

## تحلیل بلندمدت میدان باد سطح دریا بر روی خلیج فارس، با استفاده از داده‌های بازتحلیل، مشاهدات ماهواره‌ای و ایستگاهی در یک دوره ۲۳ ساله

الهه اولاد<sup>۱\*</sup>، حسن خالقی زواره<sup>۲</sup>، پرویز ایران‌نژاد<sup>۳</sup>، پروین غفاریان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی. پست الکترونیکی: [e.owlad@inio.ac.ir](mailto:e.owlad@inio.ac.ir)

۲- دانشیار دانشگاه شهرکرد. پست الکترونیکی: [hkzavareh@yahoo.com](mailto:hkzavareh@yahoo.com)

۳- دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. پست الکترونیکی: [piran@ut.ac.ir](mailto:piran@ut.ac.ir)

۴- استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی. پست الکترونیکی: [p.ghafarian@inio.ac.ir](mailto:p.ghafarian@inio.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۴

\* نویسنده مسؤل

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۱۱

### چکیده

داده‌های سمت و سرعت باد سطح دریا با تفکیک بالای زمانی و مکانی، به منظور فهم و پیش‌بینی برهمکنش هوا-دریا مورد نیاز است. کمبود اندازه‌گیری میدانی بر روی خلیج فارس همواره مساله جدی در مطالعات هواشناسی در این ناحیه بوده است. هدف از این تحقیق مطالعه میدان باد میانگین و روند باد خلیج فارس است. بدین منظور، سه مجموعه داده باد سطح آب شامل: داده اندازه‌گیری بویه و سینوپ؛ داده بازتحلیل ERA-Interim؛ و داده ماهواره‌ای ترکیبی NCDC-BSW برای تحلیل بلندمدت میدان باد سطحی بر روی خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفته است. بعد از مقایسه داده‌های مشاهداتی ایستگاهی با مقادیر تخمین زده شده توسط مدل بازتحلیل و همین‌طور داده ماهواره‌ای و ارزیابی صحت این داده‌ها میدان‌های باد با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل به دست آمده‌اند و روند باد بلندمدت از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ به مدت ۲۳ سال بررسی و تحلیل شده است. نتایج نشان از افزایش نسبی سرعت باد تخمین زده شده توسط مدل بازتحلیل و کاهش نسبی سرعت باد تخمین زده شده توسط داده ماهواره‌ای دارند. به‌طور کل می‌توان گفت به‌صورت نقطه‌ای داده ماهواره‌ای عملکرد بهتری داشته است و مقادیر سرعت باد ماهواره‌ای به واقعیت نزدیک‌تر بوده است. بررسی بلندمدت روند افزایش یا کاهش سرعت باد در ایستگاه‌های مختلف نشان از تاثیر شمال تابستانه و زمستانه بر روی بادهای بیشینه و کمینه برآورد شده و همین‌طور الگوی کلی میدان باد دارد. با توجه به این تاثیر، بیشینه بادهای فصل زمستان در نزدیکی بوشهر رخ می‌دهد در حالیکه بادهای بیشینه در فصل تابستان در عرض‌های پایین‌تر و نزدیک مرکز خلیج فارس رخ داده است.

کلمات کلیدی: میدان باد، داده بازتحلیل، داده ماهواره، بلندمدت، خلیج فارس، شمال.

### ۱. مقدمه

مشاهداتی روی آب (بیشتر در مناطق دور از ساحل) تحلیل میدان باد را مشکل نموده و درون‌یابی از اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی خشکی همواره همراه با خطاست. به دلیل کمبود اطلاعات برای مناطق مشخص و یا بازه‌های زمانی معین و اهمیت داده باد با تفکیک بالا، مدل‌های میان‌مقیاس به‌عنوان یک جایگزین مناسب

داده سمت و سرعت باد سطح آب از طریق اندازه‌گیری‌های بویه‌ها، کشتی‌های داوطلب و مشاهدات ماهواره‌ای جمع‌آوری و در دسترس کاربران قرار می‌گیرد. کمبود اندازه‌گیری و داده

اولاد و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که بادهای در محدوده ۶/۶-۳/۶ متر بر ثانیه دارای کمترین خطا هستند و بهترین همبستگی را با داده بازتحلیل و ماهواره در منطقه خلیج فارس دارند. در واقع همانطور که سرعت باد بیشتر یا کمتر می‌شود خطا در مقدار جهت و سرعت باد افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه اولاد و همکاران (۲۰۱۹)، داده‌های باد ماهواره‌ای ترکیبی NCDC-BSW نسبت به داده‌های بازتحلیل ERA-Interim عملکرد بهتری بر روی خلیج فارس از خود نشان دادند (Owlad et al., 2019).

هدف اصلی این تحقیق تعیین میدان باد بلندمدت سطح آب با استفاده از داده‌های ERA-Interim<sup>۱</sup> و NCDC-BSW و بررسی روند تغییرات آن بر روی خلیج فارس است. بعد از بررسی میزان خطای داده‌های ماهواره‌ای ترکیبی و داده بازتحلیل، میدان‌های باد بلندمدت به دست آمده و تحلیل می‌شود. برای این منظور دوره ۲۳ ساله شامل بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ برای تحلیل‌های بلندمدت در نظر گرفته شده است. با توجه به فقدان داده‌های مشاهداتی کافی امکان تهیه میدان باد بلندمدت از طریق آنها در منطقه خلیج فارس میسر نیست. بنابراین، استفاده از داده‌های بلندمدت بازتحلیل و ماهواره‌ای ترکیبی جایگزین مناسبی برای این هدف است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس یک دریای نیمه‌بسته حاشیه‌ای در فلات قاره است که در راستای شمال غرب-جنوب شرق امتداد یافته و از طریق تنگه هرمز با دریای عمان مرتبط است و در راستای نصف‌النهاری و مداری به ترتیب بین ۲۴ تا ۳۰ درجه عرض شمالی و ۴۷ تا ۵۲ درجه طول شرقی محدود شده است (UNEP, 1999). خلیج فارس دارای دو فصل مشخص تابستان و زمستان و دو فصل گذار بهار و پاییز است (کميجانی و همکاران، ۱۳۹۳). معروف‌ترین پدیده آب‌وهوایی در منطقه خلیج فارس شمال تابستانی (به معنای شمال در زبان عربی) است، که از اواخر ماه می تا اوایل ماه ژوئیه در این منطقه غالب است (Membery,

