

## مطالعه میدان باد لایه مرزی سیاره‌ای روی جزیره قشم، ایران

منا ضرغامی پور<sup>۱</sup> و حسین ملکوتی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت: ۹۸/۶/۲، پذیرش نهایی: ۹۸/۱۱/۱)

### چکیده

نظر به اهمیت الگوی باد بر فعالیت‌های متعدد در جزایر و همچنین تأثیر آن بر سایر پارامترهای هواشناسی، رفتار زمانی و مکانی بلندمدت میدان باد تراز پایین مشاهداتی روی جزیره قشم مطالعه شد. به منظور حساسیت‌سنجی شبیه‌سازی‌های عددی باد تراز پایین به وسیله مدل WRF، پارامترسازی لایه مرزی و لایه سطحی روی جزیره قشم، در ماه منتخب از فصل گرم (جولای) و ماه منتخب از فصل سرد (ژانویه) برای سال ۲۰۱۵ بررسی شده‌است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در پنج پیکربندی مختلف با سرعت باد مشاهداتی ایستگاه قشم فرودگاهی و قشم دریایی اعتبارسنجی شده‌است و نتایج نشان می‌دهد که در هر دو ماه طرحواره لایه مرزی ACM2 به علت این‌که اختلاط قائم را هم به صورت محلی و هم غیرمحلی در نظر می‌گیرد و در فصل گرم همرفت را بهتر از دیگر طرحواره‌ها لحاظ می‌کند در ترکیب با طرحواره لایه سطحی Pleim-Xio و پارامترسازی سطح زمین Noah شبیه‌سازی بهتری از سرعت و جهت باد تراز پایین ارائه می‌کند. پس از انتخاب پیکربندی مناسب، شبیه‌سازی میدان باد به مدت یک سال (۲۰۱۵) به منظور بررسی الگوی باد جزیره قشم، ساختار قائم باد لایه مرزی و تأثیر جزیره بر روی میدان باد لایه‌مرزی منطقه به انجام رسید. نتایج بیانگر آن است که سرعت باد در فصول بهار و تابستان از مقادیر بالاتری برخوردار است و زبری و پسای جزیره باعث کاهش سرعت باد، رخداد همگرایی و چرخش میدان باد بر روی تنگه هرمز می‌شود. نسیم دریا و زبری سطح در مناطق ساحلی باعث تقویت رودباد تراز پایین در حین روز و در ارتفاع‌های ۱۸۰ تا ۲۰۰ متر شده‌است.

واژه‌های کلیدی: پارامتری‌سازی، شبیه‌سازی عددی، سرعت باد، لایه مرزی، رودباد تراز پایین، جزیره قشم.

### ۱. مقدمه

به‌همین جهت پارامترسازی فیزیکی روشی برای حل این فرآیندها هستند (وارنر، ۲۰۱۰). WRF دارای مجموعه مختلفی از گزینه‌های پیکربندی پارامترسازی‌های فیزیکی برای خردفیزیک، تابش طول‌موج کوتاه و بلند، همرفت کومه‌ای، فیزیک لایه سطحی، سطح زمین و لایه مرزی سیاره‌ای است. بنابراین یکی از قدم‌های اولیه در شبیه‌سازی‌های عددی انتخاب بهترین گزینه برای پارامترسازی‌های مختلف در زمان و منطقه مورد مطالعه است. طرحواره لایه‌مرزی سیاره‌ای پیچک‌های (تلاطم) دارای مقیاس زیر مقیاس شبکه را در راستای قائم پارامترسازی می‌کند. نیمرخ‌های قائم شارها در داخل لایه مرزی، تعیین‌کننده دما، رطوبت و اندازه حرکت افقی هستند. عملکرد طرحواره سطح زمین، محاسبه شارهای گرما، رطوبت و اندازه حرکت از سطح به پایین‌ترین لایه

در سال‌های اخیر پیش‌بینی باد لایه مرزی سیاره‌ای (PBL)، یک موضوع پراهمیت و هدفی برای پژوهش‌ها در بحث رفتارسنجی پارامترهای هواشناسی و انرژی باد بوده است. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در مواجهه با پیش‌بینی‌های عددی جوی، دقت پیش‌بینی ساختار لایه‌مرزی که تأثیر مستقیمی بر روی شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مثل دما، رطوبت و باد تراز پایین دارد، است. مدل پیش‌بینی تحقیقاتی جوی (WRF) یکی از این ابزارهای پیش‌بینی عددی است که به صورت گسترده در تحقیقات هواشناسی و پیش‌بینی استفاده می‌شود. فرآیندهای جوی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلفی رخ می‌دهند و برخی از این فرآیندهای فیزیکی مثل خردفیزیک ابر، تبادل رطوبت، گرما و اندازه حرکت که مقیاسی پایین‌تر از مقیاس شبکه شبیه‌سازی دارند، حل نشده باقی می‌مانند.

جو است. این طرحواره با استفاده از سرعت‌های اصطکاکی و ضرایب تبادل محاسبه شار گرما، رطوبت و اندازه حرکت را انجام می‌دهد (هان و همکاران، ۲۰۰۸؛ موهان و بهاتی، ۲۰۱۱). پژوهش هو و همکاران (۲۰۱۰) بر روی تگزاس به بررسی و حساسیت‌سنجی عملکرد مدل WRF با سه طرحواره لایه مرزی مختلف در ماه‌های جولای-سپتامبر ۲۰۰۵ پرداخته است، نتایج حاکی از آن است که لایه مرزی ACM2 و YSU مقدار اریبی کمتری نسبت به طرحواره MYJ داشته‌اند، طرحواره بسط محلی MYJ لایه مرزی سردتر و مرطوب‌تری را شبیه‌سازی کرده است و بیان کرد که تفاوت رفتاری بین طرحواره‌ها بیشتر ناشی از تفاوت در شدت اختلاط قائم و عبور هوا از بالای لایه مرزی است. مطالعه صورت‌گرفته بر روی پارامترسازی لایه مرزی با مدل WRF در لیون، شهری در ایالت کانزاس کشور ایالات متحده آمریکا، بیانگر آن است که در خصوص ساختار PBL، یک طرحواره غیرمحلی با شار عبوری متناسب با شار سطحی در شرایط ناپایدار مطلوب‌تر است و در شرایط پایدار طرحواره بسط محلی TKE عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. حساسیت‌سنجی پارامترهای شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که در لایه سطحی دما و رطوبت هم در شرایط همرفتی و هم پایدار شدیداً تحت تأثیر پارامترسازی لایه سطحی هستند تا الگوریتم اختلاطی PBL، در حالی که سرعت باد در رژیم همرفتی به پارامترسازی پخش قائم بستگی دارد (شین و هونگ، ۲۰۱۱). در مطالعه بر روی میدان باد شناخت ساختارافقی و ساختار قائم باد و تغییر این ساختار با مکان و زمان حائز اهمیت است. از عوامل مؤثر در تغییر ساختار میدان باد می‌توان به واداشت همدیدی، پستی و بلندی منطقه، زبری سطح و موانع موجود در منطقه اشاره کرد. زبری سطح یکی از عوامل مهم در تغییر ساختار قائم باد و شکل‌گیری رودبادهای تراز پایین در ارتفاع‌های ۲۰۰-۱۰۰ متری، به‌خصوص در جزایر و سواحل است، به این دلیل که باد از روی دریا که منطقه‌ای با زبری کم هست به روی خشکی که دارای زبری زیادی هست،

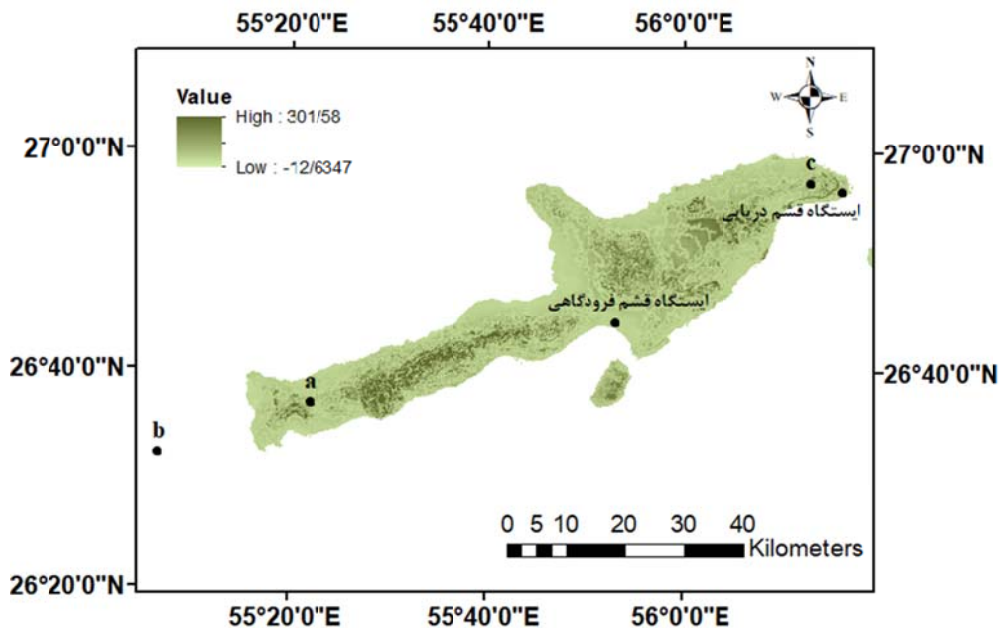
می‌وزد. رودباد تراز پایین، جریانات سریعی از هوا هستند با بیشترین سرعت از ۱۰ تا ۲۰ متر بر ثانیه که معمولاً در ارتفاعات ۳۰۰-۱۰۰ متری از سطح زمین قرار دارند (آریا، ۲۰۰۱). پژوهش‌های متفاوت برای تعریف و مشخص کردن رودباد تراز پایین از ملاک‌های متفاوتی استفاده کرده‌اند. باد لازم هست که دارای سرعتی بالاتر از یک سرعت مشخص (۱۲، ۱۶ و ۲۰ متر بر ثانیه) و در ارتفاعی کمتر از یک ارتفاع مشخص (۱۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر) باشد و یا این که باد باید فوق زمینگرد باشد (بونر، ۱۹۶۸؛ بروک، ۱۹۸۵). ملاکی دیگر برای تشخیص رودباد تراز پایین این است که نیم‌رخ سرعت باد بیشترین سرعت باد را ۲ متر بر ثانیه بالاتر از سرعت باد بالا و پایین آن نشان بدهد و در ارتفاع ۱۵۰۰ متر پایین جو باشد (آندرس و همکاران، ۲۰۰۰؛ استول، ۱۹۸۸). پژوهشی که توسط گیاتا کوپولو و تومی (۲۰۱۲) در خلیج فارس بر روی رودباد تراز پایین تابستان انجام شد بیان می‌دارد که تغییرات روزانه سرعت و جهت این رودباد تراز پایین (باد فصلی شمال در تابستان) تحت تأثیر پستی و بلندی، شیب کوه‌ها و نسیم دریا/خشکی است. همچنین مطالعه هولتون (۱۹۶۷) بر روی دشت بزرگ در ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد که واداشت‌های گرمایی در مناطق شیب‌دار می‌تواند بر روی شدت رودباد تراز پایین تأثیر بگذارد. نتایج حاصل از پژوهش توسط بونر (۱۹۶۸) بر روی ایالات متحده آمریکا حاکی از آن بود که رودباد تراز پایین اغلب در قسمت مرکزی و شرقی ایالات متحده شکل می‌گیرد و رخداد آن در تابستان نسبت به زمستان بیشتر است. بررسی‌های اولیه بر روی میدان باد خلیج فارس در تراز ده متر و در طول بازه زمانی (۲۰۱۵-۱۹۸۵) نشان می‌دهد که سمت باد غالب در خلیج فارس در تمام فصل‌های سال شمال غربی است و بیشترین سرعت باد در فصل تابستان مشاهده می‌شود (ملکوتی و حمزه نژاد، ۱۳۹۶).

