J. of Marine Eng. Vol. 21, Iss. 47, 2025. (89-107)

Journal of Marine Engineering

Journal homepage: marine-eng.ir

Design of global climate routing software (case study of crossing the Pacific Ocean)

Mehriar Alimohammadi [1*], Ali Mohammadi [2], Ahmad Zadeghabadi [3], Eman Mehraby Dastenay [4]

[1] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, mhyar_alimohammadi@yahoo.com*
[2] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, mohammadi.a4682@gmail.com*
[3] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, amirabbas7463@yahoo.com*
[4] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, i.mehraby.d@gmail.com*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 22 May 2025
Last modification: 17 Oct 2025
Accepted: 8 Nov 2025
Available online: 9 Nov 2025

Article type:
Research paper

Keywords:
Navigation
Pacific
Climate
Navigation

ABSTRACT

The navigation route in the Pacific Ocean depends on factors such as the season and weather conditions. In the Pacific Ocean, storms usually form in parts of the ocean that are in the navigation route. The occurrence of storms in the Pacific Ocean navigation routes has a significant impact on the route of vessels. In this study, the best route for crossing the Pacific Ocean width was studied by designing global climate routing software. This study showed that the best route to cross the Pacific Ocean is via the equator. If the Panama Canal is not crossed, it was shown that the best route to cross the Pacific Ocean is to enter via the Strait of Serengeti, depart along the equator, reach Easter Island, and proceed to the Strait of Magellan via the coast of Chile. This study also showed that the best time to enter the Pacific Ocean via the Strait of Serengeti is the first decade of December.

ISSN: 2645-8136

DOI: http://dx.doi.org/10.66224/marineeng.21.47.8

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/]

نشریه مهندسی دریا، جلد ۲۱، شماره ۴۷، ۱۴۰۴، (۱۰۷-۸۹)

نشریه مهندسی دریا

صفحه اصلی نشریه: marine-eng.ir

طراحی نرم‌افزار مسیریابی اقلیمی جهانی (مطالعه موردی عبور از عرض اقیانوس آرام)

مهریار علی محمدی [۱*]، علی محمدی [۲]، احمد ذادق آبادی، ایمان مهرابی دستنایی [۴]

[۱] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، mhyar-alimohammadi@yahoo.com

[۲] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، mohammadi.a4682@gmail.com

[۳] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، amirabbas7463@yahoo.com

[۴] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، i.mehraby@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

کلمات کلیدی:

دریانوردی

اقیانوس آرام

اقلیمی

مسیریابی

چکیده

مسیر دریانوردی در اقیانوس آرام به عواملی مانند فصل سال و شرایط آب‌وهوا وابسته است. در اقیانوس آرام، طوفان‌ها معمولاً در بخش‌هایی از اقیانوس که در مسیر دریانوردی قرار دارند، شکل می‌گیرند. رخداد طوفان در مسیرهای دریانوردی اقیانوس آرام به‌شدت بر مسیر شناورها تأثیر دارد. در این پژوهش با طراحی نرم‌افزار مسیریابی اقلیمی جهانی بهترین مسیر جهت عبور از عرض اقیانوس آرام مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش نشان داده شد که بهترین مسیر برای عبور از عرض اقیانوس آرام حرکت از روی خط استوا است. در صورت عدم عبور از کانال پاناما نشان داده شد که بهترین مسیر برای عبور از عرض اقیانوس آرام ورود از طریق سرنگانی، عزیمت در طول خط استوا و رسیدن به جزیره ایستر و حرکت به تنگه ماژلان از طریق سواحل شیلی است. همچنین در این پژوهش نشان داده شد که بهترین زمان برای ورود به اقیانوس آرام از تنگه سرنگانی دهه اول ماه دسامبر است.

ISSN: 2645-8136

DOI: http://dx.doi.org/10.66224/marineeng.21.47.8

حق نشر: © ۲۰۲۵ توسط نویسندگان. این اثر برای انتشار با دسترسی آزاد، تحت شرایط و ضوابط مجوز (CC BY) ارسال شده است.

۱ - مقدمه

مسیر دریانوردی در اقیانوس آرام به عواملی مانند فصل سال و شرایط آب هوا وابسته است. در اقیانوس آرام، طوفان‌ها معمولاً در بخش‌هایی از اقیانوس که در مسیر دریانوردی قرار دارند، شکل می‌گیرند. رخداد طوفان در مسیرهای دریانوردی اقیانوس آرام به‌شدت بر مسیر شناورها تأثیر دارد. طوفان‌ها در اقیانوس آرام معمولاً در چند منطقه مشخص شکل می‌گیرند و می‌توانند بر روی مسیرهای دریانوردی تأثیرگذار باشند. در مناطق شمالی شرقی و شمال غربی اقیانوس آرام، مانند سواحل آمریکا و سواحل ژاپن طوفان‌ها نیز ممکن است شکل بگیرند و می‌توانند بر روی مسیرهای دریانوردی بین آسیا و اقیانوسیه و آمریکا شمالی و جنوبی تأثیرگذار باشند.

اقیانوس آرام به‌عنوان بزرگ‌ترین اقیانوس جهان، مسیر دریانوردی مهمی برای حمل‌ونقل بین قاره‌ها و کشورها فراهم می‌کند. مسیر دریانوردی در اقیانوس آرام بسته به مقصد و نوع حمل‌ونقل ممکن است متفاوت باشد. برای امنیت دریانوردی، مهم است که دریانوردان و شرکت‌های دریایی همیشه به منابع هواشناسی معتبر مراجعه کنند و اطلاعات به‌روز در خصوص طوفان‌ها و شرایط هواشناسی در مسیرهای دریانوردی اقیانوس آرام را استفاده کنند. این اطلاعات به آن‌ها کمک خواهد کرد تا مسیرهای امن را برای جلوگیری از برخورد با طوفان‌ها انتخاب کنند و در صورت لزوم اقدامات مناسب را برای مقابله با طوفان‌ها انجام دهند. همچنین، توصیه می‌شود همیشه با مراکز کنترل ترافیک دریایی و سازمان‌های دریانوردی هماهنگی لازم را داشته باشند تا در صورت وجود طوفان و شرایط خطرناک، اقدامات مناسب برای ایمنی و خطر کاهش راهبردی را انجام دهند. برای شناخت شرایط آب‌وهوای اقیانوس آرام نیاز به بررسی شرایط اقلیمی و بادهای موسمی و سایر پارامترهای جوی هست.

از جدیدترین مطالعات در خصوص مسیریابی آب و هوایی می‌توان به سام دلیری و همکاران (۱۴۰۲) [۱]، زو و همکاران (۲۰۲۳) [۲]، کایتروالی و سیمیلیس (۲۰۲۳) [۳]، کسویک و همکاران (۲۰۲۳) [۴]، بهرامی و سیادت موسوی (۲۰۲۳) [۵]، گریفول و همکاران (۲۰۲۲) [۶]، گو و همکاران (۲۰۲۴) [۷]، ما و همکاران (۲۰۲۴) [۸]، مانارینی و همکاران (۲۰۲۴) [۹] و بالاس و همکاران (۲۰۲۴) [۱۰] اشاره کرد.

از مطالعات داخلی در خصوص مسیریابی می توان به ملک پور گلسفیدی (۱۳۹۵) [۱۱]، ابراهیمی موینی و شفیعی فر (۱۴۰۱) [۱۲]، علی محمدی و همکاران (۱۴۰۱) [۱۳]، سام دلیری و همکاران (۱۴۰۲) [۱]، محمدی و همکاران (۱۴۰۲) [۱۴]، اشاره کرد.

کورنل (۲۰۲۲) [۱۵] در کتاب خود به انواع مسیرهای دریایی پرداخته است.

در این پژوهش با استفاده از طراحی نرم‌افزار مسیریابی اقلیمی جهانی بهترین مسیر دریایی جهت عبور از غرب اقیانوس آرام به شرق اقیانوس آرام شناسایی می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند کمک قابل توجهی در برنامه‌ریزی و مسیریابی مسئولان ذیربط ایفا کند.

۲- داده و روش تحقیق

۲-۱- داده

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش از سامانه جهانی ECMWF اروپا است. این سامانه جهانی از معتبرترین سامانه‌های جهانی آرشیو داده‌های هواشناسی بوده و داده‌های باز تحلیل را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. داده‌های باز تحلیل عبارت‌اند از اینکه داده‌های دریافت شده از ایستگاه‌ها، بویه‌ها، ماهواره‌ها و سایر منابع دریافتی در مدل هواشناسی تجزیه‌وتحلیل واردشده و با فن‌های ریاضی، خطای جمع‌آوری داده حذف می‌شود. به همین دلیل داده‌های باز تحلیل از بهترین منابع تأمین داده برای مقاصد دریانوردی محسوب می‌شوند.

مرکز ECMWF تا سال ۲۰۱۹ داده‌های باز تحلیل ERA-Intrim را منتشر می‌کرد؛ ولی در راستای تأمین مالی پروژه تغییر اقلیم کوپرنیک (Copernicus Climate Change Service; C3S)، این مرکز اقدام به تولید و انتشار داده‌های ERA5 نمود. این مرکز، داده‌های ERA5 را از سال ۱۹۷۹ مطابق بازمان انتشار ERA-Intrim منتشر کرده است و در آینده، زمان شروع داده‌ها را به سال ۱۹۵۰ تغییر خواهد داد. مرکز ECMWF داده‌های ERA-Intrim را از سال ۲۰۰۶ منتشر می‌کرد و در سال ۲۰۱۹ داده‌های ERA5 را جایگزین آن کرد. مهم‌ترین تفاوت بین این دو پایگاه داده، تفکیک افقی است که داده‌های ERA5 با تفکیک ۰/۲۵ درجه جایگزین ۰/۷۵ درجه ERA-Intrim شد (هرسباخ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۲۰۱۹) [۱۶ و ۱۷].

۲-۲- روش تحقیق

با استفاده از موقعیت نقاط تخمینی و زمان رسیدن به هر نقطه، داده‌های ۴۲ ساله ERA5 برای آن موقعیت و زمان رسیدن به آن مورد بررسی آماری قرار گرفت. سه پارامتر آماری برای بررسی از بقیه پارامترها مهم‌تر تشخیص داده شدند که عبارت‌اند از:

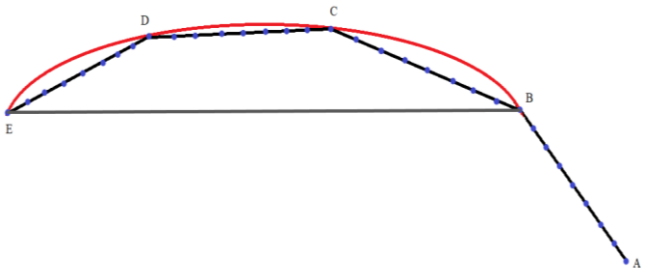
الف) درصد موارد وقوع باد بالاتر از ۲۰ گره روی نقاط تخمینی

ب) سرعت باد بیشینه روی نقاط تخمینی

ج) سرعت باد میانگین روی نقاط تخمینی

با استفاده از سه پارامتر آماری در بالا، داده‌های پردازش‌شده برای شمال و جنوب اقیانوس آرام آماده شد.

روند مسیریابی در این پژوهش در شکل ۱ آورده شده است. در این مسیر نقاط چرخش A، B و E توسط به‌صورت پیش‌فرض در نظر گرفته‌شده است. با استفاده از روابط مسیریابی صفحه‌ای و مرکاتور راه و مسیر بین نقاط چرخش محاسبه شده است. پس از محاسبات مشخص می‌شود که فاصله در مسیر AB کمتر از ۶۰۰ مایل و در مسیر BE بیشتر از ۶۰۰ مایل است. در مسیر BE به دلیل طول زیاد مسیر باید از دریانوردی دایره عظیمه استفاده شود لذا در ادامه مسیر دایره عظیمه بین نقاط BE (خط قرمز در شکل ۱) محاسبه شده است.



