

رفتار مشاهداتی و همدیدی باد شمال در سواحل شمال غرب خلیج فارس: بوشهر، ایران (۲۰۱۰)

حسین ملکوتی* - استادیار دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه هرمزگان
محمد پاخیره زن - دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه هرمزگان
وحیده السادات حسنی - کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه هرمزگان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۰۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۷/۲۹

چکیده

نسیم دریا- خشکی به منزله گردش محلی تحت تأثیر واداشتهای بزرگ و مقیاس جوی است. در این تحقیق تأثیر الگوهای همدیدی باد شمال بر رفتار باد ساحلی در منطقه بوشهر بررسی شده است. الگوی فشاری خاص تراز پایین در فصلهای گرم و گاهی در فصلهای سرد، سبب ایجاد میدان باد شمال غربی در جنوب ترکیه، عراق و خلیج فارس می شود که عامل مهمی در برداشت و انتقال گردوغبار در این مناطق است. این پدیده، الگوی باد ساحلی را تحت تأثیر قرار می دهد و در مواقعی محو می کند. مشاهده شد در سال ۲۰۱۰ باد شمال تابستانی در ماه های می، ژوئن و ژوئیه رخداد بالایی داشته و باد شمال زمستانی در بازه زمانی دسامبر تا مارس و برای چند بازه چندروزه رخ داده است. تأثیر این پدیده بر نسیم دریا- خشکی در منطقه بوشهر با استفاده از داده های ایستگاه های اندازه گیری در منطقه بوشهر و مدل WRF بررسی شده است. در روزهایی که نسیم دریا- خشکی تحت واداشت باد شمال از بین برود، میانگین سرعت وزش باد روزانه بیش از روزهایی است که نسیم دریا- خشکی رخ داده است، به طوری که سرعت وزش باد در روزهایی که گردش نسیم دریا- خشکی شکل نمی گیرد، حدود ۱۵ تا ۱۸ متر بر ثانیه مشاهده شده است، در حالی که میانگین سرعت وزش باد در سایر روزها حدود ۸ متر بر ثانیه بوده است.

کلیدواژه ها: باد شمال، بوشهر، گلباد، نسیم دریا- خشکی، WRF.

مقدمه

باد شمال پدیده ای جوی در منطقه خلیج فارس است که به طور متناوب سبب رخداد شرایط نامساعد آب و هوایی در منطقه می شود. از پدیده هایی که تحت اثر باد شمال به وجود می آید می توان به توفان های گردوغباری، بادهای سطح پایین و شرایط نامناسب دریایی اشاره کرد (رائو و همکاران، ۲۰۰۳). باد شمال در منطقه مورد مطالعه به دو نوع تابستانی و زمستانی تقسیم می شود. باد شمال تابستانی عمدتاً بین ماه های می تا ژوئیه می وزد و تا سپتامبر هم ادامه دارد. این پدیده با برهم کنش سیستم های حرارتی و فصلی ارتفاع پایین در ارتباط است که روی شمال غربی هند، پاکستان، ایران و پرفشار جنوب عربستان فعالیت می کند. تحقیقات در زمینه باد شمال تابستانی گویای این مطلب است که رودباد ارتفاع

* E- mail: malakooti@hormozgan.ac.ir

پایین در روزهایی که باد شمال تابستانی فعال است در غرب رشته کوه زاگرس و فلات میانی عراق رخ می‌دهد. هنگام رخداد باد شمال تابستانی، دمای سطحی هوا به بیش از ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و باعث تشکیل الگوی فشاری محلی بین کم‌فشار حرارتی منطقه و پرفشار عربستان و وزیدن باد شمال تابستانی می‌شود (ژئو و اتکینسون، ۲۰۰۴). یکی از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر جهت و سرعت باد شمال شیب کوهستان‌هایی است که به موازات آن‌ها می‌وزد. رشته کوه زاگرس در نواحی غربی ایران نه فقط کانالی برای بادهای شمال غربی، بلکه سدی در برابر جریان‌های موسمی شرقی است که سرعت باد شمال را افزایش می‌دهد (جیانکوپولو و تومی، ۲۰۱۲). باد شمال زمستانی معمولاً به مدت سه تا هفت روز و در بازه زمانی دسامبر تا ابتدای ماه مارس اتفاق می‌افتد (رائو و دیگران، ۲۰۰۱). در فصل سرد، هنگامی که کم‌فشار جبهه‌ای گذرا به همراه جبهه سرد و قوی از کوهستان‌های ترکیه عبور می‌کند، لبه جلویی توده هوای سرد، گردوغبار و سطح زمین را تحریک و به حالت معلق در هوا پراکنده می‌کند. بعد از عبور جبهه سرد، باد غالب شمال تا شمال غربی رخ می‌دهد که چند روز ادامه دارد (رائو و دیگران، ۲۰۰۳).

نسیم دریا- خشکی پدیده‌ای در ارتباط با مناطق ساحلی است که گردش میان‌مقیاس و حرارت رانده است. اختلاف دمایی بین سطح دریا و خشکی دلیل اصلی به وجود آمدن نسیم دریاست که از سمت دریا به سمت خشکی می‌وزد. از دیدگاه هواشناسی شرایط مناسب برای شکل‌گیری نسیم دریا- خشکی در منطقه ساحلی بوشهر، هنگامی است که بادهای همدیدی ضعیف و دمای هوا بالا باشد (بیدختی و مرادی، ۱۳۸۴). در مطالعه بیدختی و مرادی (۱۳۸۴) میانگین سرعت نسیم دریا- خشکی در بوشهر ۳/۰ تا ۵/۰ متر بر ثانیه با میانگین ۴/۱ متر بر ثانیه بوده است. جهت بیشینه رخداد نسیم دریا- خشکی در جهت جنوب غربی و غرب گزارش شده، اگرچه در منطقه مورد مطالعه نسیم‌های جنوب شرقی و جنوبی نیز نسیم دریا- خشکی در نظر گرفته می‌شود. عمق نسیم دریا- خشکی در ساحل بوشهر از ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر به صورت فصلی متغیر و کمترین مقدار آن مربوط به ماه اکتبر است. در مطالعه مذکور، بعد افقی نسیم دریا- خشکی در ساحل بوشهر ۳۸ تا ۵۰ کیلومتر و کمترین مقدار در آن نیز در ماه اکتبر ارزیابی شده است.

ظهور نیروی گرادیان فشار برای توضیح پدیده نسیم دریا- خشکی مقداری ساده به نظر می‌آید، ولی سه روش متفاوت برای شروع این پدیده بیان شده است، که از نظر فیزیکی با هم اختلاف دارد. نخستین روش نظریه بالاسو^۱ است که بیان می‌کند گستردگی قائم هوای گرم روی سطح خشکی سبب شارش رو به دریا در ارتفاعات می‌شود که در واکنش به این حرکت، شارشی در سطح از دریا به خشکی شروع می‌شود (تیجم و فون‌دلن، ۱۹۹۹). دومین روش، نظریه پهلو^۲ نام دارد که طبق آن زمانی که هوای گرم روی خشکی گسترش افقی می‌یابد، شارشی از طرف دریا شروع به توسعه رو به ساحل می‌کند. سپس، در واکنش به این حرکت، جریان رو به دریا (برگشتی) در بالا توسعه می‌یابد (سیمسون، ۱۹۹۴). سومین روش، نظریه مخلوط^۳ نام دارد. طبق این نظریه، هم‌زمان با گستردگی افقی و قائم هوای گرم روی خشکی، در سطح زمین حرکت رو به خشکی از طرف دریا و حرکت برگشتی در بالا آغاز می‌شود (گودسک و همکاران، ۱۹۵۷). از آنجا که نسیم دریا- خشکی نتیجه گرم‌شدن سطح خشکی در طول ساعات آفتابی و گرم‌شدن هوای نزدیک سطح و

1. Upward theory
2. Side theory
3. Mix theory

صعود آن است، از این رو براساس تبدیل بخشی از انرژی پتانسیل در دسترس به انرژی جنبشی و در نظر گرفتن نیروی کوریولیس می‌توان سرعت V و بعد افقی نسیم دریا-خشکی L را به دست آورد. در رابطه (۱)، H عمق لایه مرزی همرفتی و g' شتاب ثقل کاهش یافته است (دالو و پیلکه، ۱۹۸۹).

