

ارزیابی انرژی باد فراساحلی برای تأمین انرژی الکتریکی سکوهای نفت و گاز فراساحلی دریای خزر

سجاد زرشکیان^۱، داریوش منصوری^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور s.zereshkian@gmail.com

^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار، گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور mansoury@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۲

چکیده

تحقیق پیش رو با هدف محاسبه انرژی باد فراساحلی در ترازهای مختلف جوی از سطح تا تراز ۲۰۰ متری، میدان رژیم باد در سه حوضه شمالی، میانی و جنوبی دریای خزر بررسی شده است. در این زمینه داده مؤلفه‌های سرعت باد پایگاه ECMWF در ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا با دقت مکانی ۰/۱۲۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته، برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ گردآوری و با نرم‌افزار پایفرت میانگین سرعت و انرژی باد به صورت ماهانه و سالانه برای سه حوضه خزر بررسی و پتانسیل این منبع تجدیدپذیر برای تعدادی از مهم‌ترین میدان‌های هر حوضه ارزیابی شده است. یافته‌ها، حوضه میانی و شمالی را با مقدار میانگین سالانه انرژی، ۱/۴ و ۱/۶ مگاوات ساعت بر مترمربع در ارتفاع شاخص ۱۰ متر نشان می‌دهند؛ به لحاظ بهره‌مندی از بیشینه انرژی باد برای تأمین بخشی از انرژی الکتریکی سکوهای نفت و گاز فراساحل مناسب هستند که این مقدار انرژی ارتفاعات بالاتر از سطح دریا افزایش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین توان تولیدی در توربین بادی زمینس در ماه، در چهار میدان نفت و گاز فراساحلی نشان داد که میدان کاشگن واقع در حوضه شمالی، با میانگین ماهانه ۴۴۸/۸ مگاوات ساعت دارای بیشترین میزان توان تولیدی و میدان‌های گانشلی، سردار جنگل و اینکیه‌مور به ترتیب با توان تولیدی ۳۳۶/۶، ۱۵۵/۶ و ۱۱۹/۴ مگاوات ساعت در ماه به لحاظ توان خروجی در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد فراساحلی، سکوهای نفت و گاز، دریای خزر

۱. مقدمه

رشد فزاینده آلودگی به‌ویژه در صنایع نفتی و شیمیایی که همواره بیشترین آلودگی را در سراسر جهان به محیط‌زیست تحمیل کرده‌اند، جوامع انسانی را بر آن داشته تا به سمت فرایندهای تولید پاک و استفاده منطقی از انرژی روی آورند.

به طوری که امروزه انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی را در تولید برق ایفا می‌کنند [۱]. منابع تجدیدپذیر، در حقیقت انرژی‌های پایان‌ناپذیر، پاک، بومی و رایگان هستند که مزیت اصلی در بهره‌برداری از آن‌ها، دسترسی بی‌پایان و رهایی از بسیاری از اشکال گازهای مضر و سوخت‌های فسیلی است

مزارع باد فراساحلی نمایند [۱۴، ۱۵].

۱-۱. سکوهای نفت و گاز فراساحلی

مصرف برق یک سکوی فراساحلی، در محدوده‌ای از ۱۰ تا ۵۰ مگاوات قرار دارد، در حالی که این محدوده برای یک سکوی کوچک‌تر بی‌سرنشین، از ۶ تا ۷ مگاوات متغیر است [۱۶]. بنابراین بسته به نوع استفاده از سکوها و عمق آب می‌توان آن‌ها را در غالب: (۱) تأسیسات / سکوهای حفاری قابل حمل و نقل فراساحلی (۲) انواع سکوها و دکل‌های نفت فراساحلی (۳) کرجی‌های حفاری (۴) سکوها / دکل‌های حفاری شناور (۵) سکوها / دکل‌های حفاری نیمه شناور (۶) سکوها / دکل‌های قابل حمل، دسته‌بندی نمود. [۲] اخیراً تجربه‌های قابل توجهی در زمینه ادغام سکوهای نفت و گاز با تأسیسات باد فراساحلی انجام شده که موفقیت فناوری قدرت باد فراساحلی را به امری ثابت شده مبدل ساخته است، [۱۶] و [۲] بنابراین انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰، تقریباً ۴۰ گیگاوات قدرت باد فراساحلی در اروپا (به نسبت ۳ گیگاوات گزارش شده در سال ۲۰۱۰) مورد بهره‌برداری قرار گیرد [۱۷].

در مورد صنعت نفت و گاز به‌طور خاص؛ گام اول تعیین و ارزیابی انرژی‌های اولیه موجود در اطراف یک سکو مانند باد، موج و تابش خورشید و غیره است که متعاقب آن، الزامات مصرف نهایی بار الکتریکی مورد نیاز سکو مانند اندازه، ویژگی‌های دینامیکی، عملکرد دقیق، دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان، توسط کارشناسان مهندسی برق و مکانیک تراز می‌شود و در نهایت، عرضه و تقاضای انرژی به‌واسطه فناوری‌های تجاری موجود تطبیق می‌یابد. در واقع این ارزیابی‌های پیچیده و منحصر به فرد به مقتضای ویژگی‌ها و شرایط عملیاتی و محیطی هر سکو صورت می‌پذیرد [۵]. به نظر می‌رسد که باد و خورشید، دو منبع انرژی جایگزین ایده‌آل برای تأمین مقادیر نامتناهی از انرژی پاک برای تأسیسات فراساحلی‌اند [۲].

این تحقیق به ارزیابی انرژی باد فراساحلی دریای خزر به‌عنوان منطقه‌ای سرشار از ذخایر سوخت‌های فسیلی، با هدف تأمین بخش از انرژی الکتریکی سکوهای نفت و گاز

[۲]. در یک تعریف بنیادی، منابع تجدیدپذیر به انرژی‌هایی اطلاق می‌شود که از طریق جریان‌های طبیعی و مداوم انرژی که به‌صورت آنی در محیط رخ می‌دهند به‌دست می‌آید [۳]. در واقع این تعریف بر مفاهیم فنی و عملیاتی دلالت دارد که باید به تناسب ویژگی‌های هر واحد صنعتی تبیین و تحلیل شود. بنابراین، اولین و مهم‌ترین گام؛ کاوش محیط و شناسایی جریان‌های انرژی پیرامون آن و جمع‌آوری داده‌های هواشناسی است. در طول دهه گذشته سطوح بالای مصرف انرژی در کنار الزامات قانونی جدیدی که بر استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکزند؛ فرصت بی‌ظنیری را در به‌کارگیری از انرژی سبز، برای کارخانه‌های صنعتی به صورت عملی و قابل اطمینان پدید آورده‌اند [۴] به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۰، تنها ۸٪ از کل انرژی مصرفی صنایع نفتی ایالات متحده آمریکا از طریق منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شد؛ اما در حال حاضر بیش از نیمی از ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر، در تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵].

یکی از قابل‌دسترس‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد است که در این راستا مطالعات و بررسی‌های بسیاری پیرامون منابع باد در نقاط مختلف انجام شده است [۶، ۷]. قرن‌هاست که از قدرت باد برای فرایندهای صنعتی مانند آسیاب‌های بادی و پمپاژ آب استفاده شده است. امروزه استخراج قدرت از باد به‌واسطه توربین‌ها و سیستم‌های تبدیل انرژی پیشرفته صورت می‌گیرد که به‌خودی‌خود به یک صنعت پیشگام مبدل شده است [۸].