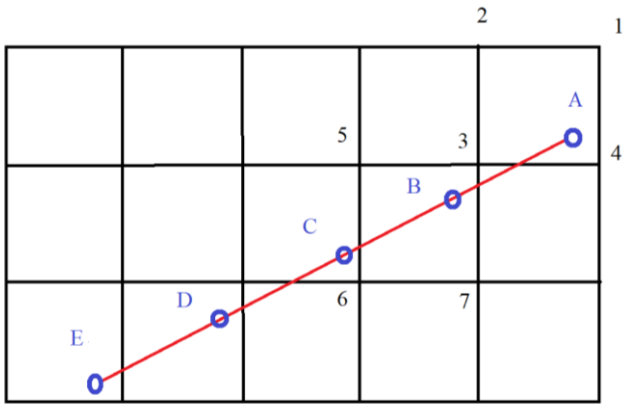
شکل ۱- مسیر رامب لاین کمتر از ۶۰۰ مایل بین نقاط چرخش (خط سیاه)، مسیر دایره عظیمه (خط قرمز) و مسیر رامب لاین بیشتر از ۶۰۰ کیلومتر (خط خاکستری) بین نقاط چرخش A تا E

مسیر دایره عظیمه بین نقاط BE به دلیل تغییر راه مداوم قابل دریانوردی نیست لذا این مسیر به سه مسیر با طول حدود ۶۰۰ مایل شکسته شده و نقاط چرخش C و D روی مسیر دایره عظیمه محاسبه می‌شوند. در ادامه مسیر رامب لاین بین نقاط روی مسیر دایره عظیمه رسم و محاسبه می‌شود. در انتها نیز روی تمامی مسیرهای رامب لاین شامل AB، BC، CD و DE به تعداد مساوی نقاط میانی محاسبه می‌شود (نقاط آبی‌رنگ روی مسیرهای رامب لاین). تعداد نقاط میانی روی مسیر رامب لاین قابل تنظیم است و با توجه به اینکه طول مسیرها حداکثر ۶۰۰ مایل است لذا به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده‌اند که هر ۶ مایل یک نقطه روی مسیر قرار داده شده است. این نقاط میانی می‌توانند نقش ناوبری تخمینی را روی نقشه‌های ناوبری بازی کنند.

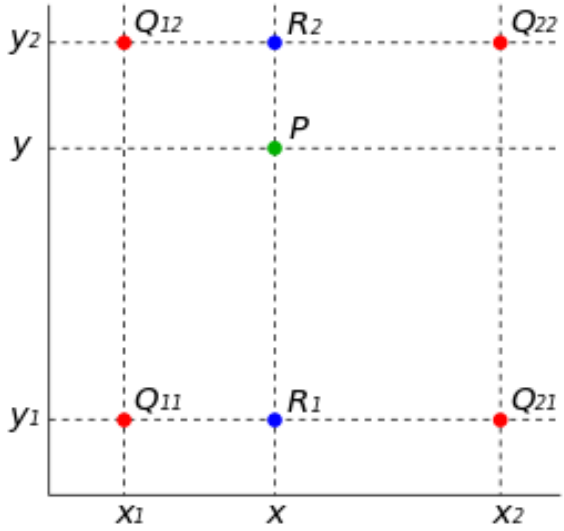
پس از محاسبه نقاط میانی روی مسیر رامب لاین (نقاط آبی روی مسیرهای رامب لاین AB، BC، CD و DE) داده‌های هواشناسی اقلیمی روی این نقاط محاسبه می‌شود.

داده‌های هواشناسی از سایت Ncep-Ncar و یا ECMWF در نقاط منظم از طول و عرض جغرافیایی قرارگرفته است. در شکل ۲ مسیر دریانوردی بین نقاط A تا E آورده شده است. نقاط مبدأ و مقصد و نقاط میانی مسیر در بین شبکه منظم طول و عرض جغرافیایی قرارگرفته است. برای مثال نقطه A بین نقاط ۱، ۲، ۳ و ۴ قرارگرفته است. برای محاسبه کمیت هواشناسی موردنظر (مانند فشار، دما، سمت و سرعت باد) روی نقطه A باید از مقدار کمیت هواشناسی موردنظر در نقاط چهارگانه اطراف استفاده کرد. برای محاسبه B که بین نقاط چهارگانه ۳، ۵، ۶ و ۷ قرارگرفته است نیز باید از این نقاط برای محاسبه کمیت هواشناسی در نقطه B استفاده کرد. در ساده‌ترین حالت می‌توان از دورن‌یابی دوخطی استفاده کرد.

درون‌یابی دوخطی با استفاده از چهار نقطه شبکه در اطراف نقطه بین شبکه‌ای مقدار تابع روی نقطه بین شبکه‌ای محاسبه می‌شود (شکل ۳) [۱۴].



شکل ۲- مسیر دریانوردی (خط قرمز) با نقاط میانی A، B، C، D و E روی نقاط منظم طول و عرض جغرافیایی (خطوط سیاه).



شکل ۳- درون‌یابی دوخطی برای نقطه p در صفحه.

اقیانوس آرام از سمت شرق دارای دو گذرگاه تنگه ماژلان و کانال پاناما است و در سمت غربی نیز دارای دو گذرگاه تنگه سرنگانی و جنوب ژاپن است. لذا برای رسم مسیر دریانوردی در اقیانوس آرام می‌توان چهار مسیر دریانوردی را متصور شد. این مسیرها به شرح زیر می‌باشد:

الف) مسیر از غرب به شرق اقیانوس آرام از بندر یوکوهامای ژاپن و عبور از جزایر هاوایی و رسیدن به مقصد کانال پاناما
ب) مسیر از غرب به شرق اقیانوس آرام از تنگه سرنگانی و عبور از خط استوا و رسیدن به مقصد کانال پاناما
ج) مسیر از غرب به شرق اقیانوس آرام از تنگه سرنگانی به جزیره ایستر و منطقه ورودی تنگه ماژلان
د) مسیر از غرب به شرق اقیانوس آرام از تنگه سرنگانی به جزیره ایستر و در ادامه بندر والپرایزو و در انتها ورودی تنگه ماژلان
مسیرهای چهارگانه فوق برای کل طول سال تحت اقلیم‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار مسیریابی اقلیمی قرار گرفته‌اند.
برای محاسبه نقاط چرخش در این پروهش از نرم‌افزار OPENCPN استفاده شده است. در نرم‌افزار OPENCPN یک رابط کاربری طراحی شده است که با استفاده از آن می‌توان مسیر مورد نظر را روی نقشه ترسیم کرده و نقاط حاصل را از طریق فرآیند چاپ به فایل PDF تبدیل کرد و در نهایت داده‌های حاصل در فایل PDF را به یک فایل متنی تبدیل نمود که بتوان فایل متنی را در نرم‌افزار متلب وارد کرده و نقاط چرخش حاصل توسط نرم‌افزار متلب مورد استفاده قرار داد. در این پژوهش نرم‌افزار متلب به‌گونه‌ای طراحی شده است که براساس نام فایل متنی ورودی کلیه تصاویر خروجی نام‌گذاری می‌شود.
گام بعدی در اجرای نرم‌افزار، آماده کردن فایل زمان است. فایل زمان حاوی اطلاعات برای شروع زمان حرکت است. با مشخص شدن زمان حرکت، می‌توان نقاط بعدی مسیر را تعیین کرد. پس از آماده کردن فایل زمان می‌توان نرم افزار اقلیمی برای تعیین مسیر از اقیانوس آرام را اجرا کرد.

۳- یافته های تحقیق

۳-۱- مسیر تنگه سرنگانی به جزیره ایستر و تنگه ماژلان

مسیر ورودی به اقیانوس آرام از طریق تنگه سرنگانی و حرکت در اطراف خط استوا از مسیرهای ایمن و قابل انتخاب است. این مسیر به دلیل عبور از ناحیه اطراف استوا به دلیل اینکه از نواحی عبور جبهه‌ای دور است، از وضعیت جوی قابل قبولی برای دریانوردی برخوردار است.
از نکات منفی این مسیر حرکت از جزیره ایستر بسمت جنوب شرق و رسیدن بسمت تنگه ماژلان است. مسیر انتهایی در مسیر عبور جبهه‌های جوی قوی، خصوصا جبهه‌های سرد و قدرتمند در جنوب اقیانوس آرام است. زمان عبور از این مسیر برای کل طول سال با توالی زمانی ده روزه حل شده شده است. برای مثال اولین روز حرکت معادل با اولین روز سال میلادی در ۸ صبح انتخاب شده است. زمان بعدی به ترتیب دهم و بیستم ماه اول سال میلادی و در ادامه نیز برای تمام ماه‌های میلادی انجام شده است.
باتوجه به اینکه در هر ماه میلادی سه روز اول، دهم، بیستم برای طی مسیر انتخاب شده است می‌توان نتیجه گرفت که در طول سال ۳۶ حل متفاوت برای این مسیر در دسترس است. هنگامی که واحد شناور در ساعت ۰۸۰۰ روز اول ژانویه از طریق تنگه سرنگانی در جنوب فلیپین وارد اقیانوس شود؛ با احتساب سرعت ۸ گره دریایی در ساعت ۱۸۱۴ روز ۱۹ فوریه در مسیر ورودی تنگه ماژلان خواهد بود.
باتوجه به زمان ورود و خروج واحدهای شناور به اقیانوس آرام زمان دریانوردی تقریباً ۵۰ روزه برای این مسیر لازم است. داده‌های ERA5 روی مسیر با توجه به زمان دریانوردی و رسیدن به هر نقطه، درون‌یابی شده و مقادیر سرعت باد روی نقاط مورد نظر وارد می‌شوند. برای سنجش میزان وضعیت جوی و درجه خراب بودن دریا می‌توان از پارامترهای مختلفی استفاده کرد. دو پارامتر به نظر محقق از بقیه برای نشان دادن میزان ایمنی مسیر بهتر است که عبارتند از:
الف) درصد باد بالای ۲۰ گره
ب) سرعت میانگین باد با نمایش انحراف معیار
درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره کمیتی مناسب برای نشان دادن وضعیت جوی نامناسب در یک مسیر دریانوردی است. این کمیت همچنین در کتب پایلوت و SAILING DIRECTION نیز به‌عنوان نمادی موثر برای نشان دادن وضعیت جوی مسیرهای دریانوردی مورد استفاده قرار گرفته است.
از تعداد ۳۶ نقشه حاصل از وضعیت جوی روی هر مسیر لازم است مسیرهای فرین (بهترین و بدترین مسیر دریانوردی) مورد بحث قرار گیرند. سپس زمان‌های مناسب برای دریانوردی مورد بحث قرارگرفته و در انتها نیز زمان‌هایی که اصلاً برای دریانوردی مناسب نیستند آورده می‌شود. در جدول ۱ میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره روی کل مسیر برای تمامی طول سال با فاصله زمانی ۱۰ روزه آورده شده است.

