طراحی سامانه ناوبری با در نظرگرفتن داده‌های اقلیمی در طول مسیر دریانوردی

علی محمدی[۱] ، مهریار علی محمدی[۲*] ، احمد ذادق آبادی[۳]، عباس تلیکانی[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

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

کلمات کلیدی:
ناوبری
مسیر دریایی
داده‌های هواشناسی
درون‌یابی زمانی
درون‌یابی مکانی

چکیده

سامانه‌های ناوبری امروزه به‌جزء لاینفک کنترل واحد شناور تبدیل شده‌اند. امروزه سامانه ناوبری اکدیس به‌عنوان مهم‌ترین سامانه کمک ناوبری مطرح‌شده 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 عیب‌های سامانه‌های ناوبری متداول (مانند اکدیس و سامانه یکپارچه ناوبری) عدم وجود داده‌های هواشناسی در این سامانه‌ها است. در این پژوهش یک سامانه ناوبری توسعه داده‌شده 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 محاسبه‌شده 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 Mohammadi[1], Mehriar Alimohammadi[2*], Ahmad Zadeghabadi[3], Abas Telicani[4]

[1] Assistant Professor, Department of Meteorology and Oceanography, Imam Khomeini University of Marine Sciences, Nowshahr; mohammadi.a4682@gmail.com
[2] Assistant Professor, Department of Special Operations and Coast reconnaissance, Imam Khomeini University of Marine Sciences, Nowshahr; mhyar_alimohammadi@yahoo.com
[3] PhD student in Meteorology, Hormozgan University, Bandar Abbas; zadegh_ahmad@yahoo.com
[4] 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.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

۱ – مقدمه

سامانه‌های ناوبری امروزه به‌جزء 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) به‌عنوان مهم‌ترین سامانه کمک ناوبری مطرح‌شده 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 شدّت 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 به‌عنوان‌مثال می‌توان به طوفان‌های کیار، آشوبا 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 (به‌عنوان‌مثال 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 چالش های 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 قرارگرفته 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 درنظرگرفتن داده‌های هواشناسی) نیز برطرف خواهد شد.

۲ – مواد و روش‌ها

۲-۱ 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 واردشده 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 به‌صورت 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; 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 [۱].

داده‌های ERA5 از مرکز CDS (Climate Data Store) قابل‌دسترسی 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 قابل‌اعتماد 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 داده‌گواری این داده‌ها از داده‌های مدل CDAS (سامانه داده‌گواری

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

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 قرارگرفته است.

داده‌های باز تحلیل فشار سطح تبدیل‌شده به سطح دریا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد برای کل کره از سال ۱۹۸۰ الی ۲۰۲۰ به مدت ۴۰ سال اخذشده است و داده‌های فشار سطح تبدیل‌شده به سطح دریا با توجه به تاریخ روزهای بارش فرین از داخل این اطلاعات استخراج‌شده است.

۲-۲ روش مورد استفاده

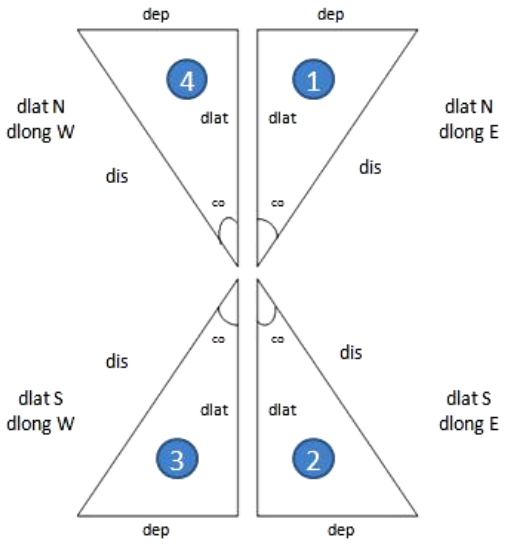
۲-۲-۱ تعیین نقاط چرخش در مسیر دریانوردی

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 مطرح‌شده و مورداستفاده 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 به‌صورت 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 مورداستفاده قرار می‌گیرد. دلیل این‌که این نوع دریانوردی به دریانوردی صفحه معروف شده است، این است که کره زمین به‌صورت 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.



شکل۱- 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].

$$dep = dlong.cos(\frac{latA+latB}{2}),\ \tan(co)=\frac{\text{dep}}{\text{dlat}} \qquad (۱)$$

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

مراحل حل مسئله دریانوردی روی صفحه در این پروژه به‌صورت 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.

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

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

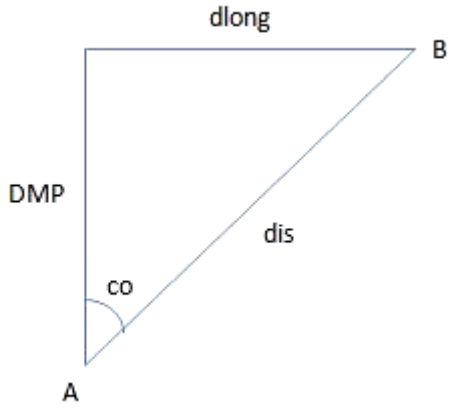
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

۴- با استفاده از علامت اختلاف عرض جغرافیایی و اختلاف طول جغرافیایی راه به‌دست‌آمده را علامت‌گذاری می‌کنیم. برای مثال چنانچه راه به‌دست‌آمده ۴۲ درجه باشد، راه به‌صورت 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 به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

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

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 به‌صورت موازی هستند. بنابراین این نوع دریانوردی فقط برای عرض‌های میانی قابل‌استفاده است و برای عرض قطبی قابل‌استفاده نیست. در نقشه‌ی مرکاتور فاصله دیپارچر وجود ندارد بنابراین به‌جای کاهش فاصله بین مدارات در عرض‌های بالاتر شاهد افزایش فاصله روی نصف‌النهارات هستیم که به آن گسترش نصف-النهاری گفته می‌شود. در شکل۲- ۲ این نوع دریانوردی رسم شده است.



