

طراحی سامانه ناوبری با در نظر گرفتن داده‌های اقلیمی در طول مسیر دریانوردی

علی محمدی^۱، مهریار علی محمدی^{۲*}، احمد ذادق آبادی^۳، عباس تلکانی^۴^۱ استادیار گروه هواشناسی و اقیانوس‌شناسی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر، mohammadi.a4682@gmail.com^۲ استادیار گروه عملیات ویژه و شناسایی ساحل، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر، mhyar_alimohammadi@yahoo.com^۳ دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشگاه هرمزگان بندرعباس، zadegh_ahmad@yahoo.com^۴ کارشناس ارشد علوم ناوبری، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر، telicani_abbas@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نارنجچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

کلمات کلیدی:

ناوبری

مسیر دریایی

داده‌های هواشناسی

درون‌یابی زمانی

درون‌یابی مکانی

سامانه‌های ناوبری امروزه به‌جزء لاینفک کنترل واحد شناور تبدیل شده‌اند. امروزه سامانه ناوبری اکدیسی به‌عنوان مهم‌ترین سامانه کمک ناوبری مطرح شده است. وجود نقشه‌های الکترونیکی در حافظه دستگاه اکدیسی در کنار توانایی پردازشی این دستگاه سبب شده است که افسرنگهبان پل فرماندهی بدون هیچ نگرانی به ناوبری در مسیرهای اقیانوسی بپردازد. یکی از عیب‌های سامانه‌های ناوبری متداول (مانند اکدیسی و سامانه یکپارچه ناوبری) عدم وجود داده‌های هواشناسی در این سامانه‌ها است. در این پژوهش یک سامانه ناوبری توسعه داده شده است که با توجه به نقاط چرخش، مسیر دریانوردی را محاسبه کرده و ناوبری تخمینی را انجام می‌دهد. در این سامانه داده‌های اقلیمی باد، دما، فشار، در بازه زمانی چهل‌ساله روی نقاط تخمینی محاسبه شده است. محاسبه داده‌های اقلیمی روی نقاط تخمینی می‌تواند به افسران ناوبر در تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر دریانوردی کمک کند.

Design of navigation system taking into account climatic data along the shipping route

Ali Mohammadi¹, Mehriar Alimohammadi^{2*}, Ahmad Zadeghabadi³, Abas Telicani⁴¹ Assistant Professor, Department of Meteorology and Oceanography, Imam Khomeini University of Marine Sciences, Nowshahr; mohammadi.a4682@gmail.com² Assistant Professor, Department of Special Operations and Coast reconnaissance, Imam Khomeini University of Marine Sciences, Nowshahr; mhyar_alimohammadi@yahoo.com³ PhD student in Meteorology, Hormozgan University, Bandar Abbas; zadegh_ahmad@yahoo.com⁴ Master of Navigation Sciences, Imam Khomeini University of Marine Sciences, Nowshahr; telicani_abbas@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 17 Sep 2022

Accepted: 24 Jul 2023

Keywords:

navigation

sea route

meteorological data

Temporal interpolation

Spatial interpolation

ABSTRACT

Today, navigation systems have become an integral part of the control of the floating unit. Today, ECDIS navigation system is considered as the most important navigation assistance system. The presence of electronic maps in the memory of the ECDIS device, along with the processing ability of this device, has caused the officer guarding the command bridge to navigate the ocean routes without any worries. One of the disadvantages of conventional navigation systems (such as ECDIS and integrated navigation system) is the lack of meteorological data in these systems. In this study, a navigation system has been developed that has calculated the sea route according to the turning points and performs estimated navigation. In this system, climatic data of wind, temperature, pressure are calculated on estimated points over a period of forty years. Calculating climatic data on estimated points can help navigating officers decide on a seafaring route.

۱- مقدمه

سامانه‌های ناوبری امروزه به جزء لاینفک کنترل واحد شناور تبدیل شده‌اند. سامانه‌های ناوبری می‌توانند محاسبات ناوبری را برای افسرنگهبان پل فرماندهی آماده کرده و این محاسبات را روی نقشه‌های ناوبری لحاظ کند. امروزه سامانه ناوبری اکدیس (Electronic Chart Display and Information System) به عنوان مهم‌ترین سامانه کمک ناوبری مطرح شده است. وجود نقشه‌های الکترونیکی در حافظه دستگاه اکدیس در کنار توانایی پردازشی این دستگاه سبب شده است که افسرنگهبان پل فرماندهی بدون هیچ نگرانی به ناوبری در مسیرهای اقیانوسی بپردازد. یکی از نقص‌های سامانه‌های ناوبری متداول (مانند اکدیس و سامانه یکپارچه ناوبری) عدم وجود داده‌های هواشناسی در این سامانه‌ها است.

باد، امواج قوی و جریان‌های اقیانوسی می‌توانند در شرایط جوی ناآرام، به شدت بر ایمنی، سرعت و میزان مصرف سوخت کشتی تأثیرگذار باشند. بدین ترتیب مسئله ترسیم یک مسیر ایمن و اقتصادی، یک نکته‌ی کلیدی در طراحی مسیریابی آب و هوایی است. آب‌وهوای نامطلوب به عنوان مثال می‌توان به طوفان‌های کیار، آشوب و گونو در محدوده شمال اقیانوس هند اشاره کرد که باد و امواج ناشی از آن‌ها می‌تواند ایمنی دریانوردی را به مخاطره اندازد [۲] [۳] [۴] [۵]. اگرچه مطالعات فراوانی در خصوص مسیریابی دریانوردی در خارج از کشور وجود دارد (به عنوان مثال زائو و همکاران، ۲۰۲۲، ونگ، ۲۰۲۲ [۱۵]؛ دوپوی و همکاران، ۲۰۲۱ [۹]؛ تیلینگ و همکاران، ۲۰۲۰ [۱۱]؛ پنینو و همکاران، ۲۰۲۰ [۱۴]؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۸ [۱۳]؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۷ [۱۲]؛ فانگ و لین، ۲۰۱۵ [۸]؛ پدی و همکاران، ۲۰۰۸ [۱۰]؛ آروچا و همکاران، ۲۰۱۸ [۶] و ...) اما در داخل کشور این مطالعات فقط به پژوهش ملک پور گلسفیدی و همکاران (۱۳۹۴) [۱۶] و محمدی و همکاران (۱۴۰۰) [۱۷] محدود شده است. گلسفیدی و همکاران (۱۳۹۴) برای اولین بار روش مسیریابی زمانمند جهت ناوبری دریایی ایمن و بهینه از نظر زمانی با استفاده از داده‌های محیطی را ارائه دادند [۱۶] و محمدی و همکاران به بررسی چالش‌های مسیر دایره عظیمه با استفاده از روش ورتکس پرداختند [۱۷]. در این پژوهش در نظر است سامانه کمک ناوبری برای افسران نگهبان پل فرماندهی واحدهای شناور نداجا طراحی شود. به همین دلیل در این پژوهش نقص سامانه‌های ناوبری پوشش داده شده است و داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی واحد شناور محاسبه و در دسترس قرار گرفته است. در واقع با این عمل ضمن کاهش هزینه‌های خرید کتاب مسیرهای دریانوردی و نقشه‌های اقلیمی و حتی خرید سامانه‌های ناوبری متداول (مانند اکدیس و

سامانه یکپارچه ناوبری) یکی از نقص‌های سامانه‌ی ناوبری (عدم در نظر گرفتن داده‌های هواشناسی) نیز برطرف خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-۲ داده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از دو سامانه جهانی NCEP-NCAR کشور آمریکا و ECMWF اروپا است. این دو سامانه جهانی از معتبرترین سامانه‌های جهانی آرشیو داده‌های هواشناسی بوده و داده‌های بازتحلیل را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. داده‌های بازتحلیل عبارت‌اند از اینکه داده‌های دریافت شده از ایستگاه‌ها، بویه‌ها، ماهواره‌ها و سایر منابع دریافتی در مدل هواشناسی تجزیه و تحلیل وارد شده و با تکنیک‌های ریاضی، خطای جمع‌آوری داده حذف می‌شود. به همین دلیل داده‌های بازتحلیل از بهترین منابع تأمین داده برای مقاصد دریانوردی محسوب می‌شوند. در ادامه هر کدام از این پایگاه‌های داده به صورت مجزا مطالعه می‌شوند.

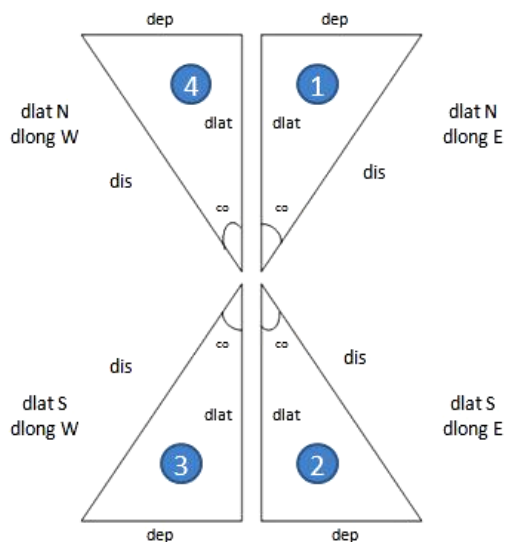
۲-۱-۱ پایگاه داده ERA5 از مرکز هواشناسی Ecmwf اروپا

مرکز ECMWF تا سال ۲۰۱۹ داده‌های بازتحلیل ERA-Intrim را منتشر می‌کرد؛ ولی در راستای تأمین مالی پروژه تغییر اقلیم کوپرنیک (COPERNICUS Climate Change Service; C)، این مرکز اقدام به تولید و انتشار داده‌های ERA5 نمود. این مرکز، داده‌های ERA5 را از سال ۱۹۷۹ مطابق با زمان 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 [۱].

داده‌های ERA5 از مرکز CDS (Climate Data Store) قابل دسترسی است.

۲-۱-۲ پایگاه داده NCEP-NCAR کشور آمریکا

دو مرکز NCEP (مرکز بین‌المللی پیش‌بینی‌های محیطی) و NCAR (و مرکز تحقیقات بین‌المللی جوی) با یکدیگر در پروژه بازتحلیل داده‌ها شرکت کردند. هدف از همکاری بین این دو مرکز بین‌المللی تولید داده‌های قابل اعتماد ۵۰ ساله برای کمک به محققان در امر تحقیقات در جامعه جهانی در امر هواشناسی و اقلیم‌شناسی بود. برای این کار از تمامی داده‌های مراکز هواشناسی، ماهواره‌ای، کشتی‌ها، رادیوسوندها، هواپیماها و سایر منابع داده‌ای استفاده شد. این داده‌ها تحت کنترل کیفیت قرار گرفتند. برای داده‌گذاری این داده‌ها از داده‌های مدل CDAS (سامانه داده‌گذاری



شکل ۱- انواع راه ربعی در دریانوردی روی صفحه.

برای به دست آوردن ربع حرکت لازم اختلاف عرض جغرافیایی و اختلاف طول جغرافیایی محاسبه می‌شود و با توجه به علامت اختلاف عرض جغرافیایی و اختلاف طول جغرافیایی، ربع حرکت تعیین می‌شود. برای مثال چنانچه اختلاف عرض جغرافیایی شمالی و اختلاف طول جغرافیایی شرقی شود یعنی در ربع اول هستیم. برای حل راه و مسافت در روش دریانوردی روی صفحه از روابط مثلثاتی استفاده می‌کنیم [۷].

$$dep = dlong \cdot \cos\left(\frac{latA + latB}{2}\right), \tan(co) = \frac{dep}{dlat} \quad (1)$$

$$dis = dlat \cdot \sec(co)$$

مراحل حل مسئله دریانوردی روی صفحه در این پروژه به صورت خلاصه زیر است:

۱- با استفاده از موقعیت مبدأ و مقصد، مقدار اختلاف عرض جغرافیایی و اختلاف طول جغرافیایی را تعیین می‌کنیم و بر اساس علامت آن‌ها، ربع حرکتی را تعیین می‌کنیم.

۲- با استفاده از عرض متوسط $lat m = \frac{lat A + lat B}{2}$

مقدار دیپارچر^۱ را به دست می‌آوریم.

۳- با استفاده از روابط مثلثاتی مقدار راه ربعی و سرعت را محاسبه می‌کنیم.

اقلیمی) استفاده شد به همین دلیل داده‌ها از سال ۱۹۴۸ در دسترس قرار گرفتند. داده‌های بازتحلیل دو مرکز NCEP و NCAR از طریق سایت مرکز NOAA در دسترس عموم قرار گرفته است.

داده‌های باز تحلیل فشار سطح تبدیل شده به سطح دریا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهار برای باد برای کل کره از سال ۱۹۸۰ الی ۲۰۲۰ به مدت ۴۰ سال اخذ شده است و داده‌های فشار سطح تبدیل شده به سطح دریا با توجه به تاریخ روزهای بارش فرین از داخل این اطلاعات استخراج شده است.

۲-۲ روش مورد استفاده

۲-۲-۱ تعیین نقاط چرخش در مسیر دریانوردی

این فرایند ابتدایی‌ترین فرایند در این پژوهش است که افسرنگهبان باید نقاط موردنظر برای چرخش واحد شناور روی مسیر را محاسبه کند. این فرایند هیچ ارتباطی به روش‌های محاسباتی ندارد و فقط بر اساس نیاز عملیاتی نقاط چرخش واحد شناور تعریف می‌شود. از این مرحله به بعد است که محاسبات ناوبری بر اساس راهکارهای عملیاتی و نقاط چرخش مطرح شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۲-۲ محاسبه راه و فاصله بین نقاط چرخش انتخابی

در این قسمت از پژوهش راه و مسافت روی مسیر دریانوردی رامب لاین محاسبه می‌شود. محاسبه راه و مسافت روی مسیر دریانوردی رامب لاین به صورت زیر است [۱۸].
برای محاسبه راه و مسافت رامب لاین می‌توان از دو نوع مسیریابی روی صفحه و مرکاتور استفاده کرد. دریانوردی روی صفحه برای محاسبه راه و سرعت یک واحد شناور از یک عرض جغرافیایی به عرض دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل این‌که این نوع دریانوردی به دریانوردی صفحه معروف شده است، این است که کره زمین به صورت یک سطح صاف در نظر گرفته می‌شود برای حل دریانوردی روی صفحه از راه ربعی استفاده می‌شود. در شکل ۱ راه ربعی آورده شده است.

