

(مقاله پژوهشی)

ارزیابی مدل WRF برای مطالعه انرژی باد در منطقه کیش

مهدی اسماعیلی^۱، سعید فرهادی پور^{۲*}

saeed.farhadypoor@gmail.com

۱- استادیار اقیانوس‌شناسی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۲- استادیار هواشناسی، مرکز هواشناسی و اقیانوس‌شناسی چابهار

چکیده

اولین گام در مطالعه پتانسیل انرژی بادی یک منطقه، تهیه داده‌های باد مناسب برای آن منطقه است. روش معمول برای جمع‌آوری داده‌های باد، نصب دکل‌های اندازه‌گیری باد می‌باشد. این روش مستلزم هزینه‌های هنگفتی است که می‌تواند برگشت‌ناپذیر باشد زمانی که آن منطقه پتانسیل باد خوبی نداشته باشد. روش دیگر برای تهیه داده‌های مناسب که امروزه بسیار رایج است، استفاده از مدل‌های عددی است. در این مطالعه، مدل WRF و پارامترسازی‌های فیزیکی مختلف موجود در آن برای ارزیابی انرژی بادی در منطقه کیش مورد بررسی قرار گرفته است. در گام نخست، پنج پارامترسازی لایه مرزی مختلف برای بدست آوردن تنظیمات بهینه شبیه‌سازی جریان باد، مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، بهترین پارامترسازی از طریق مقایسه طرحوارهها با داده‌های اندازه‌گیری شده توسط دکل باد سازمان انرژی‌های نو ایران بدست آمد. نهایتاً مدل برای یک سال با تنظیمات بهینه بدست آمده اجرا و نتایج آن با داده‌های موجود مقایسه شد. برای مقایسه از توزیع ویبول، نمودارهای میانگین روزانه و ماهانه سرعت باد، برش قائم باد و جهت باد استفاده شده است. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد از بین پنج طرحواره‌ی بکار گرفته شده را پارامترسازی MYNN۲,۵ دارا می‌باشد. علاوه بر این، پارامترهای شکل و مقیاس حاصل از مدل و داده‌های اندازه‌گیری اختلاف ناچیزی داشته و جهت باد نیز انحراف پادساعتگرد کمی نشان داد. در کل می‌توان عنوان کرد مدل WRF توانایی خوبی در شبیه‌سازی میدان باد در منطقه کیش دارد.

کلمات کلیدی: انرژی باد، مدل عددی، پارامترسازی لایه مرزی، شبیه‌سازی، توزیع ویبول



تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹

DOI: 10.22034/ijmt.2022.543590.1737

صص ۶۴-۷۲

۱- مقدمه

به درک وضعیت جوی و تأثیر آن روی اقلیم یک منطقه کمک کند [۴]. پارامترسازی لایه مرزی یکی از کلیدی‌ترین عناصر در مدل‌سازی جریان باد درون لایه مرزی است. پارامترسازی لایه مرزی اثرات دما، رطوبت و تکانه افقی را از شار تلاطمی ریزمقیاس به وسیله حل معادلات پخش تلاطمی محاسبه می‌کند [۵]. مدل‌های عددی 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 [۶]. بنابراین برای استفاده از مدل‌های عددی در یک منطقه نیاز به بررسی پارامترسازی‌های مختلف است.

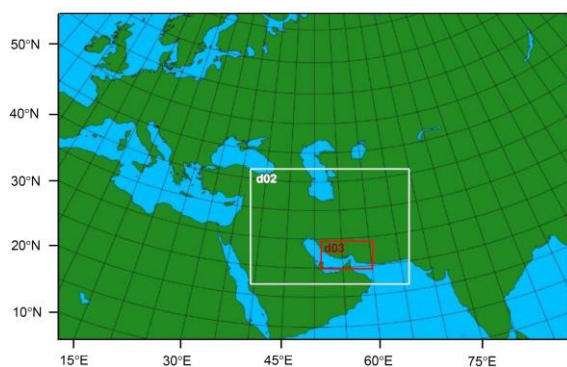
امروزه از مدل عددی WRF^۱ جهت پتانسیل‌سنجی انرژی باد در مناطق مختلف جهان استفاده می‌شود. استورم و همکاران با استفاده از مدل WRF به بررسی باد تراز پایین در تگزاس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل قادر است به خوبی ویژگی‌های باد تراز پایین را شبیه‌سازی کند [۷]. خیمنز و همکاران با استفاده از مدل‌های MM^۵ و WASP^۲ به بررسی چشمه‌های انرژی باد در دریای شمال در آلمان پرداختند. آنها دریافتند که خروجی مدل‌ها اختلاف اندکی با دیدبانی دارد و در کل مدل‌ها برای تخمین چشمه باد مناسب هستند [۸]. سوارز و همکاران با استفاده از مدل‌های WRF و WASP به بررسی مناطق چشمه برای انرژی باد در منطقه‌ای از بلغارستان پرداختند و مناطق چشمه انرژی باد را با دقت خوبی شناسایی کردند و به این نتیجه رسیدند که از مدل‌های میان‌مقیاس با دقت بالایی می‌توان در مناطقی با توپوگرافی پیچیده برای پتانسیل‌سنجی انرژی باد استفاده کرد [۹]. شبیه‌سازی میدان باد با مدل WRF در منطقه دریای عمان و دریای عرب توسط بهمن‌زاده و همکاران انجام شد. ارزیابی نتایج برای دو پیکربندی متفاوت از دیدگاه پارامترسازی فیزیکی با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و داده‌های دو سنجنده ماهوره‌ای OSCAT و ASCAT، عملکرد مناسب و قابل قبول

