

## بررسی موردی عملکرد مدل WRF جهت پیش‌یابی میدان باد تراز ۱۰ متر و دمای تراز دومتر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های همدیدی در منطقه دریای عمان و دریای عرب

فاطمه بهمن‌زاده<sup>۱</sup>، سرمد قادر<sup>۲\*</sup>، سیدعباس حق‌شناس<sup>۳</sup> و دانیال یازجی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. پسا دکتری، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۹۷/۷/۲۹، پذیرش نهایی: ۹۸/۲/۲۴)

### چکیده

در پژوهش حاضر شبیه‌سازی پیش‌یابی و ارزیابی میدان باد تراز ۱۰ متر و همچنین دمای تراز دومتر با مدل میان‌مقیاس WRF نسخه ۳.۷.۰۱ در منطقه دریای عمان و دریای عرب انجام شده است. تمامی شبیه‌سازی‌ها برای دو پیکربندی متفاوت از دیدگاه پارامترسازی فیزیکی که به نام‌های Phys1 و Phys2 معرفی شده‌اند، انجام شده است. ارزیابی نتایج شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی در دسترس و همچنین داده‌های دو سنجنده ماهواره‌ای ASCAT و OSCAT انجام شده است. برای بررسی عملکرد مدل عددی از سنجه‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون، ریشه میانگین مربعات خطاها و نمودار آماری تیلور استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که در بخش ارزیابی با داده‌های ماهواره‌ای باد تراز ۱۰ متر نتایج عملکرد مدل، قابل قبول و مناسب بوده است. در این بخش شبیه‌سازی‌های برای مناطق دور از ساحل که به کمک داده‌های ماهواره‌ای ارزیابی شده‌اند، نسبت به داده‌های ایستگاه‌های ساحلی و نزدیک ساحل، به مقادیر مشاهدات نزدیک‌ترند. نتایج حاصل از ارزیابی دمای تراز دو متر نیز گواه عملکرد مناسب مدل در این بخش است.

واژه‌های کلیدی: مدل WRF، داده ماهواره‌ای، سنجنده ASCAT، سنجنده OSCAT، دریای عمان، دریای عرب.

### ۱. مقدمه

باد تراز ۱۰ متر در دریاها از جمله پارامترهای پرکاربردی است که اطلاعات حاصل از آن می‌تواند در بسیاری فعالیت‌های علمی و اقتصادی مانند: صیادی، حمل و نقل‌های دریایی، مدیریت سواحل و بنادر، صنعت گردشگری، طراحی سازه‌های ساحلی و دریایی، بررسی و پیشگیری از مخاطرات دریایی، بهره‌گیری از انرژی‌های پاک (موج و باد)، پیش‌بینی پدیده‌های جوی و تهیه شرایط اولیه مدل‌های پیش‌بینی موج و طوفان به کار گرفته شود (آکادیا و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین نتایج تمامی مدل‌های موج به شدت به کیفیت داده‌های بادی که برای اجرای مدل استفاده می‌شود وابسته است (کاولری و برتوتی، ۲۰۰۴). در نتیجه ارائه راه‌کارهایی برای دست‌یابی به میدان باد تراز ۱۰ متر با دقت و صحت کافی در این مناطق مفید و ضروری به نظر می‌آید.

تهیه مجموعه داده قابل اعتماد و با تفکیک مناسب از باد تراز ۱۰ متر در دریاها مورد نیاز بسیاری از فعالیت‌های علمی و اقتصادی است. علی‌رغم پیشرفت گسترده علم هواشناسی در دهه‌های اخیر، همچنان در مناطق زیادی از جهان مانند نواحی قطبی و اقیانوسی دسترسی به اطلاعات و داده‌های مشاهداتی مربوط به وضع هوا با محدودیت‌هایی روبه‌رو است. اندازه‌گیری مستقیم بیشتر کمیت‌های فیزیکی مورد نیاز مطالعات جوی و اقیانوسی، با دقت، صحت و قدرت تفکیک بالا در این مناطق به دلیل وسعت زیاد و دور از دسترس بودنشان، دشوار و پرهزینه است. در گذشته تنها وسیله برای جبران فقدان داده‌های هواشناسی در این مناطق استفاده از اندازه‌گیری‌های هواپیماها و کشتی‌های اقیانوس‌پیما بوده است (جرآد، ۲۰۰۸).

امروزه سکوهای هواشناسی، ایستگاههای وضع هوای دریایی، بویهها و اطلاعات مخبره شده از کشتیهای مهاجر شبکه‌ای از داده‌های باد اندازه‌گیری شده در محل را فراهم می‌کنند. متأسفانه در بیشتر مناطق اقیانوسی، داده‌هایی که حاصل اندازه‌گیری در محل باشند، پوشش مکانی ضعیفی دارند، چراکه بیشتر کشتی‌ها از مسیرهای مشخصی عبور می‌کنند و بویه‌ها نیز اغلب در نزدیکی سواحل نصب می‌شوند. سودار (Sodar)، لیدار (Lidar) و رادار (Radar) از ابزارهای سنجش از دور اندازه‌گیری باد هستند (جرآد، ۲۰۰۸). پس از پیشرفت فناوری‌های فضایی، داده‌های مشاهداتی سنجش از دور ماهواره‌ای در کنار سایر داده‌های اندازه‌گیری شده، امکان تهیه شبکه پایش کامل‌تری را فراهم آوردند.

سواحل جنوبی ایران در دهه‌های گذشته شاهد رشد جمعیتی و پیشرفت‌های اقتصادی چشم‌گیری بوده‌است و بنادر و اسکله‌های تجاری و صیادی مهمی احداث و یا گسترش یافته‌اند. تراکم جمعیت در این مناطق بالاتر رفته‌است. دریای عمان تنها راه آبی متصل‌کننده میدان‌های نفتی خلیج فارس به آب‌های آزاد جهان است و از اهمیت استراتژیک در فعالیت‌های سیاسی و اقتصادی منطقه برخوردار است. همچنین دریای عرب در دو درصد از طوفان‌های حاره‌ای سالانه در جهان سهم است (پاتانایاک و موهاتی، ۲۰۰۸).

از سوی دیگر مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا، با رشد سریع‌شان در دو دهه اخیر عصر جدیدی را در مطالعات وضع هوا به وجود آورده‌اند. ویشنو و فرانسیس (۲۰۱۴) عملکرد مدل WRF برای پیش‌بینی میدان باد سواحل غربی هندوستان را بررسی کردند که نتایج حاصل تطابق خوبی با مشاهدات داشت.

پژوهش حاضر تلاش دارد در مطالعه موردی میزان دقت پیش‌بینی‌های دمای تراز دو متر و باد تراز ۱۰ متر مدل WRF را در منطقه دریا‌های جنوبی ایران بررسی کند. مدل WRF یک مدل عددی میان‌مقیاس و غیرهیدروستاتیک است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). در

مطالعاتی مشابه، جیمنز و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات باد میانگین روزانه را در مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل عددی WRF با داده‌های مشاهداتی مورد بررسی قرار داده‌اند و در نتایج حاصله مشاهده کردند که تغییرپذیری باد نصف‌النهاری در منطقه کوهستانی مورد بررسی بهتر از تغییرپذیری باد مداری شبیه‌سازی شده است. قادر و همکاران (۱۳۹۴) میدان باد محدوده خلیج فارس را با استفاده از یک سامانه همادی توسعه داده شده برای مدل WRF پیش‌بینی کردند که مشاهده شده عملکرد میانگین پیش‌بینی همادی بهتر از پیش‌بینی قطعی در شبیه‌سازی میدان باد بوده است. همچنین قادر و همکاران (۲۰۱۶)، مهم‌ترین طوفان‌های حاره‌ای در دریای عمان که داده مشاهداتی آنها در دسترس بوده را با استفاده از مدل WRF شبیه‌سازی کردند و ۱۳ پیکربندی مختلف از دیدگاه پارامترسازی فیزیکی جهت اجرای مدل با هدف یافتن پیکربندی مناسب و بهینه در مدل‌سازی به کار گرفته شده است ارتفاع موج پیش‌بینی شده با استفاده از میدان باد شبیه‌سازی شده برای طوفان گونو، توافق خوبی با داده‌های مشاهداتی داشته است. نتایج نهایی پژوهش قادر و همکاران (۲۰۱۶) از دیدگاه انتخاب پیکربندی‌های بهینه در پژوهش حاضر مورد توجه است.

هدف پژوهش حاضر تهیه و ارزیابی میدان‌های شبیه‌سازی حاصل از پیش‌بینی مدل عددی میان‌مقیاس WRF، برای باد تراز ۱۰ متر و دمای تراز دو متر با تفکیک بالا در منطقه مورد مطالعه است و پژوهش با محوریت بررسی عملکرد مدل در دو بخش، یکی منطقه‌های ساحلی و نزدیک ساحل و دیگری منطقه‌های فراساحلی (Offshore)، که منظور نقاط دور از ساحل به سمت دریا است، انجام شده است. در بخش فراساحلی استفاده از داده باد مشاهداتی دو سنجنده ماهواره‌ای ASCAT و OSCAT جهت ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل مد نظر بوده است. قابل ذکر است که چانگ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای نشان دادند که باد اندازه‌گیری شده به وسیله سنجنده ASCAT در مناطق فراساحلی و دریا‌های آزاد قابل اعتمادتر از مناطق

ARW و نسخه ۳,۷,۱ آن استفاده شده است (اسکاماروک و همکاران، ۲۰۰۸).