در طول سال‌های اخیر، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر بادی، به تدریج در نواحی فراساحلی؛ که شدت باد از تراکم انرژی بالاتری نسبت به مناطق نزدیک به ساحل برخوردار است؛ توسعه یافته‌اند [۹]. مزیت حرکت چنین پروژه‌هایی به سمت مناطق فراتر از ساحل، افزایش پایداری و سرعت باد در مناطق فراساحلی است که در ترکیب با توربین‌های بادی بزرگ‌تر، قدرت برق تولیدی را به میزان قابل توجه افزایش می‌دهد [۱۰-۱۱]. از سوی دیگر محدودیت زمین و رقابت در استفاده از منابع باد، همچنین ظهور فناوری‌های جدید در حوزه مهندسی دریا [۱۲، ۱۳] سبب شده تا بسیاری از کشورها اقدام به تأسیس

می‌گذرد و مرز میان دو حوضه میانی و جنوبی، آستانه آپشرون؛ که از میان جزیره ژیلوئی و دماغه کولی می‌گذرد، است [۱۹].



شکل ۱: تقسیم‌بندی فیزیکی دریای خزر [۱۹]

یکی از معیارهای مهم در احداث مکان‌های فراساحلی برای استحصال انرژی باد همچون نیروگاه‌های بادی، اندازه‌گیری سرعت‌های میانگین ماهانه و سالانه و نیز چگالی قدرت باد است [۲۳]. در این تحقیق داده‌های باد به دلیل عدم وجود داده‌های مشاهداتی در مناطق فراساحلی دریای خزر، از سایت مرکز اروپایی پیش‌بینی هوا یا به اختصار ECMWF گرفته شده است. که یکی از معتبرترین سایت‌های هواشناسی است و در بسیاری از تحقیقات علمی مانند مطالعه‌انی و روسو به عنوان ارزیابی انرژی باد در طول حوضه آبی دریای سیاه از داده‌های این مرکز به منظور بررسی باد مناطق فراساحلی استفاده شده است که در نتایج آن‌ها به سازگاری داده‌های اندازه‌گیری و مدل عددی ECMWF با تغییرات فضایی و فصلی شرایط بادی اشاره شده است [۶].

مدل عددی ERA-Interim, Daily ECMWF با داده‌های ماهواره‌ای درستی‌سنجی شده که در خروجی خود پارامترهای زیادی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در این تحقیق مؤلفه‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر با دقت مکانی

فراساحلی می‌پردازد که در این رابطه سرعت باد فراساحلی در سه حوضه شمالی، میانی و جنوبی دریای خزر با استفاده از داده‌های روزانه سرعت باد پایگاه ERA-Interim متعلق به مرکز پیش‌بینی داده‌های میان مدت جوی اروپا ECMWF^۱ بررسی شده و فراسنج‌های مورد نیاز برای پتانسیل‌سنجی این انرژی استخراج شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. بررسی منطقه خزر و داده‌های محیطی

دریای خزر، بزرگ‌ترین بدنه آبی بسته جهان (با داشتن ۴۰٪ از آب‌های داخلی) با مساحت و حجمی معادل 371000 km^2 و 87200 km^3 ، از شمال توسط روسیه و قزاقستان، از شرق توسط ترکمنستان، از جنوب از سوی ایران و از غرب توسط آذربایجان احاطه شده است [۶]. تقسیمات خزر، به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناختی و هواشناسی قابل توجه است: قسمت شمالی خزر تنها شامل فلات خزر است [۱۸]. که ویژگی آن عمق بسیار کم این ناحیه است که با میانگین عمق بین ۵ تا ۶ متر، تنها ۱ درصد از حجم کل آب دریای خزر را در خود جای می‌دهد. عمق دریا با حرکت به سمت قسمت‌های میانی به‌طور محسوسی زیاد شده و میانگین به ۱۹۰ متر می‌رسد [۱۹]. عمیق‌ترین قسمت خزر بخش جنوبی آن است که در برخی مناطق عمقی بیش از ۱۰۰۰ متر دارد. بخش میانی و جنوبی دریای خزر به ترتیب ۳۳٪ و ۶۶٪ از حجم کل آب خزر را شامل می‌شوند [۲۰].

دریای خزر را می‌توان مهم‌ترین منبع ذخیره انرژی در نظر گرفت که البته این توجه در حال حاضر به دلیل تعدد پروژه‌های نفت و گاز فراساحلی در حوضه‌های شمالی، میانی و جنوبی اغلب به ذخایر سوخت فسیلی محدود شده در حالی که منافع احتمالی منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد هنوز به خوبی مورد بررسی و توجه قرار نگرفته است [۲۱]. این حوضه آبی به لحاظ فیزیکی نیز به سه منطقه شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می‌شود [۲۲]. که مطابق شکل یک مرز بین دو حوضه شمالی و میانی، آستانه منطقه منگی‌شالک؛ که از میان جزیره چچن و دماغه تیوب کاراگان

نرخ توان خروجی، P_{rated} توربین از رابطه (۳) استفاده شده است [۲۷].

$$P_{rated} = A_r \times PD \times \eta \quad (۳)$$

به طوری که A_r مساحت جاروب شده روتور بر حسب (m^2) ، و η نرخ بهره‌وری تعیین شده از سوی کارخانه سازنده توربین انتخابی است.

مساحت جاروب شده توسط روتور توربین بادی A_r را می‌توان با استفاده از رابطه (۴) به دست آورد [۲۷].

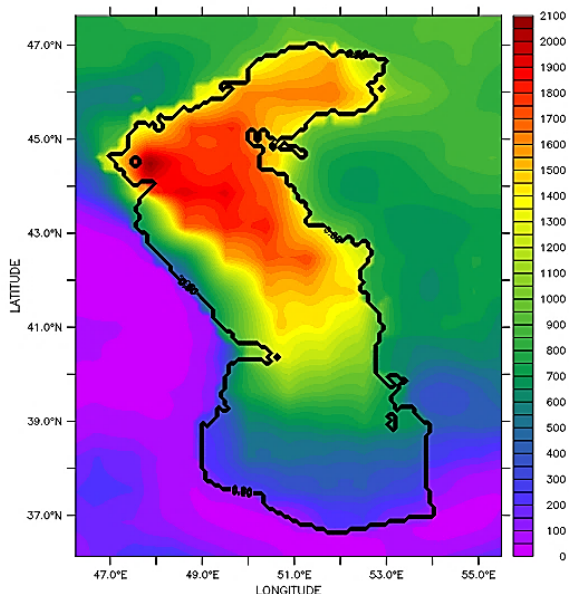
$$A_r = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (۴)$$

به طوری که D برابر با قطر روتور برای توربین بادی انتخاب شده است.