باد یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و استفاده از انرژی باد در دهه گذشته به‌طور تصاعدی افزایش یافته است. روش متداول مورد استفاده برای ارزیابی منابع انرژی باد در نواحی مختلف دنیا، تجزیه و تحلیل باد اندازه‌گیری شده در تعدادی از ایستگاه‌های اطراف منطقه است. به‌عنوان مثال می‌توان به اطلس باد اروپا و اطلس باد ایران (ساتبا) اشاره کرد [۲،۱]. برای تهیه اطلس باد نیاز به مقدار کافی داده باد است. بنابراین باید تعداد زیادی ایستگاه اندازه‌گیری باد در منطقه نصب شود که این امر صرف هزینه‌های هنگفتی را بدنبال دارد. همچنین با توجه به اینکه احتمال دارد منطقه مورد مطالعه، پتانسیل مناسبی برای استحصال انرژی بادی نداشته باشد، صرف هزینه نصب دکل‌های اندازه‌گیری باد، هزینه‌ای بدون برگشت و کار بی‌نتیجه‌ای خواهد بود. بنابراین باید به دنبال روش‌های جایگزین برای اندازه‌گیری باد بود.

امروزه مدل‌های عددی جوی این مشکل را حل نموده‌اند. مدل‌های عددی جوی قادرند با دقت خوبی باد تراز پایین را شبیه‌سازی کرده و داده مناسب برای تحلیل رژیم باد یک منطقه را ایجاد کنند. معادلات حرکت حاکم بر جریان سیال، معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی نامیده می‌شوند که به‌صورت رو به جلو در زمان^۱ حل می‌شوند. در مدل‌های ریاضی بسیاری از پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مختلف به‌طور معمول بکار گرفته می‌شوند. این معادلات را نمی‌توان به‌صورت تحلیلی حل کرد بنابراین تکنیک‌های عددی برای تبدیل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی پیوسته به مجموعه‌ای از معادلات جبری قابل حل با رایانه، نیاز می‌باشد [۳]. اما روش‌های عددی دارای محدودیت‌هایی هستند که نمی‌توانند فرایند ریزتر از گام شبکه تعریف شده در مدل را در نظر بگیرند. درحالی‌که برخی پدیده‌های ریزمقیاس تأثیر زیادی در پیش‌بینی وضعیت جوی دارند. برای رفع این مشکل از روش پارامترسازی^۲ استفاده می‌شود. پارامترسازی فرایندی است که برای نشان دادن برخی از فرایندهای فیزیکی مهم (مانند شار تلاطمی درون لایه مرزی) که به‌صورت مستقیم توسط مدل‌های عددی در نظر گرفته نمی‌شود، بکار می‌رود. بررسی پارامترسازی می‌تواند

^۱ Weather Research and Forecasting (WRF)^۱ Forward in Time^۲ Parameterization

است. در این مطالعه، توانایی مدل WRF در شبیه‌سازی میدان باد در منطقه جزیره کیش استان هرمزگان مورد بررسی قرار گرفته است. مدل WRF اولین مدل پیش‌بینی جوی است که هم پیش‌بینی عملیاتی و هم نیازهای تحقیقاتی جوی را برآورده می‌سازد. در این مدل طرحواره‌های فیزیکی مختلف برای پارامترسازی حرکت‌های کومه‌ای، لایه مرزی، انتقال تابشی و غیره در نظر گرفته شده است [۲۰]. در این مطالعه، مدل با سه دامنه تو در تو اجرا شد که دامنه کوچک‌تر شامل نوار ساحلی استان هرمزگان و جزایر آن می‌شود. دامنه‌های تعریف شده در مدل WRF در شکل ۱ نشان داده شده است. برای بهبود نتایج از تکنیک کشانش^۱ در اجرای مدل استفاده شده است. کشانش یکی از روش‌های داده‌گواری^۲ است که در حل معادلات عددی جواب‌ها را به مقادیر اندازه‌گیری (یا تحلیلی) نزدیک می‌کند [۲۱].



شکل (۱) دامنه‌های تعریف شده در مدل WRF

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، ACM^۲، MYNN^{۲,۵}، QNSE و YSU. ابتدا مدل برای دو ماه جداگانه، یکی در فصل گرم (ماه جولای) و دیگری در فصل سرد (ماه دسامبر) سال ۲۰۰۷ میلادی، اجرا شد. این کار بدین منظور انجام شد 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 شد. در این مطالعه از طرحواره

مدل را نشان داد [۱۰]. در مطالعه یاناروس و همکاران شبیه‌سازی عددی برای یک دوره یکساله در منطقه‌ای از یونان نشان داد که مدل WRF توانایی بازتولید ویژگی‌های اساسی میدان باد بر فراز منطقه مورد مطالعه را دارا می‌باشد [۱۱]. تان و همکاران عملکرد مدل WRF را در پیش‌بینی سرعت و جهت باد طی ۷۲ ساعت آینده در بخش غربی ترکیه برای فصول مختلف ارزیابی کردند. مقایسه نتایج با داده‌های میدانی نشان داد که مدل WRF سرعت باد را کمی بیشتر برآورد کرده است. همچنین سرعت باد پیش‌بینی شده بستگی زیادی به فصل، مکان و جهت باد دارد [۱۲]. کاربرد مدل WRF برای مطالعه انرژی باد در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است [۱۹-۱۳].