هدف از این پژوهش حساسیت‌سنجی WRF به پیکربندی‌های مختلف طرحواره لایه مرزی و لایه سطحی

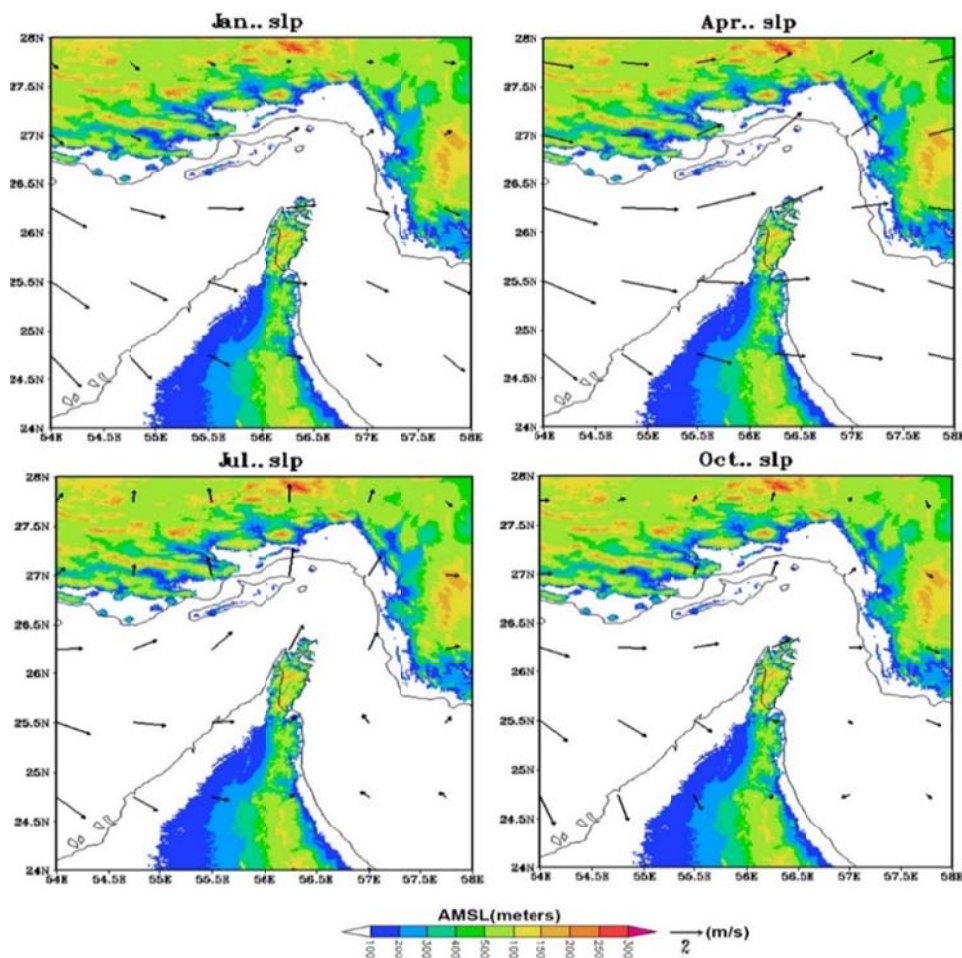
عرض جزیره ۱۱ کیلومتر و بیشترین ارتفاع ۳۰۲ متر از تراز میانگین دریا است. جزیره دارای تپه‌هایی با دامنه پرتیب در سمت غرب و شیب ملایم در سمت دیگر است. قشم در گروه سرزمین‌های گرم و مرطوب قرار می‌گیرد (سازمان منطقه آزاد قشم). جزیره دارای دو ایستگاه هواشناسی، قشم فرودگاهی (عرض ۲۶/۴۵ شمالی و طول ۵۵/۵۳ شرقی) و قشم دریایی (عرض ۲۶/۵۶ شمالی و طول ۵۶/۱۶ شرقی) است، که در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی‌های صورت گرفته بر روی تنگه هرمز در طی بازه زمانی (۲۰۱۵-۱۹۸۵) توسط ملکوتی و حمزه نژاد (۱۳۹۶) حاکی از آن است که باد غالب در تنگه هرمز در فصل زمستان و بهار شمال غربی تا غربی، در فصل تابستان جنوبی تا جنوب شرقی و در فصل پاییز جنوب غربی است و بیشترین سرعت باد مربوط به فصل بهار است و همچنین در فصول تابستان و پاییز رخداد همگرایی میدان باد بر روی تنگه هرمز قابل مشاهده است.

و پارامترسازی سطح زمین در شبیه‌سازی باد تراز پایین، تأثیر جزیره بر روی الگوی باد و مطالعه رفتار میدان باد لایه مرزی روی جزیره قشم است. جزیره قشم دارای هوای گرم و رطوبت بالایی است، به همین علت از قدیم معماری و بافت شهری آن به طوری بوده که از جریان باد برای خنک کردن ساختمان‌ها استفاده می‌شده و گسترش شهرها و روستاها بیشتر در طول ساحل و رو به دریا به جهت استفاده از نسیم از روی دریا است. جزیره قشم بزرگ‌ترین جزیره ایران در خلیج فارس و پرجمعیت‌ترین جزیره در ایران است. این جزیره در عرض جغرافیایی ۲۶/۴۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵/۳۷ درجه شرقی قرار دارد. جزیره قشم دارای مساحت ۱۴۹۱ کیلومترمربع و دارای بیشترین سواحل و کرانه‌ها در خلیج فارس است. طول جزیره در منابع مختلف بین ۱۲۵ تا ۱۲۰ کیلومتر تخمین زده شده است و عرض جزیره در نقاط مختلف متفاوت بوده است. بیشترین عرض ۴۰ کیلومتر و به طور متوسط



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و معرفی مکان‌های اندازه‌گیری در این پژوهش.



شکل ۲. الگوی متوسط باد تراز پایین بر روی خلیج فارس با استفاده از داده‌های ERA-Interim در ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر ۲۰۱۵-۱۹۸۵ (ملکوتی و حمزه نژاد، ۱۳۹۶).

## ۲. مواد و روش

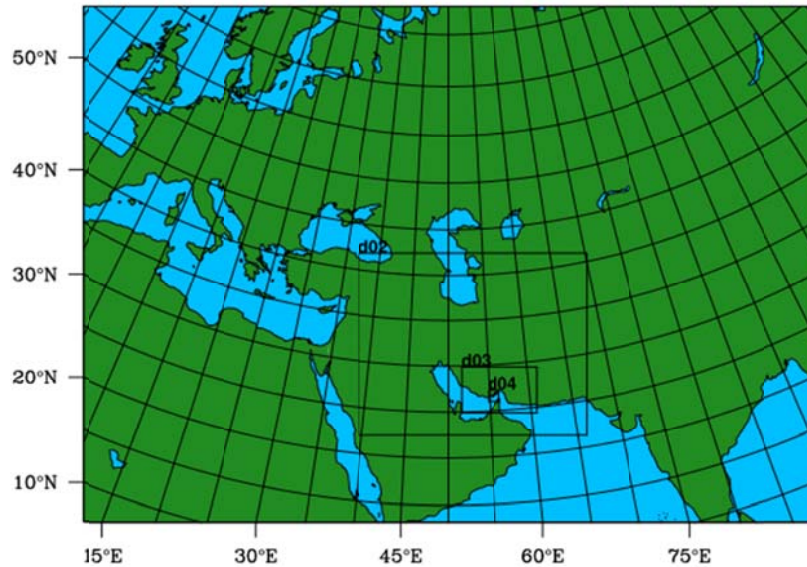
### ۲-۱. پیکربندی مدل و دوره شبیه‌سازی

مدل WRF، با چهار دامنه تو در تو، با تفکیک مکانی ۴۵، ۱۵، ۵ و ۱ کیلومتر که دامنه آخر جزیره قشم را کاملاً پوشش می‌دهد (شکل ۳) با ۳۹ تراز قائم از سطح زمین تا ۵۰ hpa تنظیم شده و برای شرایط اولیه و مرزی از داده‌های باز تحلیل NCEP (FNL) با تفکیک مکانی ۱° برای بازه‌های ۶ ساعت استفاده شده‌است. شبیه‌سازی‌های ۶۰ ساعته با ۱۲ ساعت زمان تطبیق (Spin\_up) که در ارزیابی حذف می‌شوند؛ برای ماه ژانویه از فصل سرد و ماه جولای از فصل گرم سال ۲۰۱۵ انجام شده‌است. تنظیمات فیزیکی مورد استفاده در آزمایش‌های شبیه‌سازی

در جدول ۱ و ترکیب این پیکربندی‌ها جهت حساسیت‌سنجی مدل در جدول ۲ آورده شده‌است. از آنجایی که این پژوهش بر شبیه‌سازی باد نزدیک به سطح و ساختار لایه‌مرزی تمرکز دارد و به‌منظور حساسیت‌سنجی شبیه‌سازی‌ها به پارامترسازی فیزیکی ۵ طرحواره مختلف لایه‌مرزی، ۳ طرحواره لایه‌سطحی و ۲ طرحواره سطح زمین که تأثیر بیشتری را در شبیه‌سازی باد سطح دارند (کاروالهو و همکاران، ۲۰۱۲؛ نوست و همکاران، ۲۰۱۱)، آزمایش شده‌اند و سایر پارامترسازی‌های فیزیکی برای انتقال تابش طول‌موج کوتاه و بلند، خردفیزیک ابر و همرفت کومه‌ای در این پیکربندی‌ها یکسان در نظر گرفته شده‌اند. طرحواره‌های لایه مرزی مورد مطالعه در

انتخاب پیکربندی مناسب شبیه‌سازی‌های ۶۰ ساعته با ۱۲ ساعت زمان تطبیق به مدت یک‌سال برای سال ۲۰۱۵ انجام شده‌است.

