

پتانسیل سنجی انرژی ناشی از باد در سواحل مکران

مونا کاشی زنوزی^{۱*}، سحر تاجبخش مسلمان^۲، بهزاد لایقی^۳، عباس رنجبر^۴، مهدی رهنما^۵

۱- دانشجوی دکتری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

۲ و ۵- استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

۳- دکتری فیزیک دریا، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران

۴- دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

چکیده

امروزه با توجه به مشکلات ناشی از تغییر اقلیم، تمایل به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته است. یکی از این انرژی‌های نو، انرژی ناشی از باد است. ۲۷۰۰ تراوات انرژی در بادهای جهان نهفته است که ۲۵ درصد از آن در ارتفاع ۱۰۰ متری است. کشورهایی مانند آلمان و دانمارک استفاده از انرژی باد را از نظر اقتصادی به صرفه می‌دانند. کشور ایران نیز بادی از وابستگی خود به سوخت‌های فسیلی بکاهد و به سمت استفاده از انرژی‌های نو برود. کشور ایران سرشار از انرژی‌های تجدیدپذیری استو یکی از پیشگامان در زمینه انرژی باد بوده است، اما توجه زیادی به استفاده از این منابع در این کشور نشده است. در این پژوهش یکی از انواع انرژی تجدیدپذیر به نام انرژی باد مورد بررسی قرار گرفت. هدف این پژوهش تعیین پتانسیل انرژی باد در دریای عمان است. بدین منظور از داده‌های اطلس باد پژوهشگاه هواشناسی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ و مدل WRF جهت بدست آوردن سرعت و جهت باد در این منطقه در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ استفاده شد. با استفاده از قانون یک هفتم نیرو، اطلاعات باد در ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۵۰ متری تبدیل شد و پتانسیل انرژی باد در ارتفاع ۵۰ متری در سه نقطه ساحلی تحلیل شد. روند تغییرات زمانی سرعت باد در مقیاس ساعتی و ماهانه بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشینه انرژی در ماه مارس و ژوئیه به دست می‌آید. از طرفی نتایج نشان داد که در دریای عمان هر چه به سمت شرق برویم، انرژی باد بیشتری در دسترس خواهد بود. بیشینه میانگین سالانه چگالی توان باد در بخش شرقی دریای عمان به میزان ۱۵۷.۳۲ وات بر متر مربع به دست آمد و مشخص شد که در این نقطه بیش از ۸۰ درصد از ایام می‌توان از انرژی باد استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، چگالی توان باد، سواحل مکران، مانسون.

مقدمه

برخوردار است. پتانسیل در واقع به نیروی موجودی اطلاق می‌گردد که در صورت شناخت کافی و صحیح از آن می‌توان به منبع بزرگی از انرژی دست یافت. انرژی باد، نیز از این قاعده مستثنی نیست. با بررسی انرژی بالقوه باد در هر مکان راه حل‌های تولید انرژی در ابعاد وسیع مورد بررسی قرار گرفته و اهداف مشخصی در ارتباط با بهره‌برداری از این انرژی‌ها در آینده تعیین می‌گردد. پتانسیل سنجی به طور کلی به معنای بررسی و تجزیه و تحلیل موفقیت یک پروژه است و هدف از مطالعات امکان‌سنجی تعیین امکان‌پذیری و اجرایی بودن یک پروژه و ثمربخشی آن می‌باشد. امکان‌سنجی در پروژه‌های دریایی جزء مهم‌ترین بخش‌های هر پروژه محسوب می‌شود، چرا که حذف این قسمت از کار، پروژه را متحمل ضررهای جبران‌ناپذیر اقتصادی خواهد کرد.

برای تامین نیازهای کاربران شهری و صنعتی و تامین آب شیرین از دریا در منطقه مکران نیاز به تامین انرژی است. با توجه به مصرف بالای انرژی در این مناطق این پروژه می‌تواند کمک موثری در تامین انرژی در این منطقه و توسعه پایدار منطقه باشد (ضرورت توسعه منطقه مکران و تامین انرژی برای آن). اقدامات انجام شده در این زمینه بسیار محدود است و تحقیقات جامعی در محدوده منطقه مکران از تنگه هرمز تا پسابندر انجام نشده است. از نتایج این تحقیق می‌توان در آمایش منطقه مورد نظر، تسهیل در توسعه مراکز شهری و کاهش مواد آلاینده ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی استفاده کرد.

باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و رشد مطالعه کاربردی آن در میان جوامع پیشرفته جهان گردیده است. انرژی باد به عنوان یک منبع تمام‌نشدنی انرژی که مانند سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تقریباً همیشه در دسترس می‌باشد، سبب شده است که اکثر کشورهای جهان استفاده از این انرژی موجود در طبیعت را مدنظر قرار دهند. کشورهایی چون آلمان و دانمارک نشان داده‌اند که استفاده از این انرژی به لحاظ اقتصادی انجام‌پذیر است. حدود ۸۳ درصد از توربین‌ها جهت استفاده از توان انرژی باد در کشورهای هند، اسپانیا، دانمارک، آلمان و آمریکا نصب شده است، در نتیجه بیشترین دانش انرژی باد در این پنج کشور است (پاتل، ۱۹۹۹).

تغییر اقلیم یکی از مشکلات روز جهان است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر که سازگاری خوبی با محیط زیست دارند، می‌تواند این مشکل که ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی است را حل کند (کاویانی، ۱۳۷۸). کشورهای چون آلمان و دانمارک نشان داده‌اند که استفاده از این انرژی به لحاظ اقتصادی انجام‌پذیر است (پاتل، ۱۹۹۹). کشور ما، ایران نیز باید از وابستگی خود به سوخت فسیلی (نفت) بکاهد و به انرژی‌های تجدیدپذیر روی آورد. ایران از پیشگامان استفاده از انرژی باد بوده است اما امروزه استفاده از آن در کشور ما بسیار محدود است.

از مزایای انرژی باد می‌توان به عدم نیاز به آب، عدم نیاز به زمین زیاد جهت نصب توربین و نداشتن آلودگی‌های زیست‌محیطی اشاره کرد.

برق تولید شده توسط انرژی باد به طور قابل توجهی با برق تولید شده توسط منابع سنتی متفاوت است. تمایز اصلی این است که نیروی باد نامشخص و متناوب است (Han et al., 2021).

خروجی مزارع بادی یک منبع انرژی غیرقابل کنترل است و سهم آن در ظرفیت سیستم قدرت زمانی که به شبکه متصل است به طور قابل توجهی با واحدهای معمولی متفاوت است. در نتیجه، ارزیابی عینی اعتبار ظرفیت مزرعه بادی برای برنامه ریزی بلندمدت، عملیات بهینه سیستم، ارزیابی قابلیت اطمینان و سایر نگرانی‌های مرتبط حیاتی است (لیو و همکاران، ۲۰۲۲). مدل‌سازی و پردازش منبع تغذیه تصادفی یک مشکل کلیدی در شبیه‌سازی تولید سیستم مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر است. شبیه‌سازی توان خروجی باد به طور گسترده در برنامه ریزی، بهره‌برداری و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت استفاده می‌شود. شبیه‌سازی موثر انرژی باد می‌تواند پتانسیل متصل به شبکه برق باد را افزایش دهد و در عین حال هزینه‌های عملیاتی مزرعه بادی را کاهش دهد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲).