۳. یافته‌ها

۳-۱. محاسبه سالانه انرژی باد در حوضه‌های دریای خزر

در شکل‌های ۲ تا ۵، نقشه پراکنش مکانی میانگین ۱۰ سالانه انرژی باد بر فراز دریای خزر با بررسی این انرژی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ برای ارتفاع‌های شاخص ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متر با بهره‌بردن از رابطه‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. میانگین ۱۰ ساله انرژی باد در ارتفاع ۱۰ متر بر حسب kWh/m^2

۰/۱۲۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته برای بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ استخراج شده و با نرم‌افزار پایفرت^۲ ابتدا میانگین ۱۰ ساله باد بر فراز دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته شده است و با بررسی یک میدان مهم و استراتژیک در هر حوضه مطالعات انجام شده به سمت ارزیابی انرژی باد فراساحلی برای تأمین بخشی از انرژی الکتریکی مبادی فراساحلی متمرکز می‌شود.

۲-۲. تئوری و محاسبات

برای تبدیل سرعت باد از ارتفاع ۱۰ متر به ارتفاعات بالاتر به منظور بررسی چگالی قدرت باد در ارتفاعات و بهره‌برداری از آن در راه‌اندازی توربین‌های بادی، از رابطه (۱) به عنوان یک فرمول تجربی استفاده شده است [۲۴].

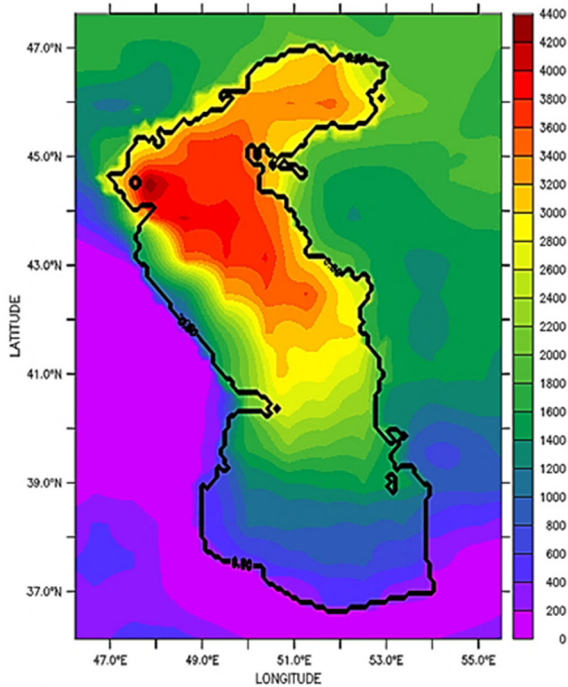
$$\frac{v}{v_{ref}} = \left(\ln \frac{Z}{Z_0} / \ln \frac{Z_{ref}}{Z_0} \right) \quad (۱)$$

به طوری که v سرعت باد بر حسب (m/s) در ارتفاع Z (موردنظر) و v_{ref} سرعت باد در ارتفاع Z_{ref} (ارتفاع مبنا برابر با ۱۰ متر) است. در این معادله، Z_0 بیانگر درجه زیری یا طول زبری سطحی است که به عوارض سطحی، زمان، سرعت باد و دما بستگی دارد که برای سطوح صاف مانند سطح دریاها این مقدار برابر $۰/۰۰۰۲$ متر در نظر گرفته می‌شود [۲۵].

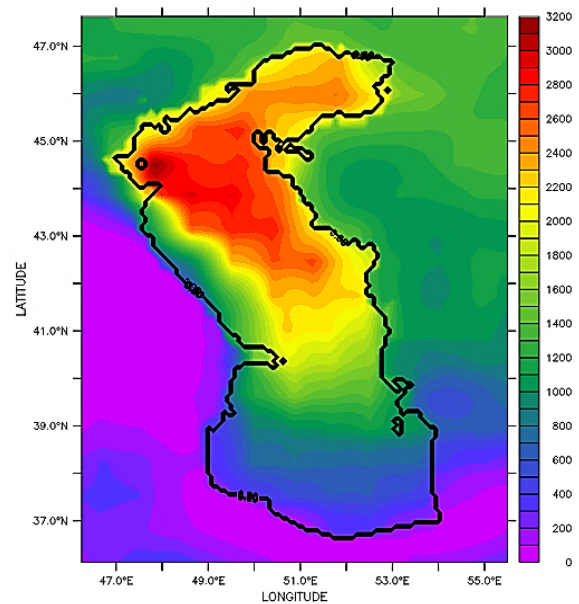
بر طبق روابط دینامیکی، انرژی جنبشی باد با توان دوم سرعت آن متناسب است و از حاصل ضرب انرژی باد در سرعت باد قدرت باد به دست می‌آید، بنابراین قدرت باد با مکعب سرعت آن در ارتباط است. که این امر را می‌توان در رابطه (۲) به خوبی مشاهده کرد [۲۶].

$$PD = \frac{1}{2} \rho_{air} v^3 \quad (۲)$$

به طوری که PD چگالی قدرت باد بر حسب (W/m^2) ، v سرعت باد بر حسب (m/s) و ρ_{air} چگالی هوا بر حسب (kg/m^3) است که تابعی از ارتفاع از سطح دریاست به طوری که با افزایش ارتفاع از سطح تراز آب مقدار چگالی با شیبی از مرتبه 10^{-3} کاهش می‌یابد. به دلیل ناچیز بودن این تغییرات تا تراز ۲۰۰ متری از سطح دریا مقدار چگالی معادل $۱/۲۲$ ثابت در نظر گرفته شده است. به منظور تعیین



شکل ۵. میانگین ۱۰ سالانه انرژی باد در ارتفاع ۲۰۰ متر برحسب kWh/m²

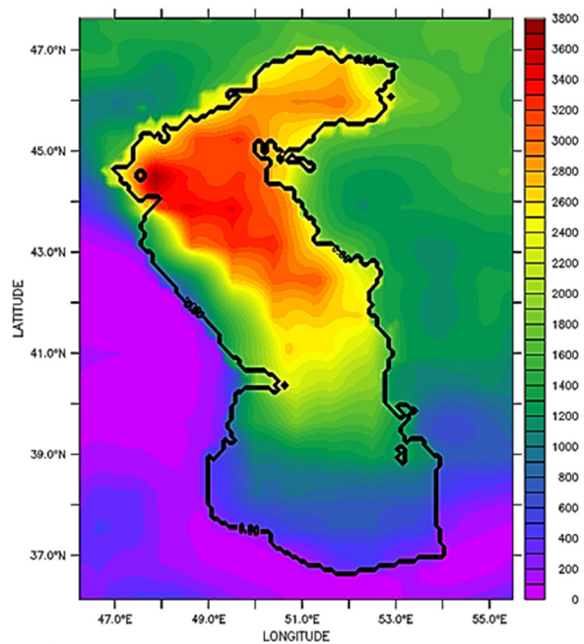


شکل ۳. میانگین ۱۰ سالانه انرژی باد در ارتفاع ۵۰ متر برحسب kWh/m²

۳-۲. محاسبه ماهانه انرژی باد در محل سکوهای فراساحلی استراتژیک نفت و گاز خزر

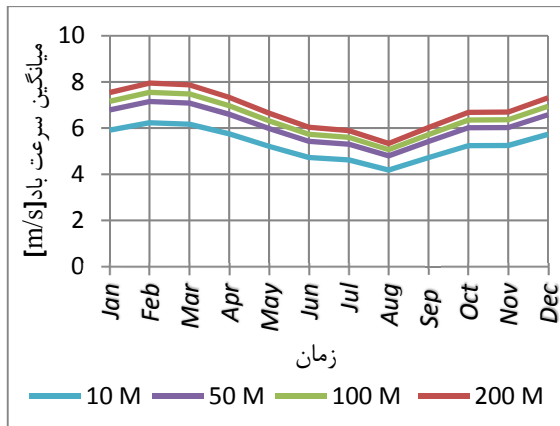
به منظور ارزیابی انرژی ماهانه باد، در ابتدا محل های مشخصی از دریای خزر که شامل سکوهای نفتی و گازی می شود تعیین شد تا محاسبات در محل های یادشده صورت پذیرد. با توجه به تعدد پروژه های نفت و گاز فراساحلی مهم ترین میدان های فراساحلی استراتژیک نفت و گاز در حوضه های آبی خزر در نظر گرفته شده که توزیع مکانی آنها مطابق شکل ۶ است.

