



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Long-term Study of Low-Level Wind Field in the Strait of Hormuz: Observational and Reanalysis Data

Mojtaba Hamzenejad<sup>1</sup>, Hosein Malakooti<sup>2\*</sup>, Mona Zarghamipour<sup>3</sup>

1- Ph.D. Candidate University of Hormozgan , Faculty of Maritime Sciences and Technologies, hormozgan, Iran.

2- Professor University of Hormozgan , Faculty of Maritime Sciences and Technologies, hormozgan, Iran.

3- Ph.D. Candidate University of Hormozgan , Faculty of Maritime Sciences and Technologies, hormozgan, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 2021/12/9

Revised: 2023/07/8

Accepted: 2022/11/20

#### Keywords:

Low level wind ,  
Numerical simulation ,  
Sea-Land breeze ,  
Teleconnection ,  
WRF ,  
Strait of Hormuz ,

\* Corresponding author:

[✉malakooti@hormozgan.ac.ir](mailto:malakooti@hormozgan.ac.ir)

ORCID: 0000-0003-2208-1238

doi: 10.52547/joc.14.53.4

doi:20.1001.1.15621057.1402.14.53.4.8

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** The Wind field is known as an important variable that significantly affects the behavior of other key meteorological variables. We aim to study the low-level wind field of the Strait of Hormuz from 1996 to 2018.

**Methods:** In this study, wind observational data at 10m AGL from three meteorological stations (Bandar Abbas, Qeshm Airport, and Dubai), monthly averages, and 6-hour ECMWF ERA-Interim data were used. Additionally, three key indicators of oceanic climatological oscillation (El Niño–Southern Oscillations, North Atlantic Oscillations, and Indian Ocean Dipole) were utilized to study the low-level wind field of the Strait of Hormuz from 1996 to 2018. For this purpose, the correlations of the MEL.v2, NAO and DMI indexes with the surface wind speed of the Strait of Hormuz have been investigated respectively. Also, in this research, the performance of the WRF model in simulating the low-level (surface) wind in the Strait of Hormuz has been investigated.

**Findings:** The results showed that in the Strait of Hormuz, the direction of prevailing wind has occurred westerly during winter and Southwesterly during spring, Southerly to Southeasterly during summer and Southwesterly during autumn. The maximum of 10m daily observational mean wind speed was observed about 5.3 m/s and it was occurred at Qeshm Airport station. The results of the correlation between zonal/meridional wind components and MEL.v2, NAO and DMI indices with a time delay up to 12 months in each station, show a low correlation of around 0.30 at all three stations. In all seasons and throughout the Strait of Hormuz, the mean value of wind speed in the neutral phase of ENSO has experienced higher values compared to the long-term average, the positive (El Niño) and negative (La Niña) phases. The results show the acceptable performance of the WRF model in simulating the wind field of the Strait of Hormuz.

**Conclusion:** A lower level of wind speed was observed in the Strait of Hormuz compared to the middle of the Persian Gulf, indicating lower synoptical forcing and also the importance of meso-local forcing over this region. The decrease in wind field speed with its counterclockwise deviation at the western entrance of the Strait of Hormuz, can be attributed to the presence of islands surface roughness and drag, as well as differences in synoptic forcing between two sea sides of this Strait. This is especially notable during summer and autumn (slight convergence in low level) in contrast to the funnel-shaped coastline at the western entrance of wind. Also, in all three selected stations, diurnal variation of wind speed and direction (daily wind regime) confirms the occurrence of sea breeze and land breeze in the coastal areas of the study area. Among the stations, the highest incidence of sea breeze and land breeze was observed at Bandar Abbas station.



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

11



NUMBER OF REFERENCES

22

## مقاله پژوهشی

## مطالعه بلند مدت میدان باد تراز پایین منطقه تنگه هرمز: داده‌های مشاهداتی و باز تحلیل

مجتبی حمزه نژاد<sup>۱</sup>، حسین ملکوتی<sup>۲\*</sup>، منا ضرغامی پور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری رشته هواشناسی، گروه علوم جوی و اقیانوسی (غیرزیستی)، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

۲- استاد، گروه علوم جوی و اقیانوسی (غیرزیستی)، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

۳- دانشجوی دکتری دانشگاه هرمزگان - - دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۸

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۲/۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲۹

## واژگان کلیدی:

باد سطحی

شبیه سازی عددی

نسیم دریا- خشکی

الگوهای دورپیوند

تنگه هرمز

\*نویسنده مسئول

✉malakooti@hormozgan.ac.ir

ORCID: 0000-0003-2208-1238

doi: 10.52547/joc.14.53.4

dor:20.1001.1.15621057.1402.14.53.4.8

**پیشینه و اهداف:** میدان باد به عنوان یک متغیر مهم شناخته می‌شود که اثرات قابل توجهی بر رفتار سایر متغیرهای کلیدی هواشناسی دارد. هدف ما بررسی میدان باد تراز پایین بر روی تنگه هرمز از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۸ است.

**روش‌ها:** در مطالعه حاضر از داده‌های مشاهداتی ارتفاع ده متری ۳ ایستگاه هواشناسی (بندرعباس، قشم فرودگاهی و دبی)، داده‌های میانگین ماهانه و ۶ ساعته ECMWF ERA-Interim و شاخص‌های نوسانات جنوبی النینو، اطلس شمالی و دو قطبی هند جهت مطالعه میدان باد سطحی تنگه هرمز طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. برای این منظور از همبستگی شاخص‌های NAO, MEI.v2 و DMI با سرعت باد سطحی تنگه هرمز به ترتیب موردبررسی قرار گرفته است. هم‌چنین در این پژوهش عملکرد مدل WRF در شبیه سازی باد تراز پایین (سطحی) در تنگه هرمز به صورت موردی بررسی شده است.

**یافته‌ها:** سمت باد غالب در تنگه هرمز در فصل زمستان و بهار به ترتیب غربی و جنوب غربی، تابستان جنوبی تا جنوب شرقی و پاییز جنوب غربی مشاهده گردید. بیشترین میانگین سرعت باد مشاهداتی ارتفاع ده متری در طول روز، حدود ۵/۳ متر بر ثانیه و در ایستگاه قشم فرودگاهی مشاهده شد. همبستگی کمتر از ۰/۳۰ بین تغییرات زمانی شاخص‌های دور پیوند NAO, MEI.v2 و DMI با مؤلفه‌های باد (مداری / نصف النهاری) در ایستگاه‌های بندرعباس (OIKB)، فرودگاه قشم (OIKQ) و دبی (OMDB) مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد، میانگین سرعت باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه، در فاز خنثی انسو، نسبت به فازهای مثبت و منفی از مقادیر بالاتری برخوردار بوده است. هم‌چنین در این پژوهش عملکرد قابل قبول مدل WRF در شبیه‌سازی میدان باد تنگه هرمز نشان داده شد.

**نتیجه‌گیری:** سرعت باد کمتر در تنگه هرمز بیانگر واداشت ضعیف بزرگ مقیاس نسبت به واداشت‌های میان مقیاس محلی بر روی تنگه است. افت، انحراف پادساعت‌گرد و کانالیزه شدن میدان باد را می‌توان متأثر از الگوی خط ساحلی، ناهمواری و زبری در سواحل، اصطکاک کمتر روی سطح دریا و تفاوت در واداشت‌های طرفین دریایی دانست. الگوی روزانه میدان باد مشاهداتی نشان‌دهنده رخداد گردش‌های ساحلی جوی منطقه مورد مطالعه است و بیشترین رخداد نسیم دریا و خشکی در ایستگاه بندرعباس مشاهده شد.

## مقدمه

زیاد در حین سال مشاهده می‌شود و از طرف دیگر در دریای عمان هم بادهای نظاممند هستند [۸]. یکی از مشخصه‌های خلیج فارس عمق کم آن است و این منطقه به صورت موردی با استقرار سامانه‌های متغیر دوره‌ای موسمی همراه است. این منطقه از نظر دینامیکی، ناحیه‌ای خاص بوده و همواره مورد علاقه اقیانوس‌شناسان و هواشناسان بوده است [۱۳]. تنگه هرمز باریکه دریایی خمیده شکلی است که در انتهای قسمت شرقی خلیج فارس واقع شده است و فلات ایران را از شبه‌جزیره عربستان جدا می‌کند و آب‌های خلیج فارس را به دریای عمان و اقیانوس هند پیوند می‌دهد. جزیره قشم بزرگترین جزیره ایران در خلیج فارس می‌باشد که در شمال باختری تنگه هرمز قرار دارد و طول آن ۱۱۵ کیلومتر و عرض آن از ۱۰ تا ۳۵ کیلومتر در نواحی مختلف متغیر است. بیشترین عرض جزیره در امتداد محوری است که بندر لافت را به روستای شیب دراز متصل می‌کند [۵]. مؤلفه باد در راستای خط ساحلی و عمود بر خط ساحلی در زمینه‌های کشتیرانی، خوردگی و حفاظت از سازه‌های ساحلی، مهندسی سواحل، انتقال موج در حوضچه بندر و تعیین میزان حمل رسوبات در آن، بسیار حائز اهمیت است. در پیش‌بینی امواج، مهم‌ترین مفروضات مدل‌های پیشرفته، میدان باد و تغییرات زمانی آن است. وجود باد غالب در یک منطقه و تداوم نسیم دریا و خشکی، مناطق ساحلی را تحت فرسایش و تغییر دائم قرار می‌دهد [۷]. در این پژوهش به بررسی میدان باد تراز پایین (سطحی) بر روی منطقه تنگه هرمز به صورت بلندمدت با داده‌های مشاهداتی و باز تحلیلی پرداخته شده است (لازم به ذکر است که به دلیل نبود ایستگاه هواشناسی در تمام نقاط، از داده‌های باز تحلیل برای بررسی و تحلیل بیشتر الگوی میدان باد در تنگه هرمز استفاده شده است). همچنین به منظور بررسی عملکرد مدل WRF در شبیه‌سازی میدان باد تراز پایین در تنگه هرمز در کوچک مقیاس و بررسی تأثیر شرایط محلی، به مطالعه موردی در فصول مختلف سال پرداخته شده است.