#### ۲-۱. معرفی پیکربندی مدل

در روند توسعه مدل WRF مجموعه متنوعی از طرح‌واره‌های پارامترسازی فیزیکی به آن اضافه شده است از این بین دو پیکربندی از انتخاب‌های موجود با توجه به بررسی‌های قادر و همکاران (۱۳۹۴ و ۲۰۱۶) انتخاب و در پژوهش حاضر به کار گرفته شده است که توضیحات کامل آن در جدول ۱ آمده است. تفاوت این دو پیکربندی تنها در انتخاب‌های لایه مرزی سیاره‌ای و لایه سطحی است.

در اجرای مدل از نگاشت طول و عرض جغرافیایی و با دو شبکه تودرتو با تفکیک‌پذیری ۰/۳ درجه و ۰/۱ درجه در راستای افقی و ۳۹ تراز قائم، استفاده شده است. شکل ۱ نمایی از حوزه محاسباتی را نشان می‌دهد.

ساحلی است.

معیار انتخاب دو سنجنده ماهواره‌ای که از داده آنها استفاده شده است کیفیت نسبی داده اندازه‌گیری شده بر اساس دسته‌بندی سازمان جهانی هواشناسی در پروژه اسکار و موجود بودن داده‌های لازم در زمان شبیه‌سازی بوده است (وب‌گاه سازمان جهانی هواشناسی). مفید است اشاره شود که زمان شبیه‌سازی طولانی‌تر منجر به نتایج با پوشش زمانی بلندتر از پدیده‌های تأثیرگذار روی ناحیه مورد مطالعه می‌شود اما آنچه در کار حاضر مد نظر است مطالعه موردی چند تاریخ منتخب برای ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی مدل WRF در ناحیه مورد نظر است.

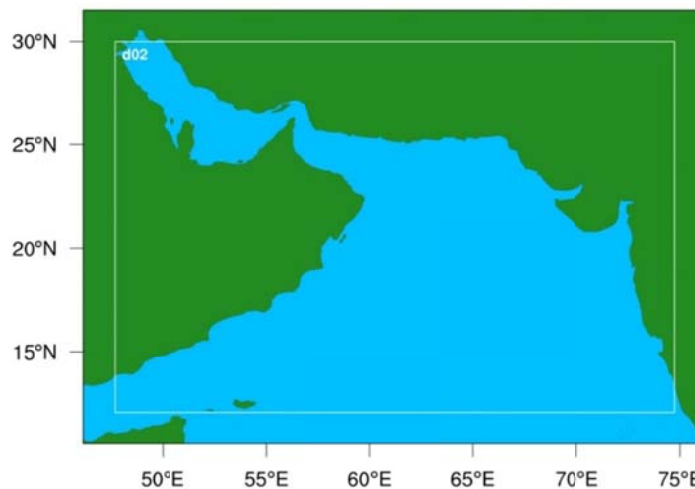
#### ۲. شبیه‌سازی عددی

مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا استفاده شده در پژوهش حاضر مدل میان‌مقیاس WRF است که از هسته دینامیکی

جدول ۱. معرفی پیکربندی‌های استفاده شده از دیدگاه پارامترسازی فیزیکی.

عنوان اختصاری	خردفیزیک	لایه مرزی سیاره‌ای	همرفت	تابش موج بلند	تابش موج کوتاه	لایه سطحی	سطح زمین
Phys1	Lin	MRF	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	Revised MM5	Noah
Phys2	Lin	MYJ	Kain Fritsch	RRTM	Goddard	Monin-Obukhov	Noah

#### WPS Domain Configuration



شکل ۱. نمایی از حوزه محاسباتی شبیه‌سازی. محورهای افقی و قائم طول و عرض جغرافیایی می‌باشند.



جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی هم‌مدیدی ایران که از داده آنها برای ارزیابی استفاده شده است.

ردیف	نام ایستگاه	عنوان اختصاری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	آغاچاری	Aghaj	۴۹/۸۲۸۱	۳۰/۶۹۶۷
۲	اهواز - کشاورزی	ahv-g	۴۸/۷۴۴۲	۳۱/۲۵۰۰
۳	اهواز	Ahvaz	۴۸/۵۵۰۰	۳۱/۳۴۴۷
۴	بندر ماهشهر	bn-ma	۴۹/۱۵۹۲	۳۰/۵۴۵۶
۵	رامهرمز	Ramho	۴۹/۵۹۶۳	۳۱/۲۷۲۷
۶	امیدیه - آغاچاری	Omdag	۴۹/۶۸۷۷	۳۰/۷۴۲۵
۷	شادگان	Shade	۴۸/۶۴۱۶	۳۰/۶۵۷۲
۸	هندیجان	Hendi	۴۹/۷۰۶۳	۳۰/۲۴۹۲
۹	بهبهان	Behba	۵۰/۲۱۷۲	۳۰/۶۰۵۶
۱۰	بوشهر - فرودگاه	bsh-a	۵۰/۸۱۹۲	۲۸/۹۶۳۱
۱۱	بوشهر - ساحلی	bsh-c	۵۰/۸۲۱۱	۲۸/۹۰۳۹
۱۲	جم	Jam	۵۲/۳۵۵۸	۲۷/۸۱۵۰
۱۳	بندر دیر	bn-da	۵۱/۹۳۳۳	۲۷/۸۳۳۳
۱۴	جزیره خارک	kha-i	۵۰/۳۱۵۲	۲۹/۲۶۵۵
۱۵	جزیره ابوموسی	abu-i	۵۵/۰۱۳۳	۲۵/۸۷۴۱
۱۶	عسلویه - فرودگاه	asl-a	۵۲/۶۱۶۴	۲۷/۴۸۴۷
۱۷	بستک	Basta	۵۴/۳۵۰۰	۲۷/۲۱۶۷
۱۸	بندرعباس	bn-ab	۵۶/۳۷۲۸	۲۷/۲۱۴۷
۱۹	بندر دیلم	bn-de	۵۰/۱۶۶۷	۳۰/۰۵۰۳
۲۰	بندر خمیر	bn-kh	۵۵/۵۷۰۸	۲۶/۹۵۱۷
۲۱	بندر لنگه	bn-le	۵۴/۸۲۸۳	۲۶/۵۲۸۳
۲۲	برازجان	Boraz	۵۱/۱۶۶۷	۲۹/۲۵۰۰
۲۳	چابهار	Chaba	۶۰/۶۵۱۱	۲۵/۴۸۱۱
۲۴	قشم - ساحلی	gsh-c	۵۶/۲۸۰۶	۲۶/۹۴۷۲
۲۵	جزیره قشم	gsh-i	۵۵/۸۹۰۶	۲۶/۷۵۱۹
۲۶	جاسک	Jask	۵۷/۷۶۹۷	۲۵/۶۳۷۷
۲۷	جزیره کیش	kis-i	۵۳/۹۸۲۲	۲۶/۵۲۲۲
۲۸	کنارک	Konar	۶۰/۳۷۴۷	۲۵/۴۳۶۳
۲۹	جزیره لاوان	lav-i	۵۳/۳۴۸۳	۲۶/۸۰۹۱
۳۰	میناب	Minab	۵۷/۰۸۸۶	۲۷/۱۰۶۹
۳۱	نیکشهر	Niksh	۶۰/۲۰۰۰	۲۶/۲۳۳۳
۳۲	پارسیان	Parsi	۵۳/۰۴۲۷	۲۷/۲۱۶۹
۳۳	راسک	Rask	۶۱/۴۰۰۰	۲۶/۲۳۳۳
۳۴	رودان	Rudan	۵۷/۱۸۵۵	۲۷/۴۵۹۱
۳۵	سردشت بشاگرد	Sarda	۵۷/۸۸۳۳	۲۶/۴۵۰۰
۳۶	جزیره سیری	Siri-i	۵۴/۶۴۱۶	۲۵/۸۹۷۷

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی خارجی که از داده آنها برای ارزیابی استفاده شده است.