با توجه به این مسئله که میزان سرعت باد یک عامل مهم و تعیین کننده در میزان انرژی باد در یک منطقه است، دانستن سرعت و به تبعیت آن انرژی باد در منطقه مورد مطالعه امری ضروری است. از این رو در ادامه میانگین ماهانه سرعت باد برای ۱۰ سال متمادی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ محاسبه شده و با بهره بردن از رابطه های (۱) و (۲) مقدار این انرژی در نزدیکی برخی از سکوهای موجود در سه حوضه دریای خزر ارزیابی شده است. این عبارت بدین معنی است که به طور نمونه مقدار سرعت باد ماه ژانویه از میانگین گیری سرعت باد در ماه های ژانویه برای ۱۰ سال گذشته شده به دست آمده است. در ادامه

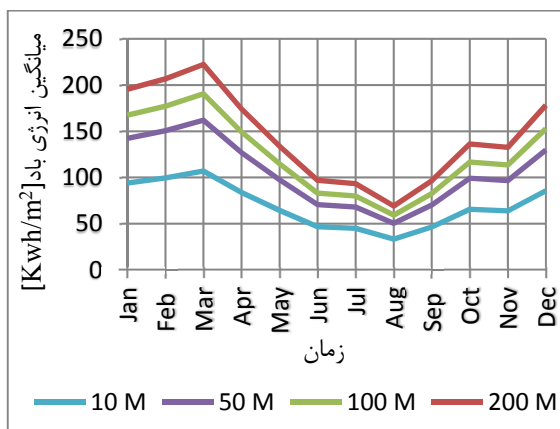


شکل ۴. میانگین ۱۰ سالانه انرژی باد در ارتفاع ۱۰۰ متر برحسب kWh/m²

همان طور که در شکل های بالا مشاهده می شود، با رفتن به سمت ارتفاعات بالاتر انرژی باد به دلیل افزایش میانگین سرعت باد در ارتفاعات از قدرت بیشتری برخوردار است. از نظر توزیع پراکندگی قدرت باد به ترتیب حوضه شمالی بیشترین، حوضه های میانی و جنوبی کمترین میزان انرژی باد برای بهره برداری را دارا هستند.



نمودار ۱. میانگین ماهانه سرعت باد در ارتفاعات شاخص برحسب m/s در نزدیکی سکوی کاشگن شرقی

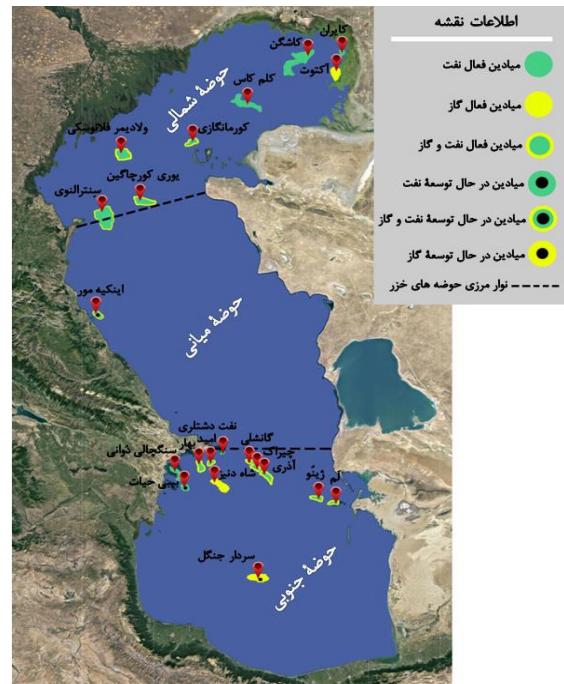


نمودار ۲. میانگین ماهانه انرژی باد در ارتفاعات شاخص برحسب kWh/m² در نزدیکی سکوی کاشگن شرقی

۳-۲-۲. میدان اینکیه مور

پروژه میدان نفت و گاز فراساحلی اینکیه مور متعلق به کشور روسیه و در بخش داغستان در سال ۱۹۷۴ از سوی شرکت نفتی گس مورنرف^۳ در عرض جغرافیایی ۴۲/۵۳ و طول جغرافیایی ۴۸/۰۸ کشف شد [۳۰]. این میدان با مساحتی برابر با ۶۷۰ کیلومتر مربع در عمق ۱۰۰ متری آب قرار دارد [۳۱]. بر اساس جدیدترین گزارش‌ها، فاز اول توسعه این میدان که از سال ۲۰۰۵ آغاز شده پس از طی یک دوره ۱۰ ساله و با نصب سکوهای حفاری ۱-۳ به کار خود پایان داده و در سال ۲۰۱۵ وارد فاز دوم سرمایه‌گذاری شده و تاکنون به مرحله بهره‌برداری نرسیده است [۳۲]. در نمودارهای ۳ و ۴ به ترتیب میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد که حاصل بررسی ۱۰ سال متمادی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در نزدیکی سکوی حفاری اینکیه مور-۳ (OF298PET) است، مشاهده می‌شود.

ارزیابی ماهانه انرژی باد برای هر میدان نفت و گاز به تفکیک صورت گرفته است.