## روش پژوهش

## ۱. منطقه مورد مطالعه

تنگه هرمز آبراهی است بین استان هرمزگان ایران و استان مسندم (Masandam) عمان که دریای عمان را به خلیج فارس اتصال می‌دهد (شکل ۱). این گذرگاه یکی از راهبردی‌ترین مسیرهای بین‌المللی کشتیرانی در جهان به شمار می‌آید. طول این آبراه ۱۵۸ کیلومتر و عرض آن از بندرعباس تا رأس مسندم در عمان بین ۵۶ تا ۱۸۰ کیلومتر است [۱۱]. ژرفای تنگه هرمز از خلیج فارس بیشتر است و شیب کف آن از قسمت شمال به جنوب متغیر است، به طوری که نزدیکی جزیره لارک، در حدود ۳۶ متر و در ساحل جنوبی و در نزدیکی شبه‌جزیره مسندم به بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد. قوس آن، رو به شمال و به طرف درون فلات ایران قرار دارد و

با یکی از متغیرهای هواشناسی با اهمیت است که اثرات قابل توجهی بر دیگر متغیرهای هواشناسی مانند فشار، دما و رطوبت دارد. کشور ایران در منطقه عرض میانی با وزش بادهای غربی واقع شده و جهت عمومی وزش بادهای ایران از شمال غربی تا جنوب غربی است. در بعضی نواحی ایران عمدتاً به دلیل شرایط خاص منطقه‌ای، جهت وزش باد متفاوت از جهت عمومی است. همچنین سرعت وزش بادهای غیر غالب هم می‌تواند از سرعت متوسط وزش بادهای غربی بیشتر باشد [۴]. طبق مطالعات [۱۳] بر روی سواحل خلیج فارس عمق نفوذ نسیم در دریا تقریباً ۱۱۵ کیلومتر و در خشکی در اکثر ماه‌های سال کمتر از ۸۰ کیلومتر است. این نفوذ در تابستان به ۱۳۰ کیلومتر افزایش می‌یابد. به عبارتی ابعاد این پدیده بین ۱۹۵ کیلومتر و ۲۴۵ کیلومتر متغیر است. در تحقیقی که توسط [۹] در سواحل کشور امارات متحده عربی صورت گرفت، باد غالب در فصل تابستان به صورت غربی و در مواقع دیگر سال باد شرقی، برآورد شد. برخلاف دیگر نقاط ساحلی، در سواحل کشور امارات متحده عربی حداکثر سرعت باد در نیمه شب اتفاق می‌افتد، به طوری که شب هنگام سرعت باد از ۱ تا ۲ متر بر ثانیه به ۵ تا ۸ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. در اکثر ساعات روز جهت باد بر خط ساحلی عمود است و این تأکیدی بر وجود نسیم دریا و خشکی در این ناحیه است. در بیشتر از ۷۷ درصد مواقع نسیم دریا به خشکی و ۷۰ درصد موارد نسیم خشکی به دریا اتفاق می‌افتد. دور پیوندها، نوسانات در گردش‌های دینامیکی از یک شاخص اقلیمی در یک ناحیه را به تغییرات در متغیرهای اقلیمی در ناحیه‌ای دورتر پیوند می‌دهند. بررسی بلند مدت میدان باد نشان از افزایش نسبی سرعت باد توسط خروجی‌های مدل باز تحلیل و کاهش نسبی آن توسط مشاهدات ماهواره‌ای دارد [۱]. پژوهش [۶] در دکل هواشناسی نیروگاه بوشهر نشان می‌دهد که 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 نمی‌گیرد، 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. تحقیقی که توسط [۱۰] بر روی تأثیرات دور پیوندها بر روی سرعت باد در بلندمدت در امارات متحده عربی با استفاده از شبکه عصبی موجک صورت پذیرفت، نشان داد که به طوری که همزمان دو شاخص نوسان اطلس شمالی و نوسان اطلس شرقی، سرعت باد در تابستان را تعدیل می‌کند در حالی که نوسان جنوبی النینو (انسو) و نوسان دو قطبی اقیانوس هند بر روی سرعت باد در پاییز و زمستان تأثیرگذار هستند [۱۳]. مطالعات در خلیج فارس نشان می‌دهد که در غرب خلیج فارس همواره بادهای شمال غربی حاکم است و بادهای نظاممند هستند اما در سواحل شرقی خلیج فارس و تنگه هرمز نسیم دریا - خشکی با درصد رخدادهای



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های موجود در منطقه (نقاط مشکی) و ایستگاه‌های مورد مطالعه (نقاط قرمز). OIKB, OIKQ, OMDB.

جدول ۱: موقعیت سه ایستگاه مورد مطالعه

ایستگاه	کد هوانوردی	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)	ارتفاع از میانگین تراز دریا (متر)	فاصله از ساحل (متر)
بندرعباس	OIKB	۲۷° ۱۲'	۵۶° ۲۲'	۱۰	۲۵۶۰
قشم فرودگاه	OIKQ	۲۶° ۴۵'	۵۵° ۵۳'	۶	۳۰۰۰
دبی	OMDB	۲۵° ۱۵'	۵۵° ۲۲'	۱۹	۸۰۰۰

#### ۴. شبیه‌سازی عددی موردی میدان باد سطح

در گام بعد، جهت بررسی عملکرد مدل WRF در ریزمقیاس نمایی داده‌های باز تحلیل ERA-Interim و شبیه‌سازی میدان باد در تنگه هرمز، به مطالعه موردی پرداخته شده است. برای ایجاد شرایط اولیه و مرزی جهت شبیه‌سازی عددی میدان باد منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل WRF، داده‌های شش ساعته ERA-Interim با تفکیک  $0.75 \times 0.75$  (طول  $\times$  عرض) درجه در چهار بازه زمانی چهار روزه برای چهار ماه ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر سال ۲۰۱۶ استخراج و به کار گرفته شد. این بازه‌های زمانی به علت تبعیت از شرایط غالب و عدم واداشت هم‌دیدگی معنی‌دار انتخاب شده‌اند. با طراحی چهار دامنه تلسکوپی، شبکه‌بندی، شبکه‌گذاری اطلاعات سطح، شرایط اولیه و مرزی، شرایط برای شبیه‌سازی منطقه‌ای با مدل WRF آماده شد. شکل ۲ پوشش مکانی منطقه شبیه‌سازی چهار دامنه انتخابی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در

در نتیجه بیشترین خط ساحلی آن در راستای کرانه‌های ایران قرار گرفته است [۱۱]. ایستگاه‌های هواشناسی موجود و مورد مطالعه (OIKB, OIKQ, OMDB) در اطراف تنگه هرمز در شکل ۱ و همچنین مشخصات سه ایستگاه مورد مطالعه (OIKB, OIKQ, OMDB) در جدول ۱ آورده شده است.

#### ۲. اطلاعات مشاهداتی

در گام اول به منظور تجزیه و تحلیل رفتار باد سطحی در منطقه مورد مطالعه، داده‌های ساعتی سمت و سرعت باد سطح زمین ایستگاه‌های هواشناسی هم‌دیدگی بندرعباس (OIKB)، قشم فرودگاهی (OIKQ) و دبی (OMDB) طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۸ از اداره کل هواشناسی هرمزگان و وب سایت (<https://www.wunderground.com>) اخذ گردید. در تحلیل مشاهداتی با استفاده از داده‌های سرعت و جهت باد گرفته شده از ایستگاه‌های هواشناسی منتخب، به بررسی الگوی باد در طی دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۶ پرداخته شده است. با استفاده از گلبادهای ایستگاه‌های مطالعه که به صورت روزانه و شبانه تهیه شده است، رفتار غالب باد ایستگاهی تحلیل شده است. ساعات ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ UTC جهت تهیه گلباد روزانه و ساعات ۰۰، ۱۵، ۱۸، ۲۱ UTC جهت تهیه گلباد شبانه در نظر گرفته شده است. رفتار میانگین ماهانه باد در حین شبانه روز نیز مورد تحلیل قرار گرفته است.

#### ۳. اطلاعات باز تحلیل میانگین ماهانه ERA-Interim

در گام بعدی، به دلیل نبود ایستگاه هواشناسی در تمام نقاط تنگه هرمز جهت تحلیل الگوهای میانگین ماهانه میدان باد خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان، داده‌های میانگین ماهانه ERA-Interim باد مداری و نصف‌النهاری با تفکیک افقی  $0.75$  درجه، در بازه زمانی (۲۰۱۸-۱۹۹۶) دریافت شد و الگوهای متوسط ماهانه و فصلی باد در سه دامنه متفاوت و در ترازهای استاندارد جو، برای چهار ماه ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر (به‌عنوان نماینده فصل‌ها) تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. سه دامنه‌ی الف) وسیع، ب) پوشش منطقه‌ای و پ) تنگه هرمز در نظر گرفته شد (شکل ۳). محدوده دامنه وسیع، منطقه وسیعی از اوراسیا، ۰ تا ۱۰۰ درجه طول جغرافیایی شرقی و ۱۰- تا ۶۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی را شامل می‌شود. محدوده دامنه پوشش منطقه‌ای، ۴۵ تا ۶۴ درجه طول جغرافیایی شرقی و ۲۰ تا ۳۳ درجه عرض جغرافیایی شمالی و محدوده دامنه تنگه هرمز، ۵۴ تا ۵۸ درجه طول جغرافیایی شرقی و ۲۴ تا ۲۸ درجه عرض جغرافیایی شمالی در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: طرح‌واره‌های فیزیکی انتخاب شده برای اجرای شبیه‌سازی‌ها

طرح‌واره	طرح‌واره فیزیکی انتخابی
میکروفیزیک ابر	WSM 6 [16]
تابش طول موج کوتاه	Dudhia [17]
تابش طول موج بلند	Rapid Radiative Transfer Model [18]
فیزیک خاک	Pleim-Xiu [22]
فیزیک سطح	Noah Land Surface Model [21]
لایه مرزی	ACM2 [20]
همرفت کومولوسی	Kain-Fristch [19]

جدول ۳: داده‌های شاخص MEI.v2 و سال رخداد در ماه‌های منتخب هر فصل. سطرها بیانگر شاخص مثبت (النینو)، خنثی و شاخص منفی (لاتینا) است (psl.noaa.gov/enso/mei).

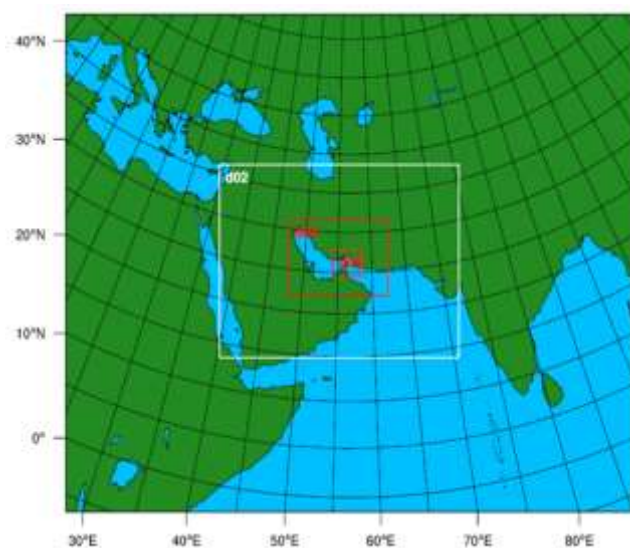
اکتبر	جولای	آوریل	ژانویه	
سال شاخص	سال شاخص	سال شاخص	سال شاخص	سال شاخص
۲۰۱۵	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۲۰۱۰	النینو (مثبت)
۲/۱۱	۲/۱۱	+۲/۵۵	۰/۹۳	+
۲۰۱۴	۲۰۰۳	۲۰۰۳	۲۰۱۳	خنثی
+۰/۰۷	+۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۰۵	-
۲۰۱۰	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۱	لاتینا (منفی)
-۲/۱۸	-۲/۴۳	-۱/۷۴	-۱/۸۳	-

##### ۵. تأثیرات الگوهای دور پیوند بر باد تنگه هرمز

پدیده نوسان جنوبی النینو (El Nino Southern Oscillation)، مهم‌ترین نوسان اقیانوسی است که منجر به ناهنجاری‌های بزرگ آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان می‌شود. نوسان جنوبی النینو یک الگوی ارتباط از راه دور جهانی است که با نوسانات فشار جو و ناموزونی دما در سطح دریا همراه است و به اختصار انسو (ENSO) نامیده می‌شود. مزیت شاخص چند متغیره انسو (MEI) نسبت به سایر شاخص‌های انسو، کثرت عناصر به کار گرفته شده در شاخص و در نتیجه دقیق‌تر بودن آن است. شش عاملیت که شاخص MEI تابعی از آنها محسوب می‌شود عبارتند از: فشار سطح دریا، مؤلفه مداری باد