برای داده باد اندازه‌گیری شده توسعه یافتند (Carvalho et al., 2012). از طرفی داده‌های بازتحلیل (به‌عنوان خروجی مدل‌های بزرگ‌مقیاس) نیز منبع با ارزشی برای داده باد سطح آب هستند. برای نمونه در یک مطالعه (Ruti et al., 2008)، داده ERA-Interim به‌عنوان داده بازتحلیل نسل جدید بهترین عملکرد را در مقایسه با نسل نسبتاً قدیم ERA40 و قدیم NCEP نشان داد. ابزار با ارزش دیگر برای اندازه‌گیری باد بر روی سطح اقیانوس سنجنده‌های ریزموج فضایی با تفکیک مکانی بالا و نمونه‌گیری زمانی منظم است که مشاهدات آنها به‌طور گسترده برای مطالعه باد استفاده می‌شود. برای نمونه میدان‌های باد به‌دست آمده از مشاهدات این پراکنش‌سنج‌ها برای استفاده در مدل‌های گردش اقیانوسی در مقیاس‌های متنوع و در گوارد داده به‌درون مدل‌های پیش‌بینی وضع هوا استفاده می‌شود (Liu and Tang, 1996). مطالعات ارزیابی بسیاری با مقایسه بادهای ریزموج پراکنش‌سنج‌ها و راديو مترها با مشاهدات ایستگاهی توسط بویه‌ها و دیگر ابزارهای هواشناسی در سطح جهان انجام شده است (Bentamy et al., 1994; Ebuchi et al., 2002; Freilich and Dunbar, 1999; Masuko et al., 2000; Membery, 1983; Schroeder et al., 1982; Wentz, 1997; Wentz et al., 1982).

در مورد خلیج فارس، می‌توان گفت که، فقدان داده باد بلندمدت اندازه‌گیری شده برای برآورد میدان باد اقلیمی، محدودیت اندازه‌گیری‌های انجام شده و عدم تحلیل دقیق، و کمبود داده مشاهداتی برای تامین شرایط اولیه مدل‌های عددی به-منظور پیش‌بینی صحیح از مشکلات این منطقه برای تخمین بلندمدت باد است و به همین دلایل همچنان جای مطالعه و تحقیق بسیار برای این منطقه وجود دارد. با این حال در این زمینه می‌توان به معدود مطالعات داخلی نیز اشاره‌ای داشت. برای نمونه کميجانی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که باد غالب در سواحل غرب خلیج فارس غربی - شمال غربی است اما با حرکت به سمت مرکز خلیج فارس به سمت غرب چرخیده و در نزدیکی جزیره قشم به جنوب غربی متمایل شده و در بندرعباس و تنگه هرمز به صورت غیرقابل انتظاری جنوبی می‌شود. در مطالعه دیگر، کشوری و همکاران (۱۳۸۵) با به‌دست آوردن میانگین‌های مختلف بزرگی باد در بازه ۱۹۸۱-۲۰۰۰ برای ایستگاه‌های حاشیه خلیج فارس اعم از ماهانه، فصلی، سالانه و همچنین به‌دست آوردن تداوم باد در فواصل زمانی مناسب ماهانه و فصلی به تحلیل آن‌ها پرداخته و الگوی باد را در این بازه به‌دست آورده‌اند.

<sup>1</sup> -National Climatic Data Center-Blended Sea Winds

۲-۲ داده‌ها

در این مطالعه سه مجموعه داده باد سطح آب شامل: داده ماهواره‌ای ترکیبی NCDC-BSW، داده بازتحلیل ERA-Interim و داده اندازه‌گیری بویه و سینوپ مورد استفاده قرار می‌گیرد که به‌طور مختصر بر اساس تفکیک زمانی و مکانی (افقی و قائم) معرفی می‌شود.

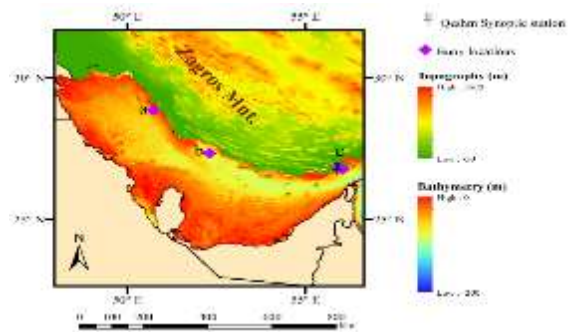
NCDC-BSW: مجموعه داده NCDC-BSW از شبکه داده‌های جهانی ۶ ساعته (ساعات ۰، ۶، ۱۲ و ۱۸) بردارهای باد سطح آب (۱۰ متر بالاتر از سطح دریا)، با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه در عرض و طول جغرافیایی تشکیل شده است. داده‌های باد ماهواره‌ای که در این تحقیق استفاده شده است، از تارنمای NOAA (<ftp://eclipse.ncdc.noaa.gov/pub/seawinds/SI/uv/>) به دست آمده است. با توجه به اینکه تا به امروز کار تحقیقاتی روی منطقه خلیج فارس با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NCDC-BSW انجام نشده است، این مطالعه یک گام رو به جلو برای درک بهتر نحوه عملکرد این داده در این منطقه خواهد بود.

ERA-Interim: داده بازتحلیل ERA-Interim (Dee et al., 2011) داده بازتحلیل جهانی تولید شده توسط ECMWF است که از سال ۱۹۷۹ به بعد را پوشش می‌دهد. این مجموعه داده پیشرفت قابل توجهی در شبیه‌سازی باد نزدیک به سطح است (Carvalho et al., 2014). متغیرهای جو بالای ۶ ساعته با سامانه همبستگی چهاربعده‌ی تغییرپذیر، تفکیک مکانی ۸۰ کیلومتری، ۶۰ تراز قائم از سطح تا تراز ۰/۱ hPa، وردسپهر و پوش سپهر را پوشش می‌دهند. داده‌های بازتحلیل از تارنمای ECMWF (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>) جمع‌آوری شده‌اند. در این تحقیق از سه زیرمجموعه این داده با تفکیک‌های ۰/۷۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ درجه استفاده شده است. داده اندازه‌گیری شده ایستگاهی: این داده‌ها شامل داده‌های سه بویه بوشهر، عسلویه و قشم و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیکی واقع در منطقه است.