این پژوهش شامل MYNN2.5,YSU, MYJ, ACM2 و QNSE است، که شرح مختصری از این طرحواره‌ها در بخش بعدی آورده شده‌است. پس از حساسیت‌سنجی و



شکل ۳. دامنه‌های تعریف‌شده برای شبیه‌سازی‌های انجام شده.

جدول ۱. پارامترسازی‌های به‌کاررفته در اجرای شبیه‌سازی‌ها.

پارامتری سازی	طرحواره‌های موجود
طرحواره لایه مرزی	MYJ, YSU, MYNN2.5, ACM2 and QNSE
طرحواره سطح زمین	Noah Land Surface Model (Chen and Dudhia, 2001), 5-layer thermal diffusion
طرحواره لایه سطحی	Eta similarity, MM5, Xui-Pleim
تابش طول موج کوتاه	Dudhia scheme (Dudhia, 1989)
تابش طول موج بلند	Rapid Radiative Transfer Model (Mlawer et al., 1997)
خرد فیزیک	WRF Single-Moment 6-class scheme (Hong and Lim, 2006)
همرفت کومه‌ای	Kain-Fritsch scheme (Kain and Fritsch, 1993)

جدول ۲. پیکربندی‌های مختلف در آزمایش‌های شبیه‌سازی عددی.

نام پیکربندی	طرحواره لایه مرزی	طرحواره لایه سطحی	طرحواره سطح زمین
ACM2	ACM2	Pleim-Xiu	Noah
MYJ	MYJ	Eta similarity	Noah
MYNN2.5	MYNN2.5	Eta similarity	Noah
QNSE	QNSE	QNSE	5-layer thermal diffusion
YSU	YSU	MM5 similarity	5-layer thermal diffusion

## ۲-۲. طرحواره‌های پارامترسازی لایه مرزی

طرحواره‌های MYJ و MYNN2.5 با شکل پایه یکسانی از معادله انرژی جنبشی تلاطمی در مدل M-Y شروع می‌شوند:

$$\frac{d(q^2/2)}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} [LqSq \frac{\partial}{\partial z} (\frac{q^2}{2})] = P_s + P_b + \epsilon \quad (1)$$

$$P_s = -(\overline{u'w'}) \frac{\partial v}{\partial z} - (\overline{v'w'}) \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2)$$

$$P_b = \beta_1 g (\overline{u'\theta'_v}) \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{q^3}{B_1 L} \quad (4)$$

که جمله اول سمت چپ مشتق تام  $q (= 2 \times TKE)$  و جمله دوم بیانگر بازتوزیع قائم  $q$  است. جملات سمت راست معادله (۱) به ترتیب بیانگر تولید  $q$  به وسیله برش و شناوری هست و جمله آخر جمله میرایی است. تفاوت اولیه بین دو طرحواره در پارامترسازی طول‌های آمیختگی  $L$  که بر روی جمله توزیع مجدد قائم (جمله دوم معادله (۱)) و جمله میرایی تأثیر می‌گذارد. در طرحواره لایه مرزی MYJ، طول آمیختگی به صورت معادله (۵) است (ژانیک، ۱۹۹۴):

$$l_0 = \frac{\int_{p_t}^{p_s} |z| q dp}{\int_{p_t}^{p_s} q dp} L = l_0 \frac{kz}{kz + l_0} \quad (5)$$

که در اینجا  $k$  ثابت ون-کارمن،  $p_s$  و  $p_t$  فشار سطح و بالای لایه مرزی هستند. و طول آمیختگی در طرحواره MYNN2.5 به صورت زیر است (ناکانیشی و نینو، ۲۰۰۴):

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_s} + \frac{1}{L_t} + \frac{1}{L_b} \quad (6)$$

طول اختلاط  $L$ ، به گونه‌ای طراحی شده است که کوتاه‌ترین مقیاس طول در بین، طول لایه سطحی  $L_s$ ، طول تلاطمی  $L_t$  و طول شناوری  $L_b$  سهم بیشتری در مقیاس طول کل دارد. طرحواره QNSE به عنوان طرحواره با بسط TKE (مرتب ۱/۵ محلی) دسته‌بندی شده است. این طرحواره یک روش جدید برای بهبود مدل‌های  $k - \epsilon$  است که بر خلاف طرحواره‌های دیگر که روابط وشکسانی و پخش پیچکی را در فضای فیزیکی به دست می‌آورند و این طرحواره روابط را در فضای طیفی حل

می‌کند. در شرایط خنثی و ناپایدار تبدیل به طرحواره MYJ و در طول شرایط پایدار مجموعه کوچکی از مدهای سرعت و دما را حل می‌کند (ساکورانسکای و همکاران، ۲۰۰۵). پارامترسازی YSU از طرحواره لایه مرزی MRF گرفته شده است که این طرحواره مشکل اختلاط زیاد لایه آمیخته در حضور بادهای قوی در طرحواره MRF را تا حدی به وسیله افزایش اختلاط لایه مرزی در شرایط همرفتی گرمایی و کاهش آن در زمان وجود رژیم باد قوی برطرف کرد. در طرحواره YSU معادله پخش تلاطمی برای متغیر  $c$ ،  $(c: \theta, u, w)$  به صورت زیر بیان می‌شود (هونگ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} [K_c (\frac{\partial c}{\partial z} - \gamma_c) - \overline{(w'C')_h} (\frac{z}{h})^3] \quad (7)$$

که  $K_c$  ضریب پخش پیچکی و  $\gamma_c$  تصحیح گرادیان محلی است، که سهم پیچک‌های بزرگ مقیاس را در شار کلی ترکیب می‌کند. در اینجا  $\overline{(w'C')_h}$  شار در لایه وارون است (هونگ و همکاران، ۲۰۰۶). طرحواره ACM2 بسط مرتبه اول، نسخه جدید ACM1 ترکیبی از بسط محلی و غیرمحلی است. به بیانی دیگر ACM2 ترکیبی از ACM1 و پخش پیچکی است. به عبارتی این طرحواره قادر است هر دو انتقال تلاطم‌های بزرگ مقیاس و مقیاس زیر شبکه‌ای را نشان بدهد (پلیم، ۲۰۰۷).

## ۲-۳. روش حساسیت‌سنجی شبیه‌سازی‌ها

در ابتدا داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده باد ۱۰ متر برای ایستگاه‌های نشان داده شده در شکل ۱ استخراج شد. سپس به منظور ارزیابی شبیه‌سازی‌ها، پارامترهای آماری گوناگونی با استفاده از این داده‌ها محاسبه شد. ویلموت (۱۹۸۲) پارامترهای متنوعی برای کمی کردن ارزیابی شبیه‌سازی‌های میدان باد ارائه کرده، که این پارامترها در جدول ۳ قابل مشاهده است. علاوه بر آن نمودار رفتار زمانی سرعت باد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رسم شد. در ادامه، نمودار تیلور رسم شد، که ارائه‌ای خلاصه و بهتر از مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌ها توسط ضریب همبستگی و میانگین مربع خطا بهنجار شده

شبه‌سازی ACM2 و در ایستگاه قشم دریایی در پیکربندی MYJ و به‌صورت کلی در پیکربندی MYNN2.5 کمتر از شبه‌سازی‌های دیگر است. مقادیر میانگین خطای مطلق و خطای جذر میانگین مربعات در هر دو ایستگاه و به‌صورت کلی در پیکربندی ACM2 دارای کمترین مقدار و این پیکربندی دارای بیشترین مقدار شاخص توافق است. مقادیر VWD در ایستگاه قشم فرودگاهی و به‌صورت کلی در پیکربندی ACM2 و در ایستگاه قشم دریایی در پیکربندی MYNN2.5 دارای کمترین مقدار است. سهم خطای تصادفی در ایستگاه قشم دریایی و به‌صورت کلی در تمام موارد بیشتر از مقادیر سهم خطای سامانمند است، که بیانگر خطای ناشی از فرآیندهای تصادفی یا اثرات خارج از محدوده درستی شبه‌سازی بوده است.

شکل ۴ نمودار رفتار زمانی داده‌های مشاهداتی و شبه‌سازی‌شده سرعت باد برای ارتفاع ۱۰ متر در ماه جولای سال ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود شبه‌سازی‌ها به‌خوبی روند تغییرات باد را پیش‌بینی می‌کنند. در شکل ۴-الف برای ایستگاه قشم فرودگاهی داده‌های شبه‌سازی به‌صورت میانگین رفتار فروبرآورد و در شکل ۴-ب در ایستگاه قشم دریایی داده‌های شبه‌سازی‌شده به‌صورت میانگین رفتار فروبرآورد داشته‌اند.

(Mean Square Error (Normalised)) را فراهم می‌کند. پس از انتخاب پیکربندی مناسب، شبه‌سازی یک‌ساله میدان باد برای سال ۲۰۱۵ صورت گرفته است. سپس میانگین سالیانه و فصلی سرعت باد بر روی دامنه آخر در ارتفاع ۸۰ متر و تغییرات روزانه سرعت و جهت باد میانگین‌گیری شده بر روی یک سال در دو نقطه‌ای در غرب و شرق جزیره (نقاط a و c در شکل ۱) و گلباد سالیانه در آن نقاط به‌منظور بررسی اولیه جهت استحصال انرژی باد، سپس پردازش میدان باد شبه‌سازی‌شده لایه مرزی انجام شده است.

### ۳. نتایج

#### ۳-۱. صحت‌سنجی شبه‌سازی‌ها

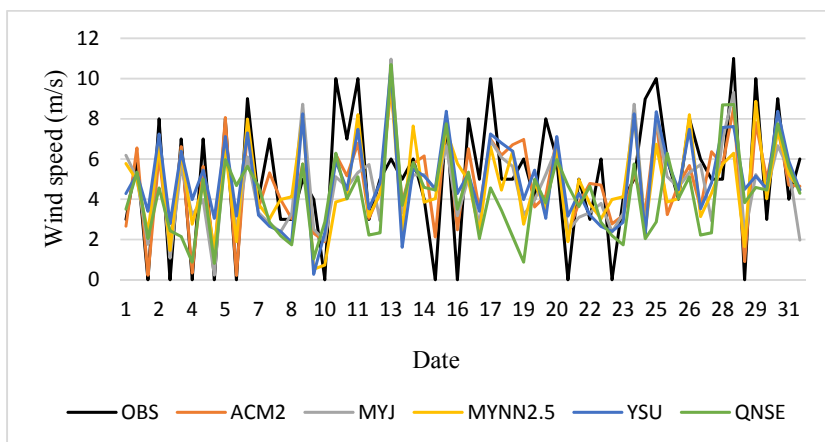
در جدول ۴ پارامترهای ارزیابی آماری حاصل از حساسیت‌سنجی باد شبه‌سازی‌شده به پیکربندی‌های مختلف با داده‌های مشاهداتی ایستگاه قشم فرودگاهی و قشم دریایی و همچنین به‌صورت کلی برای ماه جولای در سال ۲۰۱۵ ارائه شده است. بر طبق آن مقدار میانگین خطا یا اریبی در ایستگاه قشم دریایی در همه طرحواره‌ها مثبت و نشان‌دهنده بیشتر برآورد کردن سرعت باد در شبه‌سازی‌ها و در ایستگاه قشم فرودگاهی در همه طرحواره‌ها منفی نشان‌دهنده فروبرآورد شبه‌سازی‌ها است، که در ایستگاه قشم فرودگاهی این مقدار در

جدول ۳. سنج‌های آماری جهت اعتبارسنجی شبه‌سازی‌های عددی.

