

به کارگیری یک سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF جهت پیش بینی میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس

سرمد قادر^{۱*}، دانیال یازگی^۲، محسن سلطان پور^۳ و محمدحسین نعمتی^۴

^۱ نویسنده مسئول، دانشیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران sghader@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی دکتری تخصصی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران Daniel.yazgi@ut.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران soltanpour@kntu.ac.ir

^۴ رئیس اداره طرح‌های زیربنایی سازمان بنادر و دریانوردی، تهران mhn1982@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۲

چکیده

نتایج حاصل از توسعه یک سامانه پیش‌بینی همادی برای مدل WRF جهت پیش‌بینی میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس در تحقیق حاضر ارائه می‌شود. سامانه مذکور ترکیبی از ایجاد پیش‌بینی در شرایط اولیه و استفاده از طرح‌واره‌های فیزیکی متفاوت می‌باشد. برای یافتن پیکربندی(های) مناسب مدل WRF از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی تعداد ۱۴ پیکربندی انتخاب شده و پس از انجام اجراهای مدل برای چندین تاریخ منتخب و انجام اعتبارسنجی نتایج خروجی مدل به‌ویژه برای میدان باد، سه پیکربندی به‌عنوان پیکربندی‌های مناسب انتخاب شدند. سپس اعضای سامانه همادی با استفاده از ترکیب سه پیکربندی منتخب و ایجاد پیش‌بینی در شرایط اولیه مدل با استفاده از روش مونت کارلو ایجاد می‌شوند. برای انجام شبیه‌سازی‌های مدل WRF برای هر یک از اعضای سامانه همادی از دو ناحیه محاسباتی تودرتو با تفکیک‌های مکانی ۰/۳ درجه و ۰/۱ درجه استفاده می‌شود. بررسی عملکرد پیش‌بینی‌های سامانه به کمک محاسبه پارامترهای آماری همچون ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا در مقایسه با داده‌های مشاهدات شامل داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه و داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای (مانند QuikSCAT و ASCAT) نشان از عملکرد مناسب میانگین همادی در مقایسه با پیش‌بینی قطعی برای پیش‌بینی میدان باد دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی همادی، میدان باد، مدل WRF، خلیج فارس

به واقعیت نزدیک است. ابشتاین [1] و لیت [2] با هدف بهبود دادن پیش‌بینی‌ها، پیشنهاد دادند که به جای اینکه فقط یک پیش‌بینی قطعی^۲ داشته باشیم از مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌ها استفاده شود. این مجموعه یک گروه را تشکیل می‌دهد که هر کدام از اعضای این گروه یک عضو همادی^۳ نامیده می‌شوند و در واقع این روش پیش‌بینی، پیش‌بینی همادی نام دارد.

۱. مقدمه

از آنجا که جو یک سامانه آشوبناک^۱ است، مدل‌های جوی هر قدر کامل باشند با تغییر اندکی در شرایط اولیه ممکن است پیش‌بینی‌ها به‌طور کامل با هم متفاوت باشند. به همین دلیل و با توجه به اینکه خود مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا و شرایط اولیه مدل‌های مذکور به‌صورت ذاتی خطا دارند، نمی‌توان با یک پیش‌بینی، به‌طور قطعی اطمینان داشت که این پیش‌بینی

مدل WRF [10-11] یک مدل متن‌باز میان‌مقیاس و غیرهیدروستاتیک برای انجام شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های عملیاتی وضع هوا به صورت منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. مدل مذکور مناسب برای استفاده در دامنه وسیعی از کاربردهاست که مقیاس آنها از چند متر تا هزاران کیلومتر را شامل می‌شود. در حال حاضر این مدل به صورت گسترده در مناطق مختلف دنیا برای پیش‌بینی‌های عملیاتی منطقه‌ای و کاربردهای پژوهشی استفاده می‌شود. بعلاوه لازم به ذکر است که در طی سال‌های اخیر و همزمان با بروزرسانی مدل WRF مجموعه متنوعی از طرح‌واره‌های پارامترسازی فیزیکی به مدل مذکور اضافه شده‌است.

برای توسعه یک سامانه همادی جهت انجام پیش‌بینی‌های عملیاتی مدل WRF نیاز است تا دو بخش انجام شوند. بخش اول یافتن پیکربندی یا پیکربندی‌های مناسب مدل از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی برای منطقه خلیج فارس می‌باشد. در واقع در مدل WRF گزینه‌های متعددی برای پارامترسازی‌های فیزیکی وجود دارد. لذا به همین دلیل استفاده از مدل مذکور به صورت پیش‌فرض برای یک منطقه خاص مناسب نبوده و باعث ایجاد جواب‌های غیردقیق و حتی نادرست خواهد شد. بنابراین نیاز است تا پیش از استفاده از مدل مذکور به صورت عملیاتی برای منطقه مورد مطالعه پیکربندی (یا پیکربندی‌های) مناسب مدل را با توجه به پارامترسازی‌های فیزیکی مورد نظر به دست آورد. در ادامه جهت پوشش عدم قطعیت‌های موجود در شرایط اولیه یک سامانه همادی نیز برای مدل مذکور توسعه داده می‌شود که بخش دوم کار را تشکیل می‌دهد.

۲. پیکربندی‌های مدل WRF از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی

طرح‌واره‌های پارامترسازی فیزیکی موجود در مدل WRF مواردی همچون میکروفیزیک، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه، لایه سطحی، سطح زمین، لایه مرزی

از دیدگاه تاریخی، در سه دهه گذشته و با شروع اجرای پیش‌بینی‌های همادی تغییری اساسی در پیش‌بینی‌های عددی (عملیاتی) وضع هوا رخ داده است. همان‌گونه که ذکر شد یک پیش‌بینی همادی دربرگیرنده چندین اجرای مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا است (معمولاً بین ۵ تا ۱۰) که در شرایط اولیه و یا نحوه بیان عددی معادلات حاکم بر جو (که در واقع دو منبع اصلی عدم قطعیت (خطا) در پیش‌بینی هستند) با یکدیگر متفاوت هستند [3]. به صورت عملیاتی، پیش‌بینی همادی در دو مرکز معتبر بین‌المللی NCEP و ECMWF در سال ۱۹۹۲ شروع شد [4]. شایان ذکر است که در حال حاضر برای پیش‌بینی‌های مربوط به مدل‌های جهانی (کروی) در تعداد معدودی از مراکز پیش‌بینی (حدود ۱۰ مرکز) در سطح دنیا از روش همادی استفاده می‌شود. به صورت کلی هدف از پیش‌بینی همادی بهبود پیش‌بینی و سعی در کاهش عدم قطعیت در شبیه‌سازی جو می‌باشد [5]. در کشور ما نیز در سال‌های اخیر تلاش برای توسعه سامانه همادی برای مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا و به ویژه مدل‌های میان‌مقیاس منطقه‌ای شروع شده‌است. پاره‌ای از کارهای انجام شده بیشتر جنبه پژوهشی داشته و پاره‌ای دیگر نیز اهداف عملیاتی را دنبال کرده‌اند. از جمله این موارد می‌توان به مراجع [6-9] اشاره نمود.