ردیف	نام کشور	نام ایستگاه	عنوان اختصاری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	قطر	Doha International	OTBD	۵۱/۵۷	۲۵/۲۵
۲	امارات متحده عربی	Dubai International	OMDB	۵۵/۳۳	۲۵/۲۵
۳	امارات متحده عربی	Al Ain International	OMAL	۵۵/۶۱	۲۴/۲۵
۴	امارات متحده عربی	Abu Dhabi International	OMAA	۵۴/۶۵	۲۴/۴۳
۵	امارات متحده عربی	Fujairah	OMFJ	۵۶/۳۲	۲۵/۱۱
۶	امارات متحده عربی	Ras Al Khaimah International	OMRK	۵۵/۹۴	۲۵/۶۱
۷	امارات متحده عربی	Sharjah International	OMSJ	۵۵/۵۲	۲۵/۳۳
۸	بحرین	Bahrain International Airport	OBBI	۵۰/۶۵	۲۶/۲۷
۹	کویت	Kuwait International	OKBK	۴۷/۹۸	۲۹/۲۲
۱۰	عمان	Seeb International	OOMS	۵۸/۲۸	۲۳/۵۹
۱۱	عمان	Salalah	OOSA	۵۴/۰۸	۱۷/۰۳
۱۲	عربستان سعودی	King Abdulaziz Air Base	OEDR	۵۰/۱۵	۲۶/۲۷
۱۳	عربستان سعودی	Al Ahsa	OEAH	۴۹/۴۸	۲۵/۲۸
۱۴	عربستان سعودی	King Fahd International	OEDF	۴۹/۸۰	۲۶/۴۳
۱۵	پاکستان	Jinnah International	OPKC	۶۷/۱۳	۲۴/۹۰
۱۶	پاکستان	Nawabshah	OPNH	۶۸/۳۷	۲۶/۲۵
۱۷	هندوستان	Chhatrapati Shivaji International	VABB	۷۲/۸۵	۱۹/۱۲
۱۸	هندوستان	Ahmedabad	VAAH	۷۲/۶۳	۲۳/۰۷
۱۹	هندوستان	Mangalore	VOML	۷۴/۸۸	۱۲/۹۲

داده‌های ماهواره‌ای دسته دیگری از داده‌های مشاهداتی استفاده شده جهت ارزیابی نتایج مدل بوده‌اند. داده‌های ماهواره‌ای برای تهیه شرایط اولیه و درستی‌سنجی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا استفاده می‌شوند. همچنین جهت محاسبه شارهای سطحی گرما، رطوبت، تکانه و حال‌بینی (Nowcast) وضع هوا و شرایط موج کاربرد دارند. با توجه به اینکه داده‌های ایستگاهی که در محل اندازه‌گیری می‌شوند، نقطه‌ای هستند می‌توان فراهم کردن اطلاعات پیوسته‌ای در مکان را از مزایای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای عنوان کرد همچنین این داده‌ها معمولاً در دسترس هستند. داده‌های ماهواره‌ای محدودیت‌هایی هم دارند به‌طور مثال عموماً این داده‌ها در زمان‌های

محدودتری نسبت به داده‌های مشاهداتی ایستگاهی در دسترس‌اند (اتلس و همکاران، ۲۰۰۱). در کار حاضر از داده‌های سنجنده‌های ASCAT و OSCAT که بر روی ماهواره‌های Metop-A و OceanSat-2 نصب شده‌اند استفاده شده است. در جدول ۴ اطلاعات مختصری از این دو سنجنده ارائه شده است. لازم به ذکر است که در هنگام استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نکات لازم با توجه به توضیحات مرکز داده‌برداری مربوطه رعایت شده است، به‌طور مثال داده‌هایی که فاصله کمتر از ۲۵ کیلومتر با ساحل داشته‌اند از پایگاه داده مشاهداتی مورد استفاده حذف شده‌اند.

جدول ۴. مشخصات سنجنده‌های ماهواره‌ای که از داده آنها جهت ارزیابی استفاده شده است.

نام سنجنده	ASCAT	OSCAT
بسامد	۵ گیگاهرتز	۱۴ گیگاهرتز
نسبت پوشش پهنه‌های اقیانوسی و دریایی به دوره گردش	کل کره در ۱/۵ روز	کل کره در هر روز
توان تفکیک استفاده شده	۲۵ کیلومتر	۲۵ کیلومتر

همچنین در بخش نتایج نمودار تیلور برای ارزیابی استفاده شده است. نمودار تیلور یک ارائه خلاصه و مختصر آماری از چگونگی و میزان تطابق یک الگو یا الگوهای آماری با مشاهدات است و برای مقایسه مناسب‌تر نتایج ارزیابی از آن استفاده می‌شود. رسم آن با کمک ضریب همبستگی، نسبت انحراف معیارها که نشانگر دامنه تغییرات دو گروه از داده‌هاست و اختلاف ریشه میانگین مربعات صورت می‌پذیرد. از این نمودار می‌توان برای بررسی شایستگی نسبی گروهی از مدل‌های مختلف در برابر یکدیگر و یا ردیابی تغییرات عملکرد یک مدل جهت اصلاح آن استفاده کرد (تیلور، ۲۰۰۱).

مقادیر مشاهداتی هر کمیت میدان مرجع و مقادیر شبیه‌سازی شده آن، میدان آزمون را تشکیل می‌دهند. هدف، بررسی میزان شباهت رفتار میدان آزمون با میدان مرجع است. محورهای افقی و قائم نمودار انحراف معیار نرمال شده و کمان مثلثاتی معرف میزان ضریب همبستگی بین دو میدان است که جهت افزایش آن مخالف جهت مثلثاتی است. بر این اساس در مختصات قطبی، شعاع معرف میزان تغییرپذیری و زاویه معرف مقدار ضریب همبستگی است.

از آن جا که با استفاده از ضریب همبستگی به تنهایی نمی‌توان تعیین کرد که دو الگوی مورد مقایسه دامنه یکسانی از تغییرات را دارند یا نه، از جذر میانگین مربعات خطا برای تعیین تغییرات بین دو الگو استفاده می‌شود. جذر میانگین مربعات خطا با دو سنجه آماری دیگر به نام‌های اریبی (Bias) و (CRMSE) centered root mean square error) بر اساس رابطه (۵) در ارتباط است.

$$(RMSE)^2 = (CRMSE)^2 + (Bias)^2 \quad (5)$$

تاریخ‌های شبیه‌سازی شامل ۸ مطالعه موردی است (یکم تا چهارم ژوئن ۲۰۱۰، ۱۱ تا ۱۴ ژانویه ۲۰۱۰، سوم تا ششم ژوئن ۲۰۱۳ و ۲۶ تا ۲۹ اکتبر ۲۰۱۴) که هر کدام دو شبانه‌روز متوالی را مورد سنجش قرار می‌دهد. در مجموع ۱۶ اجرای ۳۰ ساعته انجام شده که از تمامی آنها شش ساعت اول به‌عنوان زمان تنظیم اولیه (Spin up) از نتایج حذف شده است. معیار انتخاب این مطالعات موردی آستانه مشخصی از سرعت باد در منطقه شبیه‌سازی بوده است.

### ۳. روش کار

پس از انجام شبیه‌سازی‌ها و استخراج نتایج مورد نظر به کمک سنجه‌های آماری زیر مقایسه نتایج با مشاهدات انجام گرفته است.

محاسبه هر کدام از سنجه‌های مورد استفاده بر اساس رابطه‌های (۱) تا (۴) بوده است. F معرف نتیجه مدل‌سازی و O معرف مقدار مشاهداتی است. نسبت انحراف معیارها:

$$Ratio = \frac{\sqrt{\sum (F - \bar{F}) / n}}{\sqrt{\sum (O - \bar{O}) / n}} \quad (1)$$

میانگین خطاها یا اریبی:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum (F - O) \quad (2)$$

جذر میانگین مربعات خطا:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (F - O)^2} \quad (3)$$

ضریب همبستگی پیرسون:

$$r = \frac{\sum (F - \bar{F})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum (F - \bar{F})^2 \sum (O - \bar{O})^2}} \quad (4)$$

کیفی و بررسی کمی ارائه شده‌اند.

#### ۴-۱. مقایسه کیفی

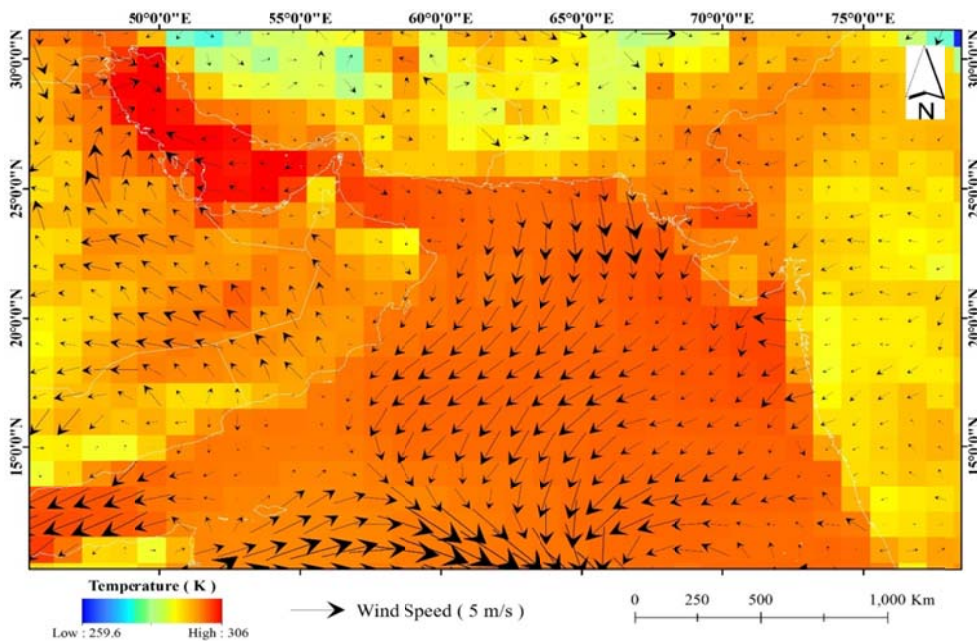
برای نمونه در شکل ۳ الگویی از رژیم باد و میدان دمای منطقه برای ساعت ۰۰:۰۰ (UTC) در تاریخ دوم ژوئن ۲۰۱۰ با استفاده از داده‌های *fnl* رسم شده است. شکل ۳ الگوی کلی باد در منطقه در زمان مذکور را نمایش می‌دهد.

