مورد مطالعه نبوده‌اند و در این بخش در مطالعات داخلی نواقصی وجود دارد که سعی در رفع آن در این پژوهش شده است.

۳. محدودهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه شامل بخش دریایی استان هرمزگان است. این محدوده در موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه ۵۵ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه و ۱۴ ثانیهٔ طول شرقی و ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه و ۵ ثانیهٔ عرض شمالی واقع شده است. محدودهٔ مورد مطالعه شامل آب‌های کرانه‌ای و آب‌های ساحلی استان هرمزگان از بالاترین میزان نفوذ مد نجومی تا منتهی‌الیه آب‌های سرزمینی در دریا (۱۲ مایل دریایی از خط مبدأ) است. داده‌های باد ۱۹۰ نقطه در این محدوده تهیه شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۱ نشان‌دهندهٔ محدودهٔ مورد مطالعه و موقعیت نقاط است.



شکل ۱. محدودهٔ مورد مطالعه و موقعیت نقاط

۴. مواد و روش‌ها

به منظور برآورد اولیه انرژی قابل حصول از باد در آب‌های سرزمینی استان هرمزگان، با استفاده از روش‌های آماری و روابط ریاضی، مشخصات سرعت و جهت باد و پارامترهای تابع توزیع احتمال ویبول و پس از آن چگالی توان باد در نقاط مختلف با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر۱ محاسبه شد. به این منظور از آمار روزانه به فاصلهٔ زمانی ۱ ساعت جهت و سرعت باد طی دورهٔ آماری ۱۱ ساله (۲۰۰۵ـ ۲۰۱۶) استفاده شد. این داده‌ها حاصل از داده‌های موجود در پایگاه داده سازمان ساتبا (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق) است که با استفاده از ماهواره‌های هواشناسی به دست آمده است. داده‌های لازم در محدودهٔ مورد مطالعه شامل ۱۹۰ نقطه از آب‌های سرزمینی استان هرمزگان در ارتفاع‌های ۲۵، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ متری است. از آنجا که توربین‌های بادی در ارتفاع مختلف از سطح دریا نصب و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، با بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شد ارتفاع ۸۰ متر، ارتفاع مبنا برای اکثر توربین‌های دریایی در نظر گرفته می‌شود [۲۰]. لذا از داده‌های باد در ارتفاع ۸۰ متری جهت انجام محاسبات استفاده شد.

۴. ۱. تجزیه‌وتحلیل داده‌های باد

ارزیابی و توصیف منابع انرژی در دسترس باد اولین گام اساسی در جهت توسعهٔ مزارع بادی دریایی است. آگاهی از توزیع سرعت باد یک منطقه، نقش اساسی در تعیین و تخمین پتانسیل بادی آن منطقه دارد. با مشخص بودن این پارامتر در منطقهٔ مورد مطالعه، به‌راحتی می‌توان توان باد و شرایط اقتصادی توربین بادی را محاسبه کرد. منابع انرژی باد را می‌توان با استفاده از داده‌های بلندمدت سرعت و جهت باد جمع‌آوری‌شده از برج‌های کنترل هواشناسی محلی، دقیق‌تر ارزیابی و پیش‌بینی کرد. با این‌وجود، این رویکرد برای نقشه‌های منابع بادی در مقیاس بزرگ به‌صرفه نیست، زیرا برای ساخت و بهره‌برداری تعداد زیادی از برج‌های نظارت هواشناسی برای پوشش مناطق وسیع، هزینه‌های هنگفتی لازم است. برای ایجاد نقشه‌های بادی در مقیاس بزرگ، منابع انرژی بادی موجود به طور معمول با استفاده از داده‌های مشاهدهٔ ماهواره‌ای، روش‌های شبیه‌سازی عددی و داده‌های تحلیل مجدد پس از اعتبارسنجی با مقایسهٔ آن‌ها با داده‌های نظارت در زمان واقعی جمع‌آوری‌شده از برج‌های هواشناسی محاسبه می‌شود [۴ و ۲۱].

سرعت وزش باد ماهیتی تصادفی دارد، بنابراین لازم است که برای مدل‌سازی آن از توابع توزیع چگالی احتمال و یا تابع توزیع تجمعی احتمال مناسبی استفاده شود. با توجه به گسترده بودن پارامترهای تحلیل انرژی باد، تنها کافی است پارامترهای کلیدی برای داده‌های باد را بررسی و تحلیل کرد. ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روش، استفاده از تابع توزیع احتمال است. به تابعی که بتوان با استفاده از آن احتمال هر یک از مقادیر ممکن متغیر تصادفی را توصیف کرد، تابع توزیع احتمال گفته می‌شود؛ بنابراین تابع احتمال تابعی است که دامنهٔ آن مقادیر ممکن متغیر تصادفی و حوزهٔ آن احتمالات مربوط به هر مقدار متغیر تصادفی است [۲۲]. تجربیات نشان می‌دهد استفاده از تابع توزیع احتمال برای بررسی و انجام محاسبات آماری بیشترین کاربرد را دارد [۲۳].