شکل۲- نمای دریانوردی مرکاتور.

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]:

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

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

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

مقدار اختلاف گسترش نصف‌النهاری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MP = 7915.7045\,\log_{10}\tan(45^\circ+\frac{L^\circ}{2}) \qquad (٤)$$

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 بدین‌صورت است که هرگاه فاصله بین نقاط چرخش از ۶۰۰ مایل بیشتر شود مسیر دایره عظیمه بین این دو نقطه چرخش در نظر گرفته‌شده و سپس با استفاده از رابطه ۵ (طاهری، ۱۳۹۹) [۲۱]. مسیر دایره عظیمه را به تکه‌های ۶۰۰ مایلی شکسته و نقاط

[۱] different of meridional part

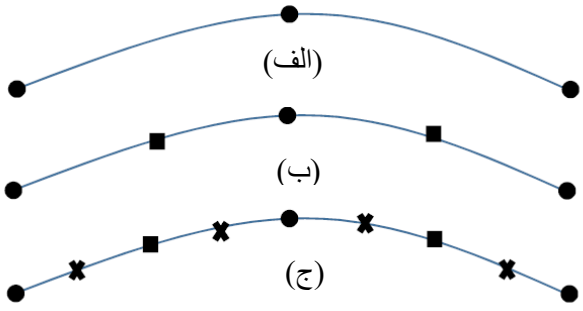
[۲] distance

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

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

$$\mathrm{tg}\left(latW\right)=\frac{\mathrm{tg}\left(\mathrm{lat\ F}\right)+\mathrm{tg}(\mathrm{latT})}{2\cos(Dlong\ FW)} \qquad (5)$$

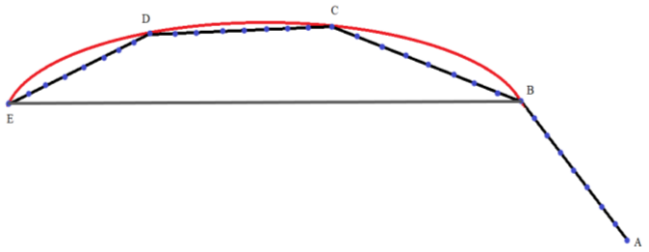
روش استفاده از رابطه (5) بدین‌صورت است که هر بار استفاده از این رابطه، مسیر دایره عظیمه به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود و این عمل دو قسمت کردن را می‌توان به تعداد مورد نیاز برای ایجاد تکه‌های ۶۰۰ مایلی تکرار کرد. در شکل ۳ نحوه استفاده از رابطه (5) و دو قسمت کردن‌های متوالی مسیر دایره عظیمه آورده شده است. 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 حاصل‌شده 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 (5) 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 به‌صورت پیش‌فرض 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 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 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 داده‌شده است. این نقاط میانی می‌توانند نقش ناوبری تخمینی را روی نقشه‌های ناوبری بازی کنند.

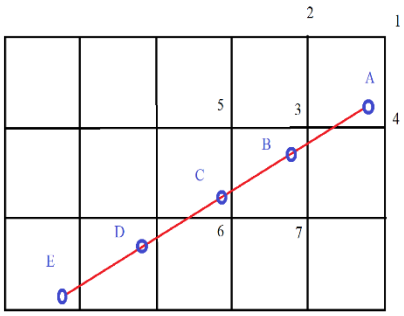
۳-۲-۲ درون‌یابی داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی

داده‌های هواشناسی از سایت NCEP-NCAR و یا ECMWF در نقاط منظم از طول و عرض جغرافیایی قرارگرفته 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 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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

استفاده کـرد. در سـاده‌ترین حالـت می‌تـوان از دورنیـابی دوخطـی استفاده کرد.

درون‌یابی دوخطی با استفاده از چهار نقطه شبکه در اطـراف نقطـه بین شبکه‌ای مقدار تابع روی نقطه بین شبکه‌ای محاسـبه می‌شـود. در ادامه مبانی ریاضی روش درون‌یابی دوخطـی به‌اختصـار توضـیح داده می‌شود.



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

۴-۲-۲ درون‌یابی دوخطی

در ریاضیات، درون‌یابی دوخطی تعمیمی از درون‌یابی خطـی بـرای درون‌یابی توابع دو متغیر (به‌عنوان مثـال، تـابعی از x و y) در یـک شبکه دوبعدی افقی-عمودی است. درون‌یابی دوخطی با اسـتفاده از درون‌یابی خطی ابتـدا در یـک جهـت و سـپس بـه‌کارگیری آن در جهت دیگر انجام می‌شود. اگرچـه هـر مرحلـه الگـوریتم درون‌یـابی دوخطی خطی است، اما پاسخ نهایی بـه دسـت آمـده دیگـر خطـی نیست و می‌توان گفت که درجه دوم است. درون‌یابی دوخطی یکـی از تکنیک‌های اساسی بازنمونه‌گیری 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 $Q_{11}=(x_1,y_1)$ ، $Q_{12}=(x_1,y_2)$ ، $Q_{21}=(x_2,y_1)$ و $Q_{22}=(x_2,y_2)$ مشخص است.