از مزیت‌های استفاده از مدل‌های عددی می‌توان به کاهش چشمگیر هزینه‌های نصب، راه‌اندازی و پشتیبانی شبکه اندازه‌گیری، دسترسی به میدان باد در بازه‌های مکانی و زمانی وسیع‌تر، امکان استفاده و طراحی شبکه اندازه‌گیری با تفکیک مکانی پایین‌تر برای دستیابی به شرایط بهینه، قابلیت شبیه‌سازی باد در تفکیک بالا و شرایط مختلف کاربری اراضی، تحلیل هم‌دیدگی و دینامیکی شرایط حاکم بر رژیم‌های باد منطقه و پیش‌بینی توان خروجی توربین‌های نصب شده با دقت مناسب، اشاره کرد.

با توجه به وسعت زیاد کشور، تنوع و پیچیدگی توپوگرافی و کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری باد، هزینه بالای راه‌اندازی و پشتیبانی سایت‌های اندازه‌گیری متعدد، استفاده از ابزاری مناسب در مطالعات پتانسیل‌سنجی و امکان‌سنجی نصب توربین‌های بادی امری ضروری است که در کشور کم‌تره آن پرداخته شده است. نظر به اینکه یکی از مناطق مستعد بهره‌برداری از انرژی باد، مناطق ساحلی می‌باشند، در این مطالعه مدل WRF به‌عنوان یکی از مدل‌های پرکاربرد در زمینه مطالعات جوی در بازتولید داده مناسب، برای بررسی انرژی باد در منطقه کیش مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

جزیره کیش جزیره‌ای بیضی‌شکل با طول ۱۵/۵ کیلومتر و عرض ۷/۵ کیلومتر است که در مجاورت سواحل استان هرمزگان در خلیج فارس قرار دارد. محیط و مساحت تقریبی این جزیره به ترتیب برابر ۴۴ کیلومتر و ۹۰ کیلومتر مربع

^۱ Data assimilation

^۲ Nudging

مدل استخراج و با داده‌های دیده‌بانی ایستگاه کیش مقایسه می‌شود. معمولاً برای بررسی توزیع سرعت باد بدست آمده از مدل WRF از توزیع ویبول^۴ طبق رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$f(v) = \frac{k}{c} (v/c)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad (1)$$

در این رابطه، $f(v)$ احتمال سرعت باد v ، c پارامتر مقیاس (بر حسب متر بر ثانیه) و k پارامتر شکل (بدون بعد) است [۱۶،۱۱]. پارامترهای شکل و مقیاس بدست آمده از داده‌های ایستگاهی با پارامترهای متناظر بدست آمده از خروجی مدل مقایسه می‌شود. همچنین از نمودار میانگین روزانه و ماهانه سرعت باد برای مقایسه سرعت باد بدست آمده از خروجی مدل‌ها با داده ایستگاهی نیز استفاده شده است. نمودار میانگین روزانه از میانگین‌گیری ۱۰ دقیقه‌ای سرعت باد برای همه روزهای سال بدست آمده است.

پارامترهای دیگری که در بحث نصب و نگهداری توربین‌های بادی مهم است، برش قائم و جهت باد می‌باشد. برش قائم باد بالا ممکن است باعث آسیب به توربین‌ها و حتی شکسته شدن آنها شود. همچنین جهت باد عاملی است که در نصب توربین‌های بادی از اهمیت بسزایی برخوردار است. دو روشی که بیشتر برای مطالعه برش قائم باد استفاده می‌شوند، قانون توانی و قانون لگاریتمی می‌باشند. قانون توانی بصورت زیر است [۱۹]:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad (2)$$

که u_1 و u_2 به ترتیب سرعت‌های باد در ارتفاع‌های z_1 و z_2 و α ضریبی است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\alpha = \frac{\ln(u_2/u_1)}{\ln(z_2/z_1)} \quad (3)$$

و قانون لگاریتمی به صورت زیر می‌باشد:

$$U(z) = \frac{U^*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z > z_0 \quad (4)$$

$$U(z) = 0 \quad z \leq z_0$$

که U^* سرعت اصطکاک، k ثابت ون کارمن، $U(z)$ سرعت در ارتفاع z و z_0 زبری سطح می‌باشد.

میکروفیزیک لین و همکاران، طرحواره پارامتری کردن همرفتی کین- فریتچ، طرحواره تابش طول موج بلند RRTM^۱ ام‌لاور و همکاران، تابش طول موج کوتاه چو و گودارد و مدل سطح زمین NOAH^۲ چن و دوهیا استفاده شده است [۲۶-۲۲].

برای مقایسه خروجی‌های مدل با داده‌های دیدبانی، از داده‌های دکل اندازه‌گیری باد که توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در جزیره کیش و در شرق این جزیره نصب شده استفاده می‌شود. این دکل باد را در سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری و در بازه زمانی ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری می‌کند. با توجه به اینکه باد ارتفاع‌های پایین برای استحصال انرژی کاربرد ندارد، در این مطالعه از باد ارتفاع ۴۰ متری برای ارزیابی مدل استفاده شده است [۱۹،۱۵].