انواع توابع احتمالی شامل توابع توزیع ویبول[۲]، گاما[۳] و رایله[۴] هستند [۲۴]. در زمینهٔ انرژی باد یکی از توابع مهم، تابع توزیع ویبول است [۲۵]. تابع توزیع چگالی احتمال ویبول انطباق خوبی با داده‌های سرعت، به‌خصوص در محدودهٔ سرعت توربین‌های بادی دارد و صحت آن در نقاط مختلف جهان اثبات شده است. این تابع توزیع نسبت به سایر توابع دارای مزایایی ازجمله: انعطاف‌پذیری، وابستگی به دو پارامتر، سادگی در محاسبات، برازش مناسب داده‌ها است [۲۶]. مهم‌ترین ایراد این تابع استفاده از آن برای سرعت‌های نزدیک به صفر است که احتمال وزش باد را در این نواحی به‌دقت نشان نمی‌دهد، اما با توجه به سرعت شروع عملکرد توربین‌های تجاری که در محدودهٔ ۳/۵ تا ۹/۵ متر بر ثانیه است، لذا اثرات این احتمال در سرعت‌های پایین قابل صرف‌نظر است [۲۷]. تابع توزیع احتمال ویبول به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۵]؛

1. Windographer
2. Weibull
3. Gamma
4. Rayleigh

$$f(V)=\left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right] \quad (۱)$$

V: سرعت (متر بر ثانیه)، k: یک پارامتر بدون بعد معروف به ضریب شکل (k>0)، C: ضریب مقیاس (متر بر ثانیه) و (C>1).

به طور اساسی ضریب شکل c نشان می‌دهد چه مقدار یک منطقهٔ بادخیز است، ضریب k نشان‌دهندهٔ میزان قله‌ای بودن تابع توزیع سرعت باد است؛ به این معنا که هر اندازه مقادیر سرعت باد به یک مقدار خاص نزدیک‌تر باشد، مقدار k بزرگ‌تر می‌شود. در این مطالعه برای تعیین k و c از روابط تحلیلی یا نیمه‌تجربی جاستاس[1] [۲۸] استفاده می‌شود که به صورت روابط ۲ و ۳ تعریف می‌شوند؛

$$k=\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right)^{-1.086} \quad (۲)$$

$$c=\frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (۳)$$

در این روابط σ_v انحراف معیار استاندارد و $\bar{v}$ سرعت متوسط باد (برحسب متر بر ثانیه) است. $\Gamma(x)$ تابع گاما نیز است مطابق با انتگرال زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma(x)=\int_0^{\infty} v^{x-1} exp(-v)\,dx \quad (۴)$$

همچنین می‌توان از رابطهٔ ۵ جهت محاسبهٔ پارامتر c پس از به دست آوردن پارامتر k استفاده کرد [۲۸].

$$\frac{c}{\bar{v}}=\frac{k^{2.6674}}{0.184+0.816k^{2.73855}} \quad (۵)$$

با استفاده از تابع توزیع ویبول مقادیر $\bar{v}$ و σ_U را می‌توان به صورت روابط ۶ و ۷ بیان کرد:

$$\sigma v=\sqrt{c^2\left(\Gamma\left(1+\frac{2}{k}\right)-\left[\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)\right]^2\right)} \quad (۶)$$

$$\bar{v}=\int_0^{\infty} v f_w(v)\,dV=c\Gamma(1+\frac{1}{k}) \quad (۷)$$

چگالی توان باد

برای تحلیل منابع بادی در یک منطقه، به روابط دیگری نیز نیاز است. محاسبهٔ چگالی توان باد در یک ناحیهٔ جغرافیایی، اولین و اساسی‌ترین مسئله برای استفاده از انرژی باد و برآورد پتانسیل آن و دیگر مشخصه‌های باد است. چگالی توان باد نشان‌دهندهٔ این است که چه مقدار انرژی برای تولید برق توسط باد، وجود دارد [۲۹]. لذا آگاهی از سرعت میانگین سالانه و نیز چگالی باد در انتخاب محل مناسب برای استفاده از انرژی باد از اهمیت خاصی برخوردار است.