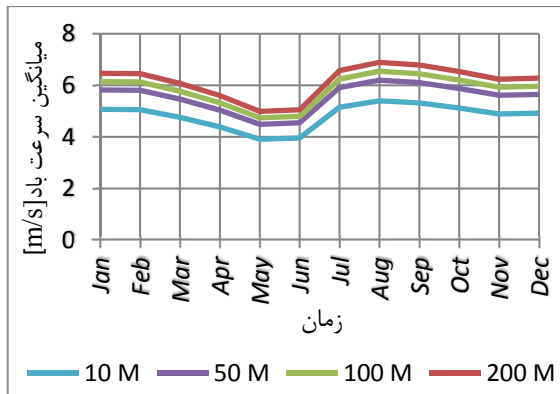


شکل ۶. توزیع مکانی میدان‌های استراتژیک نفت و گاز فراساحلی بر اساس تقسیمات فیزیکی دریای خزر

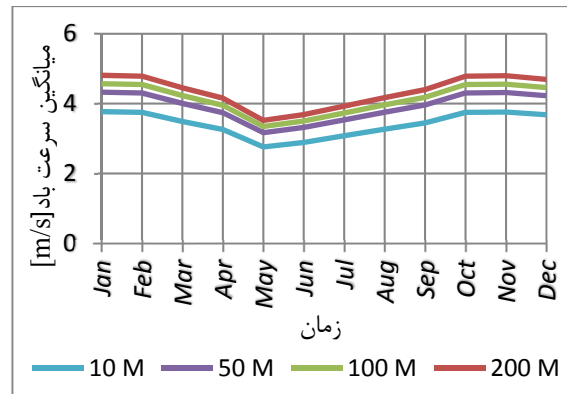
۳-۲-۱. میدان کاشگن

پروژه میدان نفت فراساحلی کاشگن متعلق به کشور قزاقستان در عرض جغرافیایی ۴۶/۴۳ و طول جغرافیایی ۵۲/۲۵ در جولای سال ۲۰۰۰ کشف شد که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین میدان‌های فعال خزر شمالی در سی سال گذشته به شمار می‌رود. در ژانویه ۲۰۱۰، فاز اول توسعه و فاز دوم آن در آگوست همان سال آغاز شد که تا سال ۲۰۱۵ ادامه یافت [۲۸]، در نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد که حاصل بررسی ۱۰ سال متمادی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در نزدیکی سکوی کاشگن شرقی (OF206PET) است، مشاهده می‌شود.

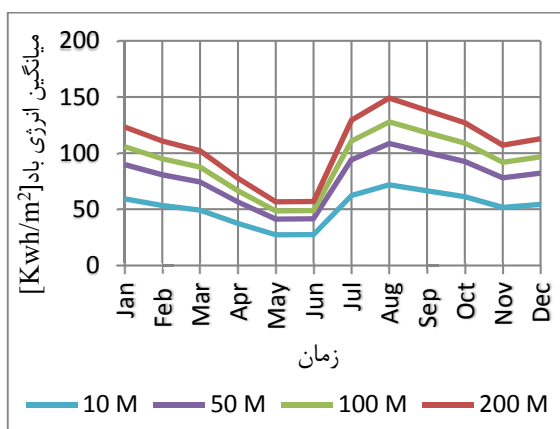
همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین میانگین ماهانه سرعت باد در اطراف سکوی کاشگن شرقی در ماه فوریه و کمترین آن در ماه آگوست است، همچنین بیشترین مقدار سهم انرژی باد در ماه مارس و کمترین آن در ماه آگوست قابل استحصال است. که در نمودار ۲ می‌توان مشاهده کرد. علت بیشینه شدن انرژی در ماه مارس ۳۰ روزه بودن این ماه در مقایسه با ۲۸ روز ماه فوریه است.



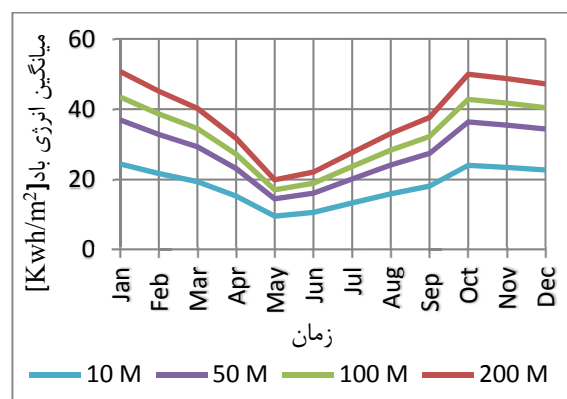
نمودار ۵. میانگین ماهانه سرعت باد در ارتفاعات شاخص برحسب m/s در نزدیکی سکوی حفاری گانشلی



نمودار ۳. میانگین ماهانه سرعت باد در ارتفاعات شاخص برحسب m/s در نزدیکی سکوی حفاری اینکیه مور-۳



نمودار ۶. میانگین ماهانه انرژی باد در ارتفاعات شاخص برحسب kWh/m² در نزدیکی سکوی حفاری گانشلی



نمودار ۴. میانگین ماهانه انرژی باد در ارتفاعات شاخص برحسب kWh/m² در نزدیکی سکوی حفاری اینکیه مور-۳

همان‌طور که در نمودار ۵ و ۶ مشاهده می‌شود بیشترین میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد در اطراف سکوی گانشلی در ماه آگوست و کمترین آن در ماه می است.

همان‌طور که در نمودار ۳ و ۴ مشاهده می‌شود بیشترین میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد در اطراف سکوی اینکیه مور در ماه ژانویه و کمترین آن در ماه می است.

۳-۲-۳. میدان گانشلی

۳-۲-۴. میدان سردار جنگل
 پروژه میدان گاز فراساحلی سردار جنگل متعلق به کشور ایران در عرض جغرافیایی ۳۸/۵۳ و طول جغرافیایی ۵۱/۲۷ در سال ۲۰۰۱ کشف شد. در جریان مطالعات ده‌ساله ساخت این میدان گازی؛ ۴۶ ساختار کوچک و بزرگ در عمق ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری برای حفاری شناسایی شد که پروژه‌هایی از قبیل ساخت سکوی نیمه‌شناور امیر کبیر و کاسپین‌های ۱، ۲ و ۳ مقدمه‌ای بر انجام عملیات حفاری اکتشافی در این ناحیه بوده‌اند. در دسامبر ۲۰۱۱ در ادامه مطالعات اکتشافی روی سکوی نیمه‌شناور امیر کبیر، یک لایه نفتی، در عمق ۷۲۸ متری مخزن هیدروکربنی سردار جنگل کشف شد. در

میدان نفت و گاز فراساحلی گانشلی متعلق به کشور آذربایجان در سال ۱۹۵۸ در عرض جغرافیایی ۴۰/۱۷ و طول جغرافیایی ۵۱/۱ کشف شد. بخشی از این میدان که در آب‌هایی با عمق ۱۷۵ تا ۳۰۰ متر قرار دارد؛ با عنوان بلوک DWG^۴ جزئی از پروژه بزرگ‌تری به نام آذری-چیراگ-گاندشی AGG^۵ است و بخش کم‌عمق‌تر آن SWG^۶ در عمق ۱۲۰ متری واقع شده است [۳۳]. در نمودارهای ۵ و ۶ به ترتیب میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد که در نزدیکی سکوی حفاری گانشلی (OF033PET) است، مشاهده می‌شود.

که با حرکت از حوضه جنوبی به سمت حوضه شمالی انرژی این پدیده تجدیدپذیر افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار این انرژی در حوضه شمالی مشاهده می‌شود و در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا، باد از سرعت بیشتری برخوردار است. این در حالی است که بررسی‌های انجام‌شده توسط یوجین روسو و فلورین اونا که به وسیله ماهواره انجام شده است بیشینه میانگین سالانه باد را در حوضه میانی معرفی می‌کند [۶]. در جدول ۱ مقایسه این دو تحقیق آمده است.