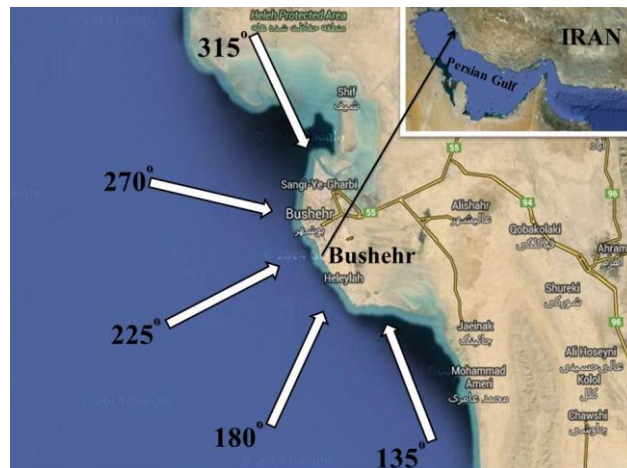
$$V = \left(g' \frac{H}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad L = g' \frac{H}{\rho V} \quad (1)$$

مطالعه دینامیکی و همدیدی رژیم‌های باد غالب با توجه به پدیده‌های جوی و دریایی و پتانسیل استحصال انرژی اهمیت زیادی دارد. برای مثال، می‌توان گفت الگوهای بادهای فصلی، سهم مهمی در تعیین الگوی گردش آب در خلیج فارس دارد (کمیجانی و دیگران، ۱۳۹۱). هدف از این تحقیق، مطالعه مشاهداتی و عددی رخداد باد شمال فصلی روی منطقه خلیج فارس و بررسی شرایط همدیدی همراه آن است. همچنین، تأثیر این شرایط بر الگوی باد ساحلی در شمال غرب خلیج فارس و به طور موردی در منطقه ساحلی بوشهر از اهداف این تحقیق است. در این مطالعه نشان داده می‌شود که چگونه واداشت میان مقیاس جوی (نسیم دریا-خشکی) تحت تأثیر واداشت بزرگ مقیاس (الگوی همدیدی باد شمال) قرار می‌گیرد و از بین می‌رود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه تحت تسلط الگوی فصلی باد شمال، شمال خاورمیانه است که از کوه‌های ترکیه و شمال عراق تا بیابان‌های مرکزی عراق و سوریه و حتی خلیج فارس را پوشش می‌دهد. در این تحقیق، منطقه ساحلی بوشهر که در شمال غربی خلیج فارس و جنوب غربی ایران قرار دارد به منظور مطالعه برهم کنش الگوی باد شمال بر نسیم‌های محلی ساحلی انتخاب شد (شکل ۱). با توجه به موقعیت ساحل بوشهر و تعریف نسیم دریا-خشکی، نسیم‌های رخ داده در سمت ۱۳۵ تا ۳۱۵ درجه نسیم دریا محسوب می‌شود. البته، با نگاهی دقیق‌تر می‌توان محدوده نسیم دریا را محدوده ۱۸۰ تا ۲۷۰ درجه در نظر گرفت که این نسیم معمولاً از ساعت ۱۰-۱۲ صبح تا ساعت ۹-۱۱ شب تداوم دارد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (بوشهر-ایران)

اطلاعات پایه

در این مقاله، در گام ابتدایی به منظور تجزیه و تحلیل رفتار باد ساحلی، از داده‌های ساعتی سمت و سرعت باد دکل هواشناسی ایستگاه سینوپتیکی هواشناسی بوشهر به همراه اطلاعات هواشناسی فرودگاه بوشهر استفاده شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیکی هواشناسی شهرستان بوشهر $28^{\circ}59'$ عرض جغرافیایی شمالی و $50^{\circ}00'$ طول جغرافیایی شرقی است. همچنین، ایستگاه فرودگاه بوشهر نیز در موقعیت جغرافیایی $28^{\circ}58'$ عرض جغرافیایی شمالی و $50^{\circ}49'$ طول جغرافیایی شرقی و همان‌طور که موقعیت‌ها نشان می‌دهد در فاصله نسبتاً کمی از یکدیگر قرار دارد.

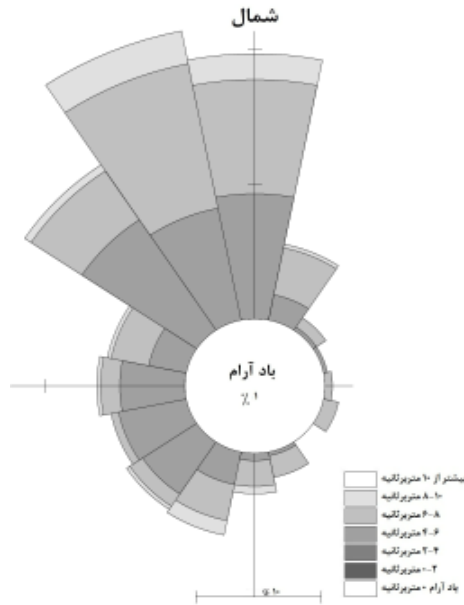
در گام بعدی، داده‌هایی که برای ایجاد شرایط اولیه و مرزی در شبیه‌سازی با مدل WRF به کار رفته‌اند از نوع NCEP FNL و دارای تفکیک 1×1 درجه و برای هر ۶ ساعت در دسترس است. این داده‌ها را سامانه داده گواری جهانی^۱ (GDAS) تنظیم می‌کند که به صورت پیوسته داده‌های دیدبانی جهانی را از سامانه تله‌متری جهانی^۲ (GTS) و منابع دیگر برای تحلیل‌های گوناگون دریافت می‌دارد. این داده‌ها برای سطح زمین و ۲۶ لایه قائم از ۱۰۰۰ میلی‌بار تا ۱۰ میلی‌بار در دسترس است. تعداد لایه‌های قائم در ترازهای پایین و نزدیک سطح زمین تراکم بیشتری دارد. اطلاعات سطح زمین USGS و MODIS آرشو شده در اطلاعات پایه مدل WRF، به منظور تهیه اطلاعات سطحی خاک مشتمل بر دسته‌بندی کاربری سطح، جنس خاک، توپوگرافی، سبزیگی، دما و رطوبت متوسط سالانه در عمق مرجع، سپیدایی و گسیلندگی متوسط ماهانه سطحی روی نقاط شبکه شبیه‌سازی در تفکیک‌های افقی دو و پنج دقیقه به کار بسته شده است.

روش تحقیق

محققان در سال‌های اخیر، مطالعات ارزنده‌ای بلندمدت مشاهداتی در زمینه رفتار اقلیمی و رخداد زمانی - مکانی بادهای شمال روی شمال خلیج فارس انجام داده‌اند. برای مثال، می‌توان به مطالعات السنای و عنیس (۲۰۱۵) و حمیدی و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. شکل ۲ گلباد ده ساله ۲۰۰۵-۲۰۱۴ را برای ایستگاه بوشهر نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوی غالب باد ایستگاه شمال - شمال غرب است و در گلبادهای فصلی الگوی باد شمال در تابستان و زمستان نمایان خواهد بود. در مطالعه حاضر رفتار زمانی - مکانی بادهای شمال تابستانی و زمستانی روی شمال خلیج فارس به کمک آنالیز مشاهدات ایستگاهی و شبیه‌سازی‌های عددی به صورت اختصاصی فقط سال ۲۰۱۱ را بررسی می‌کند که رفتار میدان باد آن با الگوی متوسط ده‌ساله هماهنگی دارد.