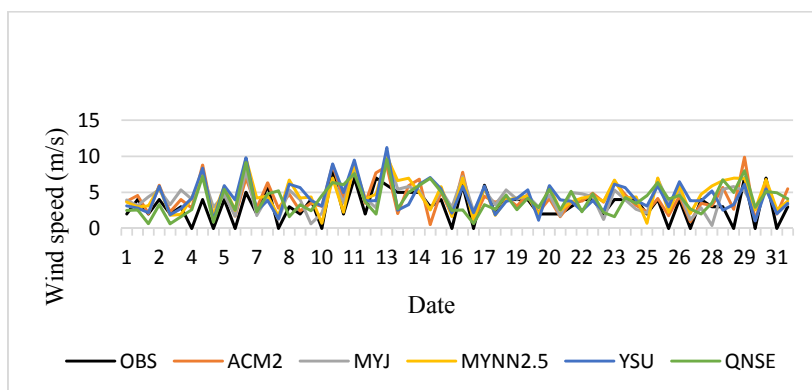
$VWD = [(U - U_0)^2 + (V - V_0)^2]^{0.5} , MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N  P_i - O_i $			
$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) , IOA = 1 - \left[ \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N ( P_i - \bar{O}  +  O_i - \bar{O} )^2} \right]$			
$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} , RMSES = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{P}_i - O_i)^2 \right]^{0.5} , RMSEU = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \hat{P}_i)^2 \right]^{0.5}$			
$SYS = \frac{MSES}{MSE} \text{ و } UNSYS = \frac{MSEU}{MSE}$			
$\bar{O}$ : میانگین کمیت‌های مشاهداتی	N: تعداد کمیت‌ها	$O_i$ : کمیت مشاهداتی	$P_i$ : کمیت خروجی مدل
$\hat{P}$ : رگرسیون حداقل مربعات که داده‌های مشاهداتی و ایستگاهی را مقایسه می‌کند + $\hat{P}_i = a + bO_i$			
IOA: شاخص توافق	ME: میانگین خطا	MAE: میانگین خطای مطلق	RMSEU: خطای جذر میانگین مربعات تصادفی
RMSES: خطای جذر میانگین مربعات سامانمند	UNSYS: درصد خطای تصادفی	SYS: درصد خطای سامانمند	

جدول ۴. نتایج حساسیت‌سنجی ماه جولای در ایستگاه قشم فرودگاهی (A) و ایستگاه قشم دریایی (M) و کلی (T).

MAE (m/s)	ME (m/s)	IOA	RMSE (m/s)	RMSES (m/s)	RMSEU (m/s)	SYS	UNSYS	VWD (m/s)		
۱/۹۵	-۰/۳۶	۰/۷۳	۲/۳۷	۱/۶۱	۱/۷۴	۰/۴۶	۰/۵۳	۱/۹۶	A	MYNN2.5
۱/۸۳	۱/۳۳	۰/۷۳	۲/۱۸	۱/۴۲	۱/۶۵	۰/۴۲	۰/۵۷	۱/۸۲	M	
۱/۹۳	-۰/۰۲	۰/۷۳	۲/۳۴	۱/۴۹	۱/۸۰	۰/۴۰	۰/۵۹	۱/۹۳	T	
۲/۲۸	-۰/۵۲	۰/۶۱	۲/۷۴	۱/۹۴	۱/۹۴	۰/۴۹	۰/۵۰	۲/۰۱	A	MYJ
۱/۸۸	۱/۱۱	۰/۶۷	۲/۲۱	۱/۴۱	۱/۷۱	۰/۴۰	۰/۵۹	۱/۸۲	M	
۲/۲۰	-۰/۱۹	۰/۶۲	۲/۶۵	۱/۸۰	۱/۹۴	۰/۴۶	۰/۵۳	۱/۹۷	T	
۱/۴۱	-۰/۱۹	۰/۸۷	۱/۷۶	۱/۱۰	۱/۳۷	۰/۳۹	۰/۶۰	۱/۸۴	A	ACM2
۱/۶۲	۱/۲۲	۰/۸۰	۱/۹۲	۱/۲۶	۱/۴۴	۰/۴۳	۰/۵۶	۲/۰۲	M	
۱/۴۵	۰/۰۹	۰/۸۶	۱/۷۹	۱/۰۴	۱/۴۵	۰/۳۴	۰/۶۵	۱/۸۸	T	
۲/۲۱	-۰/۳۲	۰/۶۱	۲/۶۵	۱/۹۴	۱/۸۰	۰/۵۳	۰/۴۶	۲/۱۶	A	YSU
۲/۲۱	۱/۴۷	۰/۶۱	۲/۶۵	۱/۶۲	۲/۰۹	۰/۳۷	۰/۶۲	۱/۸۴	M	
۲/۲۱	۰/۰۳	۰/۶۲	۲/۶۵	۱/۸۱	۱/۹۳	۰/۴۶	۰/۵۳	۲/۱۰	T	
۲/۱۹	-۰/۶۹	۰/۶۰	۲/۷۲	۲/۰۱	۱/۸۴	۰/۵۴	۰/۴۵	۲/۰۱	A	QNSE
۲/۰۵	۰/۷۸	۰/۵۹	۲/۵۱	۱/۳۴	۲/۱۲	۰/۲۸	۰/۷۱	۱/۸۸	M	
۲/۱۷	-۰/۴۰	۰/۶۰	۲/۶۸	۱/۸۷	۱/۹۲	۰/۴۸	۰/۵۱	۱/۹۸	T	



(الف)



(ب)

شکل ۴. نمودار رفتار زمانی برای داده‌های مشاهداتی (سیاه) و داده‌های شبیه‌سازی پیکربندی ACM2 (قرمز)، MYJ (خاکستری)، MYNN2.5 (زرد)، YSU (آبی) و QNSE (سبز؛ الف) ایستگاه قشم فرودگاهی؛ ب) ایستگاه قشم دریایی؛ در ماه جولای سال ۲۰۱۵.



تو مختلف یا تغییر در پیکربندی‌ها می‌توان درصد این خطا را کاهش داد، خطای سامانمند در پیکربندی ACM2 در ایستگاه قشم فرودگاهی و به‌صورت کلی دارای کمترین مقدار در بین پیکربندی‌های مختلف است. کمترین مقدار VWD در ایستگاه قشم فرودگاهی و به‌صورت کلی مربوط به ACM2 و در ایستگاه قشم دریایی مربوط به YSU است.

شکل ۵ نمودار رفتار زمانی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سرعت باد برای ارتفاع ۱۰ متر در ماه ژانویه سال ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل شبیه‌سازی با پیکربندی ACM2 روند تغییرات باد را بهتر از دیگر پیکربندی‌ها پیش‌بینی می‌کند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود برای هر دو ایستگاه قشم فرودگاهی و ایستگاه قشم دریایی داده‌های شبیه‌سازی رفتار فراب‌آورد داشته‌اند.

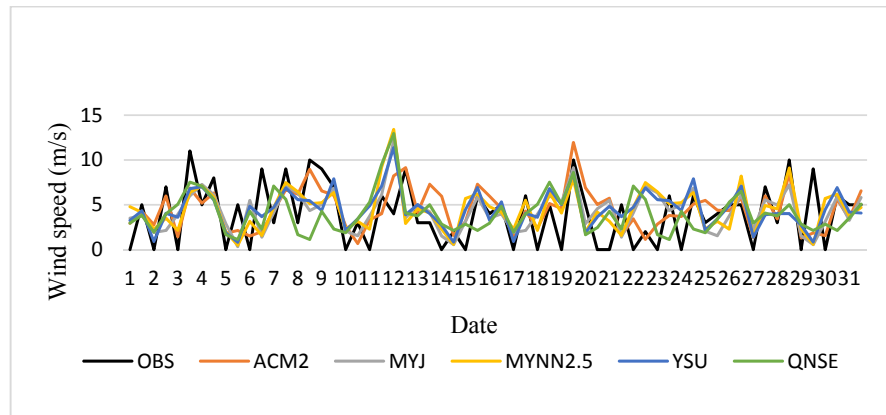
در جدول ۵ پارامترهای ارزیابی آماری حاصل از حساسیت‌سنجی باد شبیه‌سازی شده به پیکربندی‌های مختلف با داده‌های مشاهداتی ایستگاه قشم فرودگاهی، قشم دریایی و به‌صورت کلی برای ماه ژانویه در سال ۲۰۱۵ ارائه شده‌است. که بر اساس آن در ایستگاه قشم فرودگاهی و ایستگاه قشم دریایی و به‌صورت کلی مقدار اریبی در تمام موارد مثبت و نشان دهنده فرا برآورد سرعت باد شبیه‌سازی شده‌است، که مقدار این خطا در طرحواره QNSE و مقادیر خطای جذر میانگین مربعات و میانگین خطای مطلق در طرحواره ACM2 کمتر از طرحواره‌های دیگر است، شاخص توافق مربوط به ACM2 با مقدار ۰/۷۰ به‌صورت کلی در بین طرحواره‌ها بیشترین مقدار را دارد. سهم خطای سامانمند در تمام موارد بیشتر از مقادیر خطای تصادفی است که با بهبود بخشیدن شرایط اولیه و مرزی و یا استفاده از شبکه تو در

جدول ۵. نتایج حساسیت‌سنجی ماه ژانویه ایستگاه قشم فرودگاهی (A) و ایستگاه قشم دریایی (M) و کلی (T).