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

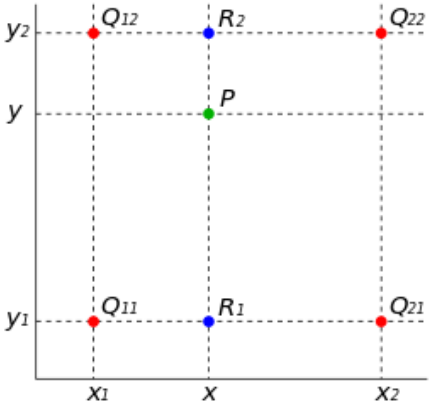
$$f(x,y_1)\approx \frac{x_2-x}{x_2-x_1}f(Q_{11})+\frac{x-x_1}{x_2-x_1}f(Q_{21}), \quad (۶)$$

$$f(x,y_2)\approx \frac{x_2-x}{x_2-x_1}f(Q_{12})+\frac{x-x_1}{x_2-x_1}f(Q_{22}), \quad (۷)$$

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

$$\begin{aligned}
f(x,y) &\approx \frac{y_2-y}{y_2-y_1}f(x,y_1)+\frac{y-y_1}{y_2-y_1}f(x,y_2),\\
&=\frac{y_2-y}{y_2-y_1}\left(\frac{x_2-x}{x_2-x_1}f(Q_{11})+\frac{x-x_1}{x_2-x_1}f(Q_{21})\right)+\\
&\quad\frac{y-y_1}{y_2-y_1}\left(\frac{x_2-x}{x_2-x_1}f(Q_{12})+\frac{x-x_1}{x_2-x_1}f(Q_{22})\right),\\
&=\frac{1}{(x_2-x_1)(y_2-y_1)}\left(f(Q_{11})(x_2-x)(y_2-y)+\right.\\
&\quad f(Q_{21})(x_2-x)(y_2-y)+\left(f(Q_{12})(x_2-x)(y-y_1)+\right.\\
&\quad \left.f(Q_{22})(x-x_1)(y-y_1)\right)\\
f(x,y) &=\\
&\frac{1}{(x_2-x_1)(y_2-y_1)}\begin{bmatrix}x_2-x & x-x_1\end{bmatrix}+\\
&\begin{bmatrix}f(Q_{11}) & f(Q_{12})\\ f(Q_{21}) & f(Q_{22})\end{bmatrix}\begin{bmatrix}y_2-y\\ y-y_1\end{bmatrix} \quad (۸)
\end{aligned}$$

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



شکل ۶- درون‌یابی دوخطی برای نقطه p در صفحه.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

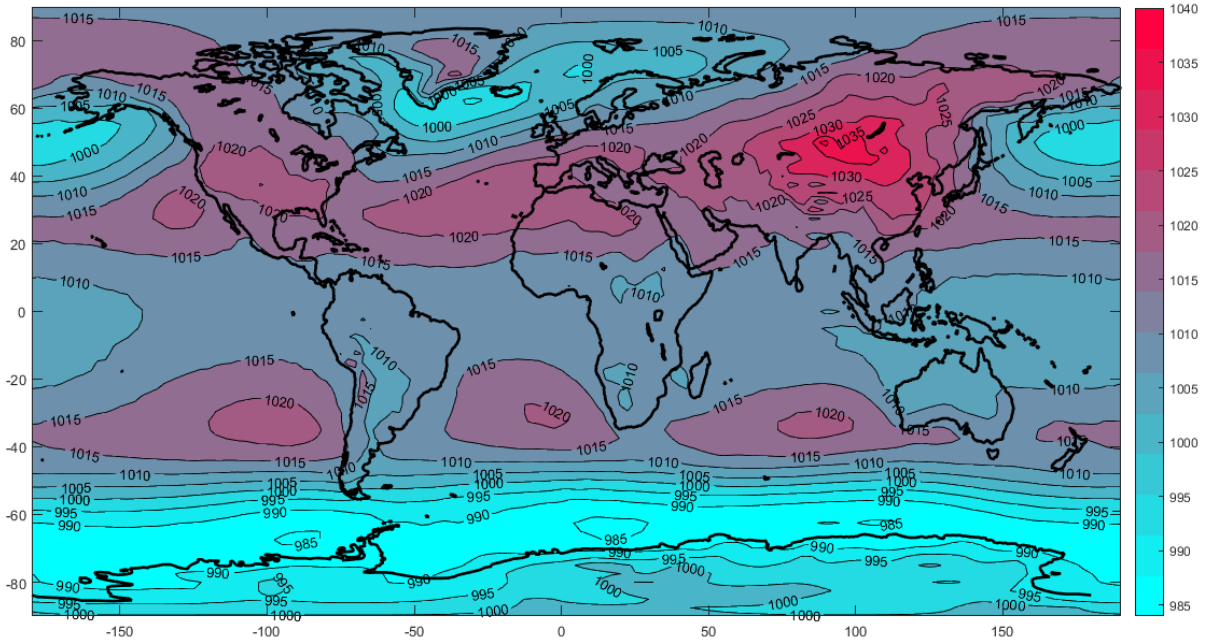
در این بخش نتایج پژوهش در خصوص درون‌یابی داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی واحدهای شناور انجام می‌شود. داده‌های هواشناسی که در این پژوهش مورد استفاده قرارگرفته است از سال ۱۹۸۰ لغایت ۲۰۲۰ به مدت ۴۱ سال است. نکته اصلی در این پژوهش این است که این داده‌ها در این مدت ۴۱ ساله باید میانگین‌گیری شوند. نحوه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



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

۳-۲ میانگین‌گیری ده‌روزه

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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