کار حاضر به توسعه یک سامانه پیش‌بینی همادی برای مدل^۴ WRF جهت پیش‌بینی میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس اختصاص دارد. نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های سامانه همادی توسعه داده شده علاوه بر اینکه کاربردهای رایج هواشناسی را پوشش می‌دهد می‌تواند به عنوان تامین‌کننده ورودی‌های مورد نیاز مدل‌های موج و جریان در محدوده خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفته و لذا از دیدگاه کاربردهای دریایی از جمله هواشناسی دریایی، مباحث مرتبط با مهندسی سواحل و سازه‌های دریایی نیز دارای اهمیت هستند.

به صورت خلاصه شماره آن) برای آدرس دهی به هر یک از پیکربندی‌ها استفاده می‌شود.

۳. حوزه محاسباتی

با توجه به هدف کار حاضر برای انجام پیش‌بینی‌های مدل WRF از یک حوزه محاسباتی که از ۲ شبکه تو در تو^۵ (لانه‌ای) با فواصل شبکه‌ای افقی ۰/۳ و ۰/۱ درجه در راستای افقی (طول و عرض جغرافیایی) تشکیل شده، استفاده می‌شود. شکل ۱ نمایی از حوزه محاسباتی را نشان می‌دهد. در این شکل ناحیه محاسباتی با تفکیک افقی ۰/۳ درجه با خط مشکی و ناحیه محاسباتی با تفکیک افقی ۰/۱ درجه (حوزه داخلی d02) با خط سفید رنگ نشان داده شده است.

سیاره‌ای و کومولوس را شامل می‌شوند. جزئیات مربوط این طرح‌واره‌های فیزیکی متفاوت در مراجع [10-11] ذکر شده است. در کار حاضر از ۱۴ پیکربندی متفاوت مدل و البته بیشتر با تاکید بر پارامترسازی‌های فیزیکی لایه مرزی سیاره‌ای، لایه سطحی و سطح زمین استفاده شده که انتخاب آنها با توجه به سایر کارهای تحقیقاتی انجام شده صورت گرفته است [9,12-16]. جدول ۱ مشخصات مربوط به ۱۴ پیکربندی مورد استفاده در این بخش از کار حاضر را ارائه می‌دهد. در جدول یک ستون با نام عنوان اختصاری (Phys01 تا Phys14) وجود دارد که در واقع یک اسم برای هر یک از پیکربندی‌ها می‌باشد. از عنوان اختصاری مذکور (یا

جدول ۱- مشخصات ۱۴ پیکربندی متفاوت مورد آزمایش در کار حاضر برای مدل WRF

شماره پیکربندی و عنوان اختصاری	لایه مرزی سیاره‌ای	کومولوس	تابش موج بلند	تابش موج کوتاه	لایه سطحی	سطح زمین
۱ (Phys01)	YSU	Kain Fritsch	RRTM	Dudhia	MM5	Noah
۲ (Phys02)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	Pleim Xiu	Pleim Xiu
۳ (Phys03)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	Revised MM5	Noah
۴ (Phys04)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	Eta	Noah
۵ (Phys05)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	MYNN	Noah
۶ (Phys06)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	revised MM5	Noah
۷ (Phys07)	WRFSM6	Kain Fritsch	RRTM	Dudhia	Eta	Noah
۸ (Phys08)	WRFSM3	Kain Fritsch	RRTM	Dudhia	MM5	5-layer thermal diffusion
۹ (Phys09)	WRFSM6	Kain Fritsch	RRTM	Dudhia	MM5	5-layer thermal diffusion
۱۰ (Phys10)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	MYNN	Noah
۱۱ (Phys11)	Lin	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	QNSE	Noah
۱۲ (Phys12)	Thompson	YSU	RRTM	Dudhia	MM5	5-layer thermal diffusion
۱۳ (Phys13)	Goddard GCE	MYJ	RRTM	RRTM	Eta	Noah
۱۴ (Phys14)	Ferrier	YSU	RRTM	Dudhia	MM5	Noah

۴. داده‌های مورد نیاز برای انجام شبیه‌سازی‌ها

برای انجام شبیه‌سازی‌های کار حاضر به دو دسته اصلی از داده‌ها نیاز است. دسته اول داده‌های مشاهدات و دسته دوم داده‌های مورد نیاز برای تامین شرایط اولیه و شرایط مرزی شبیه‌سازی‌های و پیش‌بینی‌های مدل WRF است. دسته اول داده‌ها شامل داده‌های مشاهداتی مانند میدان‌های باد، دما و فشار سطح می‌باشند که به کمک آنها می‌توان اعتبارسنجی خروجی‌های مدل WRF و سامانه همادی را انجام داد. داده‌های مشاهداتی

مورد استفاده شامل داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) حاشیه شمالی و جنوبی خلیج فارس و همچنین داده‌های اندازه‌گیری شده توسط دو سنجنده ماهواره‌ای QuikSCAT و ASCAT و یک بویه می‌باشند. جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌هایی که داده‌های مشاهدات آنها در کار حاضر استفاده شده، ارائه می‌کند. داده‌های مربوط به کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس از طریق وبگاه وایومینگ [17] دریافت شده‌اند.

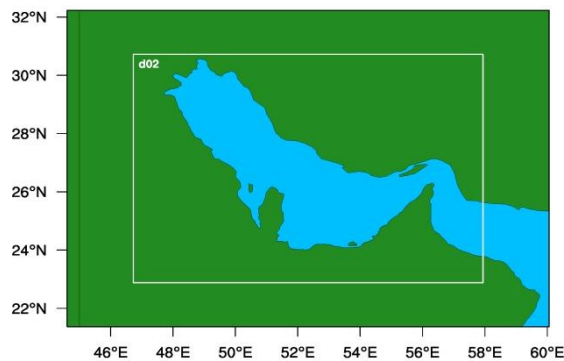
جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های مشاهدات در محدوده خلیج فارس که در کار حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