شکل ۲ دیده می‌شود، دامنه اول ( $N_x \times N_y: 180 \times 130$ ) با تفکیک افقی ۵۴ کیلومتر، منطقه وسیعی از اوراسیا را پوشش می‌دهد. دامنه دوم ( $N_x \times N_y: 202 \times 151$ ) با تفکیک افقی ۱۸ کیلومتر، به کار گرفته شد. دامنه سوم ( $N_x \times N_y: 250 \times 178$ ) با تفکیک افقی ۶ کیلومتر، نیمه جنوبی کشور ایران همچنین محدوده خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان را شامل شده است و دامنه چهارم ( $190 \times 226$ ) با تفکیک افقی ۲ کیلومتر، تنگه هرمز را پوشش می‌دهد. در تفکیک ۱۸ کیلومتر و بالاتر، مدل قادر خواهد بود تأثیرات جنس خاک، توزیع کاربری‌های میان مقیاس و توزیع خشکی و دریا را روی میدان‌های باد و دما به خوبی شبیه‌سازی کند. در این مطالعه، تعداد ترازهای قائم، ۳۸ لایه‌ای در نظر گرفته شد که تراز پایین تفکیک قائم بالایی در نظر گرفته شد تا باد تراز پایین با دقت بهتری شبیه‌سازی شود. جدول ۲ پیکربندی طرح‌واره‌های فیزیکی بکار بسته شده برای بازه‌های انتخابی در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد که برگرفته از اعتبارسنجی صورت گرفته در مطالعه ضرغامی پور و ملکوتی است [۳]. لازم به ذکر است که طرح‌واره همرفت کومولوس در سه دامنه آخر به دلیل تفکیک فضایی بالا غیرفعال بوده است.

به منظور ارزیابی شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مطالعه، اعتبارسنجی سرعت و جهت باد شبیه‌سازی شده با اطلاعات مشاهداتی سه ایستگاه منطقه صورت پذیرفت. برای انجام اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌ها از کمیت‌های آماری میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و اختلاف بردار باد (VWD) استفاده شده است. علاوه بر آن با ارزیابی اطلاعات باز تحلیل ECMWF توسط اطلاعات مشاهداتی به بررسی و مقایسه بین داده‌های باد شبیه‌سازی شده و داده‌های باز تحلیل پرداخته شده است.



شکل ۲: پوشش مکانی منطقه شبیه‌سازی چهار دامنه انتخابی

در ایستگاه قشم فرودگاهی (شکل ۳ ب)، باد غالب با سهم ۲۹ درصد موارد، از سمت جنوب غرب ملاحظه شده است و مقدار میانگین سرعت باد در این ایستگاه،  $3/6$  متر بر ثانیه برآورد شده است. سمت باد غالب در تمام فصول سال جنوب غربی بوده و نفوذ بادهای شرقی صورت نگرفته است. در بین فصول مختلف سال بیشترین میانگین سرعت باد در فصل بهار و با مقدار  $4/4$  متر بر ثانیه اتفاق افتاده است. در ساعات روز سمت باد غالب جنوب غربی و میانگین سرعت باد  $5/3$  متر بر ثانیه مشاهده می‌شود در صورتی که در ساعات شب سمت باد غالب شمال شرقی و میانگین سرعت باد  $2$  متر بر ثانیه دیده می‌شود.

در ایستگاه دبی (شکل ۳ پ)، مقدار میانگین سرعت باد به صورت کلی  $3/6$  متر بر ثانیه برآورد شده است و باد غالب با سهم ۱۹ درصد موارد، از سمت شمال غرب ملاحظه شده است. سمت باد غالب در فصل بهار و زمستان غربی و در فصل تابستان و پاییز شمال غربی بوده است و در بین فصول مختلف سال بیشترین میانگین سرعت باد در فصل بهار و با مقدار  $3/7$  متر بر ثانیه اتفاق افتاده است. در ساعات روز سمت باد غالب شمال غربی و میانگین سرعت باد  $3/8$  متر بر ثانیه مشاهده می‌شود در صورتی که در ساعات شب سمت باد غالب جنوبی و میانگین سرعت باد  $3/3$  متر بر ثانیه دیده می‌شود. تغییرات سمت باد و گردش روزانه آن نشان‌دهنده رخداد نسیم دریا و نسیم خشکی در این ایستگاه است.

نتایج به دست آمده در شکل ۴، تغییرات ماهانه مؤلفه مداری و نصف النهاری باد در ایستگاه‌های یاد شده به لحاظ بیشینه، میانه و کمینه هر مؤلفه را در طول دوره (۲۰۱۸-۱۹۹۶) نشان می‌دهد. مؤلفه مداری و نصف النهاری باد از تجزیه سرعت و جهت باد مشاهداتی در هر سه ایستگاه حاصل شده‌اند. هر دو مؤلفه  $u$  و  $v$  در هر سه ایستگاه مقادیر بالاتر خود را در فصول بهار و تابستان و مقادیر پایین تر را در فصول پاییز و زمستان دارند. در هر سه ایستگاه مؤلفه نصف النهاری  $v$  مقادیر بالاتری نسبت به مؤلفه  $u$  دارد که نشان‌دهنده اثر واداشت محلی قوی است.

نتایج حاصل از میزان همبستگی بین مؤلفه های مداری / نصف النهاری باد و شاخص های MEI.v2 و NAO و DMI با تأخیر زمانی مربوط به آن تا ۱۲ ماه در هر ایستگاه در شکل ۵ آورده شده است. هر سه شاخص همبستگی، کمتر از  $0/30$  با مؤلفه مداری / نصف النهاری باد در هر سه ایستگاه نشان می‌دهد. همبستگی همزمان منفی (مثبت) در هر سه ایستگاه بین مؤلفه مداری باد  $u$ ، با شاخص MEI.v2

سطحی، مؤلفه نصف النهاری باد سطحی، دمای سطح دریا، دمای هوای سطحی و میزان ابرناکی کلی آسمان می‌باشد [12]. نوسانات اطلس شمالی (NAO) به عنوان اختلاف فشار سطح دریای پرفشار جنب حاره آزور و کم فشار ایسلند تعریف می‌شود و شدت دو قطبی اقیانوس هند توسط گرادیان دمای سطح دریا ناپهنجار میان غرب اقیانوس هند استوایی و جنوب شرقی اقیانوس هند استوایی مشخص می‌شود که این گرادیان شاخص (DMI) نامیده می‌شود. با توجه به تأثیرات الگوهای دورپیوند بر متغیرهای جوی اقیانوسی در مناطق مختلف، میزان همبستگی تغییرات الگوهای دورپیوند (نوسان جنوبی النینو با استفاده از شاخص MEI.v2، نوسانات اطلس شمالی، شاخص NAO و دو قطبی اقیانوس هند با استفاده از شاخص DMI) با مؤلفه‌های مداری و نصف النهاری باد مشاهداتی در تنگه هرمز مورد بررسی قرار گرفته است (<https://www.psl.noaa.gov>). لازم به ذکر است که مؤلفه‌های مداری و نصف النهاری باد از سرعت و جهت باد مشاهداتی در هر سه ایستگاه مورد نظر محاسبه شده‌اند. رفعتی و رضازاده نشان دادند که پاسخ دمای سطحی خلیج فارس به نوسان جنوبی النینو، معنی‌دارتر از پاسخ به سایر نوسانات اصلی است [۲]. ماه‌های نماینده فصول که شاخص‌های حدی و خنثی MEI.v2 را در بازه زمانی مورد مطالعه تجربه کرده‌اند، در جدول ۳ آورده شده است.

## نتایج و بحث

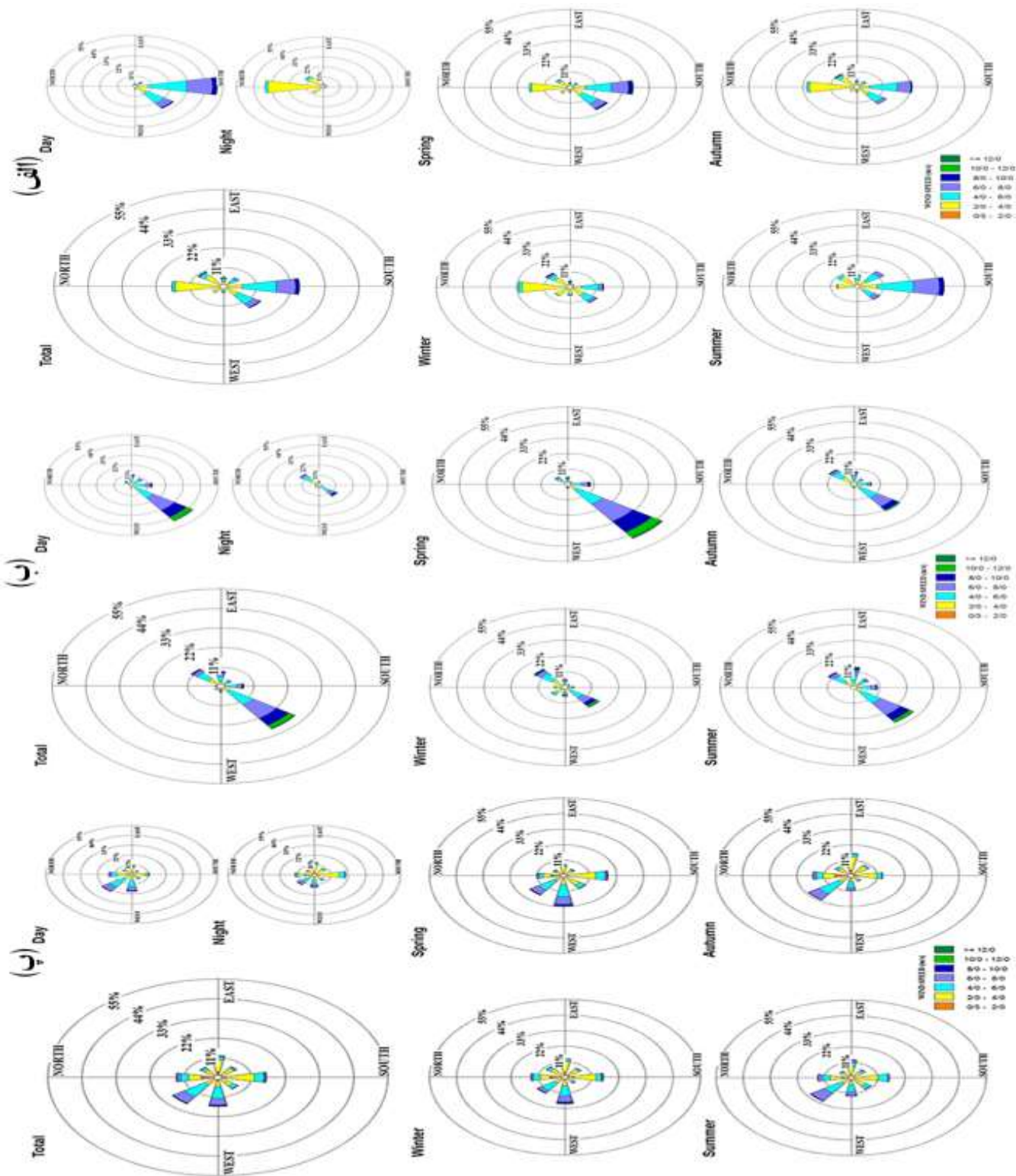
### ۱. تحلیل مشاهدات باد

گلباد کلی، روزانه، شبانه و فصلی سه ایستگاه بندرعباس، قشم فرودگاهی و دبی را طی دوره آماری (۲۰۱۸-۱۹۹۶) در شکل ۳ قابل مشاهده است.