طبق رابطه، توان اسمی باد[2] متناسب با مکعب سرعت باد و مساحت حرکت پره‌ها است و تغییر جزئی در سرعت باد موجب تغییرات چشم‌گیری در تولید انرژی باد می‌شود [۳۰]. در این رابطه ρ چگالی هوای استاندارد در سطح دریا (در این مطالعه $1/22 kg/m^3$ در نظر گرفته شده است)، $\bar{v}$ متوسط سرعت باد و A مساحت جاروب‌شده توسط پره‌های روتور (برحسب متر) و P توان باد (برحسب وات) است.

$$P=\frac{1}{2}\rho A\bar{v}^3 \quad (۸)$$

این رابطه ساده بین سرعت و قدرت باد نشان می‌دهد افزایش ۱۰٪ در سرعت نسبی باد ۳۳٪ تولید را افزایش می‌دهد [۳۱] چگالی توان باد $(\frac{W}{m^2})$ نیز از رابطهٔ ۹ به دست می‌آید:

1. Justus
2. Wind power

$$P = \frac{1}{2}\rho\bar{v}^3 \quad (۹)$$

بر اساس تابع چگالی احتمال ویبول، توان باد توسط رابطهٔ ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho\int_c^{\infty} v^3 f(v)\,dv = \frac{1}{2}\rho c^3\Gamma\left(1+\frac{3}{k}\right) \quad (۱۰)$$

که در آن ρ چگالی هوا که در شرایط استاندارد (۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا) برابر با $۱/۲۲kg/m^3$ است .چگالی هوا تابعی از حرارت و فشار است که با ارتفاع تغییر می‌کند. درخور یادآوری است که در این مطالعه از رابطهٔ ۹ به منظور برآورد چگالی توان باد استفاده شده است.

میانگین چگالی انرژی باد طی یک دورهٔ زمانی نیز طبق رابطهٔ ۱۱ تعریف می‌شود که به صورت چگالی توان باد در واحد زمان (T) برحسب ساعت است (رابطهٔ ۱۱):

$$E_D = \frac{1}{2}\rho c^3\Gamma\left(1+\frac{3}{k}\right)T \quad (۱۱)$$

۵. یافته‌های تحقیق

جهت درک کلی از وضعیت باد در آب‌های سرزمینی استان هرمزگان، با استفاده از اطلاعات سرعت و جهت باد در محدودهٔ مورد مطالعه برای ۱۹۰ نقطه مختصات در یک بازهٔ زمانی ۱۱ ساله از تاریخ ۲۰۰۵/۰۱/۰۲ تا ۲۰۱۶/۰۱/۰۲ در فواصل زمانی ۱ ساعته برای هر نقطه و در ارتفاع مبنا ۸۰ متر، با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر نسخهٔ ۳,۱,۴ محاسبات انجام گرفت. خروجی نرم‌افزار شامل ثابت‌های توزیع ویبول، پارامتر شکل (k) و پارامتر مقیاس (c)، میانگین سرعت باد و چگالی توان باد است. نتایج حاصل از خروجی این نرم‌افزار وارد نرم‌افزار اکسل شد که نتایج آن در ادامه بیان می‌شود.

مطابق جدول ۱ که به دلیل تعداد بالای نقاط مقادیر حداقل و حداکثر در آن ذکر شده است، بیشترین مقدار پارامتر شکل (k) ۶/۹۱ و کمترین مقدار پارامتر شکل ۵/۰۴۳ است. همچنین کمترین مقدار پارامتر (c) ۱/۰۸ متر بر ثانیه و بیشترین مقدار این پارامتر نیز ۲/۱۴۹ است.

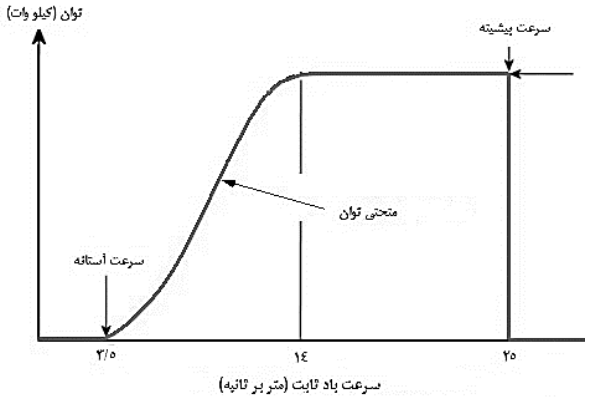
جدول ۱. حداقل و حداکثر مقادیر به‌دست‌آمده برای پارامترهای باد

پارامتر	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	چگالی توان باد (وات بر مترمربع)	ضریب k (بدون واحد)	ضریب c (متر بر ثانیه)
حداقل	۴/۴۳	۱۲۸	۵/۰۴۳	۱/۰۸
حداکثر	۶/۶۶	۳۲۲	۶/۹۱	۲/۱۴۹

۵. ۱. بررسی تغییرات میانگین سرعت باد

توربین‌های بادی در محدودهٔ خاصی از سرعت باد قادر به تولید انرژی هستند. این محدوده ۳/۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه است و پس از عبور سرعت باد از ۲۵ متر بر ثانیه توربین‌های بادی برای جلوگیری از خسارت‌های احتمالی ترمز می‌کنند و از حرکت بازمی‌ایستند. این مقادیر به‌ترتیب سرعت آستانه[1]، حدی[2] و بیشینه[3] حرکت توربین‌ها نامیده می‌شود. بررسی میانگین سرعت باد در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد به‌ترتیب کمترین و بیشترین میانگین سرعت باد برابر با ۴/۴۳ و ۶/۶۶ متر بر ثانیه است. این محدودهٔ سرعت برای تولید انرژی مناسب است، با وجود آن با افزایش سرعت باد تا سرعت حدی (سرعت بادی که در آن توربین به حداکثر توان تولیدی رسیده و با بیشتر شدن سرعت تغییری در تولید برق ایجاد نمی‌شود) توان خروجی توربین‌های بادی نیز افزایش خواهد یافت. شکل ۲ نشان‌دهندهٔ توان تولید توربین‌های بادی معمولی نسبت به سرعت باد است. مطابق شکل ۲، سرعت متوسط باد در محدودهٔ مورد مطالعه بین سرعت آستانه و حدی واقع شده است.