جدول .Error! No text of specified style in document– میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره روی مسیر تنگه سرنگانی، ایستر، ماژلان

زمـــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــان	میانگین
2023/01/01	7.9	2023/05/01	12.7	2023/09/01	12.4
2023/01/10	7.7	2023/05/10	13.4	2023/09/10	11.2
2023/01/20	10.3	2023/05/20	14.8	2023/09/20	9.7

8.4	2023/10/01	13.4	2023/06/01	8.2	2023/02/01
8.5	2023/10/10	14.3	2023/06/10	7.9	2023/02/10
7.9	2023/10/20	**15.9**	**2023/06/20**	10.3	2023/02/20
8.2	2023/11/01	14.5	2023/07/01	10.9	2023/03/01
8.5	2023/11/10	14.3	2023/07/10	9.3	2023/03/10
7.3	2023/11/20	13.6	2023/07/20	10.7	2023/03/20
6.4	**2023/12/01**	13.67	2023/08/01	12.1	2023/04/01
8.3	2023/12/10	13	2023/08/10	11.9	2023/04/10
8.6	2023/12/20	13.2	2023/08/20	11.7	2023/04/20

باتوجه به میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که زمان‌هایی که میانگین کمینه و بیشینه است، به ترتیب زمان‌های مناسبی برای دریانوردی و عدم دریانوردی است.

مطابق جدول ۱ در مورخه ۲۰۲۳/۱۲/۱ میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره ۶/۴ درصد است. این زمان کمترین درصد بالای ۲۰ گره را در طول سال دارد. مطابق جدول نشان می‌دهد که در سه ماه ۰۱،۱۲،۱۱ میلادی کمترین درصدهای سرعت باد بالای ۲۰ گره دیده می‌شود. لذا برای دریانوردی در مسیر تنگه سرنگانی به جزیره ایستر و تنگه ماژلان بهتر است در ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه صورت گیرد.

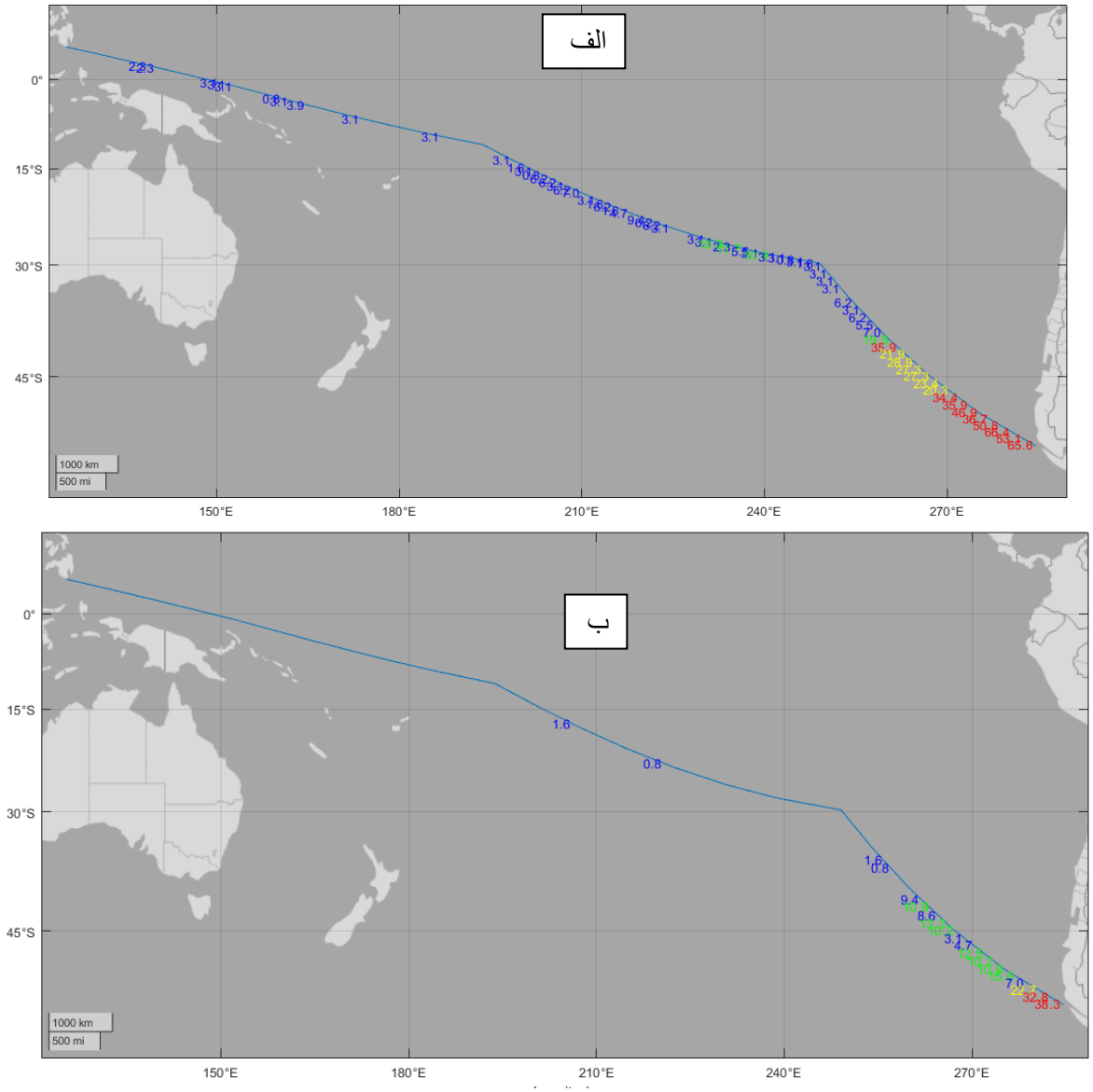
از طرف دیگر درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در مورخه ۲۰۲۳/۰۶/۲۰ به مقدار ۱۵/۹ رسیده است که بیشترین مقدار در طول سال است. در ماه‌های ۸،۷،۶،۵ میلادی بدترین وضعیت جوی در اقیانوس آرام دیده می‌شود. برای واضح شدن وضعیت جوی در اقیانوس آرام در مسیر تنگه سرنگانی، ایستر و ماژلان شکل‌های وضعیت جوی مسیر در روز ۲۰۲۳/۱۲/۰۱ (کمینه درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره) و ۲۰۲۳/۶/۲۰ (بیشینه درصد سرعت باد بالای ۲۰گره) آورده می‌شود.

در شکل ۴ وضعیت جوی ۲۰۲۳/۱۲/۰۱ آورده شده است. مطابق این وضعیت جوی در ابتدای مسیر درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره غالبا موارد کمتر از ۵ درصد است که این حالت نشانگر وضعیت دریانوردی مناسب در این فصل سال است.

برای رسم نقشه درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره از رنگ آبی، سبز، زرد و قرمز استفاده شده است. از ۱ تا ۱۰ درصد با رنگ آبی، از ۱۰ تا ۲۰ درصد با رنگ سبز، از ۲۰ تا ۳۰ درصد با رنگ زرد و بیشتر از ۳۰ درصد با رنگ قرمز نشان داده شده است.

از جزیره ایستر تا تنگه ماژلان وضعیت جوی مناسب نیست و در قسمت جنوب شرق جزیره ایستر بین ۲۰ الی ۳۰ درصد است که رنگ زرد روی نقشه نشان‌دهنده درصد سرعت باد بین ۲۰ الی۳۰ درصد است. در بخش انتهایی مسیر درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره به بالاتر از ۳۰ درصد رسیده است که نشان‌گر وضعیت جوی بسیار نامناسب در این محدوده است. دلیل آن نیز قرار گرفتن تنگه ماژلان در مسیر کم فشارهای نیمکره جنوبی است که جبهه‌های سرد گشترش یافته را در شمال غربی امتداد داده و موجب نامساعد شدن وضعیت جوی در این منطقه خواهد شد.

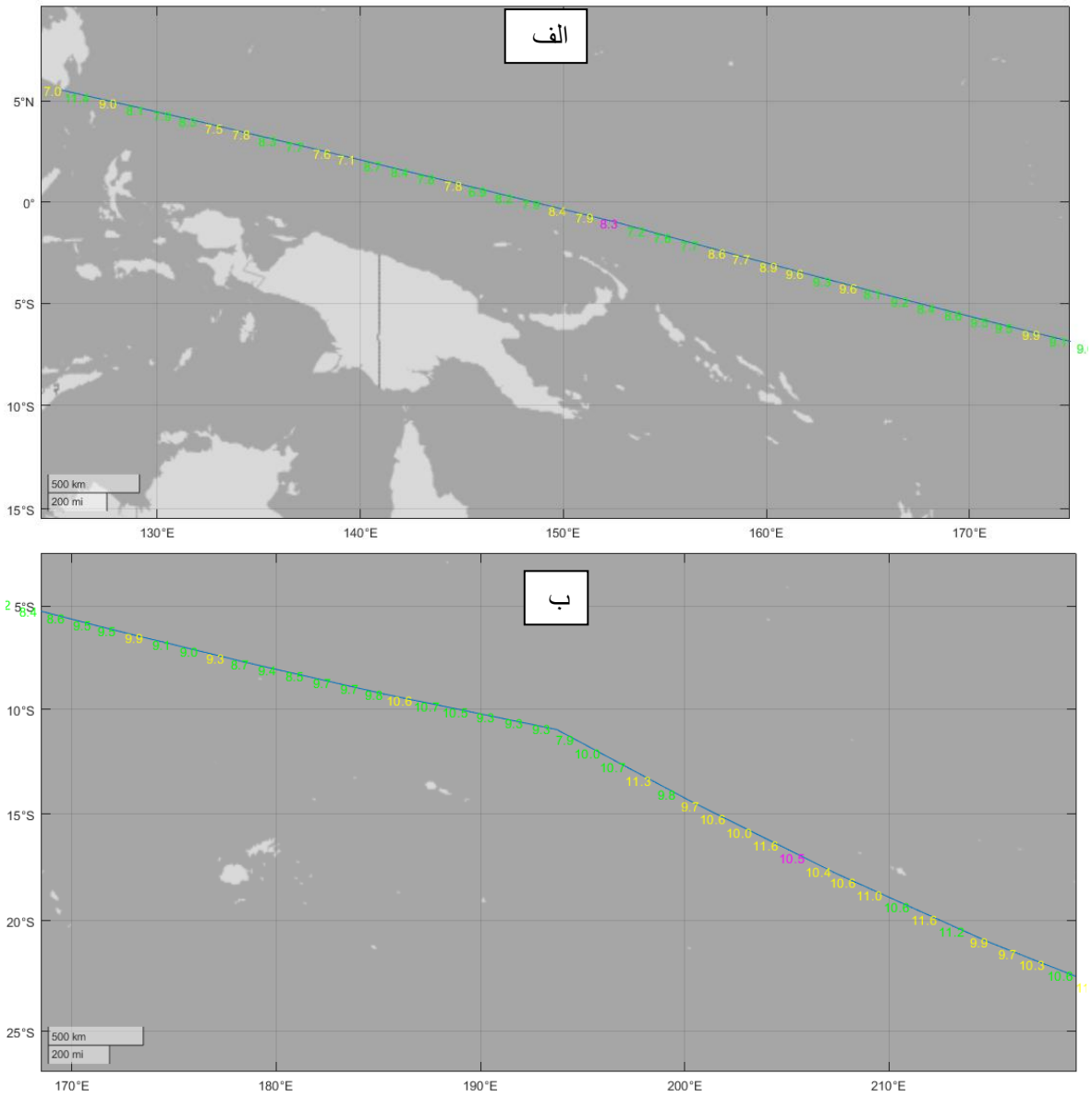
در شکل ۴ ب درصد سرعت باد بالای ۲۵ گره آورده شده است و مشاهده می‌شود که سرعت باد بالای ۲۵ گره در اقیانوس آرام بسیار کم رخ داده است و تنها این بازه سرعتی در تنگه ماژلان اتفاق افتاده است و این حالت نشان‌دهنده وضعیت جوی نامساعد در حوالی تنگه ماژلان است. رنگ‌های استفاده شده برای نقشه درصد سرعت باد بالای ۲۵ گره به مانند نقشه درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره می‌باشد.