کمیت اصلی در مطالعه انرژی باد در یک منطقه، سرعت باد می‌باشد. پنج پارامترسازی لایه مرزی ذکر شده برای مقایسه سرعت باد بدست آمده از مدل‌ها با داده‌های ایستگاه اندازه‌گیری بکار گرفته شد. از روش امتیاز هدف عینی^۲ (OhitS) برای مقایسه خروجی مدل با داده‌های ایستگاهی استفاده شد [۵]. در این روش از پارامترهای آماری میانه، خطای میانگین، خطای میانگین مطلق، انحراف معیار و چارک اول و سوم داده‌های مدل و مشاهداتی به عنوان ورودی استفاده می‌شود. برای هر یک از این پارامترهای آماری نزدیکترین عدد به داده مشاهده‌ای متناظر مقدار بیشینه امتیاز OhitS برابر ۵ (مساوی با تعداد پارامترسازی‌ها) را اختیار می‌کند و دومین رتبه مقدار ۴ و به همین ترتیب برای رتبه‌های دیگرین روند امتیازدهی ادامه می‌یابد تا به مقدار یک برسد. در پایان با جمع امتیازهای بدست آمده برای هر پارامترسازی، بهترین پارامترسازی برای منطقه بدست می‌آید. پس از بدست آوردن تنظیمات بهینه، مدل WRF برای کل سال ۲۰۰۷ اجرا شد. اجرای مدل به صورت بازه‌های ۶۰ ساعته بود که ۱۲ ساعت اول به عنوان زمان چرخش^۳ و رسیدن مدل به ثبات اولیه در نظر گرفته شده و ۴۸ ساعت باقیمانده برای محاسبه کمیت مورد نیاز استفاده شد. که با توجه به امکانات سخت‌افزاری موجود، زمان کل اجرای یک ساله مدل حدود ۳ ماه به طول انجامید. بعد از اجرای یک ساله مدل، سرعت و جهت باد از خروجی

^۲ Spin-up time

^۴ Weibull distribution

^۱ Rapid Radiative Transfer Model

^۲ Objective hit Score

۳- نتایج و بحث

همانطور که اشاره شد مدل WRF برای ماههای جولای و دسامبر با پنج پارامترسازی اجرا شد. نتایج حاصل از مقایسه خروجی سرعت باد برای هر پنج پارامترسازی با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاهی در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، برای سرعت باد ۴۰ متری ایستگاه کیش در ماه جولای، میانه برابر با ۴/۳۰، انحراف معیار برابر با ۲/۳۷ و چارک اول و سوم به ترتیب ۲/۹۰ و ۶/۴۰ می‌باشد. مقایسه این کمیت‌ها با کمیت‌های مشابه برای خروجی مدل WRF با پنج پارامترسازی مختلف نشان می‌دهد که بهترین امتیاز OhitS مربوط به پارامترسازی QNSE است. به طوری که در ۴ پارامتر آماری از ۶ پارامتر بهترین امتیاز (امتیاز ۵) را به خود اختصاص داده و در کل با امتیاز ۲۵ در رتبه نخست

پارامترسازی‌ها قرار دارد. پایین‌ترین امتیاز نیز مربوط پارامترسازی ACM^۲ می‌باشد که با ۱۳ امتیاز در رتبه آخر قرار دارد. اما با نگاهی به جدول ۲ برای ماه دسامبر، شرایط متفاوتی مشاهده شد. در این ماه برای داده‌های ایستگاه اندازه‌گیری باد کیش، میانه برابر با ۳/۹۰، انحراف معیار برابر با ۳/۶۳ و چارک اول و سوم به ترتیب برابر ۲/۰۰ و ۶/۷۰ بدست آمد. با مقایسه خروجی پنج پارامترسازی مختلف لایه مرزی، بهترین امتیاز OhitS به MYNN^{۲,۵} (امتیاز ۲۶) تعلق گرفت. در این ماه بدترین عملکرد مربوط به پارامترسازی MYJ بوده که امتیاز ۱۱ را کسب کرده است. در پایان برای بدست آوردن تنظیمات بهینه با جمع امتیازات دو ماه، پارامترسازی لایه مرزی MYNN^{۲,۵} در کل دارای بهترین عملکرد (امتیاز ۴۲) بوده است. بنابراین این پارامترسازی برای اجرای یک ساله مدل انتخاب شد. ضعیف‌ترین عملکرد هم در بین این پنج پارامترسازی به MYJ با مجموع امتیاز ۳۵ تعلق گرفت.