1. Global Data Assimilation System (GDAS)

2. Global Telecommunications System (GTS)



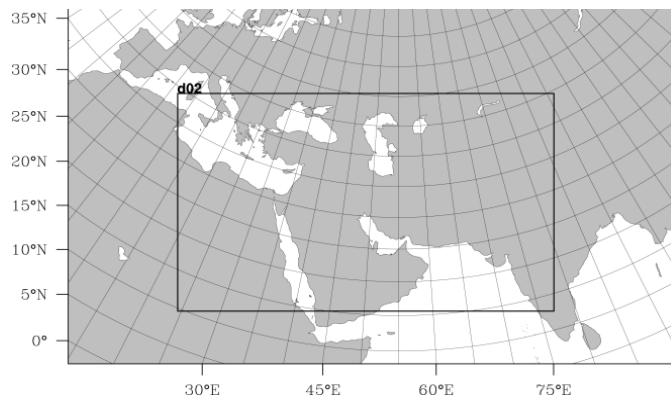
شکل ۲. گلباد ده ساله ۲۰۰۵-۲۰۱۴ برای منطقه ساحلی بوشهر

دوره مشاهداتی (۲۰۱۰)

با استفاده از داده‌های سمت و سرعت باد دکل هواشناسی و ایستگاه هواشناسی فرودگاه بوشهر، به منظور شناسایی رفتار میدان باد سطحی، گلبادهای فصلی سال ۲۰۱۰ تهیه شد. همچنین، به منظور تعیین زمان و تداوم رخداد باد شمال تابستانی و زمستانی، رفتار زمانی باد با مطالعه سری‌های زمانی سمت و سرعت باد بررسی شد. رفتارسنجی‌های مشاهداتی در ترازهای مختلف اندازه‌گیری دکل هواشناسی نیروگاه بوشهر صورت انجام گرفت که برای تراز ۱۰۰ متری در این نوشتار ارائه می‌شود. علت این موضوع تأثیرپذیری کمتر با این تراز از واداشتهای سطحی است. شایان ذکر است با توجه به استمرار بازرسی‌ها حسگرهای هواشناسی نصب‌شده روی دکل مذکور، این اطلاعات مشاهداتی اطلاعات پایه در این مطالعه در نظر گرفته شد و از اطلاعات سودار نیروگاه در این مطالعه استفاده نشد.

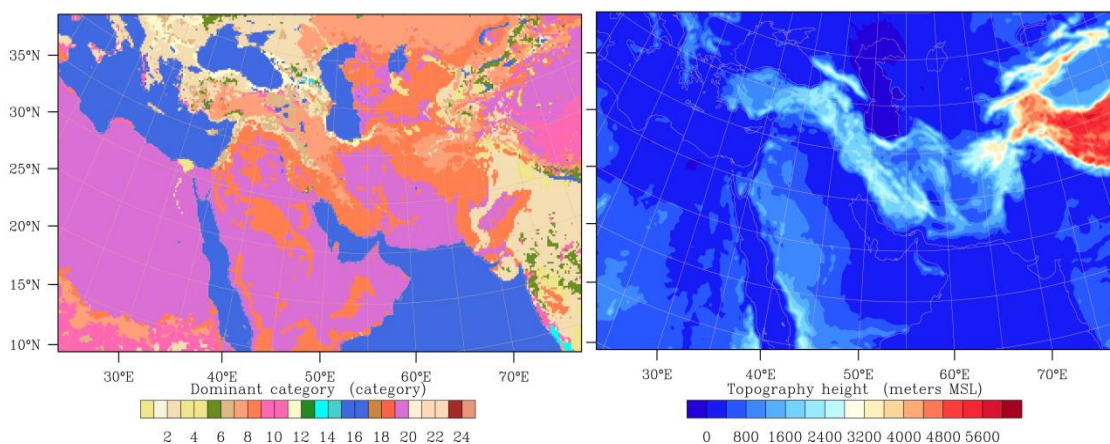
شبیه‌سازی موردی

با طراحی دو دامنه تلسکوپي، شبکه‌بندی، شبکه‌گذاری اطلاعات سطح، شرایط اولیه و مرزی با ابزار پیش‌پردازش WPS، شرایط برای شبیه‌سازی منطقه‌ای آماده شد. شکل ۳ پوشش مکانی منطقه شبیه‌سازی دو دامنه انتخابی را نمایش می‌دهد.



شکل ۳. پوشش مکانی منطقه شبیه‌سازی دو دامنه انتخابی

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، دامنه بیرونی ($N_x \times N_y: 180 \times 110$) با تفکیک افقی ۶۰ کیلومتر، منطقه وسیعی از اوراسیا را پوشش می‌دهد و دامنه داخلی ($N_x \times N_y: 331 \times 199$) با تفکیک ۲۰ کیلومتر، منطقه‌ای را که باد شمال در آن فعال است در مرکز خود جاداده است. در تفکیک ۲۰ کیلومتری مدل قادر خواهد بود تأثیرات توزیع کاربری‌های میان‌مقیاس و توزیع خشکی و دریا را روی میدان‌های باد و دما به‌خوبی شبیه‌سازی کند. در این مطالعه، تعداد ترازهای قائم، ۳۵ لایه‌ای در نظر گرفته شد که تراز پایین تفکیک قائم بالایی دارد تا باد تراز پایین پایین با دقت بهتری شبیه‌سازی شود. شکل ۴ توپوگرافی و کاربری اراضی منطقه تحت پوشش دامنه داخلی را نمایش می‌دهد که به‌منظور تهیه شرایط اولیه و مرزی سطحی از اطلاعات پایه با تفکیک یک دقیقه درون‌یابی شده است.



شکل ۴. توپوگرافی و کاربری اراضی منطقه تحت پوشش دامنه داخلی

علاوه بر پیکربندی دینامیکی فیزیکی مدل، انتخاب طرحواره‌های فیزیکی مناسب فصل و منطقه به‌منظور اجرای شبیه‌سازی‌ها ضروری است. با توجه به مطالعات مشاهداتی پایه، دو بازه سه‌روزه (۲۲ تا ۲۵ ژوئن و ۲۶ تا ۲۹ ژانویه) برای شبیه‌سازی منطقه‌ای باد شمال تابستانی و زمستانی انتخاب شد. در این تحقیق با توجه به آنالیز حساسیت نتایج شبیه‌سازی‌های مدل WRF روی منطقه ساحلی بوشهر، به‌کارگیری پارامترسازی‌های مختلف دینامیکی فیزیکی خاک (LSM: Land Surface Model)، پارامترسازی لایه سطحی (SL: Surface Layer) و پارامترسازی لایه مرزی سیاره‌ای (PBL: Planetary Boundary Layer) با بیشترین تأثیر روی میدان باد لایه مرزی که حسنی و ملکوتی (۱۳۹۳) انجام دادند، پیکربندی‌های فیزیکی زیر برای بازه‌های انتخابی در نظر گرفته شد (جدول ۳). همان‌طور که اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌های اوت سال ۲۰۰۶ (جدول ۱) نشان می‌دهد، به‌کارستن فیزیک خاک Noah، پارامترسازی لایه سطحی به‌کار بسته‌شده در مدل MM5، پارامترسازی لایه مرزی سیاره‌ای YSU بیشترین کارآمدی را در بازسازی میدان باد در منطقه داشته است. همچنین، اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌های فوریه ۲۰۰۷ (جدول ۲) نشان می‌دهد که به‌کارستن فیزیک خاک PX، پارامترسازی لایه سطحی PX، و پارامترسازی لایه مرزی سیاره‌ای ACM2 بیشترین کارآمدی را در بازسازی میدان باد در منطقه داشته است.

جدول ۱. اعتبارسنجی در میدان باد ۱۰ متری شبیه‌سازی شده ماه اوت سال ۲۰۰۶ (حسینی و ملکوتی، ۱۳۹۳)

LSM-SL-PBL	Wind Speed					Wind Direction		
	RMSE	(ME Bias)	STDE	MAE	IOA	RMSE	(ME Bias)	STDE
Noah-MM5-YSU	۲/۴۵	۱/۴۴	۱/۹۷	۱/۷۰	۰/۶۳	۳۹/۷۳	۷/۴۳	۳۹/۰۲
Noah-MO-MYJ	۲/۱۵	۰/۷۹	۲/۰	۱/۵۱	۰/۶۵	۵۰/۱۶	۱۴/۳۷	۴۸/۰۵
PX-PX-ACM2	۱/۸۵	۰/۹۱	۱/۶۱	۱/۵۰	۰/۶۹	۳۸/۲۵	۷/۷۹	۳۷/۴۴
RUC-MM5-YSU	۱/۹۷	۰/۷۷	۱/۸۱	۱/۴۹	۰/۶۶	۴۰/۱۴	۸/۸۹	۳۹/۱۴
RUC-MO-MYJ	۲/۳۹	۱/۲۶	۲/۰۳	۱/۷۹	۰/۶۱	۵۰/۲۶	۱۵/۹۸	۴۷/۶۵

جدول ۲. اعتبارسنجی در میدان باد ۱۰ متری شبیه‌سازی شده ماه فوریه سال ۲۰۰۷ (حسینی و ملکوتی، ۱۳۹۳)