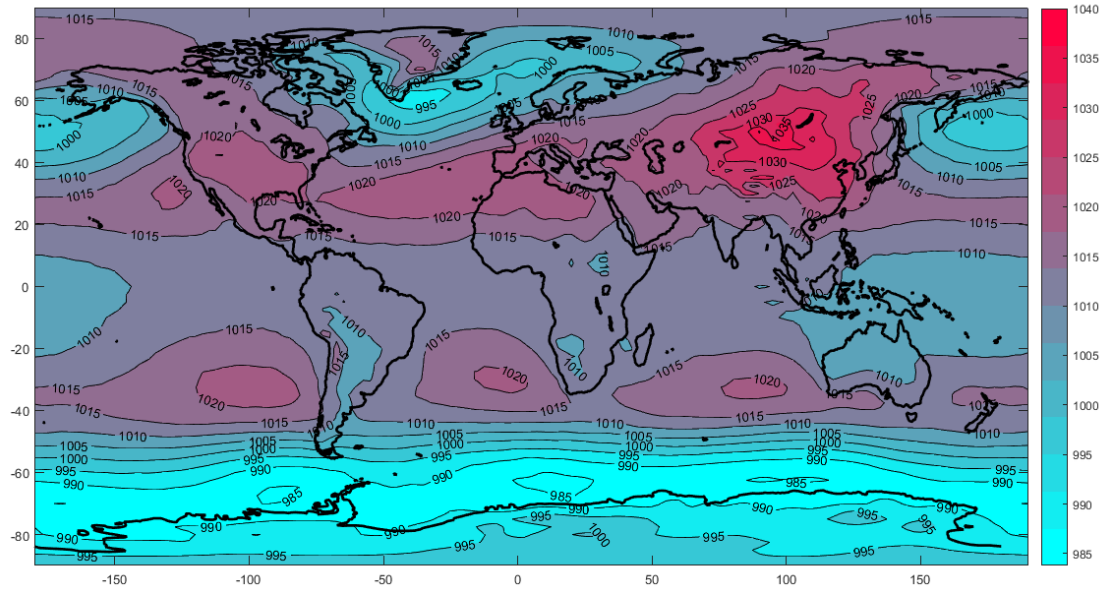
۸- الف)، دهه میانی (شکل ۸- ب) و دهه انتهایی ماه ژانویه (شکل ۸ - ج) تقسیم کرد.

این سه شکل در ظاهر با هم و با میانگین کل ماه ژانویه شباهت دارند ولی در جزییات 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 داده‌شده است. الگوی دو مرکز کم‌فشار در شکل ۸-الف به‌صورت 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 به‌وضوح به دو مرکز فشار مستقل تبدیل شده‌اند. همچنین در شکل ۸-ج دو مرکز کم‌فشار در شمال ماداگاسکار نشان داده‌شده 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 به‌طور متوسط حدود یک میلی بار است که در شکل ۹ این اختلاف بین میانگین‌ها دهروزه با میانگین ماهیانه برای کل کره نشان داده‌شده 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.

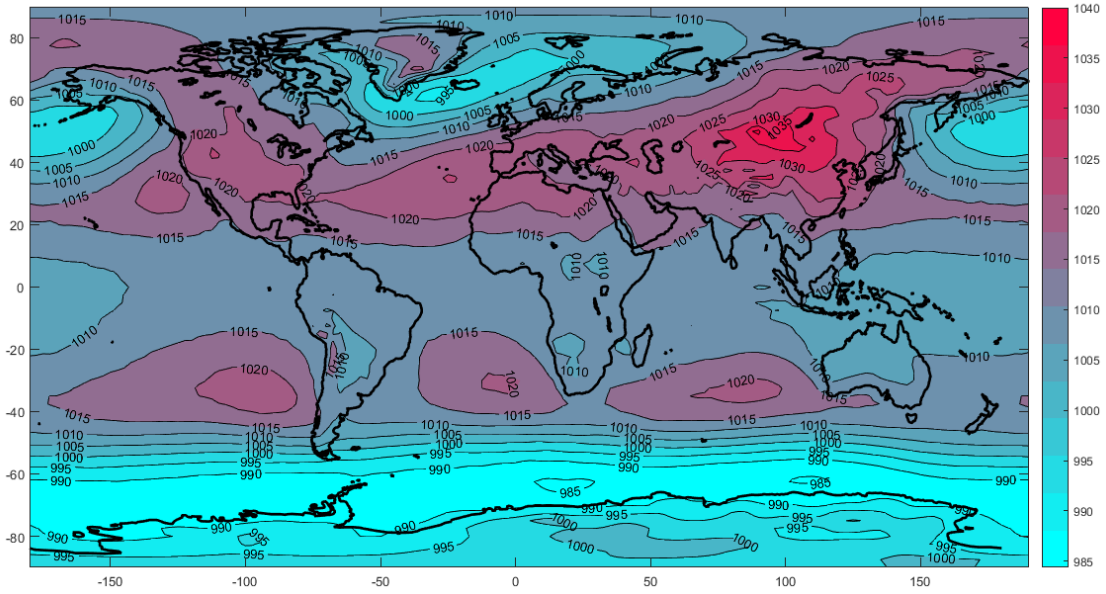
۳-۳ میانگین‌گیری روزانه

از اختلاف بین میانگین‌گیری ماهیانه با میانگین دهروزه در ماه ژانویه نشان داده شد که با کاهش بازه زمانی میانگین‌گیری می‌توان به‌جزییات 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 داده‌شده است. با توجه به اینکه در بخش قبلی بازه زمانی میانگین‌گیری دهروزه بوده است لذا روزهای انتخابی در وسط بازه‌های زمانی ده روز انتخاب‌شده است. روزهای انتخابی عبارتند از ۵، ۱۵ و ۲۵ ماه ژانویه که داده‌های فشار سطح دریا در این روزها در بازه زمانی ۴۰ ساله میانگین‌گیری شده است.