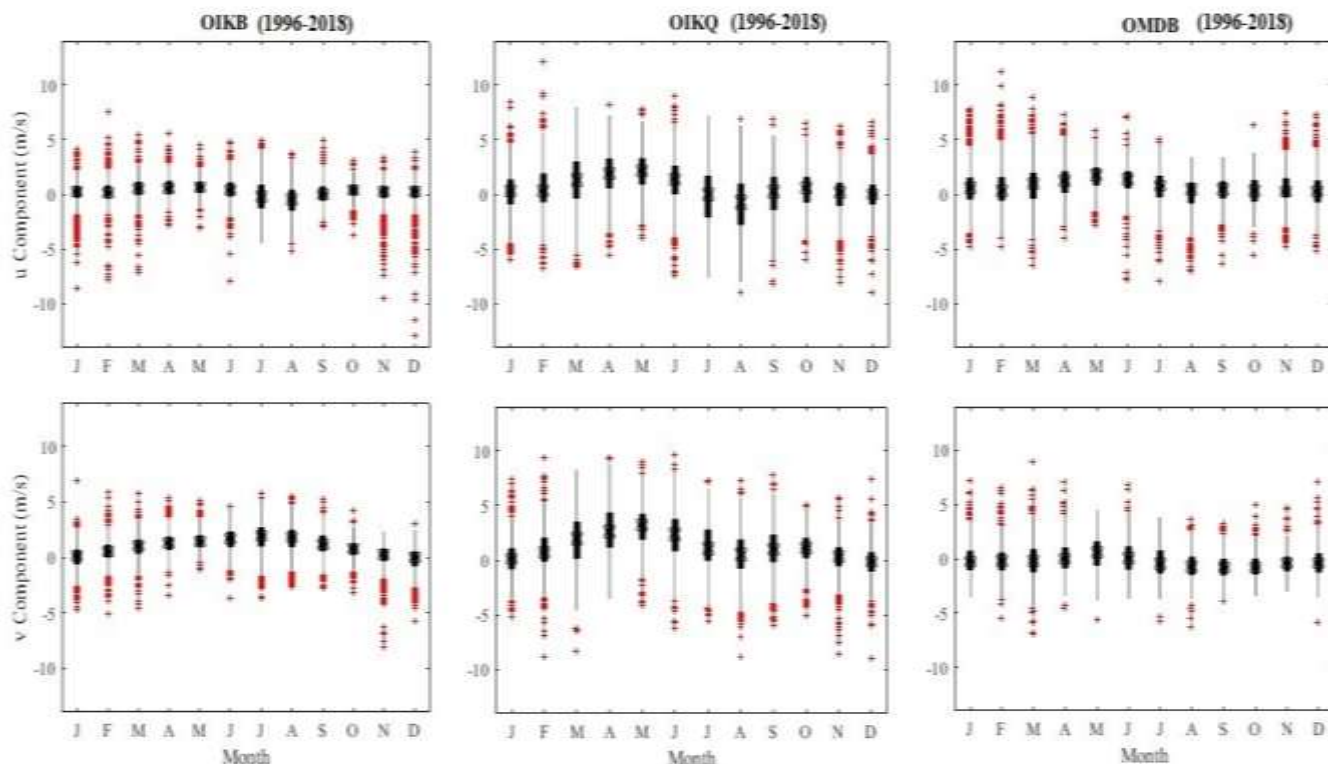
در ایستگاه بندرعباس (شکل ۳ الف)، مقدار میانگین سرعت باد  $3/2$  متر بر ثانیه برآورد شده است. باد غالب با سهم ۲۵ درصد موارد، از سمت جنوب ملاحظه شده است. سمت باد غالب در فصل بهار، تابستان و پاییز جنوبی بوده اما در فصل زمستان شمالی است و در بین فصول مختلف سال بیشترین میانگین سرعت باد در فصل تابستان و با مقدار  $3/6$  متر بر ثانیه اتفاق افتاده است. در ساعات روز سمت باد غالب جنوبی و میانگین سرعت باد  $4/8$  متر بر ثانیه مشاهده می‌شود در صورتی که در ساعات شب سمت باد غالب شمالی و میانگین سرعت باد  $2$  متر بر ثانیه دیده می‌شود. تغییرات سمت باد و گردش روزانه آن نشان‌دهنده رخداد بسیار مکرر (بیش از ۹۵٪ روزهای سال) نسیم دریا و نسیم خشکی در این ایستگاه است.

همبستگی بین مؤلفه نصف‌النهاری باد با شاخص‌های متفاوت، رفتار متفاوتی بین ایستگاه‌های قسمت‌های شمالی تنگه هرمز (OIKQ و OIKB) و ایستگاه قسمت جنوبی (OMDB) تنگه هرمز وجود دارد، که نشان از شرایط واداشتی متفاوت در سه ایستگاه دارد.

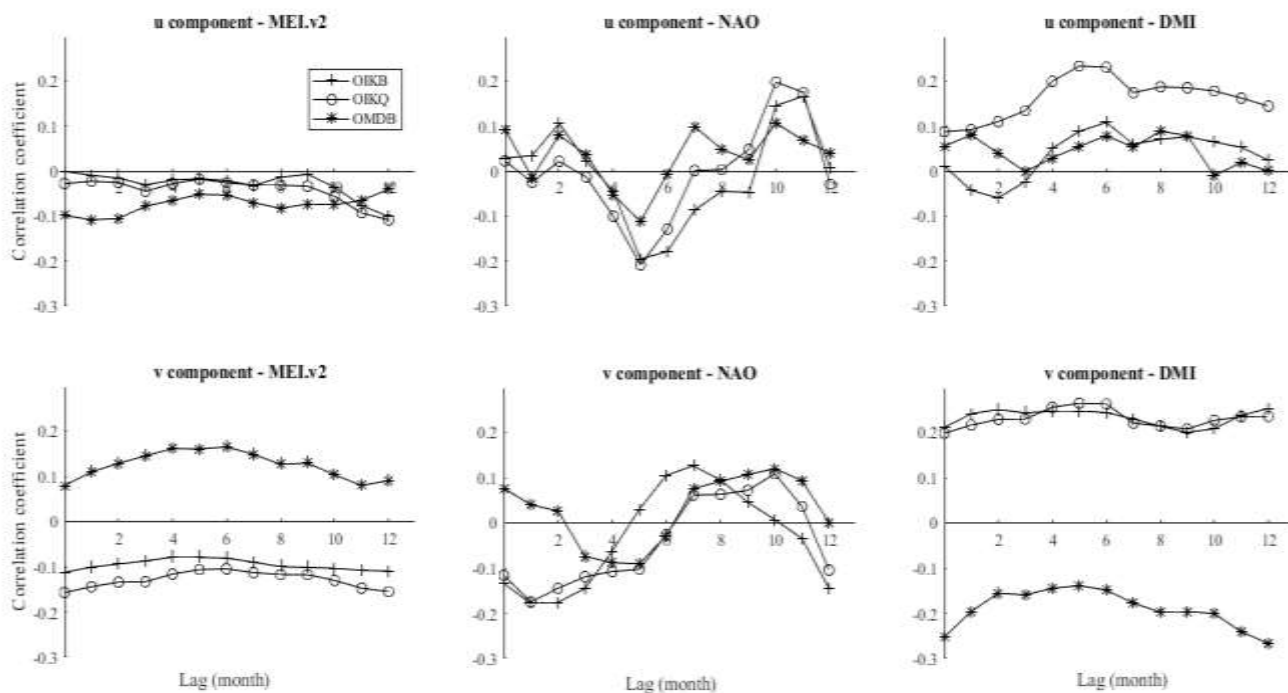
(DMI و NAO) مشاهده می‌شود. تغییرات مؤلفه نصف‌النهاری در ایستگاه دبی با تغییرات شاخص‌های MEI.v2 و NAO (DMI) همبستگی همزمان مثبت (منفی) دارد. همچنین با توجه به نتایج، همبستگی همزمان مثبت (منفی) بین مؤلفه نصف‌النهاری باد و شاخص‌های (MEI.v2, NAO) DMI مشاهده می‌شود. به صورت کلی



شکل ۲. گلباد روزانه و شبانه ایستگاه‌های بندرعباس (الف)، قشم فرودگاهی (ب) و دبی (پ).



شکل ۴. تغییرات ماهانه مؤلفه مداری u و مؤلفه نصف النهاری v در سه ایستگاه بندرعباس (OIKB)، قشم فرودگاهی (OIKQ) و دبی (OMDB) در طول دوره (۲۰۱۸-۱۹۹۶).



شکل ۵ همبستگی بین مؤلفه مداری / نصف النهاری باد و شاخص‌های اقلیمی MIE.v2، NAO و DMI به همراه تاخیر زمانی تا ۱۲ ماه (محور x) مربوط به آن در طول دوره (۲۰۱۸-۱۹۹۶).