LSM-SL-PBL	Wind Speed					Wind Direction		
	RMSE	Bias (ME)	STDE	MAE	IOA	RMSE	Bias (ME)	STDE
Noah-MM5-YSU	۲/۷۰	۲/۱۹	۱/۷۹	۱/۸۸۳	۰/۷۲	۴۲/۷۲	۷/۲۳	۴۲/۱۰
Noah-MO-MYJ	۳/۱۲	۱/۱۵	۲/۹۰	۲/۰۱	۰/۵۲	۵۲/۳۱	۱۲/۱۹	۵۰/۸۶
PX-PX-ACM2	۱/۸۰	۰/۱۵۲	۱/۷۹۱	۱/۳۷	۰/۵۵۳	۴۵/۷۸	۸/۱۲	۴۵/۰۵
RUC-MM5-YSU	۲/۲۸	۰/۶۰	۲/۱۰۲	۱/۷۳	۰/۵۹	۴۴/۵۳	۸/۱۸	۴۳/۶۴
RUC-MO-MYJ	۲/۱۱	۰/۸۴	۱/۹۴	۱/۵۳	۰/۶۵	۵۳/۵۸	۱۴/۱۷	۵۱/۶۷

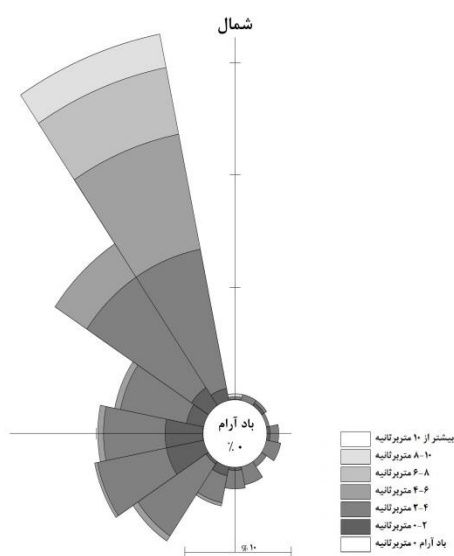
جدول ۳. طرحواره‌های فیزیکی انتخاب شده برای اجرای مدل

طرحواره	طرحواره‌های فیزیکی انتخابی
میکروفیزیکی ابر	WSM 6 (Hong et al., 2004)
تابش طول موج کوتاه	Dudhia (Dudhia, 1989)
تابش طول موج بلند	RRTM (Mlawer et al., 1997)
فیزیکی خاک	Ek et al., 2003 (Noah) بازه شمال تابستانی PX (Pleim and Xiu, 2003) بازه شمال زمستانی
فیزیکی سطح	MM5 SL (Zhang and Anthes, 1982) بازه شمال تابستانی PX (Pleim and Xiu, 2003) بازه شمال زمستانی
لایه مرزی	Hong et al., 2006; Hong, 2010 (YSU) بازه شمال تابستانی ACM2 (Pleim, 2007) بازه شمال زمستانی
همرفت کومولوسی	Kain-Fristch (Kain and Fristch, 1993; Kain, 2004)

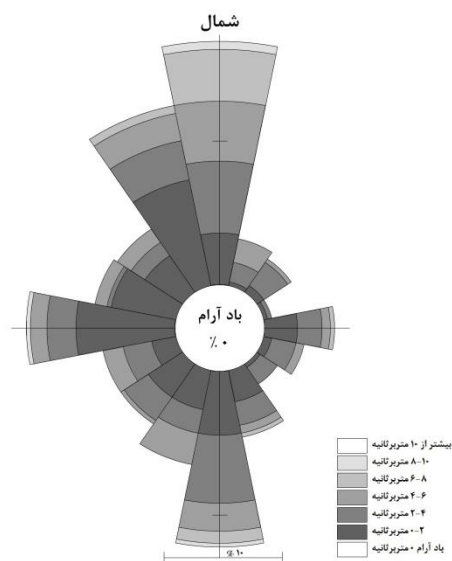
یافته‌های پژوهش

نتایج مطالعهٔ مشاهداتی

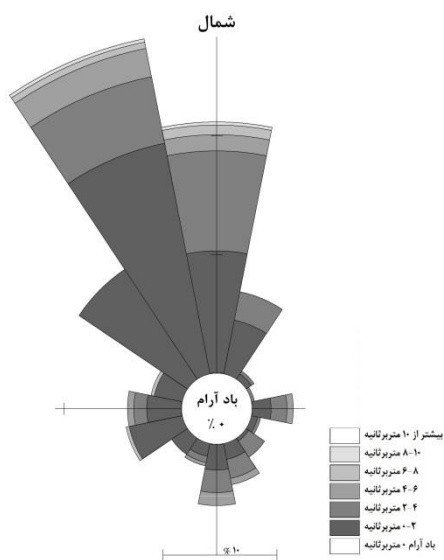
در شکل ۵ گلبادهای فصلی سال ۲۰۱۰ با توجه به اطلاعات باد دکل هواشناسی بوشهر در ارتفاع ۱۰۰ متری مشاهده می‌شود. در سه ماههٔ دوم و سوم سال، به‌خصوص در فصل تابستان، الگوی باد منطقه به شدت تحت تأثیر الگوی بزرگ مقیاس جوی از سمت شمال قرار گرفته است. این تحلیل با توجه به تکرار سمت و سوی باد، همچنین توزیع سرعت در این راستا قابل مشاهده است.



