

برآورد سرعت باد در سطح دریا با استفاده از تصاویر قطبیده متقاطع باند C مأموریت Sentinel-1

آرش طایفه رستمی^۱، مهدی حسنلو^۲، عباس عابدینی^۳

^۱دانش آموخته دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران. ar.tayfehrostami@ut.ac.ir

^۲دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران. hasanlou@ut.ac.ir

^۳استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران. aabedeni@ut.ac.ir

چکیده

برآورد بادهای سطح اقیانوس از فضا یک حوزه مهم در تحقیقات سنجش‌از‌دور شامل کاربردهایی مانند پیش‌بینی طوفان، پهنه‌بندی انرژی باد، برآورد الگوهای رانش لکه‌های نفتی، اعتبارسنجی و توسعه مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا (NWP) و چندین کاربرد دیگر می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از بویه‌های هواشناسی و تصویر قطبیده متقاطع باند C مأموریت Sentinel-1 سرعت باد در سطح دریا، بدون نیاز به داشتن جهت باد، برآورد شده است. برای ارزیابی نتایج، تعدادی از بویه‌ها به عنوان نقاط کنترل و تعدادی نیز به عنوان نقاط چک انتخاب شدند. نتایج مقایسه نشان داد ضریب بازپراکنش حاصل از تصویر مأموریت Sentinel-1 همبستگی خطی ۶۷.۲۶٪ با سرعت باد اندازه‌گیری شده از بویه‌ها در منطقه مطالعاتی دارد.

واژه‌های کلیدی: سرعت باد، بویه‌های هواشناسی، Sentinel-1، خلیج موبیل، رگرسیون خطی، پلاریزاسیون VH.

Estimation of sea wind speed using C-Band Cross Polarization images of Sentinel-1 mission

Arash Tayfehrostami¹, Mahdi Hasanlou¹, Abbas Abedini¹

¹ School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, P.O. Box 11155-4563, Tehran, Iran.

Abstract

Estimation of ocean surface winds from space is an important field in remote sensing research, with applications such as hurricane forecasting, wind energy mapping, estimation of oil spill drift patterns, validation, and development of numerical weather forecasting models (NWP) and several other applications. In this study, using meteorological buoys and a C-band cross-polarization image of the Sentinel-1 mission, wind speed at sea surface was estimated without the need for wind direction. To evaluate the results, a number of buoys were selected as control points and a number as checkpoints. The comparison results showed that the σ_0 obtained from the Sentinel-1 mission image has a linear correlation of 67.26% with the wind speed measured by the buoys in the study area.

Keywords: Wind speed, Buoys, Sentinel-1, Mobile Bay, Linear regression, VH polarization.

۱ مقدمه

برای ساخت بنادر و ساخت و سازهای دریایی ضروری است که جریان‌های سطحی دریاها مدل‌سازی شود و مهم‌ترین عامل ایجاد جریان‌های سطحی، باد است (گارسیا لئون و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، برای مدل‌سازی جریان‌های سطحی دریایی نیاز به تخمین سرعت باد داریم. برای این کار دو حالت وجود دارد، در حالت اول باید از بویه‌ها و قایق‌های هواشناسی استفاده کنیم که هزینه بالایی دارد. در حالت دوم، از تصاویر هواشناسی استفاده می‌شود، این تصاویر نقشه‌هایی از سرعت باد برای هرروز ارائه داده و می‌توانیم از آن‌ها استفاده کنیم اما ایراد تصاویر هواشناسی فوق، در پایین بودن توان تفکیک مکانی آن‌ها بوده که همین امر سبب غیرقابل استفاده بودن آن‌ها برای کاربردهای ساخت بنادر می‌شود. از این‌رو،