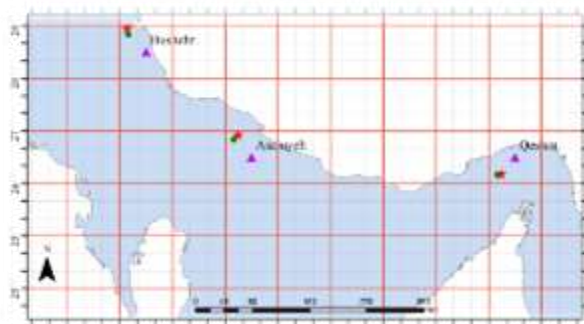
این نوع داده‌ها محدودیت پوشش زمانی دارد به‌ویژه برای بویه‌ها که مقایسه داده‌ها به سال ۲۰۰۹ محدود می‌شود زیرا داده‌ها در این سال نسبت به سایر سال‌ها پوشش بهتری از سه بویه بوشهر، عسلویه و قشم دارد. سرعت‌های بادهای وابسته به پایداری در ارتفاع ۳ متری جمع‌آوری شده‌اند. بنابراین، بادهای بویه U اندازه‌گیری شده به باد ۱۰ متری با در نظر گرفتن شرایط

1983). مساله چالش‌برانگیز در مورد خلیج فارس اثر شمال تابستانه و زمستانه روی الگوی بلندمدت میدان باد این منطقه است. با اینکه سرعت شمال تابستانه معمولاً کمتر از زمستانه است اما فراوانی رخداد آن نسبت به شمال زمستانه بیشتر است و در ارتباط مستقیم با رویدادهای گردوخاکی در طول منطقه خلیج فارس است که مسبب خنک شدن دمای سطح آب در تابستان است. شمال تابستانه به‌عنوان باد ۱۲۰ روزه نیز شناخته می‌شود و بر اساس تفاوت‌هایی در شروع رخداد، مدت رخداد و بازه‌های استراحت آن مانند مونسون تابستانه عمل می‌کند. به‌طور کل شمال زمستانه کوتاه مدت‌تر است ولی به دلیل وجود سامانه جبهه‌ای، قوی‌تر و همراه با بادهای شدیدتر است (Yu et al., 2015).

بعد از معرفی جغرافیای منطقه و پدیده‌های حاکم بر آن تصویری از منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) ارائه می‌شود که محل قرارگیری بویه‌های استفاده شده در این تحقیق و همچنین عمق خلیج فارس در نقاط مختلف و توپوگرافی اطراف آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط اندازه‌گیری داده‌های بویه.



شکل ۲: موقعیت بویه‌های مورد استفاده در این تحقیق که با ستاره قرمز مشخص است و نزدیک‌ترین نقطه از شبکه بازتحلیل (مثلث بنفش) و همچنین نزدیک‌ترین نقطه از شبکه ماهواره (دایره سبز) دیده می‌شود.

### ۳. بحث و نتایج

در این بخش ابتدا داده‌های سال ۲۰۰۹ که مشاهدات بویه آن موجود است، تحلیل و بررسی می‌شود و در مرحله بعد داده‌های بلندمدت ۲۳ ساله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

#### ۳-۱ مقایسه با سال ۲۰۰۹

در این زیربخش سرعت و جهت باد به دست آمده از NCDC-BSW و همچنین داده ERA-Interim با مشاهدات بویه‌ها برای سال ۲۰۰۹ مقایسه می‌شود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه این دو مجموعه داده نشان می‌دهد که داده بازتحلیل-ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۷۵ درجه تفاوت زیادی با مشاهدات ایستگاهی در جهت و سرعت باد دارد. این مغایرت در مورد سایر تفکیک‌های ERA-Interim (۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ درجه) نیز صدق می‌کند و با تغییر تفکیک چندان بهبود نمی‌یابد زیرا تفکیک‌های بالاتر بازتحلیل صرفاً میان‌یابی از داده بازتحلیل اولیه با تفکیک ۰/۷۵ درجه است.

مقایسه سرعت باد ماهواره با بویه‌ها نشان از خطای کمتر آن نسبت به داده بازتحلیل دارد. با این وجود نتایج به دست آمده از مقایسه دو مجموعه داده با بویه‌ها برای جهت باد بسیار بهتر از سرعت باد است (از دیدگاه پارامتر همبستگی) و در واقع این می‌تواند اثر شمال در منطقه در تغییر جهت غالب بادها به شمال-شمال غربی باشد.

در این زیربخش تغییرات ماه به ماه باد بر اساس دو مجموعه داده برای بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ و همچنین روند کلی باد تحلیل و بررسی می‌شود. شکل ۳ الف و ب نمودار میله‌ای باد متوسط ماهانه ماهواره‌ای و بازتحلیل را در نزدیکی ایستگاه بوشهر نشان می‌دهد. در داده بازتحلیل ماه‌های می، ژوئیه و ژولای در کل بادها قوی‌ترند و در ماه ژوئیه بیشترین سرعت باد نزدیک ۵/۵ متر بر ثانیه تخمین زده شده و به نظر می‌رسد که اثر شمال تابستانه در باد میانگین هم بارز است چون شمال در ماه‌های تابستان نسبتاً قوی است ولی باد ماهواره‌ای شمال تابستانه را ضعیف‌تر از زمستانه تخمین زده است که منطقی‌تر است زیرا شمال زمستانه همراه با سامانه جبهه‌ای وارد می‌شود و سرعت‌های باد بالاتری دارد. بیشینه باد ماهواره‌ای در دسامبر نزدیک ۳/۵ متر بر ثانیه برآورد شده است که همراه با رخداد شمال زمستانه است. باد در ماه‌های زمستان یعنی دسامبر، ژانویه و فوریه بیشینه است. به دلیل

جوی خنثی ( $U_{10N}$ ) اصلاح شده‌اند (Walmsley, 1988). رابطه ۱ نشان‌دهنده این تبدیل است (Benschop, 1996)، (Stull, 1988):

$$U_{10} = U_{z_m} * \frac{\ln(\frac{10}{z_0})}{\ln(\frac{z_m}{z_0})} \quad (1)$$

برای تبدیل باد ۳ متری به باد در ارتفاع ۱۰ متر از رابطه (۱) استفاده می‌شود که در آن  $z_m$  ارتفاع مشاهده،  $U_{10}$  سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری و  $Z_0$  طول زبری است.  $Z_0$  برای این منطقه ۰/۰۰۳ متر در نظر گرفته شده است (Hassanzadeh et al., 2011; Kämpf and Sadrinasab, 2005). از آنجایی که جهت باد  $\theta$  یک متغیر جهتی است و انحراف مطلق آن نمی‌تواند از ۱۸۰ درجه بیشتر باشد، از رابطه (۲) (Yamartino, 1984) برای محاسبه انحراف استفاده شده است.