^۱ - کوتاه شدن فاصله بر روی مدار با افزایش عرض جغرافیایی

در این نوع دریانوردی دیگر بین دو نقطه اختلاف عرض جغرافیایی وجود ندارد. درواقع عرض‌های جغرافیایی دچار گسترش شده‌اند. بنابراین بر روی نصف‌النهارات باید مقدار اختلاف گسترش نصف‌النهاری^۱ قرار گیرد. از طرفی نصف‌النهارات باهم موازی هستند برای محاسبه راه در دریانوردی مرکاتور از رابطه زیر استفاده می‌کنیم [۱۹] [۲۰]:

$$\tan \alpha = \frac{dlong}{DMP} \quad (۲)$$

که در رابطه بالا dlong اختلاف طول جغرافیایی و DMP اختلاف گسترش نصف‌النهاری است [۱۸].

$$DMP = 7915.7045 \left[\log_{10} \tan \left(45^\circ + \frac{LT^\circ}{2} \right) - \log_{10} \tan \left(45^\circ + \frac{LF^\circ}{2} \right) \right] \quad (۳)$$

مقدار اختلاف گسترش نصف‌النهاری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MP = 7915.7045 \log_{10} \tan \left(45^\circ + \frac{L^\circ}{2} \right) \quad (۴)$$

در دریانوردی مرکاتور نمی‌توان مسافت^۲ را حل کرد و محاسبه مسافت با استفاده از روابط دریانوردی مرکاتور منجر به محاسبه مسافت‌های اشتباه و بزرگ می‌شود که دلیل آن نیز وجود گسترش نصف‌النهاری است [۲۱].

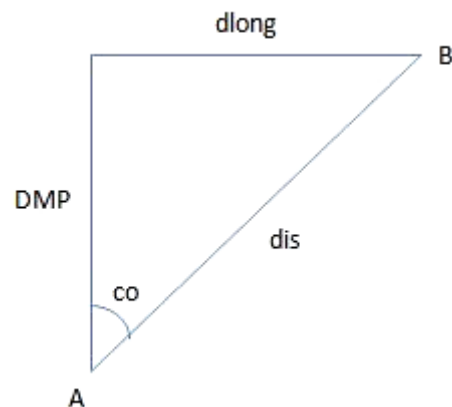
در این پژوهش مسافت مسیر دریانوردی رامب لاین با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود که برای محاسبه آن لازم است در ابتدا مقدار زاویه راه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شود. نکته حائز اهمیت در این پژوهش این است که هرگاه فاصله بین نقاط چرخش بیش از ۶۰۰ مایل شود، اختلاف بین مسیر رامب لاین و دایره عظیمه قابل چشم‌پوشی نیست و باید از روابط دایره عظیمه برای محاسبه راه و سرعت استفاده کرد. روش کار در این قسمت بدین صورت است که هرگاه فاصله بین نقاط چرخش از ۶۰۰ مایل بیشتر شود مسیر دایره عظیمه بین این دو نقطه چرخش در نظر گرفته شده و سپس با استفاده از رابطه ۵ (طاهری، ۱۳۹۹) [۲۱]. مسیر دایره عظیمه را به تکه‌های ۶۰۰ مایلی شکسته و نقاط

۴- با استفاده از علامت اختلاف عرض جغرافیایی و اختلاف طول جغرافیایی راه به دست آمده را علامت‌گذاری می‌کنیم. برای مثال چنانچه راه به دست آمده ۴۲ درجه باشد، راه به صورت E 42 N که E علامت dlong و N علامت dlat است.

حال می‌توان با استفاده از علامت‌گذاری بالا، راه حقیقی را به دست آورد. برای ربع‌های ۴ گانه، مقدار راه حقیقی از راه ربعی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

Tco=Co	ربع اول
Tco=180-Co	ربع دوم
Tco=180+Co	ربع سوم
Tco=360-Co	ربع چهارم

راه بعدی برای محاسبه راه و مسافت بین نقاط چرخش، دریانوردی مرکاتور است که بر روی تصویر مرکاتور انجام می‌شود. در دریانوردی مرکاتور فاصله بین نصف‌النهارات ثابت است و نصف‌النهارات به صورت موازی هستند. بنابراین این نوع دریانوردی فقط برای عرض‌های میانی قابل استفاده است و برای عرض قطبی قابل استفاده نیست. در نقشه‌ی مرکاتور فاصله دیپارچر وجود ندارد بنابراین به جای کاهش فاصله بین مدارات در عرض‌های بالاتر شاهد افزایش فاصله روی نصف‌النهارات هستیم که به آن گسترش نصف-النهاری گفته می‌شود. در شکل ۲-۲ این نوع دریانوردی رسم شده است.

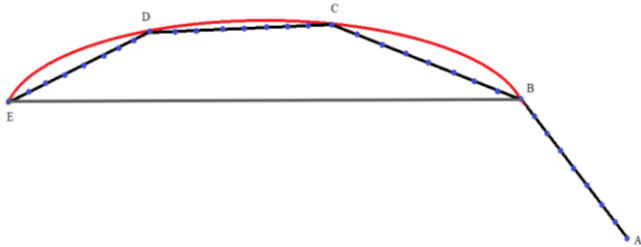


شکل ۲- نمای دریانوردی مرکاتور.

^۱different of meridional part

^۲distance

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 ۴) محاسبه شده است.



شکل ۴- 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.

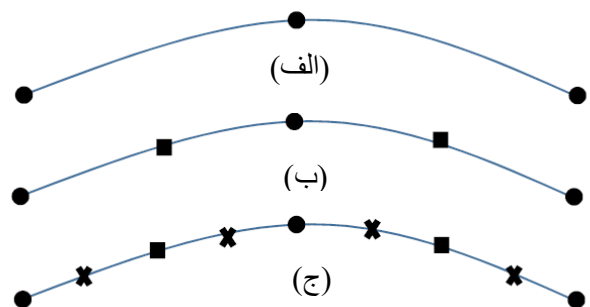
۲-۲-۳ درون‌یابی داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی

داده‌های هواشناسی از سایت NCEP-NCAR و یا ECMWF در نقاط منظم از طول و عرض جغرافیایی قرار گرفته است. در شکل ۵ 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 قرار گرفته است. برای مثال نقطه A بین نقاط ۱، ۲، ۳ و ۴ قرار گرفته 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 قرار گرفته است نیز باید از این نقاط برای محاسبه کمیت هواشناسی در نقطه B

چرخش روی مسیر دایره عظیمه محاسبه شده و راه و مسافت رامب لاین بین این نقاط چرخش که روی مسیر دایره عظیمه محاسبه می‌شود.

$$\operatorname{tg}(\operatorname{lat} W) = \frac{\operatorname{tg}(\operatorname{lat} F) + \operatorname{tg}(\operatorname{lat} T)}{2 \cos(D \operatorname{long} FW)} \quad (5)$$

روش استفاده از رابطه (۵) بدین صورت است که هر بار استفاده از این رابطه، مسیر دایره عظیمه به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود و این عمل دو قسمت کردن را می‌توان به تعداد مورد نیاز برای ایجاد تکه‌های ۶۰۰ مایلی تکرار کرد. در شکل ۳ نحوه استفاده از رابطه (۵) و دو قسمت کردن‌های متوالی مسیر دایره عظیمه آورده شده است. مطابق شکل در مسیر الف نقاط بین مبدأ و مقصد به دو قسمت مساوی تقسیم شده‌اند که دو نقطه مبدأ و مقصد به سه نقطه مبدأ و مقصد و نقطه میانی تبدیل شده است. در ادامه در مسیر ب نقاط میانی این سه نقطه محاسبه شده‌اند که از سه نقطه در مسیر الف تعداد پنج نقطه در مسیر ب حاصل شده است. به همین صورت عمل تقسیم کردن را می‌توان ادامه داده و از پنج نقطه مسیر ب تعداد نه نقطه در مسیر ج را محاسبه کرد.



شکل ۳- نحوه استفاده از رابطه (۵) و تقسیم مسیر دایره عظیمه به قطعات مساوی.

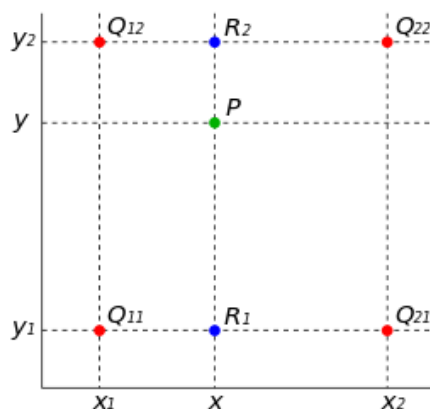
در گام بعد از محاسبه مسیر بین نقاط چرخش، راه و مسافت رامب لاین بین تمام نقاط چرخش محاسبه می‌شود که این شامل مسافت‌های رامب لاین کمتر از ۶۰۰ مایل و مسیرهای دایره عظیمه بیشتر از ۶۰۰ مایل می‌شود. در ادامه نقاط روی مسیرهای رامب لاین محاسبه می‌شود. در این پژوهش به صورت پیش فرض ۱۰۰ نقطه روی هر مسیر دریانوردی رامب لاین محاسبه می‌شود.

روند مسیریابی در این پژوهش در شکل ۴ آورده شده است. در این مسیر نقاط چرخش A, B و E به صورت پیش فرض در نظر گرفته شده است. با استفاده از روابط مسیریابی صفحه‌ای و مرکاتور

در ادامه، درونیابی را انجام داده و مقدار مطلوب به دست خواهیم آمد [۲۱]:

$$\begin{aligned} f(x, y) &\approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(x, y_2), \\ &= \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} \left(\frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \right) + \\ &\quad \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \left(\frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \right), \\ &= \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (f(Q_{11})(x_2 - x)(y_2 - y) + \\ &\quad f(Q_{21})(x_2 - x)(y - y_1) + \\ &\quad f(Q_{12})(x - x_1)(y_2 - y) + \\ &\quad f(Q_{22})(x - x_1)(y - y_1)) \\ f(x, y) &= \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} [x_2 - x \quad x - x_1] + \\ &\quad \begin{bmatrix} f(Q_{11}) & f(Q_{12}) \\ f(Q_{21}) & f(Q_{22}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2 - y \\ y - y_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

توجه کنید که اگر ابتدا درونیابی را برای y و بعد از آن برای x انجام دهیم، به نتیجه مشابهی خواهیم رسید. شکل ۶، نمای بصری روش درونیابی دوخطی را نشان می‌دهد. در این شکل، چهار نقطه قرمز، نقاط داده هستند و نقطه سبز نقطه موردنظر برای درونیابی است.

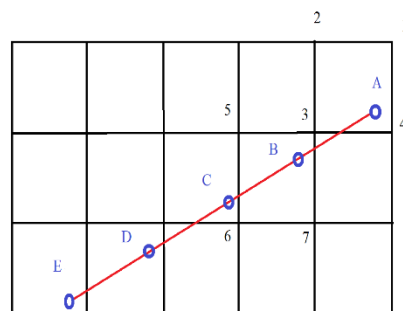


شکل ۶- درونیابی دوخطی برای نقطه p در صفحه.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

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. در ادامه مبانی ریاضی روش درونیابی دوخطی به اختصار توضیح داده می‌شود.



شکل ۵- مسیر دریانوردی (خط قرمز) با نقاط میانی A, B, C, D و E روی نقاط منظم طول و عرض جغرافیایی (خطوط سیاه).

۴-۲-۲ درونیابی دوخطی

در ریاضیات، درونیابی دوخطی تعمیمی از درونیابی خطی برای درونیابی توابع دو متغیر (به عنوان مثال، تابعی از x و y) در یک شبکه دوبعدی افقی-عمودی است. درونیابی دوخطی با استفاده از درونیابی خطی ابتدا در یک جهت و سپس به کارگیری آن در جهت دیگر انجام می‌شود. اگرچه هر مرحله الگوریتم درونیابی دوخطی خطی است، اما پاسخ نهایی به دست آمده دیگر خطی نیست و می‌توان گفت که درجه دوم است. درونیابی دوخطی یکی از تکنیک‌های اساسی باز نمونه‌گیری در پردازش تصویر است.

فرض می‌شود قصد بر این است تا مقدار تابع مجهول f در نقطه (x, y) پیدا شود؛ با این شرط که مقدار f در چهار نقطه

$$Q_{12} = (x_1, y_2), Q_{11} = (x_1, y_1), Q_{22} = (x_2, y_2) \text{ و } Q_{21} = (x_2, y_1) \text{ مشخص است.}$$

ابتدا درونیابی خطی برای x انجام می‌شود. در نتیجه، خواهیم داشت [۲۱]:

$$f(x, y_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}), \quad (6)$$

$$f(x, y_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}), \quad (7)$$

شده تقسیم شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود یک مرکز پرفشار روی ارتفاعات هیمالیا مستقر شده و فشار میانگین ماهیانه روی اقیانوس هند بین ۱۰۱۰ الی ۱۰۱۵ میلی بار است. در واقع با استفاده از این نقشه می‌توان ادعا کرد که فشار میانگین بلندمدت روی اقیانوس هند دارای حداقل ۱۰۱۰ و حداکثر ۱۰۱۵ میلی بار است. ولی قطعاً مراکز با فشار بیشتر از ۱۰۱۵ میلی بار و کمتر از ۱۰۱۰ میلی بار نیز از روی اقیانوس هند عبور کرده‌اند که به دلیل میانگین گرفتن ماهیانه حذف شده‌اند. برای مشخص کردن تغییرات فشار روی اقیانوس هند که در منطقه تحت مأموریت نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران قرار دارد بهتر است شرایط میانگین‌گیری را اصلاح کرد. به همین دلیل ماه اول میلادی به سه زیر بازه ۱۰ روزه تقسیم شده است.

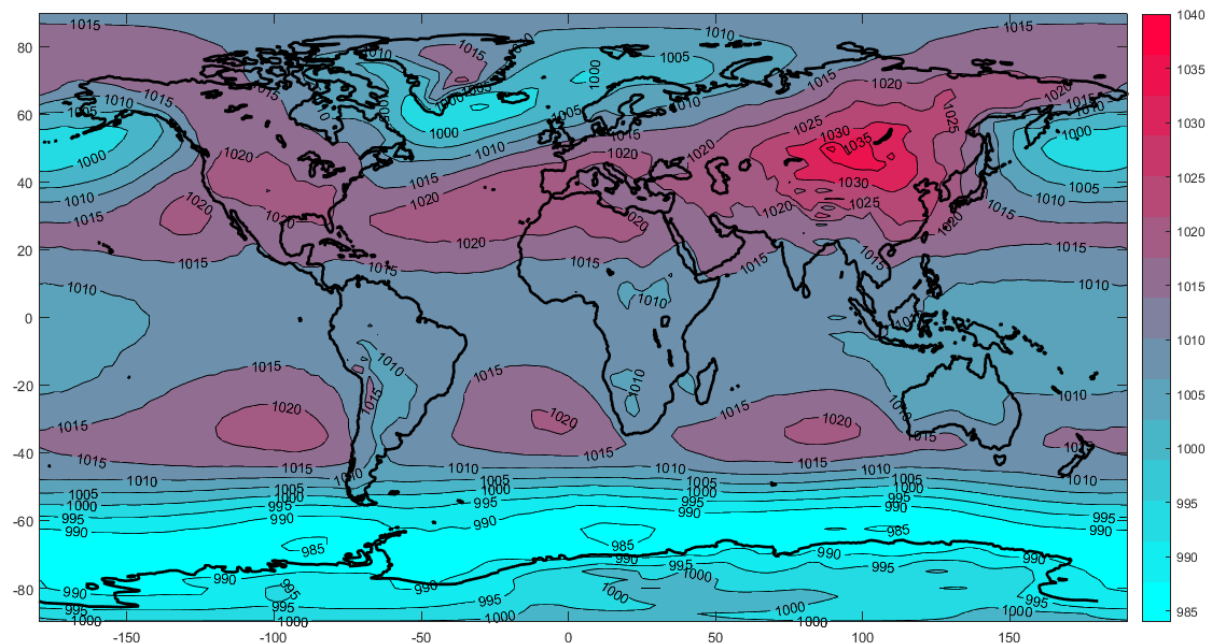
داده‌های میانگین‌گیری ماهیانه در نقشه‌های روتین چارت مورد استفاده قرار می‌گیرد لذا تا به اینجای پژوهش می‌توان ادعا نمود که داده‌های موجود در روتین چارت ها قابل دسترسی است. در ادامه با استفاده از روش‌های ریاضی میانگین‌گیری و تغییر بازه زمانی آن سعی در افزایش دقت داده‌های میانگین‌گیری شده به واقعیت انجام می‌شود. به همین دلیل در ادامه بازه زمانی میانگین‌گیری برای بازه ده‌روزه برای ماه اول میلادی در بخش بعدی آورده شده است.