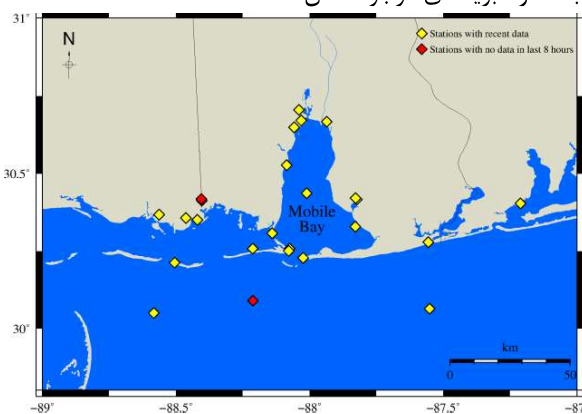
بازیابی سرعت باد در سطح اقیانوس از تصاویر قطبیده متقاطع باند C رادار با روزنه مصنوعی (SAR) یک قابلیت تأیید شده است (برای مثال، وولا و همکاران (۲۰۱۸) و منابع موجود در آن یا دنیینا و کالینز (۲۰۱۶)). در مطالعات قبلی برای محاسبه سرعت باد از تصاویر قطبیده متقاطع باند SAR C استفاده و ضریب بازپراکنش (σ₀) مربوط به آن در مدل CMOD5 قرار داده می‌شد که یک مدل ژئوفیزیکی تابعی از ضریب بازپراکنش، زاویه برخورد، جهت باد و سرعت باد است (ورهوف و همکاران، ۲۰۰۸ و کوماروف و همکاران (۲۰۱۴)). در نتیجه، جهت باد نیز به عنوان ورودی لازم است به مدل داده شود. اگر جهت باد مشخص نبود، استفاده از مدل فوق میسر نبود. طبق مقاله واچون و ولف (۲۰۰۱)، می‌توان بین ضریب بازپراکنش باند VH تصاویر باند C سنجنده RADARSAT-2 و سرعت باد در سطح دریا رابطه‌ای خطی مستقل از زاویه برخورد و جهت باد با دقت ۲ متر در ثانیه بدست آورد. هدف از این مطالعه، محاسبه سرعت باد در سطح دریا با استفاده از تصاویر قطبیده متقاطع باند C مأموریت Sentinel-1 با استفاده از روشی است که بدون نیاز به زاویه برخورد و جهت باد بتوان سرعت باد را برای هر پیکسل از تصویر محاسبه کرد.

۲ منطقه مطالعاتی

در این مطالعه خلیج موبیل (Mobile Bay) به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. این خلیج یک خلیجک از خلیج مکزیک است که درون ایالت آلابامای ایالات متحده آمریکا قرار گرفته است. یک جزیره سدی (Barrier island) در سمت غرب آن قرار دارد. رود موبیل و تنسا به انتهای شمالی خلیج می‌ریزد و به نوعی آن را پای رود می‌کند. رودهای کوچک‌تر نیز به این خلیج می‌ریزند مانند رود داگ، رود دیر و رود فاوول که به بخش غربی می‌ریزد. خلیج موبیل ۱۸۰۰ متر مکعب آب را در ثانیه جابه‌جا می‌کند. خلیج موبیل در ۱۰۷۰ کیلومتر مربع گسترده شده که درازای آن بیشتر حالت ۵۰ کیلومتر و پهنای آن ۳۹ کیلومتر است. گودترین بخش آن ۲۳ متر عمق دارد اما عمق متوسط آن ۳ متر است.

۳ داده‌های مورد استفاده

جامعه آماری شامل بویه‌های موجود در (<https://www.ndbc.noaa.gov>) است که اطلاعات آن‌ها مربوط به هر روز و هر ساعت قابل تهیه است. در این مطالعه از اطلاعات بویه‌های موجود و تصویر باند C و پلاریزاسیون VH مأموریت Sentinel-1 (<https://search.asf.alaska.edu>) مربوط به روز ۱۸ ماه ژانویه سال ۲۰۱۹ برای خلیج موبیل استفاده می‌شود. در شکل (۱)، منطقه مطالعاتی به همراه بویه‌های موجود نشان داده شده است.



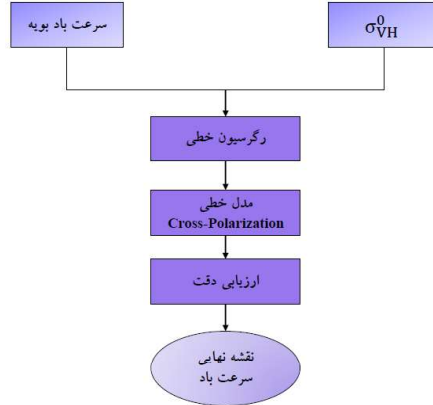
شکل ۱. خلیج موبیل و بویه‌های موجود در آن.