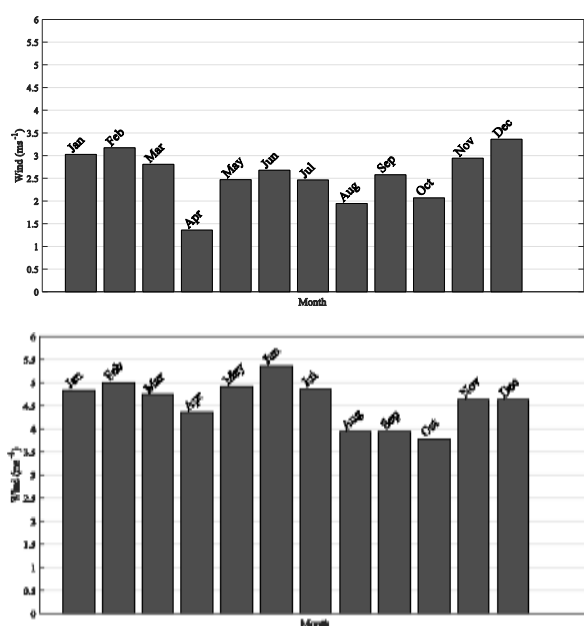
$$\theta'_i = \begin{cases} (\theta_i^x - \theta_i^{obs}) \left[ 1 - \frac{360}{|\theta_i^x - \theta_i^{obs}|} \right] & , \text{if } |\theta_i^x - \theta_i^{obs}| > 180^\circ \\ (\theta_i^x - \theta_i^{obs}) & , \text{if } |\theta_i^x - \theta_i^{obs}| \leq 180^\circ \end{cases} \quad (2)$$

#### ۳-۲ روش کار

داده‌های بویه و سینوپ از سازمان هواشناسی و سازمان بنادر و کشتیرانی تهیه شده و مقایسه به صورت نزدیک‌ترین نقاط داده شبیه‌سازی شده توسط ماهواره و بازتحلیل به نقاط اندازه‌گیری توسط بویه انجام می‌شود و در واقع مقادیر خطا با وجود فاصله بین نقاط گزارش می‌شود. شکل ۲ تصویری کلی از نقاط داده اندازه‌گیری شده توسط بویه و داده‌های شبیه‌سازی شده ارائه می‌دهد. تنها داده‌های هم‌زمان از تمام مجموعه داده‌ها استخراج شده و مقایسه شده‌اند و بقیه داده‌های غیر هم‌زمان در فرآیند مقایسه حذف شده‌اند. در فرآیند مقایسه داده‌ها از سه شاخص اریبی، خطای جذر میانگین مربعات و همبستگی استفاده شده است که تنها قسمتی از نتایج مقایسه در اینجا ارائه می‌شود. بعد از ارزیابی میزان صحت داده‌های ماهواره و بازتحلیل برای سال ۲۰۰۹، میدان‌های باد بلندمدت از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ توسط داده‌های بازتحلیل و ماهواره به دست می‌آیند و روند تغییرات و بیشینه‌ها و کمینه‌های باد توسط این داده‌ها بررسی و تحلیل می‌شود.

ماهواره نشان می‌دهد که ماههایی با شمال قوی‌تر (به‌طور مثال ماه دسامبر) نتایج بسیار بهتر از ماههایی با شمال ضعیف‌تر است. همچنین مقایسه حاصل از داده بازتحلیل با بویه نشان می‌دهد که در ماه ژوئیه و ژولای که شمال تابستانه قوی‌تری در واقع بازتحلیل آشکار شده است، نتایج بسیار بهتر بوده است و در واقع این همان اثر مهم شمال را در مقایسه داده‌های باد نشان می‌دهد.

۲-۳ بازه ۱۹۸۸-۲۰۱۰



شکل ۳: الف) نمودار میله‌ای تغییرات ماهانه باد ماهواره‌ای از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ در نزدیک‌ترین نقطه به ایستگاه بوشهر (ب) نمودار میله‌ای تغییرات ماهانه باد بازتحلیل.

اینکه در تابستان شمال تابستانه حکم‌فرماست، کمینه‌های باد در تابستان رخ نمی‌دهد. بنابراین بادهای بیشینه می‌تواند در اثر سامانه‌های همدیدی مختص زمستان که گاهی همراه با شمال نیز هست، رخ دهد و همچنین بادهای آرام‌تر در تابستان به دلیل شمال تابستانه روی می‌دهند.

جدول ۱: خطای محاسبه شده برای داده‌های مختلف برای سال ۲۰۰۹.