دلیل اصلی توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر، موضوع امنیت انرژی است. انرژی‌های تجدیدپذیر، فرصتی برای فراهم کردن انرژی ایمن و کافی ایجاد می‌کنند (کاویانی، ۱۳۷۸ ص: ۲۷۳). کشور ما، ایران نیز باید از وابستگی خود به سوخت فسیلی (نفت) بکاهد و به انرژی‌های تجدیدپذیر روی آورد. کلمه پتانسیل در مباحث مربوط به انرژی از اهمیت خاصی

لی و همکارانش (۲۰۱۰) از مدل تصمیم‌گیری چند معیاری بر مبنای شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای مکان‌یابی استقرار توربین‌ها و مزارع بادی در کشور چین بهره گرفته‌اند. آن‌ها توانستند مکان‌های مناسب برای مزارع بادی را انتخاب کرده و انرژی قابل دسترس در آن مکان‌ها را تخمین بزنند. داهبی و همکاران (۲۰۱۳) به تجزیه و تحلیل قدرت بالقوه سرعت باد در صحرای الجزایر با استفاده از تابع توزیع ویبول پرداختند و چگالی توان باد ۱۰ متر را در بازه یک ساله شبیه‌سازی کردند. میانگین سالانه چگالی توان باد ۲۳۱ وات بر متر مربع و بیشینه آن در ماه ژوئن به میزان ۴۲۸ وات بر متر مربع تخمین زده شد. میزان انرژی در دسترس در فصل گرم سال قابل ملاحظه تخمین زده شد.

بلال و همکاران (۲۰۱۳) امکان سنتزی استفاده از انرژی باد برای تولید برق در ساحل شمال غرب سنگال (در ۸ مکان) را بررسی کردند. تابع توزیع باد را بر اساس تابع توزیع ویبول به دست آورده و چگالی توان باد در ارتفاع ۲۰ متری را محاسبه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد چگالی توان باد در منطقه مورد مطالعه بین ۳۰/۵ تا ۱۲۰/۱ وات بر متر مربع است. بالاترین ظرفیت تولید باد در منطقه ساخور و کمترین میزان تولید انرژی در گاندون است.

امیر گندمکار و همکارانش (۱۳۸۸) به ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران پرداخته‌اند. بررسی آمار ده ساله (از اول ژانویه ۱۹۹۴ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳) وزش باد در ۱۶۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی کشور ایران نشان داد که بسیاری از نواحی ایران، از جمله نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه چند نقطه پراکنده مانند: منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار باد خیز هستند و در آن‌ها توان تولید برق بادی، بویژه در فصل تابستان وجود دارد.

امیدوار و همکارانش (۱۳۹۱) مشخصه‌های نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی استان یزد را برآورد نمودند و نشان دادند که استفاده از انرژی باد در ایستگاه هواشناسی یزد به شرط استفاده از توربین‌هایی با سرعت شروع به کار ۲/۳۲ متر بر ثانیه و یا ارتفاع محور ۵۰ متر به بالا برای تولید انرژی مقرون به صرفه می‌باشد.

روشن و همکارانش (۱۳۹۳) پتانسیل انرژی باد را در ۴۲ ایستگاه منتخب ایران با استفاده از داده‌های ساعتی در دوره آماری سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۴ میلادی بررسی کردند. براساس

حدود ۲۷۰۰ TW انرژی در بادهای جهان نهفته است که ۲۵ درصد آن تا ارتفاع ۱۰۰ متری زمین است (گندمکار، ۱۳۸۸). استفاده از انرژی باد به مدت سه هزار سال است که انجام می‌شود. در ابتدا از این انرژی برای پمپاژ آب یا آسیاب کردن استفاده شد و سپس در اوایل قرن بیستم اولین توربین‌های بادی برای تولید برق تولید شدند (گندمکار، ۱۳۸۸). ایران از پیشگامان استفاده از انرژی باد بوده است اما امروزه استفاده از آن در کشور ما بسیار محدود است. در کشور ایران علی‌رغم وجود میادین بادی وسیع در فراساحل (دریای خزر در شمال کشور، خلیج فارس و دریای عمان در جنوب کشور) تا کنون از انرژی باد در فراساحل استفاده نشده است که این امر می‌تواند در آینده نزدیک مورد توجه قرار گیرد (مشیدی، ۱۳۹۳). بشر از دیرباز به استفاده از انرژی باد آشنایی پیدا کرده و بیش از ۴ هزار سال قبل، تمدن‌های باستان برای کشتیرانی از انرژی باد استفاده می‌کردند. شروع استفاده از آسیاب‌های بادی (توربین‌های بادی) برای تولید برق به قرن ۱۹ برمی‌گردد (پژوهشگاه هواشناسی، ۱۳۹۳). با توجه به شروع تفکرات علمی و پژوهشی دانشمندان و پیشرفت علم هواشناسی این موضوع بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. نخستین استفاده از باد برای تولید برق در مقیاس بزرگ در سال ۱۸۸۸ اتفاق افتاد. پس از آن با اختراع انواع تجهیزات پیشرفته و ساخت انواع توربین‌های بادی، استفاده از انرژی باد در مقیاس وسیع عمومیت پیدا کرد. تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص بادهای پتانسیل سنتزی انرژی باد در اقلیم‌های مختلف جهان صورت گرفته است. در این بین کشورهای اسپانیا، آلمان، هندوستان و ایالات متحده آمریکا به لحاظ برخورداری از وسعت زیاد و داشتن دانش و فناوری برتر در این زمینه، بیشترین بهره‌برداری ممکن را از منبع انرژی باد کرده‌اند.

از کارهای انجام گرفته در زمینه باد به صورت نمونه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

بیلو و کوراسیون (۲۰۰۹) ویژگی‌های باد و پتانسیل انرژی باد در نوادای غربی را با استفاده از داده‌های باد، دما و فشار در بازه ۴ ساله برای چهار مکان در سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۵۰ متر مطالعه کردند. الگوی فصلی و ساعتی باد را ترسیم کردند. الگوی فصلی باد نشان‌دهنده بیشینه مقادیر در فصل بهار و الگوی ساعتی باد نشان‌دهنده بیشینه باد در ساعات بعداز ظهر بود. محتمل‌ترین سرعت و انرژی باد را نیز با استفاده از تابع توزیع ویبول به دست آوردند.

گرمیزرود و همکاران به توزیع مکانی کارآمد نیروگاه های بادی با توجه به اثرات خارجی محیطی ناشی از توربین ها و شبکه ها پرداختند. آنها در این مطالعه تخصیص فضایی کارآمد تولید نیروی باد را با ترکیب هزینه های زیست محیطی توربین های بادی و گسترش خطوط برق مرتبط در یک مدل سیستم عددی انرژی دقیق تحلیل کردند. آن ها داخلی سازی هزینه های زیست محیطی را از طریق یک طرح ساده مالیات زیست محیطی مختص هر منطقه، که به موجب آن هر یک از عوامل خارجی (توربین ها، خطوط برق منطقه ای و خطوط انتقال) متناسب با تعداد افراد تحت تأثیر مالیات قرار می گیرند، پیشنهاد دادند. با این طرح، هدف تولید انرژی باد در نروژ می تواند با هزینه های بسیار کمتری نسبت به وضعیت فعلی (بدون مالیات زیست محیطی) برآورده شود. چارچوب کلی برای مالیات زیست محیطی ذکر شده در این مقاله برای همه کشورهای دارای صنعت برق بادی در حال ظهور قابل اجرا است (۲۰۲۱). هدف از این تحقیق، محاسبه توان قابل دریافت از باد در سواحل مکران جهت جایگزین کردن انرژی های فسیلی با انرژی تجدیدپذیر باد در منطقه است. در این تحقیق سعی بر این است که توزیع مکانی مناطق مناسب برای بهره برداری از این انرژی تجدید پذیر و تغییرات زمانی آن به صورت ماهانه و سالانه تجزیه و تحلیل می شود. با این کار امکان برنامه ریزی برای استفاده از انرژی باد در منطقه مکران میسر می شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه ی مورد مطالعه:

دریای مکران (عمان) در محدوده بین ۲۲ تا ۲۶ درجه عرض مالی و ۵۶ تا ۶۲ درجه طول شرقی قرار دارد. این دریا دارای عمقی بیش از ۳۰۰۰ متر و مساحتی در حدود ۹۴۰۰۰ کیلومتر مربع است. دریای مکران بین سه کشور پاکستان، ایران و عمان قرار گرفته است و از طریق تنگه هرمز به خلیج فارس متصل شده است. این دریای عمیق به صورت مستقیم با دریای عرب و اقیانوس هند در ارتباط است. طول خط ساحلی این دریا در کشور ایران حدود ۶۳۷ کیلومتر و عمق آن بیش از ۲۰۰۰ متر است. در این منطقه اطلاعات دو ایستگاه هواشناسی ساحلی به نام های جاسک و چابهار در دسترس هستند. مشخصات جغرافیایی این دو ایستگاه در جدول ۱ نشان داده شده است (پورزارع، ۱۳۹۷).