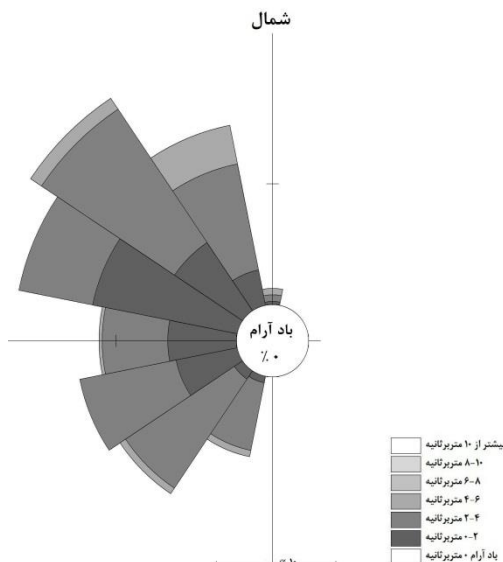
گلباد سه ماههٔ دوم (آوریل-می-ژوئن) ۲۰۱۰



گلباد سه ماههٔ اول (ژانویه-فوریه-مارس) ۲۰۱۰

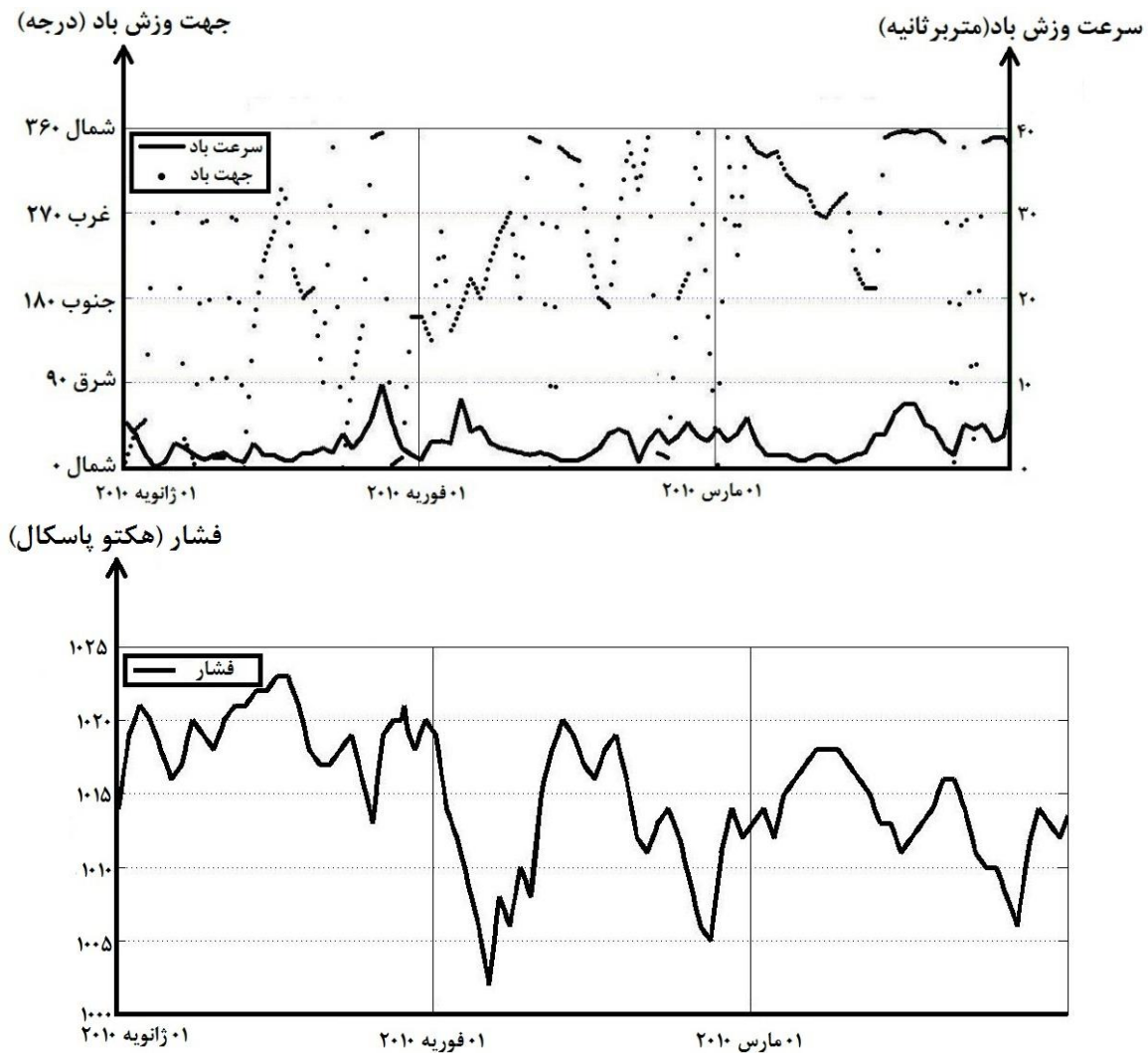


گلباد سه ماههٔ چهارم (اکتبر-نوامبر-دسامبر) ۲۰۱۰



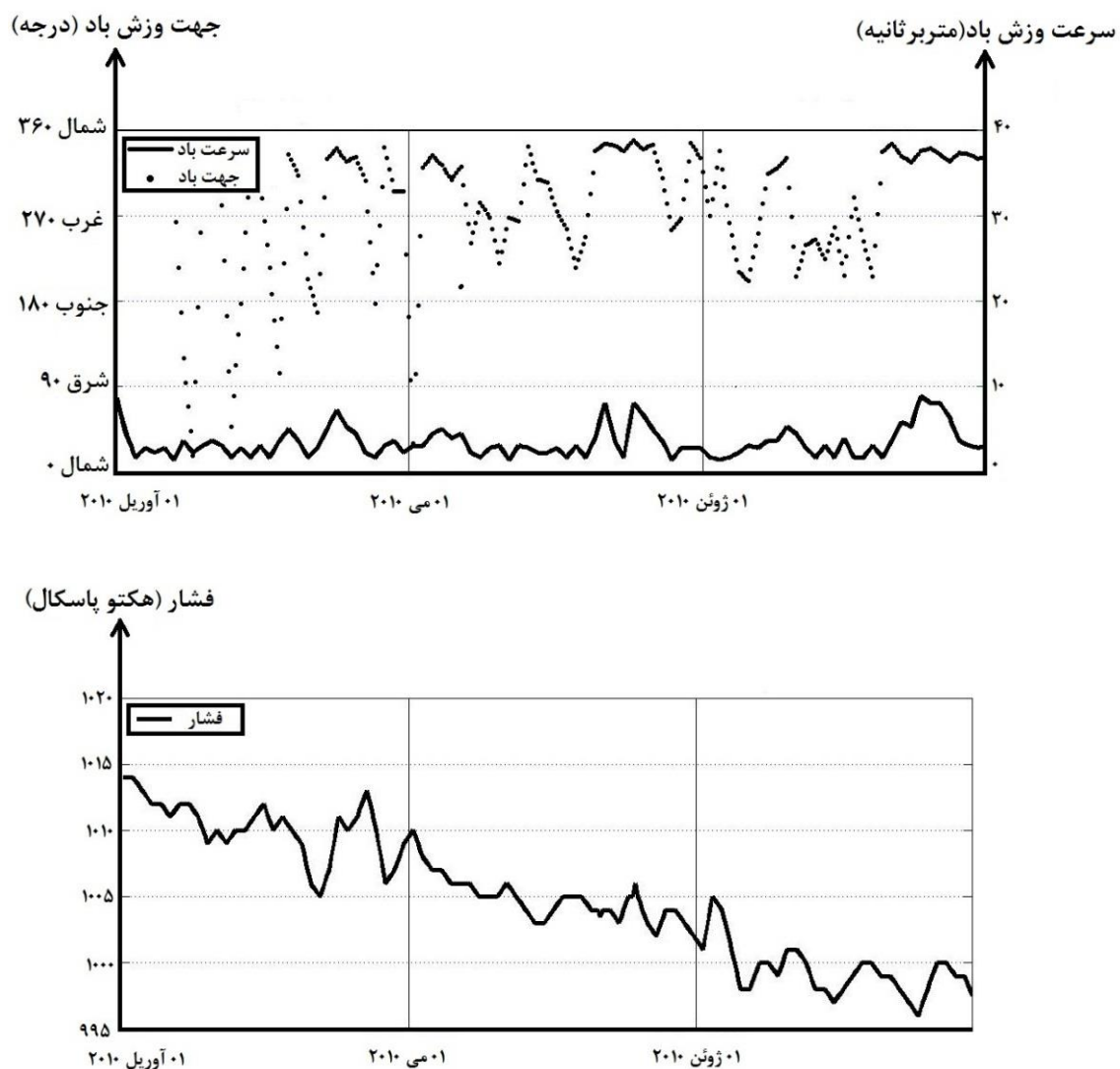
گلباد سه ماههٔ سوم (ژوئیه-اوت-سپتامبر) ۲۰۱۰

شکل ۵. گلباد سالیانه منطقهٔ ساحلی بوشهر ۲۰۱۰



شکل ۶. نمودار سمت-سرعت باد (بالا) و فشار بارومتریکی (پایین) در سه ماهه اول ۲۰۱۰، بوشهر

برای مثال، شکل ۶ و ۷ سری زمانی سمت و سرعت باد به همراه فشار باروتروپیکی در بازه‌های زمانی سه ماهه اول و دوم سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. با تجزیه و تحلیل شکل ۶، تأثیر باد شمال زمستانی به‌طور ویژه در انتهای ماه ژانویه مشاهده می‌شود. در واقع، هنگامی که گرادیان فشار بزرگ در ادامه عبور جبهه سرد گسترش می‌یابد و مهم‌تر اینکه سرعت باد افزایش چشمگیری نشان می‌دهد، باد شمال زمستانی روی خلیج فارس تشکیل می‌شود. در شکل ۶، چندین بازه چندروزه را می‌توان مشاهده کرد که دارای این ویژگی است. در بازه‌های زمانی ۲۵ تا ۳۰ ژانویه ۲۰۱۰، همچنین در ده روز پایانی ماه مارس این ویژگی‌ها به نحو مطلوب مشاهده می‌شود.



شکل ۷. نمودار سمت-سرعت باد (بالا) و فشار بارومتریکی (پایین) در سه ماهه دوم ۲۰۱۰، بوشهر

در شکل ۷ نیز می‌توان رخداد باد شمال تابستانی را در ماه‌های می و ژوئن مشاهده کرد. در بازه‌های زمانی ۴ تا ۸ و ۲۲ تا ۲۹ ماه می، همچنین ۲۰ تا ۳۱ ماه ژوئن ویژگی‌های تشکیل باد شمال مشهود است. سری سرعت باد گویای این مطلب است که در بازه رخداد باد شمال تابستانی منطقه تراز سرعتی بالاتری دارد که این مطلب با توجه به فرسایش‌پذیری خاک منطقه موجب برخاستن گردوغبار و شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار می‌شود. این موضوع برای باد شمال زمستانی نیز صادق است و دیده می‌شود که بعد از عبور جبهه سرد (تغییر روند فشار به شرایط افزایشی) سامانه کم‌فشار عبوری، این الگو منطقه را متأثر می‌کند و تراز سرعتی آن حتی از باد شمال تابستانی بالاتر است. در صورت رطوبت کم سامانه و دشت‌های منطقه سبب رخداد توفان گردوغبار پس‌جبهه‌ای می‌شود.