شکل ۴– الف- درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره و ب- بالای ۲۵ گره در مسیر دریانوردی از تنگه سرنگانی به جزیره ایستر و تنگه ماژلان در مورخه ۲۰۲۳/۱۲/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۹/۱۰ که بهترین وضعیت جوی در این مسیر حاکم است (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است).

در شکل‌های ۵ و ۶ میانگین سرعت باد در طول مسیر آورده شده است. برای رسم نقشه میانگین سرعت باد از رنگ آبی، سبز، زرد و قرمز استفاده شده است. نحوه رنگ‌بندی داده‌های میانگین سرعت باد با اختلاف سرعت میانگین باد از سرعت بیشینه باد در بازه زمانی ۱۹۷۹ لغایت ۲۰۲۲ در ارتباط است. اگر سرعت بیشینه باد در یک نقطه بین صفر تا ۵ گره از مقدار میانگین بزرگتر باشد عدد میانگین سرعت باد با رنگ آبی بر روی نقشه ثبت شده است.

در صورتیکه اختلاف بین سرعت میانگین و سرعت بیشینه باد بین ۵ تا ۱۰ نات باشد، عدد میانگین با رنگ سبز بر روی نقشه ثبت می‌شود. اگر اختلاف سرعت باد بیشینه و سرعت میانگین به حدود ۱۰ الی ۱۵ متر بر ثانیه برسد، عدد میانگین با رنگ زرد روی نقشه ثبت شده است. درصورتی‌که اختلاف سرعت بین باد میانگین و بیشینه به عدد ۱۵ الی ۲۰ گره دریایی برسد از رنگ صورتی برای نشان دادن مقدار مقدار باد میانگین استفاده می‌شود. مقادیر اختلاف بالاتر از ۲۰ گره دریایی بین باد بیشینه و میانگین از رنگ قرمز استفاده می‌شود. این رنگ‌بندی نشان می‌دهد درصورتی‌که مقدار میانگین سرعت با رنگ آبی ثبت شده باشد، تغییرات سرعت باد در بازه زمانی۴۲ ساله کمتر از ۵ گره دریایی است و لذا عدد نوشته شده روی نقشه کاملاً قابل اعتماد بوده و همین عدد ثبت شده می‌تواند بعنوان میانگین سرعت باد در سال‌های آتی نیز استفاده شود؛ ولی چنانچه سرعت باد بیشینه با رنگ‌های صورتی و قرمز بر روی نقشه ثبت شود نشانگر پراکندگی زیاد داده‌های سرعت باد روی آن منطقه است و نشان می‌دهد که سامانه‌های جوی فعالی از روی آن منطقه عبور می‌کنند؛ لذا این نحو رنگ‌بندی کمک می‌کند که با یک نگاه وضعیت سامانه‌های عبوری از روی منطقه مشخص شود.

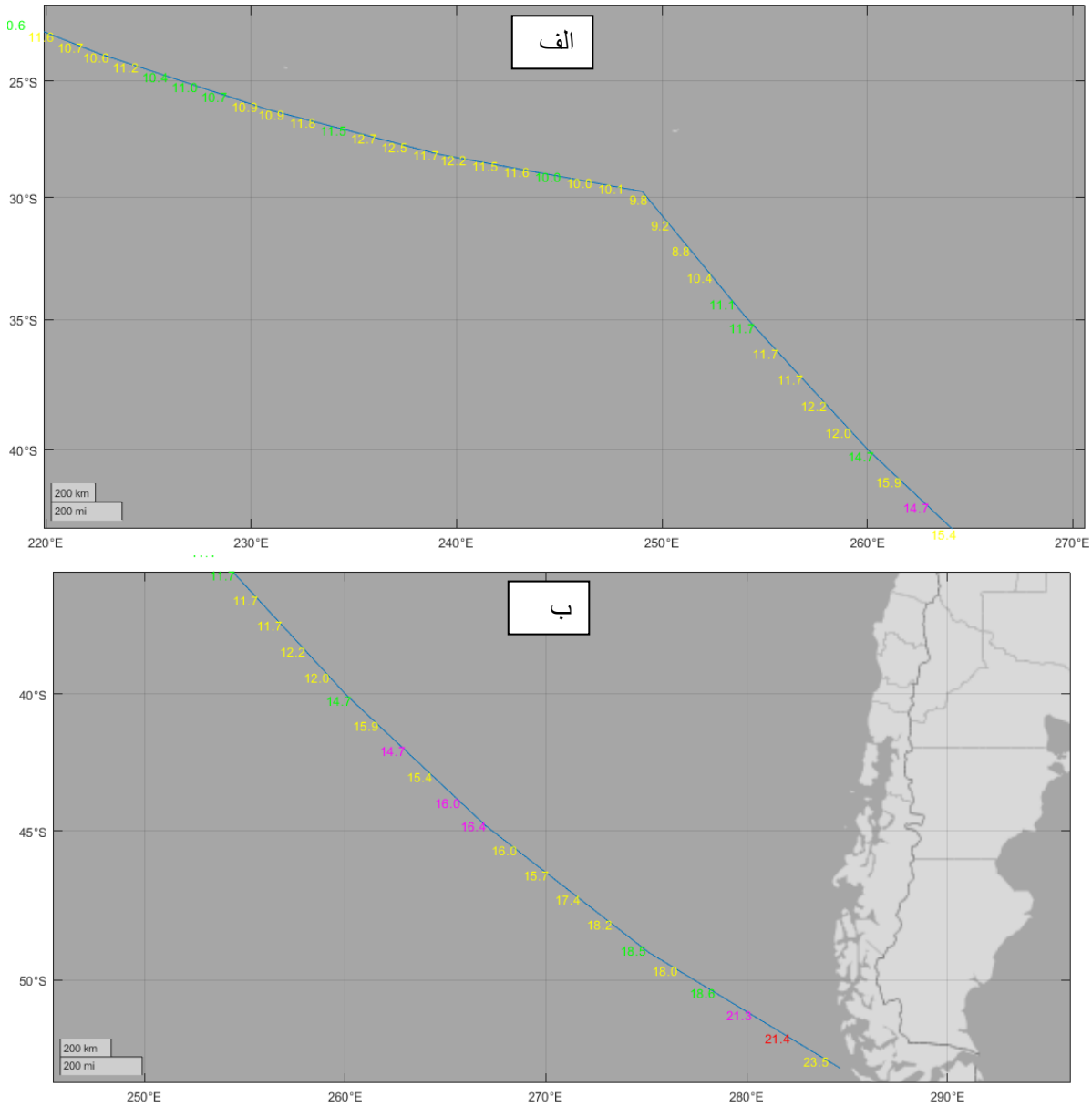


شکل۵–میانگین سرعت باد در مسیر تنگه سرنگانی، ایستر و تنگه ماژلان (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)، الف– در بخش ابتدایی مسیر، ب– بخش میانی مسیر در مورخه ۲۰۲۳/۱۲/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۹/۱۰.

در شکل ۵ الف میانگین سرعت باد در بخش ابتدایی مسیر آورده شده است. همانطور که مورد انتظار است و در نقشه ۴ نشان داده شد، بخش ابتدایی مسیر دارای وضعیت جوی مناسبی است لذا میانگین سرعت باد در این منطقه کمتر از ۱۰ نات است. نکته مهم در این بخش این است که رنگ میانگین‌های ثبت شده روی نقشه زرد است و نشان‌دهنده اختلاف ۱۰ الی ۱۵ گره بین سرعت بیشینه با سرعت میانگین است. لذا علارغم پایین بودن سرعت میانگین تغییر پذیری سرعت باد در بخش ابتدایی مسیر نسبت به بخش میانی بیشتر است. با توجه به میانگین باد در بخش ابتدایی مسیر باید انتظار تغییرپذیری بیشتری را نسبت به بخش بعدی که در شمال جزیره گینه است، داشت.

در شکل ۶ الف میانگین سرعت باد در جزیره ایستر و حوالی آن نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود سرعت باد میانگین در این شکل حدود ۱۵ الی ۱۸ گره دریایی است که در قسمت جنوب شرقی جزیره ایستر با رنگ صورتی نشان داده شده است که بیانگر وجود باد ماکزیمم بین ۱۵ الی ۲۰ گره بیشتر از باد میانگین است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که سرعت تغییرپذیری باد حوالی جزیره ایستر نسبت به دو بخش قبلی مسیر بیشتر است.

در شکل ۶ ب میانگین سرعت باد در بخش انتهایی مسیر که در حوالی تنگه ماژلان است آورده شده است. در غرب شیای و تنگه ماژلان سرعت میانگین ۲۰ گره دریایی بیشتر است. لذا این بخش از مسیر دارای بیشترین سرعت باد میانگین است که رنگ صورتی و قرمز اعداد بیانگر تغییرپذیری زیاد سرعت باد در این نواحی است.



شکل Error! No text of specified style in document.– میانگین سرعت باد در مسیر تنگه سرنگانی، ایستر و تنگه ماژلان (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)، الف- در جزیره ایستر ، ب- بخش انتهایی مسیر در مورخه ۲۰۲۳/۱۲/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۹/۱۰.

۲-۳- مسیر از سرنگانی به جزیره ایستر و بندر والپرایزو و تنگه ماژلان

این مسیر مانند مسیر قبلی است، با این تفاوت که بجای اینکه از جزیره ایستر مستقیما به تنگه ماژلان برویم، ابتدا به سواحل شیلی آمده و سپس در راستای جنوب به سمت تنگه ماژلان خواهیم رفت. دلیل این انتخاب این است که مسیر جزیره ایستر به تنگه ماژلان دارای وضعیت نسبتاً بدی است و ممکن است واحد شناور با مخاطرات مواجه شود. نکته بعدی این است که این مسیر نسبت به مسیر قبلی طولانی‌تر است. کل مسافت دریانوردی از تنگه سرنگانی به جزیره ایستر و مستقیماً به تنگه ماژلان ۹۵۶۷ مایل است و درصورتی‌که از مسیر ایمن سواحل شیلی انتخاب شود، کل مسیر ۱۰۸۵۷ مایل خواهد بود.

حذف مسیر مستقیم از جزیره ایستر به تنگه ماژلان موجب بهبودی چشمگیر وضعیت جوی در طول مسیر خواهد شد. ولی نکته جالب این است زمان وضعیت جوی بهینه و نامطلوب این مسیر نیز مانند مسیر سرنگانی، ایستر و ماژلان است یعنی در مورخه ۲۰۲۳/۱۲/۱ معادل ۱۴۰۲/۹/۱ بهترین مسیر دریانوردی و در تاریخ ۲۰۲۳/۶/۲۰ معادل با ۱۴۰۲/۳/۳۰ نامطلوبترین وضعیت جوی در منطقه است. در جدول ۲ میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در کل مسیر تنگه سرنگانی جزیره ایستر، سواحل شیلی و تنگه ماژلان آورده شده است. به دلیل حذف مسیر با شرایط محیط نامطلوب درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در تمامی تاریخ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است.