ایستگاه	داده	خطای جذر		خطای اریبی		همبستگی		میانگین داده
		میانگین مربعات	(s/m)	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	
بوشهر	NCDC-BSW	2.94	96.33	-1.06	14.86	0.54	0.85	1191
	ERA0.75	3.43	83.96	1.03	-12.21	0.12	0.84	1461
	ERA0.25	3.20	74.94	-0.59	6.15	0.35	0.85	1461
	ERA0.125	3.17	75.21	-0.38	6.17	0.33	0.85	1461
بوشهر	NCDC-BSW	3.07	79.40	-1.41	25.20	0.58	0.70	941
	ERA0.75	3.97	98.22	-0.78	3.26	0.07	0.68	976
	ERA0.25	3.69	103.41	-0.80	15.66	0.07	0.68	1461
	ERA0.125	3.57	103.20	3.57	103.20	0.06	0.68	1461
بوشهر	NCDC-BSW	2.93	103.83	1.14	24.00	0.19	0.74	250
	ERA0.75	2.27	102.71	0.14	-34.75	0.49	0.75	366
	ERA0.25	1.86	113.89	0.40	-41.06	0.65	0.84	1461
	ERA0.125	1.86	113.89	0.40	-41.06	0.65	0.84	1461

با توجه به تاثیرپذیری بیشتر بویه بوشهر از شمال و همچنین مشاهدات کامل‌تر این بویه اثرات شمال بر روی بیشینه‌ها و کمینه‌های تخمین زده شده توسط دو مجموعه داده تحت جداول ۲ و ۳ به تفکیک ماه انجام شد. مقایسه ماه به ماه برای داده

جدول ۲: خطای محاسبه شده برای مقایسه بویه بوشهر و ماهواره برای سال ۲۰۰۹ به تفکیک ماه.

ماه	سرعت باد			جهت باد				
	همبستگی	خطای جذر میانگین مربعات	خطای اریبی	انحراف از میانگین	خطای جذر میانگین مربعات	خطای اریبی	انحراف از میانگین	
Jan	0.69	2.94	-1.8	2.33	0.88	75.23	-2.21	75.2
Feb	0.52	3.69	-1.53	3.38	0.88	69.24	1.27	69.23
Mar	0.54	3.28	-1.27	3.04	0.83	92.69	-1.72	92.68
Apr	0.31	2.98	-1.11	2.78	0.8	88.45	3.32	88.39
May	0.58	2.67	-0.66	2.6	0.82	92.63	33.59	86.32
Jun	0.31	2.33	-0.2	2.33	0.74	99.5	39.59	91.28
Jul	0.35	2.83	-1.14	2.61	0.69	79.83	26.38	75.34
Aug	0.42	2.62	-0.72	2.53	0.65	93.99	28.86	89.45
Sep	0.56	3.54	-1.29	3.32	0.79	84.7	2.31	84.67
Oct	0.44	2.63	-0.92	2.47	0.77	95.3	-3.23	95.24

Nov	0.61	2.72	-1.12	2.49	0.87	83	-3.03	82.94
Dec	0.64	2.02	-0.48	2.02	0.89	67.57	-13.45	66.22

جدول ۳: خطای محاسبه شده برای مقایسه بویه بوشهر و بازتحلیل برای سال ۲۰۰۹ به تفکیک ماه.

ماه	سرعت باد				جهت باد			
	همبستگی	خطای جذر میانگین مربعات	خطای اربیبی	انحراف از میانگین	همبستگی	خطای جذر میانگین مربعات	خطای اربیبی	انحراف از میانگین
Jan	0.23	3.32	1.32	3.06	0.86	75.67	5.13	75.5
Feb	0.09	4.22	1.98	3.74	0.87	92.83	-8.56	92.43
Mar	0.15	3.73	0.55	3.7	0.83	86.43	18.09	84.51
Apr	0.03	3.17	-0.32	3.16	0.8	103.59	0.99	103.58
May	0.13	3.29	0.62	3.24	0.82	89.61	24.01	86.33
Jun	0.25	2.33	0.5	2.28	0.76	96.01	30.25	91.12
Jul	0.07	2.95	0.3	2.95	0.68	99.63	51.23	85.45
Aug	0.12	3.09	1.17	2.87	0.67	115.21	22.45	113
Sep	0.09	4.26	1.76	3.9	0.82	89.53	13.39	88.52
Oct	0.01	2.93	0.49	2.9	0.75	116.04	-4.26	115.97
Nov	0.18	4.08	2.7	3.07	0.86	71.49	-5.86	71.25
Dec	0.65	3.14	2.04	2.41	0.9	77.69	-31.48	71.03

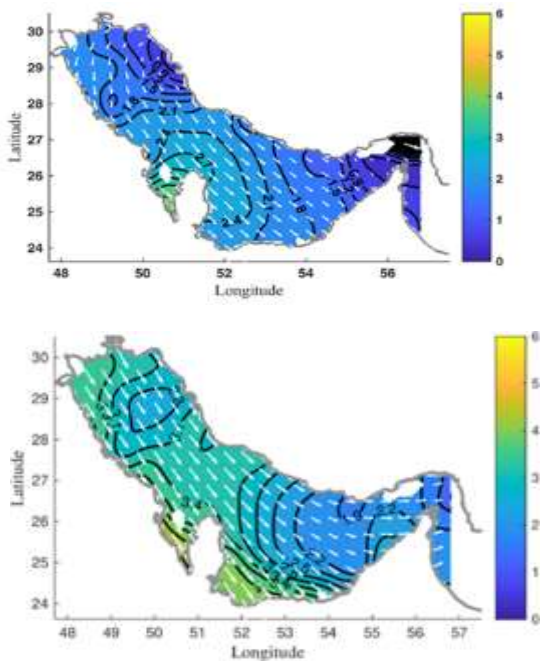
حال افزایش یا کاهش است. مشاهده می‌شود که داده بازتحلیل افزایش نسبی و بسیار جزئی و داده ماهواره کاهش سرعت باد را نشان می‌دهد. با این وجود بیشینه‌ها و کمینه‌های سرعت باد در هر دو داده بازتحلیل و ماهواره در سال‌های مشخص و یکسان ولی با مقادیر متفاوت رخ داده است. برای درک این تناقض لازم است داده‌های بیشتری بررسی و تحلیل شود.