در این بخش نتایج پژوهش در خصوص درون‌یابی داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی واحدهای شناور انجام می‌شود. داده‌های هواشناسی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است از سال ۱۹۸۰ لغایت ۲۰۲۰ به مدت ۴۱ سال است. نکته اصلی در این پژوهش این است که این داده‌ها در این مدت ۴۱ ساله باید میانگین‌گیری شوند. نحوه میانگین‌گیری داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی از مهم‌ترین مباحث این بخش است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۱ میانگین‌گیری ماهیانه

نقشه‌های روتین چارت داده‌های هواشناسی را به‌صورت میانگین ماهیانه استفاده می‌کنند و برای هر ماه میلادی یک نقشه روتین چارت برای منطقه موردنظر در دسترس است. به همین دلیل در اولین میانگین‌گیری، از داده‌ها هواشناسی روی کل کره به‌صورت ماهیانه میانگین‌گیری می‌شود. با توجه به اینکه مهم‌ترین کمیت میانگین‌گیری شده برای مصارف ناوبری فشار هوا می‌باشد لذا به‌صورت نمونه داده‌های فشار هوا در بازه ۴۰ ساله برای ماه اول میلادی (ژانویه) میانگین‌گیری شدند.

میانگین ماه اول میلادی (ژانویه) در بازه ۴۰ ساله در شکل ۷ آورده شده است. برای میانگین ماه اول میلادی تمامی داده‌های فشار هوا برای ماه اول میلادی با هم جمع و بر تعداد مشاهدات اندازه‌گیری



شکل ۷- میانگین فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) برای ماه اول میلادی (ژانویه) از سال ۱۹۸۰ الی ۲۰۲۰

میانگین‌گیری از یک ماه در بخش قبل به ده روز در این بخش، بر تغییر داده‌های حاصل و اثرات آن روی ناوبری بحث کرد. در شکل ۸ بازه میانگین‌گیری را به سه بازه ده‌روزه شامل دهه اول (شکل

۳-۲ میانگین‌گیری ده‌روزه

تغییر بازه زمانی میانگین‌گیری می‌تواند به افزایش دقت نقشه‌های حاصل بیانجامد. به همین دلیل سعی شده است با تغییر بازه

است که در شکل ۹ این اختلاف بین میانگین‌ها دهروزه با میانگین ماهیانه برای کل کره نشان داده شده است. منطقه حائز اهمیت در این پژوهش اقیانوس هند است که میانگین‌گیری دهروزه اول ماه ژانویه (شکل ۹-الف) مقدار اختلاف بیشتر از دهروزه پایانی ماه ژانویه (شکل ۹-ج) است.

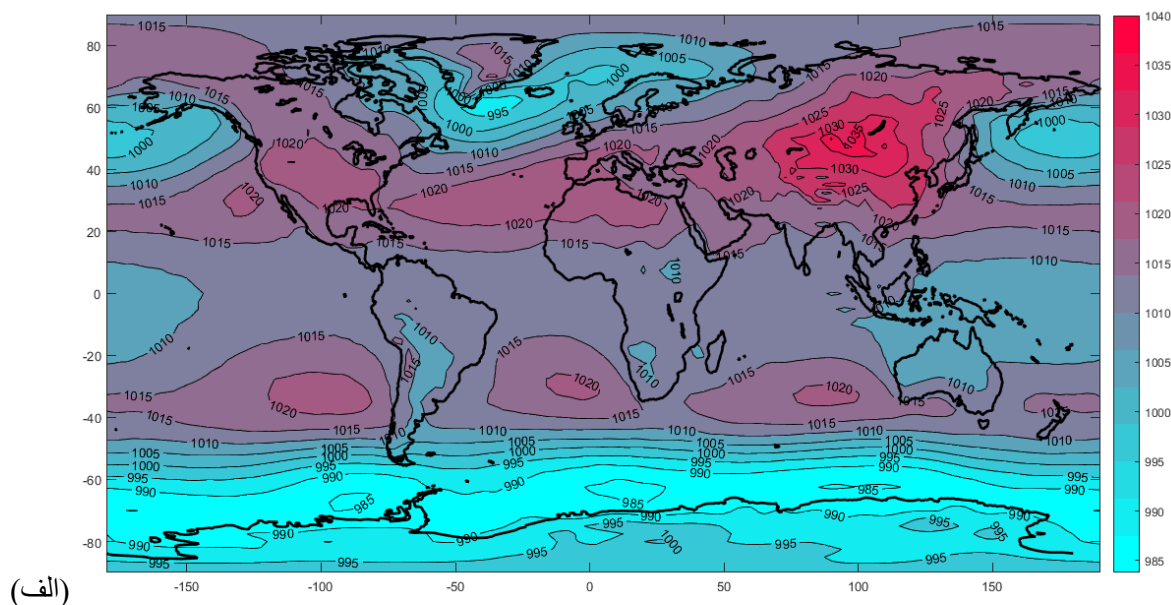
۳-۳ میانگین‌گیری روزانه

از اختلاف بین میانگین‌گیری ماهیانه با میانگین دهروزه در ماه ژانویه نشان داده شد که با کاهش بازه زمانی میانگین‌گیری می‌توان به جزئیات بیشتری توجه نمود. در ناوبری با استفاده از تغییر فشار با مقدار میانگین بلندمدت می‌توان به وجود خطر بالقوه در مسیر دریانوردی آگاه شد. لذا محاسبه مقدار فشار میانگین بلندمدت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش در نظر است با تغییر بازه‌های زمانی میانگین‌گیری مقدار فشار میانگین بلندمدت را با دقت بهتری محاسبه کرد. در ادامه بازه زمانی میانگین‌گیری به یک روز کاهش داده شده است. با توجه به اینکه در بخش قبلی بازه زمانی میانگین‌گیری دهروزه بوده است لذا روزهای انتخابی در وسط بازه‌های زمانی ده روز انتخاب شده است. روزهای انتخابی عبارت‌اند از ۵، ۱۵ و ۲۵ ماه ژانویه که داده‌های فشار سطح دریا در این روزها در بازه زمانی ۴۰ ساله میانگین‌گیری شده است.

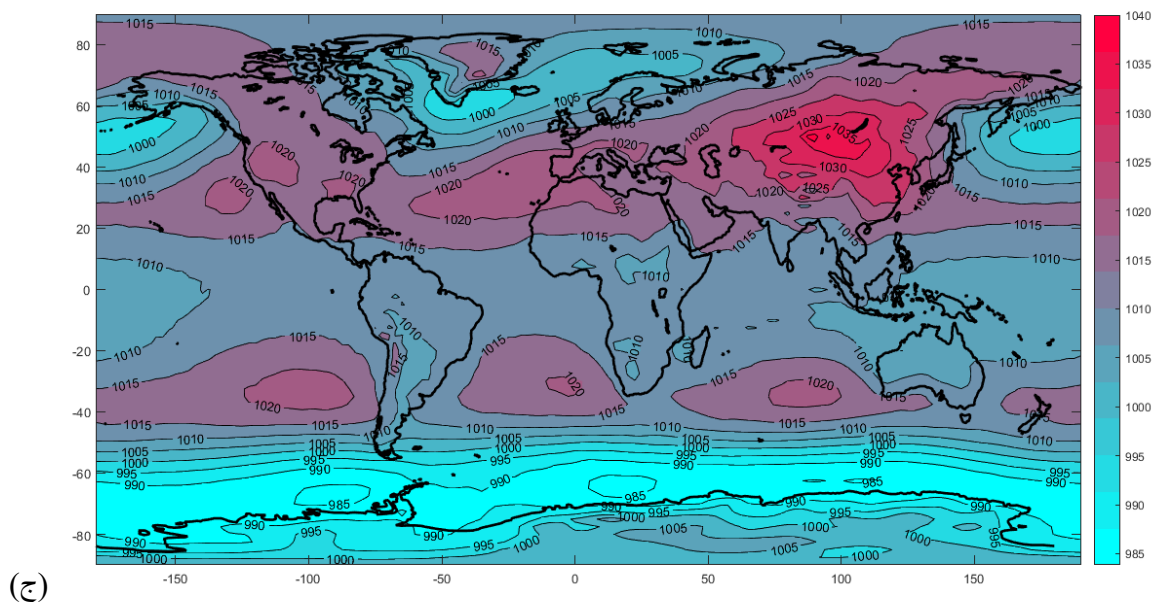
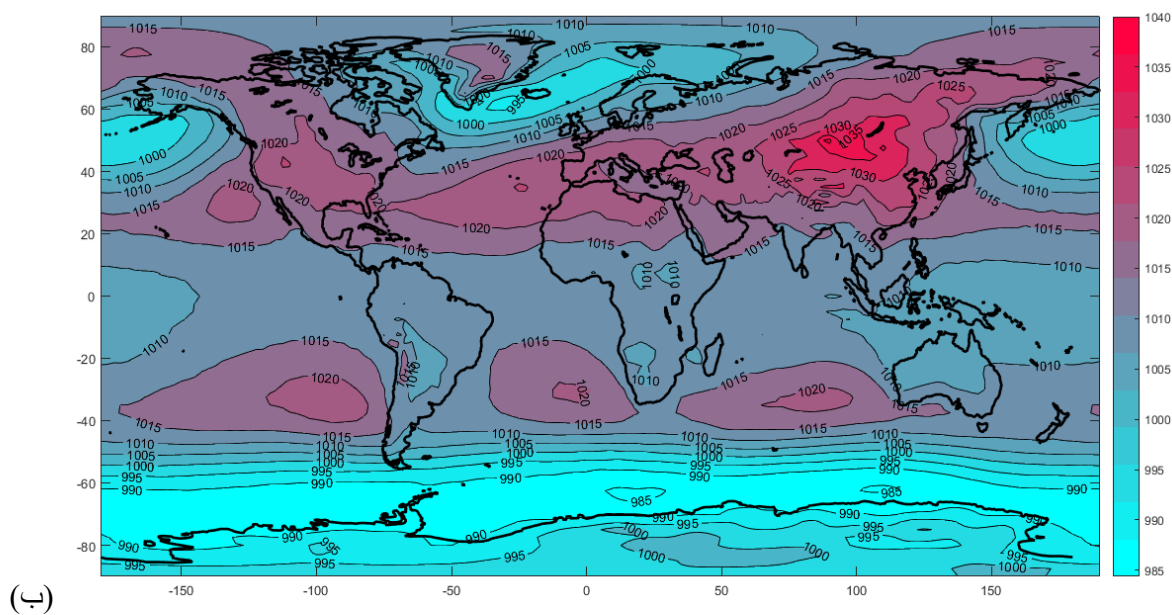
۸- الف)، دهه میانی (شکل ۸-ب) و دهه انتهایی ماه ژانویه (شکل ۸-ج) تقسیم کرد.

این سه شکل در ظاهر با هم و با میانگین کل ماه ژانویه شباهت دارند ولی در جزئیات تفاوت‌های زیادی بین این نقشه‌ها وجود دارد. برای مثال در شکل ۸ یکی از موارد مهم تفاوت بین این میانگین‌های دهروزه با هم و با میانگین ماهیانه با دایره سفیدرنگ نشان داده شده است. الگوی دو مرکز کم‌فشار در شکل ۸-الف به صورت یک مرکز مجزا مرکز دیگری که متصل به مرکز کم‌فشار روی تنگه مالاکا است دیده می‌شود ولی در شکل ۸-ب این دو مرکز کم‌فشار به وضوح به دو مرکز فشار مستقل تبدیل شده‌اند. همچنین در شکل ۸-ج دو مرکز کم‌فشار در شمال ماداگاسکار نشان داده شده است در میانگین‌گیری دهروزه قبلی دیده نشده بودند. لذا دیده می‌شود که میانگین‌های دهروزه ماه ژانویه علی‌رغم شباهت‌های ظاهری دارای تفاوت‌های اساسی برای مقاصد ناوبری هستند.