1. Cut- in wind speed
2. Rated output speed
3. Cut-out speed

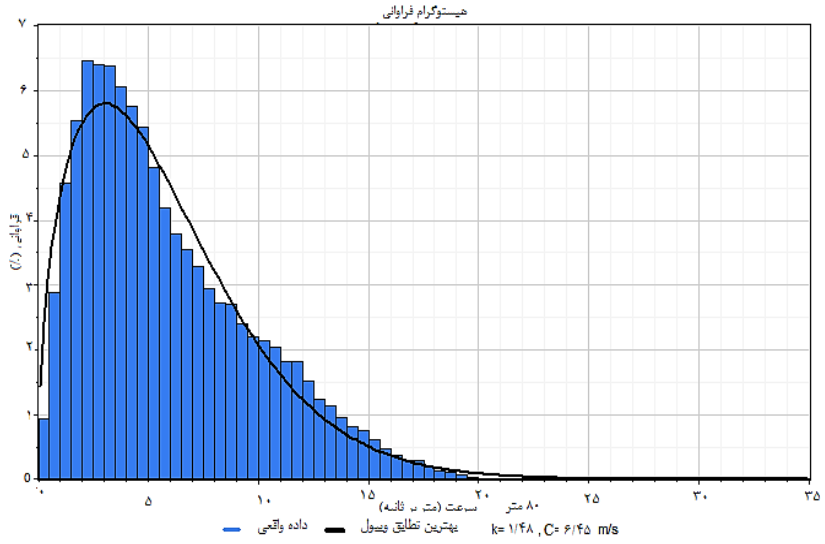


شکل ۲. خروجی توان توربین‌های بادی معمولی با سرعت باد ثابت [۳۲]

۵. ۲. نتایج برازش توزیع ویبول بر سرعت باد

برآورد مقادیر توزیع فراوانی سرعت باد در شکل ۲ نشان داده شده است، هیستوگرام فراوانی و نمودار منحنی توزیع ویبول با مقادیر k و c به‌ترتیب ۱/۴۸ و ۶/۴ برای نقطه‌ای با میانگین سرعت باد ۵/۹۲ متر بر ثانیه است. اگر نمودار ویبول به صورت نوک‌تیز باشد، مناسب نیست و هرچه قسمت گنبدی‌شکل این نمودار پهن‌تر باشد، از نظر وضعیت فراوانی سرعت باد در سرعت مورد نظر مناسب‌تر است. همچنین هنگامی که در منحنی‌های ویبول گستردگی منحنی در سرعت‌های بالا باشد، نشان می‌دهد تولید انرژی در سایت مورد نظر مطلوب‌تر خواهد بود و آن سایت پتانسیل خوبی برای احداث مزارع بادی خواهد داشت.

نمودار توزیع فراوانی سرعت باد که با توزیع ویبول برای ارتفاع ۸۰ متر برازش شده نشان می‌دهد در بیشتر نقاط محدودهٔ مورد مطالعه منحنی گنبدی‌شکل است که مناسب بودن شرایط باد در این محدوده را نشان می‌دهد. برای مثال، شکل ۳ برازش توزیع ویبول برای سرعت در یکی از نقاط محدودهٔ مورد مطالعه است، مطابق با این نمودار، منحنی در محدودهٔ سرعت ۵ متر بر ثانیه نسبتاً گنبدی‌شکل است که نشان‌دهندهٔ فرکانس نسبتاً خوب در این سرعت است.



شکل ۳. برازش فراوانی سرعت باد اندازه‌گیری‌شده با توزیع ویبول در ارتفاع ۸۰ متر

۵. ۳. بررسی تغییرات چگالی انرژی و توان باد

بررسی روند تغییرات چگالی توان باد نشان می‌دهد کمترین مقدار چگالی توان باد ۱۲۸ و بیشترین آن ۳۲۲ وات بر مترمربع است. چگالی توان باد در محدودهٔ مورد مطالعه در کلاس‌های ۱ و ۲ (جدول ۲) قرار می‌گیرد. این محدوده اگرچه در طبقات ضعیف و مرزی قرار می‌گیرد، اما با استفاده از توربین‌های مناسب در این رنج می‌توان از این منبع استفاده کرد. به‌علاوه چگالی انرژی باد

در نقطه‌ای با بالاترین چگالی توان باد، برابر با ۲/۸۵۹kWh/m²/yr است. جدول ۳ نشان‌دهندهٔ چگالی توان و انرژی باد در ارتفاع‌های ۲۵، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ متری است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع چگالی توان و انرژی باد افزایش می‌یابد.