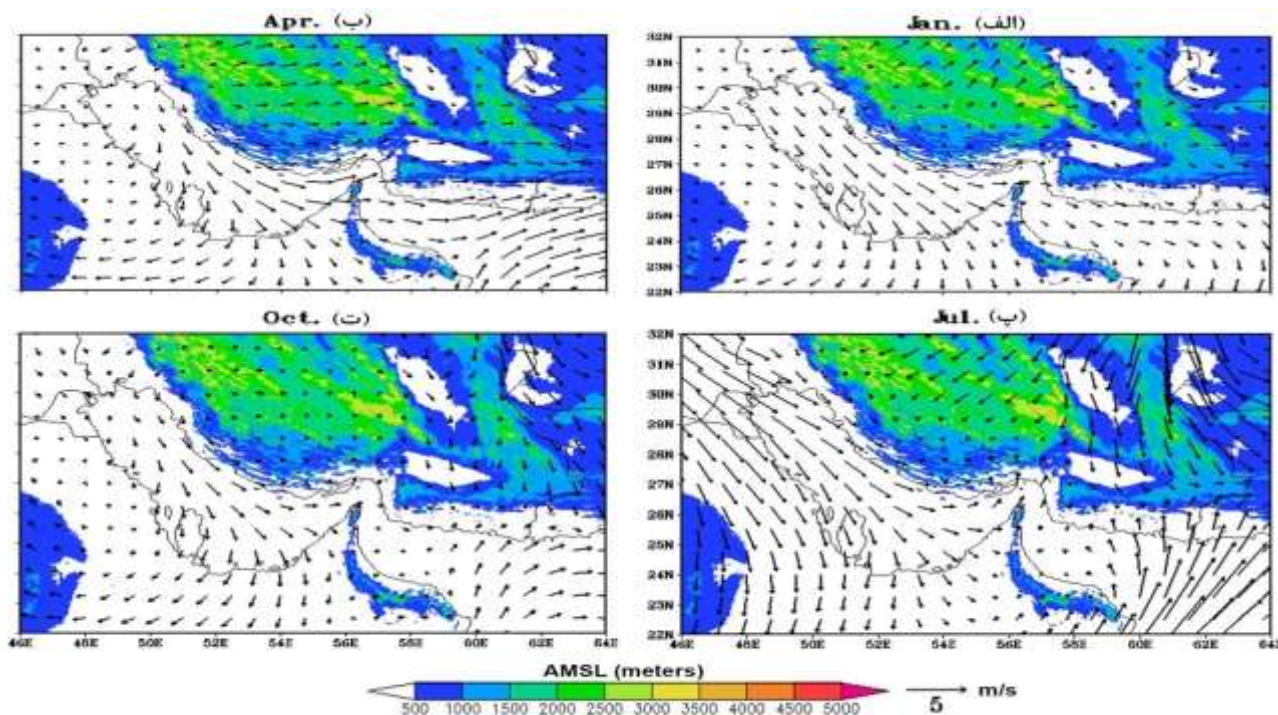
تأثير واداشتهای منطقه‌ای و ناهم‌واری‌ها در تنگه هرمز است. همچنین افت سرعت باد در ورودی غرب تنگه هرمز همراه با گردش چرخندی (پادساعت‌گرد) میدان باد و کانالیزه آن مشاهده می‌شود که دلیل آن را می‌توان الگوی خشکی - دریا (با چرخش شدید)، وجود کوه‌ها و زبری در سواحل و مناطق خشکی شمالی و جنوبی تنگه هرمز با وجود اصطکاک بیشتر نسبت به سطح دریا بیان کرد. در تابستان و پاییز، در شرق تنگه هرمز و بر روی دریای عمان تغییر شدید در میدان باد مشاهده می‌شود و سرعت باد در شرق تنگه هرمز نسبت به دیگر نقاط تنگه کمتر است. در حالی که در تابستان بر روی شرق دریای عمان به علت فعالیت مونسون هند، بادهای نسبتاً شدید وجود دارد.

شکل ۷ الگوی متوسط ماهانه باد ارتفاع ده متری ECMWF ERA-Interim را بر روی دامنه تنگه هرمز (محدوده تنگه هرمز) طی بازه زمانی (۲۰۱۸-۱۹۹۶) در چهار ماه نماینده نشان می‌دهد. در این شکل (۷) سمت باد غالب در تنگه هرمز در فصل زمستان و بهار شمال غربی تا غربی است. در فصل تابستان جنوبی تا جنوب شرقی است و در فصل پاییز جنوب غربی است و بیشترین سرعت باد در فصل بهار مشاهده می‌شود. علت تغییر سمت و سرعت باد در فصل تابستان، فعالیت مونسون هند است که سبب می‌شود بادهای جنوب شرقی در تنگه هرمز (به‌ویژه شرق آن) تقویت شود. افت سرعت باد در شمال تنگه هرمز بدلیل حضور جزیره قشم و در مناطق خشکی بدلیل وجود زبری و اصطکاک نسبت به غرب تنگه هرمز مشهود است. همچنین در فصول تابستان و پاییز رخداد همگرایی میدان باد بر روی مرکز تنگه هرمز می‌تواند سبب انتقال رطوبت به مناطق شمالی تنگه هرمز و تراز پایین می‌شود.

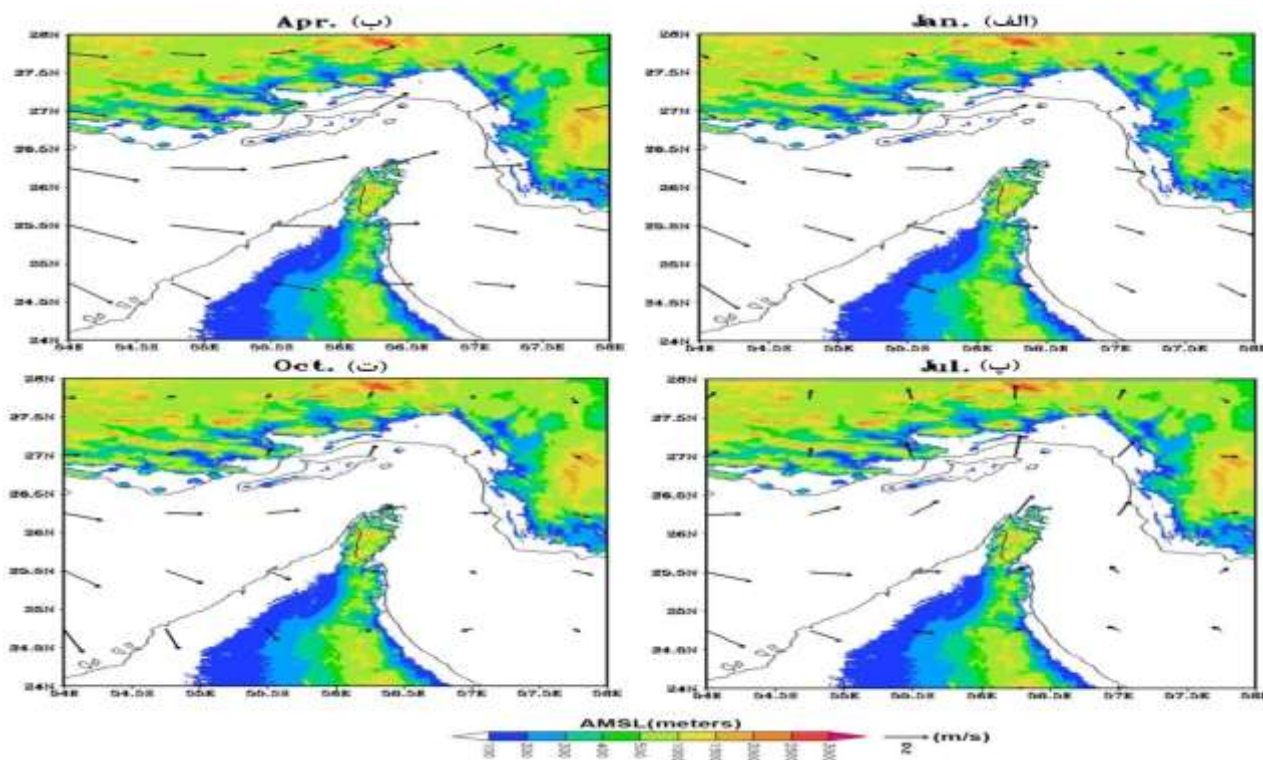
## ۲. تحلیل اطلاعات باز تحلیل میانگین ماهانه ECMWF ERA-Interim

در تحلیل همدیدی الگوهای میدان باد خلیج فارس، دریای عمان و تنگه هرمز، الگوی متوسط میدان باد ۱۰ متری در دو دامنه پوشش منطقه‌ای و تنگه هرمز، در تراز میانگین دریا، برای چهار ماه میانی هر فصل از سال (ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر)، به‌عنوان نماینده آن فصل، در بازه زمانی سی و یک ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۶) رسم شده و مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در این دو تصویر، جهت افزایش وضوح الگوهای میدان های باد، بردارهای باد با تراکم کمتری ترسیم شده است.

شکل ۶ الگوی متوسط ماهانه باد ارتفاع ده متری ECMWF ERA-Interim را بر روی دامنه پوشش منطقه‌ای (محدوده خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان) را طی بازه زمانی (۲۰۱۸-۱۹۹۶) در چهار ماه نماینده نشان می‌دهد. در این شکل، سمت باد غالب خلیج فارس در تمامی ماه‌های منتخب شمال غربی است و بیشترین سرعت باد در ماه منتخب از فصل تابستان در ارتباط با باد شمال، مشاهده می‌شود. در تنگه هرمز سمت باد غالب در فصل زمستان و بهار به ترتیب غربی و جنوب غربی است. در فصل تابستان جنوبی تا جنوب شرقی است و در فصل پاییز جنوب غربی است و بیشترین سرعت باد در فصل بهار مشاهده می‌شود. در دریای عمان سمت باد غالب در فصل زمستان و بهار شمال غربی تا جنوب غربی است. در فصل تابستان و پاییز جنوبی تا جنوب شرقی است و بیشترین سرعت باد در فصل تابستان، مشاهده می‌شود. دلیل تغییر سمت و سرعت باد در فصل تابستان، فعالیت مونسون هند است که سبب می‌شود بادهای جنوب شرقی در دریای عمان تقویت شود. در این شکل (۶) کمتر بودن سرعت باد در تنگه هرمز نسبت به خلیج فارس دیده می‌شود که بیانگر



شکل ۶: الگوی متوسط (۲۰۱۸-۱۹۹۶) باد ارتفاع ده متری ECMWF ERA-Interim در دامنه پوشش منطقه‌ای برای ماه‌های ژانویه (الف)، آوریل (ب)، جولای (پ) و اکتبر (ت). مناطق رنگی ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد.



شکل ۷: الگوی متوسط (۲۰۱۸-۱۹۹۶) ماهانه باد ارتفاع ده متری ECMWF ERA-Interim در دامنه تنگه هرمز برای ماه‌های ژانویه (الف)، آوریل (ب)، جولای (پ) و اکتبر (ت). مناطق رنگی ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد.

این نتایج مشاهده شد که مقادیر کمیت‌های عددی و پارامترهای آماری بدست آمده از شبیه‌سازی WRF نسبت به خروجی ECMWF از مقادیر کمتری برخوردار می‌باشد که بیانگر عملکرد قابل قبول مدل WRF در تفکیک ۲ کیلومتر نسبت به خروجی ECMWF با تفکیک ۷۵ کیلومتر می‌باشد.

#### ۴. تحلیل شبیه‌سازی عددی میدان باد سطحی

جهت تحلیل شبیه‌سازی عددی میدان باد تراز پایین منطقه تنگه هرمز، الگوی خروجی دامنه چهارم مدل (تفکیک فضایی ۲ کیلومتر) طی روزهای ۱۵ ژانویه، ۲۷ آوریل، ۱۲ جولای و ۱۵ اکتبر سال ۲۰۱۶ در ساعت‌های (0000, 0600, 1200, 1800) UTC بعد از شش ساعت اول شروع شبیه‌سازی‌ها تحلیل شد. در شکل‌های ۸ و ۹ در ساعات 00 (۳:۳۰ محلی)، رخداد شکل‌گیری نسیم خشکی به دریا در سواحل شمالی تنگه هرمز با وزش بادهای شمال شرقی به سمت دریا به وضوح مشاهده می‌شود و وجود جبهه بین نسیم خشکی و باد منطقه‌ای تنگه هرمز در نزدیکی سواحل شمالی مشهود است. همچنین می‌توان نسیم خشکی به دریا را در سواحل جنوبی تنگه هرمز با وزش بادهای جنوب شرقی تا جنوبی به سمت دریا به خوبی دید. در ساعات 06 UTC (۹:۳۰ محلی)، بیشینه نفوذ نسیم خشکی به دریا در سواحل شمالی تنگه هرمز کماکان با تداوم وزش بادهای شمال شرقی به سمت دریا همچنین در سواحل جنوبی تنگه هرمز با وزش بادهای جنوبی به سمت دریا، به همراه افت سرعت باد روی مناطق خشکی نسبت به ساعت 00 UTC دیده می‌شود. پیشروی و قرارگیری جبهه بین نسیم خشکی و باد منطقه‌ای تنگه هرمز، در میانه عرض تنگه (جنوب شرق جزیره قشم) مشاهده می‌شود. در ساعات 12 UTC (۱۵:۳۰ محلی)، تغییر سمت وزش بادهای جنوب غربی و افزایش سرعت آنها نسبت به ساعت 06 UTC در سواحل شمالی تنگه هرمز بیانگر رخداد نسیم دریا به خشکی در منطقه مورد مطالعه است. در سواحل جنوبی تنگه هرمز نیز وزش بادهای شمال غربی همچنین افزایش سرعت آنها مؤید این اتفاق است و الگوی جفت شدگی باد منطقه‌ای و نسیم دریا مشاهده می‌شود. در ساعات 18 UTC (۲۱:۳۰ محلی)، هرچند وزش بادهای جنوب غربی و شمال غربی در مناطق دریایی شمال و جنوب تنگه هرمز دیده می‌شود اما در سواحل و مناطق خشکی، تضعیف و کاهش سرعت این بادهای (پس روی نسیم دریا در