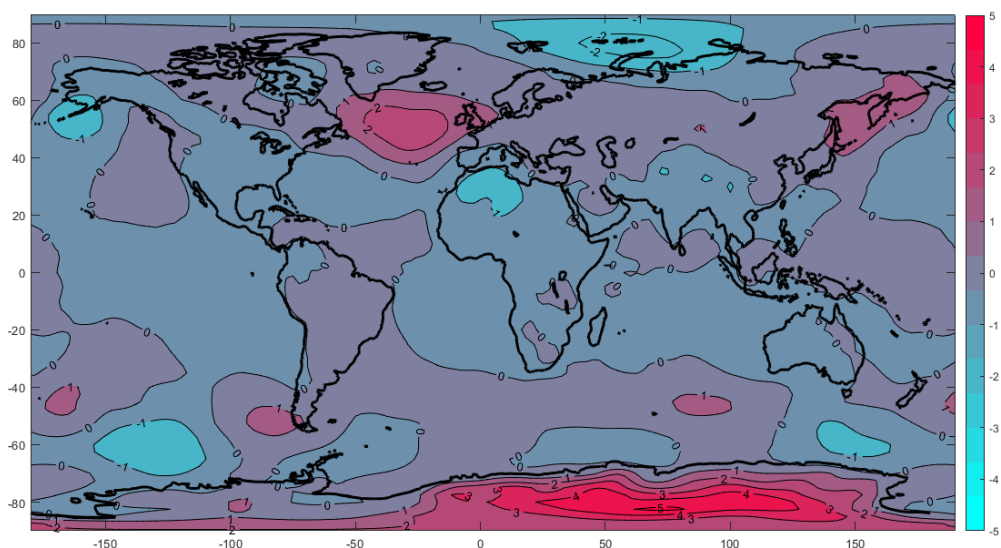
در شکل ۹ اختلاف بین میانگین‌های فشار دهروزه در ماه ژانویه با میانگین کل ماه ژانویه در بازه زمانی ۴۰ ساله آورده شده است. بر اساس میزان اختلاف بین میانگین‌های ماهیانه و دهروزه می‌توان در خصوص میزان مؤثر بودن بازه زمانی میانگین‌گیری برای مقاصد ناوبری تصمیم گرفت. میزان اختلاف بین میانگین‌گیری ماهیانه و دهروزه در بازه زمانی ۴۰ ساله به طور متوسط حدود یک میلی بار



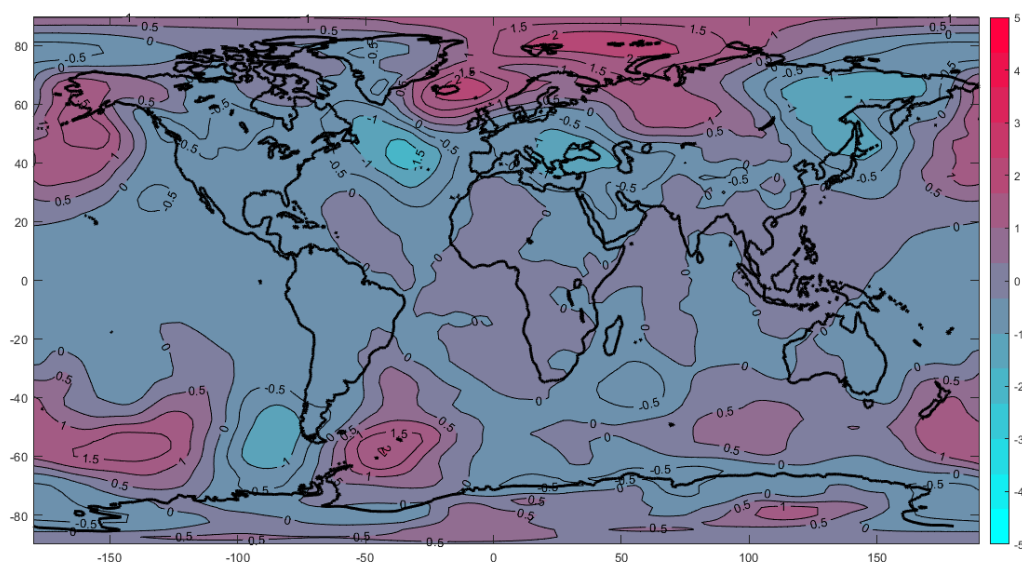
(الف)



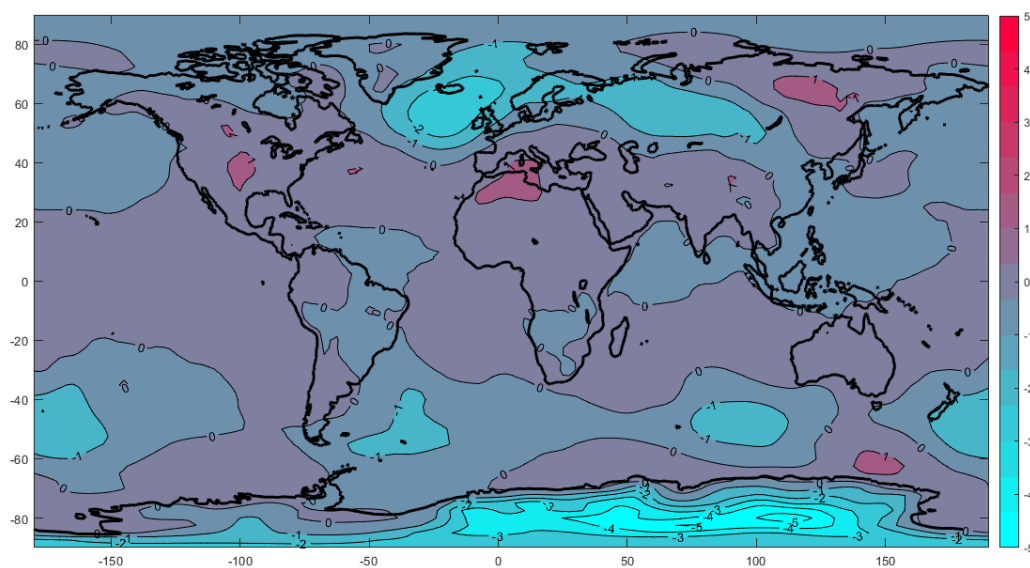
شکل ۸- میانگین فشار تبدیل شده به سطح دریا (بر حسب هکتوپاسکال، برای الف) دهه اول، ب) دهه دوم و ج) دهه سوم ماه اول میلادی (ژانویه) در بازه زمانی ۴۰ ساله



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹- اختلاف بین میانگین فشار ماه ژانویه با دهه اول (الف)، دهه دوم (ب)، و دهه انتهایی (ج) ماه ژانویه در بازه زمانی ۴۰ ساله

ماه‌های در بازه ۴۰ ساله در شکل ۱۲ آورده شده است. همان‌طور که مورد انتظار است جزییات بیشتری در میانگین‌گیری روی نقشه‌های میانگین‌گیری ساعتی قابل حصول است. برای مثال وجود مرکز پرفشار در اقیانوس هند جنوبی در میانگین ۴۰ ساله ساعت ۱۲۰۰ روز ۵ ژانویه (شکل ۱۲-الف) از مواردی است که در سایر میانگین‌ها دیده نشده است. این مورد تأیید کننده این فرض است که با کاهش بازه زمانی میانگین‌گیری می‌توان جزییات بیشتری از داده‌های هواشناسی اقلیم گذشته در مسیر دریانوردی را به دست آورد.

نکته قابل تأمل بعدی این است که اندازه اختلاف بین میانگین ساعتی با ماه‌های از اندازه اختلاف سایر میانگین‌های روزانه و ده روزه با میانگین ماه‌های بیشتر است برای مثال روی اقیانوس هند به‌طور متوسط بر اساس رنگ‌بندی شکل ۱۲ الف، ب، ج می‌توان استنباط کرد که مقدار اختلاف فشار عموماً از ۱ میلی بار بیشتر و از دو میلی بار کمتر است.

در بحث بالایی مشخص شد که با میانگین‌گیری ساعتی می‌تواند بهترین میانگین بلندمدت را برای داده‌های هواشناسی در مسیر دریانوردی ایجاد کرد. سؤالی که اکنون مطرح می‌شود این است که آیا برای میانگین‌گیری ساعتی باید از داده‌های مربوط به یک ساعت در روز مشخص در طی ۴۰ سال استفاده کرد یا اینکه باید از داده‌های روز قبل و بعد در همان ساعت نیز استفاده کرد؟

این سؤال از آنجا ناشی می‌شود که آیا پدیده‌های هواشناسی دقیقاً در روز مشخصی از سال تکرار می‌شوند یا اینکه اختلاف زمانی در حد یک الی دو روز بین تکرار پدیده‌ها در طول ۴۰ سال وجود دارد. برای مثال می‌توان گفت وجود پدیده مونسون در سواحل مکران سبب ایجاد وضعیت جوی نامطلوب برای دریانوردی می‌شود، آیا شروع بازه مونسون در هر سال در نیمه خرداد ماه است یا اینکه این پدیده می‌تواند در بعضی از سال‌ها به بین دهه اول و نیمه خرداد اتفاق بیافتد یا بالعکس این پدیده می‌تواند بین نیمه خرداد با دهه آخر خرداد اتفاق افتد.

جواب این سؤال قطعاً این است که پدیده‌های هواشناسی نمی‌توانند هر سال در یک روز مشخص رخ دهند و حتماً تقدم و تأخر در رخداد یک فرایند هرساله دیده خواهد شد. به همین دلیل لازم است تقدم و تأخر پدیده‌های غالب هواشناسی در مناطق مختلف و از جمله منطقه تحت مأموریت نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران مورد تحقیق قرار گیرد.

مانند حالت قبل میانگین‌گیری روزانه نیز به دو صورت، محاسبه مستقیم فشار میانگین ۴۰ ساله در روزهای منتخب (شکل ۱۰) و اختلاف فشار بین میانگین ماه‌های با میانگین روزانه (شکل ۱۱) آورده شده است.

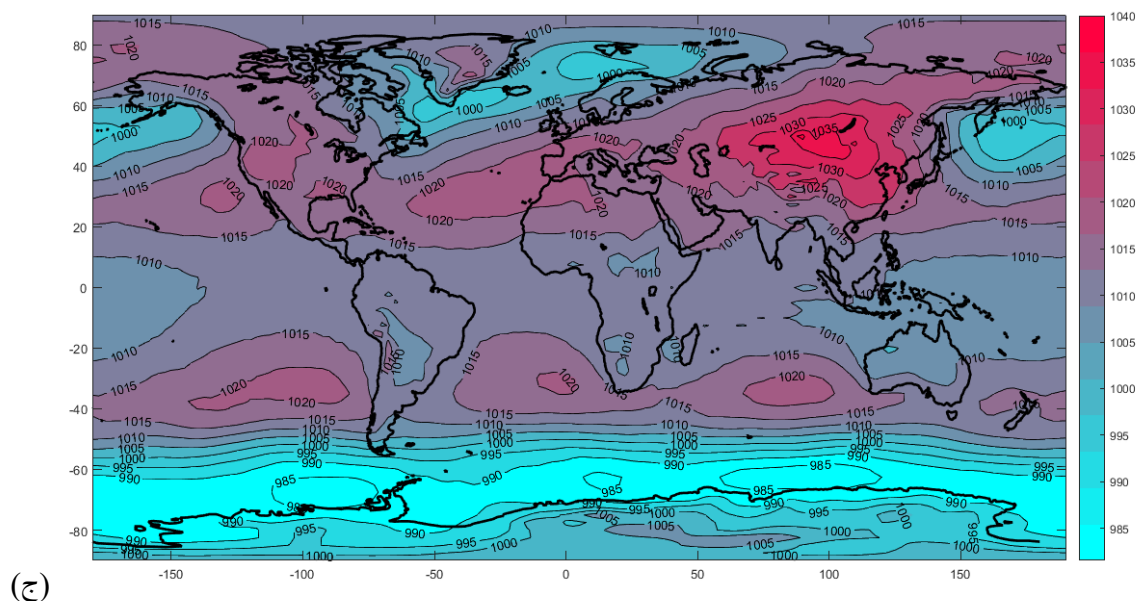
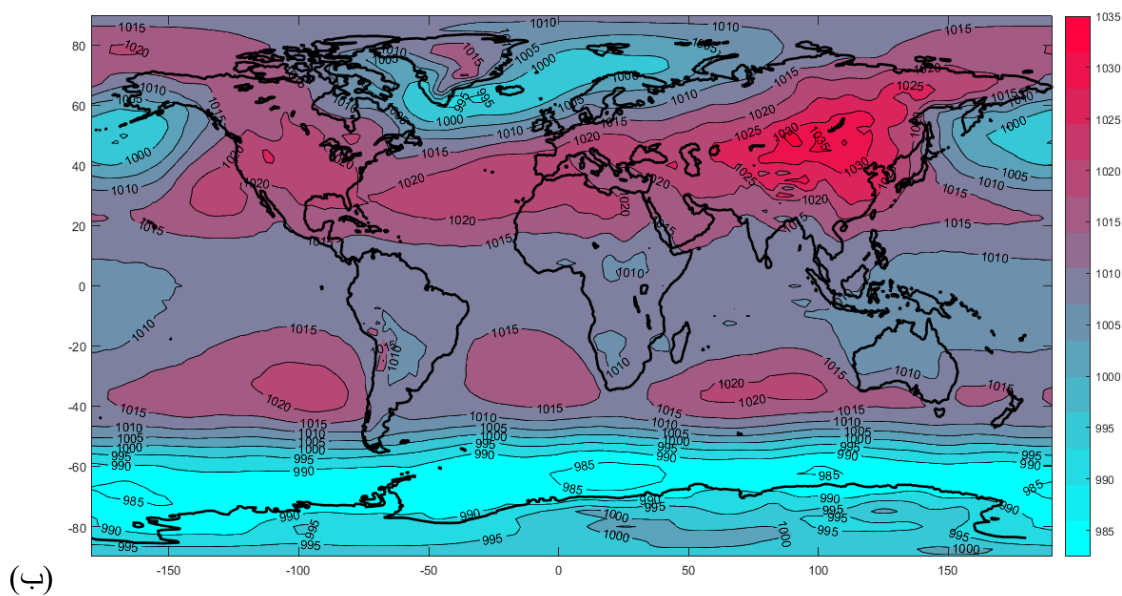
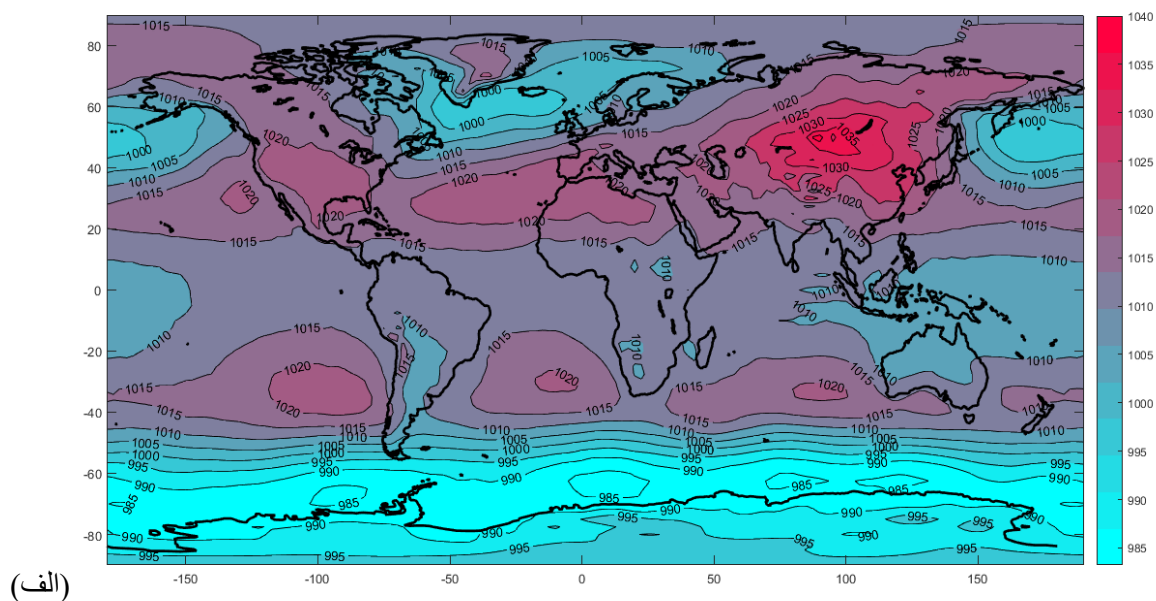
بازهم مانند قبل در کلیات سامانه‌های فشاری موجود در کل کره شباهت‌های زیادی بین میانگین ۴۰ ساله ماه‌های با میانگین روزانه وجود دارد. برای مثال مرکز پرفشار روی فلات تبت در هر سه روز ۵، ۱۵ و ۲۵ ماه ژانویه (شکل ۱۱) دیده می‌شود این مرکز پرفشار در هر سه روز مورد مطالعه در کلیات منطقه تحت پوشش منطقه پرفشار یکسان ولی الگوی حاکم بر آن برای هرروز متفاوت است. از دیگر مراکز مهم کم‌فشار در هر سه نقشه مرکز کم‌فشار در شمال انگلستان و در جنوب گرینلند است.