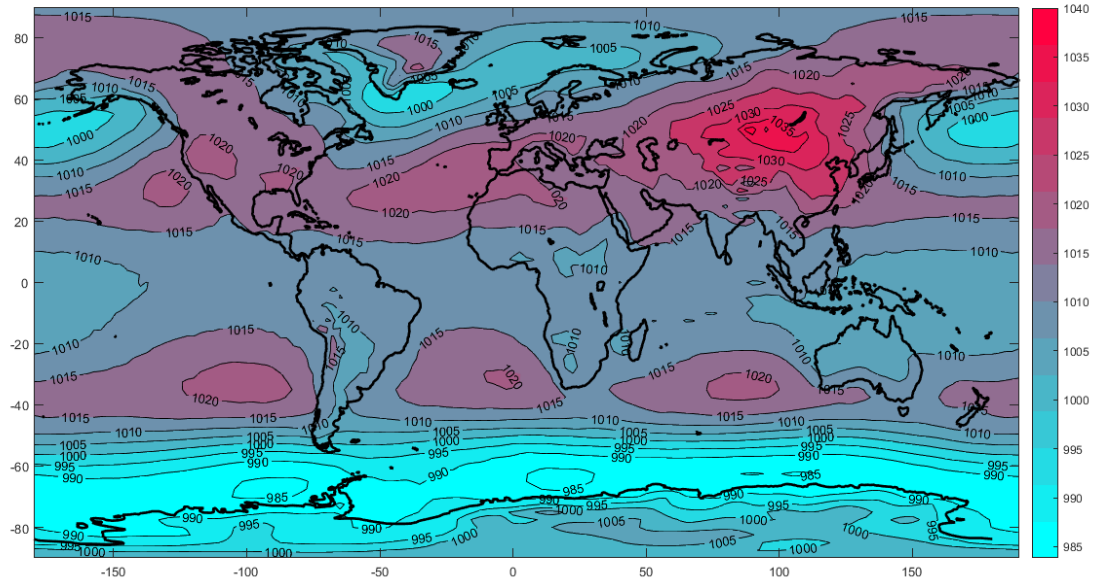


(الف)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]



(ب)



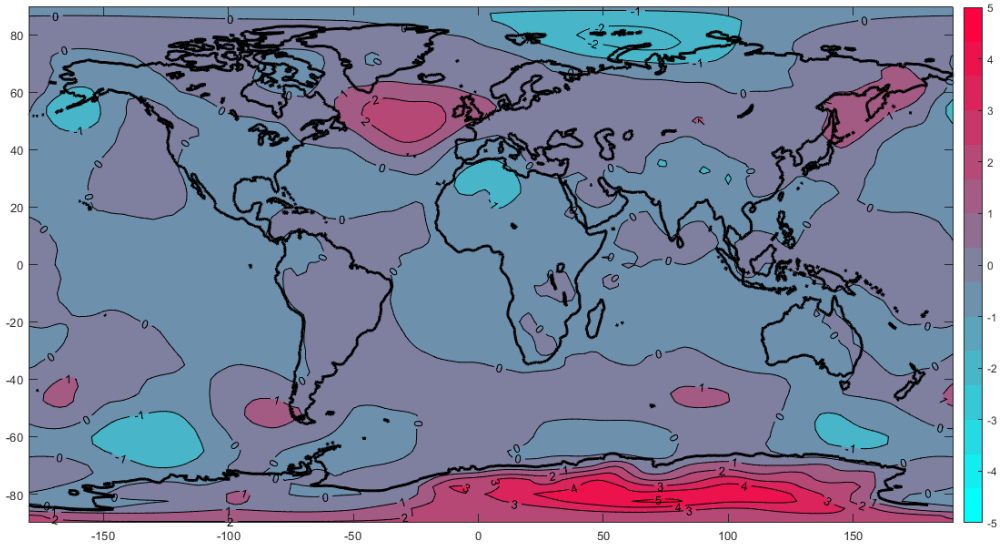
(ج)

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

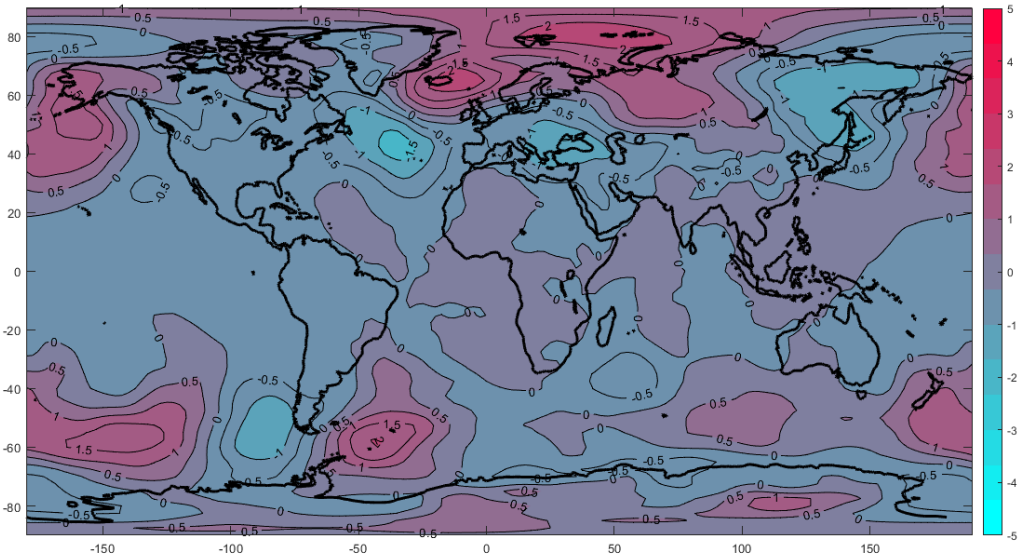
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]