در شکل شماره ۱ نقشه عمق منطقه نیز نشان داده شده است.

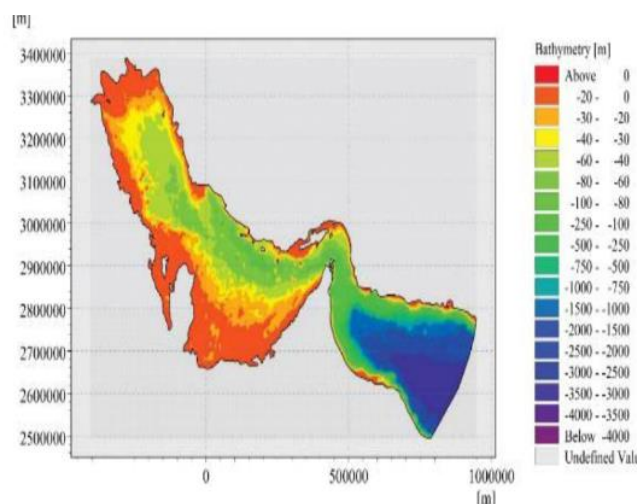
این پژوهش مشخص شد که ایستگاه های زابل، اردبیل و کیش به ترتیب با ۳۰۴۲، ۱۶۷۵ و ۱۰۹۲ وات بر متر مربع، بالاترین توان تولید انرژی بادی را در میان نقطه های مورد مطالعه دارند. نتایج نشان داد که فصول بهار و تابستان بیشترین پتانسیل تولید انرژی بادی را دارا می باشند.

هادی نیکنام گرمی و همکارانش (۱۳۹۷) به امکان سنجی نصب توربین های بادی فراساحلی در دریای خزر پرداخته اند. در این مقاله با معرفی سه متغیر اساسی شامل میانگین سرعت باد سالانه، عمق آب و فاصله از ساحل، در خصوص امکان نصب توربین های بادی فراساحلی، به بررسی نقاط مختلف دریای خزر جهت نصب توربین پرداخته شده و سپس با استفاده از تابع توزیع احتمالاتی ویبول و به کمک روابط مربوط، چگالی توان و انرژی بادی نقاط منتخب محاسبه گردیده و امکان نصب توربین ها در نقاط منتخب بررسی شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که هر چه از نواحی شمالی دریای خزر به نواحی جنوبی پیش می رویم، امکان نصب توربین بادی ضعیف تر می شود.

الحربی و دنس (۲۰۲۰) به بررسی الزامات آینده جهت استفاده از انرژی باد و خورشیدی در عربستان سعودی پرداختند. از دید آن ها حفاظت از زیرساخت های حیاتی (CIP) مفهومی متفاوت از «امنیت انرژی» است، در نتیجه باید انرژی خورشیدی و بادی را به عنوان منابع اصلی تامین انرژی در عربستان سعودی در نظر بگیرد. آن ها از روش های شبیه سازی مونت کارلو (MCS) و حرکت براونی (BM) برای پیش بینی رفتار آینده انرژی خورشیدی و بادی، همراه با بررسی دمای بلندمدت، بر اساس داده های روزانه ۶۹ ساله استفاده کردند. نتایج نشان داد که نواحی شمال غربی عربستان به دلیل فراوانی منابع انرژی خورشیدی و بادی با دمای پایین که در بیشتر ایام سال آسمانی صاف دارند، برای استقرار کاربردهای انرژی خورشیدی و بادی بسیار مناسب هستند. در رتبه دوم نواحی جنوبی عربستان قرار می گیرند که منابع مناسبی برای انرژی خورشیدی و انرژی باد به حساب می آیند. این مطالعه می تواند به عنوان یک نقشه راه برای دستیابی به اهداف اقلیمی و پایداری با ارائه یک نمای کلی درازمدت از انرژی خورشیدی، پیش بینی بلندمدت آینده هستند مانند عربستان سعودی در نظر گرفته شود (Fahad Alharbi * and Denes Csala and ۲۰۲۰).

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های چابهار و جاسک

نام ایستگاه	چابهار	جاسک
طول جغرافیایی	۶۰ ۳۷	۵۷ ۴۶
عرض جغرافیایی	۲۵ ۱۷	۲۵ ۳۸
ارتفاع بر حسب متر	۸	۵.۲
دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد	۲۶.۲	۲۶.۹



شکل ۱: نقشه عمق یابی سواحل جنوب ایران بر حسب متر (Karbassi et al., 2017)

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 V^3 \quad (۱)$$

P انرژی بر حسب وات بر متر مربع، ρ چگالی هوا (۱.۲۲۵) کیلوگرم بر متر مکعب، r شعاع پره توربین و V تندی باد است. چگالی توان باد به صورت توان بر واحد سطح عمود بر جریان باد تعریف می‌شود و برابر است با (اندرسون ۲۰۰۸):

$$P_{density} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (۲)$$

ارتفاع محور اکثر توربین‌های بادی ارتفاع ۵۰ متری است. در نتیجه در این تحقیق میزان انرژی باد در ارتفاع ۵۰ متری تخمین زده می‌شود. از آنجایی که خروجی اطلس باد پژوهشگاه هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین بود، با استفاده از قانون یک هفتم نیرو، اطلاعات باد در ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۵۰ متری تبدیل و توان باد در ارتفاع ۵۰ متری محاسبه می‌شوند (باگیورگاس، ۲۰۰۷):

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^{\frac{1}{7}} \quad (۳)$$

در این معادله v_2 سرعت باد در ارتفاع Z_2 و v_1 سرعت باد در ارتفاع Z_1 است.

جهت ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل از ابزارهای میانگین قدر مطلق خطا، جذر جذر میانگین مربعات خطا و ضریب هم

باد یکی از متغیرهای برداری مهم در شناخت پدیده‌های جوی است که سمت و سرعت آن یا از طریق مشاهده تخمین زده می‌شود و یا با استفاده از ابزارهای ویژه، اندازه‌گیری می‌شود. باد به دلیل جابه‌جایی هوا از مناطق پر فشار به مناطق کم فشار ایجاد می‌شود. چون حرکت یا جریان هوا تحت تاثیر عواملی چون ناهمواری‌های زمین، وضع زمین، منابع گرما، قرار دارد، لذا ضروری است سرعت و سمت باد در ارتفاع استاندارد ۱۰ متری از سطح زمین، اندازه‌گیری شود.

بررسی سمت و سرعت باد در هر منطقه در یک بازه زمانی مشخص، نیازمند رسم نمودار گلباد است. گلباد نموداری است که باد را در سرعت‌های معینی دسته‌بندی کرده و براساس درصد فراوانی، سمت و سرعت مربوطه آن را ترسیم می‌نماید. گلباد بیانگر وضعیت بادهای یک محل از نظر فراوانی سمت و میانگین سرعت آنها است.

برای طراحی سیستم استخراج انرژی، ابتدا نیاز به برآورد انرژی در دسترس است.