در بررسی اجمالی کیفی نتایج در شکل ۴ عملکرد شبیه‌سازی‌های مدل برای دوم ژوئن ۲۰۱۰ مربوط به گذر صبح‌گاهی ماهواره در ساعت ۸:۱۵ (UTC) در مقایسه با مشاهدات سنجه OSCAT رسم شده است. همچنین شکل ۵ مقایسه مشابهی را برای سنجه ASCAT در ساعت ۶:۰۰ (UTC) نشان می‌دهد. در این مقایسه کیفی به نظر می‌رسد که بردارهای مشاهدات و شبیه‌سازی تا حد زیادی با یکدیگر همخوانی دارند و عملکرد مدل از دیدگاه برآورد اندازه و جهت بردار باد تراز ۱۰ متر به صورت کیفی در مقایسه با داده‌های مشاهدات ماهواره مناسب است، برای وضوح بهتر تصویر تنها تعدادی از بردارها رسم شده است.

از این رو می‌توان در نمودار تیلور مقادیر CRMSE که رابطه‌ای مشابه قانون کسینوس‌ها با انحراف معیارهای مربوط به مقادیر مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها و ضریب همبستگی دارد، را رسم کرد. CRMSE به صورت دوایر متحدالمركز از نقطه‌ی مرجع بر روی محور افقی رسم می‌شود. برای مقایسه مقادیر مشاهداتی هر کمیت (میدان مرجع) با مقادیر شبیه‌سازی شده (میدان آزمون)، یک نقطه متناظر با نتیجه مقایسه دو میدان در نمودار دو بعدی تیلور رسم می‌شود.

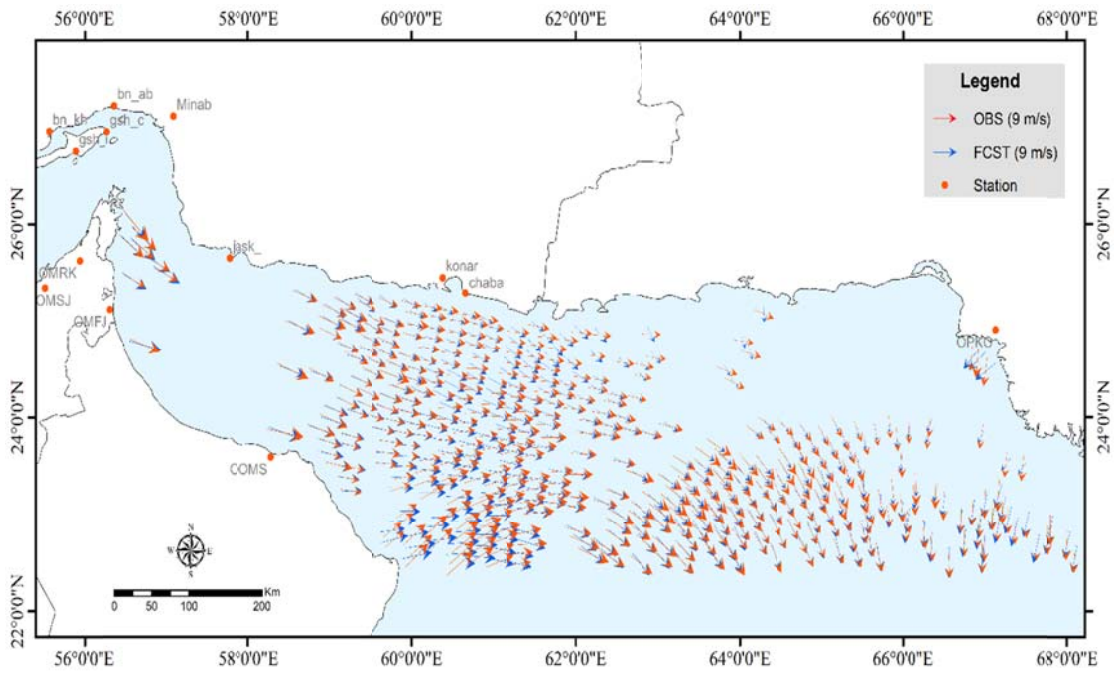
#### ۴. نتایج

شبیه‌سازی‌های یک مدل عددی را می‌توان با مقایسه نتایج آن با مشاهدات ارزیابی کرد. در این بخش نتایج عملکرد شبیه‌سازی‌ها در مقایسه با داده‌های مشاهداتی ارائه شده است. در تمامی نقاطی که داده مشاهداتی در دسترس بوده است، ارزیابی نتایج انجام شده است. ارزیابی دمای تراز دومتر تنها در محل ایستگاه‌های همدیدی و ارزیابی باد تراز ۱۰ متر هم در محل ایستگاه‌های همدیدی و هم در نقاطی که داده ماهواره‌ای موجود بوده، انجام شده است. به دلیل حجم بسیار بالای نتایج بخشی از آن در ادامه آورده شده است که به طور کلی در دو زیربخش بررسی

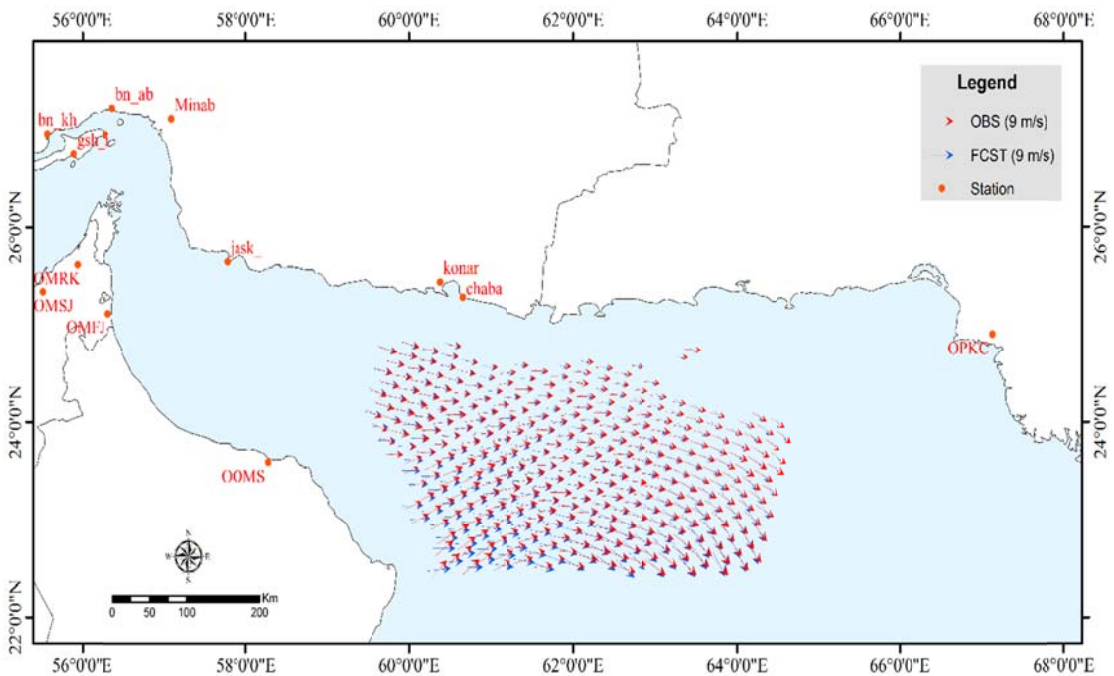


شکل ۳. میدان باد تراز ۱۰ متر و دمای دو متر مربوط به دوم ژوئن ۲۰۱۰ ساعت ۰۰:۰۰ (UTC) رسم شده با استفاده از داده‌های *fnl*





شکل ۴. میدان باد تراز ۱۰ متر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای بخشی از حوزه محاسباتی مربوط به دوم ژوئن ۲۰۱۰. گذر سنجنده OSCAT در ساعت ۸:۱۵ (UTC). بردارهای قرمز رنگ مربوط به مقادیر مشاهده‌ای و بردارهای آبی رنگ باد حاصل از شبیه‌سازی مربوط به Phys1 را نشان می‌دهند.



شکل ۵. میدان باد تراز ۱۰ متر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای بخشی از حوزه محاسباتی مربوط به دوم ژوئن ۲۰۱۰. گذر سنجنده ASCAT در ساعت ۶:۰۰ (UTC). بردارهای قرمز رنگ مربوط به مقادیر مشاهده‌ای و بردارهای آبی رنگ باد حاصل از شبیه‌سازی مربوط به Phys1 را نشان می‌دهند.

## ۴-۲. مقایسه کمی

جدول ۵ و جدول ۶ به ترتیب بخشی از نتایج مربوط به مقایسه با داده‌های سنجنده‌های OSCAT و ASCAT را در دوم ژوئن ۲۰۱۰ برای هر دو پیکربندی انتخابی نمایش می‌دهند. سنجه‌های آماری محاسبه شده از راست به چپ ستون‌ها شامل: نسبت انحراف معیارها (Ratio)، میانگین خطاها یا اریبی (Bias)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCOR) است که محاسبه هر کدام از آنها بر اساس رابطه‌های (۱) تا (۴) در بخش روش کار بوده است.