ولی با مراجعه به اختلاف بین میانگین فشار ماه‌های با میانگین روزانه می‌توان به جزییات پراهمیت برای محاسبه میانگین فشار روی مسیر دریانوردی پی برد. نکته مهم در اختلاف بین میانگین ساعتی و ماه‌های ۴۰ ساله این است که مقدار اختلاف نسبت به مورد قبلی که میانگین ده‌روزه بوده است، بیشتر شده است. لذا این نتیجه مهم که با کمتر کردن بازه زمانی میانگین‌گیری در طول ۴۰ سال می‌توان جزییات بیشتری از اقلیم گذشته را روی مسیر ناوبری آشکار کرد، قابل حصول است.

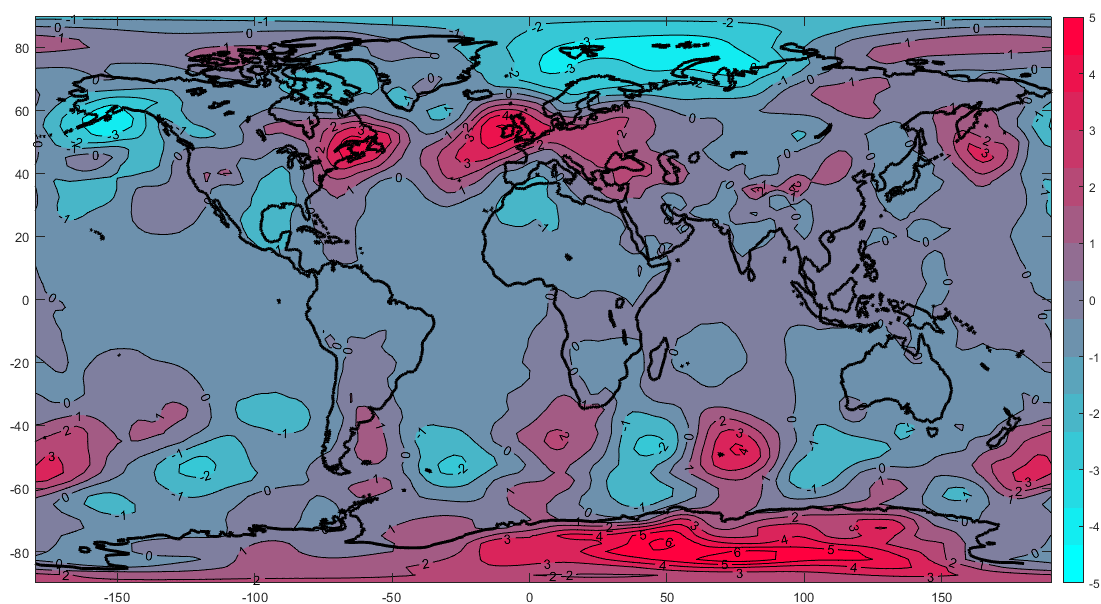
۴-۳ میانگین‌گیری ساعتی

کوچک‌ترین بازه قابل میانگین‌گیری برای داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی، بازه ساعتی است. می‌توان میانگین‌گیری داده‌های فشار و یا سایر پارامترهای هواشناسی را بر اساس ساعت رسیدن کشتی به نقاط ناوبری تخمینی انجام داد. به همین دلیل بازه ساعتی در این پژوهش کوچک‌ترین بازه میانگین‌گیری داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی است و دیگر نمی‌توان به دقتی مطلوب‌تر از میانگین‌گیری ساعتی در بازه ۴۰ سال دست یافت. البته با ترکیب ساعت‌های متقدم و متأخر در میانگین‌گیری احتمال دست یافتن به دقت‌های بالاتر وجود دارد ولی به دلیل اینکه تفکیک زمانی داده‌های NCEP-NCAR شش‌ساعته است دیگر نمی‌توان ساعت‌های قیل و بعد از موقعیت ناوبری تخمینی را میانگین‌گیری دخالت داد. برای این مورد لازم است از داده‌های ERA5 مرکز ECMWF استفاده کرد که دارای تفکیک زمانی یک‌ساعته است و می‌توان با میانگین‌گیری وزنی ساعت قبل و بعد از نقطه تخمینی را در فرایند میانگین‌گیری دخالت داد.

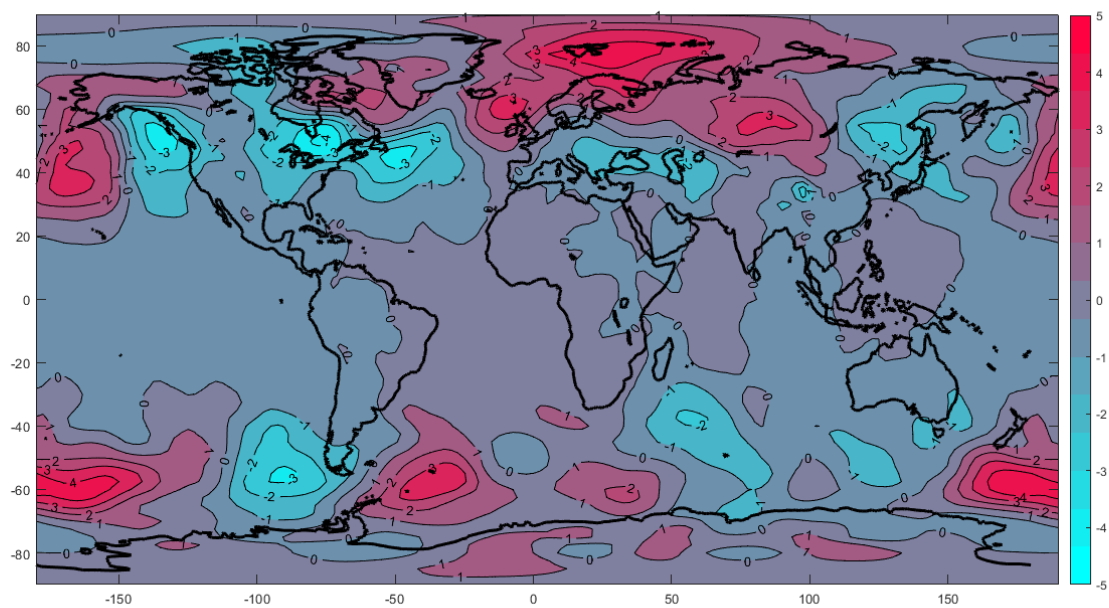
در میانگین‌گیری ساعتی، داده‌های ۴۰ ساله برای ساعت ۱۲۰۰ روزهای ۵، ۱۵ و ۲۵ ژانویه میانگین‌گیری شده و مقدار اختلاف میانگین حاصل‌شده برای ساعت ۱۲۰۰ هرروز با مقدار میانگین



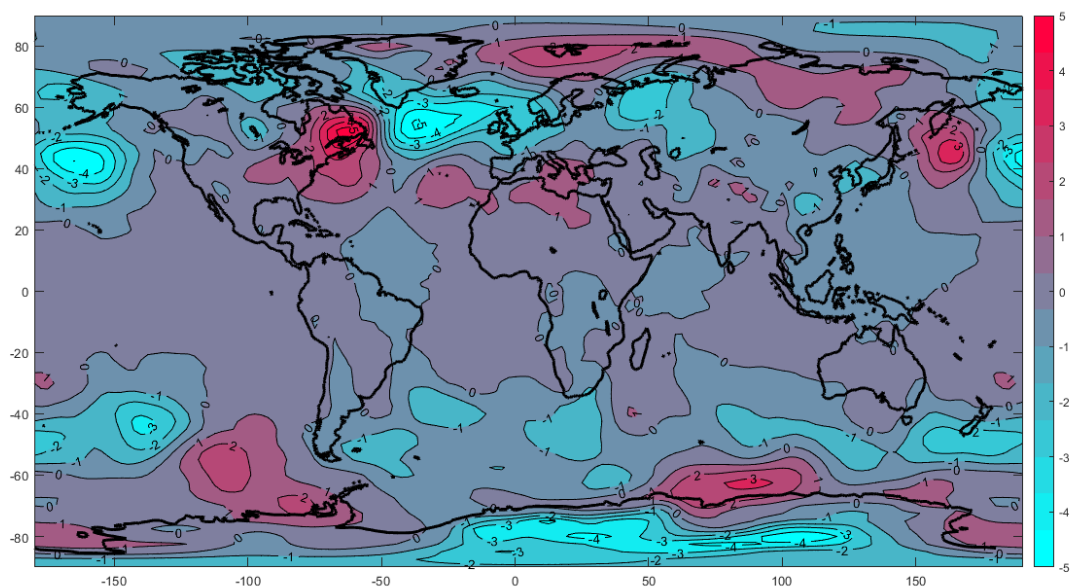
شکل ۱۰- میانگین فشار بر حسب هکتوپاسکال روزهای ۵ ژانویه (الف)، ۱۵ ژانویه (ب) و ۲۵ ژانویه (ج) در طول ۴۰ سال از ۱۹۸۰ لغایت ۲۰۲۰



(الف)

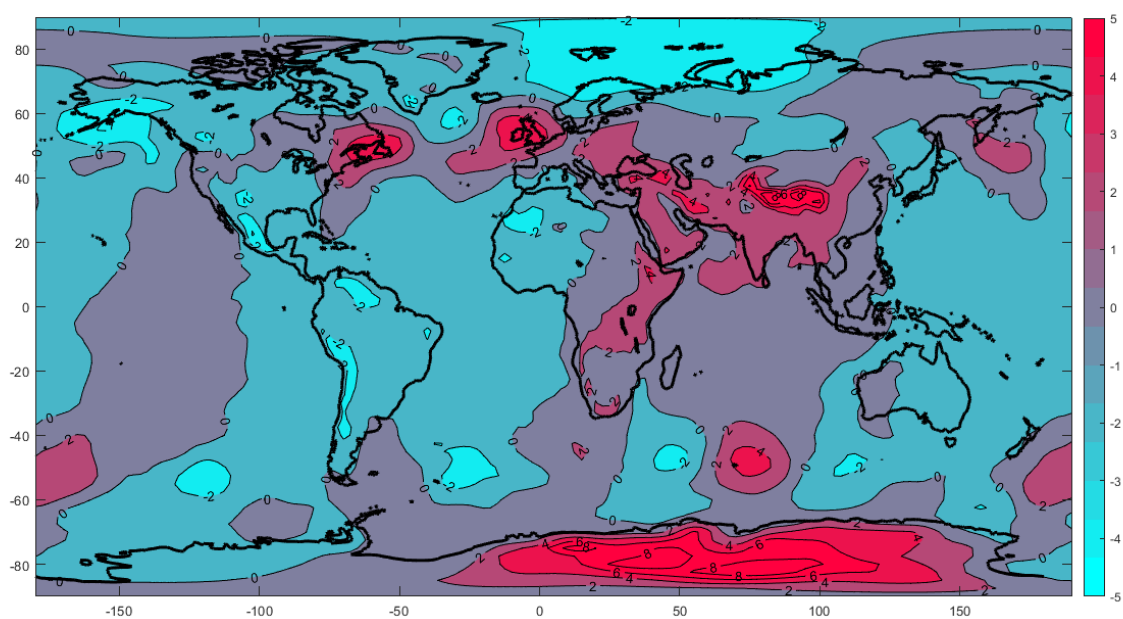


(ب)

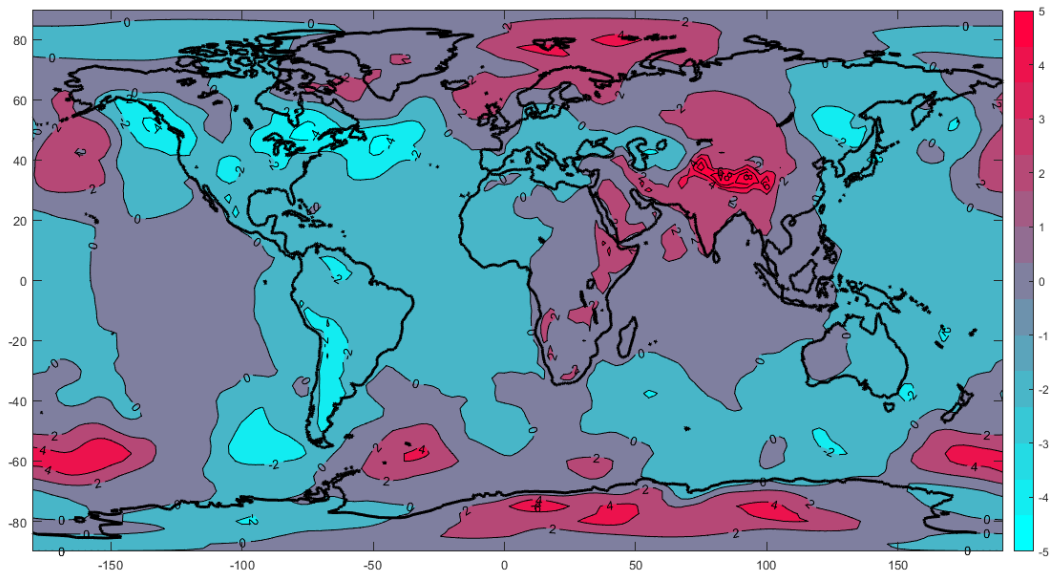


(ج)

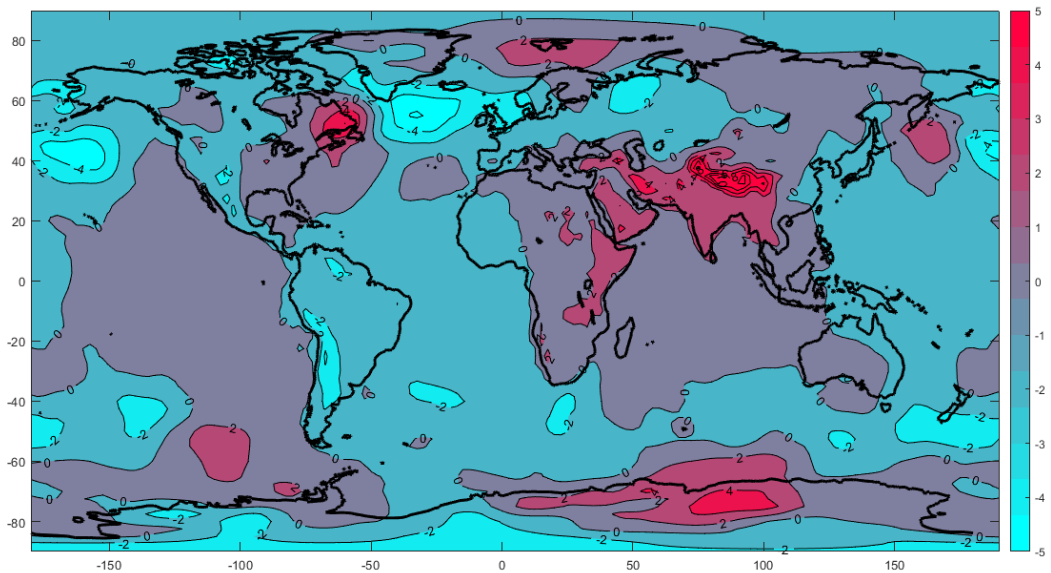
شکل ۱۱- اختلاف بین میانگین فشار ۴۰ ساله ماه ژانویه با میانگین فشار ۴۰ ساله روز پنجم ماه ژانویه (الف)، روز پانزدهم ژانویه (ب)، و روز بیست و پنجم ژانویه (ج)



(الف)



(ب.)