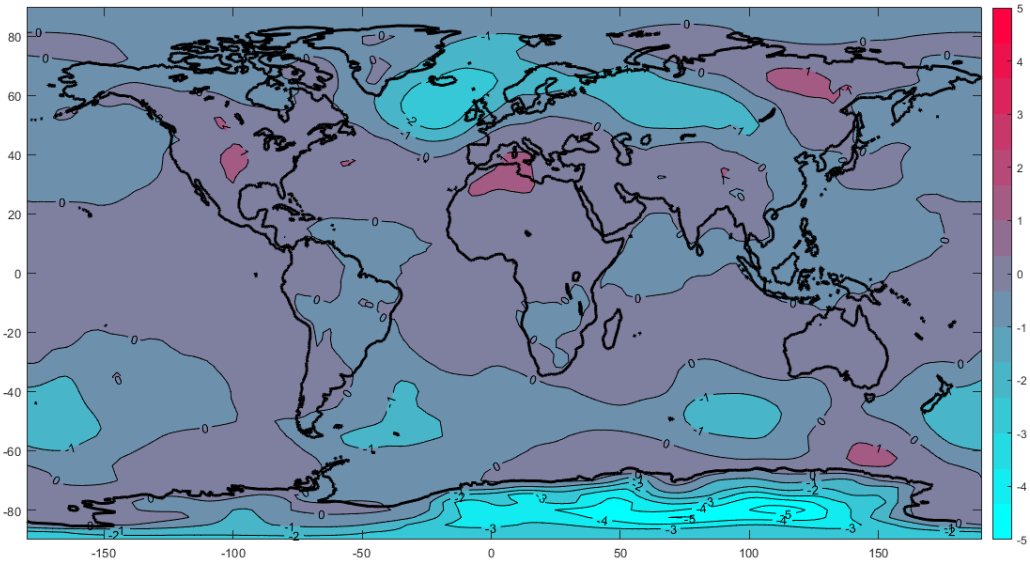
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]



(الف)



(ب)



(ج)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]

[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

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

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 ماهیانه 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 ماهیانه 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 ماهیانه با میانگین روزانه می‌توان به‌جزییات پراهمیت برای محاسبه میانگین فشار روی مسیر دریانوردی پی برد. نکته مهم در اختلاف بین میانگین ساعتی و ماهیانه 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 ماهیانه 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 تائید 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 ماهیانه از اندازه اختلاف سایر میانگین‌های روزانه و ده روزه با میانگین ماهیانه 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.

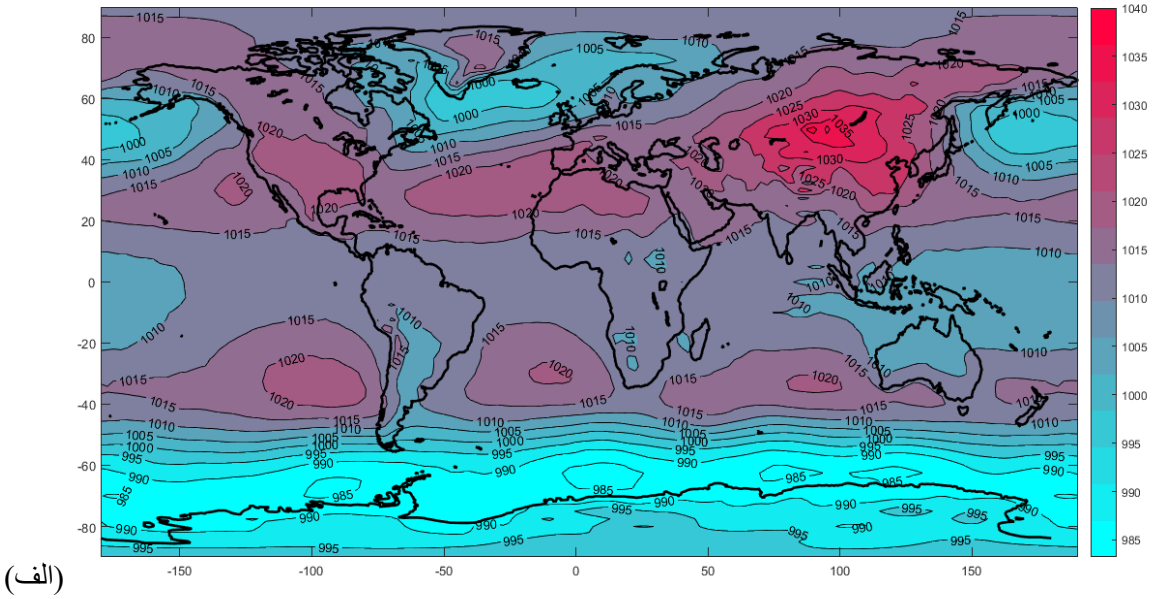
جواب این سؤال قطعاً این است که پدیده‌های هواشناسی نمی‌توانند هر سال در یک روز مشخص رخ دهند و حتماً نقدم و تأخر در رخداد یک فرایند هرساله دیده خواهد شد. به همین دلیل لازم است تقدم و تأخر پدیده‌های غالب هواشناسی در مناطق مختلف و ازجمله منطقه تحت مأموریت نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران مورد تحقیق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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