جدول (۱) امتیاز OhitS برای ماه جولای

Kish-wspd ^{۴۰}	First quartile	Median	Third quartile	ME	MAE	SD	Sum of scores
Observation	۲/۹۰	۴/۳۰	۶/۴۰			۲/۳۷	
ACM ^۲	۲/۸۵	۵/۵۷	۷/۷۴	۰/۹۲	۲/۶۳	۳/۲۴	
OhitS	۵	۱	۱	۱	۱	۳	۱۳
MYJ	۲/۸۲	۴/۸۷	۶/۷۹	۰/۳۹	۲/۴۹	۲/۸۸	
OhitS	۴	۴	۴	۵	۳	۴	۲۴
MYNN ^{۲,۵}	۳/۰۵	۵/۱۲	۷/۳۴	۰/۹۰	۲/۴۴	۳/۳۴	
OhitS	۳	۲	۳	۲	۴	۲	۱۶
QNSE	۳/۱۶	۴/۸۱	۶/۶۴	۰/۴۰	۲/۳۲	۲/۷۰	
OhitS	۱	۵	۵	۴	۵	۵	۲۵
YSU	۳/۱۰	۴/۸۸	۷/۴۲	۰/۷۳	۲/۷۱	۳/۲۴	
OhitS	۲	۳	۲	۳	۱	۳	۱۴

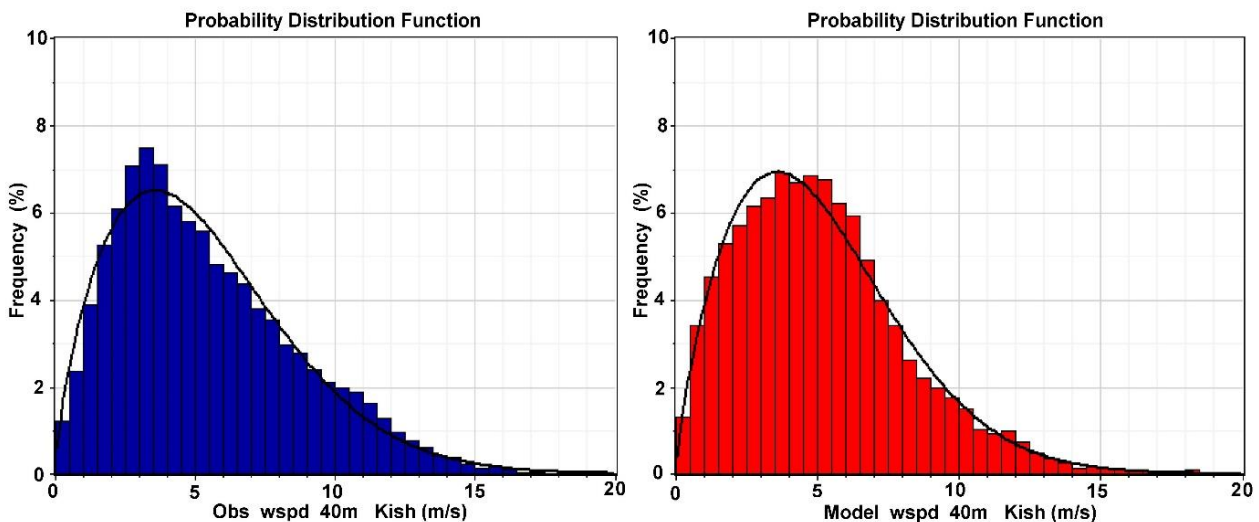
جدول (۲) امتیاز OhitS برای ماه دسامبر

Kish-wspd ^{۴۰}	First quartile	Median	Third quartile	ME	MAE	SD	Sum of scores
Observation	۲/۰۰	۳/۹۰	۶/۷۰			۳/۶۳	
ACM ^۲	۲/۹۵	۵/۰۸	۷/۵۵	۰/۵۲	۲/۲۷	۲/۹۸	
OhitS	۴	۴	۵	۴	۳	۳	۲۳
MYJ	۳/۵۹	۵/۷۳	۷/۹۹	۰/۹۵	۲/۴۰	۲/۸۸	
OhitS	۳	۱	۱	۲	۲	۲	۱۱

MYNN ^{۲,۵}	۲/۷۰	۴/۷۷	۷/۷۲	۰/۴۰	۲/۱۴	۳/۰۰	
OhitS	۵	۵	۳	۵	۴	۴	۲۶
QNSE	۳/۶۹	۵/۳۴	۷/۶۹	۰/۸۴	۲/۸۶	۲/۷۴	
OhitS	۲	۲	۴	۳	۱	۱	۱۳
YSU	۲/۷۰	۵/۱۶	۷/۷۹	۰/۵۲	۲/۱۱	۳/۱۲	
OhitS	۵	۳	۲	۴	۵	۵	۲۴

ترتیب برابر با ۶/۰۱ و ۱/۷۱ و برای داده‌های بدست آمده از خروجی مدل (سمت راست) برابر با ۵/۷۶ و ۱/۷۷ است که اختلاف کم بین توزیع ویبول بدست آمده از داده ایستگاهی و داده مدل را نشان می‌دهد. این اختلاف کم می‌تواند نشان‌دهنده توانایی خوب مدل WRF در شبیه‌سازی سرعت باد باشد.