جدول ۱. مقایسه داده‌های میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۸۰ متر ECMWF از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در این تحقیق با داده‌های حاصل از ماهواره از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ در کار یورجین روسو و فلورین اونا برحسب m/s

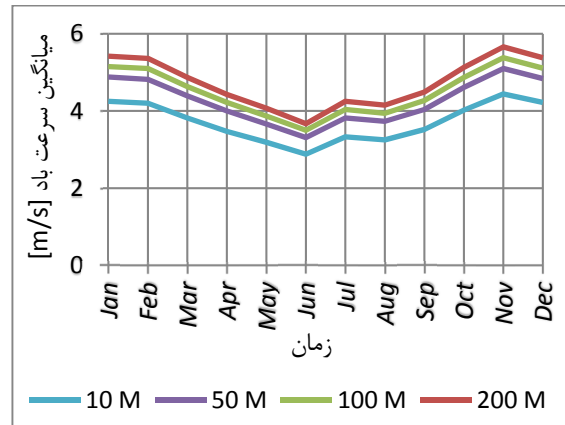
مشخصه	حوضه‌ها		
	شمالی	میانی	جنوبی
میانگین سرعت باد ECMWF	۶/۱	۵/۹	۴/۳
میانگین سرعت باد ماهواره	۵/۷	۵/۹	۵
بیشینه سرعت باد ECMWF	۲۱	۲۲	۱۶
بیشینه سرعت باد ماهواره	۲۲/۵	۲۷	۲۵/۵

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین سرعت باد در بررسی انجام‌شده به وسیله داده‌های ماهواره و پایگاه ECMWF متعلق به حوضه میانی است؛ اما بیشترین میانگین ماهانه سرعت باد بر اساس داده‌های ECMWF در حوضه شمالی مشاهده می‌شود این در حالی است که داده‌های ماهواره بیشترین میانگین سرعت باد را در حوضه میانی نشان می‌دهد.

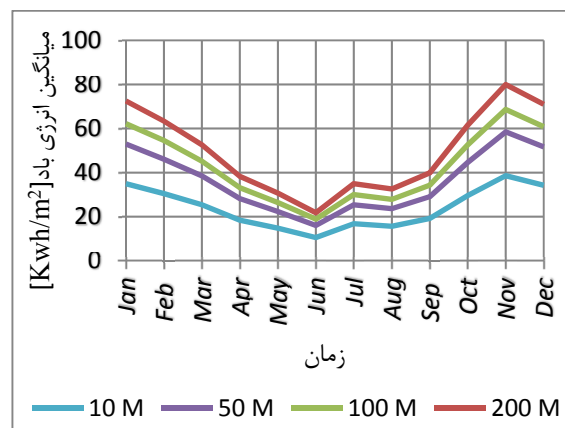
۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های باد پایگاه ECMWF-ERA Interim, Daily و تعیین فراسنج‌های موردنیاز به ارزیابی انرژی باد فراساحلی در سه حوزه دریای خزر و تعدادی از مهم‌ترین میدان‌ها و سکوه‌های نفت و گاز آن پرداخته شده است. برای این منظور، مؤلفه‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر با دقت مکانی ۰/۱۲۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته، برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ گردآوری و با نرم‌افزار پایفرت چگالی قدرت و انرژی باد برای کل سه حوزه، در ترازهای مختلف جوی مورد بررسی قرار گرفته شد.

سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ اولین حفاری‌های نفتی به‌طور آزمایشی اجرا شد [۳۴]. در نمودارهای ۷ و ۸ به ترتیب میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد در نزدیکی بلوک ۲۹ میدان سردار جنگل است، مشاهده می‌شود.



نمودار ۷. میانگین ماهانه سرعت باد در ارتفاعات شاخص برحسب m/s در نزدیکی بلوک ۲۹ سردار جنگل



نمودار ۸. میانگین ماهانه انرژی باد در ارتفاعات شاخص برحسب kWh/m² در نزدیکی بلوک ۲۹ سردار جنگل

همان‌طور که در نمودار ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین میانگین ماهانه سرعت و انرژی باد در اطراف سکوی سردار جنگل در ماه نوامبر و کمترین آن در ماه جون است.

۵. بحث

نتایج حاصل از بررسی میانگین‌های سالانه سرعت باد و تحلیل انرژی باد در ارتفاعات شاخص بر فراز دریای خزر، حکایت از آن دارد که سرعت و انرژی باد در این منطقه در سه حوضه شمالی، میانی و جنوبی خصوصیات متفاوتی دارند

میدانهای گانشلی و سردار جنگل در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۵. بیشینه، کمینه و میانگین ماهانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص در نزدیکی میدان کاشگن

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
کمینه سرعت باد [m/s]	۵/۳	۵/۱	۴/۸	۴/۲
بیشینه سرعت باد [m/s]	۷/۹	۷/۵	۶/۷	۶/۲
میانگین سرعت باد [m/s]	۶/۸	۶/۴	۶/۱	۵/۳
کمینه قدرت باد [w/m ²]	۹۳	۷۹/۶	۶۷/۷	۴۴/۷
بیشینه قدرت باد [w/m ²]	۳۰۸	۲۶۳/۷	۲۲۴/۱	۱۴۸/۱
میانگین قدرت باد [w/m ²]	۱۹۸/۷	۱۷۰/۳	۱۴۴/۷	۹۵/۶
کمینه انرژی باد [kWh/m ²]	۶۹/۱	۵۹/۲	۵۰/۳	۳۳/۳
بیشینه انرژی باد [kWh/m ²]	۲۲۲/۴	۱۹۱	۱۶۲	۱۰۷
میانگین انرژی باد [kWh/m ²]	۱۴۴/۶	۱۲۳/۹	۱۰۵/۳	۶۹/۶

جدول ۶. بیشینه، کمینه و میانگین ماهانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص در نزدیکی میدان اینکیه‌مور

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
کمینه سرعت باد [m/s]	۳/۵	۳/۳	۳/۲	۲/۸
بیشینه سرعت باد [m/s]	۴/۸	۴/۶	۴/۳	۳/۸
میانگین سرعت باد [m/s]	۴/۳	۴/۱	۳/۹	۳/۴
کمینه قدرت باد [w/m ²]	۲۶/۷	۲۲/۹	۱۹/۵	۱۲/۹
بیشینه قدرت باد [w/m ²]	۶۸/۲	۵۸/۴	۴۹/۶	۳۲/۸
میانگین قدرت باد [w/m ²]	۵۱/۹	۴۴/۵	۳۷/۸	۲۵
کمینه انرژی باد [kWh/m ²]	۱۹	۱۷/۱	۱۴/۵	۹/۶
بیشینه انرژی باد [kWh/m ²]	۵۰/۷	۴۳/۴	۳۷	۲۴/۴
میانگین انرژی باد [kWh/m ²]	۳۷/۸	۳۲/۴	۲۷/۵	۱۸/۲

جدول ۷. بیشینه، کمینه و میانگین ماهانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص در نزدیکی میدان گانشلی