بدین منظور از ایستگاه‌های سینوپ در منطقه استفاده می‌شود که بر طبق داده‌های تاریخی موجود کنونی روند افزایشی یا کاهشی مشخصی در ایستگاه‌های سینوپ خلیج فارس مشاهده نمی‌شود و در واقع نمی‌توان گفت کاملاً افزایشی یا کاملاً کاهشی است. به‌طور مثال روند باد بوشهر ساحلی کاهشی و بوشهر فرودگاهی افزایشی است. در واقع از آنجایی که ماهواره و بازتحلیل پدیده‌های متفاوتی را در برآوردهای خود مدنظر قرار می‌دهند نتایج متفاوتی هم دارند. داده بازتحلیل برگرفته از مدل جهانی است بنابراین، الگوی هم‌مدیدی منطقه را در نظر گرفته ولی داده ماهواره‌ای بیشتر اثرات محلی که بر روی ارتفاع موج در منطقه اثر می‌گذارد را مدنظر قرار داده است. چالش دیگر این است که داده‌های بیشینه و کمینه تحت‌تاثیر کدام الگوهای جوی

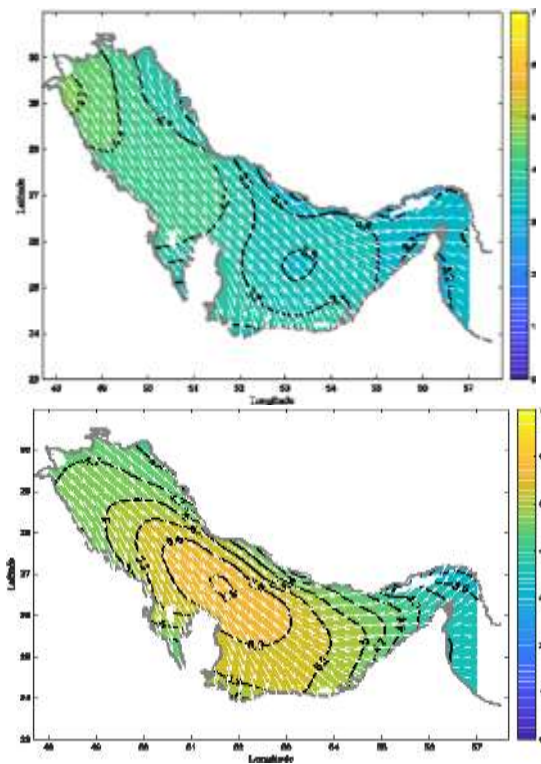
پس از بررسی میزان خطای داده‌ها روند تغییرات باد ماهواره‌ای و بازتحلیل در نزدیکی ایستگاه بوشهر که بیشتر تحت تاثیر شمال قرار می‌گیرد بررسی می‌شود (شکل ۴ الف و ب). شکل ۴ الف نمودار روند سرعت باد ماهواره‌ای ترکیبی در نزدیکی ایستگاه بوشهر را در یک دوره ۲۳ ساله بر اساس میانگین سالانه نشان می‌دهد. روند سرعت باد ماهواره‌ای از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ با شیب منفی ۰/۰۸۷- مواجه است. معناداری این روند با توجه به مقدار P محاسبه شده (بسیار کمتر از ۰/۰۵)، کاملاً مشهود است و نشان از کاهش بسیار جزئی سرعت باد در خلیج فارس طی این دوره بلندمدت دارد. با این توضیح که در این روند افزایش ناگهانی سرعت باد در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۸ و کاهش ناگهانی در سال‌های ۱۹۹۲، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۶ رخ داده است. شکل ۴ ب نیز نمودار روند سرعت باد بازتحلیل در نزدیکی ایستگاه بوشهر را در یک دوره ۲۳ ساله بر اساس میانگین سالانه نشان می‌دهد که برخلاف ماهواره در این حالت روند مثبت و صعودی با شیب بسیار کم ۰/۰۱۵ برقرار است. به‌طور کلی بازتحلیل و ماهواره در بلندمدت برآورد مشابهی از سرعت باد ندارند و نمی‌توان با صراحت گفت که سرعت باد در



می‌رسد این یک خطای دستگاهی است که ناشی از نحوه محاسبه باد توسط ماهواره است.



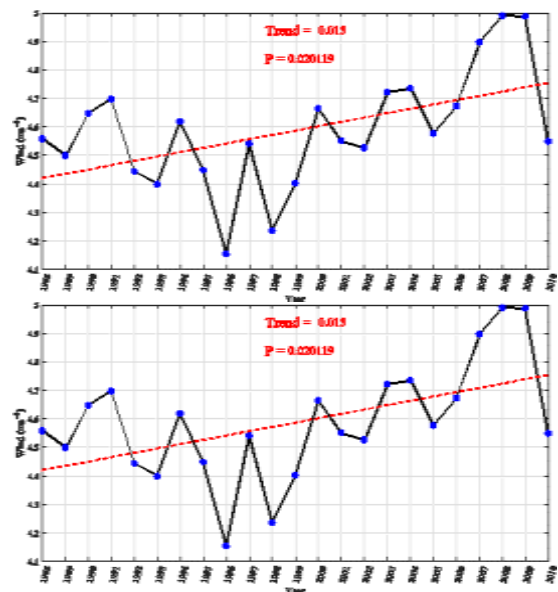
شکل ۵: الف) متوسط میدان باد سطحی ماهواره‌ای در ماه ژوئیه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰. ب) در ماه دسامبر.



شکل ۶: الف) متوسط میدان باد سطحی بازتحلیل در ماه ژوئیه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰. ب) در ماه دسامبر.

همدیدی و یا محلی قرار گرفته‌اند و بایستی مشخص شود که بیشینه‌های باد به دلیل الگوی شمال بوده است یا عوامل دیگری در رخداد آنها دخیل بوده‌اند. بدین‌منظور میدان‌های باد بلندمدت منطقه رسم می‌شود که تنها به میدان‌های باد دو ماه ژوئیه و دسامبر از کل سال بسنده می‌شود که به سبب تباین بالای زمستان و تابستان این دو ماه از این فصول انتخاب شده‌اند.

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب پربندهای باد ماهواره‌ای و بازتحلیل را نشان می‌دهد. از نتایج بسیار جالب شکل ۵ الف این است که در نزدیکی بوشهر در تابستان منطقه بادها کاملاً جهت غالب شمال‌غربی دارند ولی در شکل ۵ ب یعنی زمستان منطقه بادها از شمال غربی تا حدی به سمت شمال شرقی در منطقه بوشهر تغییر جهت داده‌اند. زیرا شمال زمستانه قوی‌تر اما کوتاه‌مدت‌تر است و کمتر الگوی کلی را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد.



شکل ۷: الف) نمودار روند باد ۱۰ متری ماهواره‌ای ترکیبی در نزدیک‌ترین نقطه به ایستگاه بوشهر از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰. ب) نمودار روند باد ۱۰ متری بازتحلیل.