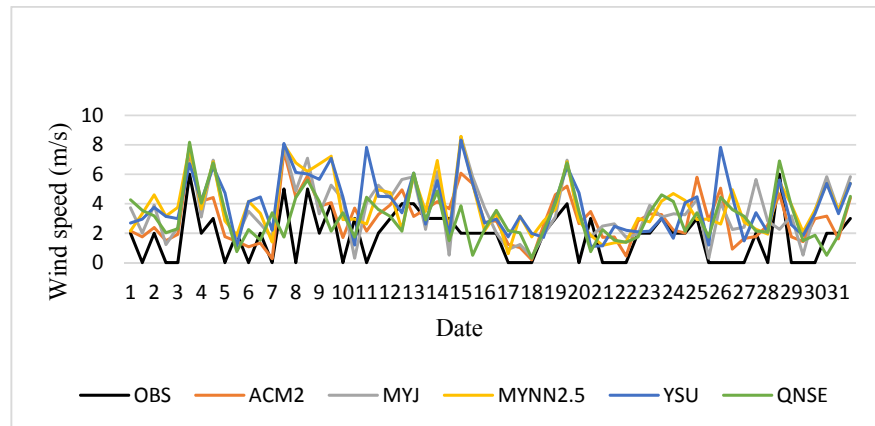
MAE (m/s)	ME (m/s)	IOA	RMSE (m/s)	RMSES (m/s)	RMSE U (m/s)	SYS	UNSYS	VWD (m/s)		
۲/۷۱	۰/۷۸	۰/۳۵	۳/۴۱	۲/۵۲	۲/۳۰	۰/۵۴	۰/۴۵	۱/۹۷	A	MYNN2.5
۲/۶۱	۲/۴۲	۰/۲۹	۳/۰۸	۲/۵۲	۱/۷۸	۰/۶۶	۰/۳۳	۱/۹۳	M	
۲/۶۹	۱/۱۱	۰/۳۴	۳/۳۵	۲/۵۰	۲/۲۳	۰/۵۵	۰/۴۴	۱/۹۶	T	
۲/۷۶	۰/۶۸	۰/۲۶	۳/۴۶	۲/۶۶	۲/۲۱	۰/۵۹	۰/۴۰	۲/۰۲	A	MYJ
۲/۴۵	۲/۰۴	۰/۳۲	۲/۸۱	۲/۱۱	۱/۸۵	۰/۵۶	۰/۴۳	۱/۸۵	M	
۲/۷۰	۰/۹۵	۰/۳۰	۳/۳۴	۲/۵۳	۲/۱۸	۰/۵۷	۰/۴۲	۱/۹۹	T	
۲/۰۱	۰/۴۷	۰/۶۸	۲/۵۳	۱/۸۴	۱/۷۲	۰/۵۳	۰/۴۶	۱/۸۲	A	ACM2
۱/۴۴	۱/۳۰	۰/۷۰	۱/۷۸	۱/۳۴	۱/۱۷	۰/۵۶	۰/۴۳	۱/۷۰	M	
۱/۸۹	۰/۶۴	۰/۷۰	۲/۴۰	۱/۷۳	۱/۶۶	۰/۵۲	۰/۴۷	۱/۷۹	T	
۲/۶۱	۰/۶۴	۰/۳۷	۳/۲۸	۱/۵۲	۲/۱۲	۰/۵۸	۰/۴۱	۱/۹۶	A	YSU
۲/۷۹	۲/۴۷	۰/۲۶	۳/۳۰	۲/۷۲	۱/۸۷	۰/۶۷	۰/۳۲	۱/۴۷	M	
۲/۶۵	۱/۰۱	۰/۳۱	۳/۲۹	۲/۵۴	۲/۰۸	۰/۵۹	۰/۴۰	۱/۸۸	T	
۳/۲۰	۰/۴۵	۰/۱۳	۳/۹۷	۲/۹۸	۲/۶۱	۰/۵۶	۰/۴۳	۲/۲۰	A	QNSE
۲/۱۳	۱/۲۶	۰/۲۱	۲/۴۷	۱/۷۶	۱/۶۴	۰/۵۳	۰/۴۶	۱/۷۸	M	
۲/۹۸	۰/۶۱	۰/۱۵	۳/۷۱	۲/۷۵	۲/۴۸	۰/۵۵	۰/۴۴	۲/۱۳	T	

همبستگی بالاتر و میانگین مربع خطای بهنجارشده کمتر است، که نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر سرعت باد توسط این طرحواره نسبت به دیگر طرحواره‌ها است. برای هر دو ایستگاه در ماه ژانویه داده‌ها در همه‌ی طرحواره‌ها دارای پراکندگی است که بیانگر حساسیت بیشتر WRF به این پیکربندی‌ها است و همچنین شکل نشان‌دهنده حساسیت و تفاوت رفتاری طرحواره‌ها در فصل گرم و سرد در این مورد است.

شکل ۶ نمودار بهنجارشده تیلور برای سرعت باد ۱۰ متری در دو دوره منتخب ماه ژانویه و جولای را در ایستگاه قشم فرودگاهی (الف) و ایستگاه قشم دریایی (ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در ماه جولای داده‌ها در هر دو ایستگاه متراکم هستند که بیانگر رفتار تقریباً مشابه و حساسیت کمتر WRF در پیکربندی‌های مختلف در این مورد است. از این نمودار پیدا است که طرحواره ACM2 در هر دو حالت دارای مقادیر ضریب

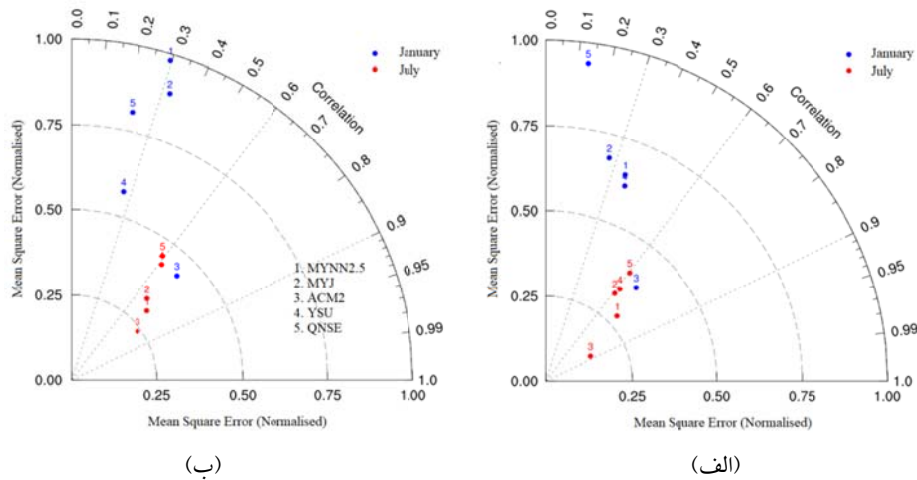


(الف)



(ب)

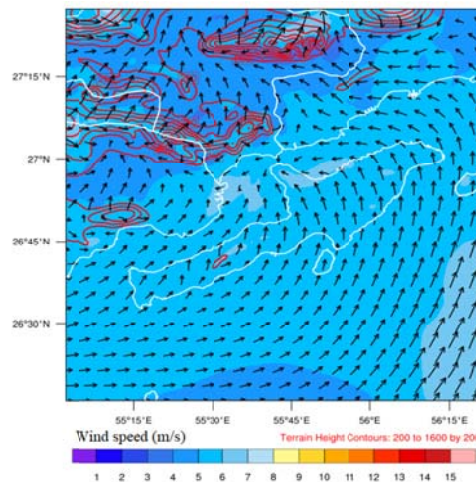
**شکل ۵.** نمودار رفتار زمانی برای داده‌های مشاهداتی (سیاه) و داده‌های شبیه‌سازی پیکربندی ACM2 (قرمز)، MYJ (خاکستری)، MYNN2.5 (زرد)، YSU (آبی) و QNSE (سبز)؛ ایستگاه قشم فرودگاهی؛ (ب) ایستگاه قشم دریایی؛ در ماه ژانویه سال ۲۰۱۵.



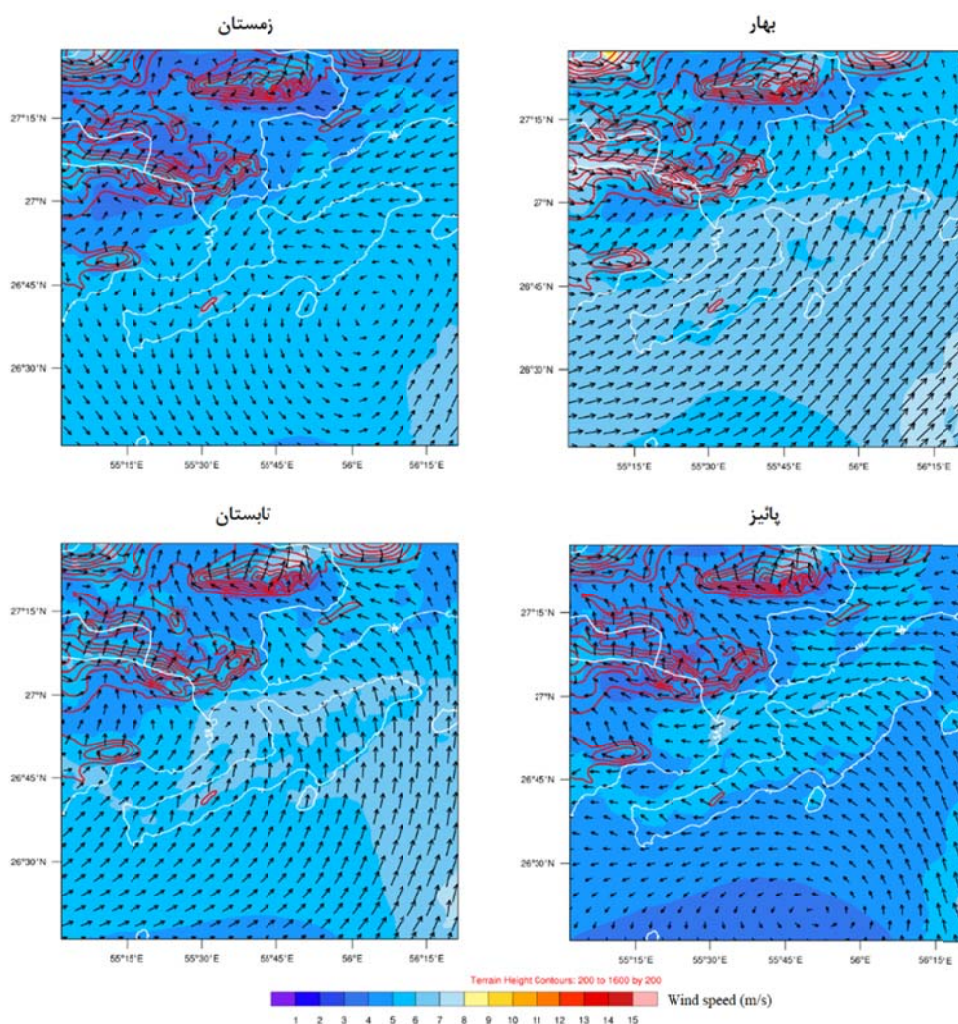
شکل ۶. نمودار بهنجارشده تیلور در ماه ژانویه (آبی) و ماه جولای (قرمز): (الف) ایستگاه قشم فرودگاهی؛ (ب) ایستگاه قشم دریایی.

هرمز به دلیل وجود جزیره قشم قابل ملاحظه است. همان‌طور که در میانگین فصلی زمستان و پاییز مشاهده می‌کنید بر روی تنگه هرمز و پشت جزیره قشم همگرایی و چرخش میدان باد کاملاً بارز است. الگوی باد متأثر از واداشتهای بزرگ مقیاس منطقه‌ای بر روی تنگه هرمز است. همچنین برهم‌کنش الگوهای باد ورودی به تنگه هرمز از دریای عمان و خلیج فارس عاملی بر کاهش سرعت و همگرایی میدان باد در تنگه هرمز است. برش افقی باد به علت توزیع خشکی-دریا (زبری) و پستی و بلندی‌های ساحلی و مناطق خشکی داخلی یکی از عوامل ایجاد گردش میدان باد بر روی تنگه هرمز و پشت جزیره قشم است.