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
کمینه سرعت باد [m/s]	۵	۴/۷	۴/۵	۳/۹
بیشینه سرعت باد [m/s]	۶/۹	۶/۵	۶/۲	۵/۴
میانگین سرعت باد [m/s]	۶/۲	۵/۸	۵/۵	۴/۸
کمینه قدرت باد [w/m ²]	۷۶/۱	۶۵/۲	۵۵/۴	۳۶/۶
بیشینه قدرت باد [w/m ²]	۲۰۰/۴	۱۷۱/۷	۱۴۶	۹۶/۴
میانگین قدرت باد [w/m ²]	۱۴۷/۳	۱۲۶/۲	۱۰۷/۳	۷۰/۹
کمینه انرژی باد [kWh/m ²]	۵۶/۶	۴۸/۵	۴۱/۲	۲۷/۲
بیشینه انرژی باد [kWh/m ²]	۱۴۹/۱	۱۲۷/۷	۱۰۸/۶	۷۱/۷
میانگین انرژی باد [kWh/m ²]	۱۰۷/۵	۹۲/۲	۷۸/۳	۵۱/۸

نتایج حاصل از بررسی میانگین سالانه سرعت و انرژی باد فراساحلی در طول ۱۰ سال متوالی در سه حوضه دریای خزر بیانگر این است که از حوضه جنوبی به حوضه شمالی، انرژی این پدیده تجدیدپذیر افزایش می‌یابد که در جدول‌های ۲ تا ۴ مقدار میانگین سالانه سرعت، قدرت و انرژی باد، به تفکیک هر حوضه در ارتفاعات شاخص آورده شده است.

جدول ۲. میانگین سالانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص حوضه شمالی دریای خزر

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
سرعت باد [m/s]	۶/۶	۶/۳	۶	۵/۲
قدرت باد [W/m ²]	۳۸۰	۳۳۰	۲۷۰	۱۸۰
انرژی باد [MWh/m ²]	۳/۳۳	۲/۸۹	۲/۳۶	۱/۵۷

جدول ۳. میانگین سالانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص حوضه میانی دریای خزر

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
سرعت باد [m/s]	۶/۴	۶/۱	۵/۷	۵
قدرت باد [W/m ²]	۳۵۰	۳۰۰	۲۴۵	۱۶۰
انرژی باد [MWh/m ²]	۳/۰۷	۲/۶۳	۲/۱۵	۱/۴۰

جدول ۴. میانگین سالانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص حوضه جنوبی دریای خزر

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
سرعت باد [m/s]	۴/۶	۴/۴	۴/۱	۳/۶
قدرت باد [W/m ²]	۱۶۰	۱۳۰	۱۰۰	۶۰
انرژی باد [MWh/m ²]	۱/۴۰	۱/۱۴	۰/۸۸	۰/۵۲

همچنین نتایج حاصل از بررسی میدان‌های کاشگن، اینکیه‌مور، گانشلی و سردار جنگل که در هر یک از حوضه‌های دریای خزر در مناطق متفاوتی از نظر آب و هوایی واقع شده‌اند، بیشینه، کمینه و میانگین ماهانه؛ سرعت، قدرت و انرژی باد در نزدیکی هر سکو در جدول‌های ۵ تا ۸ آورده شده است؛ که بر اساس میانگین گیری انجام شده برای ماه‌های سال بیشترین میانگین ماهانه انرژی باد متعلق به میدان کاشگن بوده و کمترین آن به میدان اینکیه‌مور اختصاص دارد و

خزر است، با توجه به عمق زیاد آب در این حوضه موضوع استفاده از مزارع بادی در این منطقه پیچیدگی و هزینه‌های زیادی دارد که تأسیس مزارع بادی را به امری با صرفه اقتصادی کم مبدل ساخته است. در قسمت‌های فراساحلی ایران استفاده از توربین‌های کوچک قابل نصب بر سکوها نفت و گاز فراساحلی، برای تأمین بخشی از نیاز الکتریکی سکوها به منظور کاهش هزینه و پیچیدگی فناوری مهار توربین، توصیه می‌شود.

مراجع

- [1] Malmedal K, Sen PK, Candelaria J. Electrical energy and the petro-chemical industry: Where are we going? In 2011 Record of Conference Papers Industry Applications Society 58th Annual IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC) 2011 Sep 19 (pp. 1-8).
- [2] Gopal N. Use of Hywind in Oil and Gas Platforms to Reduce CO2 and NOx Gas Emission [Master Thesis]. Norwegian University of Science and Technology: NTNU; 2016.
- [3] Twidell J, Weir T. Renewable Energy Resources. 2nd ed. London (UK): Taylor and Francis; 2006.
- [4] U.S. Energy Information Administration (EIA). Annual Energy Review (AER). Office of Energy Statistics: DOE/EIA; 2011 October. 407p. Report No: 061-003-01158-6.
- [5] Oliveira MF, Sidel MA, Queiroz ARS, Filho EN. Renewable sources at offshore petroleum and gas production platforms. Proceedings of the fifty ninth Annual Petroleum and Chemical Industry Conference; 2012 september 24-26; Chicago USA.
- [6] Rusu E, Onea F. Evaluation of the wind and wave energy along the Caspian Sea. Energy. 2013, February; 50(1):1-14.
- [7] Sempreviva AM, Barthelmie RJ, Pryor S. Review of methodologies for offshore wind resource assessment in European seas. Surveys Geophysics. 2008 Dec; 29(6):471-97.
- [8] Burton T, Sharpe D, Jenkins N, Bossanyi E. Wind Energy Handbook. 2nd ed. USA: John Wiley; 2011.
- [9] Acker TL, Williams SK, Duque EP, Brummels G, Buechler J. Wind resource assessment in the state of Arizona inventory capacity factor and cost. Renewable Energy. 2007 Jul; 32(9):1453-66.

جدول ۸. پیشینه، کمینه و میانگین ماهانه مشخصه‌های باد در ارتفاعات شاخص در نزدیکی میدان سردار جنگل

مشخصه	ارتفاع شاخص [m]			
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰
کمینه سرعت باد [m/s]	۳/۷	۳/۵	۳/۳	۲/۹
بیشینه سرعت باد [m/s]	۵/۷	۵/۴	۵/۱	۴/۴
میانگین سرعت باد [m/s]	۴/۷	۴/۵	۴/۳	۳/۷
کمینه قدرت باد [w/m ²]	۳۰/۳	۲۶/۳	۲۲/۲	۱۴/۶
بیشینه قدرت باد [w/m ²]	۱۱۱/۱	۹۵/۴	۸۱/۲	۵۳/۶
میانگین قدرت باد [w/m ²]	۶۸/۶	۵۸/۹	۵۰	۳۳/۰
کمینه انرژی باد [kWh/m ²]	۲۱/۸	۱۸/۹	۱۶	۱۰/۵۳
بیشینه انرژی باد [kWh/m ²]	۸۰	۶۸/۷	۵۸/۵	۳۸/۶
میانگین انرژی باد [kWh/m ²]	۴۹/۹	۴۲/۹	۳۶/۴	۲۴/۱

به منظور استحصال انرژی از باد بر اساس قدرت وزش باد در نزدیکی سکوها سردار جنگل، اینکه مور، کاشگن و گانشلی می‌توان از توربین بادی Siemens SWT-4.0-120 به دلیل مناسب بودن سرعت راه‌اندازی^۷ آن که برابر با ۲/۹ متر بر ثانیه است استفاده نمود. در واقع توربین بادی انتخاب شده یک توربین بادی محور افقی درایو مستقیم با آخرین فناوری تیغه کوآتوم ثبت اختراع شده با کمپانی زیمنس با قطر روتور ۱۲۰ متر، طول تیغه ۵۸/۵ متر و میزان بهره‌وری ۳۲ درصد است که قابلیت تولید توان خروجی ۴ مگاوات را داراست [۲۷]. با فرض استفاده از توربین Siemens SWT-4.0-120 میانگین توان تولیدی توربین بادی در ماه با بهره بردن از رابطه‌های (۳) و (۴) در نزدیکی هر سکو در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹. میانگین ماهانه توان خروجی توربین در ماه در نزدیکی سکوها