بادها در نزدیک قشم و تنگه هرمز به نسبت دو ایستگاه دیگر ضعیف‌ترند. در واقع، شمال به تدریج در این منطقه ضعیف‌تر می‌شود و این ناحیه بیشتر از جریانات مونسون تابستانه تأثیر می‌پذیرد.

در کل سرعت باد بازتحلیل بیشتر از ماهواره است. در داده‌ای ماهواره‌ای گرایان باد شدید در نزدیکی تنگه هرمز مشاهده می‌شود (شکل ۵ ب) که در میدان بازتحلیل وجود ندارد و به‌نظر

مکانی ۰/۷۵ درجه، محدودیت‌هایی در شبیه‌سازی سرعت باد ارائه می‌دهد که این مساله با تغییر تفکیک به ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ درجه چندان بهبود نمی‌یابد اما در مورد جهت باد نتایج برای هر دو داده بسیار بهتر از سرعت باد است.

- نتایج بررسی میدان باد بلندمدت خلیج فارس نشان از افزایش نسبی سرعت باد تخمین زده شده توسط مدل بازتحلیل و کاهش نسبی سرعت باد تخمین زده شده توسط داده ماهواره‌ای را دارند که از نظر روند، روند مشاهده شده توسط داده ماهواره‌ای نسبتاً معنادار بوده است.

- به صورت نقطه‌ای داده ماهواره‌ای عملکرد بهتری نسبت به بازتحلیل داشته و مقادیر تخمین زده شده به واقعیت نزدیک‌تر بوده است. از آنجایی که داده‌های همدیدی منطقه هم روند صعودی یا نزولی مشخصی را آشکار نمی‌کنند این مساله نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر دارد.

- بررسی بلندمدت روند افزایش یا کاهش سرعت باد در ایستگاه‌های مختلف نشان از تاثیر شمال تابستانه و زمستانه بر روی بادهای بیشینه و کمینه ثبت شده دارد. به طور کل شمال الگوی باد را در منطقه تحت تاثیر قرار می‌دهد و در طول ساحل شمالی خلیج فارس باد در قسمت غربی (بوشهر) شمالی شمال غربی است و در جهت چرخندی در نتیجه اثرات توپوگرافی می‌چرخد به طوری که در نواحی میانی (عسلویه) غربی است و در نهایت در نواحی جنوبی (قشم) جنوب غربی است و این الگو در تطابق با مواقعی است که شمال قوی می‌وزد. بیشینه بادهای در زمستان در نزدیکی بوشهر رخ می‌دهد و در تابستان بیشینه بادهای به عرض‌های پایین‌تر می‌رود. همچنین با محاسبه مقادیر خطای داده‌های بازتحلیل و ماهواره مشخص شد که مقادیر خطا در ماه‌هایی که هر یک از داده‌ها شمال قوی‌تری را آشکار نمودند، کمتر است.

در واقع داده ماهواره‌ای در زمستان (شمال زمستانه) خطای کمتری دارد و داده بازتحلیل در تابستان (شمال تابستانه) خطای کمتری بروز می‌دهد. در واقع اثر شمال بر روی کمینه‌ها و بیشینه‌های باد کاملاً مشخص و بارز است.

نکته جالب در هر دو سری داده مخصوصاً داده بازتحلیل این است که در تابستان به طور کلی بیشینه بادهای به سمت مرکز خلیج فارس حرکت کرده ولی در زمستان بیشینه بادهای به سمت عرض‌های بالاتر و نزدیک بوشهر آمده است. از آنجایی که شمال تابستانه بلندمدت‌تر است، بیشینه بادهای منطقه وسیع‌تری در عرض‌های پایین‌تر و کمی شرق‌تر را در بر می‌گیرد.

همین‌طور گرادیان باد نیز در زمستان در مناطق شمالی بیشتر است و با تغییر فصل به سمت تابستان در مناطق جنوبی‌تر گرادیان باد بیشتری مشاهده می‌شود. می‌توان گفت منطقه بوشهر در زمستان به نسبت بادهای قوی‌تری دارد و در تابستان مناطق جنوبی‌تر بادهای قوی‌تری را تجربه می‌کنند. به عبارتی منطقه بوشهر بیشتر تحت تاثیر شمال زمستانه قرار می‌گیرد و مناطق جنوبی‌تر بیشتر تحت تاثیر شمال تابستانه هستند. در بهار نیز بادهای بیشینه تقریباً در مناطق مرکزی رخ می‌دهند و در پاییز به سمت شمال غربی خلیج فارس کشیده می‌شوند. از نظر جهت، بادهای در منطقه ۱ (بوشهر) شمال غربی در منطقه ۲ (عسلویه) تقریباً غربی و در منطقه ۳ (قشم) تقریباً جنوب غربی هستند. تفاوت بارزی در میزان سرعت باد در دو داده ECMWF و ماهواره‌ای ترکیبی به چشم می‌خورد. میدان باد را داده ECMWF بیشتر از ماهواره تخمین زده است. همچنین الگوی مستخرج از داده ECMWF، همگن‌تر از الگوی میدان باد ماهواره‌ای است. بادهای بازتحلیل در میانه خلیج فارس بیشینه شده‌اند ولی باد ماهواره‌ای در نواحی جنوبی‌تر بیشینه شده است. در الگوی میدان باد ماهواره‌ای تفاوت سرعت‌ها از غرب به شرق خلیج فارس و همچنین جنوب آن مشاهده می‌شود در حالی که در میدان باد داده ECMWF این اختلاف‌ها واضح نیستند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق مطالعه میدان باد میانگین و روند باد خلیج فارس است و برای این هدف از سه مجموعه داده باد سطح آب شامل: داده اندازه‌گیری بویه و سینوپ؛ داده بازتحلیل ERA-Interim؛ و داده ماهواره‌ای ترکیبی NCDC-BSW استفاده شده است. نتایج این تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- داده NCDC-BSW ارائه قابل قبولی از سرعت و جهت باد دارد و در مقابل، داده بازتحلیل ERA-Interim با تفکیک