ردیف	اسم ایستگاه	عنوان اختصاری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	بویه بوشهر	B.SHR	۵۰ / ۷۴۵۲	۲۸ / ۸۲۷۹
۲	BAHRAIN INTL ARPT	OBBI	۵۰ / ۶۵۰۰	۲۶ / ۲۷۰۰
۳	KING FAHD AIRPORT	OEDF	۴۹ / ۸۱۰۰	۲۶ / ۴۴۰۰
۴	بوشهر	OIBB	۵۰ / ۸۳۰۰	۲۸ / ۹۸۰۰
۵	جزیره کیش	OIBK	۵۳ / ۹۸۰۰	۲۶ / ۵۳۰۰
۶	بندر لنگه	OIBL	۵۴ / ۸۲۰۰	۲۶ / ۵۷۰۰
۷	فرودگاه بندرعباس	OIKB	۵۶ / ۳۷۰۰	۲۷ / ۲۲۰۰
۸	قشم دیرستان	OIKQ	۵۵ / ۹۰۰۰	۲۶ / ۷۵۰۰
۹	جاسک	OIZJ	۵۷ / ۸۰۰۰	۲۵ / ۶۵۰۰
۱۰	KUWAIT INTL ARP, Kuwait	OKBK	۴۷ / ۹۸۰۰	۲۹ / ۲۲۰۰
۱۱	ABU DHABI INTL, Emarties	OMAA	۵۴ / ۶۵۰۰	۲۴ / ۴۳۰۰
۱۲	DUBAI INTL AIRPORT, Emarties	OMDB	۵۵ / ۳۳۰۰	۲۵ / ۲۵۰۰
۱۳	FUJAI RAH INTL ARPT, Emarties	OMFJ	۵۶ / ۳۳۰۰	۲۵ / ۱۰۰۰
۱۴	DOHA INTL ARPT, Qatar	OTBD	۵۱ / ۵۷۰۰	۲۵ / ۲۵۰۰
۱۵	همدیدی بندر عباس	S.ABS	۵۶ / ۳۷۲۸	۲۷ / ۲۱۴۷
۱۶	فرودگاه بوشهر	S.BSA	۵۰ / ۸۱۹۲	۲۸ / ۹۶۳۱
۱۷	همدیدی بندر دیلم	S.DLM	۵۰ / ۱۶۶۷	۳۰ / ۰۵۰۳
۱۸	همدیدی بندر دیر	S.DYR	۵۱ / ۹۳۳۳	۲۷ / ۸۳۳۳
۱۹	همدیدی ساحل قشم	S.GHC	۵۶ / ۲۸۰۶	۲۶ / ۹۴۷۲
۲۰	همدیدی جزیره قشم	S.GHM	۵۵ / ۸۹۰۶	۲۶ / ۷۵۱۹
۲۱	همدیدی جزیره سیری	S.SIR	۵۴ / ۵۵۱۱	۲۵ / ۸۹۷۸
۲۲	همدیدی جزیره خاراک	S.KHR	۵۰ / ۳۱۵۳	۲۹ / ۲۶۵۶
۲۳	همدیدی بندر لنگه	S.LEN	۵۴ / ۸۲۸۳	۲۶ / ۵۲۸۳
۲۴	همدیدی جزیره لاوان	S.LVN	۵۳ / ۳۴۸۳	۲۶ / ۸۰۹۲
۲۵	همدیدی جزیره ابوموسی	S.MOS	۵۵ / ۰۱۳۳	۲۵ / ۸۷۴۲

انتخاب شدند. سپس شبیه‌سازی‌های مدل WRF برای تمامی تاریخ‌های مذکور و برای تمامی ۱۴ پیکربندی و البته با استفاده از سه نوع داده FNL، ERA-Interim و CFSR انجام شد. در ادامه برای انجام ارزیابی خروجی حاصل از شبیه‌سازی‌ها در نقاط مشاهدات شامل ایستگاه‌ها، بویه و نقاط ماهواره‌ای از پارامترها و سنج‌های آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی^۸ استفاده شد.

ارائه نتایج مربوط به یافتن پیکربندی مناسب مدل از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی، از حوصله کار حاضر خارج است و در اینجا تنها به بخشی از نتایج و در نهایت به پیکربندی‌های منتخب که در سامانه همادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اشاره می‌شود. به‌عنوان نمونه‌ای از نتایج شکل ۲ تحول زمانی میدان باد سطحی افقی و مؤلفه‌های آن را در محل ایستگاه بوشهر برای تاریخ ۳ / ۹ / ۲۰۰۸ میلادی برای پیکربندی‌های متفاوت نشان می‌دهد. در شکل داده‌های مشاهدات نیز با نقاط توپر به نمایش درآمده‌اند. می‌توان مشاهده نمود که تعدادی از پیکربندی‌ها از عملکرد مناسب‌تری نسبت به بقیه برخوردار هستند.

شکل ۳ نیز مقایسه بردارهای سطحی میدان باد حاصل از مدل WRF را برای پیکربندی شماره ۱۴ در مقایسه با میدان باد اندازه‌گیری شده توسط ماهواره QuikSCAT در تاریخ ۱۳ / ۲ / ۲۰۰۹ میلادی در محدوده خلیج فارس به‌نمایش می‌گذارد. می‌توان مشاهده نمود که عملکرد مدل از دیدگاه اندازه و جهت میدان باد سطحی به‌صورت کیفی در مقایسه با داده‌های مشاهدات ماهواره مناسب است. در اینجا مناسب است اشاره شود که داده‌های ماهواره نیز همراه با خطا می‌باشند و برای استفاده از آنها جهت صحت‌سنجی نیاز است تا به این خطاها نیز توجه نمود. از جمله اینکه میزان اعتبار داده‌های ماهواره با نزدیک شدن به ساحل کم می‌شود و همچنین این داده‌ها برای تندهای کم باد



شکل ۱- نمایی از حوزه محاسباتی در محدوده خلیج فارس برای مدل WRF. محورهای افقی و قائم طول و عرض جغرافیایی می‌باشند.

همان‌گونه که ذکر شد دسته دوم داده‌ها برای تامین شرایط اولیه و شرایط مرزی شبیه‌سازی‌های مدل WRF و سامانه همادی توسعه داده شده برای آن مورد نیاز هستند. در کار حاضر برای رسیدن به این هدف سه دسته داده FNL، ERA-Interim، ECMWF و CFSR که از نوع داده‌های تحلیل و بازتحلیل هستند، استفاده شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. البته لازم به ذکر است که پس از یافتن پیکربندی (یا پیکربندی‌های) مناسب مدل از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی (جدول ۱) برای انجام پیش‌بینی‌های سامانه همادی نیاز است تا از داده‌های خروجی مدل‌های جهانی مانند GFS^۹ استفاده نمود.

۵. نتایج

همان‌گونه که ذکر شد در کار حاضر اعضای سامانه همادی از ترکیب پیکربندی‌های متفاوت مدل WRF از دیدگاه پارامترسازی فیزیکی و ایجاد پربیشیدگی^۷ در شرایط اولیه ایجاد می‌شود. لذا ابتدا نیاز است تا از میان ۱۴ پیکربندی فهرست شده در جدول ۱ پیکربندی‌هایی را که از دیدگاه عملکرد مدل برای شبیه‌سازی میدان‌های هواشناسی و به ویژه با تاکید بر میدان باد سطحی مناسب هستند، مشخص نمود. در کار حاضر برای رسیدن به این هدف مجموعه‌ای از تاریخ‌های منتخب (در حدود ۹۰ روز) که در یک بازه زمانی ۴ ساله (از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ میلادی) پراکنده بوده‌اند برای انجام شبیه‌سازی‌ها

فیزیکی متفاوت ایجاد می‌شوند، لذا در اینجا سه پیکربندی شماره ۳، ۱۴ و ۵ که مناسب‌ترین عملکرد را داشته‌اند، به‌عنوان پیکربندی‌های مناسب در سامانه همادی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

در ادامه به بخش اصلی کار حاضر و به ارائه نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های سامانه همادی برای چند تاریخ منتخب در محدوده خلیج فارس پرداخته می‌شود. در کار حاضر اعضای سامانه همادی برای مدل WRF برای یک پیکربندی مشخص با ایجاد پریشیدگی در شرایط اولیه به کمک روش مونت‌کارلو تولید می‌شوند [18-19]. بعلاوه با توجه به اینکه سه پیکربندی نیز انتخاب شده‌اند، در مجموع اعضای سامانه ترکیبی از فیزیک‌های متفاوت و شرایط اولیه متفاوت خواهند بود. در اینجا پیش‌بینی‌های سامانه همادی با ۱۵ عضو انجام شده‌اند که شامل سه پیکربندی فیزیکی مدل همراه با چهار پریشیدگی مثبت و منفی برای هر یک از آنها می‌باشد که در مجموع ۱۵ عضو را تشکیل می‌دهند. ارزیابی نتایج سامانه همادی نیز در اینجا تنها برای میانگین همادی^۹ انجام می‌شود.