جدول ۴. مشخصات نسیم دریا- خشکی در سال ۲۰۱۰ در ساحل بوشهر

ماه	نسیم دریا- خشکی (درجه)	میانگین زاویه شروع نسیم دریا- خشکی (درجه)	خشکی (ساعت)	مدت زمان وزش نسیم دریا- (محدوده ۲۲۵ درجه)	نسیم دریا- خشکی خاص	میانگین سرعت نسیم دریا- خشکی	خشکی	در روزهای بدون نسیم دریا- میانگین سرعت باد	وجود باد شمال	تعداد روزهای	سرعت وزش باد شمال	نوع باد شمال
ژانویه	۲۶۹	۲۹۰	۶	ندارد	۹	متربر ثانیه	۱۲/۵	متربر ثانیه	۵ روز	۱۴	متربر ثانیه	زمستانی
فوریه	۲۵۵	۲۹۸	۷	ندارد	۱۶	متربر ثانیه	۱۳	متربر ثانیه	کمتر از ۳ روز	-	-	زمستانی
مارس	۲۴۲	۲۸۵	۸	ندارد	۱۳/۵	متربر ثانیه	۱۷	متربر ثانیه	۹ روز	۱۷	متربر ثانیه	زمستانی
آوریل	۲۶۱	۲۷۵	۱۰	ندارد	۱۴/۵	متربر ثانیه	۱۷	متربر ثانیه	۷ روز	۱۷	متربر ثانیه	تابستانی
می	۲۱۰	۳۳۰	۹	دارد	۹	متربر ثانیه	۱۴	متربر ثانیه	۱۴ روز	۱۴	متربر ثانیه	تابستانی
ژوئن	۲۰۵	۲۱۰	۹	دارد	۱۰	متربر ثانیه	۱۷	متربر ثانیه	۱۴ روز	۱۵	متربر ثانیه	تابستانی
ژوئیه	۲۰۵	۲۰۰	۱۰	دارد	۸	متربر ثانیه	۱۷	متربر ثانیه	۱۰ روز	۹	متربر ثانیه	تابستانی
اوت	۲۴۰	۲۱۵	۹	ندارد	۱۰	متربر ثانیه	۲۰	متربر ثانیه	ندارد	-	-	ندارد
سپتامبر	۲۳۸	۲۲۵	۸	ندارد	۹/۵	متربر ثانیه	۲۰	متربر ثانیه	ندارد	-	-	ندارد
اکتبر	۲۶۰	۲۸۷	۸	ندارد	۱۴	متربر ثانیه	۱۶	متربر ثانیه	ندارد	-	-	ندارد
نوامبر	۲۲۲	۲۵۰	۷	ندارد	۱۳	متربر ثانیه	۱۵	متربر ثانیه	ندارد	-	-	ندارد
دسامبر	۲۴۵	۲۷۰	۹	ندارد	۱۰	متربر ثانیه	۱۳	متربر ثانیه	۳ روز	۱۴	متربر ثانیه	زمستانی

با توجه به جدول ۴ که نتایج حاصل از داده‌های دکل هواشناسی ایستگاه سینوپتیکی بوشهر را ارائه می‌دهد، می‌توان زمان‌های وقوع باد شمال و به‌تبع آن، از بین رفتن الگوی باد ساحلی را در منطقه ساحلی بوشهر تجزیه و تحلیل کرد. در این جدول، زاویه شروع و پایان نسیم دریا- خشکی به همراه ساعت شروع و پایان آن نیز نشان داده شده است. همچنین، اوج فعالیت باد شمال تابستانی در سه ماه می، ژوئن و ژوئیه قابل مشاهده است. البته، برای ماه‌های می و ژوئن

می‌توان گفت که بیشترین سهم باد از نظر جهت و سرعت در جهت وزش باد شمال تابستانی است و سرعت باد در روزهایی که باد شمال می‌وزد بیشتر از روزهای دیگر است. در ماه ژوئیه، وضعیت تا حدودی متفاوت است، به گونه‌ای که در این ماه درصد بادهای آرام نسبت به دو ماه گذشته بیشتر است. همچنین، درصد کمتری از روزهای ماه تحت تأثیر باد شمال قرار گرفته است. البته، نسیم دریا- خشکی خالص که در محدوده ۲۲۵ می‌وزد بیشتر به ماه‌های ژوئن و ژوئیه اختصاص دارد. سایر ماه‌های سال باد شمال به صورت پراکنده می‌وزد و تأثیر چندانی بر الگوی باد ساحلی ندارد.

نتایج مطالعه شبیه‌سازی‌های عددی

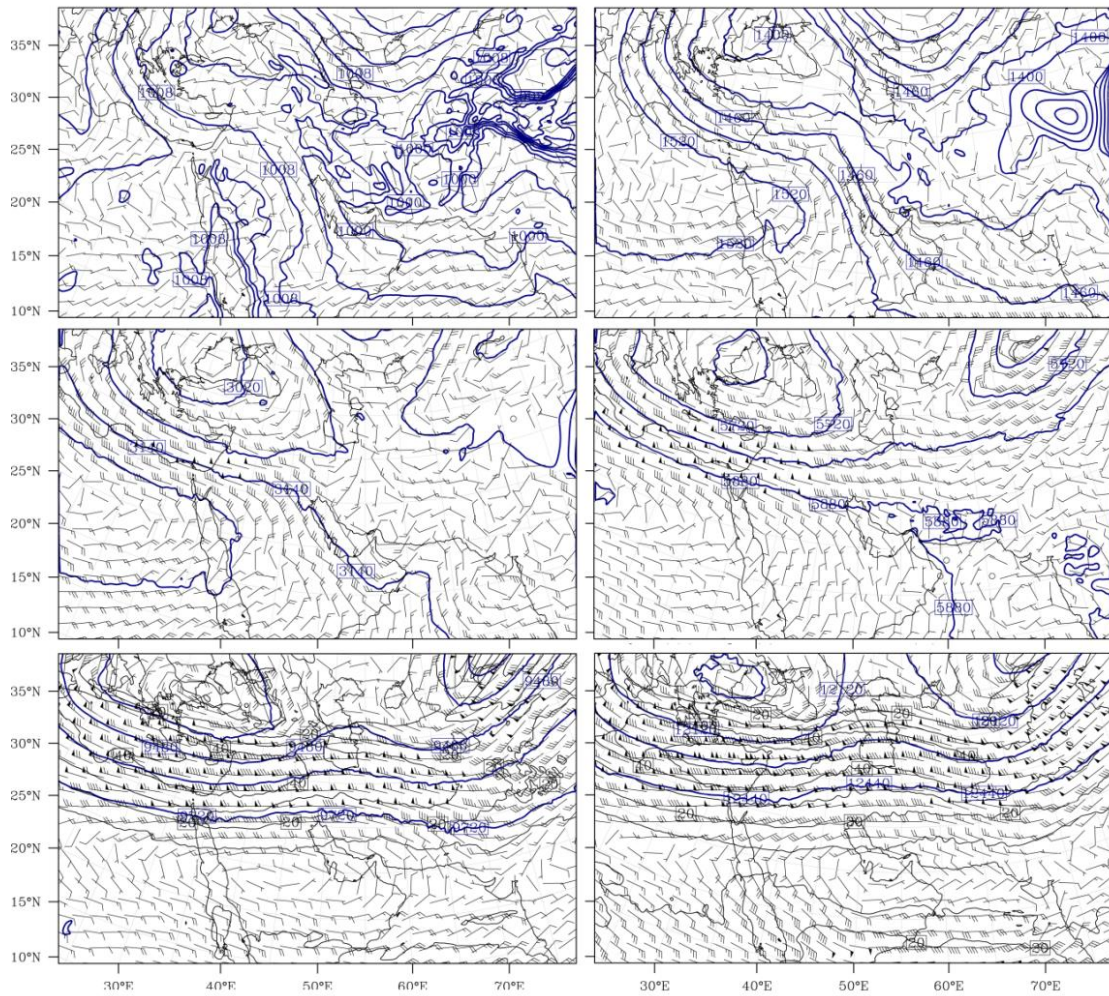
به منظور ارزیابی شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این مطالعه، اعتبارسنجی سرعت و جهت باد شبیه‌سازی‌شده با اطلاعات دکل هواشناسی بوشهر انجام گرفت و مشاهده شد در بازه زمستانی عملکرد پیکربندی به‌کار بسته‌شده از تمام شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در مطالعه حسنی و ملکوتی (۱۳۹۳) برای بازه سرد (ماه فوریه ۲۰۰۷) مطلوب‌تر است. همچنین، در بازه تابستانی عملکرد شبیه‌سازی در تراز عملکردی بهترین پیکربندی شبیه‌سازی انجام‌شده در مطالعه حسنی و ملکوتی (۱۳۹۳) برای بازه گرم (ماه اوت ۲۰۰۶) در منطقه بوشهر است.