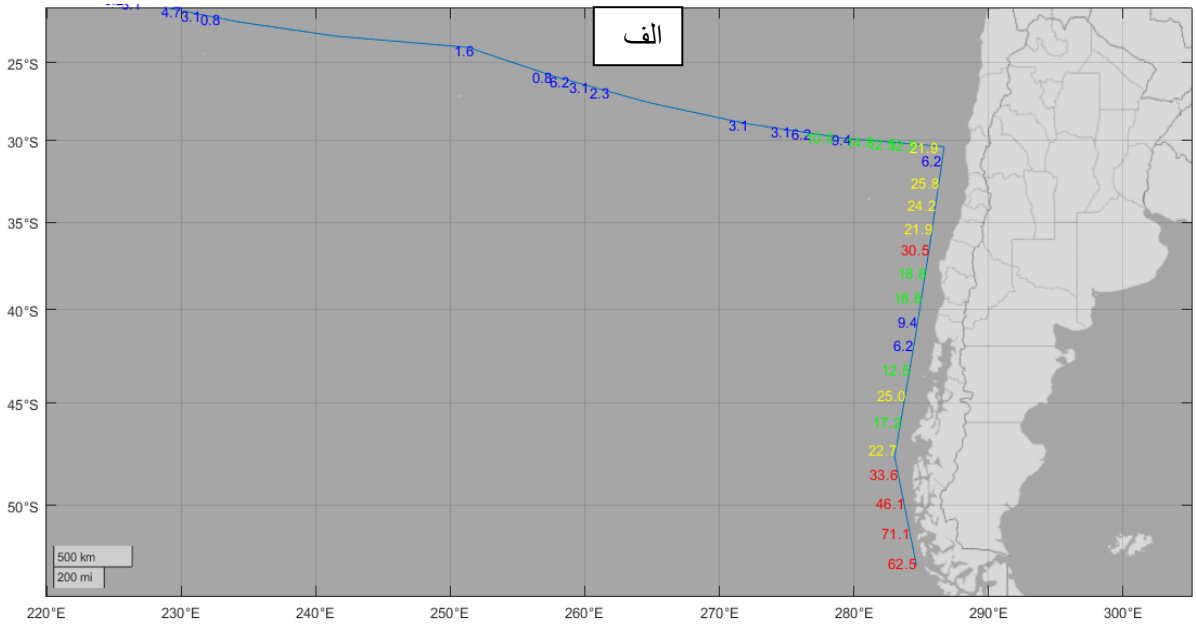
دو مسیر بالا فقط در قسمت انتهایی با یکدیگر تفاوت دارند و لازم است در مسیر دوم فقط بخش انتهایی مورد بحث قرار گیرد. در

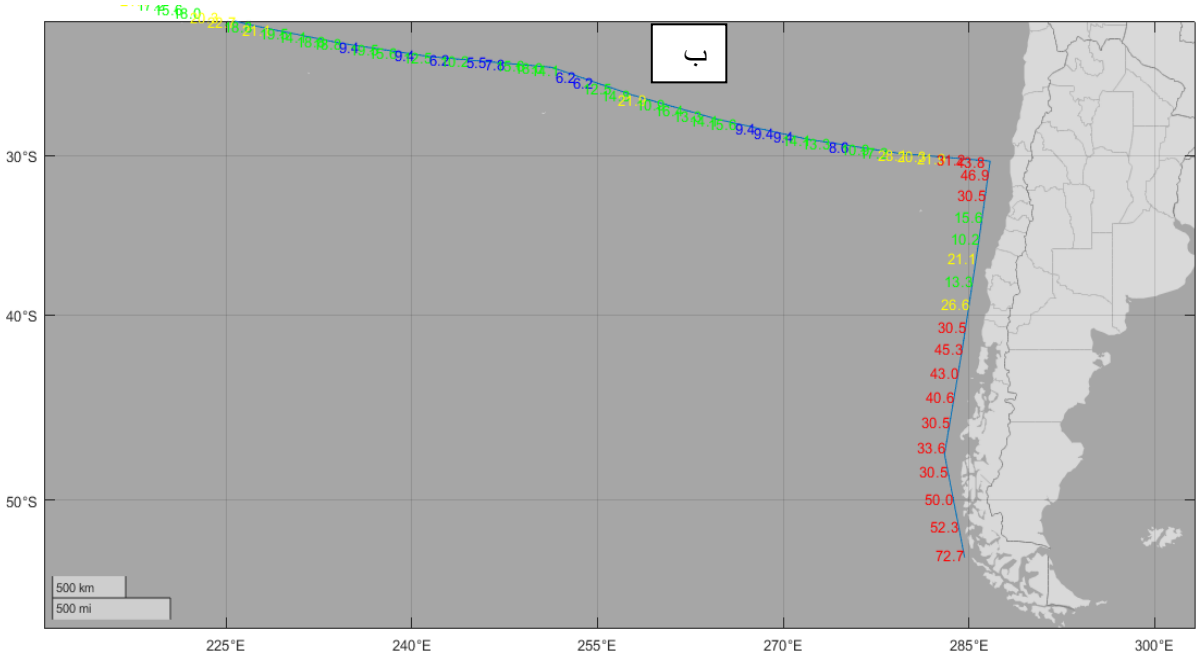
شکل ۷ بخش انتهایی مسیر تنگه سرنگانی، جزیره ایستر، سواحل شیلی و تنگه ماژلان آورده شده است.

در شکل۷ فقط دو زمان بهترین مسیر در تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱ (شکل ۷ الف) و بدترین مسیر در تاریخ ۲۰۲۳/۶/۲۰ (شکل ۷ ب) آورده شده است. در نقشه بهترین مسیر دیده می‌شود که در سواحل شیلی درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در غالب موارد سبز و آبی بوده که نشانگر وضعیت مطلوب است و فقط در تعدادی از موارد با رنگ قرمز دیده می‌شود. درصورتی که وضعیت جوی نامطلوب (شکل ۷ب) در غالب موارد درصد سرعت باد بالای۲۰ گره با رنگ قرمز نوشته شده است که بیانگر وضعیت بسیار نامطلوب در این مسیر است.

جدول ۲– میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره روی مسیر سرنگانی، ایستر، بندر والپرایزو و تنگه ماژلان

زمـــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــان	میانگین
2023/01/01	5.8	2023/05/01	8.2	2023/09/01	9.0
2023/01/10	5.9	2023/05/10	9.3	2023/09/10	7.6
2023/01/20	6.3	2023/05/20	9.5	2023/09/20	5.65
2023/02/01	5.8	2023/06/01	9.2	2023/10/01	5.61
2023/02/10	6.0	2023/06/10	9.4	2023/10/10	6.2
2023/02/20	6.8	**2023/06/20**	**11.4**	2023/10/20	5.9
2023/03/01	6.5	2023/07/01	9.3	2023/11/01	5.45
2023/03/10	5.6	2023/07/10	8.4	2023/11/10	5.49
2023/03/20	6.0	2023/07/20	9.1	2023/11/20	5.3
2023/04/01	6.7	2023/08/01	8.8	**2023/12/01**	**4.5**
2023/04/10	8.1	2023/08/10	8.0	2023/12/10	6.5
2023/04/20	7.2	2023/08/20	8.1	2023/12/20	6.1





شکل Error! No text of specified style in document.– درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در مسیر دریانوردی از تنگه سرنگانی به جزیره ایستر، سواحل شیلی، تنگه ماژلان (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است) الف- در مورخه ۲۰۲۳/۱۲/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۹/۱۰مطابق با بهترین وضعیت جوی و ب- در مورخه ۲۰۲۳/۰۶/۲۰ معادل با ۱۴۰۲/۰۳/۳۰ مطابق با بدترین وضعیت جوی

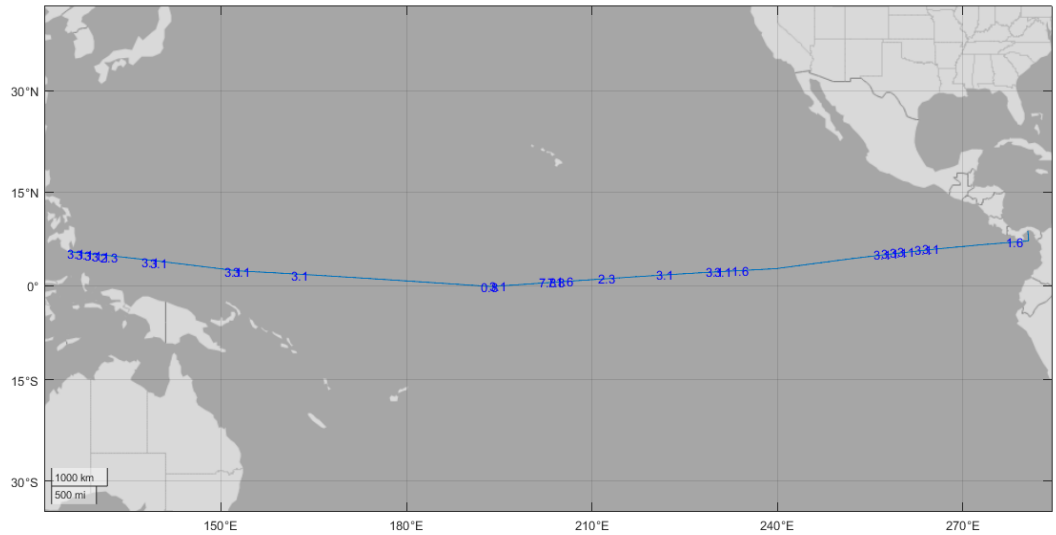
۳-۳- مسیر از تنگه سرنگانی و عبور از خط استوا و کانال پاناما

این مسیر نزدیک‌ترین مسیر عبور از اقیانوس آرام است و تنگه سرنگانی را به کانال پاناما متصل می‌کند. لذا بزرگترین مزیت این مسیر کوتاه بودن آن نسبت به سایر مسیرهای دریانوردی است. از معایب آن فقط می‌توان به وجود کانال پاناما اشاره کرد.

در جدول ۳ وضعیت جوی این مسیر در کل طول سال دربازه زمانی ده روزه آورده شده است. مطابق این جدول وضعیت جوی در تمامی ماه‌های سال بسیار مناسب است. لذا برای این مسیر دیگر تحلیل هواشناسی ارائه نشده است و فقط در شکل ۸ وضعیت جوی برای بدترین حالت سال که در مورخه ۲۰۲۳/۱۱/۱۰ است آورده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود حتی برای بدترین وضعیت جوی در طول سال نیز نمی‌توان وضعیت غیر قابل قبولی برای دریانوردان در نظر گرفت.

جدول Error! No text of specified style in document.– میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره روی مسیر از تنگه سرنگانی و عبور از خط استوا و کانال پاناما.

زمـــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــان	میانگین
2023/01/01	0.5	2023/05/01	0.06	2023/09/01	0.4
2023/01/10	0.2	2023/05/10	0.14	2023/09/10	0.5
2023/01/20	0.7	2023/05/20	0.11	2023/09/20	0.2
2023/02/01	0.4	2023/06/01	0.14	2023/10/01	0.6
2023/02/10	0.3	2023/06/10	0.47	2023/10/10	0.36
2023/02/20	0.17	2023/06/20	0.7	2023/10/20	0.32
2023/03/01	0.19	2023/07/01	0.45	2023/11/01	0.36
2023/03/10	0.2	2023/07/10	0.5	**2023/11/10**	**0.78**
2023/03/20	0.1	2023/07/20	0.4	2023/11/20	0.72
2023/04/01	0.09	2023/08/01	0.7	2023/12/01	0.8
2023/04/10	0.1	2023/08/10	0.6	2023/12/10	0.5
2023/04/20	0.06	2023/08/20	0.3	2023/12/20	1.1



شکل .Error! No text of specified style in document– درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در مسیر دریانوردی مسیر از تنگه سرنگانی و عبور از خط استوا و کانال پاناما در مورخه ۲۰۲۳/۱۱/۱۰ معادل با ۱۴۰۲/۰۸/۱۹ مطابق با بدترین وضعیت جوی (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)

۴-۳- مسیر بندر یوکوهاما، جزایر هاوایی و کانال پاناما

مسیر ابتدا و انتهایی در مسیر عبور طوفان‌های قوی، خصوصاً در ابتدا مسیر طوفان‌های حاره‌ای شرق اقیانوس آرام است. زمان عبور از این مسیر برای کل طول سال با توالی زمانی ده روزه حل شده شده است. برای مثال اولین روز حرکت معادل با اولین روز سال میلادی در ۸ صبح انتخاب شده است. زمان بعدی به ترتیب دهم و بیستم ماه اول سال میلادی و در ادامه نیز برای تمام ماه‌های میلادی انجام شده است.