(ج.)

شکل ۱۲- اختلاف بین میانگین فشار ۴۰ ساله ماه ژانویه با میانگین فشار ساعت ۱۲ روز پنجم ماه ژانویه (الف)، ساعت ۱۲ روز پانزدهم ماه ژانویه (ب)،

ساعت ۱۲ روز بیست و پنجم ماه ژانویه (ج)

(الف) روز و ساعت مشخصی برای میانگین‌گیری انتخاب می‌شود. که برای تحلیل خطا در این پژوهش ساعت ۱۲۰۰ روز نیمه ماه ژانویه یعنی ۱۵ ژانویه انتخاب شده است.

(ب) میانگین‌گیری بلندمدت ۴۰ ساله برای ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه محاسبه می‌شود.

(ج) میانگین‌گیری بلندمدت ۴۰ ساله برای ساعت ۱۲۰۰ روز قبل و بعد از روز ۱۵ ژانویه نیز محاسبه می‌شود یعنی در میانگین بلندمدت در ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه، داده‌های ساعت ۱۲۰۰ روزهای ۱۴ و ۱۶ ژانویه نیز در نظر گرفته می‌شود.

(د) برای میانگین‌گیری بلندمدت ۴۰ ساله برای ساعت ۱۲۰۰ دو روز قبل و دو بعد از روز ۱۵ ژانویه نیز محاسبه می‌شود یعنی در

۵-۳- تقدم و تأخر پدیده‌های غالب هواشناسی در

میانگین‌گیری

برای مشخص شدن اثر تقدم و تأخر پدیده‌های هواشناسی بر میانگین سالیانه، لازم است برای میانگین‌گیری تعدادی روز قبل و بعد از یک روز مشخص مورد ارزیابی قرار گرفته و میزان خطای حاصل از میانگین‌گیری برای حالت‌های مختلف محاسبه شده و در نهایت تعداد روزهای موردنظر برای محاسبه میانگین‌گیری طولانی‌مدت به دست آید. در این پژوهش برای محاسبه میزان تقدم و تأخر پدیده‌های هواشناسی در منطقه تحت مأموریت نیروی دریایی که اقیانوس هند است، روند زیر مورد مطالعه قرار گرفت:

ژانویه برای منطقه مشخص شده در شکل ۱۳ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

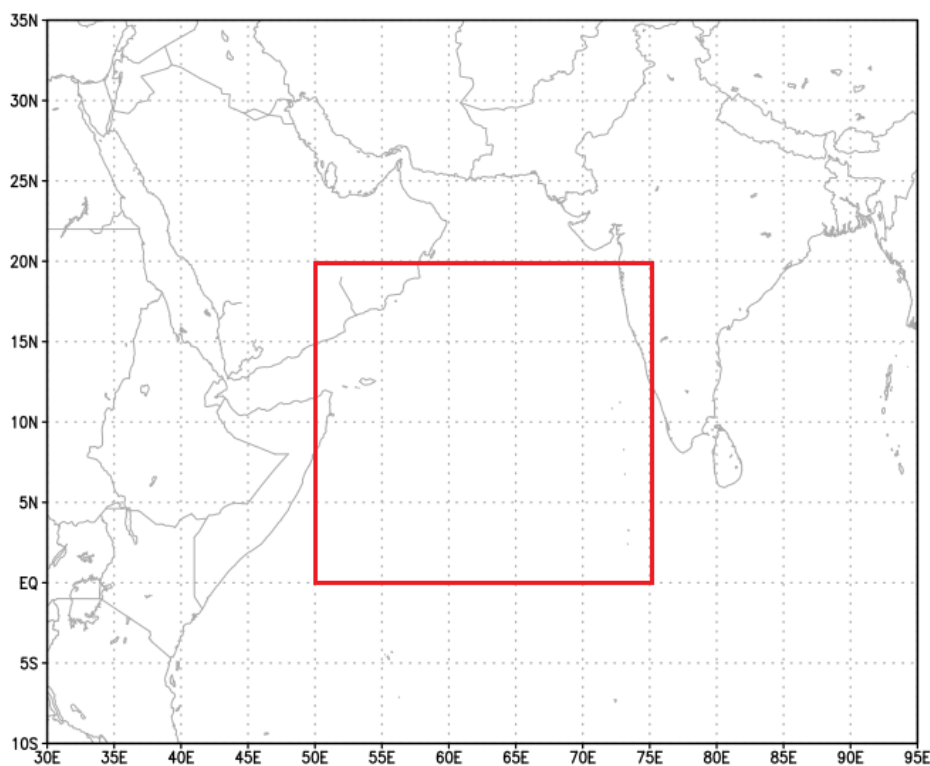
$$normal\ error = \frac{\sum |ave_{12h} - ave_{nt}|}{\sum |ave_{12h}|} \quad (9)$$

که در رابطه ۹ میانگین فشار در ساعت ۱۲۰۰ روز موردنظر (۱۵ ژانویه) و ave_{nt} میزان میانگین برای n روز مطابق بندهای ب، ج، د، ه است. در جدول ۱ میزان خطای نرمال شده حاصل از رابطه (۹) آورده شده است.

میانگین بلندمدت در ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه، داده‌های ساعت ۱۲۰۰ روزهای ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ ژانویه نیز در نظر گرفته می‌شود.

ه) برای میانگین‌گیری بلندمدت ۴۰ ساله برای ساعت ۱۲۰۰ سه روز قبل و سه روز بعد از ۱۵ ژانویه نیز محاسبه می‌شود یعنی در میانگین بلندمدت در ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه، داده‌های ساعت ۱۲۰۰ روزهای ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ ژانویه نیز در نظر گرفته می‌شود.

و) خطای نرمال شده بین مقدار میانگین‌های محاسبه شده در بندهای ب، ج، د، ه با مقدار فشار واقعی در ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵



شکل ۱۳- منطقه مشخص شده (مربع قرمز) در اقیانوس هند برای محاسبه اختلاف تقدم و تأخر زمانی با میانگین ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه.

مطابق جدول ۱ میزان خطای نرمال شده در حالتی که تعداد روزهای دخیل در میانگین‌گیری ۳ روز است (بند ج) دارای کمترین میزان خطا است. بنابراین در ادامه برای میانگین‌گیری برای ساعت موردنظر در روز مشخص، روز قبل و بعد در همان ساعت نیز وارد محاسبات می‌شود.

۳-۶ درون‌یابی خطی در زمان

داده‌های NCEP NCAR که در مدت ۴۰ سال داندلود شده‌اند برای ساعت‌های ۰۰۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ به وقت گرینویچ است. به همین دلیل در ساعت‌هایی که موقعیت کشتی در بین این ساعت‌ها قرار می‌گیرد لازم است درون‌یابی در زمان صورت

جدول ۱- خطای نرمال شده حاصل از رابطه (۹)

ردیف	تعداد روزهای مورد استفاده برای میانگین‌گیری در روز موردنظر	خطای نرمال شده از رابطه (۹)
۱	۱	$1/1025 \times 10^{-3}$
۲	۳	$1/1002 \times 10^{-3}$
۳	۵	$1/1046 \times 10^{-3}$
۴	۷	$1/1091 \times 10^{-3}$

گیرد. برای روشن شدن این بحث می‌توان مثال ناوبری تخمینی زیر را بررسی کرد.

برای مثال یک کشتی از بندرعباس در ساعت ۱۱۰۰ به سمت منطقه مأموریت در اقیانوس هند حرکت می‌کند. بر اساس ناوبری تخمینی هر یک ساعت یک بار باید موقعیت واحد شناور روی نقشه مشخص شود. بنابراین لازم است موقعیت واحد شناور در ساعت‌های ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰ و غیره در روی نقشه مشخص شده و طول و عرض جغرافیایی آن محاسبه شود.

بر اساس داده‌های موجود در ساعت ۱۱۰۰ داده‌هایی وجود ندارد ولی ساعت ۱۱۰۰ بین دو ساعت ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ قرار گرفته است که با استفاده از مقدار پارامتر جوی موردنظر مانند فشار سرعت باد و غیره در دو ساعت ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ مقدار کمیت هواشناسی موردنظر را در ساعت ۱۱۰۰ بر اساس رابطه (۶) محاسبه کرد. رابطه (۶) برای درون‌یابی دوخطی از دو درون‌یابی خطی استفاده کرده است. لذا در درون‌یابی خطی فقط رابطه (۶) را یک‌بار به‌صورت زیر استفاده می‌کنیم:

$$f(t) \approx \frac{t_2 - t}{t_2 - t_1} f(t_1) + \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} f(t_2), \quad (10)$$

در رابطه بالا مقدار $t_2 - t_1$ همواره ۶ ساعت است زیرا فاصله بین داده‌های دریافت شده از سایت NCEP NCAR با فاصله زمانی ۶ ساعته است. مقدار $t_2 - t$ اختلاف زمان مورد بازمان دوم داده می‌باشد که در مثال بالا چنانچه مقدار کمیت هواشناسی در ساعت ۱۱۰۰ مد نظر باشد این مقدار $t_2 - t$ برابر ۱ ساعت می‌شود. نیز اختلاف زمان موردنظر از زمان اول است که برای ساعت ۱۱۰۰ این مقدار برابر ۵ ساعت است. $f(t_1)$ مقدار کمیت هواشناسی در ساعت t_1 و $f(t_2)$ مقدار کمیت هواشناسی در ساعت t_2 است. برای مثال چنانچه هدف محاسبه فشار در ساعت ۱۱۰۰ باشد مقدار $f(t_1) = \text{pressure}(0600)$ همان مقدار فشار در ساعت ۰۶۰۰ و $f(t_2) = \text{pressure}(1200)$ مقدار فشار در ساعت ۱۲۰۰ است.

۷-۳ طراحی سامانه ناوبری مبتنی بر داده‌های هواشناسی

در بخش‌های بالا تمامی مبانی نظری و کاربردی برای طراحی سامانه ناوبری با رویکرد داده‌های هواشناسی در روی مسیر یک واحد شناور بحث شد بر اساس مطالب فوق برنامه رایانه‌ای طراحی

و آماده شده است که می‌تواند ناوبری محاسبات ناوبری را برای یک واحد شناور در مسیر اقیانوسی انجام داده و داده‌های گذشته هوا را روی مسیر دریانوردی محاسبه کند. برنامه طراحی شده به گونه ماژولار طراحی شده است تا به راحتی قابل توسعه باشد. در برنامه ماژولار یک برنامه اصلی تمامی ماژول‌ها و توابع مورد استفاده را اجرا می‌کند و هر یک از توابع مورد نیاز برای اجرای برنامه می‌تواند توسط گروه‌های مستقل توسعه داده شود. در ادامه توابع اصلی برنامه رایانه‌ای طراحی شده به تفکیک آورده شده است و در هر قسمت تابع نوشته شده به‌صورت مستقل آورده شده است. در پیوست الف-۱ بدنه اصلی برنامه که سایر برنامه‌ها را اجرا می‌کند آورده شده است. با اجرای بدنه اصلی برنامه رابط کاربری گرافیکی اجرا شده و اطلاعات اولیه را برای محاسبان ناوبری از کاربر دریافت می‌کند. اطلاعات دریافت شده از کاربر شامل نقاط چرخش، سرعت روی هر مسیر و زمان حرکت از نقطه مبدأ است. این برنامه به‌گونه‌ای طراحی شده است که قادر است ۱۰ نقطه چرخش را از کاربر دریافت کند. البته با بازطراحی این سامانه تعداد نقاط چرخش برای مسیریابی را به انتخاب کاربر گذاشت ولی در حال حاضر، هدف توسعه الگوریتم‌ها است. صفحه کاربری که برای این برنامه نوشته شده است در شکل ۱۴ آورده شده است. توابع نوشته شده که برنامه اصلی به اجرا درآمده به‌صورت خلاصه عبارت‌اند از:

۷-۳-۱ طراحی مسیر ناوبری با استفاده از نقاط مبدأ و مقصد و نقاط چرخش

در این قسمت با استفاده از نقاط مبدأ و مقصد و چرخش مسیر دریانوردی بین نقاط مبدأ و مقصد ترسیم می‌شود و پیش‌فرض اولیه برای محاسبه مسیر رامب لاین است و چنانچه طول مسیر بیشتر از ۶۰۰ مایل دریایی شود برنامه به‌صورت خودکار مسیر را صورت دایره عظیمه در نظر گرفته و آن به زیر مسیرهای ۶۰۰ مایلی تبدیل می‌کند که در بخش روش مورد استفاده با جزییات بیشتری مورد بحث قرار گرفت.

۷-۳-۲ طراحی ناوبری تخمینی روی مسیر ایجادشده

در این مرحله با استفاده از توابع زمانی در نرم‌افزار متلب و زمان شروع حرت و سرعت واحد شناور، زمان‌های رسیدن کشتی به نقاط آینده روی مسیر دریانوردی در بازه‌های زمانی دلخواه از قبیل هر ۲۰ دقیقه یا نیم ساعت محاسبه می‌شود. در این قسمت نویسنده از توابع پیش‌فرض متلب استفاده کرده است و چنانچه این سامانه برنامه‌نویسی در سایر زبان‌ها مانند جاوا یا پایتون استفاده شود باید این توابع بازنویسی شوند. طراحی نرم‌افزار در این بخش با وسواس زیادی از طرف نویسندگان دنبال شده است

نرم افزار داده های هواشناسی، اطلاعات مسیر را در فایلی در حافظه رایانه ذخیره می کند. برای این مسیر تعداد ۱۰ نقطه در رابط کاربری وارد شده است؛ در صورتی که نرم افزار تعداد ۱۲ مسیر را رسم کرده است. این حالت نشان می دهد که مسیر بندرعباس به جزیره سریلانکا و از آنجا تا ورودی تنگه مالاکا به صورت مسیر دایره عظیمه در نظر گرفته شده و به صورت خودکار این دو مسیر به مسیرهای کوتاه تر ۶۰۰ مایلی شکسته شده است. لذا از ۱۰ مسیر ورودی تعداد ۱۲ مسیر حاصل شده است. نرم افزار به گونه ای تنظیم شده است که هر ۱۰ مایل یک نقطه را روی مسیر در نظر می گیرد. به همین دلیل تعداد نقاط در نظر گرفته شده روی هر مسیر با مسیر بعدی متفاوت خواهد بود. در جدول ۲ تعداد نقاط برای هر مسیر آورده شده است.