جدول ۴: نتایج پارامترهای آماری میدان باد ۱۰ متری ایستگاه‌های بندرعباس، قشم فرودگاهی و دبی توسط مدل WRF با تفکیک ۲ کیلومتر طی ماه اکتبر سال ۲۰۱۶

ایستگاه	RMSE (m/s)	MAE (m/s)	ME (m/s)	VWD (m/s)
بندرعباس	۱,۵۷	۱,۴۷	۰,۱۲	۰,۷۷
قشم فرودگاهی	۱,۶۴	۱,۰۵	-۰,۵۵	۰,۸۱
دبی	۰,۷۳	۰,۶۵	-۰,۰۷	۰,۳۹

جدول ۵: نتایج پارامترهای آماری میدان باد ۱۰ متری ایستگاه‌های بندرعباس، قشم فرودگاهی و دبی توسط مدل ECMWF ۷۵ کیلومتر طی ماه اکتبر سال ۲۰۱۶

ایستگاه	RMSE (m/s)	MAE (m/s)	ME (m/s)	VWD (m/s)
بندرعباس	۱,۰۸	۰,۸۶	-۰,۶۶	۰,۶۸
قشم فرودگاهی	۲,۲۲	۱,۷۹	۰,۷۰	۰,۹۲
دبی	۱,۴۳	۱,۱۱	۰,۱۴	۰,۸۳

#### ۳. نتایج اعتبار سنجی شبیه‌سازی عددی

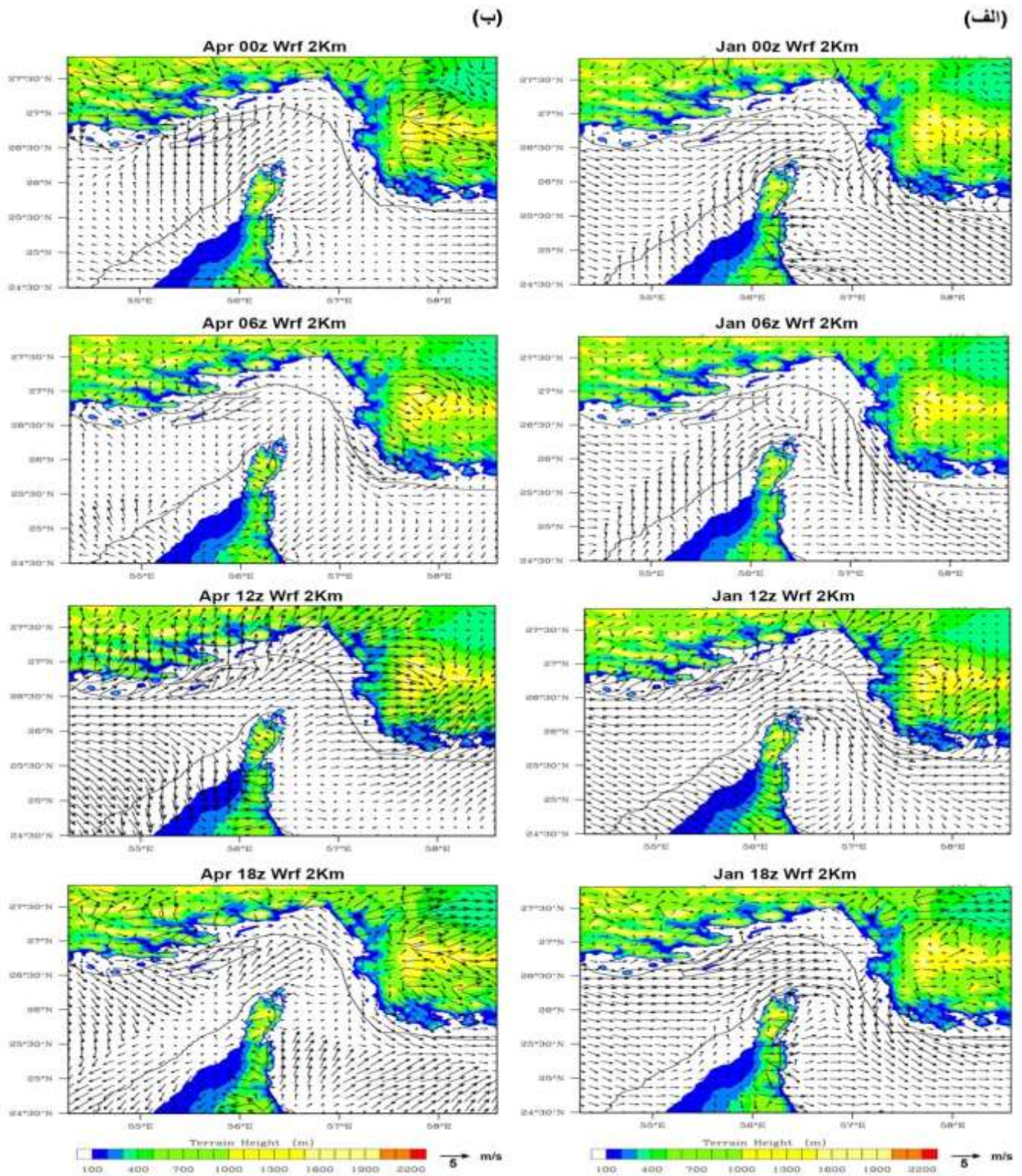
به منظور اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی‌های WRF، با استفاده از کمیت‌های عددی و متغیرهای آماری، نتایج متغیرهای آماری میدان باد ارتفاع ده متری (سرعت باد SPD10) و اختلاف بردار باد (VWD) ایستگاه‌های بندرعباس، قشم فرودگاهی و دبی حاصل شده از شبیه‌سازی‌های با تفکیک ۲ کیلومتر طی ماه اکتبر سال ۲۰۱۶ (به عنوان منتخبی از اعتبارسنجی‌ها) در جدول شماره ۴ آورده شده است. همچنین نتایج پارامترهای آماری فوق در مدت مشابه برای داده‌های باز تحلیل ECMWF با تفکیک حدود ۷۵ کیلومتر محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. در بررسی

می‌دهد که در فصل زمستان، میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال و میانه تنگه هرمز بیشتر اما در جنوب تنگه هرمز، کمتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز ۰/۵ متر بر ثانیه و در میانه تنگه هرمز ۰/۲ متر بر ثانیه بیشتر است و در جنوب تنگه هرمز ۰/۸ متر بر ثانیه کمتر است. در این فصل میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز بیشتر اما در میانه و جنوب تنگه هرمز، کمتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز ۰/۲ متر بر ثانیه بیشتر است و در میانه و جنوب تنگه هرمز ۰/۲ متر بر ثانیه کمتر است. در فصل بهار، میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال و میانه تنگه هرمز کمتر اما در جنوب تنگه هرمز، بیشتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز ۰/۶ متر بر ثانیه و در میانه تنگه هرمز ۰/۷ متر بر ثانیه کمتر است و در جنوب تنگه هرمز ۰/۳ متر بر ثانیه بیشتر است. در این فصل میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز، کمتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز ۰/۲ متر بر ثانیه بیشتر است. در میانه تنگه هرمز ۰/۶ متر بر ثانیه و در جنوب تنگه هرمز ۰/۲ متر بر ثانیه کمتر است.

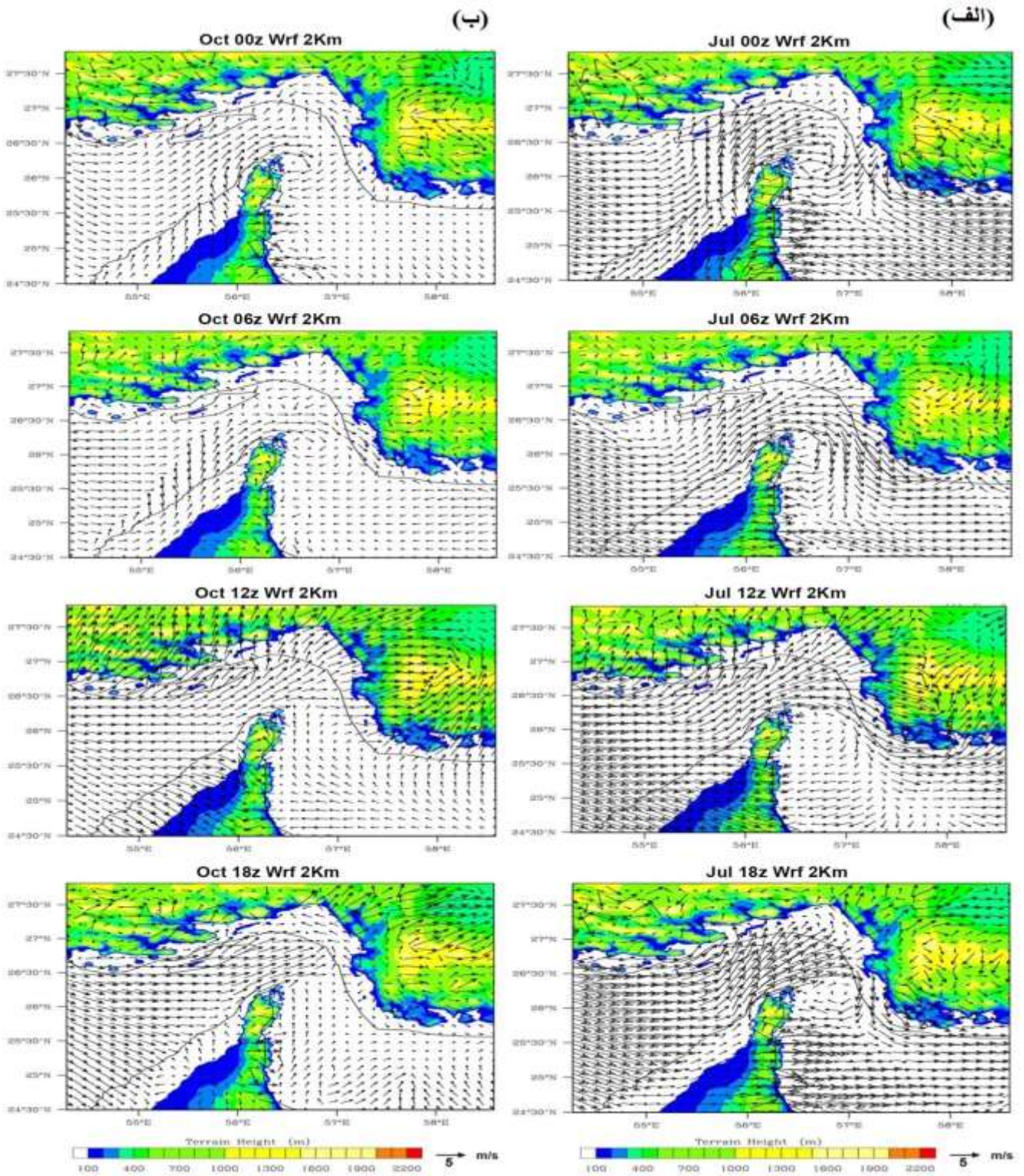
خشکی) همچنین تغییر سمت آنها بیانگر شروع تدریجی رخداد نسیم خشکی به دریا است. با توجه به فراوانی بیشتر بادهای جنوب غربی در محدوده تنگه هرمز و حضور جزیره قشم در این محدوده و به دلیل نقش اصطکاک و توپوگرافی جزیره، مشاهده می‌شود که مناطق غربی جزیره قشم از سرعت باد بالاتری نسبت به نواحی شرقی و شمالی جزیره قشم همچنین ساحل بندرعباس برخوردار است. قابل ملاحظه هست که مدل WRF به خوبی چرخه نسیم دریا/خشکی را در کیفیت مکانی بالا به خوبی شبیه‌سازی می‌کند، که نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل WRF در شبیه‌سازی میدان باد تنگه هرمز است.