قدرت نظری توربین بادی از رابطه زیر به دست می‌آید (ثقفی، ۱۳۸۲):

(۲۰۲۱-۲۰۱۹) به صورت ساعتی استفاده شده است. شبیه سازی به حالت آشیانه‌ای (nested) و در دو دامنه انجام شده است. در ادامه جهت تعیین انرژی باد علاوه بر خروجی اجرای سه ساله از داده‌های اطلس باد پژوهشگاه هواشناسی در بازه ۱۱ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۵) نیز به صورت ساعتی استفاده شده است. WRF برای شبیه‌سازی جو واقعی و انجام دادن شبیه سازی‌هایی با تفکیک بالا، مجموعه‌ای از مؤلفه‌های فیزیکی، مانند تابش، پارامتری کردن لایه مرزی، پارامتری کردن همرفت، پخش پیچکی ریز شبکه‌ای، و میکروفیزیک لازم است که در مدل گنجانده شده است. در راستای قائم مدل از مختصات اتماسفیر استفاده می‌کند که از عوارض زمینی پیروی می‌کنند بطوریکه نقطه‌های شبکه مدل در ترازهای پایین‌تر از عوارض زمینی پیروی می‌کنند در حالی که سطوح بالایی تقریباً افقی هستند. مدل با دو دامنه تو در تو اجرا شد. تفکیک افقی دامنه بزرگتر ۱۵ کیلومتر و دامنه کوچکتر ۵ کیلومتر است. دامنه‌های اجرای مدل در شکل شماره ۱ آمده است.

پارامترسازی لایه مرزی یکی از کلیدی‌ترین عناصر در مدل-سازي جریان باد درون لایه مرزی است. پارامترسازی لایه مرزی اثرات دما، رطوبت و تکانه افقی را از شار توربولانسی ریزمقیاس بوسیله حل معادلات پخش توربولانسی محاسبه می‌کند. مدل WRF دارای پارامترسازی‌های مختلف برای لایه مرزی می‌باشند که هر کدام از تقریب و ساده‌سازی متفاوتی در حل معادلات شارهای تلاطمی استفاده می‌کنند. مطالعات مختلفی در مناطق مختلف جهان به منظور پارامترسازی لایه مرزی برای شبیه‌سازی جریان باد صورت گرفته است. اما لزوماً پارامترسازی بدست آمده برای یک منطقه را نمی‌توان برای منطقه دیگر استفاده کرد. بنابراین برای استفاده از مدل‌های عددی در یک منطقه نیاز به بررسی پارامترسازی‌های مورد نیاز وجود دارد. در این مطالعه نیز برای بدست آوردن تنظیمات بهینه، مدل با پنج پارامترسازی لایه مرزی مختلف که هر کدام از آنها دارای تقریب و روش متفاوتی برای حل معادلات تلاطمی لایه مرزی هستند، اجرا شد. این پنج پارامترسازی عبارتند از: MYJ، ACM2، MYNN2.5، QNSE و YSU. که در زیر برای هر کدام از این پارامترسازی‌ها توضیح مختصری آورده شده است.

بستگی استفاده شده است که در ادامه به اختصار توضیح داده خواهند شد (لایقی و همکاران، ۱۳۹۶).

جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) میزان خطای بین دو مجموعه داده را اندازه گیری می‌کند. این پارامتر معمولاً مقادیر پیش بینی شده و مقادیر اندازه گیری شده را با یکدیگر مقایسه می‌کند. روش محاسبه‌ی RMSE در زیر آمده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

یکی دیگر از ابزارهای آماری میانگین قدرمطلق خطا است که به اختصار MAE نیز نامیده می‌شود. در محاسبه خطا MAE فقط میزان فاصله و نه جهت فاصله به کار می‌رود. بنابراین MAE، میانگین قدرمطلق تفاضل بین مقدار پیش‌بینی و واقعی را محاسبه می‌کند. شیوه بدست آوردن MAE در رابطه شماره ۵ نوشته شده است:

$$MAE = \frac{|\sum y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (5)$$

در رابطه‌های ۴ و ۵، y_i مقادیر پیش‌بینی و \hat{y}_i مقادیر واقعی برای کمیت مورد نظر هستند. n تعداد مقادیر پیش‌بینی و مشاهده و i شمارنده است.

ضریب همبستگی پیرسون یکی دیگر از ابزارهای آماری است که تحت تأثیر واحد متغیرها نیست و از رابطه شماره ۶ به دست می‌آید:

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y} \quad (6)$$

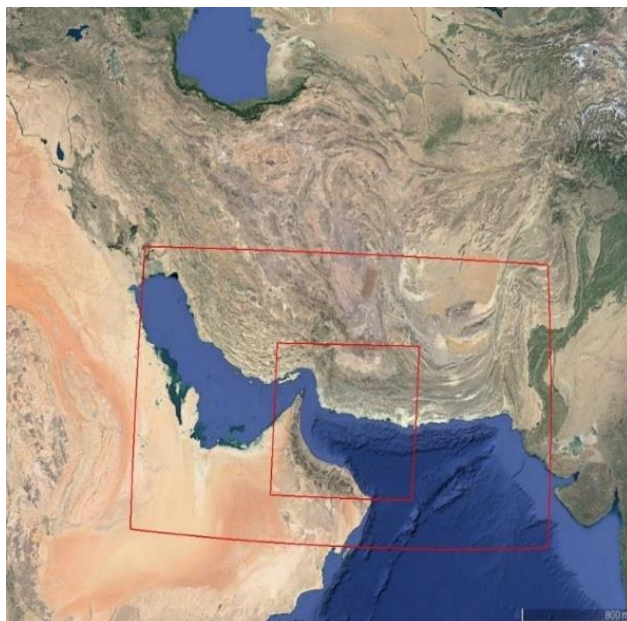
$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

ضریب همبستگی همواره عددی بین ۱ و -۱ است. این ضریب دو بخش دارد: مقدار عددی و علامت. مقدار عددی نشان می‌دهد چقدر رابطه خطی بین دو متغیر قدرتمند است. علامت نشان می‌دهد جهت این رابطه مثبت است یا منفی.

اگر ضریب همبستگی مثبت باشد، به این مفهوم است که افزایش در مقادیر یک متغیر با افزایش در مقادیر متغیر دیگر همراه است.

دوره آماری این تحقیق ۱۴ ساله بود. در این تحقیق جهت ارزیابی انرژی باد از داده‌های اطلس باد پژوهشگاه هواشناسی در بازه زمانی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ به صورت ساعتی و اجرای سه ساله مدل WRF در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ (به صورت ساعتی) استفاده شده است.

در این تحقیق از نسخه 3.9.1 مدل WRF و از داده‌های GFS ۰.۲۵ درجه به عنوان ورودی مدل در بازه زمانی سه ساله



شکل ۱- دامنه‌های اجرای مدل

۲۵.۲N و ۵۹.۵۶E

۲۵.۰۴N و ۶۱.۴۱E

مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نقاط مورد مطالعه در شکل شماره ۲ نشان داده شده‌اند. هر نقطه نماینده یک بخش (غربی، مرکزی و شرقی) از سواحل مکران در نظر گرفته شد تا بتوان تحلیل زمانی بهتری انجام داد.

یافته‌های تحقیق

در ابتدا مدل در یک بازه یک ماهه اجرا شد. برای ارزیابی خروجی مدل از داده‌های نقطه‌ای سینوپتیک استفاده کردیم. با توجه به جدول (۲) مشخص است که داده‌های نقطه‌جاسک و خروجی مدل در قیاس با نقطه‌چابهار هم خوانی کمتری با یکدیگر دارند. در کل هم خوانی قابل قبولی بین خروجی مدل و داده‌های هر دو نقطه وجود دارد. جهت بهبود خروجی مدل از تکنیک nudging استفاده شد. سپس با توجه به اینکه در نقاط مورد مطالعه داده‌های دیدبانی در دسترس نبود، جهت بررسی مجدد مدل پس از استفاده از تکنیک ذکر شده، از داده‌های ERA5 استفاده شد. از آنجایی که خروجی مدل پس از اجرای تکنیک nudging با داده‌های ایستگاه‌های زیادی توسط پژوهشگاه هواشناسی مقایسه شده است، ما در این تحقیق فقط به مقایسه نقاط مورد مطالعه خود پرداختیم.