جدول ۲. طبقات استاندارد چگالی توان باد در ارتفاع ۸۰ متر [۳۳]

	طبقات	میانگین سرعت باد (m/s)	چگالی میانگین توان باد (W/m²)
۱	ضعیف	۵–۰/۹	۲۵۰–۰
۲	مرزی	۵/۶–۹/۹	۳۸۰–۲۵۰
۳	میانی	۶/۷–۹/۵	۵۰۰–۳۸۰
۴	خوب	۷/۸–۵	۶۰۰–۵۰۰
۵	خیلی خوب	۸–۸/۵	۷۵۰–۶۰۰
۶	عالی	۸/۹–۵/۴	۹۸۰–۷۵۰
۷	خیلی عالی	۹/۱۲–۴/۸	۲۴۰۰–۹۸۰

جدول ۳. چگالی توان و انرژی باد در ارتفاعات مختلف محدودهٔ مورد مطالعه

ارتفاع / پارامتر	۲۵متر (m)	۵۰ (m)	۸۰ (m)	۱۰۰ (m)	۱۲۰ (m)	۲۰۰ (m)
چگالی میانگین توان باد (W/m^2)	۲۶۲	۳۰۱	۳۲۲	۳۳۳	۳۴۱	۳۶۲
چگالی انرژی باد ($kWh/m^2/yr$)	۲/۳۳۲	۲/۶۷۲	۲/۸۵۹	۲/۹۵۰	۳/۰۱۰	۳/۲۲۰

۵. ۴. درصد وقوع باد در ایام سال

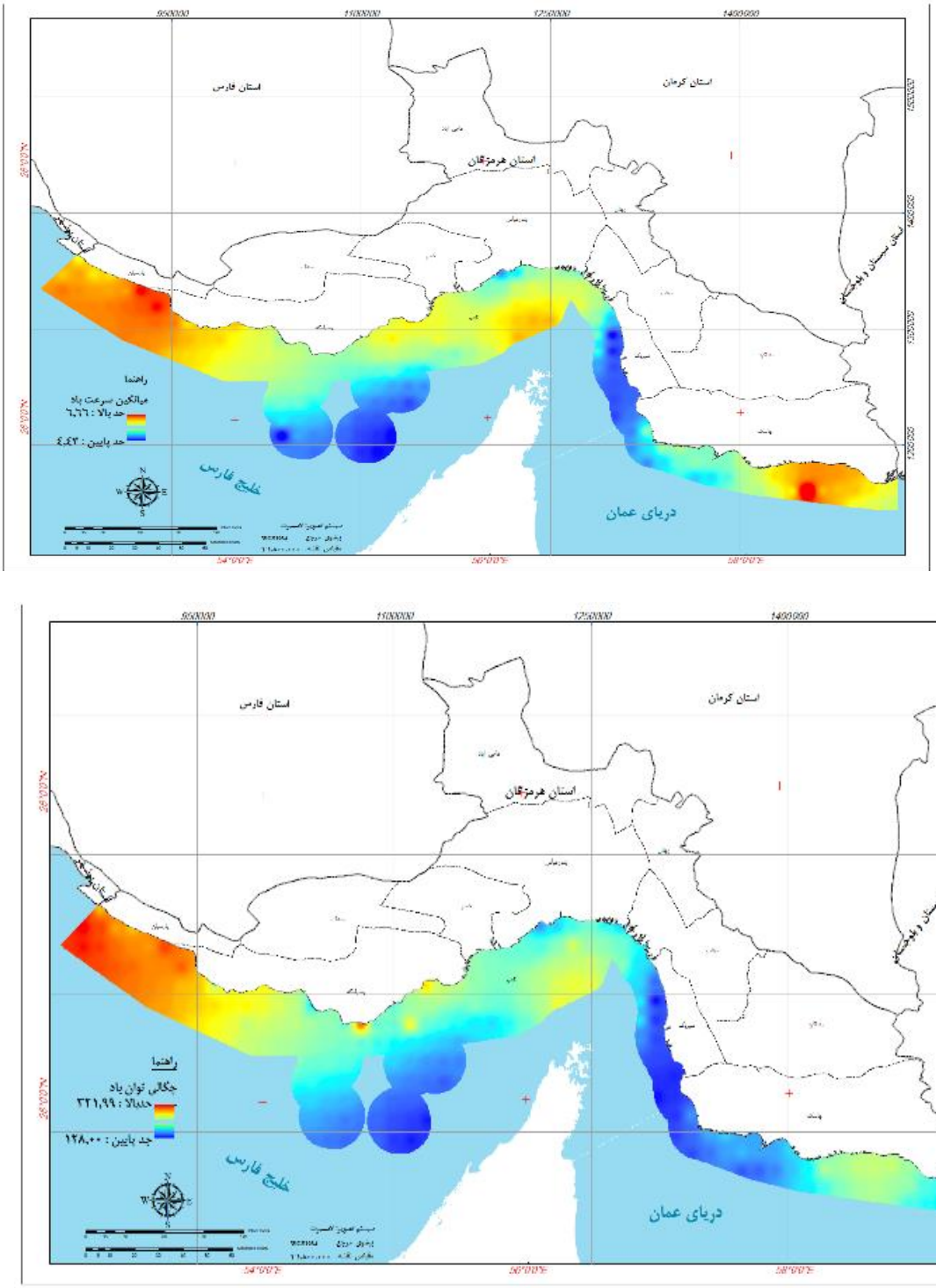
این پارامتر برای محدودهٔ مورد مطالعه در این پژوهش نتایج خوبی ارائه داده است، به طوری که با در نظر گرفتن سرعت شروع به حرکت توربین‌های بادی، بیش از ۶۵ درصد ایام سال در تمامی نقاط، سرعت باد بیش از سرعت راه‌اندازی توربین‌ها است به این معنا که در بیش از ۶۵ درصد ایام سال باد با سرعت بیش از ۳/۵ متر بر ثانیه (سرعت شروع به حرکت توربین‌های بادی) می‌وزد که نشان‌دهندهٔ شرایط مناسب جهت نصب و احداث مزارع بادی است.