در جدول ۵ با توجه به تعداد نقاطی که مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که به ترتیب ۱۳۱۲ نقطه برای ساعت ۸:۱۵ و ۴۱۶۴ نقطه برای ساعت ۱۹:۰۰، می‌توان عنوان کرد که نتایج شبیه‌سازی تطابق خوبی با مشاهدات را نشان می‌دهند. سنجه‌های آماری مربوط به Phys1 در بیشتر

موارد نتایج بهتری را نشان می‌دهند. به‌طور مثال جذر میانگین مربعات خطا برای متغیرهای محاسبه شده در Phys1 در پنج مورد از شش مورد مقایسه‌های جدول ۵ مقادیر کمتری از Phys2 دارد. همچنین با توجه به مقادیر مربوط به میانگین خطاها که می‌توانند به‌عنوان معیاری از فروتخمین و یا فرواتخمین مدل در نظر گرفته شوند می‌توان دید که مؤلفه نصف‌النهاری باد در ساعت ۸:۱۵ برای هر دو پیکربندی فروتخمین برآورد مدل را نشان می‌دهد. میانگین جذر میانگین مربعات خطا از تمامی کمیت‌های مورد بررسی برای Phys1 و Phys2 به ترتیب، ۱/۹۰ و ۲/۳۰ متر بر ثانیه است. مطابق جدول ۶ نیز میانگین جذر میانگین مربعات خطا برای Phys1 و Phys2 به ترتیب، ۲/۲۶ و ۲/۳۹ متر بر ثانیه است. در مجموع سنجه‌های آماری محاسبه شده از مقایسه نتایج مدل و ماهواره بسیار رضایت‌بخش‌اند.

جدول ۵. سنجه‌های آماری مربوط به نتایج مشاهدات سنجنده OSCAT با شبیه‌سازی مدل در دوم ژوئن ۲۰۱۰.

زمان (UTC)	پیکربندی	تعداد نقاط مقایسه	کمیت مورد بررسی	Ratio	Bias	RMSE	PCOR
۰۸:۱۵:۰۰	Phys1	۱۳۱۲	تندی باد تراز ۱۰ متر	۰/۸۵	-۰/۷۲	۲/۰۷	۰/۸۶
۱۹:۰۰:۰۰	Phys1	۴۱۶۴	تندی باد تراز ۱۰ متر	۱/۲۷	۱/۳۰	۱/۹۰	۰/۸۹
۰۸:۱۵:۰۰	Phys1	۱۳۱۲	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۱/۰۳	۰/۰۷	۱/۸۶	۰/۹۴
۱۹:۰۰:۰۰	Phys1	۴۱۶۴	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۰/۶۴	۰/۸۱	۱/۶۷	۰/۸۱
۰۸:۱۵:۰۰	Phys1	۱۳۱۲	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۰/۷۶	-۰/۸۳	۲/۰۸	۰/۹۰
۱۹:۰۰:۰۰	Phys1	۴۱۶۴	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۱/۲۲	۱/۲۸	۱/۸۲	۰/۹۲
۰۸:۱۵:۰۰	Phys2	۱۳۱۲	تندی باد تراز ۱۰ متر	۰/۹	۰/۱۲	۲/۲۸	۰/۸۱
۱۹:۰۰:۰۰	Phys2	۴۱۶۴	تندی باد تراز ۱۰ متر	۱/۳۲	۱/۲۸	۲/۰۰	۰/۸۷
۰۸:۱۵:۰۰	Phys2	۱۳۱۲	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۱/۱۲	-۲/۳۱	۳/۲۳	۰/۹۳
۱۹:۰۰:۰۰	Phys2	۴۱۶۴	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۰/۸	-۱/۰۲	۲/۰۷	۰/۶۷
۰۸:۱۵:۰۰	Phys2	۱۳۱۲	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۰/۹۵	-۰/۴۶	۱/۷۱	۰/۹۲
۱۹:۰۰:۰۰	Phys2	۴۱۶۴	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۱/۲۳	۱/۹۷	۲/۴۸	۰/۸۳

جدول ۶. سنجه‌های آماری مربوط به نتایج مشاهدات سنجنده ASCAT با شبیه‌سازی مدل در دوم ژوئن ۲۰۱۰.

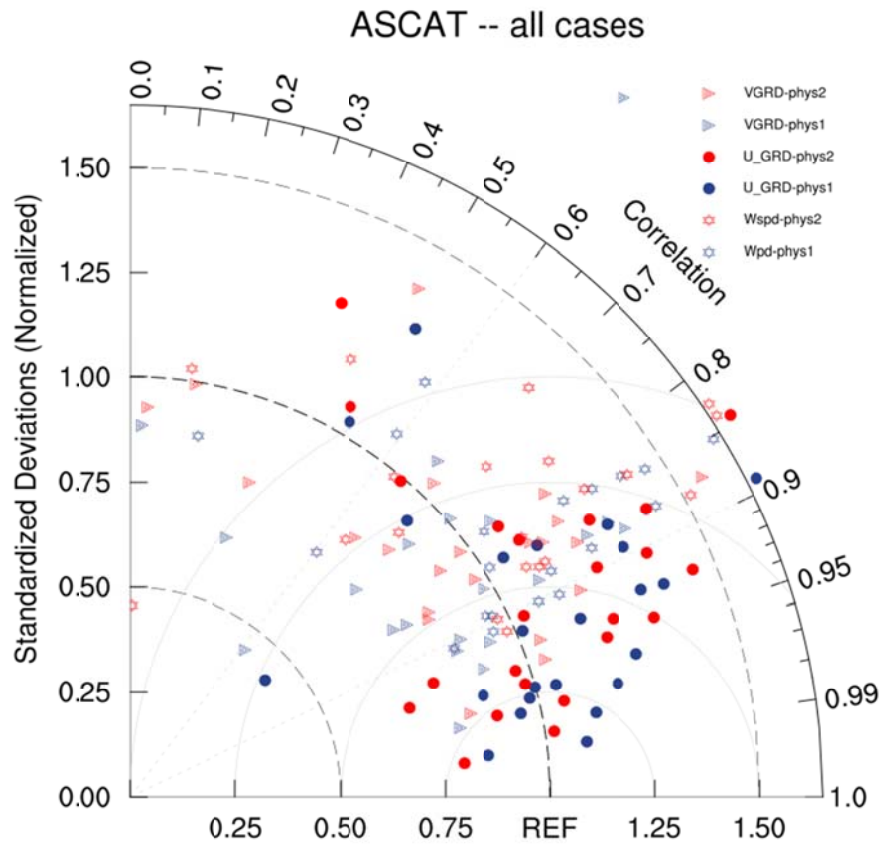
PCOR	RMSE	Bias	Ratio	کمیت مورد بررسی	تعداد نقاط مقایسه	پیکربندی	زمان (UTC)
۰/۹۰	۲/۰۸	۰/۷۶	۱/۱۲	تندی باد تراز ۱۰ متر	۴۱۸۸	Phys1	۰۶:۰۰:۰۰
۰/۸۹	۱/۸۲	۱/۱۷	۰/۹۵	تندی باد تراز ۱۰ متر	۵۵۴۹	Phys1	۱۷:۱۵:۰۰
۰/۹۷	۲/۸۰	۱/۰۱	۱/۱۹	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۴۱۸۸	Phys1	۰۶:۰۰:۰۰
۰/۹۲	۱/۸۹	۰/۹۹	۱/۳۱	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۵۵۴۹	Phys1	۱۷:۱۵:۰۰
۰/۹۱	۲/۹۲	-۰/۲۲	۰/۹۳	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۴۱۸۸	Phys1	۰۶:۰۰:۰۰
۰/۷۴	۲/۰۶	۰/۴۸	۰/۸۹	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۵۵۴۹	Phys1	۱۷:۱۵:۰۰
۰/۸۶	۲/۴۰	۰/۹۳	۱/۰۹	تندی باد تراز ۱۰ متر	۴۱۸۸	Phys2	۰۶:۰۰:۰۰
۰/۸۹	۱/۹۹	۱/۴۶	۰/۹۷	تندی باد تراز ۱۰ متر	۵۵۴۹	Phys2	۱۷:۱۵:۰۰
۰/۹۴	۳/۳۶	-۰/۱۳	۱/۱۹	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۴۱۸۸	Phys2	۰۶:۰۰:۰۰
۰/۹۰	۱/۸۸	-۰/۲۳	۱/۳۶	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر	۵۵۴۹	Phys2	۱۷:۱۵:۰۰
۰/۹۴	۲/۵۵	-۰/۸۱	۱/۰۴	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۴۱۸۸	Phys2	۰۶:۰۰:۰۰
۰/۸۴	۲/۱۶	۱/۵۳	۰/۸۳	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر	۵۵۴۹	Phys2	۱۷:۱۵:۰۰

شبیه‌سازی داشته است.

جدول ۷ مقادیر میانگین سنجه‌های آماری مربوط به نمودار تیلور شکل ۶ را نشان می‌دهد. مقادیر میانگین از تمامی اجراها برای جذر میانگین مربعات خطا و اریبی محاسبه شده است که برای جذر میانگین مربعات خطا بیشینه مقدار میانگین ۲/۳۹ و برای اریبی بیشینه مقدار میانگین ۱/۸ متر بر ثانیه برای است.

شکل ۷ و جدول ۸ نتایج مشابهی برای مقایسه با داده سنجنده OSCAT را نمایش می‌دهند. بیشینه مقدار میانگین جذر میانگین مربعات خطا ۲/۳۷ و بیشینه مقدار میانگین اریبی ۱/۶۵ با علامت منفی بوده است.