باتوجه به اینکه در هر ماه میلادی سه روز اول، دهم، بیستم برای طی مسیر انتخاب شده است می‌توان نتیجه گرفت که در طول سال ۳۶ حل متفاوت برای این مسیر در دسترس است.

در جدول ۴ میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره روی کل مسیر برای تمامی طول سال با فاصله زمانی ۱۰ روزه آورده شده است.

باتوجه به میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که زمان‌هایی که میانگین کمینه و بیشینه است، ترتیب زمان‌های مناسبی برای دریانوردی و عدم دریانوردی است.

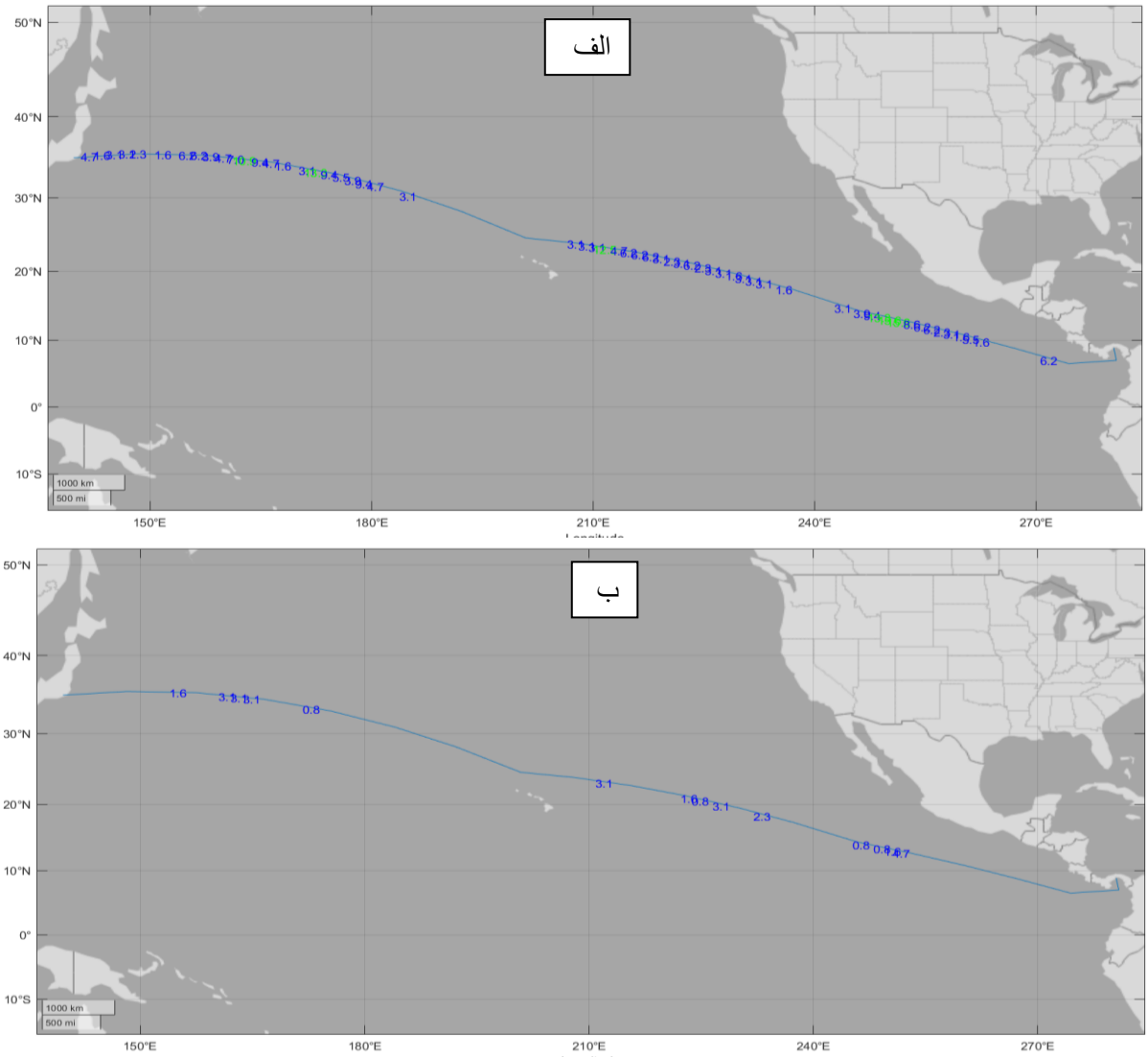
مطابق جدول ۴ در مورخه ۲۰۲۳/۰۸/۱ میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره ۳ درصد است. این زمان کمترین درصد بالای ۲۰ گره را درطول سال دارد. مطابق جدول نشان می‌دهد که در سه ماه ۶، ۷، ۸ میلادی کمترین درصدهای سرعت باد بالای ۲۰ گره دیده می‌شود. لذا برای دریانوردی در مسیر بندر یوکوهاما به پاناما بهتر است در ماه‌های جون، جولای، اگوست صورت گیرد.

از طرف دیگر درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره در مورخه ۲۰۲۳/۰۱/۰۱ به مقدار ۲۳/۹ رسیده است که بیشترین مقدار در طول سال است. در ماه‌های۱۱، ۱۲، ۱، ۲ میلادی بدترین وضعیت جوی در اقیانوس آرام دیده می‌شود. برای واضح شدن وضعیت جوی در اقیانوس آرام در مسیر یوکوهاما به کانال پاناما شکل‌های وضعیت جوی مسیر در روز ۲۰۲۳/۰۸/۰۱ (کمینه درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره) و ۲۰۲۳/۰۱/۰۱ (بیشینه درصد سرعت باد بالای۲۰ گره) آورده می‌شود.

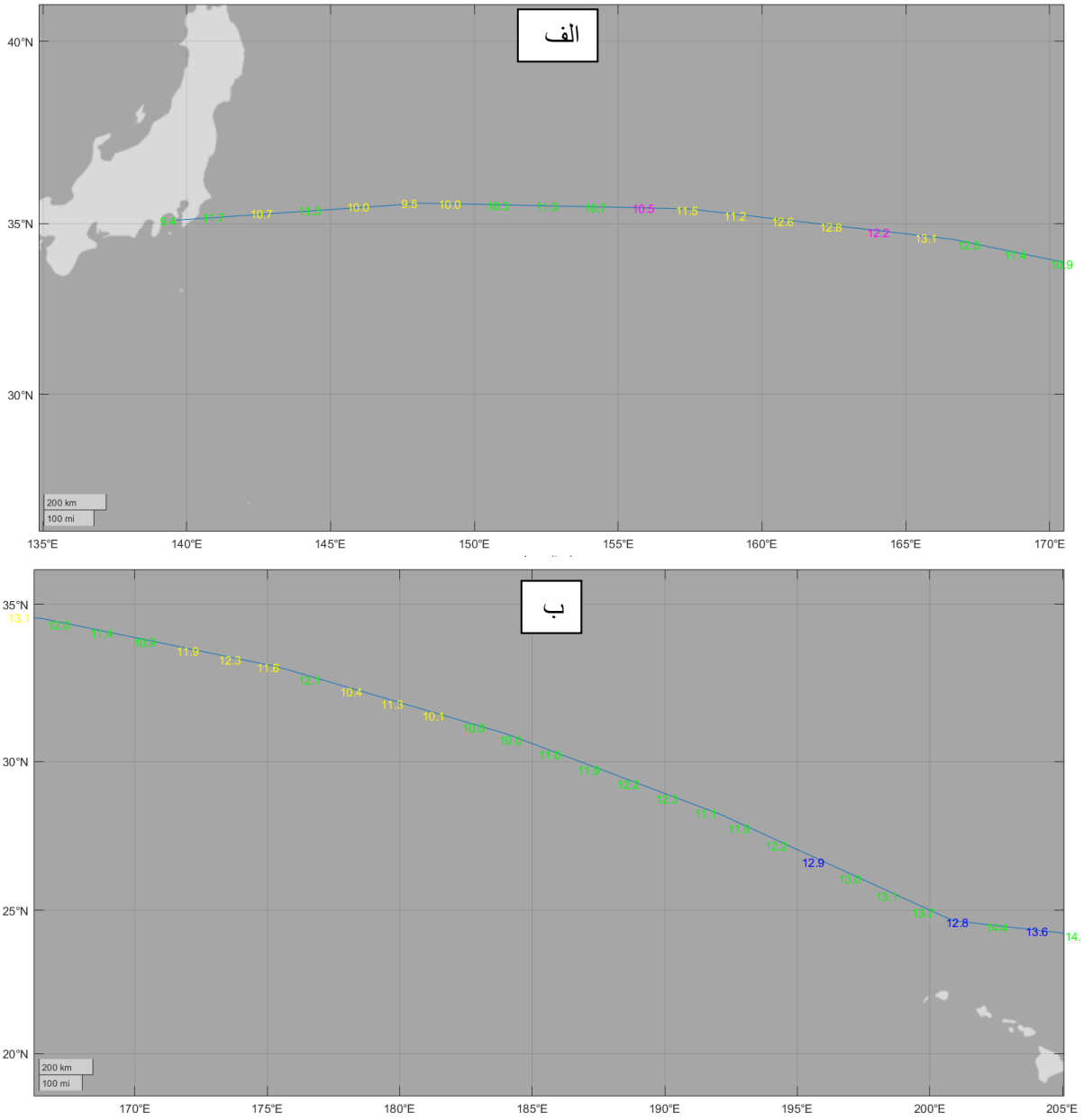
در شکل۹ وضعیت جوی ۲۰۲۳/۰۸/۰۱ آورده شده است. مطابق این وضعیت جوی در ابتدای مسیر درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره غالباً موارد کمتر از ۵ درصد است که این حالت نشانگر وضعیت دریانوردی مناسب در این فصل سال است. در شکل ۹ ب درصد سرعت باد بالای ۲۵ گره آورده شده است و مشاهده می‌شود که سرعت باد بالای ۲۵ گره در اقیانوس آرام بسیار کم رخ داده است و تنها این بازه سرعتی در ابتدا و انتها مسیر یوکوهاما به کانال پاناما اتفاق افتاده است و این حالت نشان‌دهنده وضعیت جوی مساعد در این فصل در این مسیر است.