۲-۳. میانگین سالیانه و فصلی باد در ارتفاع ۸۰ متری از آنجایی که هدف این مطالعه پتانسیل سنجی انرژی باد است، ارتفاع ۸۰ متری از سطح برای مطالعه میدان باد انتخاب شده است. شکل ۷ میانگین سالیانه سرعت باد و شکل ۸ میانگین فصلی سرعت باد را بر روی دامنه آخر در ارتفاع ۸۰ متری نشان می‌دهد. در شکل ۸ ملاحظه می‌شود که سرعت باد در فصول بهار و تابستان از مقادیر بیشتری برخوردار است و در فصل پاییز سپس زمستان دارای مقادیر میانگین سرعت کمتری است. در میانگین سالیانه جهت باد در سمت غرب جزیره جنوب‌غربی و سمت شرقی جزیره جنوب‌شرقی است. افت سرعت باد بر روی جزیره به علت وجود زبری و اصطکاک و در تنگه



شکل ۷. میانگین سالیانه سرعت باد بر روی دامنه آخر در ارتفاع ۸۰ متر.



شکل ۸. میانگین فصلی سرعت باد بر روی دامنه آخر در ارتفاع ۸۰ متر.

### ۳-۳. تغییرات روزانه باد

نیمرخ قائم باد در یک چرخه روزانه ممکن است نوساناتی از یک روز به روز دیگر به علت تغییرات در وضعیت همدیدی آب و هوا و تعادل انرژی سطح نشان دهد. با میانگین گیری در یک دوره طولانی مدت، تغییرات روزانه بهتر قابل تشخیص است. شکل ۹ تغییرات روزانه سرعت باد و جهت باد در لایه مرزی در دو نقطه a (الف) و c (ب) که در شکل ۱ معرفی شده‌اند؛ با استفاده از داده‌های میانگین روزانه سرعت و جهت باد شبیه‌سازی شده به مدت یک سال را نشان می‌دهد. محدوده زمانی طلوع و غروب خورشید، همچنین ارتفاع داده‌ها در شکل مشخص

شده است. با توجه به شکل ۹-الف سرعت باد بعد از طلوع آفتاب پیوسته افزایش می‌یابد و پهنای بیشینه خود را در اوایل بعد از ظهر کسب می‌کند سپس پیوسته تا زمان غروب آفتاب روند کاهشی دارد و در شکل ۹-ب قبل از طلوع خورشید روند افزایشی و پهنای بیشینه خود را در اوایل بعد از ظهر کسب می‌کند سپس تا بعد از غروب خورشید روند کاهشی داشته است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید سرعت باد در شکل ۹-الف در ارتفاع ۸۰ متری مقادیر بیشتری نسبت به ارتفاع ۱۰۰ متر را کسب کرده است. شکل ۹-ب نیز در ارتفاع ۶۰ متری دارای مقادیر بالاتری نسبت به ارتفاعات ۸۰ و ۱۰۰ متر است که نشان از

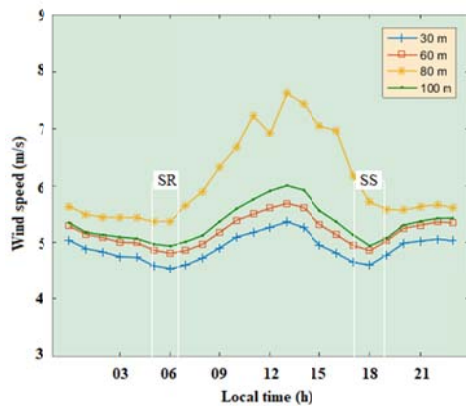
و ساحل است.

### ۴-۳. تغییرات روزانه جهت باد ۱۰ متری

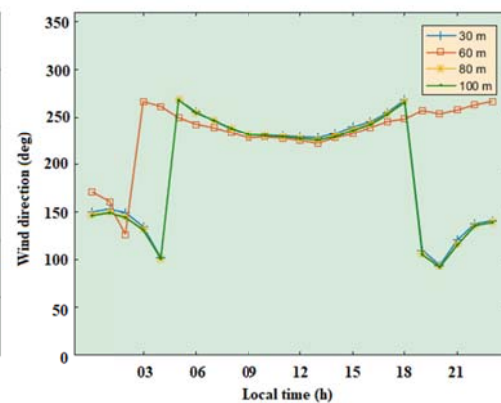
شکل ۱۰ تغییرات روزانه جهت باد ۱۰ متر شبیه‌سازی با پیکربندی منتخب و مشاهداتی ایستگاه قشم فرودگاهی، میانگین‌گیری شده در دوره یک ماهه، برای ماه‌های ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر ۲۰۱۵ را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ساعات روز میانگین جهت باد عموماً در هر ماه جنوب‌غربی است و جهت باد در طول شب در ماه‌های ژانویه و جولای جنوبی تا جنوب‌شرقی و در ماه‌های آوریل و اکتبر جنوب‌غربی است. همچنین قابل‌ملاحظه است که جهت باد به‌خوبی شبیه‌سازی شده‌است.

وجود رودباد تراز پایین در ارتفاعات و نقاط مختلف بر روی جزیره است. افزایش در شدت سرعت بادهای سطحی به‌دنبال انحلال پایداری صبحگاهی ناشی از انتقالات مؤثر و سریع اندازه حرکت از سطوح بالا به سمت لایه مرزی ناپایدار یا همرفتی در طول روز است.

در شکل ۹-الف جهت باد به‌صورت میانگین در زمان طلوع خورشید غربی و با گذشت زمان تا غروب به جنوب‌شرقی تغییر جهت داده است. شکل ۹-ب در نقطه c جهت باد در طول روز جنوب‌غربی و در طول شب جنوب‌شرقی است. تغییر جهت قابل‌ملاحظه در هنگام غروب و طلوع خورشید ناشی از تغییر واداشت‌ها در مقیاس منطقه‌ای و رفتار کژفشاری بین دریا

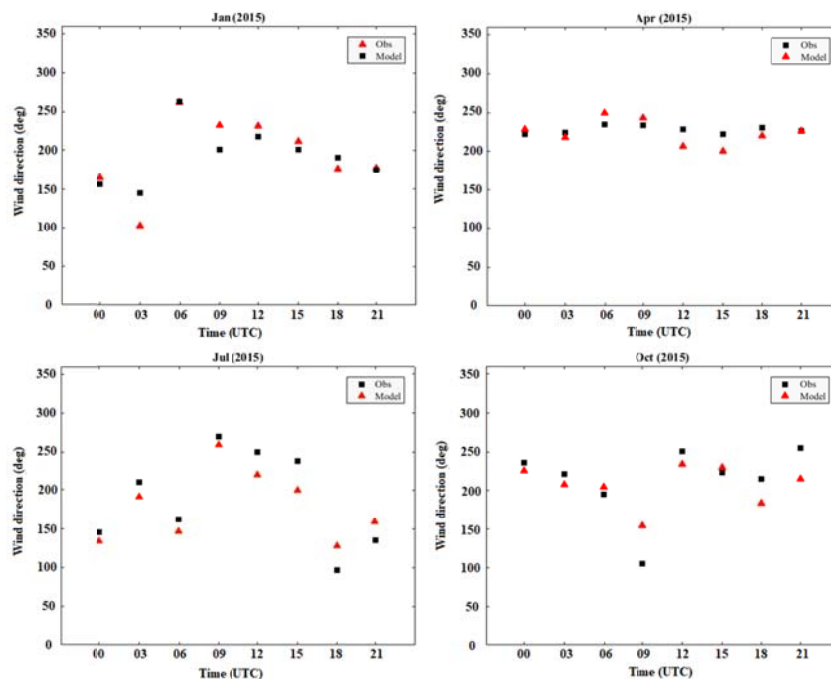


(الف)



(ب)

شکل ۹. میانگین سالانه تغییرات روزانه سرعت باد و جهت باد در لایه مرزی؛ الف) در نقطه a؛ ب) در نقطه c.

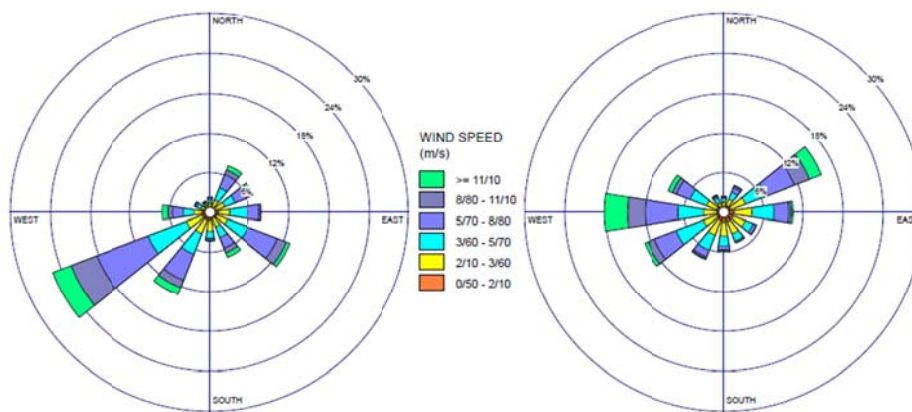


شکل ۱۰. تغییرات روزانه جهت باد ۱۰ متر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی ایستگاه قشم فرودگاهی، میانگین‌گیری‌شده در دوره یک ماهه، برای ماه‌های ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر ۲۰۱۵.

### ۵-۳. گلباد سالیانه

شکل ۱۱ گلباد سالیانه را برای دو نقطه در نظر گرفته شده در جزیره برای ارتفاع ۸۰ متر در نقطه a (الف) و نقطه c (ب) را نشان می‌دهد. در شکل ۱۱- الف همان‌طور که ملاحظه می‌کنید باد غالب با سهم ۱۸ درصد موارد غربی و باد نایب غالب با سهم ۱۵/۴ درصد شمال شرقی و ۱۳ درصد جنوب‌غربی

بوده است و سرعت میانگین در این ارتفاع ۶/۰۸ متر بر ثانیه و در ۶۱ درصد موارد باد آرام است. در شکل ۱۱-ب باد غالب با سهم ۲۵ درصد موارد جنوب‌غربی و باد نایب غالب با سهم ۱۴ درصد موارد جنوب‌شرقی است و در این حالت سرعت میانگین ۵/۸۱ متر بر ثانیه و در ۵۵ درصد موارد باد آرام برآورد شده است.



(ب)

(الف)

شکل ۱۱. گلباد سالیانه برای ارتفاع ۸۰ متر: (الف) در نقطه a؛ (ب) در نقطه c.