برای بررسی عملکرد پارامترسازی‌های مختلف لایه مرزی و انتخاب بهترین آن‌ها، ابتدا مدل برای دو ماه جداگانه، یکی در فصل گرم و دیگری در فصل سرد سال ۲۰۱۳ میلادی (جولای و ژانویه)، اجرا می‌شود. این کار بدین منظور انجام می‌شود که توانایی مدل در شرایط آب و هوایی مختلف در منطقه سنجیده شود. بجز پارامترسازی لایه مرزی و لایه سطحی (که باید متناسب با پارامترسازی لایه مرزی انتخاب شود) بقیه تنظیمات در همه اجراها یکسان در نظر گرفته می‌شود. که در این مطالعه از طرحواره خردفیزیکی Lin و همکاران، طرحواره پارامتری کردن همرفتی Kain-Fritsch، طرحواره تابش طول موج بلند RRTM، تابش طول موج کوتاه Goddard و مدل سطح زمین NOAH استفاده شده است. برای بهبود نتایج از تکنیک nudging در اجرای مدل استفاده شده است. nudging یکی از روش‌های داده‌گواری است که در حل معادلات عددی جواب‌ها را به مقادیر اندازه‌گیری (یا تحلیلی) نزدیک می‌کند. برای بررسی اثر nudging مدل یک بار با nudging و یک بار بدون این آپشن اجرا شده و نتایج هر دو مورد با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاهی مقایسه شده است (پژوهشگاه هواشناسی).

لازم به ذکر است که در این پژوهش داده‌های مربوط به محدوده تنگه هرمز تا پسابندر در ۳ نقطه با مختصات:

۲۵.۵۹ N و ۵۷.۷۷E

جدول ۲: درستی سنجی خروجی سرعت باد مدل با استفاده از داده های نقطه چابهار و جاسک

نام نقطه	CC	RMSE(m/s)	MAE(m/s)
چابهار	۰.۶۱	۱.۸۱	۱.۱۲
جاسک	۰.۵۹	۲.۱۴	۱.۴۴

جدول ۳: درستی سنجی خروجی سرعت باد مدل با استفاده از داده های ERA5 در نقطه چابهار و جاسک

شماره نقطه	CC	RMSE(m/s)	MAE(m/s)
اول	۰.۷۹	۱.۵۸	۱.۱۷
دوم	۰.۸۳	۱.۳	۰.۹۵
سوم	۰.۷۶	۱.۷۲	۱.۲۹

چگالی توان باد نسبت به نقطه اول که در غرب نقطه دوم قرار دارد، بیشتر است. حداکثر چگالی توان باد در نقطه دوم بیشتر از نقطه اول است.

چگالی توان باد در نقطه سوم در بازه ۱۰۰ تا ۲۵۰ وات بر متر مربع است. بیشترین چگالی توان باد در ساعات میانی روز اتفاق می افتد. این نمودار اثر نسیم دریا را کاملاً نشان می دهد. اثر غالب در این نقطه نسیم دریاست که از ساعت ۶ تا ۱۸ UTC ادامه دارد. تداوم قله چگالی توان باد نسبت به نقطه اول و دوم بیشتر است. حداکثر توان انرژی موج در نقطه سوم (بخش شرقی دریای عمان) بیشتر از نقطه اول (بخش غربی) است.

با توجه به شکل شماره (۳) می بینیم که چگالی توان باد در نقطه اول (بخش غربی دریای عمان) در بازه ۶۰ تا ۲۳۰ وات بر متر مربع است. بیشترین توان مربوط به ماه های مارس و ژوئیه است.

با توجه به شکل (۳) می بینیم که چگالی توان باد در نقطه دوم (بخش مرکزی دریای عمان) در بازه ۹۰ تا ۲۴۰ وات بر متر مربع است. حداکثر چگالی توان باد در نقطه دوم بیشتر از نقطه اول است. این نمودار اثر مونسون را نشان می دهد. بیشترین چگالی توان باد مربوط به ماه های مارس و ژوئیه است.

با توجه به شکل (۳) می بینیم که چگالی توان باد در نقطه سوم (بخش شرقی دریای عمان) در بازه ۱۰۰ تا ۲۶۰ وات بر متر مربع است. حداکثر چگالی توان باد در نقطه سوم (بخش شرقی دریای عمان) بیشتر از نقطه اول و دوم است. این نمودار اثر مونسون را به خوبی نشان می دهد. بیشترین انرژی مربوط به ماه های مارس و ژوئیه است. در ماه ژوئیه با مونسون

بر اساس جدول (۳) و محاسبات انجام شده، خروجی مدل و داده های ERA5 برای نقطه هر دو نقطه هم خوانی بسیار خوبی دارند.

پژوهشگاه هواشناسی در پروژه اطلس باد جهت بررسی صحت باد خروجی ۱۱ ساله مدل را بررسی کرده است و تنظیمات طرحوارهها به گونه ای صورت گرفته است که بهترین نتایج برای باد در کشور ما به دست آمده است. در این پژوهش نیز جهت بررسی جهت باد، از داده های ERA5 و مدل برای مقایسه جهت غالب یاد استفاده شد. نتایج حاصل در جداول شماره ۴ و ۵ آمده است.

با توجه به شکل (۲) می بینیم که چگالی توان باد در نقطه اول (بخش غربی دریای عمان) در بازه ۱۰۰ تا ۱۸۰ وات بر متر مربع است. بیشترین توان باد مربوط به ساعت ۶ UTC است و حداقل آن در بعد از ظهر UTC اتفاق می افتد.

در کل خروجی جهت باد مدل WRF در قیاس با اندازه باد خطای بیشتری دارد. اما هم خوانی مدل با تمامی داده ها در هر سه نقطه قابل قبول است.

با توجه به خروجی قابل قبول مدل می توانیم از این خروجی جهت محاسبه انرژی باد در منطقه استفاده کنیم. در ادامه جهت ارزیابی و تخمین انرژی باد، از داده های ۱۱ ساله اطلس باد پژوهشگاه هواشناسی و اجرای سه ساله مدل از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است.

چگالی توان باد در در نقطه دوم (بخش مرکزی دریای عمان) بازه ۱۰۰ تا ۲۵۰ وات بر متر مربع است. این نمودار اثر نسیم دریا را کاملاً نشان می دهد. اثر غالب در این نقطه نسیم دریاست که از ساعت ۸ تا ۱۸ UTC ادامه دارد. تداوم قله

می‌دهد. بیشینه چگالی کل توان باد مربوط به نقطه سوم (در بخش شرقی دریای عمان) به میزان ۱۵۷.۳۲ وات بر متر مربع معادل انرژی سالانه ۱۳۷۸.۱۲ وات ساعت است.

جهت تنظیم پره‌های توربین بادی نیاز به دانستن جهت غالب باد در هر بازه زمانی است. بدین منظور گلباد سه نقطه مورد مطالعه در هر فصل ترسیم شد که نتایج آن در شکل‌های شماره ۴ تا ۷ آمده‌اند.

تابستانی (افزایش وزش باد) و در ماه مارس با مونسون زمستانی یا به عبارتی نفوذ پرفشار سبیری (افزایش وزش بادهای شمالی) به منطقه مواجه هستیم.

در ادامه جهت پتانسیل سنجی انرژی باد، باید میزان انرژی در دسترس در طول سال به دست آید (جدول ۴).