در اینجا در زمان انجام پیش‌بینی‌های سامانه همادی جهت تامین شرایط اولیه و شرایط مرزی از داده‌های GFS استفاده می‌شود. برای تاریخ‌هایی که امکان دسترسی به داده‌های GFS فراهم نشده‌است از داده‌های FNL به‌عنوان تامین‌کننده شرایط اولیه و شرایط مرزی استفاده شده‌است (این داده‌ها مشابهت بسیاری با داده‌های GFS دارند).

شکل ۴ تحول زمانی میدان باد سطحی افقی و مؤلفه‌های آن را در محل جزیره سیری برای تاریخ ۱۳ / ۲ / ۲۰۰۹ میلادی حاصل از تک‌تک اعضای سامانه همادی و همچنین میانگین آن نشان می‌دهد. در شکل هر یک از اعضای سامانه با علامت اختصاری Mem01 تا Mem15 نشان داده شده و بعلاوه مقدار میانگین همادی نیز با علامت اختصاری Ensemble Mean به

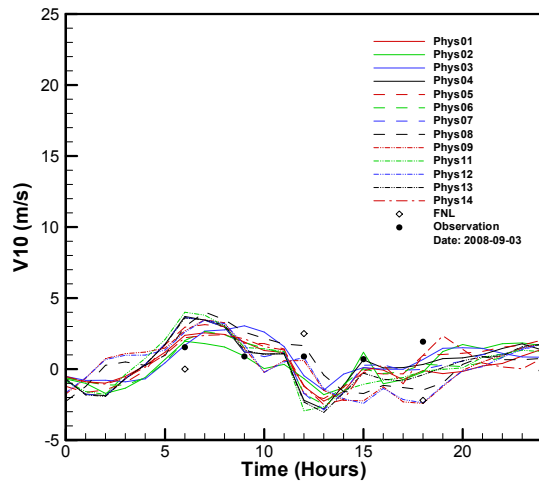
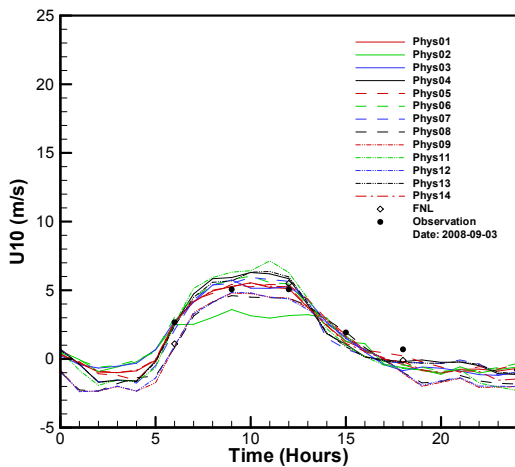
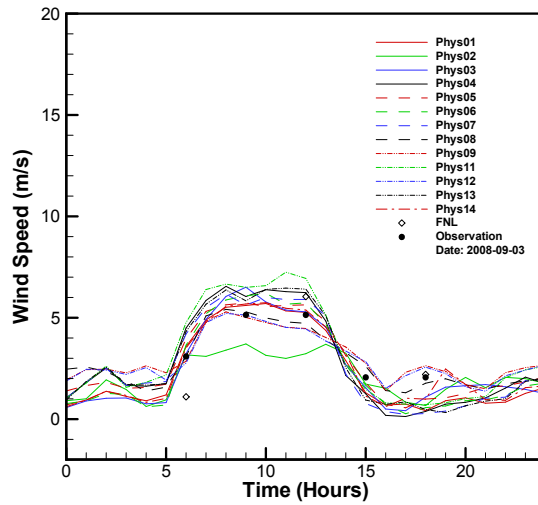
(به‌عنوان مثال برای باد با تندی کمتر از ۵ متر بر ثانیه) و همچنین برای بادهای با تندی‌های زیاد (به‌عنوان مثال برای باد با تندی بیشتر از ۱۵ متر بر ثانیه) دارای خطای زیادی خواهند بود. لذا در کار حاضر با لحاظ کردن این نکات داده‌های ماهواره استخراج و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در ادامه پس از انجام محاسبات مربوط به پارامترهای آماری و بررسی نتایج آنها می‌توان در مورد پیکربندی منتخب مدل از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی قضاوت نمود. در واقع برای پیدا نمودن پیکربندی مناسب نیاز است تا میزانی که هر یک از پیکربندی‌ها در شبیه‌سازی‌های مدل موفق عمل نموده‌اند، محاسبه نمود و سپس از میان آنها پیکربندی را که دارای امتیاز بیشتر است، انتخاب نمود. البته باید توجه نمود که این انتخاب بر اساس میزان عملکرد پیکربندی‌ها برای میدان باد ۱۰ متری و مؤلفه‌های آن انجام می‌شود. برای رسیدن به این هدف به این شکل عمل شده که برای تمامی داده‌ها و تمامی نقاط مورد استفاده برای محاسبه خطاها تعداد عملکردهای هر یک از پیکربندی‌ها از دیدگاه ضریب همبستگی بیشتر و خطای RMSE کمتر محاسبه شده و از این دیدگاه پیکربندی‌های متفاوت فهرست شده‌اند.