۴ روش تحقیق

برای پیدا کردن رابطه خطی بین ضریب بازپراکنش و سرعت باد در سطح دریا با استفاده از داده‌های قطبیده متقاطع باند C مأموریت Sentinel-1 باید منطقه‌ای را انتخاب کنیم که دارای تعداد زیادی بویه که سرعت باد را اندازه‌گیری می‌کنند باشد. با داشتن سرعت باد از بویه‌ها و مقدار σ_0^{VH} از تصویر SAR، رابطه این دو را با استفاده از رگرسیون خطی بدست می‌آوریم. سپس، برای ارزیابی دقت رابطه بدست آمده، تعدادی از بویه‌ها را به عنوان نقاط کنترل انتخاب می‌کنیم و سرعت باد را با استفاده از σ_0^{VH} با جایگذاری در رابطه بدست آورده و با سرعت واقعی باد مقایسه می‌کنیم.

$$\sigma_0^{VH} = a \times U_{10} + b \quad (1)$$

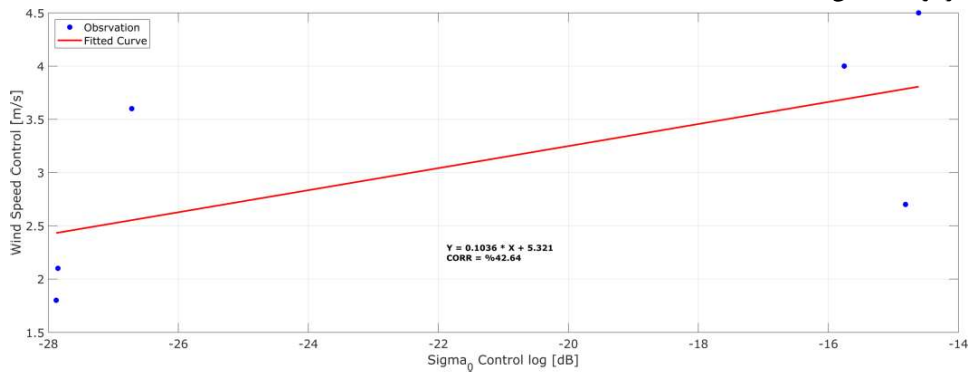
در رابطه بالا، σ_0^{VH} برحسب دسی‌بل (dB) و U_{10} سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا برحسب متر بر ثانیه (m/s) است. در شکل (۲)، فلوجارت روش تحقیق استفاده شده در این تحقیق نشان داده شده است.



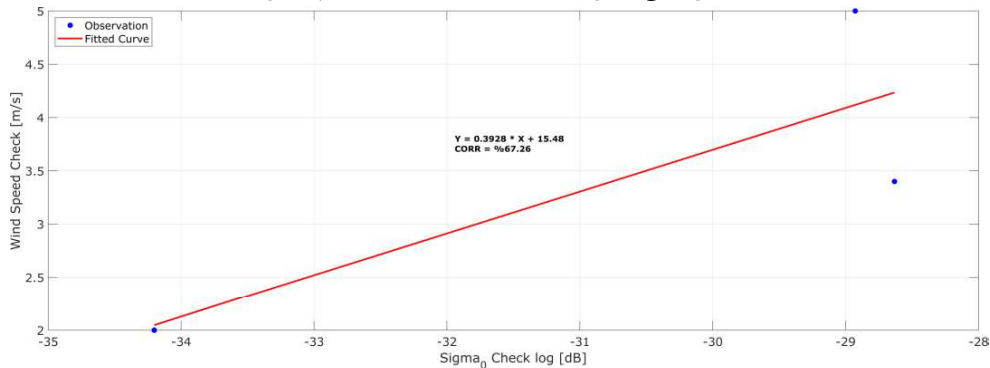
شکل ۲. فلوجارت روش تحقیق مورد استفاده در این مطالعه.

۵ نتایج

در شکل‌های (۳ و ۴)، رگرسیون خطی برازش داده شده بر نقاط کنترل و نقاط چک ضریب بازپراکنش و سرعت باد حاصل از بویه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳. رگرسیون خطی برازش داده شده بر نقاط کنترل ضریب بازپراکنش و سرعت باد.