با توجه به جدول (۶) می‌بینیم که میزان انرژی باد در دسترس در شرق و مرکز دریای عمان بیشتر از بخش غربی است. در هر سه نقطه بیشینه انرژی در ماه‌های مارس و ژوئیه رخ

جدول ۳: درستی سنجی خروجی سرعت باد مدل با استفاده از داده‌های ERA5 در نقطه چابهار و جاسک

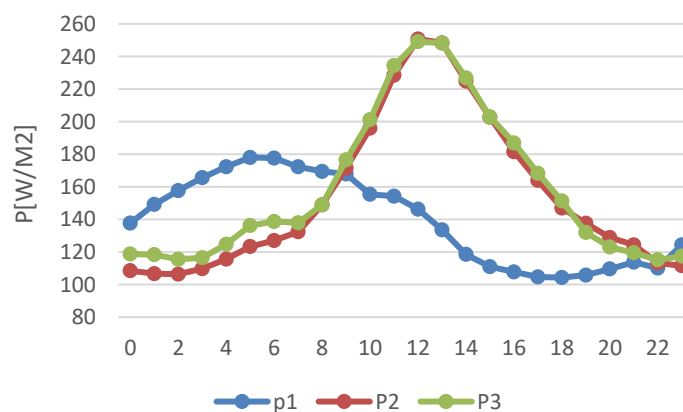
شماره نقطه	CC	RMSE(m/s)	MAE(m/s)
اول	۰.۷۹	۱.۵۸	۱.۱۷
دوم	۰.۸۳	۱.۳	۰.۹۵
سوم	۰.۷۶	۱.۷۲	۱.۲۹

جدول ۴: جهت غالب باد فصلی حاصل از خروجی مدل WRF در هر ۳ نقطه مورد مطالعه

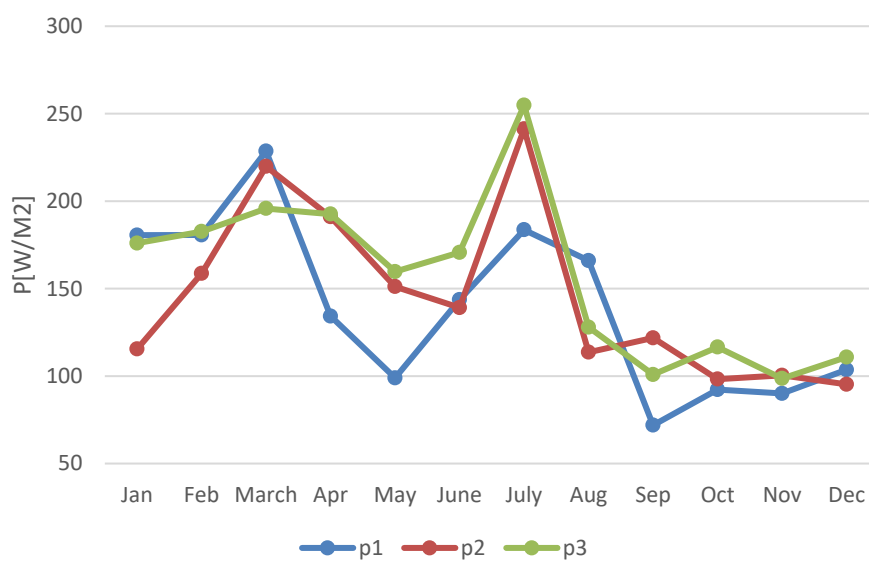
فصل	جهت غالب باد در نقطه اول (غرب عمان)	جهت غالب باد در نقطه دوم (مرکز عمان)	جهت غالب باد در نقطه سوم (شرق عمان)
بهار	W	SW	W
تابستان	SE	S	SE
پاییز	SE	SW	SE
زمستان	W	W	W

جدول ۵: جهت غالب باد فصلی داده‌های ERA5 در هر ۳ نقطه مورد مطالعه

فصل	جهت غالب باد در نقطه اول (غرب عمان)	جهت غالب باد در نقطه دوم (مرکز عمان)	جهت غالب باد در نقطه سوم (شرق عمان)
بهار	NW	W	W
تابستان	SE	SE	SE
پاییز	S	S	SE
زمستان	NW	NW	N



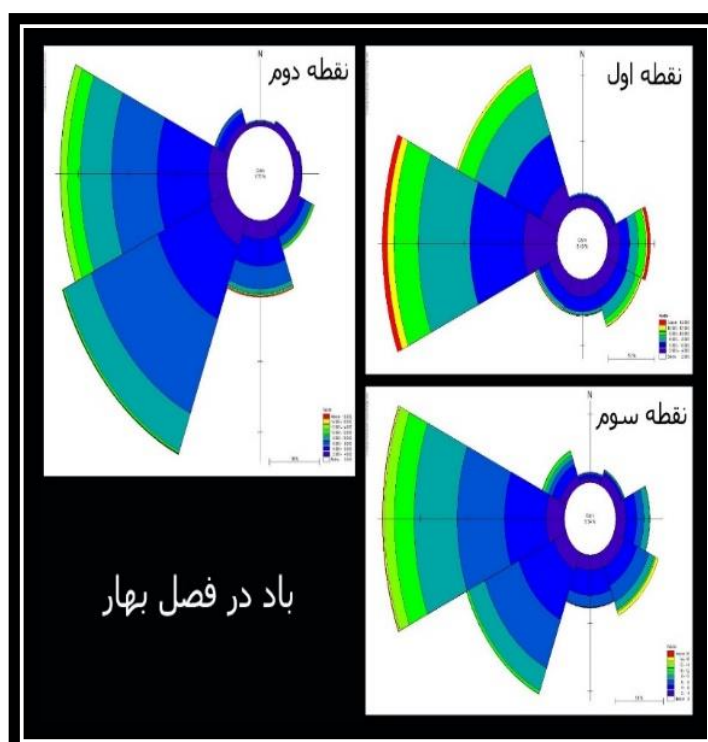
شکل ۲: میانگین ساعتی چگالی توان باد بر حسب وات بر متر مربع در هر سه نقطه (دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)



شکل ۳: میانگین ماهانه چگالی توان باد بر حسب وات بر متر مربع در هر سه نقطه (دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۲۱ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)

جدول ۶: میانگین چگالی توان باد و انرژی سالانه (از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ و ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱) در هر سه نقطه مورد مطالعه

شماره نقطه	میانگین چگالی توان باد (W/m ²)	انرژی سالانه (kWh)
۱	139.5	1222.02
۲	155.61	1357.8
۳	157.32	1378.12



شکل ۴: گلباد هر سه نقطه مورد مطالعه در فصل بهار (دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۲۱ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)

طبق شکل شماره ۸ اکثر بادهای در نقطه اول (بخش غربی دریای عمان) در بازه ۲ تا ۷ متر بر ثانیه هستند و فراوانی بیشینه در بازه ۳ تا ۵ متر بر ثانیه است.

طبق شکل شماره ۹ اکثر بادهای در نقطه دوم (بخش مرکزی دریای عمان) در بازه ۲ تا ۹ متر بر ثانیه هستند. فراوانی بیشینه در بازه ۴ تا ۶ متر بر ثانیه است.

طبق شکل ۱۰ اکثر بادهای در نقطه سوم (بخش شرقی دریای عمان) در بازه ۲ تا ۹ متر بر ثانیه هستند. فراوانی بیشینه در بازه ۵ تا ۶ متر بر ثانیه است.

با توجه به اینکه سرعت حدی ۳ متر بر ثانیه سرعت حداقل بسیاری از توربین‌های تجاری موجود در کشور است، جهت بررسی تداوم باد از این سرعت حدی استفاده شده و نتایج در جدول ۵ آمده است (سفیدپری، ۱۳۹۵).

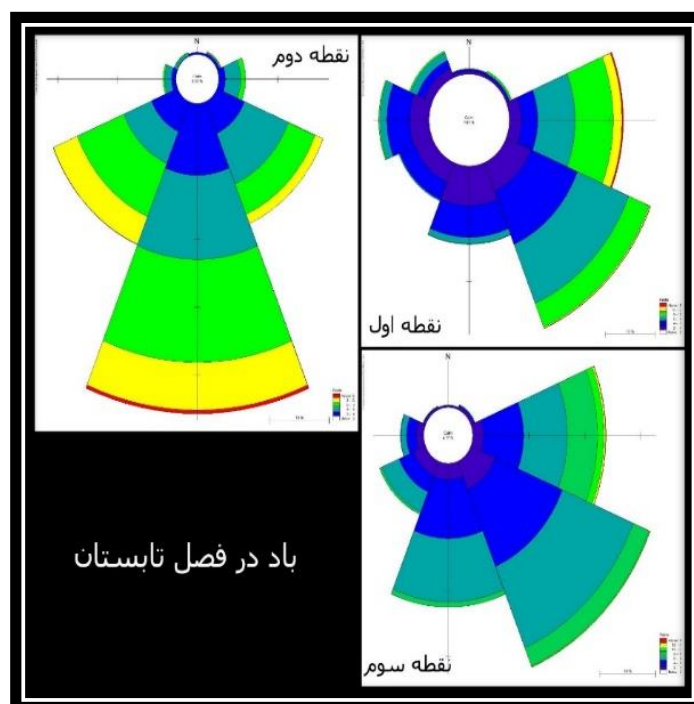
به طور کلی بالای ۷۰ درصد از ایام سال می‌توان از انرژی باد استفاده کرد.