##### ۵. تحلیل الگوی دور پیوند نوسان جنوبی النینو (ENSO) بر باد تنگه هرمز

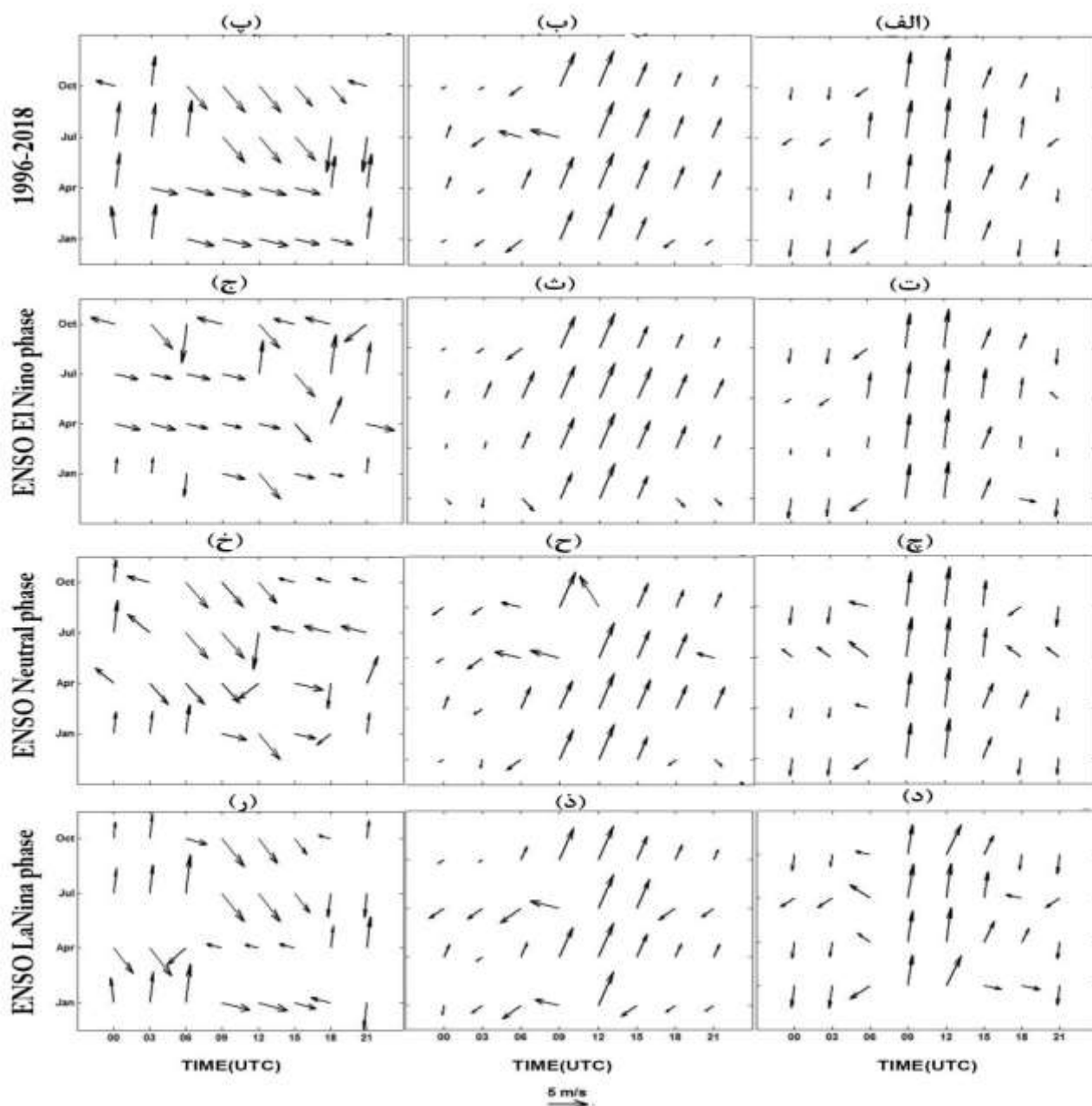
جهت بررسی نقش دور پیوند نوسان جنوبی النینو به صورت نمونه بر روی سرعت باد سطحی تنگه هرمز، الگوی میدان باد ارتفاع ده متری ایستگاه‌های منتخب برای ماههای منتخب هر فصل از سال، در حالت متوسط ۲۴ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۶) همچنین فاز مثبت (النینو)، فاز خنثی و فاز منفی (لانینا) انتخابی رسم شده است که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. بررسی شکل ۱۰ و ۱۱ نشان



شکل ۸: نمونه الگوی شبیه‌سازی شده میدان باد ارتفاع ده متری با تفکیک ۲ کیلومتر در تاریخ ۱۵ ژانویه ۲۰۱۶ (الف) و ۲۷ آوریل ۲۰۱۶ (ب) در ساعت‌های UTC 00,06,12,18. مناطق رنگی ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد.



شکل ۹: نمونه الگوی شبیه سازی شده میدان باد ارتفاع ده متری با تفکیک ۲ کیلومتر در تاریخ ۱۲ جولای ۲۰۱۶ (الف) و ۱۵ اکتبر ۲۰۱۶ (ب) در ساعت‌های 00,06,12,18 UTC. مناطق رنگی ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: رفتار متوسط باد مشاهداتی ارتفاع ده متری در ایستگاه‌های منتخب بندرعباس، فرودگاه قشم و دیی (الف، ب، پ)، دوره فاز مثبت (ت، ث، ج)، دوره فاز خنثی (ح، خ، د) و دوره فاز منفی (د، ز)، دوره فاز

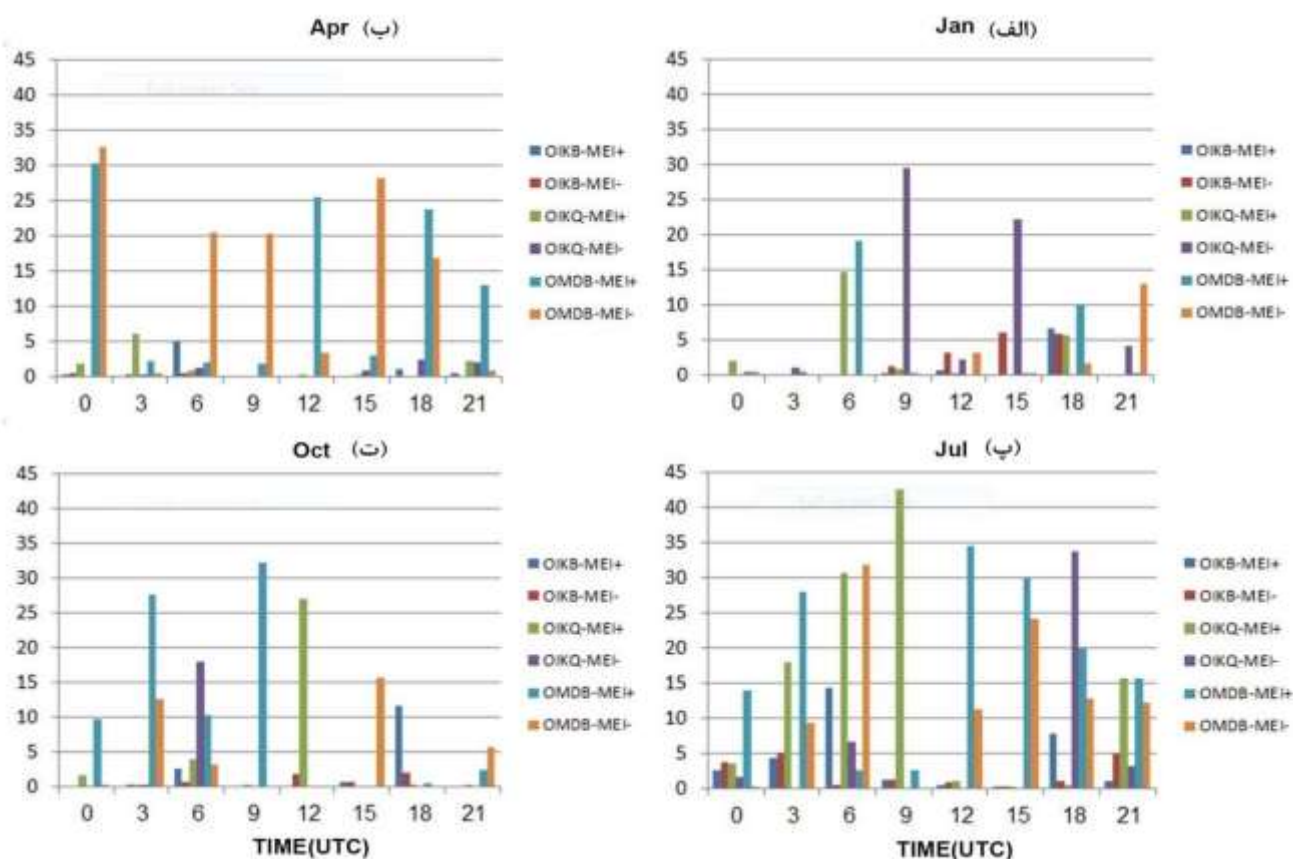
۰/۶ متر بر ثانیه بیشتر و در جنوب تنگه هرمز ۰/۲ متر بر ثانیه کمتر است.