۵. ۵. پهنه‌بندی سرعت باد

پهنه‌بندی سرعت باد در آب‌های سرزمینی استان هرمزگان در ارتفاع مبنا (۸۰ متر) حداقل سرعت ۴/۴۳ و حداکثر ۶/۶۶ متر بر ثانیه است. همچنین با توجه به شکل ۴ بخش‌های غربی محدودهٔ مورد مطالعه و بخش‌هایی از آب‌های سرزمینی در محدودهٔ جاسک میانگین سرعت باد بیش از ۵ متر بر ثانیه طی سال است.

۵. ۶. پهنه‌بندی چگالی توان باد

پهنه‌بندی چگالی توان باد در ارتفاع ۸۰ متری با حداقل ۱۲۸ و حداکثر ۳۲۲ وات بر مربع در محدودهٔ مورد مطالعه با توجه به طبقه‌بندی استاندارد چگالی توان باد (جدول ۲) از نظر کلاس‌بندی در طبقات ۱، ۲ قرار می‌گیرد، نشان‌دهندهٔ مناسب بودن نسبی چگالی توان باد در بخش‌هایی از محدودهٔ مورد مطالعه جهت استحصال انرژی باد است. شکل ۵ نشان‌دهندهٔ پهنه‌بندی چگالی توان باد در ارتفاع ۸۰ متری است. با توجه به نقشهٔ پهنه‌بندی چگالی توان باد می‌توان دریافت که پهنه‌های غربی از پتانسیل بالاتری جهت بهره‌مندی از انرژی بادی است.



شکل ۵. پهنه‌بندی چگالی توان باد

۶. نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز روزافزون به انرژی برق و نیز افزایش آلودگی هوا ناشی از گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق لازم است تا جایگزین‌های مناسبی برای تولید برق به شیوه‌های معمول تعیین شود. یکی از روش‌های جایگزین، تولید برق بادی است. از آنجا که مکان‌یابی توربین‌های بادی در خشکی همواره با مشکلات و تعارض‌هایی همراه بوده، لذا گزینهٔ مناسب برای بهره‌وری از این نوع انرژی روی آوردن به فناوری‌های نوین همچون احداث مزارع باد دریایی است. این مزارع با توجه به فاصله از خشکی و به

دنبال آن کاهش سروصدا و همچنین کاهش تعارض‌ها با سایر کاربری‌ها گزینهٔ مناسبی است که کشورهای پیشرفته به سمت بهره‌برداری از این منبع بی‌پایان پیش می‌روند. کشور ایران نیز به دلیل داشتن مرزهای آبی فراوان در شمال و جنوب کشور قادر است از این منبع به نحو احسن استفاده کند. محدودهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، از سواحل استان هرمزگان تا منتهی‌الیه آب‌های سرزمینی در نظر گرفته شده است.