جدول ۵. اعتبارسنجی میدان باد ۱۰ متری شبیه‌سازی شده در این مطالعه

بازه شبیه‌سازی	Wind Speed					Wind Direction		
	RMSE	Bias (ME)	STDE	MAE	IOA	RMSE	Bias (ME)	STDE
۲۰۱۰ تا ژانویه ۲۶	۱/۷۳	-۰/۱۶	۱/۷۲	۱/۳۳	-۰/۵۷	۴۲/۳۳	۹/۰۴	۴۱/۸۸
۲۰۱۰ ژوئن ۲۵ تا ۲۲	۲/۵۲	۱/۳۸	۲/۱۱	۱/۵۸	-۰/۶۱	۳۶/۷۳	۸/۶۶	۳۳/۸۱

شمال تابستانی

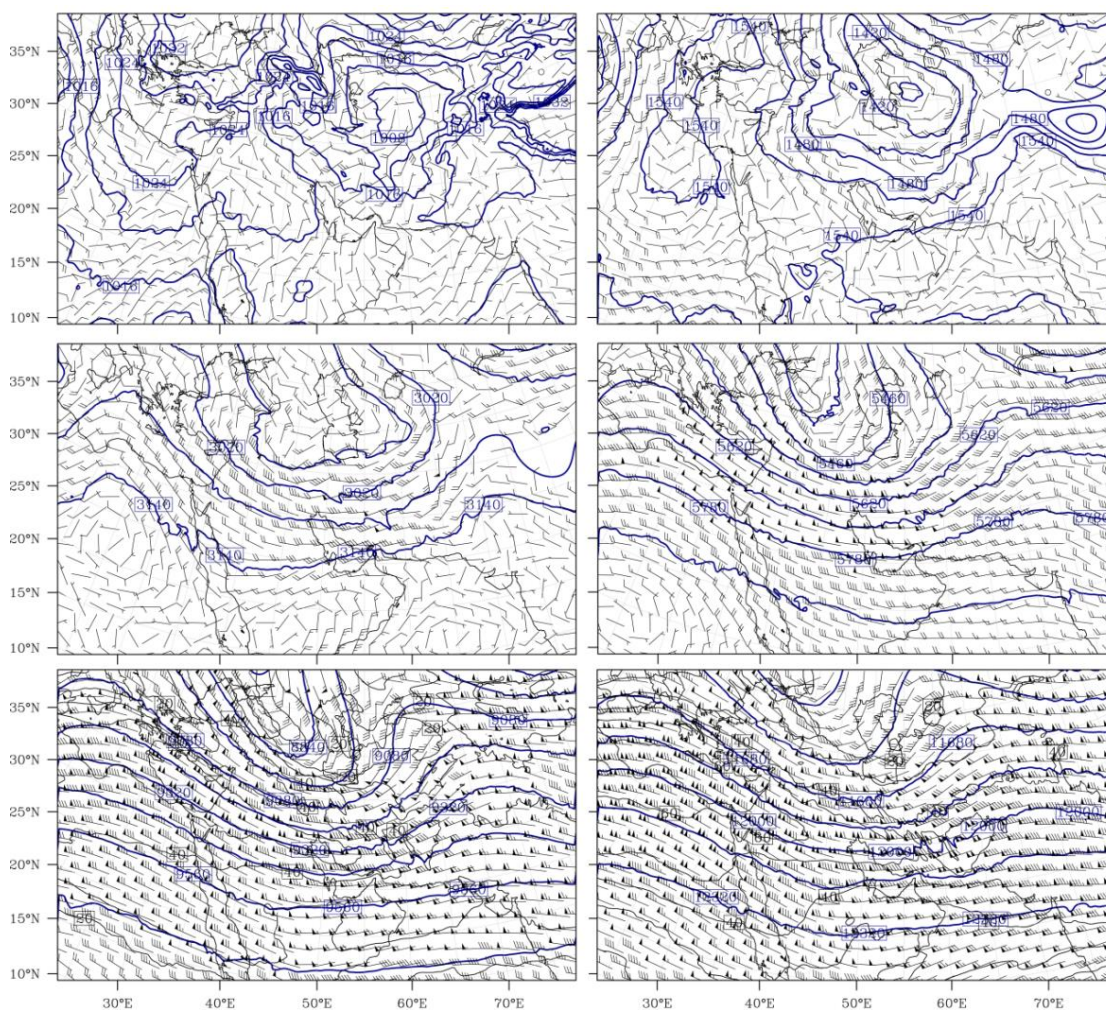
شکل ۸ مربوط به ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰ در ساعت ۱۰ به وقت محلی است. همان‌طور که دیده می‌شود منطقه شمال عربستان تحت تأثیر سیستم پرفشار است و فشار در این منطقه به ۱۰۱۲ میلی‌بار رسیده است. همچنین، روی خلیج فارس سیستم کم‌فشار ۱۰۰۰ میلی‌باری حاکم است. علاوه بر این، سیستم کم‌فشار دیگر روی منطقه مرزی ایران، افغانستان و پاکستان دیده می‌شود که فشار این منطقه را به ۹۹۶ میلی‌بار رسانده است. برهم‌نهی این سیستم‌های دینامیکی در منطقه به ایجاد باد شمال روی منطقه بوشهر منجر می‌شود. حضور این جریان شمالی در تراز ۸۵۰ میلی‌باری نیز به خوبی مشاهده می‌شود و با افزایش ارتفاع از سطح زمین در تراز ۷۰۰ میلی‌باری سرعت باد افزایش می‌یابد و جهت باد تمایل به تغییر را نشان می‌دهد. در ترازهای بالاتر جهت باد به صورت مداری تغییر می‌یابد.



شکل ۸. الگوی هم‌دیدگی شبیه‌سازی شده ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰ در ساعت ۱۰:۰۰ به وقت محلی (بالا سمت چپ فشار تراز دریا، بالا سمت راست تراز ۸۵۰ میلی‌باری، میانی سمت چپ تراز ۷۰۰ میلی‌باری، میانی سمت راست تراز ۵۰۰ میلی‌باری، پایین سمت چپ تراز ۳۰۰ میلی‌باری و پایین سمت راست تراز ۲۰۰ میلی‌باری)

شمال زمستانی

به‌منظور شناخت الگوی هم‌دیدگی غالب همراه باد شمال زمستانی شبیه‌سازی منطقه‌ای جوی در یکی از بازه‌های فعالیت آن - ۲۶ تا ۲۸ ژانویه - انجام شد. همان‌طور که در شکل ۹، در الگوی هم‌دیدگی تراز سطح دریا، ساعت ۱۰:۰۰ محلی در ۲۶ ژانویه ۲۰۱۰ دیده می‌شود، سیستم چرخندی در این منطقه در حال عبور از روی ایران است که فشار مرکزی آن به ۱۰۰۰ میلی‌بار رسیده است. این سامانه با تراف عمیق تراز بالا و حضور رودباد جبهه‌ای قطبی همراه است. بعد از عبور جبهه سرد این سامانه کم‌فشار، باد شمال زمستانی که انتقال هوای سرد خشکی قطبی را انجام می‌دهد به مدت بیش از سه روز فعال است. این کم‌فشار روی مناطق شرقی خلیج فارس حاکم شده و مناطق شرق و مرکزی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. همچنین، سیستم چرخندی دیگری روی کشور یمن قرارداد. حضور این سیستم‌های دینامیکی روی منطقه منجر به باد شمال غربی روی خلیج فارس در دوره‌های سه تا پنج روزه می‌شود که همراه با کاهش دما و حضور هوای سرد در منطقه بوشهر است.