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که از دیدگاه مناسب‌ترین عملکرد پیکربندی‌ها به‌صورت ۳، ۱۴، ۵، ۱، ۶، ۸، ۹، ۱۲، ۲، ۱۳، ۷، ۴ و ۱۱ مرتب می‌شوند. البته شایان ذکر است که پیکربندی شماره ۱۰ به علت عدم امکان انجام اجراهای مدل به صورت موازی حذف شده‌است. بعلاوه لازم به ذکر است که اختلاف‌های میان نتایج مربوط به پیکربندی‌ها و به‌ویژه چند مورد اول آنها زیاد نیست. در اینجا با توجه به این نکته که هدف کار حاضر انجام پیش‌بینی‌های میدان باد از یک سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF است و همان‌طور که در قبل ذکر شده اعضای این سامانه براساس ایجاد پریشیدگی در شرایط اولیه مدل و همچنین استفاده از پیکربندی‌های

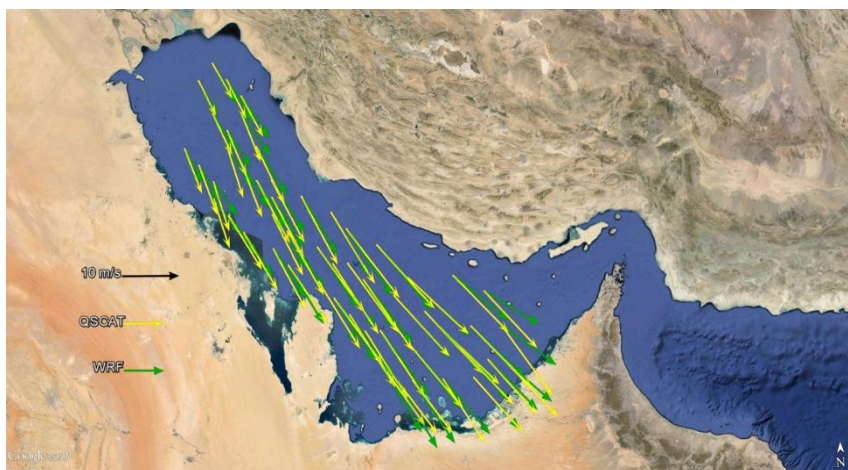
کیفیت بالاتری برخوردار است. این مطلب به ویژه برای مؤلفه U میدان باد کاملاً قابل مشاهده است.

نمایش در آمده است. می توان به وضوح مشاهده نمود که عملکرد میانگین همادی در مقایسه با تک اعضا از

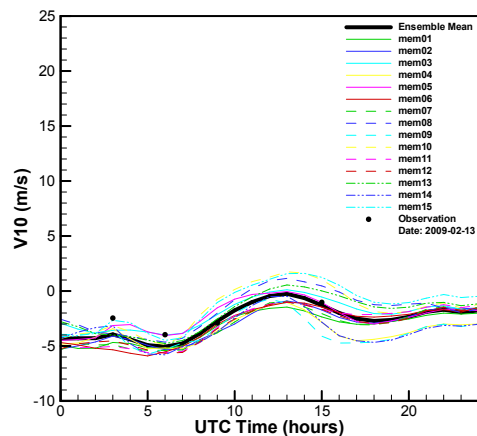
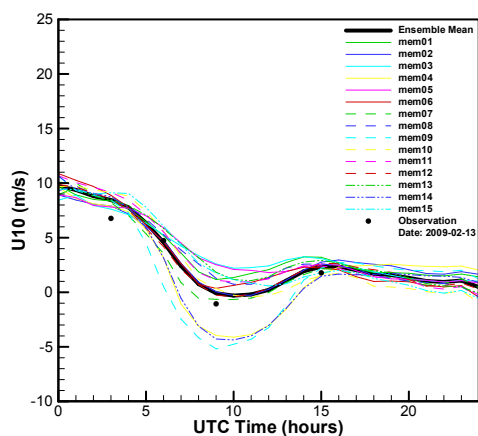
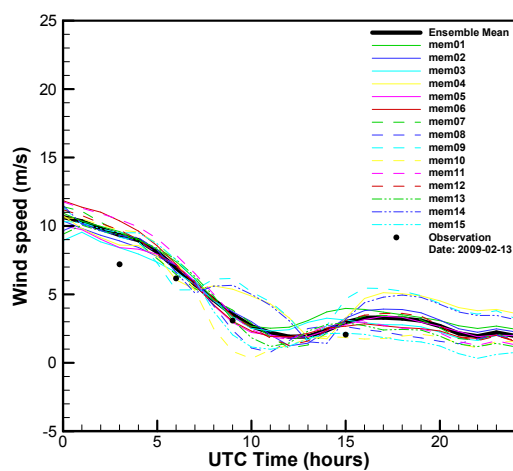


شکل ۲ - تغییرات زمانی میدان باد ۱۰ متری حاصل از شبیه سازی مدل WRF برای پیکربندی های متفاوت در محل ایستگاه بوشهر برای تاریخ ۳ / ۰۹ / ۲۰۰۸ میلادی، در شکل داده های مشاهدات با نقاط توپر نشان داده شده اند. داده های مورد استفاده برای تامین شرایط اولیه و شرایط مرزی داده های FNL می باشند. در شکل داده های خام FNL نیز با نقاط توخالی نشان داده شده اند.

به کارگیری یک سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF جهت پیش بینی میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس



شکل ۳- بردارهای میدان باد سطحی شبیه سازی شده با به کارگیری مدل WRF با پیکربندی Phys14 و داده FNL جهت تامین شرایط اولیه و مرزی در مقایسه با داده های ثبت شده توسط ماهواره QuikSCAT برای مورخ ۱۳ / ۰۲ / ۲۰۰۹

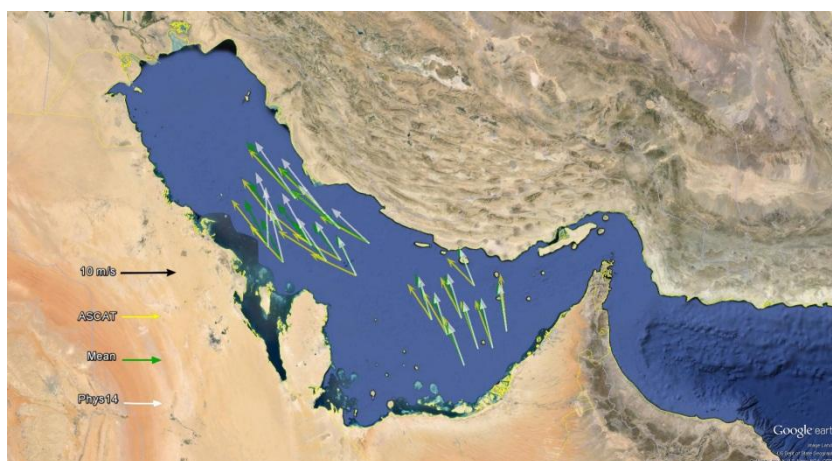


شکل ۴- تغییرات زمانی میدان باد ۱۰ متری حاصل از شبیه سازی اعضای سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF در محل ایستگاه جزیره سیری برای تاریخ ۱۳ / ۰۲ / ۲۰۰۹ میلادی، در شکل داده های مشاهدات با نقاط توپر نشان داده شده اند. میانگین همادی با خط سیاه ضخیم نشان داده شده است.

برای ارائه نتایج به صورت کمی جدول‌های ۳ تا ۵ به ترتیب نتایج مربوط به پارامترهای آماری حاصل از میانگین پیش‌بینی همادی را برای تعدادی از ایستگاه‌های مشاهدات و همچنین داده‌های دو ماهواره QuikSCAT و ASCAT برای میدان باد سطحی در چند تاریخ منتخب ارائه می‌کنند. پارامترهای آماری شامل ضریب همبستگی (CORR) و جذر مربعات میانگین خطا (RMSE) برای میدان باد سطحی در ارتفاع ۱۰ متری (SPD10) اندازه باد، U10 و V10 مؤلفه‌های باد افقی در ارتفاع ۱۰ متری) ارائه شده‌اند. جدول ۶ نیز همین نتایج را برای میدان فشار سطح ارائه می‌کند.