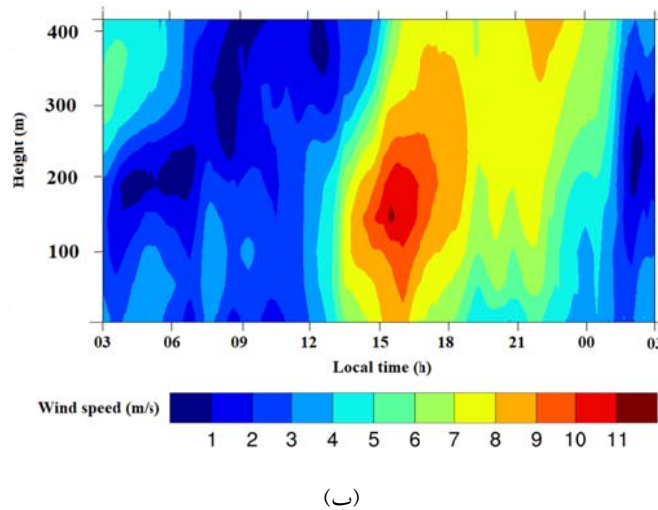
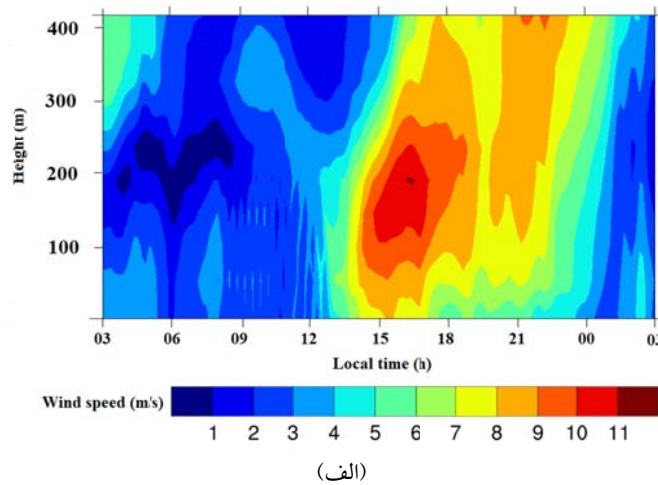
## ۳-۶. رودباد تراز پایین

نمودار زمان-ارتفاع سرعت باد افقی شبیه‌سازی شده برای نقطه a شکل ۱۲-الف و در نقطه b شکل ۱۲-ب برای تاریخ سوم ماه می ۲۰۱۵ رسم شده است. بر اساس این نمودار در هنگام ظهر رودباد تراز پایین به مدت زمان ۲ ساعت مشاهده می‌شود که این رودباد با بیشینه سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و ارتفاع قرارگیری آن ۱۵۰-۲۰۰ متر است، با توجه به شکل ۱۲ (الف و ب) گسترده‌تر شدن رودباد بر روی جزیره کاملاً مشهود است.

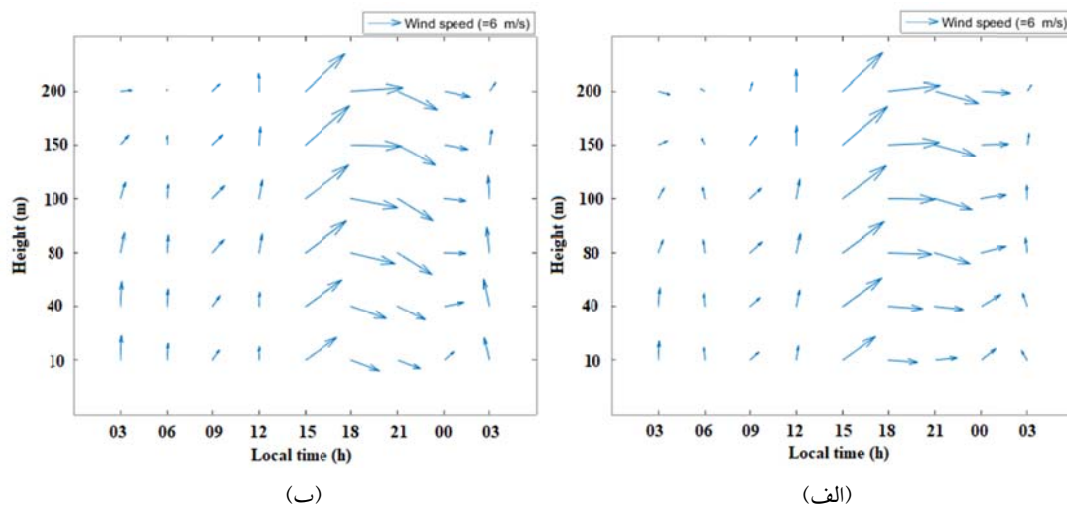
نمودار زمان-ارتفاع سرعت و جهت باد در نقطه a در شکل ۱۳-الف و نقطه b در شکل ۱۳-ب برای تاریخ سوم ماه می ۲۰۱۵ رسم شده است، از شکل ۱۳

(الف و ب) می‌توان یافت رودباد تراز پایین در ظهر و زمانی رخ داده است که باد از سمت جنوب‌غربی می‌وزد.

با بررسی این پدیده در فصول و ساعات مختلف نمایان شد که اغلب در اواخر بهار تا اواخر تابستان در ساعات ظهر رخ می‌دهد. این رودباد تراز پایین همان باد فصلی شمال حاصل از برهم‌کنش بین کم‌فشار گرمایی شکل گرفته بر روی شرق ایران و پرفشار عربستان است که زبری سطح در مناطق ساحلی و همچنین کژفشاری و شیو دمایی بین دریا و خشکی باعث تقویت رودباد تراز پایین در حین روز و در ارتفاع‌های ۱۸۰ تا ۲۰۰ متر بر روی جزیره می‌شود.



شکل ۱۲. نمودار زمان-ارتفاع سرعت باد افقی؛ الف) در نقطه a؛ ب) در نقطه b؛ ۳ ماه می ۲۰۱۵.



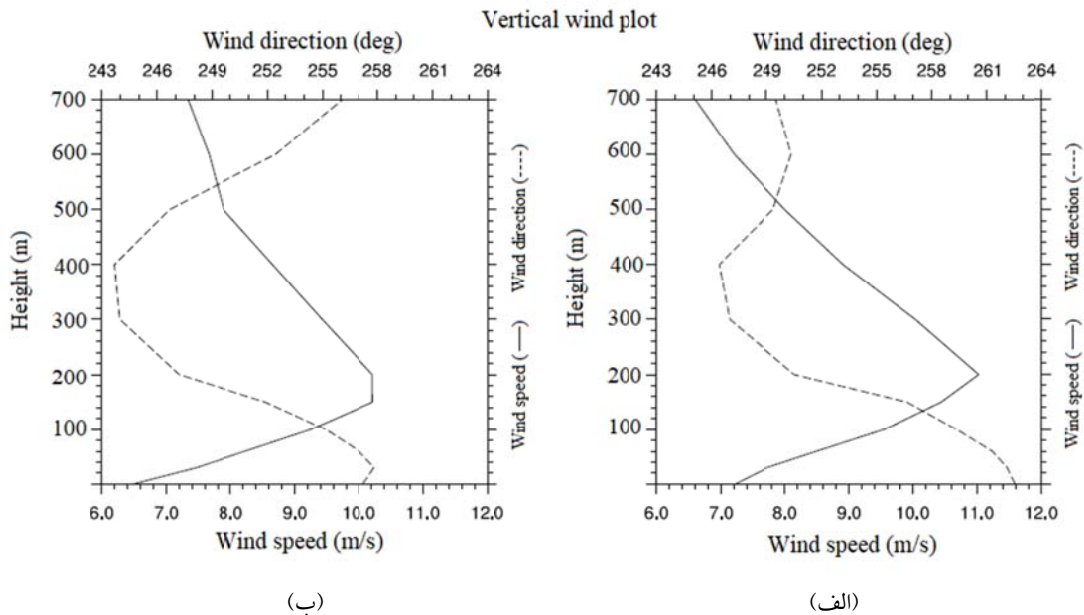
شکل ۱۳. نمودار زمان-ارتفاع سرعت و جهت باد افقی؛ الف) در نقطه a؛ ب) در نقطه b؛ ۳ ماه می ۲۰۱۵.

تولید تغییراتی در جهت و سرعت باد است، در اینجا تا ارتفاع ۴۰۰ متری جهت باد با ارتفاع به صورت پادساعت گرد می‌چرخد یعنی فرارفت هوای سرد حاکم شده است. چرخش بیشتر باد به صورت پادساعت گرد بر روی خشکی ناشی از افزایش دمای سطح و شارگرمای محسوس خشکی نسبت به دریا و شیو دمای بالاتر در طول روز است.

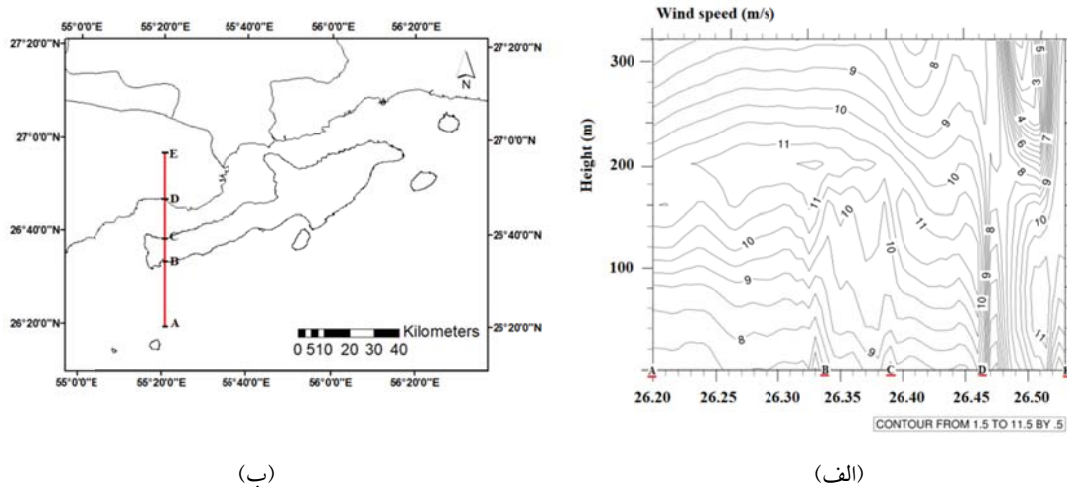
در شکل ۱۵-الف مقطع قائم سرعت باد افقی در طول خط AE (که در شکل ۱۵-ب رسم شده است) در زمانی که وزش باد از سمت غرب است؛ برای تاریخ ۳ ماه می ۲۰۱۵، ساعت ۱۷:۰۰، آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۵-الف ملاحظه می‌شود، رودباد در امتداد محور مشخص شده از نقاط A تا C بر روی دریا و جزیره در ارتفاع ۲۰۰ متری قرار دارد. با بررسی در ساعات و مکان‌های مختلف مشاهده شد که در تابستان و اواخر بهار شکل‌گیری رودباد تراز پایین (باد فصلی شمال) بر روی جزیره قشم و دریا و همچنین در نقاط ساحلی غربی استان هرمزگان در زمانی که جهت باد غربی و جنوب‌غربی است، تکرارپذیر است.