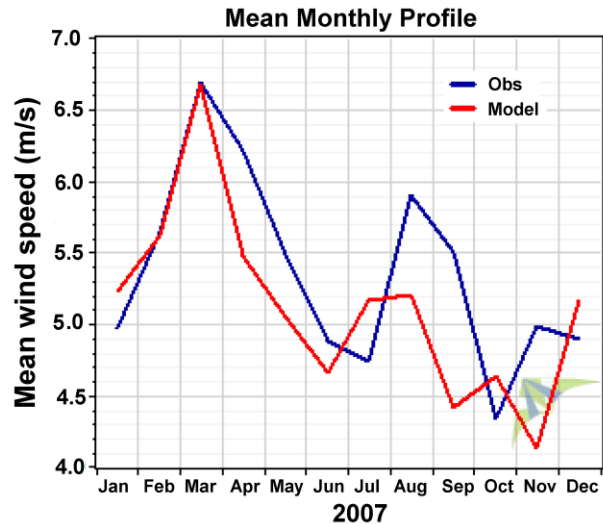
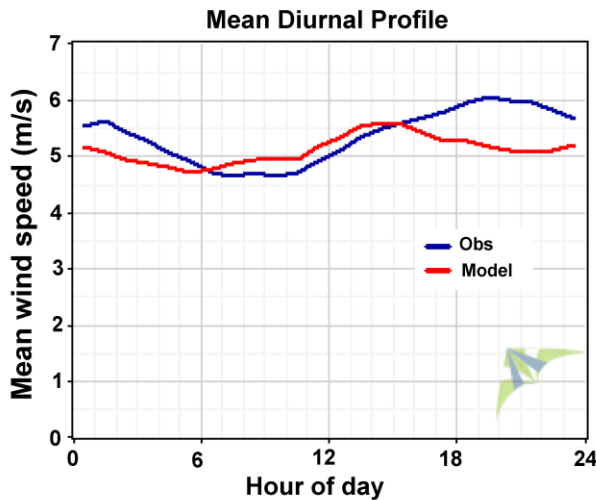
بعد از اجرای یک ساله مدل WRF، سرعت و جهت باد برای ارزیابی توانایی مدل برای شبیه‌سازی جریان باد در منطقه کیش از خروجی مدل استخراج شد و با اعمال توزیع ویبول فراوانی باد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از اعمال توزیع ویبول بر داده باد اندازه‌گیری شده ایستگاه کیش و داده خروجی مدل برای باد ۴۰ متری در شکل ۲ نشان داده شده است. پارامتر مقیاس C و پارامتر شکل k ، در توزیع ویبول برای داده‌های ایستگاهی (سمت چپ) به



شکل (۲) نمودار توزیع ویبول برای باد ۴۰ متری. داده‌های اندازه‌گیری (سمت چپ) و داده‌های مدل (سمت راست)

آفتاب مقادیر کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را پیش‌بینی می‌کند ولی در طول روز مقادیر پیش‌بینی بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است. برای میانگین ماهانه سرعت باد (شکل سمت راست) نیز تقریباً نتایج مدل در ماههای سردتر به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیکتر بوده و مدل برای این ماهها بهتر پاسخ می‌دهد.

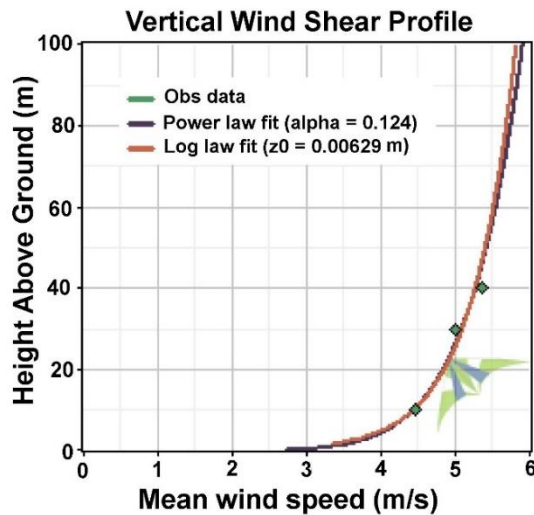
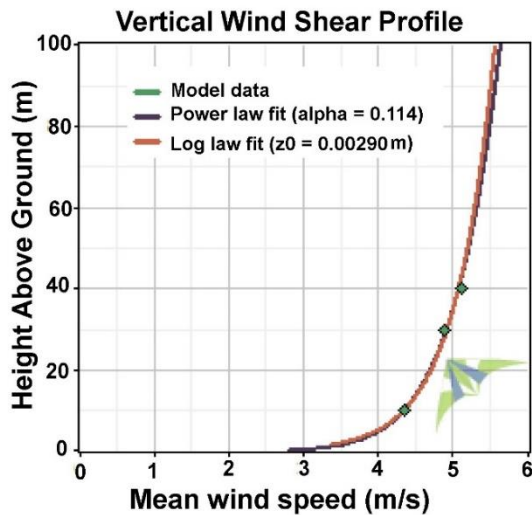
برای ارزیابی بهتر مدل WRF نمودارهای میانگین روزانه و ماهانه سرعت باد حاصل از خروجی مدل و داده ایستگاهی در شکل ۳ رسم شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود مدل WRF به خوبی توانسته روند تغییرات روزانه و ماهانه را شبیه‌سازی کند. در نمودار میانگین روزانه (شکل سمت چپ) مشاهده می‌شود که مدل در بازه غروب تا طلوع



شکل (۳) نمودارهای میانگین روزانه (سمت چپ) و ماهانه (سمت راست) سرعت باد ارتفاع ۴۰ متری.

کمتر تخمین زده شده است که این امر می‌تواند ناشی از خطای قدرت تفکیک‌پذیری پایین داده توپوگرافی و پوشش گیاهی منطقه باشد. بنابراین مدل برش قائم باد را کمتر از داده ایستگاهی تخمین زده است اما اختلاف زیادی بین آنها وجود ندارد.