در این مطالعه، تحلیل آماری پتانسیل انرژی باد با استفاده از تجزیه‌وتحلیل پارامترهای باد و تابع توزیع ویبول، با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر برای آب‌های سرزمینی در محدودهٔ استان هرمزگان انجام شد. طبق این پژوهش رژیم باد منطقه از نظر پارامترهای مربوط به باد نسبتاً مناسب است. بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته و با توجه به محدودهٔ وسیع مطالعه و تعداد بالای نقاط و همچنین تنوع مکانی آن‌ها سبب ایجاد طیف وسیعی از نتایج در این مطالعه شد، میانگین سرعت باد در دامنهٔ ۴/۴۳ تا ۶/۶۶ متر بر ثانیه است. این محدوده اگرچه در محدودهٔ سرعت باد مورد نیاز جهت تولید انرژی توسط توربین‌های بادی واقع است، اما باید در نظر داشت که سرعت‌های باد بالاتر صرفهٔ اقتصادی بیشتری برای بهره‌برداری از این نوع انرژی خواهند داشت. همچنین با توجه به تنوع توربین‌های ساخته‌شده و پیشرفت‌های آتی تکنولوژی، مناطق پهنه‌بندی‌شده دارای سرعت بالاتر از ۵ متر بر ثانیه می‌توانند ظرفیت نصب توربین و احداث مزارع بادی با صرفهٔ اقتصادی بالاتر را در آیندهٔ نه چندان دور داشته باشند. چگالی توان باد در محدودهٔ ۱۲۸ تا ۳۲۱/۹۹ وات بر مترمربع قرار دارد و مطابق طبقه‌بندی چگالی توان باد در محدودهٔ ضعیف و مرزی قرار می‌گیرد که با توجه به نوع توربین و ارتفاع مورد نظر انرژی قابل استحصال متفاوتی خواهد داشت. همچنین در نقطه‌ای با بالاترین چگالی توان باد، چگالی انرژی باد برابر با ۲/۸۵۹ کیلووات بر مترمربع در سال است که با افزایش ارتفاع انرژی و توان قابل استحصال نیز افزایش می‌یابد.

بررسی نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی میانگین سرعت باد و چگالی توان باد نشان می‌دهد بخش‌های غربی و شرقی محدودهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ شهرستان‌های بندرلنگه، پارسیان و جاسک درمجموع با توجه به پارامترهای میانگین سرعت باد و چگالی توان باد (میانگین سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه و بیش از ۳۰۰ وات بر مترمربع چگالی توان باد طی دورهٔ آماری) از پتانسیل بالاتری جهت استحصال انرژی باد نسبت به سایر پهنه‌ها برخوردار است. همچنین بخش‌های جنوبی محدودهٔ مورد مطالعه از پتانسیل نسبتاً پایینی برخوردار است، با این‌وجود میانگین سرعت باد در این مناطق بالاتر از ۴ متر بر ثانیه و همچنین چگالی توان باد نیز بالاتر از ۱۲۰ وات بر مربع است که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

از آنجا که مناطق ساحلی کشور به‌ویژه هرمزگان در حال توسعه اقتصادی بوده و بسیاری از صنایع کوچک و بزرگ در آن واقع است و یا در آینده استقرار خواهند یافت، دسترسی به یک منبع برق پاک و لایزال برای تأمین نیازهای برقی صنایع و مناطق مسکونی در آینده ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از پتانسیل انرژی باد نسبت به انواع انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی و همچنین پتانسیل منطقه برای توسعه، ایجاب می‌کند تا توجه بیشتری به بهره‌برداری از این نوع انرژی در این استان شود. همچنین باید در نظر داشت پارامترهای مربوط به باد تنها مسائل دخیل دریافتن پهنه‌های مناسب برای توسعهٔ مزارع بادی فراساحلی نیستند، چه‌بسا مناطق مناسبی از جهت پتانسیل باد وجود داشته اما به دلایلی مانند عدم سازگاری با محیط زیست و یا مسائل مربوط به سود و زیان اقتصادی قابلیت توسعهٔ این مزارع را نداشته باشند؛ بنابراین یافتن مکان دقیق احداث مزارع بادی فراساحلی نیاز به مطالعات دقیق در حوزه‌های مختلف و توجه به سایر پارامترها ازجمله فاصله از ساحل، عمق آب، مناطق حساس اکولوژیک و دیگر موارد است. با توجه به برخی محدودیت‌های داده‌ای همانند محدودیت در دسترسی به پهنه‌های نظامی به منظور حذف از پهنه‌های مناسب، به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌شود این شاخص مهم را در مطالعات خود در نظر گیرند. همچنین ذکر این نکته ضروری است که روش استفاده‌شده در پژوهش حاضر قابل تعمیم به سایر مناطق دریایی نیز هست، زیرا این مطالعه بر اساس بررسی مقالات داخلی و بین‌المللی فراوان در حوزهٔ انرژی بادی دریایی است.

منابع

Efjeei, E. Siadatian, and et al. "Offshore wind power plant from the AC transmission process to the onshore grid connection" Niaze Danesh. 2015.

Swart, R. J, Coppens, C. Gordijn, H, M. Piek, P. Ruyssenaars, J. J. Schrander, P. de Smet et al. Europe's onshore and offshore wind energy potential: An assessment of environmental and economic constraints. No. 6/2009. European Environment Agency, 2009.

Rezaeei Monfared, H. Sedaghat, A. Oskoeei, A. "Investigating the possibility of using offshore wind turbines for electricity generation: a case study of Khark Island" Jahad daneshgahi Hormozgan. 2015.