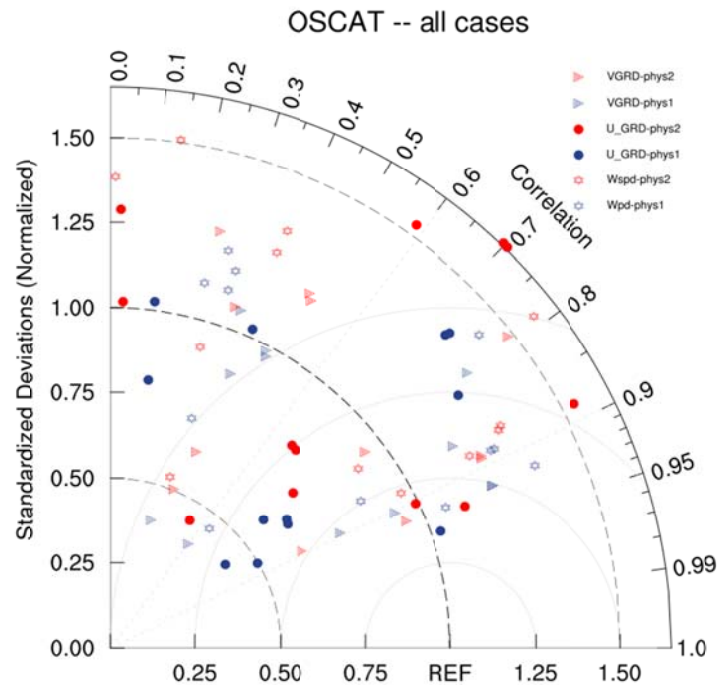
شکل ۶ نمودار تیلور مربوط به ارزیابی باد تراز ۱۰ متر با داده سنجنده ASCAT حاصل از نتایج کلی و برای تمامی تاریخ‌های مطالعه شده را نشان می‌دهد. نتایج برای تندی باد تراز ۱۰ متر، مؤلفه نصف‌النهاری و مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر افقی برای هر دو پیکربندی مورد آزمون آورده شده‌اند. در این نمودار می‌توان تراکم نتایج را در نزدیکی نقطه مرجع مشاهده کرد. همچنین از آن‌جا که Phys1 تعداد نماینده بیشتری در بخش مطلوب نمودار از نظر تطابق نتایج شبیه‌سازی با مشاهدات دارد می‌توان بیان کرد که Phys1 عملکرد بهتری برای شبیه‌سازی میدان باد در تاریخ‌های انجام



شکل ۶. نمودار تیلور مربوط به ارزیابی باد تراز ۱۰ متر با داده سنجنده ASCAT برای تمامی تاریخهای مطالعه شده.

جدول ۷. میانگین سنجه‌های آماری مربوط به نمودار تیلور شکل ۶ و حاصل از ارزیابی باد تراز ۱۰ متر با داده سنجنده ASCAT برای تمامی تاریخهای مطالعه شده.

avg-RMSE	avg-Bias	avg-Ratio	پیکربندی	عنوان اختصاری کمیت	کمیت مورد بررسی
۱/۶۹	۰/۲۴	۱/۱۱	Phys1	UGRD	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر
۲/۲۸	۰/۱۱	۱/۱۳	Phys2	UGRD	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر
۲/۳۹	۱/۸۰	۱/۰۵	Phys1	VGRD	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر
۲/۳۲	-۰/۱۰	۱/۱۴	Phys2	VGRD	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر
۱/۸۲	۱/۴۷	۱/۳۰	Phys1	Wspd	تندی باد تراز ۱۰ متر
۲/۰۱	۰/۵۰	۱/۳۴	Phys2	Wspd	تندی باد تراز ۱۰ متر



شکل ۷. نمودار تیلور مربوط به ارزیابی باد تراز ۱۰ متر با داده سنجنده OSCAT برای تمامی تاریخ‌های مطالعه شده.

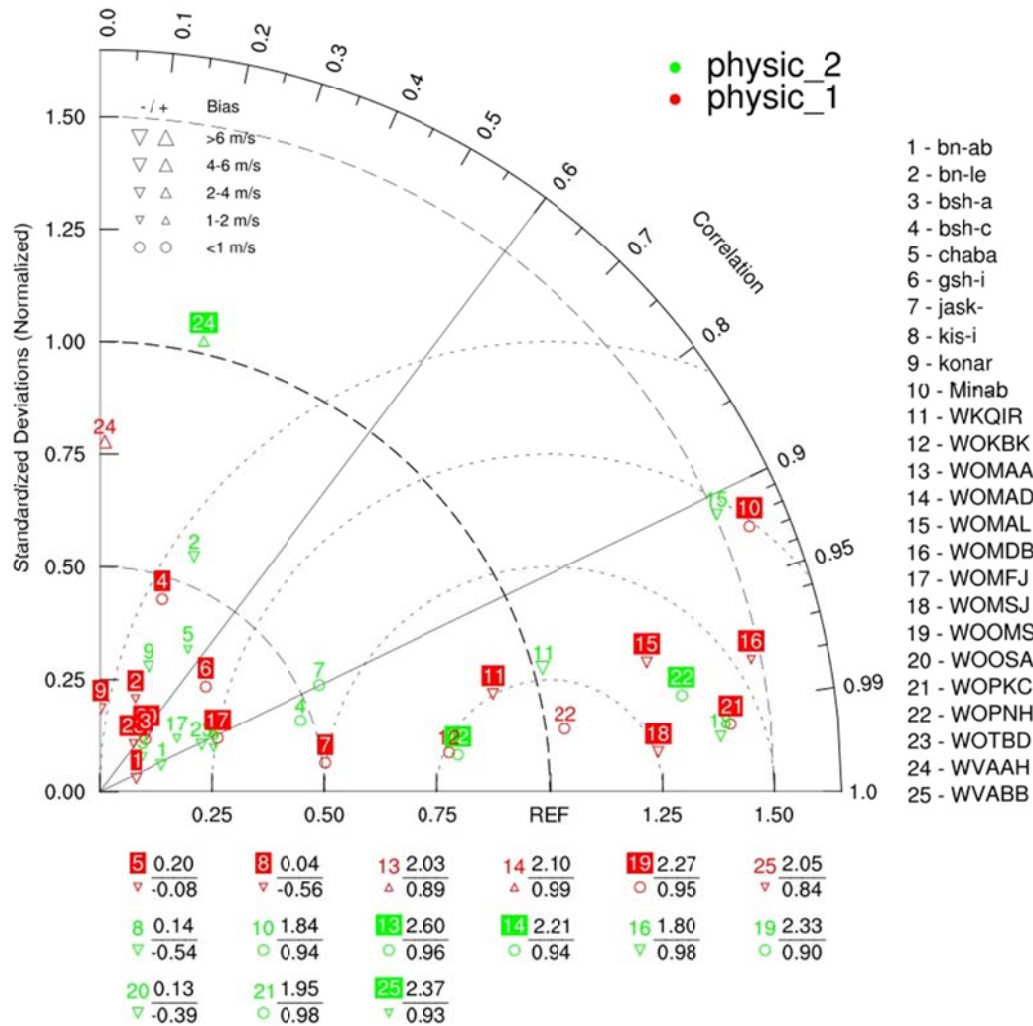
جدول ۸ میانگین سنجه‌های آماری مربوط به نمودار تیلور شکل ۷ و حاصل از ارزیابی باد تراز ۱۰ متر با داده سنجنده OSCAT برای تمامی تاریخ‌های مطالعه شده.

avg-RMSE	avg-Bias	avg-Ratio	پیکربندی	عنوان اختصاری کمیت	کمیت مورد بررسی
۱/۸۹	-۰/۷۴	۰/۸۸	Phys1	UGRD	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر
۲/۳۷	-۱/۶۵	۱/۱۲	Phys2	UGRD	مؤلفه مداری باد تراز ۱۰ متر
۱/۳۴	۰/۴۲	۰/۹۴	Phys1	VGRD	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر
۱/۴۶	۰/۳۲	۱/۰۲	Phys2	VGRD	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر
۱/۲۹	۰/۲۰	۱/۰۸	Phys1	Wspd	تراز ۱۰ متر
۱/۵۰	۰/۵۲	۱/۱۸	Phys2	Wspd	تندی باد تراز ۱۰ متر

در تیلور (۲۰۰۱) در اختیار قرار ندادن اطلاعات مربوط به ارزیابی است. در نمودار شکل ۸ ارزیابی نیز با کمک علامت‌گذاری آورده شده است. برای مقادیر ارزیابی زیر یک واحد، از درج علامت پرهیز شده است. بنابراین با رسم دایره CRMSE و مقادیر ارزیابی در نمودارهای تیلور می‌توان به‌طور نسبی تغییرات جذر میانگین مربعات خطا را نیز در این نمودار دنبال کرد. نمودار میله‌ای شکل ۹ که مقادیر جذر میانگین مربعات خطا را برای تمامی ایستگاه‌های مورد مقایسه رسم کرده است به این مقایسه کمک می‌کند.