میزان ضریب همبستگی بالا و همچنین جذر مربعات میانگین خطا با مقادیر کمتر از دو بسیار قابل توجه هستند. به ویژه با توجه به نتایج ارائه شده در جدول‌های ۴ و ۵ برای داده‌های ماهواره‌ای می‌توان مشاهده نمود که عملکرد سامانه همادی به ویژه برای پیش‌بینی میدان باد در سطح آب‌های خلیج فارس بسیار مناسب است. البته عملکرد میانگین سامانه همادی برای پیش‌بینی فشار سطح در ایستگاه‌ها نیز قابل توجه است.

شکل ۵ نیز مقایسه بردارهای میدان باد سطحی حاصل از میانگین سامانه همادی را در مقایسه با میدان باد اندازه‌گیری شده توسط ماهواره ASCAT در تاریخ ۲۱/۲/۲۰۱۱ میلادی در محدوده خلیج فارس به نمایش می‌گذارد. در این شکل برای نمونه‌ای از پیش‌بینی قطعی نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل برای پیکربندی شماره ۱۴ نیز به نمایش گذاشته شده است. می‌توان مشاهده نمود که عملکرد میانگین همادی در مقایسه با پیش‌بینی قطعی از دیدگاه اندازه و جهت میدان باد سطحی به صورت کیفی در مقایسه با داده‌های مشاهدات ماهواره مناسبتر است. بعلاوه شکل ۶ تغییرات زمانی ۱۵ روزه اندازه میدان باد ۱۰ متری را در محل بویه بوشهر حاصل از میانگین سامانه همادی در مقایسه با داده‌های مشاهدات ثبت شده (البته برای ۵ روز آخر که در دسترس بودند) نشان می‌دهد. در اینجا می‌توان عملکرد مناسب سامانه پیش‌بینی را به ویژه برای تندی‌های بالا مشاهده نمود. (در اینجا لازم به ذکر است برای انجام مقایسه داده‌های خروجی مدل با داده‌های بویه با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های بویه در ارتفاع ۲ متری انجام می‌شود، ابتدا داده‌های خروجی مدل به این ارتفاع تبدیل شده و سپس مقایسه صورت گرفته است.)



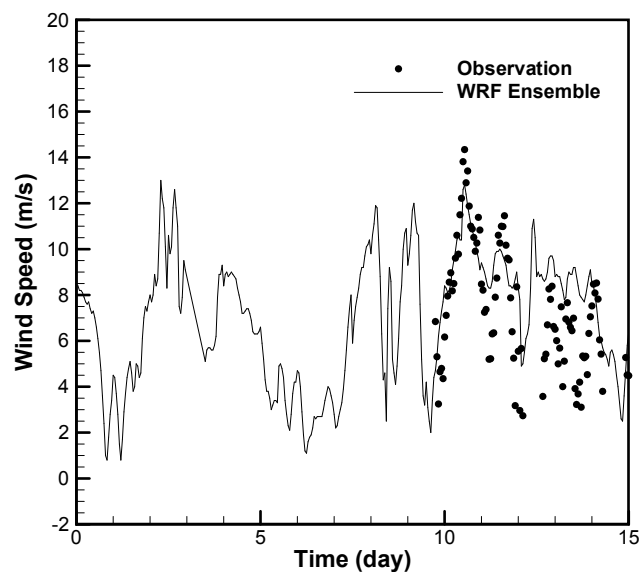
شکل ۵- بردارهای میدان باد سطحی شبیه‌سازی شده حاصل از میانگین سامانه همادی (بردارهای سبز رنگ) و همچنین با به کارگیری مدل WRF با پیکربندی Phys14 (بردارهای سفید رنگ) در مقایسه با داده‌های ثبت شده توسط ماهواره ASCAT (بردارهای زرد رنگ) برای مورخ ۲۱/۰۲/۲۰۱۱

جدول ۳- نتایج پارامترهای آماری میدان باد ۱۰ متری حاصل از میانگین پیش بینی سامانه همادی مدل WRF برای تعدادی ایستگاهها و تاریخهای منتخب

ردیف	تاریخ	ایستگاه	CORR SPD10	RMSE SPD10	CORR U10	RMSE U10	CORR V10	RMSE V10	تعداد نقاط
۱	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	S.KHR	۱/۰۰۰۰	۱/۲۶۰۲	۱/۰۰۰۰	۲/۱۲۳۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۲۱۳	۵
۲	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.SIR	۰/۹۷۸۲	۰/۹۷۰۹	۰/۹۷۹۱	۰/۸۵۱۸	۰/۹۴۵۱	۰/۷۲۶۵	۷
۳	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	OBBI	۰/۹۲۹۱	۱/۴۷۸۸	۰/۸۴۹۱	۱/۰۹۸۶	۰/۹۶۵۱	۱/۶۵۶۱	۱۵
۴	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	S.GHM	۰/۹۲۱۴	۱/۸۴۴۰	۰/۷۴۸۵	۲/۲۲۵۵	۰/۸۵۶۵	۱/۰۵۷۶	۵
۵	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	S.GHC	۰/۹۱۰۷	۲/۱۳۰۹	۰/۵۸۹۹	۲/۶۹۶۸	۰/۹۹۷۷	۱/۲۷۹۶	۴
۶	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	OMAA	۰/۸۹۵۰	۱/۴۸۰۹	۰/۸۹۷۵	۱/۴۵۷۶	۰/۷۷۲۰	۱/۰۷۳۹	۱۴
۷	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OMAA	۰/۸۸۹۱	۱/۶۰۷۵	۰/۷۹۹۳	۱/۶۶۰۵	۰/۸۱۳۳	۲/۹۵۰۳	۱۸
۸	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	OTBD	۰/۸۸۸۷	۱/۵۴۳۲	۰/۸۴۴۰	۰/۹۳۲۳	۰/۷۹۰۱	۱/۹۵۳۲	۱۷
۹	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	OBBI	۰/۸۷۹۰	۱/۳۸۹۷	۰/۷۴۱۶	۱/۱۶۱۹	۰/۸۰۴۲	۱/۹۹۹۲	۱۸
۱۰	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OMDB	۰/۸۷۴۲	۱/۳۳۵۵	۰/۵۶۴۵	۲/۶۹۶۸	۰/۸۵۴۴	۲/۶۴۸۸	۱۹
۱۱	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	S.BSA	۰/۸۷۴۰	۲/۲۹۹۶	۰/۸۱۶۶	۴/۳۳۲۸	۰/۹۳۵۴	۲/۱۸۷۶	۶
۱۲	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	S.GHM	۰/۸۶۰۱	۱/۹۸۰۲	۰/۷۸۰۳	۴/۴۰۸۲	۰/۸۱۵۰	۲/۰۱۷۶	۴
۱۳	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	OMDB	۰/۸۲۳۱	۱/۲۸۸۸	۰/۹۱۹۹	۱/۱۶۹۵	۰/۹۱۲۷	۱/۲۰۷۴	۱۳
۱۴	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	OMFG	۰/۸۱۱۶	۱/۲۴۴۰	۰/۸۵۰۶	۱/۷۳۷۷	۰/۷۷۹۵	۱/۳۰۶۰	۱۷
۱۵	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OKBK	۰/۸۰۴۱	۱/۵۲۴۳	۰/۷۹۸۱	۱/۷۲۶۱	۰/۷۸۵۳	۱/۹۸۷۳	۲۸
۱۶	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	S.DYR	۰/۷۸۳۳	۱/۶۲۰۸	۰/۵۲۵۰	۲/۳۸۱۵	۰/۷۰۹۱	۱/۹۸۵۰	۶
۱۷	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	OEDF	۰/۷۷۶۷	۱/۶۶۸۰	۰/۷۱۳۳	۱/۸۵۲۶	۰/۹۲۹۲	۱/۷۴۲۳	۲۲
۱۸	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OBBI	۰/۷۵۰۴	۲/۳۹۹۳	۰/۷۹۸۶	۱/۸۷۶۴	۰/۹۵۰۴	۲/۸۱۸۳	۲۱
۱۹	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	OEDF	۰/۷۰۹۷	۲/۲۴۷۶	۰/۸۲۹۶	۲/۱۸۷۲	۰/۴۸۵۱	۲/۰۴۶۴	۱۹
۲۰	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	OIBB	۰/۶۹۰۴	۱/۹۱۰۷	۰/۷۲۳۲	۲/۲۳۴۰	۰/۵۳۷۷	۲/۷۵۵۲	۱۳