عامل مهم دیگری که در ارزیابی انرژی باد یک منطقه دارای اهمیت است، برش قائم باد می‌باشد. در شکل ۴ برش باد مربوط به داده‌های ایستگاه کیش و خروجی مدل WRF نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر α و Z_0 برای مدل نسبت به داده اندازه‌گیری ایستگاهی



شکل (۴) برش قائم باد ایستگاه کیش برای داده‌های مدل (سمت چپ) و داده‌های اندازه‌گیری ایستگاهی (سمت راست)

نقاط سبز داده‌های ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری را نشان می‌دهند.

داده‌های خروجی مدل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل جهت باد را با انحرافی پادساعتگرد پیش‌بینی می‌کند که این انحراف در اکثر جهت‌ها قابل رؤیت است. اما در کل مدل توانسته جهت باد منطقه را که

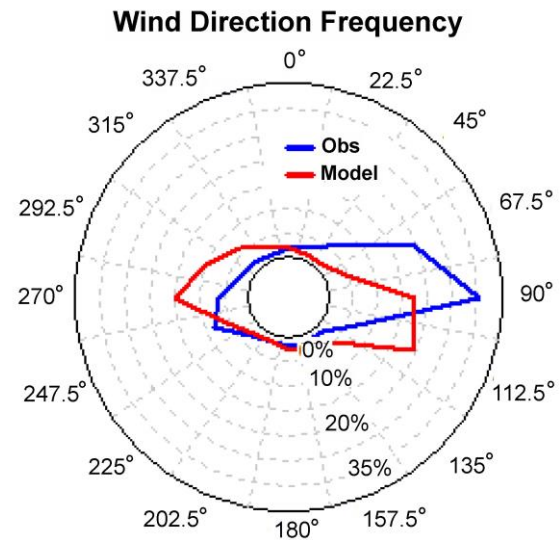
پارامتر ارزشمند دیگر در مطالعه انرژی باد، جهت باد می‌باشد که در نحوه چیدمان و جهت نصب توربین‌های بادی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در شکل ۵ نمودار گلباد مربوط به داده‌های ایستگاه اندازه‌گیری باد و همچنین

را نشان داد. در کل می‌توان عنوان کرد که مدل WRF توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان باد در منطقه دارد. این مدل می‌تواند ابزاری مناسب در مطالعات پتانسیل‌سنجی انرژی باد در مناطق مختلف کشور باشد که با توجه به هزینه‌های بالای نصب و نگهداری دکل‌های اندازه‌گیری باد و گستردگی کشور راهکار مناسبی است.

۵- منابع

- [۱] Troen, I. and Petersen, E. L. European wind atlas. Published for the Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development, Brussels, Belgium, ۶۸۸ pages, ۱۹۸۹.
- [۲] سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری برق (ساتبا) www.satba.gov.ir
- [۳] Durran, D. R. Numerical methods for wave equations in geophysical fluid dynamics, Springer Science and Business Media, ۴۶۶ pages, ۲۰۱۳.
- [۴] Stensrud, D. Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models, Cambridge University Press, ۴۴۹ pages, Jan. ۲۰۱۱.
- [۵] Krogseter, O. and Reuder, J. "Validation of boundary layer parameterization schemes in the weather research and forecasting model under the aspect of offshore wind energy applications-Part I: Average wind speed and wind shear". Wind Energy, Vol. 18, No. 5, pp.769-782, May 2015.
- [۶] Krieger, J.R., Zhang, J., Atkinson, D.E., Shulski, M.D. and Zhang, X. "Sensitivity of WRF Model Forecasts to Different Physical Parameterizations in the Beaufort Sea Region". ۸th Conference on Coastal Atmospheric and Oceanic Prediction and Processes, San Diego, Jan. ۲۰۰۹.
- [۷] Storm, B., Dudhia, J., Basu, S., Swift, A. and Giammanco, I. "Evaluation of the weather research and forecasting model on forecasting low - level jets: Implications for wind energy". Wind Energy, Vol. ۱۲, No. ۱, ۸۱-۹۰, Jun. ۲۰۰۹.
- [۸] Jimenez, B., Durante, F., Lange, B., Kreutzer, T. and Tambke, J. "Offshore wind resource assessment with WAsP and MM5: comparative study for the German Bight". Wind Energy, Vol. 10, No. 2, pp. 121-134, Dec. 2007.
- [۹] Soares, A., Pinto, P. and Pilão, R. "Mesoscale modelling for wind resource evaluation purposes: a test case in complex terrain". International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada, Spain, Mar. ۲۰۱۰.
- [۱۰] بهمن‌زاده، فاطمه، قادر، سرمد، حق‌شناس، سیدعباس و یازجی، دانیال. بررسی موردی عملکرد مدل WRF جهت

تقریباً به صورت شرقی غربی است با دقت قابل‌قبولی شبیه‌سازی کند.