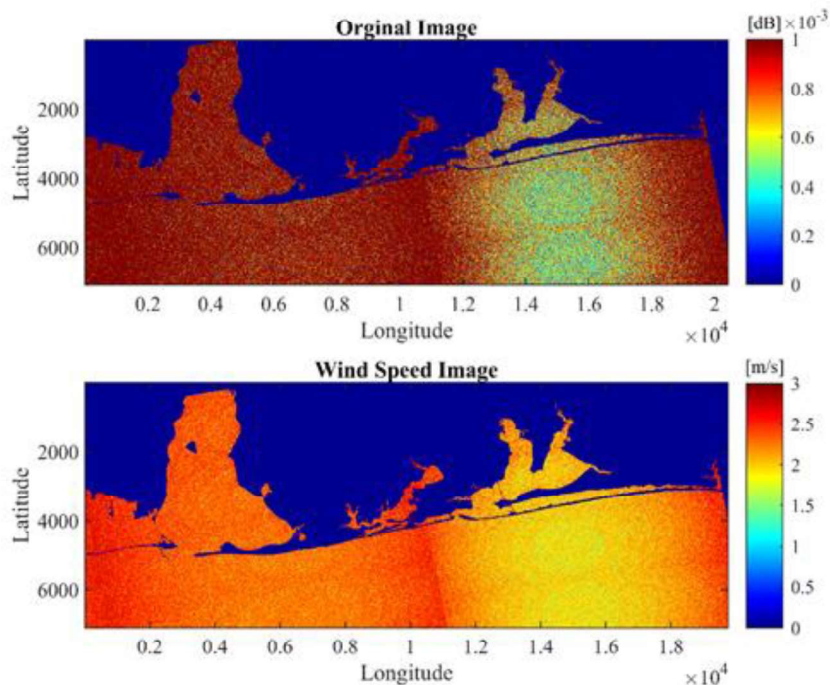
شکل ۴. رگرسیون خطی برازش داده شده بر نقاط چک ضریب بازپراکنش و سرعت باد.

در جدول (۱)، مقادیر متوسط ریشه میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) برای نقاط کنترل و نقاط چک نشان داده شده است.

جدول ۱. مقایسه دقت حاصل از نقاط کنترل و نقاط چک ضریب بازپراکنش و سرعت باد.

روش	RMSE	R^2
نقاط کنترل	۰.۹۲	٪۴۲.۶۴
نقاط چک	۱.۶۵	٪۶۷.۲۶

در نهایت، در شکل (۵)، نیز تصویر اصلی و تصویر سرعت باد برآورد شده در منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۵. تصویر اولیه و نتیجه نهایی سرعت باد برآورد شده از تصویر C-band co-polarization مأموریت Sentinel-1.

۶ بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های بویه و تصویر قطبیده متقاطع باند C مأموریت Sentinel-1 سرعت باد در سطح دریا برآورد شد. برای برآورد سرعت باد با استفاده از تصویر قطبیده متقاطع باند C مأموریت Sentinel-1 یک رابطه خطی بین ضریب بازپراکنش حاصل از پردازش تصویر و داده‌های بویه ایجاد شد. برای ارزیابی نتایج، تعدادی از بویه‌ها به عنوان نقاط کنترل و تعدادی نیز به عنوان نقاط چک انتخاب شدند. نتایج مقایسه نشان داد سرعت باد برآورد شده از تصویر مأموریت Sentinel-1 همبستگی خطی ٪۶۷.۲۶ با سرعت باد اندازه‌گیری شده از بویه‌ها در منطقه مطالعاتی دارد.

منابع

- García-León, M.; Sotillo, M.G.; Mestres, M.; Espino, M.; Fanjul, E.A. Improving Operational Ocean Models for the Spanish Port Authorities: Assessment of the SAMOA Coastal Forecasting Service Upgrades. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 149.
- Tran Vu La, Ali Khenchaf, Fabrice Comblet, Carole Nahum. Assessment of Wind Speed Estimation From C-Band Sentinel-1 Images Using Empirical and Electromagnetic Models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, 56 (7), pp.4075 - 4087.
- Michael Denbina, Michael J. Collins, Wind speed estimation using C-band compact polarimetric SAR for wide swath imaging modes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 113, 2016, Pages 75-85, ISSN 0924-2716.
- Komarov, A., Zabeline, V., Barber, D., 2014. Ocean surface wind speed retrieval from C-band SAR images without wind direction input. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 52, 980-990, February.
- Verhoef, A., Portabella, M., Stoffelen, A., Hersbach, H., 2008. CMOD5.n – the CMOD5 GMF for neutral winds.
- Vachon, P., Dobson, F., 2000. Wind retrieval from RADARSAT SAR images: selection of a suitable C-band HH polarization wind retrieval model. *Can. J. Remote Sensing*.