سکوها	توان تولیدی توربین در ماه [MWh]
کاشگن	۴۴۸/۸
اینکه‌مور	۱۱۹/۴
گانشلی	۳۳۶/۶
سردار جنگل	۱۵۵/۶

بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان در مورد این مسئله که راه‌اندازی مزارع توربین بادی برای تأمین انرژی سکوها در کدام مناطق مقرون به صرفه است، تصمیم‌گیری نمود. آن چه که اهمیت دارد، پتانسیل کمتر انرژی باد حوضه جنوبی در محدوده کشور ایران در مقایسه با حوضه‌های دیگر دریای

- solutions. Bonn: ECON Store; 2004. Chapter 1: The Physical Environment in the Caspian; p. 1-41.
- [21] Zabihian F, Fung AS. Review of marine renewable energies: Case study of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, June; 15(5):2461-74.
- [22] Amirahmadi H, editor. *The Caspian Region at a crossroad: challenges of a new frontier of energy and development*. UK: Palgrave Macmillan; 2000.
- [۲۳] سفیدپری پریا، کیهانی علیرضا، پیشگر کومه سید حسین، خانعلی مجید، اکرم اسدالله. پتاسیل سنجی تولید انرژی باد به کمک تحلیل آماری مشخصه‌های باد- مطالعه موردی: شهرستان اقلید در استان فارس. مهندسی بیوسستم. ۱۳۹۵، مهر؛ ۴۷(۳): ۴۶۹-۴۸۳.
- [24] Al-Mohamad A, Karmeh H. Wind energy potential in Syria. *Renewable Energy*. 2003 Sep; 28(7): 1039-46.
- [25] Gadad S, Chandra Deka P. Offshore wind power resource assessment using Oceansat-2scatterometer data at a regional scale. *Applied Energy*. 2016 Jun; 176(c):157-70.
- [26] Salvação N, Bernardino M, Guedes Soares C. In: Guedes Soares C, López Peña F editors. *The offshore wind energy potential along the coasts of Portugal and Galicia Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources Assessing*. 1st ed. Francis & Taylor Group; 2014.
- [27] Tiong YK, Zahari MA, Wong SF, Dol SS. The Feasibility of Wind and Solar Energy Application for Oil and Gas Offshore Platform. *Proceedings of the Materials Science and Engineering Conference*; 2015 April; China: IOP Publishing; 2015. p. 1-9.
- [28] Offshore Technology Focus. Kashagan Offshore Oil Field Project [Internet]. 2018 [Updated 2018 February 24]. Available from: <https://www.offshoretechnology.com/projects/kashagan>
- [29] KAZinform Commercial Oil Output Commences at Kashgan Minister [Internet]. 2016 [2016 November 21 Cited]. Available from: https://www.inform.kz/en/commercial-oil-output-commences-at-kashgan-minister_a2971818
- [30] Yusufzade KH. Accomplishments of the Caspian Oil Explorations. *Petroleum Geology*. 1978 Sep; 15(9):403-4.
- [10] Amirinia G, Mazaheri S. Evaluation of Gulf of Oman for design and installation of offshore floating wind turbine. *Proceedings of the First Iran wind energy conference*; 2012 October 9-10; Tehran Iran. Berlin: ResearchGate; 2012. P. 1-6.
- [11] Hernandez-Escobedo Q, Manzano-Agugliaro F, Zapata-Sierra A. The wind power of Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, December; 14(9): 2830-840.
- [12] Amirinia G, Jung S. Time domain analysis of unsteady aerodynamic forces on a parked wind turbine tower subjected to high winds. *Proceedings of the eighth International colloquium on bluff body aerodynamics and applications Conference*; 2016 June 7-11; Boston USA. Berlin: ResearchGate; 2016. p. 1-10.
- [13] Amirinia G, Jung S, Alduse B P. Effect of different hurricane spectrums on wind turbine loads and responses. *Proceedings of the AWEA wind power conference*; 2015 May; Orlando USA. Berlin: ResearchGate; 2015. p. 1-10.
- [14] Jimenez B, Durante F, Lange B, Kreutzer T, Tambke J. Offshore wind resource assessment with WAsP and MM5 comparative study for the German Bight. *Wind Energy*. 2007 Mar; 10(2): 121-34.
- [15] Esteban MD, Diez JJ, Lopez JS, Negro V. Why offshore wind energy? *Renewable Energy*. 2011 Feb; 36(2): 444-50.
- [16] Svendsen HG, Hadiya M, Veirød Øyslebø E, Uhlen K. Integration of offshore wind farm with multiple oil and gas platforms. *Proceedings of the IEEE Trondheim PowerTech Conference*; 2011 June; Trondheim, Norway. USA: IEEE; 2011. p. 1-6.
- [17] European Wind Energy Association (EWEA). *Wind in our sails: the coming of Europe's offshore wind energy industry*. Brussels: EWEA; 2011 November. 93p.
- [18] Kosarev AN. *The Caspian Sea Environment*. Berlin: Springer-Verlag; 2005. Chapter 1, Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea; p. 5-31.
- [19] Dumont HJ, Tamara AS, Ulrich N. The Ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe* in the Ponto-Caspian and other Aquatic Invasions. In: Dumont HJ, Tamara AS, Ulrich N editors. *Aquatic invasions in the Black, Caspian, and Mediterranean seas*. Boston: Kluwer Academic Publisher; 2004. p. X-314. (NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences; Vol 35).
- [20] Anil M. Gains of regional cooperation of Caspian Sea: Environmental problems and

- [31] Oil & Gas Journal. Dagestan offers Caspian exploration blocks [Internet]. 1997 [1997 December 19 Cited]. Available from: <https://www.ogj.com/articles/print/volume-95/issue-52/in-this-issue/exploration/dagestan-offers-caspian-exploration-blocks.html>
- [32] Chmeleva I. Outlook for Offshore Exploration in Russia up to 2025 [Internet]. 2014 [2014 September 9 Cited]. Available from: <https://rogtecmagazine.com/development?p=11974>
- [33] Tozer R S J, Borthwick A M. Variation in fluid contacts in the Azeri field, Azerbaijan: sealing faults or hydrodynamic aquifer? Geological Society London Special Publications. 2010, November; 347(1):103-12.

[۳۴] مارین تایمز. معرفی میدان سردار جنگل به سرمایه گذاران خارجی [اینترنت]. ۱۳۹۴ [۸ آذر، ۱۳۹۴].
 قابل دسترس در <http://marinetimes.ir/fa/news/5576>

پی نوشت

1. European center for medium range weather forecasting
2. Pyferret
3. Kaspornef
4. Eastern deep water section of gunashli
5. Azeri-Chirag-Gunashli
6. Western shallow water section of gunashi
7. cut-in