در ارزیابی نتایج با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی نتایج شبیه‌سازی‌های مربوط به دمای تراز دومترا نیز با مشاهدات مقایسه شده است. شکل‌های ۸ و ۹ نتایج مربوط به این مقایسه را نشان می‌دهد. در شکل ۸ نمودار تیلور مربوط به مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهدات مربوط به دمای تراز دومترا برای ۲۵ ایستگاهی که در تاریخ مورد نظر در تمامی زمان‌های مقایسه مدل داده آنها موجود بوده است را نشان می‌دهد. نتایج به‌صورت میانگین‌گیری شده روی تمام زمان‌هایی که مقایسه انجام شده است ارائه شده‌اند. یکی از ضعف‌های نمودار تیلور کلاسیک معرفی شده

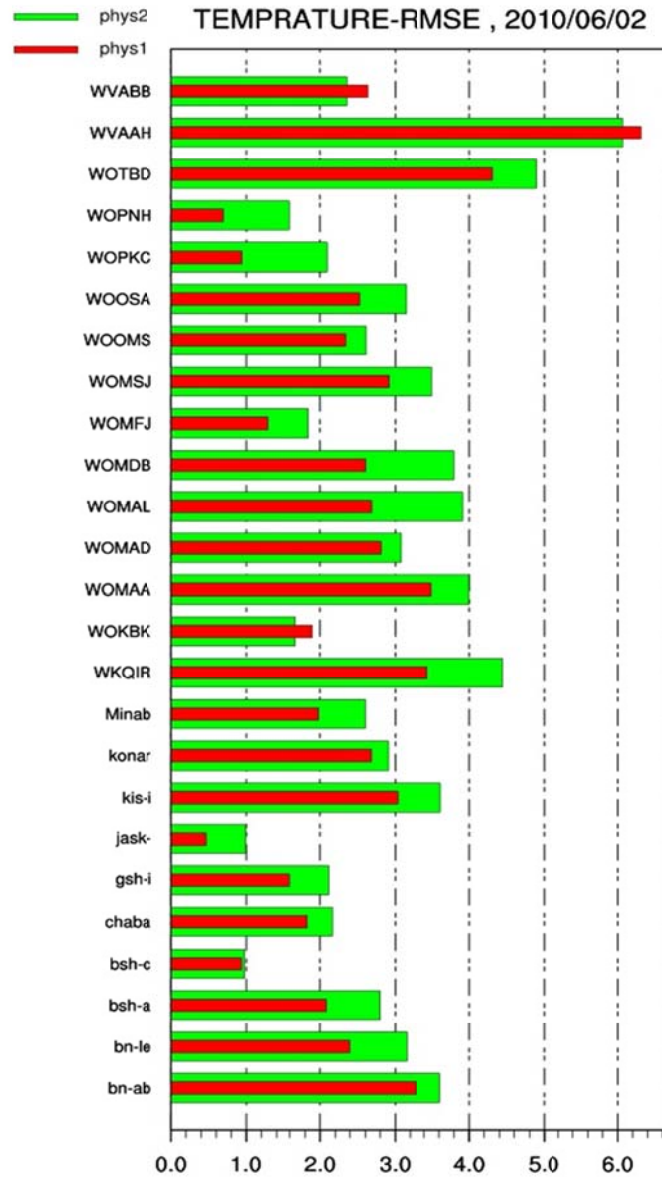
TEMP Date :2010/jun/02



شکل ۸. نمودار تیلور مربوط به ارزیابی دمای تراز دو متر با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی برای دوم ژوئن ۲۰۱۰.

نتایج نشان می‌دهند که به جز در ایستگاه شماره ۲۴، ضریب همبستگی برای بقیه ایستگاه‌ها بالای ۰/۵ می‌باشد. همچنین جذر میانگین مربعات خطا مربوط به این ایستگاه با توجه به نمودار شکل ۹ نزدیک به پنج درجه می‌باشد. از نقطه نظر بررسی عملکرد دو فیزیک، نتایج حاصل از Phys1 تعداد نماینده بیشتری در ناحیه ضریب همبستگی‌های بالای ۰/۹ دارد. همچنین میانگین جذر میانگین مربعات خطا ۲/۴۴ درجه بوده است که در ۱۲ ایستگاه این مقدار زیر مقدار میانگین است.

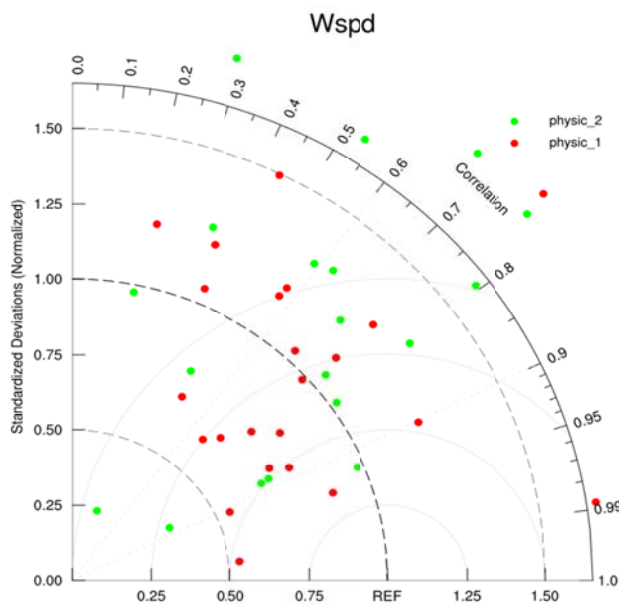
به دلیل تراکم بالای نقاط بر اساس میزان تراکم برخی اعداد در کادر قرار گرفته‌اند که تنها برای کمک به خوانایی اعداد و تفکیک ارقام از یکدیگر برای یک رنگ واحد می‌باشد. در نمودار شکل ۶-الف اطلاعات مربوط به نقاطی که ضریب همبستگی آنها منفی و یا نسبت انحراف معیارها بیشتر از ۱/۶ بوده و از این رو موقعیت آنها در خارج از نمودار قرار می‌گرفته است، به صورت یک عبارت کسری در قسمت زیر نمودار درج شده است. در این کسر مقادیر صورت نسبت انحراف معیارها و مقادیر مخرج مقدار ضریب همبستگی است.



شکل ۹. نمودار میله‌ای جذر میانگین مربعات خطا به تفکیک ایستگاه مربوط به ارزیابی دمای تراز دو متر با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی برای دوم ژوئن ۲۰۱۰.

دو ایستگاه در جنوب پاکستان و برای تمام تاریخ‌های شبیه‌سازی را نشان می‌دهند. شکل‌ها به ترتیب برای تندی باد و دما رسم شده‌اند.

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ دو نمودار تیلور رسم شده برای نتایج مربوط به ایستگاه‌های موجود در دریای عمان شامل: جاسک، کنار، چابهار، نیک‌شهر، دو ایستگاه از عمان و

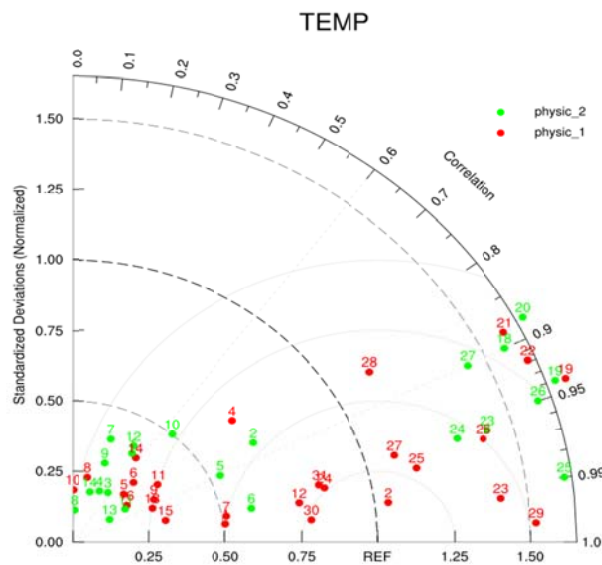


شکل ۱۰. نمودار تیلور حاصل از میانگین نتایج مقایسه تمامی شبیه‌سازی‌های انجام شده تندی باد تراز ۱۰ متر با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی جاسک، کنار، چابهار، نیک‌شهر، دو ایستگاه از عمان و دو ایستگاه در جنوب پاکستان. رنگ قرمز معرف نتایج برای Phys1 و رنگ سبز مربوط به Phys2 است.

تراکم نتایج در محدوده ضریب همبستگی ۰/۵ تا ۰/۹۵ قرار گرفته‌اند.

شکل ۱۱ نتایج شبیه‌سازی برای دمای تراز دومتر تا حد زیادی رضایت بخش‌اند بیشتر نتایج ضریب همبستگی بالای ۰/۸ را نشان می‌دهند و همچنین تعداد زیادی از نقاط معرف Phys1 در دایره داخلی نمودار به سمت نقطه مرجع قرار گرفته‌اند. در مجموع عملکرد Phys1 بهتر بوده است.