جدول ۴- نتایج پارامترهای آماری میدان باد ۱۰ متری حاصل از میانگین پیش‌بینی سامانه همادی مدل WRF برای ماهواره QuikSCAT در چند تاریخ منتخب

ردیف	تاریخ	CORR SPD10	RMSE SPD10	CORR U10	RMSE U10	CORR V10	RMSE V10	تعداد نقاط
۱	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	۰/۹۱۳۰	۱/۸۲۸۹	۰/۹۴۱۳	۲/۰۵۱۷	۰/۹۲۰۴	۱/۵۴۵۵	۳۴
۲	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	۰/۸۷۶۸	۱/۵۵۷۵	۰/۷۳۱۷	۱/۶۰۶۵	۰/۶۸۱۱	۲/۱۰۶۴	۱۰۳
۳	۲۰۰۸/۰۹/۱۶	۰/۷۰۲۰	۱/۸۸۷۷	۰/۷۵۰۰	۲/۲۴۳۷	۰/۸۸۷۴	۲/۰۶۶۳	۹۲



شکل ۶- تغییرات زمانی اندازه میدان باد ۱۰ متری حاصل از شبیه‌سازی میانگین اعضای سامانه همادی در محل بویه بوشهر برای یک بازه ۱۵ روزه که تاریخ شروع ساعت ۱۲ UTC مورخ ۱۹ / ۳ / ۲۰۱۶ میلادی، در شکل داده‌های مشاهدات در بازه‌ای که در دسترس بوده‌اند با نقاط توپر نشان داده شده‌اند.

جدول ۵- نتایج پارامترهای آماری میدان باد ۱۰ متری حاصل از میانگین پیش‌بینی سامانه همادی مدل WRF برای ماهواره ASCAT در چند تاریخ منتخب

ردیف	تاریخ	CORR SPD10	RMSE SPD10	CORR U10	RMSE U10	CORR V10	RMSE V10	تعداد نقاط
۱	۲۰۰۸/۰۹/۱۴	۰/۹۴۱۷	۱/۳۲۰۸	۰/۹۵۱۹	۱/۶۴۴۵	۰/۶۹۰۶	۱/۳۴۳۷	۳
۲	۲۰۰۸/۰۹/۱۶	۰/۹۱۳۸	۱/۴۹۱۱	۰/۸۹۱۰	۱/۹۶۹۵	۰/۸۰۹۰	۲/۵۸۸۷	۱۵
۳	۲۰۰۹/۰۲/۱۰	۰/۸۸۸۸	۰/۷۶۱۷	۰/۸۹۷۲	۰/۸۶۵۲	۰/۹۷۰۷	۰/۹۰۲۶	۱۹
۴	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	۰/۸۳۱۳	۱/۰۴۶۰	۰/۷۴۱۵	۳/۱۹۶۵	۰/۶۹۸۹	۱/۹۰۵۱	۲۵
۵	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	۰/۷۴۲۶	۱/۱۸۲۹	۰/۶۳۸۹	۱/۰۹۶۱	۰/۷۸۵۸	۱/۳۰۶۴	۲۸

به کارگیری یک سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF جهت پیش‌بینی میدان باد محدوده خلیج فارس

جدول ۶- نتایج پارامترهای آماری میدان فشار سطح حاصل از میانگین پیش‌بینی سامانه همادی مدل WRF برای تعدادی از ایستگاه‌ها و تاریخ‌های منتخب

ردیف	تاریخ	ایستگاه	CORR Pressure	RMSE Pressure	تعداد نقاط
۱	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.BSA	۰/۹۹۴۱	۱/۰۱۲۵	۹
۲	۲۰۰۹/۲/۱۰	OBBI	۰/۹۸۲۴	۰/۸۰۲۱	۲۴
۳	۲۰۰۹/۲/۱۰	B.SHR	۰/۹۷۵۰	۱/۳۱۴۵	۲۴
۴	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.ABS	۰/۹۷۲۷	۰/۸۸۹۱	۹
۵	۲۰۰۹/۲/۱۰	OMFG	۰/۹۷۲۲	۰/۴۱۰۹	۲۳
۶	۲۰۰۹/۲/۱۰	OTBD	۰/۹۷۲۰	۰/۹۳۲۲	۴۳
۷	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.JSK	۰/۹۶۷۱	۲/۳۷۶۸	۹
۸	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.SIR	۰/۹۶۶۹	۰/۳۸۰۶	۵
۹	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.LEN	۰/۹۶۶۸	۰/۴۸۵۵	۹
۱۰	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.MOS	۰/۹۶۵۹	۱/۰۸۳۱	۵
۱۱	۲۰۰۹/۲/۱۰	OIBK	۰/۹۵۵۳	۰/۷۳۳۹	۲۰
۱۲	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.ABS	۰/۹۵۳۲	۰/۵۴۹۸	۹
۱۳	۲۰۰۹/۲/۱۰	OIKB	۰/۹۵۲۷	۱/۳۳۷۶	۳۰
۱۴	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.KHR	۰/۹۴۸۶	۰/۵۰۵۷	۵
۱۵	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	B.SHR	۰/۹۴۶۰	۰/۹۳۹۱	۲۵
۱۶	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.KHR	۰/۹۴۵۸	۱/۴۲۹۴	۵
۱۷	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OTBD	۰/۹۴۵۰	۰/۵۸۵۳	۴۷
۱۸	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OEDF	۰/۹۴۴۵	۱/۱۶۴۹	۲۵
۱۹	۲۰۰۹/۲/۱۰	S.LVN	۰/۹۴۴۰	۲/۴۲۳۳	۵
۲۰	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.BSA	۰/۹۳۴۸	۰/۸۴۹۸	۹
۲۱	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OMFG	۰/۹۳۴۴	۰/۴۶۲۳	۲۵
۲۲	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	OEDF	۰/۹۳۰۳	۰/۷۸۶۴	۲۵
۲۳	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.LEN	۰/۹۲۵۲	۰/۶۹۵۳	۹
۲۴	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.MOS	۰/۹۱۷۷	۱/۲۸۷۵	۵
۲۵	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	OBBI	۰/۹۱۳۰	۱/۰۰۵۳	۲۵
۲۶	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	OBBI	۰/۹۰۸۸	۰/۸۹۲۰	۲۵
۲۷	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.GHM	۰/۹۰۱۶	۲/۱۱۶۳	۹
۲۸	۲۰۱۱/۰۲/۲۱	S.GHM	۰/۸۸۶۵	۲/۴۲۲۶	۹
۲۹	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	S.JSK	۰/۸۸۴۰	۲/۱۵۴۱	۹
۳۰	۲۰۰۹/۰۲/۱۳	OIKB	۰/۸۸۰۵	۱/۰۲۹۷	۳۴