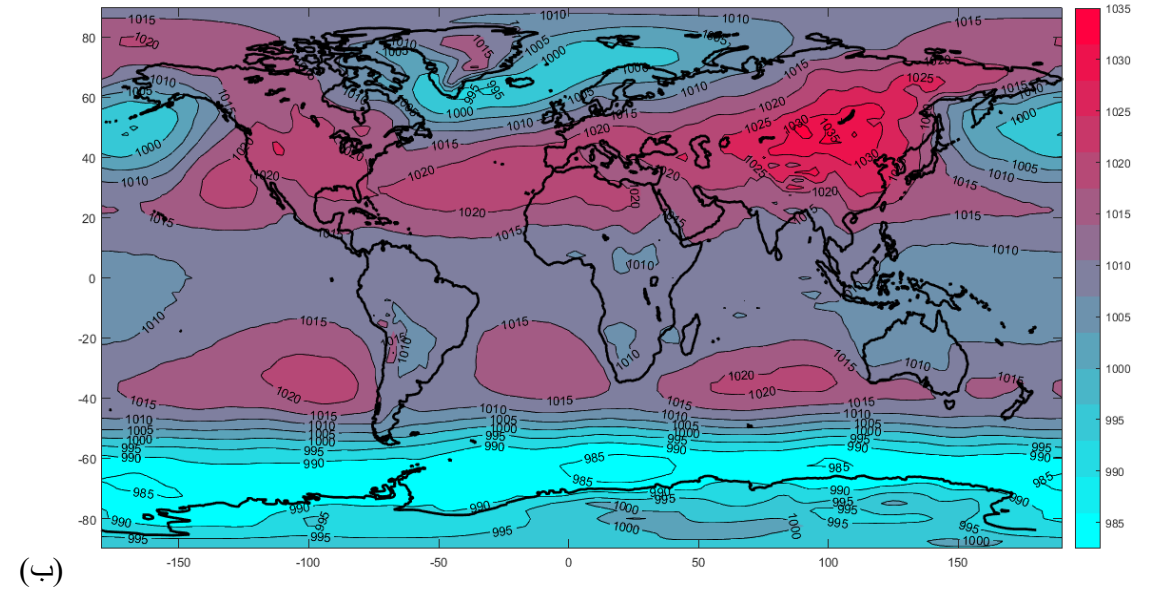
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]

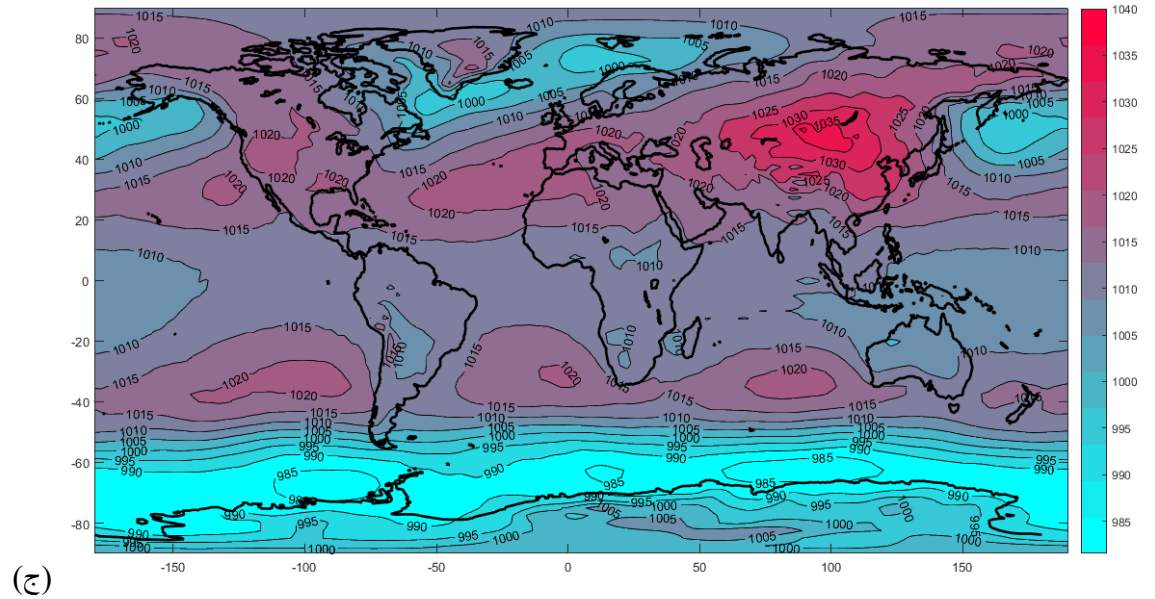
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]



(الف)