جدول .Error! No text of specified style in document–۱. **میانگین درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره روی مسیر یوکوهاما به کانال پاناما.**

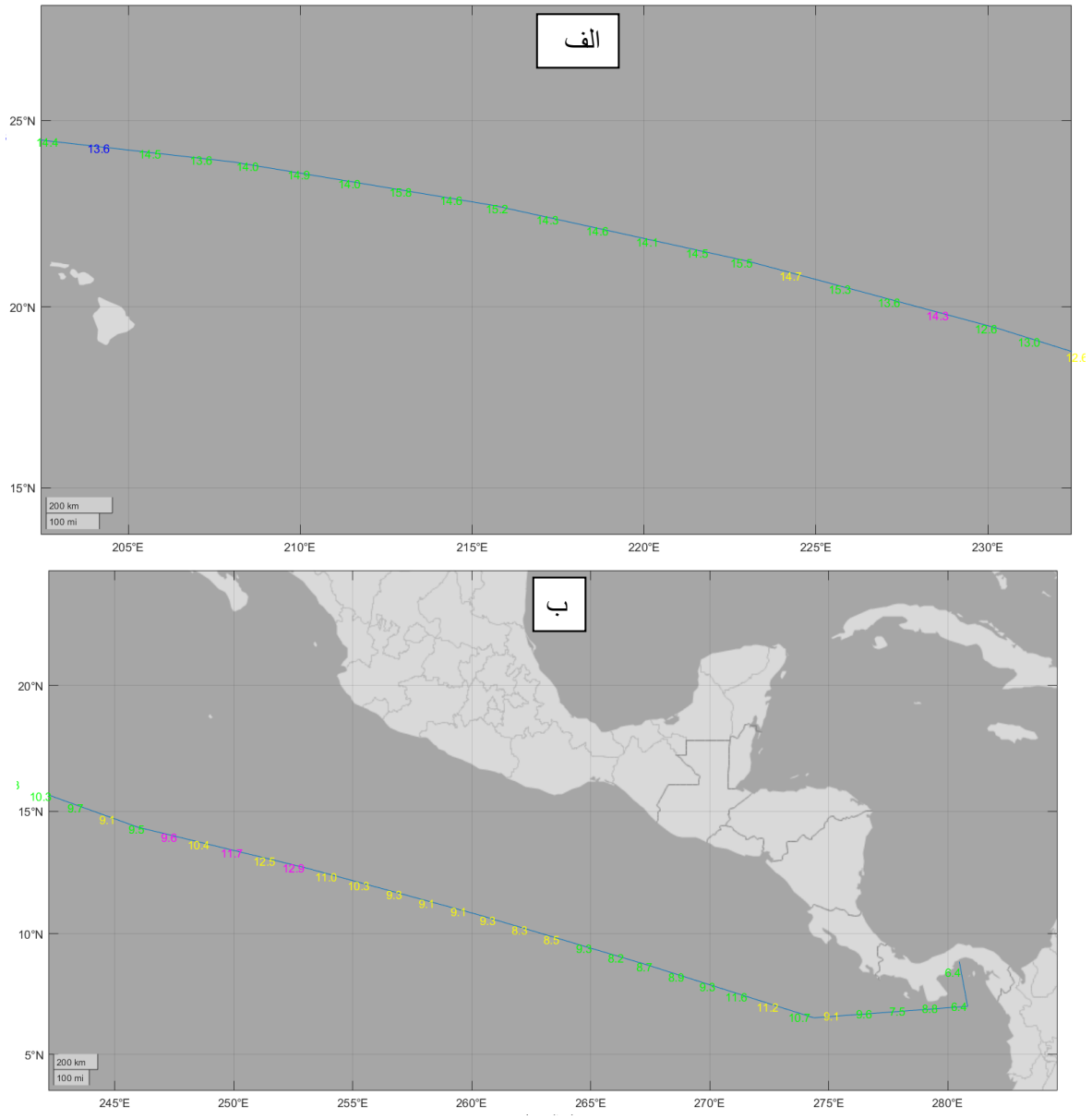
زمـــــــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــــــان	میانگین	زمـــــــــــــــان	میانگین
2023/01/01	23.9	2023/05/01	6.4	2023/09/01	5.0
2023/01/10	22.7	2023/05/10	7.0	2023/09/10	5.5
2023/01/20	21.1	2023/05/20	5.8	2023/09/20	7.3
2023/02/01	21.5	2023/06/01	7.1	2023/10/01	8.3
2023/02/10	18.8	2023/06/10	5.6	2023/10/10	9.5
2023/02/20	19.3	2023/06/20	5.42	2023/10/20	15.8
2023/03/01	17.9	2023/07/01	5.48	2023/11/01	14.7
2023/03/10	16.9	2023/07/10	4.7	2023/11/10	17.9
2023/03/20	15.8	2023/07/20	4.6	2023/11/20	20.8
2023/04/01	12.6	2023/08/01	3.0	2023/12/01	21.1
2023/04/10	9.4	2023/08/10	5.1	2023/12/10	20.8
2023/04/20	8.6	2023/08/20	4.4	2023/12/20	21.7



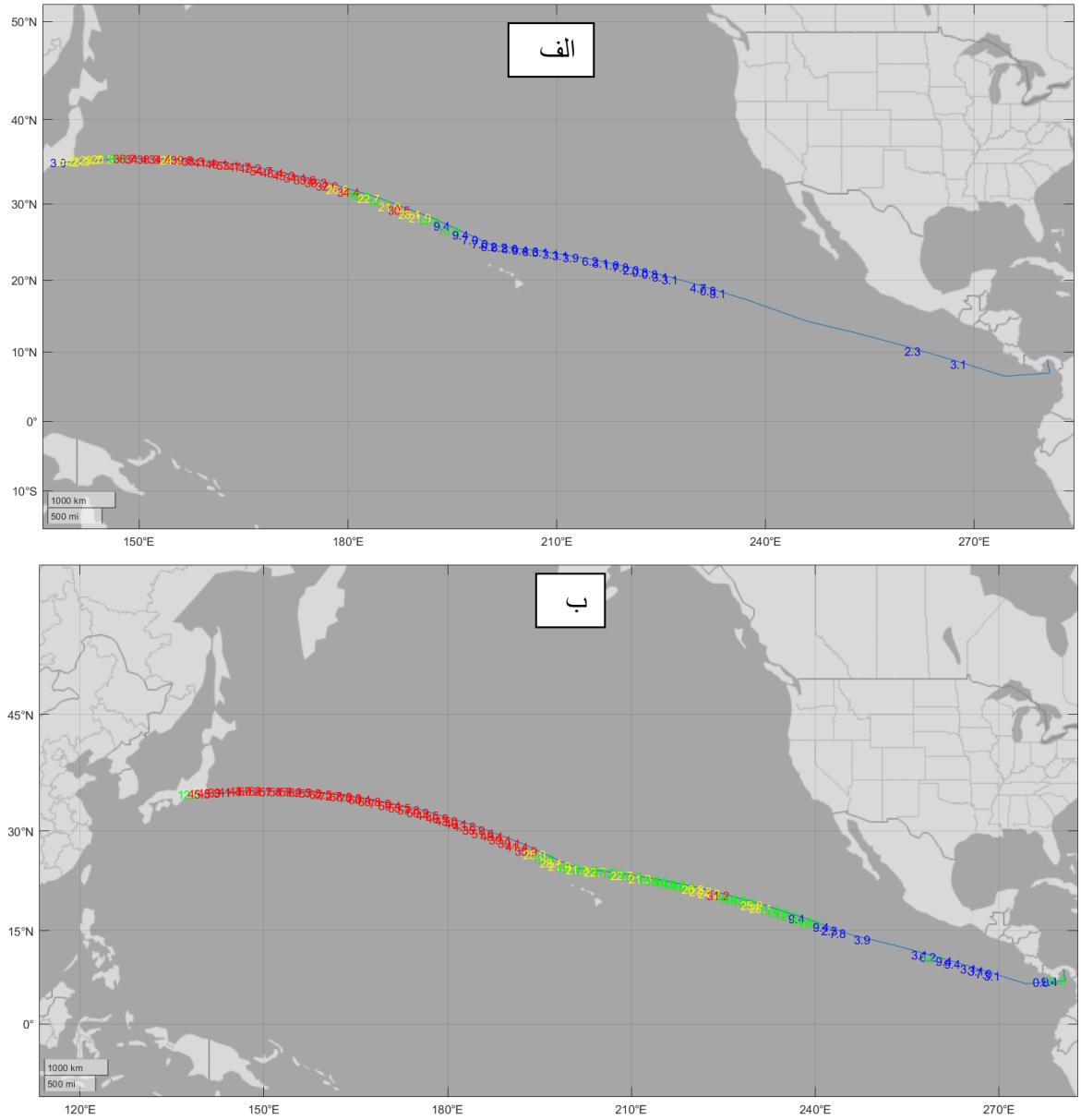
شکل Error! No text of specified style in document.–الف- درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره و ب- بالای ۲۵ گره در مسیر دریانوردی از بندر یوکوهاما به کانال پاناما در مورخه ۲۰۲۳/۰۸/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۵/۱۰ که بهترین وضعیت جوی در این مسیر حاکم است. (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)



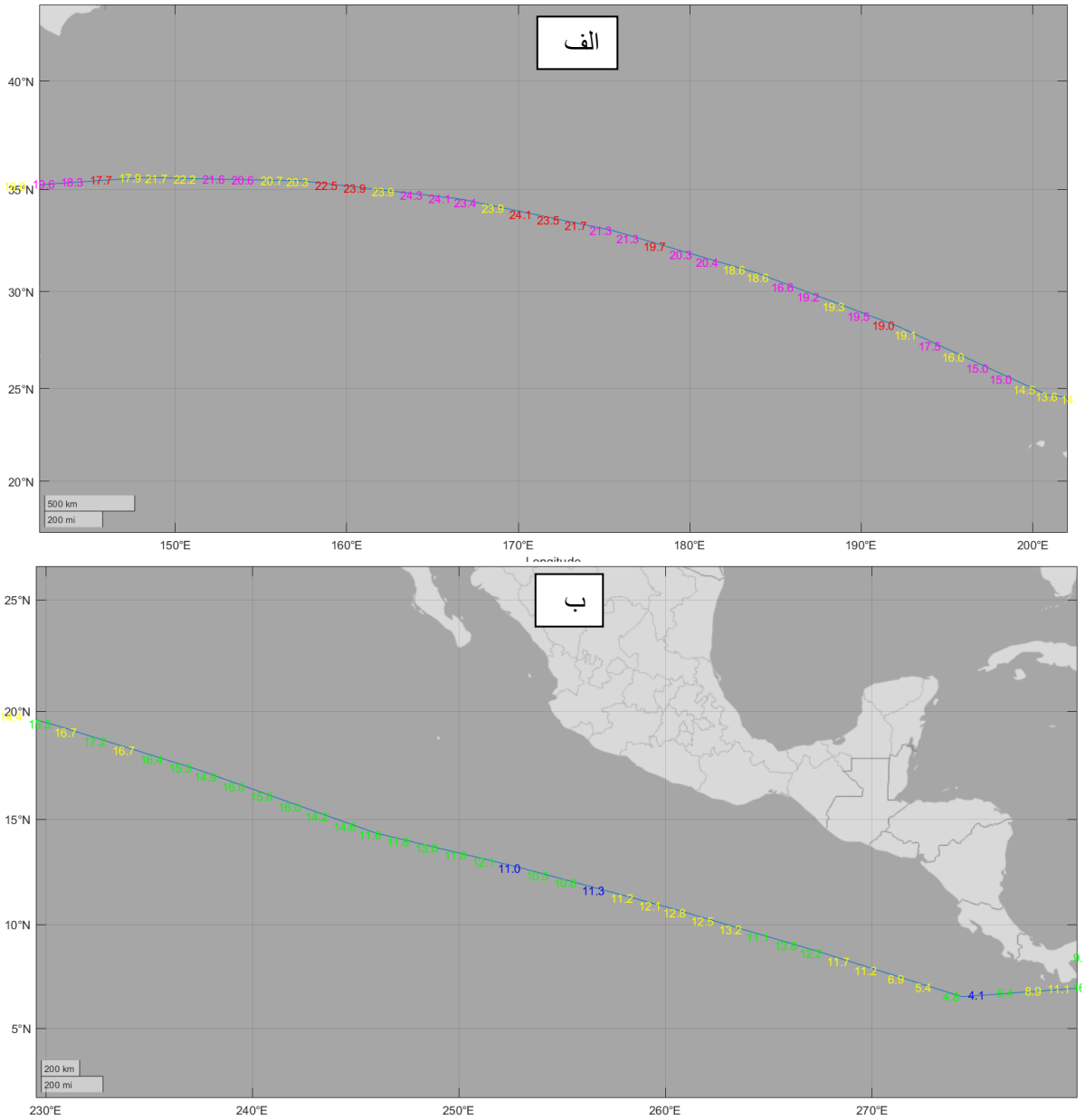
شکل Error! No text of specified style in document.–میانگین سرعت باد در مسیر یوکوهاما، هاوایی، پاناما (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)، الف- در بخش ابتدایی مسیر، ب- بخش میانی مسیر در مورخه ۲۰۲۳/۰۸/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۵/۱۰.