شکل ۱۴ نیم‌رخ قائم سرعت و جهت باد برای تاریخ ۳ ماه می ۲۰۱۵، ساعت ۱۶:۳۰ در نقطه a (الف) و نقطه b (ب) را نشان می‌دهد. شکل ۱۴-الف بیانگر آن است رودباد با سرعت بیشینه ۱۱/۱ متر بر ثانیه در ارتفاع ۲۰۰ متری است درحالی که سرعت باد در ارتفاعات بالاتر و پایین‌تر به ۷ متر بر ثانیه رسیده است و هیچ سرعت بیشینه دیگری تا ارتفاع ۷۰۰ متری قابل مشاهده نیست. جهت باد در شکل ۱۴-الف تا ارتفاع ۴۰۰ متری به اندازه ۱۶ درجه تغییر جهت به صورت پادساعت گرد با ارتفاع که نشان از فرارفت هوای سرد است و پس از آن به صورت ساعت گرد با ارتفاع تغییر جهت می‌دهد و همچنین در شکل ۱۴-ب بیشینه سرعت در ارتفاع ۱۵۰ متری به اندازه ۱۰/۲ متر بر ثانیه رسیده است و پس از آن سرعت کاهش می‌یابد و جهت باد تا ارتفاع ۴۰۰ متری به اندازه ۱۴ درجه تغییر جهت به صورت پادساعت گرد با ارتفاع سپس تا ارتفاع ۷۰۰ متری ۱۳ درجه به صورت ساعت گرد با ارتفاع تغییر جهت می‌دهد. مقدار و جهت باد نزدیک سطح و تغییرات آن با ارتفاع متأثر از شیوهای دما و فشار افقی، اصطکاک سطح و شرایط پایداری است. یک شیو دمایی افقی ناچیز قادر به





شکل ۱۴. نیم‌رخ قائم سرعت (خط پر) و جهت (خط چین) باد؛ الف) در نقطه a؛ ب) در نقطه b؛ ۳ ماه می ۲۰۱۵، ساعت ۱۶:۳۰. محور قائم ارتفاع از سطح زمین و محور افقی پایین سرعت باد و محور افقی بالا جهت باد.



شکل ۱۵. الف) مقطع قائم سرعت باد افقی (m/s)، در طول خط AE نشان داده شده در ب) نقاط A و E ابتدا و انتهای مقطع قائم و نقاط B, C, D خط ساحلی؛ ۳ ماه می ۲۰۱۵، ساعت ۱۷:۰۰.

و جهت باد تراز پایین داشته است. به علت این که طرحواره لایه مرزی ACM2 اختلاط عمودی را هم به صورت محلی و هم غیرمحلی در نظر می‌گیرد و در فصل گرم همرفت را بهتر از دیگر طرحواره‌ها لحاظ می‌کند که این طرحواره لایه مرزی در این پیکربندی در ترکیب با مدل لایه سطحی Pleim-Xio

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که شبیه‌سازی‌های WRF برای لایه مرزی به فصول گرم و سرد و همچنین پیکربندی‌های مختلف حساسیت نشان می‌دهد. به صورت کلی می‌توان در نظر گرفت که در هر دو دوره انتخابی از فصل گرم و فصل سرد پیکربندی ACM2 شبیه‌سازی بهتری از سرعت

مدل سطح زمین Noah است.

سرعت باد در فصول بهار و تابستان از مقادیر بالاتری برخوردار است و جهت باد به صورت میانگین در طول روز جنوب غربی است. الگوی باد متأثر از واداشتهای بزرگ مقیاس منطقه‌ای بر روی تنگه هرمز است. کاهش سرعت و همگرایی موجود در تنگه هرمز و پشت جزیره قشم ناشی از برهم کنش الگوهای باد ورودی به تنگه هرمز از دریای عمان و خلیج فارس است و همچنین برش افقی باد به علت توزیع خشکی-دریا (زبری) و پستی و بلندی‌های ساحلی و مناطق خشکی داخلی یکی دیگر از عوامل ایجاد گردش میدان باد افقی بر روی تنگه هرمز است. رودباد تراز پایین (باد فصلی شمال) در اواخر فصل

بهار و فصل تابستان در حین روز بر روی دریا و جزیره قشم و مناطق ساحلی غربی استان هرمزگان قابل مشاهده است که زبری سطح و کژفشاری در مناطق ساحلی باعث تقویت این رودباد تراز پایین (باد فصلی شمال) در ساعات ظهر و در ارتفاعهای ۱۸۰-۲۰۰ متر می‌شود.

### مراجع

سازمان منطقه آزاد قشم، <http://www.tourism.qeshm.ir>.  
ملکوتی، ح. و حمزه نژاد، م.، ۱۳۹۶، بررسی مشاهداتی و عددی میدان باد تراز پایین بر روی منطقه تنگه هرمز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان.

- Andreas, E. L., Claffy, K. J. and Makshtas, A. P., 2000, Low-level atmospheric jets and inversions over the western Weddell Sea. *Boundary-layer meteorology*, 97, 459-486.
- ARYA, P. S., 2001, Introduction to micrometeorology, Academic press.
- Bonner, W. D., 1968, Climatology of the low level jet. *Mon. Wea. Rev.*, 96, 833-850.
- Brook, R. R., 1985, The Koorin nocturnal low-level jet. *Boundary-Layer Meteorology*, 32, 133-154.
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M. and Santos, C., 2012, A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. *Environmental Modelling and Software*, 33, 23-34.
- Chen, F. and Dudhia, J. 2001, Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly weather review*, 129, 569-585.
- Giannakopoulou, E. M. and Toumi, R., 2012, The Persian Gulf summertime low-level jet over sloping terrain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138, 145-157.
- Han, Z., Ueda, H. and An, J., 2008, Evaluation and intercomparison of meteorological predictions by five MM5-PBL parameterizations in combination with three land-surface models. *Atmospheric Environment*, 42, 233-249.
- Holton, J. R., 1967, The diurnal boundary layer wind oscillation above sloping terrain. *Tellus*, 19, 200-205.
- Hong, S. Y., Noh, Y. and Dudhia, J., 2006, A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly weather review*, 134, 2318-2341.
- Hu, X. M., Nielsen-Gammon, J. W. and Zhang, F., 2010, Evaluation of three planetary boundary layer schemes in the WRF model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 1831-1844.
- Janjić, Z. I., 1994, The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122, 927-945.
- Mohan, M. and Bhati, S., 2011, Analysis of WRF model performance over subtropical region of Delhi, India. *Advances in Meteorology*, 2011.
- Nakanishi, M. and Niino, H., 2004, An improved Mellor-Yamada level-3 model with condensation physics: Its design and verification. *Boundary-layer meteorology*, 112, 1-31.
- Nossent, J., Elsen, P. and Bauwens, W., 2011, Sobol' sensitivity analysis of a complex environmental model. *Environmental Modelling and Software*, 26, 1515-1525.
- Pleim, J. E., 2007, A combined local and nonlocal closure model for the atmospheric boundary layer. Part I: Model description and testing. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 1383-1395.
- Shin, H. H. and Hong, S. Y., 2011, Intercomparison of planetary boundary-layer parameterizations in the WRF model for a single day from CASES-99. *Boundary-Layer Meteorology*, 139, 261-281.
- Stull, R. B., 1988, *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 666 pp.

- Sukoriansky, S., Galperin, B. and Perov, V., 2005, Application of a new spectral theory of stably stratified turbulence to the atmospheric boundary layer over sea ice. *Boundary-Layer Meteorology*, 117, 231-257.
- Warner, T. T., 2010, Numerical weather and climate prediction. Cambridge University Press.
- Willmott, C. J., 1982, Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313.

## Study of planetary boundary layer wind field over Qeshm Island, Iran

Zarghamipour, M.<sup>1</sup> and Malakooti, H.<sup>2\*</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Marine and Atmospheric Science (non-Biologic), Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2. Associate Professor, Department of Marine and Atmospheric Science (non-Biologic), Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

(Received: 24 Aug 2019, Accepted: 21 Jan 2020)

### Summary

Since the wind pattern on various activities in islands as well as its effect on other meteorological parameters is important long – term temporal and spatial variations of the wind field are studied. Here, the warmest month (July) and the coldest month (January) 2015, are selected in order to test the sensitivity of low-level wind simulations of the Weather Research and Forecasting (WRF) model to the parameterizations of the boundary layer (PBL), the surface layer (SL) and the land surface (LSM) over Qeshm Island. As this work was focused on the simulation of near-surface and vertical wind profiles, the physical options related to the parameterizations of boundary layer processes (SL, PBL and LSM) that have significance influence for this purpose are validated. Although more physical options are available in the model (for cumulus convection, short and long wave radiation, microphysics and etc.), it is not feasible or necessary to include all the model configuration options in the sensitivity analysis to obtain an efficient model configuration optimization. The model grid comprised of four nested domains at horizontal resolutions of 45, 15, 5 and 1 km respectively. The innermost domain (D4) with 1 km spatial resolution covered the chosen area to simulate PBL wind field over Qeshm island region. The results of the simulations under five different configurations are validated with the observational wind speed data of Qeshm Airport and Marine Qeshm Stations. The results demonstrate that in both episodes, the ACM2 boundary layer scheme has presented the best performance in combination with the Pleim - Xio surface layer and the Noah land surface schemes because it considers vertical mixing both local and non-local in simulation of planetary boundary layer wind structure. The simulations of WRF are sensitive to warm and cold seasons as well as selected parameterizations. After selecting the appropriate configuration, the simulation of the wind field for one year was carried out to investigate the low level wind field, the vertical structure of the boundary layer wind and the impact of the land mask distribution on and around the Qeshm Island. These simulations indicate higher wind speed in spring and summer and the roughness of the island causes a low level wind convergence, then turn to the left on the Strait of Hormuz with decreasing wind speed. Monthly average of the wind direction during the daytime of reference month of each season are generally simulated to be southwesterly (January, April, July, October) and during the nights of January and July it is southerly to southeast and in April and October it is simulated southwesterly. The direction of the wind has significant variations at sunrise and sunset due to changes in regional scale forcing and baroclinicity behavior between the sea and the coast. Surface roughness in coastal areas, strait narrowing and sea breeze, enhance the low-level jet during summer and spring middays at altitudes of about 180 to 200 meters. In other words, we can say these low-level jet (Shamal winds) during summer and spring occurs as a result of the interaction of two pressure systems; the heat low pressure cell (low level cyclone) over Iran and a semi-permanent high over northwestern Saudi Arabia and it acquires some convergence because of the these factors.

**Keywords:** Parameterization, Numerical simulation, Wind speed, Boundary layer, Low-level jet, Qeshm Island.

---

\* Corresponding author:

malakooti@hormozgan.ac.ir