در فصل پاییز، میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در کل محدوده تنگه هرمز بیشتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال و جنوب تنگه هرمز ۰/۳ متر بر ثانیه و در میانه تنگه هرمز ۰/۵ متر بر ثانیه بیشتر است. در این فصل میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط

در فصل تابستان، میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال و میانه تنگه هرمز کمتر و در جنوب تنگه هرمز، بدون تغییر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز مثبت نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز ۰/۴ متر بر ثانیه و در میانه تنگه هرمز ۰/۵ متر بر ثانیه کمتر است. در این فصل میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در شمال تنگه هرمز بدون تغییر، در میانه آن بیشتر و در جنوب تنگه هرمز، کمتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در میانه تنگه هرمز

لازم به ذکر است در تمام فصول سال و در کل محدوده تنگه هرمز، مقدار میانگین سرعت باد در فاز خنثی نسبت به حالت متوسط بیست و چهار ساله و فازهای مثبت و منفی از مقادیر بالاتری برخوردار بوده است و همچنین در هر سه ناحیه از تنگه هرمز، تغییرات سمت باد و گردش روزانه آن مؤید رخداد نسیم دریا و نسیم خشکی در منطقه مورد مطالعه است.

در شمال تنگه هرمز بدون تغییر و در میانه و جنوب تنگه هرمز، بیشتر است. مقدار میانگین سرعت باد در فاز منفی نسبت به حالت متوسط در میانه تنگه هرمز ۰/۴ متر بر ثانیه و در جنوب تنگه هرمز ۰/۱ متر بر ثانیه بیشتر است.



شکل ۱۱: نمودار اختلاف بردار باد (VWD)، فازهای النینو(مثبت) و لائینا (منفی) نسبت به حالت متوسط ایستگاه‌های بندرعباس (OIKB)، قشم فرودگاهی (OIKQ) و دبی (OMDB) طی چهار ماه ژانویه (الف)، آوریل (ب)، جولای (پ) و اکتبر (ت).

### نتیجه‌گیری

هرمز قابل مشاهده است. در طول روز سمت باد غالب در شمال تنگه هرمز، جنوب غربی تا جنوبی و در جنوب تنگه هرمز، شمال غربی مشاهده و شبیه‌سازی شد. در طول شب سمت باد غالب در شمال تنگه هرمز، شمالی تا شمال شرقی و در جنوب تنگه هرمز، جنوبی مشاهده شد که این تغییرات سمت باد و گردش روزانه آن مؤید رخداد نسیم دریا و نسیم خشکی در منطقه مورد مطالعه است. بیشترین میانگین سرعت باد ساعتی ارتفاع ده متری داده‌های مشاهداتی در طول شبانه روز، ۵/۳ متر بر ثانیه و در ایستگاه قشم فرودگاهی مشاهده شد. سرعت باد در تنگه هرمز نسبت به خلیج فارس کمتر می‌باشد که بیانگر تأثیر ناهمواری‌ها و واداشتهای منطقه‌ای بر روی تنگه هرمز است. افت سرعت باد در ورودی غرب تنگه هرمز همراه با گردش

سمت باد غالب در شمال تنگه هرمز (قشم فرودگاهی و بندرعباس) جنوب غربی تا جنوبی و در جنوب تنگه هرمز (دبی) شمال غربی است. از نظر فصلی بیشترین میانگین سرعت باد در فصول بهار و تابستان رخ می‌دهد که مرتبط با باد شمال است. افزایش سرعت باد در فصل بهار و تابستان در ارتباط با باد شمال در سواحل شمال غرب خلیج فارس هم قابل مشاهده است [۶]. بیشترین میانگین سرعت باد در نیمه غربی تنگه هرمز در فصل بهار و در نیمه شرقی تنگه هرمز (بندرعباس) در فصل تابستان مشاهده شد، زیرا در تابستان سرعت بادهای جنوب شرقی در تنگه هرمز تحت تأثیر فعالیت مونسون هند، افزایشی است و با فراوانی بالا رخ می‌دهد. این مورد در پژوهش [۸] بر روی ایستگاهی در نواحی ساحلی جاسک در قسمت شرقی تنگه



## منابع

- [1]. اولاد الهه، خالقی زواره حسن، ایران نژاد پرویز، غفاریان پروین (۱۳۹۸). تحلیل بلندمدت میدان باد سطح دریا بر روی خلیج فارس، با استفاده از داده‌های بازتحلیل، مشاهدات ماهواره‌ای و ایستگاهی در یک دوره ۲۳ ساله. نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی. ۱۳۹۸؛ ۱۰ (۴۰): ۷۴-۶۵.
- [2]. رفعتی، پردیس؛ رضازاده، مریم (۱۳۹۹). مطالعه همبستگی شاخص‌های ENSO، IOD، NAO و ENSO با تغییرات دمای سطح دریا در خلیج فارس، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰۸ - ۳۹۵.
- [3]. زرغامی پور، منا؛ ملکوتی، حسین (۱۳۹۹). مطالعه میدان باد لایه مرزی سیاره‌ای روی جزیره قشم، ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص ۱۴۷ - ۱۲۹.
- [4]. گندمکار، امیر (۱۳۸۹). تعیین گستره افقی باد سیستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۱۰، ص ۷۶ - ۶۷.
- [5]. منشی، اسکندر؛ مجتهدزاده، پیروز (۱۳۷۱). جغرافیای سیاسی تنگه هرمز، توسعه تدریجی نقش ایران (دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰)، ترجمه محسن صغیرا، اصفهان ۱۳۷۱، ص ۱۷۸-۱۷۶.
- [6]. ملکوتی، حسین؛ پاخیره‌زن، محمد؛ حسنی، وجیهه السادات (۱۳۹۵). رفتار مشاهداتی و همدیدی باد شمال در سواحل شمال غرب خلیج فارس: بوشهر، ایران (۲۰۱۰). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص ۱۷۴-۱۵۹.
- [7]. Bala Subrahmanyam, D., K. Sudha Ravindran and P. Krishnan (2001). "Study of sea breeze and land breeze along the west coast of Indian sub-continent over the latitude range 15°N to 8°N during" INDEX IFP-99 (SK-141) cruise. Indian Ocean Experiment 80, 85-88.
- [8]. Bordbar, M. H., M. Pedram and S. Hassanzadeh (2014). Behaviour of surface atmospheric flow passing over the northeast of the Persian Gulf. Meteorological Applications 21(2): 271-277
- [9]. Eager, R. E., Raman, S., Wootten, A., Westphal, D. L., Reid, J. S. and Al Mandoos, A. 2008. A climatological study of the sea and land breezes in the Arabian Gulf region. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 113(D15), 1-12.
- سیکلونی (پادساعتگرد) میدان باد و کانالیزه شدن آن مشاهده شد که دلیل آن را می توان وجود توزیع خشکی-دریا با گردش قوی پادساعتگرد، حضور ناهموازی و زبری در جزایر، سواحل و مناطق خشکی شمالی و جنوبی تنگه هرمز و همچنین وجود اصطکاک کم بر روی سطح دریا بیان کرد. در تابستان و پاییز، رخداد همگرایی میدان باد بر روی مرکز تنگه هرمز می‌تواند سبب انتقال محتوای بخار آب به مناطق شمالی تنگه هرمز می‌شود. تأثیر دورپیوند نوسان جنوبی النینو بر روی سرعت باد سطحی تنگه هرمز بیانگر این است که، در تمام فصول سال و در کل محدوده تنگه هرمز، مقدار میانگین سرعت باد در فاز خنثی نسبت به حالت متوسط بیست و چهار ساله و فازهای مثبت(النینو) و منفی(لانینا) از مقادیر بالاتری برخوردار بوده است. همچنین همبستگی بین الگوی دورپیوندهای نوسان جنوبی النینو با استفاده از شاخص MEI.v2، نوسانات اطللس شمالی(NAO)، شاخص دو قطبی هند (DMI)، و مؤلفه های مداری/نصف النهاری باد در ایستگاه‌های بندرعباس(OIKB)، قشم فرودگاهی(OIKQ) و دی(OMDB) بررسی شد. هر سه شاخص همبستگی، کمتر از ۰/۳۰ با مؤلفه مداری/ نصف النهاری باد در هر سه ایستگاه نشان می‌دهد. نویسندگان در حال مطالعه روش‌های عددی بهینه برای محاسبه و جداسازی نقش اصطکاک سطحی و کژفشاری‌های لایه مرزی از ساختار میدان باد شبیه سازی شده (با لحاظ مطلوب متغیرها و شارهای سطحی تبدالی اندازه حرکت و گرما) به منظور نگارش یک پس‌پردازنده بدین منظور هستند که امیدواریم در نوشتارهای آینده ارائه نماییم.

## مشارکت نویسندگان

مجتبی حمزه نژاد: نگارش و تحلیل، جمع آوری داده و مطالب، اجرای مدل.

حسین ملکوتی: نویسنده مسئول، یافتن روش، ویراستاری و تحلیل.

منا زرغامی پور: نگارش و تحلیل، جمع‌آوری داده و مطالب، انطباق مقاله با فرمت مجله.

## تعارض منافع

این مقاله بر اساس «تعارض حرفه‌ای و مالکیت فکری: ارتقای سازمانی و نظریات تخصصی شخصی اینجانب به‌عنوان نویسنده مسئول گردآوری شده است.»

یا

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»


## اختصارات (اختیاری)

کلمات اختصاری این مقاله شامل موارد زیر است:

- a mesoscale two-dimensional model. *Journal of the atmospheric sciences*, 46, 3077-3107.
- [16] .Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., and Clough, S. A. 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102, 16663-16682.
- [17] .Kain, J. S., and Fritsch, J. M. 1993. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. In *The representation of cumulus convection in numerical models* (pp. 165-170). American Meteorological Society, Boston, MA.
- [18] .Pleim, J. E. 2007. A combined local and nonlocal closure model for the atmospheric boundary layer. Part I: Model description and testing. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 1383-1395.
- [19] .Chen, F., and Dudhia, J. 2001. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly weather review*, 129, 569-585.
- [20] .Pleim, J. E., and Xiu, A. 2003. Development of a land surface model. Part II: Data assimilation. *Journal of Applied Meteorology*, 42(12), 1811-1822.
- [10] .Naizghi, M. S. and Ouarda, T. B. 2017. Teleconnections and analysis of long-term wind speed variability in the UAE. *International Journal of Climatology* 37(1), 230-248.
- [11] .Pous, S., Carton, X. and Lazure, P. 2004. Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait of Hormuz. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12), 1-15.
- [12] .Walters Sr, K. R. and Sjoberg, W. F. 1990. *The Persian Gulf Region. A Climatological Study*, Air Force Environmental Technical Applications Center, Scott AFB IL.
- [13] .Zhu, M. and Atkinson, B. 2004. Observed and modelled climatology of the land-sea breeze circulation over the Persian Gulf. *International journal of climatology*, 24(7), 883-905.  
<https://psl.noaa.gov/enso/mei>  
<https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
- [14] .Hong, S. Y., and Lim, J. O. J. 2006. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 42(2), 129-151.
- [15] .Dudhia, J. 1989. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**Hamzenejad. M**, - Ph.D. Candidate University of Hormozgan - - Faculty of Maritime Sciences and Technologies  
 ✉ hamze102@yahoo.com 

**Malakooti.H.**, Professor University of Hormozgan - - Faculty of Maritime Sciences and Technologies  
 ✉ malakooti@hormozgan.ac.ir  0000-0003-2208-1238




**Zarghamipour. M**, Ph.D. Candidate University of Hormozgan - - Faculty of Maritime Sciences and Technologies  
 ✉ zarghamimona@gmail.com  .....

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:



## HOW TO CITE THIS ARTICLE

## Citation (Vancouver)

 <http://doi.org/10.52547/joc.14.53.4>  
 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1697-fa.html>  
 <https://orcid.org/0000-0003-2208-1238>

## COPYRIGHTS



©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.