شکل .Error! No text of specified style in document– میانگین سرعت باد در مسیر یوکوهاما، هاوایی، پاناما (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)، الف- در بخش جزیره هاوایی، ب- بخش انتهایی در مورخه ۲۰۲۳/۰۸/۰۱ معادل با ۱۴۰۲/۰۵/۱۰.



شکل .Error! No text of specified style in document–الف- درصد سرعت باد بالای ۲۰ گره و ب- بالای ۲۵ گره در مسیر دریانوردی از یوکوهاما، هاوایی، پاناما در مورخه ۲۰۲۳/۰۱/۰۱ معادل با ۱۴۰۱/۱۰/۱۱ که بدترین وضعیت جوی در این مسیر حاکم است. (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)



شکل .Error! No text of specified style in document–میانگین سرعت باد در مسیر یوکوهاما، هاوایی، پاناما (توضیحات رنگ بندی اعداد روی نقشه در متن آورده شده است)، الف- در ابتدا مسیر، ب- بخش انتهایی مسیر در مورخه ۲۰۲۳/۰۱/۰۱ معادل با ۱۴۰۱/۱۰/۱۱ که بدترین وضعیت جوی در این مسیر حاکم است.

۴- جمع بندی

مسیریابی واحدهای شناور از اجزای مهم در طراحی عملیات‌های دریایی است. مسیر ایمن باید همواره تمام موارد ایمنی را درنظر بگیرد و مخاطرات جوی را در طول مسیر به حساب آورد. در این پژوهش با استفاده از طراحی الگوریتم مسیریابی بهترین مسیر در اقیانوس آرام انتخاب گردید.

با فرض عبور شناور از غرب اقیانوس آرام به شرق دو نقطه ورودی از ژاپن و تنگه سرنگانی برای ورود به اقیانوس آرام و دو نقطه خروجی به ترتیب شامل کانال پاناما و تنگه ماژلان وجود خواهد داشت. با در نظر گرفتن این موضوع، دو نقطه ورودی و دو نقطه خروجی در این اقیانوس، چهار مسیر کلی قابل طرح‌ریزی است که این مسیرها عبارتند از:

الف) حرکت از بندر یوکوهامای ژاپن و عبور از جزایر هاوایی و در نهایت رسیدن به کانال پاناما که این مسیر عمدتاً بخش شمالی اقیانوس آرام را پوشش داده و عبور می‌کند.

ب) حرکت از تنگه سرنگانی در جنوب فیلیپین و حرکت به سوی مرکز اقیانوس آرام از روی خط استوا و رسیدن به کانال پاناما. این مسیر از بخش مرکزی اقیانوس آرام و از روی خط استوا عبور می‌کند.

ج) ورود به اقیانوس آرام از طریق تنگه سرنگانی و حرکت در جنوب خط استوا و رسیدن به جزیره ایستر و سپس حرکت از جزیره ایستر در سمت جنوب شرق و عزیمت مستقیم به تنگه ماژلان

د) مسیری مانند مسیر قبلی با این تفاوت که از جزیره ایستر به جای اینکه مستقیم به سمت تنگه ماژلان برویم، ابتدا به سواحل شیلی رفته و در مسیر راه جنوب بسمت تنگه ماژلان عزیمت می‌نماییم

چهار مسیر محتمل بالا با استفاده از نرم‌افزار مسیریاب و داده‌های اقلیمی ERA5 از سال ۱۹۷۹ الی ۲۰۲۲ مورد مطالعه قرارگرفتند.

نتایج مطالعه نشان داد که مسیر (ب) که از روی خط استوا حرکت می‌کند و از تنگه سرنگانی به کانال پاناما می‌رسد، بهترین مسیر عبور برای گذر از اقیانوس آرام است؛ ولی محدودیت عبور از کانال پاناما باعث گردید گزینه عبور از این مسیر اصلاً در نظر گرفته نشود. تجربه مطالعه عبور از خط استوا موجب شد که مسیر تنگه سرنگانی به جزیره ایستر که بازهم در حوالی استوا بود، مورد توجه قرار گیرد. ولی فاز نهایی مسیر که رسیدن به تنگه ماژلان بود موجب تعریف دو مسیر مجزا شد. وضعیت جوی بسیار نامساعد در جنوب شرق جزیره ایستر تا تنگه ماژلان موجب شد که مسیر جنوب شرقی جزیره ایستر از گزینه مورد نظر خارج شود. با حذف دو مسیر عبور از خط استوا و جنوب شرق جزیره ایستر، تنها دو گزینه عبور از بخش شمالی اقیانوس آرام و حرکت در امتداد سواحل شیلی باقی ماند. مسیر عبوری از بخش شمالی اقیانوس آرام بسیار نامساعد است. و در جدول میانگین سرعت باد بالاتر از ۲۰ گره نشان داده شد که این مسیر دارای بدترین وضعیت جوی برای عبور از اقیانوس آرام است. بخش شمالی به دلیل عبور مکرر جبهه‌های سرد برای عبور شناور اصلا مساعد نمی‌باشد. لذا تنها گزینه برای عبور شناور مسیر تنگه سرنگانی، جزیره ایستر، سواحل شیلی و در نهایت تنگه ماژلان انتخاب شد. در این پژوهش مطالعات اقلیمی مسیریابی برای کل سال در بازه زمانی ۱۰ روزه انجام شده است. لذا از نتایج دیگر این پژوهش این است که زمان بهینه برای عبور از روی هر مسیر در اقیانوس آرام حاصل شده است.

در مسیر تنگه سرنگانی، جزیره ایستر و ماژلان بهترین زمان سفر در ماه‌های ۱۲،۱۱،۱۰ میلادی و بدترین زمان سفر نیز ماه‌های ۸،۷،۶،۵ میلادی است. با حذف مسیر جنوب شرق ایستر به تنگه ماژلان بهترین زمان سفر برای این مسیر بازهم ۱۲،۱۱،۱۰ میلادی و بدترین زمان حرکت نیز بازهمان ماه‌های ۸،۷،۶،۵ میلادی است.

نکته جالب این است که ناوگروه در بهترین زمان ممکن برای عبور در مسیر یوکوهاما، هاوایی و کانال پاناما بهترین زمان سفر ماه‌های ۸،۷ میلادی و بدترین زمان سفر ماه‌های ۱ و ۲ میلادی است.

۵- تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از داوران و ویراستاران محترم نشریه مهندسی دریا که در بهبود کیفیت مقاله کمک شایانی داشته‌اند، کمال تقدیر و تشکر داریم.

۶ - مراجع

1- Samdaliri, H., Mohammad Mahdizade, M., alimohammadi, M., & mohamadi, A. (2023). *Evaluation of influential factors in weather routing from the two dimensions of safety and economic savings*. Iranian journal of Marine technology, 10(3), 97-115. doi: 10.22034/ijmt.2023.544171.1818 (In Persian)

2- Zhou, P., Zhou, Z., Wang, Y., & Wang, H. (2023). *Ship weather routing based on hybrid genetic algorithm under complicated sea conditions*. Journal of Ocean University of China, 22(1), 28-42.

3- Kytariolou, A., & Themelis, N. (2023, March). *An Investigation on the Effect of Sea Currents on Weather Routing Optimisation.* In SNAME International Symposium on Ship Operations, Management and Economics (p. D021S007R006). SNAME.

4- Ksciuk, J., Kuhlemann, S., Tierney, K., & Koberstein, A. (2023). *Uncertainty in maritime ship routing and scheduling:* A Literature review. European Journal of Operational Research, 308(2), 499-524.

5- Bahrami, N., & Siadatmousavi, S. M. (2024). *Ship voyage optimisation considering environmental forces using the iterative Dijkstra's algorithm*. Ships and Offshore Structures, 19(8), 1173-1180.

6- Grifoll, M., Borén, C., & Castells-Sanabra, M. (2022). *A comprehensive ship weather routing system using CMEMS products and A* algorithm*. Ocean Engineering, 255, 111427.

7- Guo, Z., Hong, M., Zhang, Y., Shi, J., Qian, L., & Li, H. (2024). *Research on safety evaluation and weather routing optimization of ship based on roll dynamics and improved A* algorithm*. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 100605.

URL: http://marine-eng.ir/article-1-1003-fa.html (In Persian)

15- Cornell, J. (2022). *World Cruising Routes: 1000 sailing routes in all oceans of the world*. A&C Black. (In Persian)

16- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). *The ERA5 global reanalysis.* Quarterly journal of the royal meteorological society, 146(730), 1999-2049.

17- Hersbach, H., Peubey, C., Simmons, A., Poli, P., Dee, D., & Berrisford, P. (2018). *ERA report series*. URL: https://www. ecmwf. int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim.

18- Lin, Y. H., Fang, M. C., & Yeung, R. W. (2013). *The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements*. Applied Ocean Research, 43, 184-194.

19- Hagiwara, H. (1989). *Weather routing of (sail-assisted) motor vessels* (Doctoral dissertation, Technische Universiteit Delft).

20- Eskild, H. (2014). *Development of a method for weather routing of ships* (Master's thesis, Institutt for marin teknikk).

21- Kristensen, H. O., & Lützen, M. (2012). *Prediction of resistance and propulsion power of ships*. Clean Shipping Currents, 1(6), 1-52.

22- Isherwood, R. M. (1973). *Wind resistance of merchant ships*. Trans. RINA, 115, 327-338.

8- Ma, D., Zhou, S., Han, Y., Ma, W., & Huang, H. (2024). *Multi-objective ship weather routing method based on the improved NSGA-III algorithm*. Journal of Industrial Information Integration, 38, 100570.

9- Mannarini, G., Salinas, M. L., Carelli, L., Petacco, N., & Orović, J. (2024). *VISIR-2: ship weather routing in Python.* Geoscientific Model Development, 17(10), 4355-4382.

10- Balas, M., Prpić-Oršić, J., & Valčić, M. (2024). *Emerging Stochastic Methods for Weather-Aware Ship Routing*. In Theory and Practice of Shipbuilding (pp. 289-297). IOS Press.

11- Malekpour Golsefidi M, Karimipour F, Sharifi M A (2016). *Proposing a Novel Temporal Rout Finding Model for Marine Navigation with Respect to Depth and Weather Condition of Marine Environment*. JGST; 5 (4) :255-268 URL: http://jgst.issgeac.ir/article-1-418-fa.html (In Persian)

12- Ebrahimi mavini M, Shafieefar M (2022). *The analysis of the pattern of maritime traffic trajectory using the data mining in the Persian Gulf*. Marine Engineering 2022; 18 (35) :111-127
URL: http://marine-eng.ir/article-1-905-fa.html (In Persian)

13- Alimohammadi, M. , Karimpoor, H. , Samdaliri, H. and Mohammad Mahdizadeh, M. (2023). *Studying the methods of predicting changes in ship speed when encountering waves.* Hydrophysics, 8(2), 145-158. (In Persian)

14- Alimohammadi M (2023). *Design of navigation system taking into account climatic data along the shipping route.* Marine Engineering; 19 (39) :12-34