طبق نتایج به دست آمده از مدل WRF (بازه ۱۴ ساله)، جهت غالب باد در سه نقطه مورد مطالعه در فصل بهار مطابق شکل ۴ است. طبق این شکل جهت غالب باد در فصل بهار غربی، شمال غربی و جنوب غربی است.

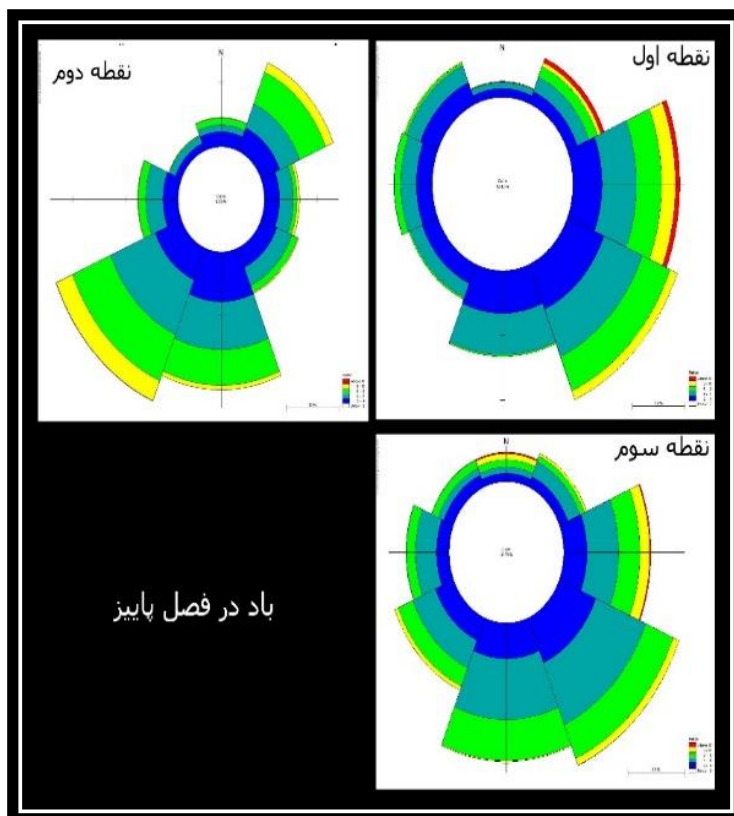
جهت غالب باد در سه نقطه مورد مطالعه در فصل تابستان مطابق شکل ۶ است. طبق این شکل جهت غالب باد جنوبی، جنوب شرقی و شرقی است.

جهت غالب باد در سه نقطه مورد مطالعه در فصل پاییز مطابق شکل ۶ است. طبق این شکل جهت غالب باد جنوبی، جنوب شرقی و شرقی است.

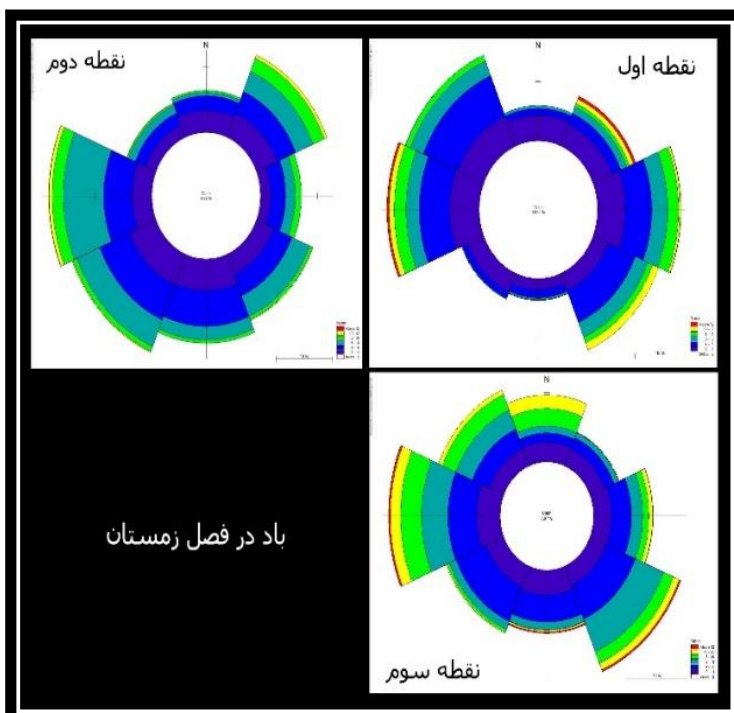
جهت غالب باد در سه نقطه مورد مطالعه در فصل زمستان مطابق شکل ۷ است. طبق این شکل جهت غالب باد غربی و شمال غربی است. جهت بررسی سرعت‌های باد موجود در منطقه، نمودار فراوانی سرعت باد ۵۰ متر هر سه نقطه ترسیم شد. این نمودار در شکل‌های ۸ تا ۱۰ آمده است.



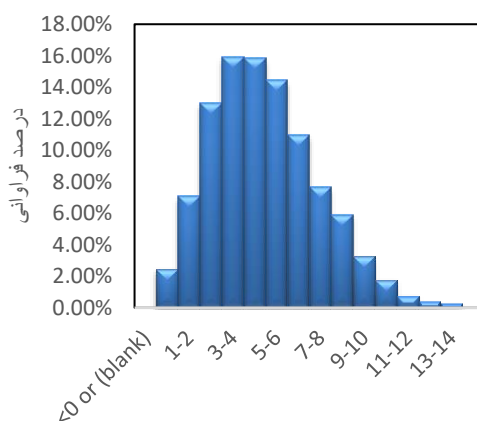
شکل ۵: گلباد هر سه نقطه مورد مطالعه در فصل تابستان (دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)



شکل ۶: گلباد هر سه نقطه مورد مطالعه در فصل پاییز (دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۲۱ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)

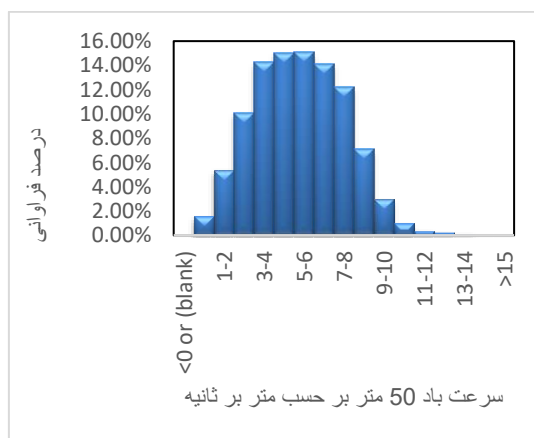


شکل ۷: گلباد هر سه نقطه مورد مطالعه در فصل زمستان (دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۲۱ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)



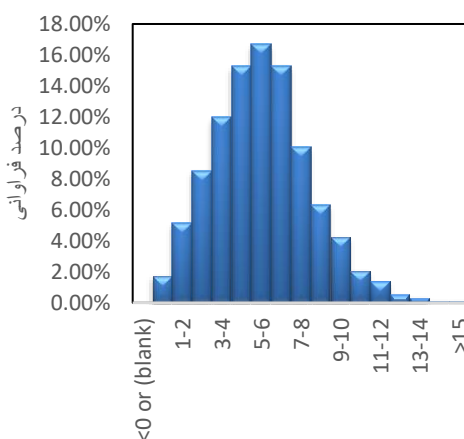
سرعت باد ۵۰ متر بر حسب متر بر ثانیه

شکل ۸: نمودار فراوانی سرعت باد ۵۰ متر در نقطه اول (دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)



سرعت باد ۵۰ متر بر حسب متر بر ثانیه

شکل ۹: نمودار فراوانی سرعت باد ۵۰ متر در نقطه دوم (دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)



سرعت باد ۵۰ متر بر حسب متر بر ثانیه

شکل ۱۰: نمودار فراوانی سرعت باد ۵۰ متر در نقطه سوم (دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱)

جدول ۵: تعداد ساعت در سال و درصد از کل قابل استفاده از انرژی باد

نام نقطه	درصد از کل ایام سال	ساعت در سال
نقطه اول	۷۷/۴	۶۷۸۱
نقطه دوم	۸۲/۸	۷۲۵۵
نقطه سوم	۸۴/۵	۷۳۹۷

نتیجه گیری

در این تحقیق میانگین ماهانه و ساعتی توان انرژی باد در هر سه نقطه محاسبه گردید.