برای نتایج مربوط به تندی باد تراز ۱۰ متر در شکل ۱۰ پراکندگی نقاط نسبت به نمودار تیلور شکل‌های ۷ و ۸ مربوط به تندی و مؤلفه‌های باد بیشتر است. به‌طور کلی و بدون تفکیک ایستگاه به ایستگاه بررسی نتایج نشان می‌دهد که نتایج مربوط به تندی باد موارد مطالعه شده در نقاط فراساحلی و عمیق‌تر بهتر از نقاط ایستگاه‌های همدیدی بوده است. در ایستگاه‌های ذکر شده بیشترین



شکل ۱۱. نمودار تیلور حاصل از میانگین نتایج مقایسه تمامی شبیه‌سازی‌های انجام شده تندی باد تراز ۱۰ متر با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی جاسک، کنار، چابهار، نیک‌شهر، دو ایستگاه از عمان و دو ایستگاه در جنوب پاکستان. رنگ قرمز معرف نتایج برای Phys1 و رنگ سبز مربوط به Phys2 است.



#### ۴. نتیجه‌گیری

با بررسی سنج‌های آماری محاسبه شده برای تمامی تاریخ‌هایی که شبیه‌سازی انجام شده است این نتیجه حاصل می‌شود که در بخش ارزیابی با داده‌های ماهواره‌ای نتایج عملکرد مدل در حد قابل قبول و مناسب بوده است. در مقایسه عملکرد مدل بین پهنه‌های آبی و مناطق نزدیک به ساحل، ساحلی و ایستگاه‌های همدیدی می‌توان گفت نتایج عملکرد مدل در حوزه‌های بسته آبی از کیفیت قابل قبولی برخوردارند اما کیفیت کمتری نسبت به نتایج در آب‌های آزاد و مناطق بسیار دور از ساحل به سمت دریاها، دارند. در بخش ارزیابی با داده‌های همدیدی نتایج حاکی از عملکرد مناسب برای دمای تراز دو متر است. Phys1 در شبیه‌سازی دمای تراز دو متر مناسب‌تر عمل کرده است. در ارزیابی با داده‌های همدیدی، بهترین شبیه‌سازی‌ها برای مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۱۰ متر و بعد از آن برای تندی باد تراز ۱۰ متر بوده است.

در یک جمع‌بندی کلی و با توجه به میانگین سنج‌های آماری محاسبه شده و مقایسه کیفی بادهای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، تطابق خوبی را نشان می‌دهد و خصوصاً مقایسه نتایج مدل و ماهواره که در مناطق دور از ساحل انجام شده است بسیار رضایت‌بخش است. می‌توان این نتیجه را ناشی از یکنواخت بودن سطح زیرین دانست.

همچنین میزان تفکیک افقی نیز می‌تواند در به‌دست آمدن این نتایج مؤثر باشد. احتمال می‌رود با بهبود تفکیک افقی نتایج برای مناطق نزدیک ساحل نیز بهبود پیدا کند. شبیه‌سازی میدان باد تراز ۱۰ متر در دریاها از کیفیت مطلوبی برای هر دو فیزیک برخوردار بوده است و نتایج Phys1 در اغلب موارد برای سرعت باد تراز ۱۰ متر مناسب‌تر از Phys2 بوده است. نتایج به‌دست آمده محدود به منطقه و تاریخ‌های مورد بررسی شده می‌باشد و بسط آنها به حالت کلی‌تر نیاز به تحقیق و مطالعه گسترده‌تری دارد.

#### ۵. قدردانی

نگارندگان این مقاله از سازمان هواشناسی کشور برای همکاری سازنده و در اختیار قرار دادن داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منتخب کمال تشکر را دارند.

#### مراجع

قادر، س.، یازجی، د.، سلطانپور، م. و نعمتی، م. ح.، ۱۳۹۴، به‌کارگیری یک سامانه همدادی توسعه داده‌شده برای مدل WRF جهت پیش‌بینی میدان باد سطحی در محدوده خلیج فارس، دو فصلنامه هیدروفیزیک، ۱، ۴۱-۵۴.

Accadia, C., Zecchetto, S., Lavagnini, A. and Speranza, A., 2007, Comparison of 10-m wind forecasts from a regional area model and QuikSCAT Scatterometer wind observations over the Mediterranean Sea, *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1945-1960.

Atlas, R., Hoffman, R. N., Leidner, S. M., Sienkiewicz, J., Yu, T. W., Bloom, S. C., Brin, E., Ardizzone, J., Terry, J., Bungato, D. and Jusem, J. C., 2001, The effects of marine winds from scatterometer data on weather analysis and forecasting, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 1965-1990.

Cavaleri, L. and Bertotti, L., 2004, Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 56, 167-175.

Chang, R., Zhu, R., Badger, M., Hasager, C. B., Xing, X. and Jiang, Y., 2015, Offshore wind

resources assessment from multiple satellite data and WRF modeling over South China Sea, *Remote Sensing*, 7, 467-487.

Ghader, S., Yazgi, D., Haghshenas, S. A., Razavi Arab, A., Jedari Attari, M., Bakhtiari, A. and Zinsazboroujerdi, H., 2016, Hindcasting Tropical Storm Events in the Oman Sea, *Journal of Coastal Research*, 75(sp1), 1087-1091.

Jarraud, M., 2008, Guide to meteorological instruments and methods of observation (WMO-No. 8), World Meteorological Organisation: Geneva, Switzerland.

Jiménez, P. A., González-Rouco, J. F., García-Bustamante, E., Navarro, J., Montávez, J. P., De Arellano, J.V.G., Dudhia, J. and Muñoz-Roldan, A., 2010, Surface wind regionalization over complex terrain: Evaluation and analysis of a high-resolution WRF simulation, *Journal of Applied*

- Meteorology and Climatology, 49(2), 268-287.
- Pattanayak, S. and Mohanty, U. C., 2008, A comparative study on performance of MM5 and WRF models in simulation of tropical cyclones over Indian seas, Current Science, 95, 923-936.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Duda, M., Huang, X.-Y., Wang, W., and Powers, J., 2008, A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR.
- Taylor, K. E., 2001, Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 106(D7), 7183-7192.
- Vishnu, S. and Francis, P. A., 2014, Evaluation of high-resolution WRF model simulations of surface wind over the west coast of India, Atmospheric and Oceanic Science Letters, 7, 458-463.
- Wang, W., Bruyère, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., Lin, H., Michalakes, J., Rizvi, S.Z.X., Beezley, J.D., Coen, J. L. and Mandel, J., 2010, User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) Version 3.5. NCAR (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/>).

## A Case study of WRF model performance to hindcast of 10-m wind and 2-m temperature against the satellite and synoptic stations data over the Gulf of Oman and The Arabian Sea

Bahmanzade, F.<sup>1</sup>, Ghader, S.<sup>2\*</sup>, Haghshenas, S. A.<sup>3</sup> and Yazgi, D.<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Post-Doc, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 21 Oct 2018, Accepted: 14 May 2019)

### Summary

Reliable and sufficient information of 10-m wind and temperature fields over open seas and near coastlines is a necessary and important data that has impact on many marine activities. Assimilation of NWP models can be used to assess an estimation of these fields. This study reports the performance of the weather research and forecasting (WRF) model to hindcast 10-m wind and temperature fields that were evaluated under two different physical options of planetary boundary layer (PBL) and surface layer (SL) for an area over the Gulf of Oman and the Arabian Sea. The case study includes 16 simulations of 8 different days from WRF model version 3.7.1. The WRF model is configured with two nests. Parent nest has 0.3 degree and the inner nest has 0.1 degree horizontal grid resolution. The grid spacing of the inner domain is almost 11-km. The Lat-Lon (latitude-longitude) method is used as the map projection method. For all domains and all runs 39 terrain following vertical levels are set. The validation of the simulated fields is done considering two observational datasets (the weather stations for 10-m wind and 2-m temperature and satellite instruments just for 10-m wind). Near-surface observations of 2-m temperature and 10-m wind speed and direction are collected from 55 weather stations, located within the chosen area. The measurements from satellite instruments have become an important source of data in the regions that in-situ observations are sparse like seas and oceans, hence observations from two different scatterometers (ASCAT and OSCAT) are also used to evaluate 10-m wind simulations. Moreover, in order to better understand the model performance for different choices of the physical schemes, sensitivity of the model has been investigated. There is plenty of choices for the combination of parameterization schemes available for WRF model; for the current study two configurations are taken from other's previous published research works. The physical parameterization that used in this study are Revised MM5 and Monin-Obukhov for surface layer and MRF and MYJ for planetary boundary layer. These choices are used to create two different configurations called Phys1 and Phys2. Comparison between winds from satellite scatterometer and simulated winds show very little difference and hence good agreement with observations. Acceptable accuracy has been obtained from statistical analyses. These analyses demonstrate that the maximum average RMSE of wind field is 2.39 m/s, based on results of comparing with ASCAT data and it is 2.37 m/s, based on results of comparing with OSCAT data. The analyses also show that simulation of wind fields have better results over offshore regions than coastlines weather stations. The outcome shows that the simulated 10-m wind present acceptable general skills over the sea. The validation of 2-m temperature presents that the model has a proper estimation about temperature field over the coasts and near coastal station within the simulation domain. The maximum average RMSE of temperature field is 2.6 degrees of centigrade. Finally, without any justification to run WRF for longer periods from a quantitative and qualitative assessment of the results, it can be concluded that for the WRF model has an acceptable performance to simulate 10-m wind and 2-m temperature over the Gulf of Oman and the Arabian Sea. It should be noted that to verify these results for longer periods more similar experiments must be tested.

**Keywords:** The WRF model, Satellite data, ASCAT, OSCAT, Oman Gulf, Arabian Sea.

\*Corresponding author:

sghader@ut.ac.ir