شکل (۵) گلباد ایستگاه کیش برای سال ۲۰۰۷

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه عملکرد مدل عددی پیش‌بینی و تحقیقات جوی WRF در شبیه‌سازی میدان باد در منطقه کیش مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا با بررسی پنج پارامترسازی مختلف لایه مرزی در شبیه‌سازی جریان باد، پارامترسازی MYNN۲,۵ به‌عنوان بهترین پارامترسازی برای مطالعات باد تراز پایین در منطقه انتخاب شد. ارزیابی پارامترسازی‌های مختلف نشان داد که مدل به انتخاب نوع پارامترسازی جهت شبیه‌سازی مناسب باد حساس بوده و هر کدام از پارامترسازی‌ها می‌توانند در فصول سرد و گرم سال (شرایط جوی مختلف) رفتار متفاوتی از خود نشان دهند. سپس مدل WRF با این پارامترسازی به مدت یکسال اجرا شده و نتایج آن با داده‌های ایستگاه اندازه‌گیری باد مورد مقایسه قرار گرفت. این مدل با دقت خوبی توانست فراوانی سرعت باد در بازه‌های مختلف را بدست آورد که اختلاف ناچیز پارامترهای مقیاس و شکل مربوط به توزیع ویبول و همچنین نمودارهای میانگین روزانه و ماهانه باد بدست آمده از خروجی مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد. بررسی پارامتر برش قائم باد نیز نشان داد که برش باد شبیه‌سازی شده توسط مدل اختلاف ناچیزی با داده‌های اندازه‌گیری دارد. برای جهت باد نیز گلباد حاصل از خروجی مدل انحراف پاد ساعتگردی

- [۱۹] Draxl, C., Hahmann, A. N., Peña, A. and Giebel, G. "Evaluating winds and vertical wind shear from Weather Research and Forecasting model forecasts using seven planetary boundary layer schemes", *Wind Energy*, Vol. ۱۷, pp. ۳۹-۵۵, Oct. ۲۰۱۴.
- [۲۰] Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., Duda, M. G. ... Powers, J. G. A description of the advanced research WRF version ۳. NCAR Technical notes, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, ۱۱۳ p, Jun. ۲۰۰۸.
- [۲۱] Otte, T. L. "The impact of nudging in the meteorological model for retrospective air quality simulations. Part I: Evaluation against national observation networks". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. ۴۷, pp. ۱۸۵۳-۱۸۶۷, Jul. ۲۰۰۸.
- [۲۲] Lin, Y-L., Farley, R. D. and Orville, H. D. "Bulk parameterization of the snow field in a cloud model", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. ۲۲, No. ۶, pp. ۱۰۶۵-۱۰۹۲, Feb. ۱۹۸۳.
- [۲۳] Kain, J.S. "The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. ۴۳, No. ۱, Jan. ۲۰۰۴.
- [۲۴] Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Michael J. Iacono, M. J. and Clough S. A. "Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. ۱۰۲, No. ۱۴, pp. ۱۶۶۶۳-۱۶۶۸۲, Jul. ۱۹۹۷.
- [۲۵] Chou, M-D. and Suarez, M. J. "An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models". NASA Technical Memorandum, ۱۰۴۶۰۶, Vol. ۳, ۸۵ pages, Nov. ۱۹۹۴.
- [۲۶] Chen, F. and Dudhia, J. "Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity". *Monthly Weather Review*, Vol. 129, pp. 569-585, Apr. 2001.
- پیش‌یابی میدان باد تراز ۱۰ متر و دمای تراز دو متر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاههای همدیدی در منطقه دریای عمان و دریای عرب، مجله فیزیک زمین و فضا، سال بیست و دوم، شماره ۲، صفحه ۴۴۱ تا ۴۵۸، تابستان ۱۳۹۸.
- [۱۱] Giannaros, T. M., Melas, D., and Ziomas, I. "Performance evaluation of the weather research and forecasting (WRF) model for assessing wind resource in Greece", *Renewable Energy*, Vol. ۱۰۲, pp. ۱۹۰-۱۹۸, Mar. ۲۰۱۷.
- [۱۲] Tan, E., Mentas, S. S., Unal, E., Unal, Y., Efe, B., Barutcu, B., Onol, B., Topcu, H. S. and Incecik, S. "Short term wind energy resource prediction using WRF model for a location in western part of Turkey", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. ۱۳, No. ۱, pp. ۱-۱۸, Feb. ۲۰۲۱.
- [۱۳] Lee, S-M., GIORI, W., Princevac, M. and Fernando, H. "Implementation of a stable PBL turbulence parameterization for the mesoscale model MM5: Nocturnal flow in complex terrain". *Boundary-layer meteorology*, Vol.119, pp. 109-134, Dec. 2006.
- [۱۴] Chagas, G. O., Guedes, R. A. and Manso, M. D. O. "Estimating wind resource using mesoscale modeling". The European Wind Energy Conference, Marseille, France, pp. ۳۹۲۳-۳۹۲۶, Mar ۲۰۰۹.
- [۱۵] Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M. and Santos, C. "A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy", *Environmental Modelling and Software*, Vol. ۳۳, pp. 23-34, Mar. 2012.
- [۱۶] Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M. and Santos, C. "WRF wind simulation and wind energy production estimates forced by different reanalyses: comparison with observed data for Portugal" , *Applied Energy*, Vol. ۱۱۷, pp. 116-126, Dec. 2014.
- [۱۷] Janjai, S., Masiri, I., Promsen, W., Pattarapanitchai, S., Pankaew, P., Laksanaboonsong, J., Bischoff-Gauss, I. and Kalthoff, N. "Evaluation of wind energy potential over Thailand by using an atmospheric mesoscale model and a GIS approach". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. ۱۲۹, pp. ۱-۱۰, Mar ۲۰۱۴.
- [۱۸] González-Minguez, C. and Muñoz-Gutiérrez, F. "Wind prediction using Weather Research Forecasting model (WRF): A case study in Peru". *Energy Conversion and Management*, Vol. 81, pp. 363-373, Mar. 2014.