Zheng, CW, Li CY, Pan J, Liu MY, Xia LL. An overview of global ocean wind energy resource evaluations. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016 Jan 1; 53:1240-51.

IEA2020. "CO2 Emissions from Fuel Combustion. "Retrieved 2020/01/02, from http://energyatlas.iea.org. (2020).

Abdolahi, J. Seyedan M. " Advancing the Global Renewable Energy Transition REN21 Key Points of the 2017 Global Renewables Status Report REN21 at a Glance" 2018.

GANDOMKAR, A. "Wind energy potential estimation in Iran." (2010): 85-100.

Aydin NY, Kentel E, Duzgun S. GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010 Jan 1;14(1):364-73.

Razmi, J. Hakimi Asl, A and et all. "Evaluation of the construction of wind power plants in five Iranian cities using the fuzzy hierarchical analysis method" Development of industrial technology, 2014.

Hajilo, F. Jelokhani, M. " Site selection of wind power plants using ANP-OWA model, case study: Zanjan province"Scientific Research Journal of Mapping Sciences and Techniques". 2016.

Soltani, S. Gholamian, S. Dastjani, K. Investigating the potential of wind energy in Amirabad port in order to establish the feasibility of establishing a wind power plant, Iranian Energy Journal ". Iran Energy Journal. 2010.

Entezari, A. AmirAhmadi, A. Erfani, A. "Evaluation of wind energy potential and the feasibility of building a wind power plant in Sabzevar, geographical studies of dry areas". Geographical studies of dry areas. 2012.

Díaz, H. Loughne, S. " Comparison of multicriteria analysis techniques for decision making on floating offshore wind farms site selection". Ocean Engineering. 2022.

Huai-Wei Lo, a. Chao-Che Hsu, b. Bo-Cheng Chen, c. James J.H. Liou. "Building a grey-based multi-criteria decision-making model for offshore wind farm site selection". Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2021.

Serdar Genç,M. Karipoğlu,F and et, all. "Suitable site selection for offshore wind farms in Turkey’s seas: GIS-MCDM based approach". Earth Science Informatics, 2021.

Fazelpour F, Markarian E, Soltani N. Wind energy potential and economic assessment of four locations in Sistan and Balouchestan province in Iran. Renewable Energy. 2017 Aug 1;109:646-67.

Mahdy M, Bahaj AS. Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. Renewable energy. 2018 Apr 1;118:278-89.

Argin M, Yerci V, Erdogan N, Kucuksari S, Cali U. Exploring the offshore wind energy potential of Turkey based on multi-criteria site selection. Energy Strategy Reviews. 2019 Jan 1;23:33-46.

Caglayan I, Tikiz I, Turkmen AC, Celik C, Soyhan GG. Analysis of wind energy potential; A case study of Kocaeli University campus. Fuel. 2019 Oct 1;253:1333-41.

LotfiKhah, S. MirHosseini, M, YaghobZadeh, M. " Report on the development of a model to determine the optimal state of spatial development, maritime spatial planning (MSP) studies in Hormozgan province". Banader v Daryaie organization, Mohandesin Moshaver Sazehpardazi Iran. 2019.

Waewsak, J., M. Landry and Y. J. R. E. Gagnon (2015). "Offshore wind power potential of the Gulf of Thailand." 81: 609-626.

Asakereh, H. " Basics of statistical climatology". Zanjan University Publishers, 2011.

Salahi, B. " Wind energy potential and fitting of real wind occurrence probabilities using Weibull probability density function in synoptic stations of Ardabil province" Geographical Research Quarterly, 2004.

Fazeli, S.: Feasibility of building a wind power plant in Khaf area of Razavi Khorasan province". The 5th Iran Wind Energy Conference, 2017

Masters GM. Renewable and efficient electric power systems. John Wiley & Sons; 2013 Jun 5.

Carta JA, Ramirez P, Velazquez S. A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands. Renewable and sustainable energy reviews. 2009 Jun 1;13(5):933-55.

Keyhani A, Ghasemi-Varnamkhasti M, Khanali M, Abbaszadeh R. An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran. Energy. 2010 Jan 1;35(1):188-201.

Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons; 2010 Sep 14

Zahedi, M. Salahi, B. Jamil, M. " Calculation of wind density and power in order to use its energy in Ardabil". Geographical research, 2005.

Al Buhairi MH. A statistical analysis of wind speed data and an assessment of wind energy potential in Taiz-Yemen. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 2006 Oct;9(2):21-33.

Karimirad M. Offshore energy structures: for wind power, wave energy and hybrid marine platforms. Springer; 2014 Dec 5.

Wind Power Program, http://www.wind-power program.com/popups/powercurve.htm

Faghani GR, Ashrafi ZN, Sedaghat A. Extrapolating wind data at high altitudes with high precision methods for accurate evaluation of wind power density, case study: Center of Iran. Energy conversion and management. 2018 Feb 1;157:317-38.