۶. نتیجه گیری

در کار حاضر برای توسعه یک سامانه پیش‌بینی همادی برای مدل WRF به منظور پیش‌بینی میدان‌های هواشناسی و به ویژه میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس ابتدا با انتخاب ۱۴ پیکربندی متفاوت مدل از دیدگاه پارامترسازی فیزیکی و انجام ارزیابی نتایج مدل سه پیکربندی به عنوان پیکربندی‌های مناسب از دیدگاه پارامترسازی‌های فیزیکی انتخاب شدند. در ادامه با ترکیب سه پیکربندی منتخب و ایجاد پیریشدگی در شرایط اولیه مدل (چهار پیریشدگی شامل دو پیریشدگی مثبت و دو پیریشدگی منفی و یک عضو کنترل)، یک سامانه همادی با ۱۵ عضو برای مدل WRF توسعه داده شد. ارائه نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های سامانه همادی برای چند تاریخ منتخب و ارزیابی میانگین سامانه همادی برای چند تاریخ منتخب به صورت کیفی و کمی در مقایسه با داده‌های مشاهدات ثبت شده در ایستگاه‌های همیدی و همچنین داده‌های سنجش شده توسط دو ماهواره QuikSCAT و ASCAT نشان از عملکرد مناسب و قابل قبول سامانه همادی توسعه داده شده برای پیش‌بینی میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس دارد.

۷. قدردانی

نویسندگان از سازمان بنادر و دریانوردی، دانشگاه تهران و دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی برای حمایت از کار حاضر قدردانی می‌نمایند. همچنین از سازمان هواشناسی برای در اختیار قرار دادن داده‌های مشاهداتی سپاسگزاری می‌شود.

۸. مراجع

- [4] Tracton MS, Kalnay E. Operational ensemble prediction at the National Meteorological Center: Practical aspects. *Weather and Forecasting*. 1993;8(3): 379-98.
- [5] Warner TT. Numerical weather and climate prediction: Cambridge University Press; 2010. p 548.
- [۶] اشرفی خ، قادر س، اصفهانیان و. اعمال روش پیش‌بینی گروهی breeding به مدل لورنز. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس پیش‌بینی عددی وضع هوا؛ ۱۳۸۶ آذر ۲۸؛ تهران. ایران.
- [۷] اشرفی خ. قادر س، اصفهانیان و. اعمال روش پیش‌بینی همادی Breeding به مدل MM5 در منطقه ایران. مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها؛ ۱۳۸۸ اردیبهشت ۸-۱۰؛ بابل، ایران.
- [۸] اشرفی خ، قادر س، صداقت‌کردار ع. اعمال روش پیش‌بینی همادی Breeding به مدل تحقیقاتی - عملیاتی WRF. مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس پیش‌بینی عددی وضع هوا؛ ۱۳۸۸ دی ماه ۲؛ تهران، ایران.
- [۹] قادر س، یازجی د، شهبازی ح. پیش‌بینی میدان باد و سایر میدان‌های هواشناسی در محدوده شهر تهران با استفاده از یک سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF جهت استفاده در مدل‌های آلودگی هوا. مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا؛ ۱۳۹۴ دی ماه ۲۲-۲۳؛ تهران، ایران.
- [10] Skamarock W, Klemp J, Dudhia J, Gill D, Barker D, Duda M, et al. A description of the advanced research WRF Version 3, NCAR tech note NCAR/TN 475 STR, 125 pp. Available from: UCAR Communications, PO Box. 2008;3000.
- [11] Wang W, Bruyère C, Duda M, Dudhia J, Gill D, Lin H, et al. User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) Version 3.6. NCAR; 2014.
- [12] Xu H, Xu M, Xie S-P, Wang Y. Deep Atmospheric Response to the Spring Kuroshio over the East China Sea*. *Journal of Climate*. 2011;24(18):4959-72.
- [13] O'Neill LW, Esbensen SK, Thum N, Samelson RM, Chelton DB. Dynamical analysis of the boundary layer and surface wind responses to mesoscale SST perturbations. *Journal of Climate*. 2010;23(3):559-81.
- [14] DuVivier AK, Cassano JJ. Evaluation of WRF model resolution on simulated mesoscale winds and surface fluxes near Greenland. *Monthly Weather*

Review. 2013 Mar;141(3):941-63.

[15] Ghader S, Montazeri-Namin M, Chegini F, Bohloully A, editors. Hindcast of Surface Wind Field over the Caspian Sea Using WRF Model. proceedings of the 11th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures (ICOPMAS 2014), Tehran, Iran; 2014.

[16] Perlin N, De Szoek SP, Chelton DB, Samelson RM, Skillingstad ED, O'Neill LW. Modeling the atmospheric boundary layer wind response to mesoscale sea surface temperature perturbations. Monthly Weather Review. 2014;142(11):4284-307.

[17] Available at: <http://weather.uwyo.edu/surface/meteorogram/>

[18] Barker DM, Huang W, Guo Y-R, Bourgeois A, Xiao Q. A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. Monthly Weather Review. 2004;132(4):897-914.

[19] Houtekamer P, Lefaivre L, Derome J, Ritchie H, Mitchell HL. A system simulation approach to ensemble prediction. Monthly Weather Review. 1996;124(6):1225-42.

۹. پی نوشت:

-
- ¹ chaotic
 - ² deterministic
 - ³ ensemble
 - ⁴ weather research and forecasting
 - ⁵ nested
 - ⁶ perturbation
 - ⁷ global forecasting system
 - ⁸ correlation coefficient
 - ⁹ ensemble mean