بیشترین چگالی توان باد در ماه های مارس و ژوئیه به دست آمد. به طور کلی مشخص شد که بالای ۶۰۰۰ ساعت در سال می توان از انرژی باد استفاده کرد.

میانگین ۱۴ ساله چگالی توان باد در نقطه اول ۱۳۹.۵ وات بر متر مربع، در نقطه دوم ۱۵۵.۶۱ وات بر متر مربع و در نقطه سوم ۱۵۷.۳۲ وات بر متر مربع محاسبه شد. با توجه به میانگین ۳۰ ساله اطلس باد جهانی

(<https://globalwindatlas.info/en/area/Iran>)

مقدار چگالی توان باد در نقطه اول حدود ۱۶۷ وات بر متر مربع، در نقطه دوم ۱۸۷ وات بر متر مربع و در نقطه سوم ۱۹۷ وات بر متر مربع است. نتایج به دست آمده در این پژوهش تا حد قابل قبولی با اطلس باد جهانی هم خوانی دارند.

با این اوصاف به نظر می رسد بخش مرکزی و شرقی دریای عمان قابلیت بیشتری جهت استفاده از انرژی باد نسبت به بخش غربی دارند. در این نواحی بالای ۸۰ درصد از ایام سال می توان از انرژی باد استفاده کرد. در ادامه راه سعی بر آن است که پهنه بندی کمیت باد و انرژی حاصل از آن همانند اطلس باد جهانی رسم شود و کل کرانه های دریای عمان را بررسی گردد.

پیشنهاد می شود مطالعات بیشتری در زمینه انرژی باد در نقاط بیشتری از کشور انجام شود و از تجربیات کشورهای چوین آلمان و هند که در این زمینه مطالعات زیادی انجام داده اند استفاده شود تا بتوان به راه حل هایی جهت جایگزین کردن انرژی سوخت های فسیلی پیدا کرد. علاوه بر این در ادامه راه باید توربین های مختلف نیز بررسی شوند و مناسبترین توربین برای منطقه انتخاب شود تا بتوان از پتانسیل موجود در کشور استفاده بهینه کرد.

منابع

- 1- Omidvar, K., and Dehghan Tazarjani, M., 2013, "Potentiometry and characteristics of wind power for energy production in the observation stations of Yazd province". Geographical Research Quarterly, year 27, number two, summer 2013, serial number 105.
- 2- Pourzare, M., and Hanafi, A., 2017, Evaluation of the influence of climatic parameters on the trend of sea level changes using linear statistical models in the northern coasts of Oman Sea. Climatology Research Journal, 9th year, No.35, 2017.
- 3- Thaghafi, M., 1382, "New Renewable Energies", University of Tehran Publishing and Printing Institute, second edition.
- 4- Roshan, G., Qanqormeh, A., and shahkoui, A., 2013, "Evaluation of wind energy production potential in selected points of Iran". Regional Planning, 4(14), 13-30. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=220715>
- 5- Kaviani, M., 1378, "Energy needs and climate change prospects in the 21st century", collection of papers of the second climate change conference.
- 6- Gandoamkar, Omid., 2018, "Evaluation of potential wind energy in Iran". Journal of Geography and Environmental Planning, 20th year, serial number 36, number 4.
- 7- Layeghi, b., Qader, S., Bidakhti, A., and Azadi, M., (2016), "Sensitivity analysis of WRF model simulations to physical parameterizations in Persian Gulf and Oman Sea during summer monsoon", Iran Geophysics Journal.
- 8- Mashidi, b., Zarei, H., Zarei, P., and Mashidi, M., 2014, "The formation process of the use of offshore renewable energy in the world and the marine areas of Iran". The 6th specialized scientific conference on renewable, clean and efficient energies, Tehran, <https://civilica.com/doc/311330>.
- 9- Niknam Garmi, H., Hakimzadeh, H., and Madadi, H., 2017, "Feasibility of installing offshore wind turbines in the Caspian Sea".

- 22- Lee, Ki-Hak, Sang-Ook Jun, Kyung-Hyun Pak, Dong-Ho Lee, Kyeong-Woo Lee, Jong-Po Park., 2010. "Numerical Optimization of Site Selection for Offshore Wind Turbine Installation Using Genetic Algorithm, *Current Applied Physics*", 10(2): 302- 306 .
- 23- Liu, X., Yuan Yue, Y., Xin Huang, X., Xu, W. and Lu, X., 2022. A Review of Wind Energy Output Simulation for New Power System Planning. *Front. Energy Res.*, 16 June 2022 Sec. Smart Grids Volume 10 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.942450>.
- 24- Patel, M. R., 1999. "Wind and solar power systems". USA, New York: library of congress cataloging in publication data
- 25- Zhang, S., Wang, C., Liao, P., Xiao, L., and Fu, T. (2022). Wind Speed Forecasting Based on Model Selection, Fuzzy Cluster, and Multi-Objective Algorithm and Wind Energy Simulation by Betz's Theory. *Expert Syst. Appl.* 193, 116509. doi: 10.1016/j.eswa.2022.116509.
- Maritime Transportation Industry Quarterly, Volume 4, Number 1, 4-17.
- 10- Alharbi, F., and Csala, D., (2020), "Saudi Arabia's Solar and Wind Energy Penetration" Future Performance and Requirements, *Energies* 2020, 13, 588; doi:10.3390/en13030588.
- 11- Alharbi, F. and Csala, D. (2020). Saudi Arabia's Solar and Wind Energy Penetration: Future Performance and Requirements, *Energies* 2020, 13, 588; doi:10.3390/en13030588.
- 12- Andersson, M., 2008. "Wave power base load properties". Uppsala University. Sweden.
- 13- Bilal, B., Ndongo, M., Kebe, C., V. Sambou, V., and Ndiaye, P, 201. Feasibility study of wind energy potential for electricity generation in the northwestern coast of Senegal. *TerraGreen 13 International Conference 2013 - Advancements in Renewable Energy and Clean Environment. Energy Procedia* 36 (2013) 1119 – 1129. doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.127
- 14- Belu, R., Koracin, D., 2009. "Wind characteristics and wind energy potential in western Nevada", Vol. 34, PP. 2246-2251.
- 15- Bagiorgas, H.S. and et al., 2007. "Electricity generation using wind energy conversion systems in the area of Western Greece", *Energy Conversion and management*, Vol.48.
- 16- Dahbi, M., Bentallal A., Sellam, M., 2013. "the Analysis of Wind Power Potential in Sahara Site Algeria-an Estimation Using the 'Weibull' Density Function", *Terra Green 13 International Conference 2013 Advancements in Renewable Energy and Clean Environment*, pp 179 –188.
- 17- Eskin, N.; Artar, H. and Tolun, S., 2008. "Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 839-851.
- 18- Han, X., Li, T., Zhang, D., and Zhou, X. (2021). New Issues and Key Technologies of New Power System Planning under Double Carbon Goals. *High. Volt. Eng.* 47 (9), 3036–3046. doi: 10.13336/j.1003-6520.hve.20210809.
- 19- <https://globalwindatlas.info/en/area/Iran>
- 20- Karbassi, A., Mahin Abdollahzadeh, E., Attaran-Fariman, G., Nazariha, M. and Mazaheri-Assadi, M, 2017. Predicting the Distribution of Harmful Algal Bloom (HAB) in the Coastal Area of Oman Sea. *Nature Environment and Pollution Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 753-764, 2017.