- van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, a. J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, a. P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.J., Park, B.K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.N., Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137, 553–597.  
<https://doi.org/10.1002/qj.828>
- Ebuchi, N., Graber, H.C., Caruso, M.J., 2002. Evaluation of wind vectors observed by QuikSCAT/SeaWinds using ocean buoy data. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 19, 2049–2062.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<2049:EOWVOB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<2049:EOWVOB>2.0.CO;2)
- Freilich, M.H., Dunbar, R.S., 1999. The accuracy of the NSCAT 1 vector winds: Comparisons with National Data Buoy Center buoys. *J. Geophys. Res. Ocean.* 104, 11231–11246.  
<https://doi.org/10.1029/1998JC900091>
- Hassanzadeh, S., Hosseinibalam, F., Rezaei-Latifi, A., 2011. Numerical modelling of salinity variations due to wind and thermohaline forcing in the Persian Gulf. *Appl. Math. Model.* 35, 1512–1537.  
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.09.029>
- Kämpf, J., Sadrinasab, M., 2005. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Sci. Discuss.* 2, 129–164.  
<https://doi.org/10.5194/osd-2-129-2005>
- Liu, W.T., Tang, W., 1996. Equivalent neutral wind. National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.
- Masuko, H., Arai, K., Ebuchi, N., Konda, M., Kubota, M., Kutsuwada, K., Manabe, T., Mukaida, A., Nakazawa, T., Nomura, A., others, 2000. Evaluation of vector winds in the Persian Gulf. *Journal of Marine Research*, 58, 1–15.  
<https://doi.org/10.1080/00222590008839232>
- اولاد، ا.؛ ایران نژاد، پ.؛ و غفاریان، پ.، ۱۳۹۶. بررسی داده‌های مختلف باد سطح دریا بر روی حوضه خلیج فارس. چهارمین کنفرانس بین‌المللی اقیانوس‌شناسی خلیج فارس. تهران، وزارت راه و شهرسازی - سازمان هواشناسی کشور،  
[https://www.civilica.com/Paper-ICPGO04-ICPGO04\\_035.html](https://www.civilica.com/Paper-ICPGO04-ICPGO04_035.html)
- کشوری، ش.؛ خالقی زواره، ح.؛ و ریحانی، م.، ۱۳۸۵. تعیین الگوی باد در خلیج فارس (ایستگاه‌های آبادان، بوشهر، کیش و ابوموسی). هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. تهران، سازمان بنادر و کشتی‌رانی.
- کمیجانی، ف.؛ نصراللهی، ع.؛ نظری، ن.؛ و ناهید، ش.، ۱۳۹۳. تحلیل رژیم باد خلیج فارس با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی. مجله نیوار، شماره ۸۴-۸۵، صفحات ۴۴-۲۷.
- Benschop, H., 1996. Winds nel heidsmetin gen op zee stations en kuststations: herleiding waarden wjndStt{é}lheld naar 10-meter niveau.
- Bentamy, A., Quilfen, Y., Queffeuilou, P., Cavanie, A., 1994. Calibration of the ERS-1 scatterometer C-band model. *Inst. Fran{ç}aise Rech. pour l'Exploitation la Mer, Fr. IFREMER DRO/OS-94-01.*
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., 2012. Ocean surface wind simulation forced by different reanalyses: Comparison with observed data along the Iberian Peninsula coast. *Ocean Model.* 56, 31–42.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.08.002>
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., Santos, C.S., 2014. Comparison of reanalyzed, analyzed, satellite-retrieved and NWP modelled winds with buoy data along the Iberian Peninsula coast. *Remote Sens. Environ.* 152, 480–492.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.017>
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, a. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. a., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, a. C.M.,

- UNEP, 1999. Overview on land-based sources and activities affecting the marine environment in the ROPME Sea Area. UNEP/GPA Co-ordination Office & ROPME. 127p. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 168.
- Walmsley, J.L., 1988. On theoretical wind speed and temperature profiles over the sea with applications to data from Sable Island, Nova Scotia. *Atmosphere-Ocean* 26, 203–233.  
<https://doi.org/10.1080/07055900.1988.9649300>
- Wentz, F.J., 1997. A well-calibrated ocean algorithm for special sensor microwave/imager. *J. Geophys. Res. Ocean.* 102, 8703–8718.  
<https://doi.org/10.1029/96JC01751>
- Wentz, F.J., Cardone, V.J., Fedor, L.S., 1982. Intercomparison of wind speeds inferred by the SASS, altimeter, and SMMR. *J. Geophys. Res.* 87, 3378–3384.  
<https://doi.org/10.1029/JC087iC05p03378>
- Yamartino, R.J., 1984. A comparison of several “single-pass” estimators of the standard deviation of wind direction. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 23, 1362–1366.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1362:ACOSPE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1362:ACOSPE>2.0.CO;2)
- Yu, Y., Notaro, M., Kalashnikova, O. V, Garay, M.J., 2015. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 289–305.  
<https://doi.org/10.1002/2015JD024063>
- winds observed by NSCAT in the seas around Japan. *J. Oceanogr.* 56, 495–505.  
<https://doi.org/10.1023/A:1011192725800>
- Membery, D.A., 1983. Low level wind profiles during the Gulf Shamal. *Weather* 38, 18–24.  
<https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1983.tb03638.x>
- Owlad, E., Ghafarian, P., Khaleghi-zavareh, H., Irannejad, P., 2019. Comparison of Reanalysis, Blending Satellite Data and Buoy Surface Wind Data over the Persian Gulf Basin for 2009 7.
- Ruti, P.M., Marullo, S., D’Ortenzio, F., Tremant, M., 2008. Comparison of analyzed and measured wind speeds in the perspective of oceanic simulations over the Mediterranean basin: Analyses, QuikSCAT and buoy data. *J. Mar. Syst.* 70, 33–48.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.02.026>
- Schroeder, L.C., Boggs, D.H., Dome, G., Halberstam, I.M., Jones, W.L., Pierson, W.J., Wentz, F.J., 1982. The relationship between wind vector and normalized radar cross section used to derive SEASAT-A satellite scatterometer winds. *J. Geophys. Res. Ocean.* 87, 3318–3336.  
<https://doi.org/10.1029/JC087iC05p03318>
- Stull, R.B., 1988. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology* Kluwer Academic Publishers Dordrecht 666 Google Scholar.  
<https://doi.org/10.1029/JC087iC05p03318>