شکل ۹. مانند شکل ۸ ولی در ساعت ۱۰:۰۰ به وقت محلی ۲۶ ژانویه ۲۰۱۰

شمال عربستان تحت تأثیر سیستم وچرخندی (پرفشار) با فشار مرکزی ۱۰۲۴ میلی‌باری است و تأثیرات این سیستم تا مناطق مرکزی عربستان ادامه داشته و فشار در این مناطق را به ۱۰۲۰ میلی‌بار رسانده است. همچنین، با مشاهده مناطق شرق ایران در شکل متوجه حضور سیستم چرخندی در این منطقه می‌شویم که فشار را در منطقه به ۱۰۰۸ میلی‌بار رسانده است، در حالی که تراف عمیق از این کم‌فشار روی مناطق شرقی خلیج فارس حاکم شده و بر مناطق شرق و مرکزی ایران تأثیر دارد. همچنین، سیستم چرخندی دیگری روی کشور یمن قرار دارد. حضور این سیستم‌های دینامیکی روی منطقه، سبب باد شمال غربی روی خلیج فارس در دوره‌های سه تا پنج‌روزه می‌شود که همراه با کاهش دما و حضور هوای سرد در منطقه بوشهر است. در تراز ۸۵۰ میلی‌باری حضور باد با جهت شمال‌غربی روی منطقه خلیج فارس به وضوح مشهود است و با کاهش فشار، یعنی با افزایش ارتفاع از سطح زمین، در شکل‌های بعد مشاهده می‌شود که جهت باد در حال تغییر است و به بادهای مداری تبدیل می‌شود.

نتیجه گیری

باد شمال، به طور کلی ایران، شبه جزیره عربستان و مناطق همجوار را تحت تأثیر قرار می دهد. حداکثر فعالیت آن در شکل زمستانی در اواخر ژانویه ۲۰۱۰ و در شکل تابستانی در ژوئن همان سال بوده است. باد شمال تابستانی با دوره طولانی در سال ۲۰۱۰، در ماه ژوئن رخ می دهد، در حالی که روزهایی از ماه های می و ژوئیه که باد شمال تابستانی می وزد، مدت کوتاه تری تحت تأثیر این باد قرار دارد. در سایر ماه های سال نیز به صورت پراکنده و جزئی آثار این پدیده در منطقه بوشهر مشهود است. با بررسی داده های دکل هواشناسی در ارتفاع ۱۰۰ متری در ایستگاه سینوپتیکی بوشهر این نتیجه به دست می آید که باد شمال تابستانی باعث برهم خوردن الگوی باد ساحلی به مدت چهارده روز در ماه می، چهارده روز در ماه ژوئن و حدود ده روز در ماه ژوئیه و در سایر ماه های سال عموماً کمتر از سه تا پنج روز در سال ۲۰۱۰ شده است. همچنین، بیشترین مدت زمان رخداد وزش نسیم دریا- خشکی در ماه های ژوئن و ژوئیه ۲۰۱۰ است. باد شمال زمستانی در بازه های سه تا نه روزه از دسامبر تا مارس رخ می دهد. ارزیابی مدل WRF با پیکربندی به کار بسته شده در این مطالعه اعتبارسنجی مناسبی دارد و الگوی سینوپتیکی بازسازی شده برای باد شمال همخوانی مناسبی با الگوی رآئو ودیگران (۲۰۰۳) دارد. این عملکرد شبیه سازی باد شمال زمستانی در شمال غرب خلیج فارس نیز مشاهده شد که همخوانی کاملی با یافته رآئو ودیگران (۲۰۰۱) دارد.

در روزهایی که نسیم دریا- خشکی تحت تأثیر باد شمال تابستانی از بین می رود، میانگین سرعت وزش باد روزانه بیش از روزهایی است که نسیم دریا- خشکی وجود دارد. میانگین سرعت وزش باد در روزهایی که نسیم دریا- خشکی وجود ندارد حدود ۱۸ متر بر ثانیه است و این در حالی است که میانگین سرعت وزش باد در سایر روزها حدود ۸ متر بر ثانیه است.

منابع

- بیدختی، ع؛ مرادی، م. (۱۳۸۴). مطالعه مشاهداتی روی نسیم دریا در منطقه بوشهر، نیوار، ۵۶: ۷-۳۱.
- کمیجانی، ف؛ نصراللهی، ع؛ ناهید، ش؛ نظری، ن. (۱۳۹۱). تحلیل و بررسی الگوی باد سواحل شمالی خلیج فارس بر اساس بادهای نظام مند، نسیم دریا و نسیم خشکی، دهمین همایش سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران آذر.
- حسینی، و؛ ملکوتی، ح. (۱۳۹۳). ارزیابی مدل WRF برای شبیه سازی لایه مرزی در یک منطقه ساحلی: مطالعه حساسیت به طرحواره های پارامترسازی لایه مرزی و سطح زمین، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان.
- Al Senai, F.; Anis, A. (2015). Shamals and climate variability in the Northern Persian Gulf from 1973 to 2012, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.4302: 1-20.
- Bidokhti, A.; Moradi, M. (2005). An Observational Study of Sea Breeze in Bushehr Region, *Nivar*, 56: 7-31.
- Dalu, G.A.; Pielke, R.A. (1989). An Analytical Study of the Sea Breeze, *J. Atmos. Sci.*, 49: 1815-1825.
- Dudhia, J. (1989). Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, *J. Atmos. Sci.*, 46: 3077-3107.
- Ek, M.B.; Mitchell, K.E.; Lin, Y.; Rogers, E.; Grunmann, P.; Koren, V.; Gayno, G.; Tarpley, J.D. (2003). Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. *J. Geo. Res.*, 108(D22), Doi10.1029/2002JD003296.
- Giannakopoulou, E.M.; Toumi, R. (2012). The Persian Gulf summertime low-level jet over sloping terrain. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 138: 145-157.

- Godske, C.L.; Bergeron, T.; Bjercknes, J.; Bundgaard, R.C. (1957). *Dynamic Meteorology and Weather Forecasting*, 800 pp., Am. Meteorol.Soc., Boston, Mass.
- Hamidi, M.; Kavianpour, M.R.; Shao, Y. (2013). Synoptic Analysis of Dust Storms in the Middle East, Asia-Pacific J. Atmos. Sci., 49(3): 279-286.
- Hassani, V.; Malakooti, H. (2014). WRF Model Assessment for PBL Simulates in a Coastal Area: Sensitivity Study to PBL and Surface Physical Parameterizations, M.Sc. thesis, Hormozgan University.
- Hong, S. (2010). A new stable boundary-layer mixing scheme and its impact on the simulated East Asian summer monsoon, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 136(651):1481–1496.
- Hong, S.; Noh, Y.; Dudhia, J. (2006). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes, Mon. Wea. Rev., 134(9): 2318–2341.
- Hong, S.; Dudhia, J.; Chen, S.H. (2004). A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of cloud and precipitation, Mon. Wea. Rev., 132(1): 103–120.
- Kain, J.S. (2004). The Kain-Fritsch convective parameterization: an update, J. Appl. Meteor., 43(1): 170–181.
- Kain, J.S.; Fritsch, J.M. (1993). Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, Meteorological Monograph, 46: 165–170.
- Kamijany, F.; Nasrollahi, A.; Nahid, S.; Nazari, N. (2011). Analysis of Wind regimes on Northern Coast of Persian Gulf, based on systematic winds, sea breeze and land breeze, 10th Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, Tehran.
- Mlawer, E.; Taubman, S.; Brown, P.; Lacono, M.; Clough, S. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave, J. Geophys. Res., 102(D14): 16663–16682.
- Pleim, J.E. (2007). A combined local and nonlocal closure model for the atmospheric boundary layer. Part I: Model description and testing, J. Appl. Meteor. Climatol., 46: 1383–1395.
- Pleim, J.E.; Xiu, A. (2003). Development of a land surface model, Part II: Data Assimilation. J. Appl. Meteor., 42: 1811–1822.
- Rao, P.G.; Al-Sulaiti, M.H.; Al-Mulla, M.H. (2001). Winter Shamals in Qatar, Arabian Gulf, Weather, 56: 444–451.
- Rao, P.G.; Hatwar, H.R.; Al-Sulaiti, M.H.; Al-Mulla, M.H. (2003). Summer Shamals over the Persian Gulf, Weather, 58: 512-523.
- Simpson, J.E. (1994). *Sea Breeze and Local Wind*, 234 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- Tijm, A.B.C.; VanDelden, A.J. (1999). The role of sound waves in sea-breeze circulation, Q. J. R. Meteor. Soc., 125: 1997–2018.
- Zhang, D.L.; Anthes, R.A. (1982). A high-resolution model of the planetary boundary layer—Sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data, J. Appl. Meteorol., 21: 1594–1609.
- Zhu, M.; Atkinson, B.W. (2004). Observed and Modelled Climatology of the Land-Sea Breeze Circulation over the Persian Gulf, International Journal of Climatology, 24: 883–905.