متفاوت بودن تعداد نقاط روی مسیرهای دریانوردی از مواردی است که موجب پیچیدگی زیادی در برنامه شده است. دلیل پیچیدگی نیز این است که برای هر مسیر باید آرایه ای با ابعاد متفاوت ایجاد شود و هنگامی که باید اطلاعات تمامی مسیرها در یک آرایه دوبعدی ذخیره شود با عدم هماهنگی در تعداد اعضای هر آرایه روبرو می شویم. برای رفع این مشکل آرایه دوبعدی حاصل دارای تعداد ستون با اعضای بزرگترین مسیر است و آرایه های اضافی برای مسیرهایی که دارای تعداد اعضای کمتری هستند صفر در نظر گرفته شده است. برای اینکه خطای برنامه نویسی به حداقل کاهش یابد از یک آرایه برای نگهداری تعداد آرایه های هر مسیر استفاده شده است.

در جدول ۳ مقایسه بین داده های حاصل از نرم افزار با دفتر وضعیت جوی به صورت تصادفی برای روزهای فرد و ساعاتی ۰۹۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۱۰۰ هر روز آورده شده است. مشاهده جدول ۳ با داده های حاصل از نرم افزار نشان می دهد که انطباق بسیار خوبی بین داده های حاصل از نرم افزار با داده های ثبت شده میدانی وجود دارد.

لازم است در ادامه یک نمونه از خروجی نرم افزار توضیح داده شود.

این خروجی حاصل از برنامه رایانه ای در زیر آورده شده است:

route is 1 course=139.6 distance=439.605363

lat= 23.10 lon= 63.51 pressure= 1016.5 temp= 22.3 date= 07-Feb-2020 09:00:00
wind_N= 9.8 wind_NE= 7.8 wind_E= 6.4
wind_SE= 8.4 wind_S= 6.6 wind_SW= 6.8
wind_W= 8.2 wind_NW= 8.4
dire_N= 30.9 dire_NE= 10.6 dire_E= 8.1
dire_SE= 3.3 dire_S= 4.1 dire_SW= 8.1
dire_W= 15.4 dire_NW= 19.5

زیرا هرگونه اشتباه در ناوبری تخمینی روی مسیر دریانوردی منجر به نتایج اشتباه در مراحل بعدی خواهد شد. از معضل های این بخش این است که هرگونه اشتباه در این قسمت خطای قطع کننده برنامه را ایجاد نمی کند بلکه برنامه با نتایج اشتباه ادامه پیدا کرده و موجب شکل گیری نتایج اشتباه در پایان محاسبات می شود. که جستجو برای یافتن ریشه خطای محاسباتی ایجاد شده را بسیار مشکل می کند. به همین دلیل این بخش با وسواس زیادی مورد چک های زیادی قرار گرفت و مسیرهای زیادی در این قسمت طراحی و تحت ناوبری تخمینی قرار گرفته و نتایج حاصل از برنامه مورد ارزیابی قرار گرفت تا اینکه در نهایت عملکرد درست برنامه از هر لحاظ مورد تأیید نگارندگان قرار گرفت.

۳-۷-۳ درون یابی داده های هواشناسی روی نقاط تخمینی

در این مرحله با استفاده از نقاط ناوبری تخمینی حاصل از بخش قبلی، داده های هواشناسی روی این نقاط درون یابی می شوند. همان طور که قبلاً عنوان شد دو نوع درون یابی در مکان و در زمان برای این پژوهش انتخاب شده است. درون یابی در مکان مربوط به موقعیت مکانی نقاط تخمینی واحد شناور و درون یابی در زمان مربوط به زمان نقاط تخمینی است. برای درون یابی در مکان از درون یابی دوخطی استفاده شده است و برای درون یابی در زمان از روش درون یابی خطی استفاده شده است که در بخش های قبلی مبانی ریاضی هر دو روش با جزییات آورده شده است.

برای آزمایش نحوه عملکرد درون یابی داده های هواشناسی روی مسیر دریانوردی از داده های ثبت شده در یک سفر دریانوردی سال ۱۳۹۸ استفاده شده است. این سفر دریانوردی یک سفر دریانوردی آموزشی می باشد که برای دانشجویان علوم دریایی انجام می شود. در طول مدت سفر مقدار فشار، دما و سرعت و جهت باد در دفتر وضعیت جوی ثبت می شود. در ادامه به صورت خلاصه نحوه برداشت داده در سفر دریانوردی و مقایسه داده های برداشت شده با نتایج حاصل از این درون یابی آورده می شود.

۳-۷-۳-۱ مقایسه داده های حاصل از درون یابی با داده های

سفر دریانوردی

در این بخش موقعیت نقاط چرخش مسیر رفت سفر دریانوردی سال ۱۳۹۸ از بندرعباس به جاکارتا در نرم افزار داده های هواشناسی در مسیر دریانوردی وارد شد. در شکل ۱۴ این نقاط در رابط کاربری نرم افزار داده های هواشناسی در مسیر دریانوردی وارد شده است. نرم افزار ضمن محاسبه مسیر دریانوردی و تعیین نقاط تخمینی روی مسیر دریانوردی، داده های هواشناسی را نیز روی این مسیر درون یابی کرده است. در شکل ۱۵ مسیر دریانوردی محاسبه شده توسط نرم افزار آورده شده است.

ج) یکی دیگر از داده‌هایی که در این پژوهش معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های سرعت باد ۹۷/۵ درصد است. این داده در هیچ منبع دریانوردی ذکر نشده است و برای اولین بار در یک پژوهش دریایی معرفی شده است. این داده به دریانورد کمک می‌کند که سرعت باد شدید در آن منطقه را شناسایی کند. برای مثال در داده بالایی برای باد شمال سرعت باد میانگین ۹/۸ گره دریایی و درصد وقوع آن ۳۰/۹ درصد است. حال یک دریانورد نمی‌تواند تصویری از میزان تغییرات باد در این منطقه داشته باشد. سرعت باد ۹۷/۵ درصد به یک دریانورد کمک می‌کند که ادراک درستی نسبت به باد شمال داشته باشد که این باد می‌تواند تا حدود ۲۰ گره دریایی افزایش پیدا کند. این کمیت از طرف دیگر می‌تواند میزان اطمینان از داده موجود را نیز نشان دهد. هرگاه اختلاف بین سرعت باد میانگین و ۹۷/۵ درصد اندک باشد نشان‌دهنده این است که این سرعت میانگین به‌صورت غالب اتفاق می‌افتد و لذا بسیار محتمل است. برای مثال در باد جنوب شرق سرعت باد میانگین ۸/۴ گره دریایی و سرعت باد ۹۷/۵ درصد ۱۱/۴ است که با توجه به نزدیکی این دو مقدار می‌توان انتظار داشت که سرعت باد در این منطقه بین ۸ الی ۱۱ گره دریایی متغیر است و لذا دیدگاه مناسب با اطمینان بالا به دریانورد خواهد داد.

p97_N= 20.0 p97_NE= 16.5 p97_E= 14.3
p97_SE= 11.7 p97_S= 13.0 p97_SW= 17.2
p97_W= 16.9 p97_NW= 16.3

در ابتدا شماره مسیر، راه و مسافت آورده می‌شود
(route is 1 course=139.6 distance=439.605363)

در ادامه طول و عرض نقاط تخمینی، فشار، دما و ساعت رسیدن به نقطه موردنظر آورده شده است.

lat= 23.10 lon= 63.51 pressure= 1016.5 temp= 22.3 date= 07-Feb-2020 09:00:00

داده‌های آورده شده در این نرم‌افزار عبارت‌اند از :

الف) سرعت میانگین باد در جهت شمال (wind_N)، شمال شرق (wind_NE)، شرق (wind_E)، جنوب شرق (wind_SE)، جنوب (wind_S)، جنوب غرب (wind_SW)، غرب (wind_W)، شمال غرب (wind_N) است.

ب) جهت میانگین برحسب درصد باد برای جهت شمال (dire_N)، شمال شرق (dire_NE)، شرق (dire_E)، جنوب شرق (dire_SE)، جنوب (dire_S)، جنوب غرب (dire_SW)، غرب (dire_W)، شمال غرب (dire_N) است.

	lat	N,S	lon	E,W	speed
Point1	23.1	N	63.51	E	10
Point2	5.51	N	78.31	E	10
Point3	6.28	N	96.94	E	7
Point4	2	N	102.1	E	11
Point5	1.2	N	103.36	E	12
Point6	1.16	N	104.96	E	10
Point7	2.96	S	109.61	E	11
Point8	4	S	109	E	6
Point9	3.3	S	107.61	E	6
Point10	5.43	S	107.43	E	

	year	mon	day	hour	min	sec
Point1	2020	2	7	9	0	0

Result

شکل ۱۴- وارد کردن داده‌های مسیر رفت سفر دریانوردی سال ۱۳۹۸ از بندرعباس به بندر جاکارتا به رابط کاربری نرم‌افزار داده‌های هواشناسی در مسیر دریانوردی.



شکل ۱۵- مسیر دریایی از بندرعباس به بندر چاکارتا.

رابطه شکل گرفته در پژوهش طاهری (۱۴۰۰) [۲۱] برای ایجاد نقاط چرخش روی مسیرهای دایره عظیمه بهره گرفته شده است. در نظر گرفتن این نکته ضروری است که مسیرهای دایره عظیمه قابل دریانوردی نیستند بنابراین لازم است از مسیرهای رامب لاین برای دریانوردی و ناوبری تخمینی استفاده کرد و چنانچه طول مسیر بیشتر از ۶۰۰ مایل شود از نظریه مسیریابی دایره عظیمه بین نقاط چرخش استفاده کرد. به همین دلیل برای تمامی مسیرهای پیش رو به صورت پیش فرض با استفاده از مسیریابی رامب لاین زاویه راه و مسافت بین نقاط چرخش محاسبه شده است. برای محاسبه راه و سرعت در این پژوهش از یک تابع به زبان متلب که توسط نگارنده نوشته شده است، استفاده گردید.

وجود برنامه‌ای که بتواند نقاط چرخش را از کاربر دریافت کرده و محاسبات ناوبری را به صورت خودکار انجام دهد از جمله نوآوری‌های این پژوهش است. در حال حاضر سامانه عملیاتی که چنین محاسباتی را برای افسران نگهبان انجام دهد وجود ندارد و هیچ گونه نرم‌افزاری برای مصارف ناوبری تأیید نشده است. البته نرم‌افزار و اپلیکیشن‌هایی که توانایی محاسبه ناوبری را دارند

جدول ۲. تعداد نقاط روی هر مسیر از بندرعباس به چاکارتا در سفر دریانوردی سال ۱۳۹۸.

مسیر	تعداد نقطه	مسیر	تعداد نقطه
مسیر شماره ۱	۴۳	مسیر شماره ۷	۸
مسیر شماره ۲	۴۵	مسیر شماره ۸	۹
مسیر شماره ۳	۴۶	مسیر شماره ۹	۳۷
مسیر شماره ۴	۵۵	مسیر شماره ۱۰	۷
مسیر شماره ۵	۵۶	مسیر شماره ۱۱	۹
مسیر شماره ۶	۴۰	مسیر شماره ۱۲	۱۲

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در ابتدا با توجه به موضوع پژوهش که تهیه داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی است، ضروری می‌باشد که کلیه محاسبات ناوبری و مسیریابی انجام شود. برای انجام محاسبات مسیریابی و ناوبری از پژوهش طاهری (۱۴۰۰) [۲۱] استفاده شده است. که از

داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی بر اساس نقطه تخمینی انجام شده است. لذا داده‌های اقلیم گذشته روی مسیر دریانوردی برای همان ساعت در ۴۰ سال گذشته در دسترس است. در این پژوهش از دو نوع درون‌یابی در زمان و مکان استفاده شده است. در درون‌یابی زمانی از درون‌یابی خطی و برای درون‌یابی مکانی از درون‌یابی دوخطی استفاده شده است. درون‌یابی زمانی مربوط به حالتی است که زمان ناوربی تخمینی بین ساعت‌های اصلی ۰۰۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ قرار گرفته باشد. در این حالت با استفاده از درون‌یابی خطی مقدار کمیت هواشناسی برای دقیقاً همان زمان در ۴۰ سال درون‌یابی انجام می‌شود. در این پژوهش برای انجام محاسبات مسیریابی از زبان برنامه‌نویسی متلب استفاده شده است. زبان برنامه‌نویسی متلب حاوی انواع گوناگون از توابع ریاضی برای انجام محاسبات ریاضی است که می‌تواند روند تحقیقات نظری را بسیار ساده کند. به همین دلیل این برنامه برای طراحی نرم‌افزار مسیریاب مبتنی بر آب‌وهوای اقلیم گذشته انتخاب شده است.

وجود دارد ولی به دلیل کاربردهای نظامی موقعیت‌یابی و محاسبات مربوطه نمی‌توان به نرم‌افزارهای آماده که توسط گروه‌های مورد اعتماد برنامه‌نویسی نشده‌اند اعتماد کرد. توسعه زیرساخت برای ورود برنامه‌نویسان به این حوضه و تهیه الگوریتم‌های محاسباتی که برای شروع فرایند برنامه‌نویسی کارآمد است در این بخش هدف‌گذاری و به انجام رسیده است. برای این پژوهش از ۴۰ سال داده هواشناسی از سال ۱۰۸۰ لغایت سال ۲۰۲۰ میلادی استفاده شده است. پایگاه داده انتخابی برای دریافت داده‌های هواشناسی، مرکز NCEP-NCAR است. داده‌های هواشناسی با تفکیک مکانی ۲/۵ درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی از این سایت دریافت شدند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

الف) فشار هوا، ب) دمای هوا و ج) سمت و سرعت باد

با استفاده از داده‌های فشار، دما و سمت و سرعت باد می‌توان دیدگاه کاملی از مسیر روی دریانوردی را به دست آورد. پس از اینکه محاسبات مسیر انجام شده و داده‌های هواشناسی از سایت مربوطه دریافت گردید. در ادامه در این پژوهش داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی درون‌یابی شدند. درون‌یابی

جدول ۳. جدول مقایسه بین داده‌های حاصل از نرم‌افزار و دفتر ثبت وضعیت جوی.

زمان	منطقه	فشار	دما	سمت باد	سرعت باد	نوع داده
۷ فوریه ساعت ۹	سواحل جاسک	۱۰۱۶/۵	۲۲/۳	شمال-شمال غربی	۹/۸	نرم‌افزار
	سواحل جاسک	۱۰۱۶		۳۵۰	۱۰	دفتر وضعیت جوی
۷ فوریه ساعت ۱۵	سواحل جاسک به چابهار	۱۰۱۵/۹	۲۲/۶	شمال-شمال غربی	۹-۸	داده نرم‌افزار
	سواحل جاسک به چابهار	۱۰۱۶		۱۵	۱۱	دفتر وضعیت جوی
۷ فوریه ساعت ۲۱	سواحل جاسک به چابهار	۱۰۱۶	۲۲/۵	شمال	۱۰	داده نرم‌افزار
	سواحل جاسک به چابهار	۱۰۱۸		۷۵	۲۲	دفتر وضعیت جوی
۹ فوریه ساعت ۹	بمبی	۱۰۱۳	۲۴/۲	شمال	۱۲/۶	داده نرم‌افزار
	بمبی	۱۰۱۵		۰۵۰	۱۶-۳۵	دفتر وضعیت جوی
۹ فوریه ساعت ۱۵	بمبی	۱۰۱۲	۲۴/۶	شمال	۱۲/۲	نرم‌افزار
	بمبی	۱۰۱۳		۰۵۰	۱۵	دفتر وضعیت جوی
۹ فوریه ساعت ۲۱	بمبی	۱۰۱۲/۸	۲۵	شمال	۱۲/۶	نرم‌افزار
	بمبی	۱۰۱۳		۱۰	۱۴	دفتر وضعیت جوی
۱۱ فوریه ساعت ۹	جنوب غربی هند	۱۰۱۱/۷	۲۷	شمال غربی	۶/۷	نرم‌افزار
	جنوب هند	۱۰۱۳		۲۵	۷	دفتر وضعیت جوی
۱۱ فوریه ساعت ۱۵	سریلانکا	۱۰۱۱	۲۷/۵	غربی	۷/۵	نرم‌افزار
	سریلانکا	۱۰۱۱		۲۵۰	۵	دفتر وضعیت جوی
۱۱ فوریه ساعت ۲۱	سریلانکا	۱۰۱۱/۸	۲۶/۷	شمال غربی	۵/۴	نرم‌افزار
	سریلانکا	۱۰۱۱		۳۳۰	۸	دفتر وضعیت جوی
۱۳ فوریه ساعت ۹	غرب سریلانکا	۱۰۱۱/۴	۲۷/۵	شمال شرقی	۱۰	نرم‌افزار
	غرب سریلانکا	۱۰۱۱		۰۵۰	۳۷	دفتر وضعیت جوی
۱۳ فوریه ساعت ۱۵	غرب سریلانکا	۱۰۱۰	۲۷/۳	شمال شرقی	۱۰/۴	نرم‌افزار
	غرب سریلانکا	۱۰۰۹		۵۰	۲۰	دفتر وضعیت جوی
۱۳ فوریه ساعت ۲۱	جنوب سریلانکا	۱۰۱۱/۳	۲۵/۹	شرق شمال شرق	۱۱/۲	نرم‌افزار
	جنوب سریلانکا	۱۰۱۳		۱۰۰	۳۹	دفتر وضعیت جوی
۱۵ فوریه ساعت ۹	جنوب خلیج بنگال	۱۰۱۱	۲۷/۱	شمال شرق	۱۱/۴	نرم‌افزار
	جنوب خلیج بنگال	۱۰۱۱		۱۰۰	۱۶	دفتر وضعیت جوی
۱۵ فوریه ساعت ۱۵	جنوب خلیج بنگال	۱۰۱۰	۲۶/۹	شمال شرق	۱۱/۴	نرم‌افزار
	جنوب خلیج بنگال	۱۰۱۰		۵۰	۲۰	دفتر وضعیت جوی
۱۵ فوریه ساعت ۲۱	جنوب خلیج بنگال	۱۰۱۱/۲	۲۶/۶	شمال شرق	۱۱/۱	نرم‌افزار
	جنوب خلیج بنگال	۱۰۱۳		۰۷۵	۱۵	دفتر وضعیت جوی

خلیج بنگال	۱۰۱۱	۲۶/۸	شمال شرق	۶/۷	نرم افزار
خلیج بنگال	۱۰۱۳		۰۲۰	۱۳	دفتر وضعیت جوی
خلیج بنگال	۱۰۱۱	۲۶/۸	شمال شرق	۶/۷	نرم افزار
خلیج بنگال	۱۰۱۳		۰۲۰	۱۳	دفتر وضعیت جوی
خلیج بنگال	۱۰۱۰	۲۶/۸	شمال-شمال شرق	۶/۸	نرم افزار
خلیج بنگال	۱۰۱۱		۰۲۰	۱۵	دفتر وضعیت جوی
جزایر سوماترا	۱۰۱۱	۲۵/۷	شمال-شمال شرق	۶	نرم افزار
جزایر سوماترا	۱۰۱۰		۰۴۰	۱۸	دفتر وضعیت جوی
جزایر سوماترا	۱۰۱۰/۷	۲۶/۲	شمال غربی	۳/۹	نرم افزار
جزایر سوماترا	۱۰۱۲		۰۶۵	۱۶	دفتر وضعیت جوی
جزایر سوماترا	۱۰۱۰/۵	۲۵/۴	شمال-شمال شرق	۲/۸	نرم افزار
جزایر سوماترا	۱۰۰۹		۰۷۰	۲۲	دفتر وضعیت جوی
تنگه مالاکا	۱۰۱۱/۷	۲۳/۸	شمال-شمال شرق	۲/۳	نرم افزار
تنگه مالاکا	۱۰۱۲		۱۰۰	۲۳	دفتر وضعیت جوی
تنگه مالاکا	۱۰۱۰/۲	۲۶/۶	شمال-شمال شرق	۹/۲	نرم افزار
تنگه مالاکا	۱۰۱۳		۱۴۰	۵	دفتر وضعیت جوی
تنگه مالاکا	۱۰۱۰	۲۷	شمال-شمال شرق	۹/۸	نرم افزار
تنگه مالاکا	۱۰۱۰		۲۳۸	۱۰	دفتر وضعیت جوی
تنگه مالاکا	۱۰۱۰/۸	۲۶/۳	شمال غربی	۸	نرم افزار
تنگه مالاکا	۱۰۱۲		۰۴۰	۲۵	دفتر وضعیت جوی
حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۱	۲۶/۴	شمال-شمال غربی	۸	نرم افزار
حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۱		۰۱۰	۳۲	دفتر وضعیت جوی
حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۰	۲۶/۳	شمال-شمال غربی	۸	نرم افزار
حوالی بندر جاکارتا	۱۰۰۸		۰۱۰	۱۳	دفتر وضعیت جوی
حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۰/۵	۲۵/۳	شمال-شمال غربی	۶/۸	نرم افزار
حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۰		۱۲۰	۱۰	دفتر وضعیت جوی

در این پژوهش بر اساس نیازهای یک دریانوردی ایمن به داده‌های هواشناسی، از فن جدید و نوآورانه میانگین‌گیری ۴۰ ساله استفاده شده است. انواعی مختلف از روش‌های میانگین‌گیری ماهیانه، روزانه و ساعتی در این پژوهش انجام شده است. و در نهایت این نتیجه به دست آمد که میانگین‌گیری ساعتی می‌تواند بهترین نتیجه برای فهم اقلیم گذشته روی مسیر دریانوردی را فراهم کند.

مورد مهم دیگری که جنبه نوآوری داشته و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، میانگین‌گیری ساعتی با فرض روزهای تقدم و تأخر است. برای مثال قصد داریم برای ساعت ۱۴۰۰ روز ۱۵ ماه اول میلادی عمل میانگین ۴۰ ساله را انجام دهیم، آیا باید فقط از داده‌های ساعت ۱۴۰۰ روز ۱۵ ماه اول میلادی در طول ۴۰ سال استفاده کنیم یا اینکه باید روزهای متقدم (روز ۱۴ یا حتی ۱۳ ماه اول میلادی) و متأخر (روز ۱۶ یا حتی ۱۷ ماه اول میلادی) را نیز در نظر گرفت.

از مهم‌ترین نوآوری‌های صورت گرفته در این پژوهش معرفی کمیت ۹۷/۵ درصد برای سرعت باد است این کمیت نشان می‌دهد که بیشینه سرعت در یک منطقه تا چه آستانه‌ای بالا می‌رود. این کمیت برای اولین بار در این پژوهش معرفی شده است و نشان داده شده است که با استفاده از این کمیت می‌توان مقدار واقعی باد در منطقه را با دقت و صحت زیاد پیش‌بینی کرد.

یکی دیگر از مزایای نرم‌افزار متلب این است که این نرم‌افزار کتابخانه‌های لازم برای خواندن داده‌های هواشناسی با فرمت nc را داراست. فرمت nc برای ذخیره داده‌های حجیم هواشناسی ساخته شده است و تعداد اندکی از نرم‌افزارهای تخصصی و برنامه‌نویسی کتابخانه‌های لازم برای خواندن این فرمت را در اختیار دارند. از این رو نرم‌افزار متلب در خواندن این داده‌ها نقش مؤثری داشته است. لازم به ذکر است که زبان برنامه‌نویسی پایتون نیز دارای کتابخانه‌های لازم برای خواندن فرمت nc است ولی به دلیل اینکه زبان پایتون یک زبان مفسری است لذا دارای سرعت اندکی بوده و روند محاسبات میانگین‌گیری ۴۰ ساله در این زبان برنامه‌نویسی به درازا کشیده که این مورد سبب شد از زبان برنامه‌نویسی متلب برای برنامه‌نویسی سامانه طراحی مسیر برای دریانوردی اقیانوسی استفاده شود.

نرم‌افزار طراحی شده در این پژوهش گام مهمی در توسعه دانش ناوبری است. امروزه طراحی‌های مسیر بر اساس داده‌های هواشناسی صورت می‌گیرد و چنانچه در یک مسیر وضعیت جوی نامساعدی وجود داشته باشد نرم‌افزار مربوطه باید توانایی تصحیح مسیر برای عبور از این وضعیت جوی نامساعد را داشته باشد. نرم‌افزارهای هواشناسی عموماً از داده‌های پیش‌بینی برای محاسبات مسیریابی استفاده می‌کنند. استفاده از داده‌های اقلیم گذشته به عنوان شروعی برای این جنبه از هواشناسی در دانش ناوبری اقیانوسی است.

seakeeping analysis and optimization. Journal of Marine Science and Engineering, 8(4), 270 (10 pages).

15- Wang, Y., Zhang, X., Lin, S., Qiang, Z., Hao, J., & Qiu, Y. (2022). *Analysis on the Development of Wind-assisted Ship Propulsion Technology and Contribution to Emission Reduction*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 966, No. 1, p. 012012). IOP Publishing (10 pages).

16- Malekpour Golsefidi M, Karimipour F, Sharifi M A. *Proposing a Novel Temporal Rout Finding Model for Marine Navigation with Respect to Depth and Weather Condition of Marine Environment*. JGST. 2016; 5 (4) :255-268 (14 pages). (In Persian)

17- Mohammadi, A., Zadeghabadi, A., Hoseini arani, A. (2021). *Challenges of calculating the vortex point of the great circle in international seafarers training guidelines*. Journal of Research on Management of Teaching in Marine Sciences, 8(4), 151-165 (15 pages). (In Persian)

18- Navy, R. (2008). *The Admiralty Manual of Navigation: The Principles of Navigation*. Nautical Institute.

19- Molluise, R. K. (2014). *An introduction to the mathematics of map projections*. Cambridge University Press.

20- Maling, D. H. (2013). *Coordinate systems and map projections*. Elsevier.

21- Taheri, A. (2021), *Navigation of Nadaja floating units in ocean navigation*, master's thesis in marine management, Imam Khomeini University of Marine Sciences (RA), Nowshahr, 85 pages

1- 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.

2- Malakooti, H. (2014). *'Simulation of Cyclone Gonu using the Advanced Hurricane WRF: Sensitivity to Domain Coverage, Nesting, Resolution and Starting Time'*, Journal of Marine Science and Technology, 13(3), pp. 101-110 (150 pages). doi: 10.22113/jmst.2014.8634. (In Persian)

3- Alimohammadi, M., Malakooti, H., Rahbani, M., mohammadi, A. (2020). *Investigation of sea surface temperature effects on the simulation of tropical cyclone Gonu*. Amphibious Science and Technology, 1(1), 1-12 (12 pages). (In Persian)

4- Foroutani R, Rahbani M, Pakhirehzan M. (2018). *Investigating the Storm Surge Due to Tropical Cyclone Ashobaa in the Coastal Areas of Bushehr and Chabahar*. joc. 8 (32) :9-19 (11 pages). (In Persian)

5- Sadaghi S M, Golshani A A, Nemati M H. (2021). *Numerical Simulation of Kyarr Tropical Cyclone Waves in Makran Coastlines*. Joc. 12 (46) :39-50 (12 pages). (In Persian)

6- Aroucha, L. C., Duarte, H. O., Droguett, E. L., & Veleza, D. R. A. (2018). *Practical aspects of meteorology and oceanography for mariners: A guide for the perplexed*. Cogent Engineering, 5(1), 1492314.

7- First, M. B. (2014). *Structured clinical interview for the DSM (SCID)*. The encyclopedia of clinical psychology, 1-6.

8- Fang, M. C., & Lin, Y. H. (2015). *The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements (II): Optimized routings*. Applied Ocean Research, 50, 130-140 (11 pages).

9- Dupuy, M., d'Ambrosio, C., & Liberti, L. (2021). *Optimal paths on the ocean*(14 pages).

10- Padhy, C. P., Sen, D., & Bhaskaran, P. K. (2008). *Application of wave model for weather routing of ships in the North Indian Ocean*. Natural Hazards, 44(3), 373-385 (13 pages).

11- Tillig, F., Ringsberg, J. W., Psaraftis, H. N., & Zis, T. (2020). *Reduced environmental impact of marine transport through speed reduction and wind assisted propulsion*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 83, 102380 (10 pages).

12- Kim, M., Hizir, O., Turan, O., Day, S., & Incecik, A. (2017). *Estimation of added resistance and ship speed loss in a seaway*. Ocean Engineering, 141, 465-476 (12 pages).

13- Wang, H. B., Li, X. G., Li, P. F., Veremey, E. I., & Sotnikova, M. V. (2018). *Application of real-coded genetic algorithm in ship weather routing*. The Journal of Navigation, 71(4), 989-1010 (12 pages).

14- Pennino, S., Gaglione, S., Innac, A., Piscopo, V., & Scamardella, A. (2020). *Development of a new ship adaptive weather routing model based on*