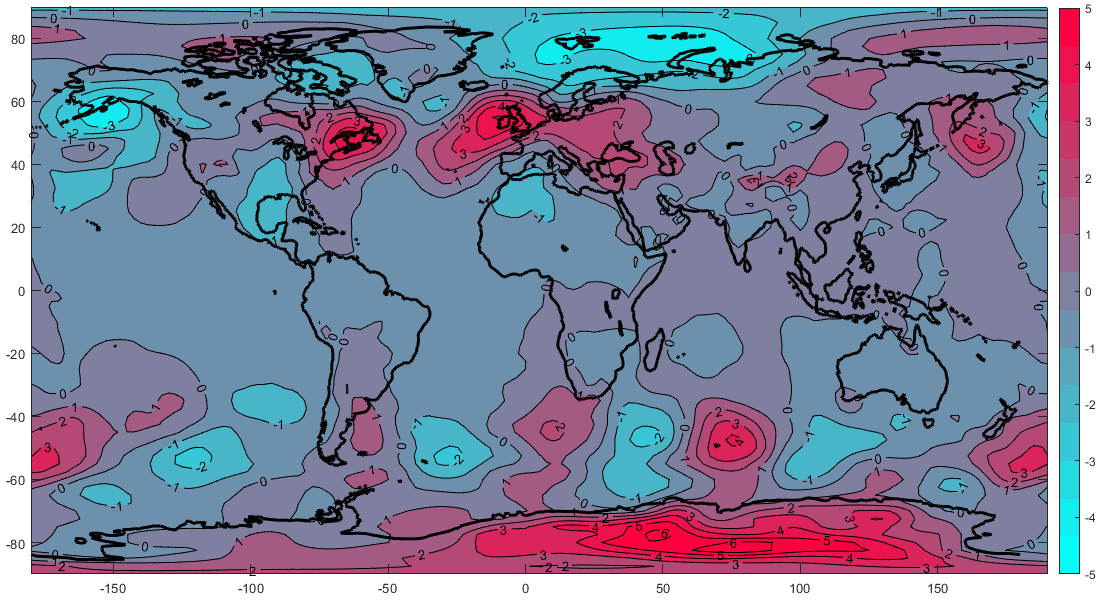


(ب)

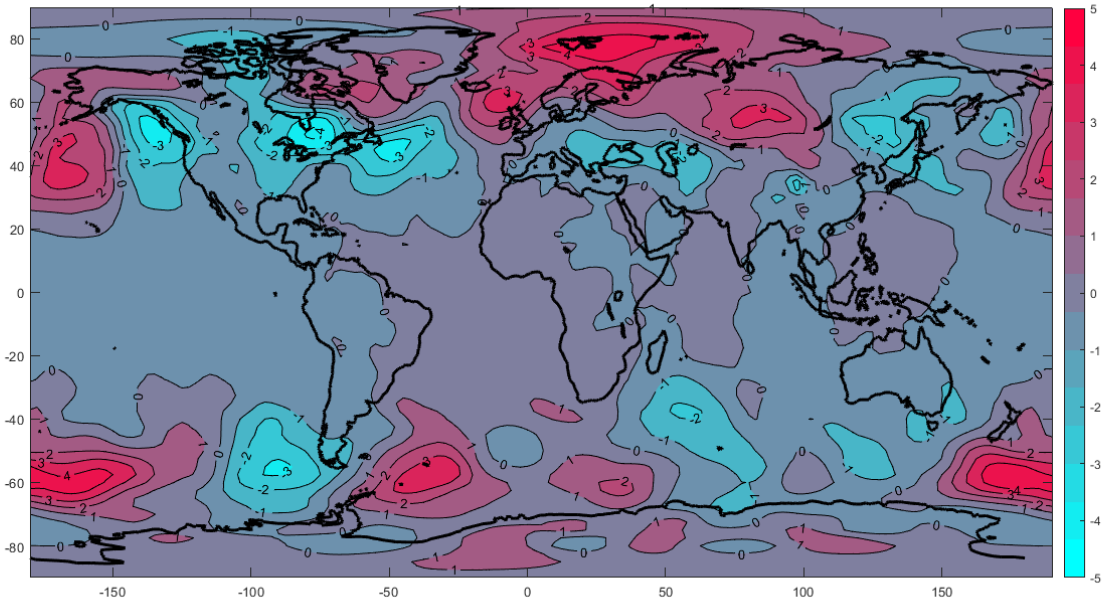


(ج)

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)

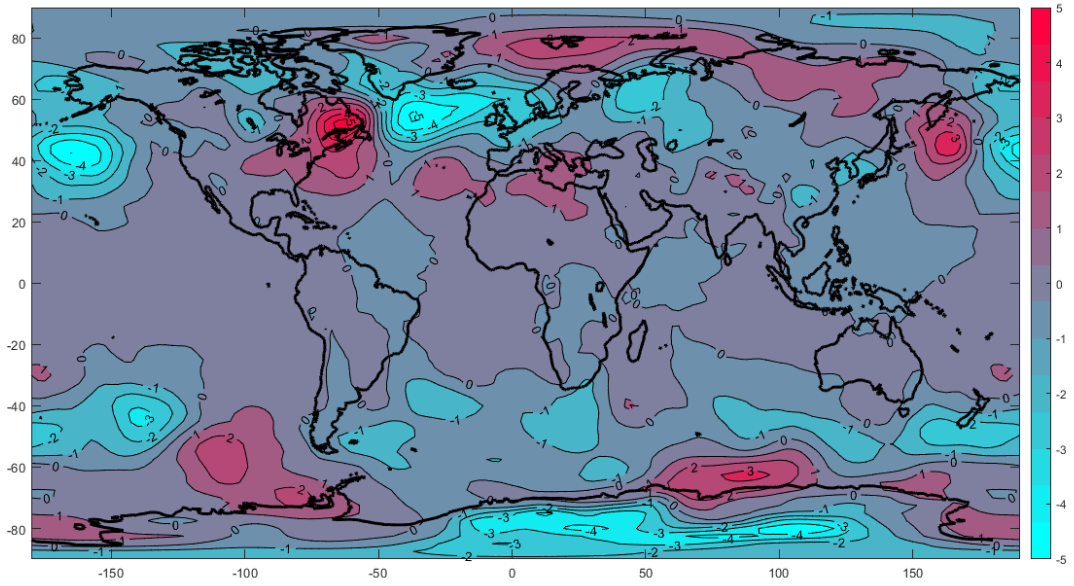


(ب)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

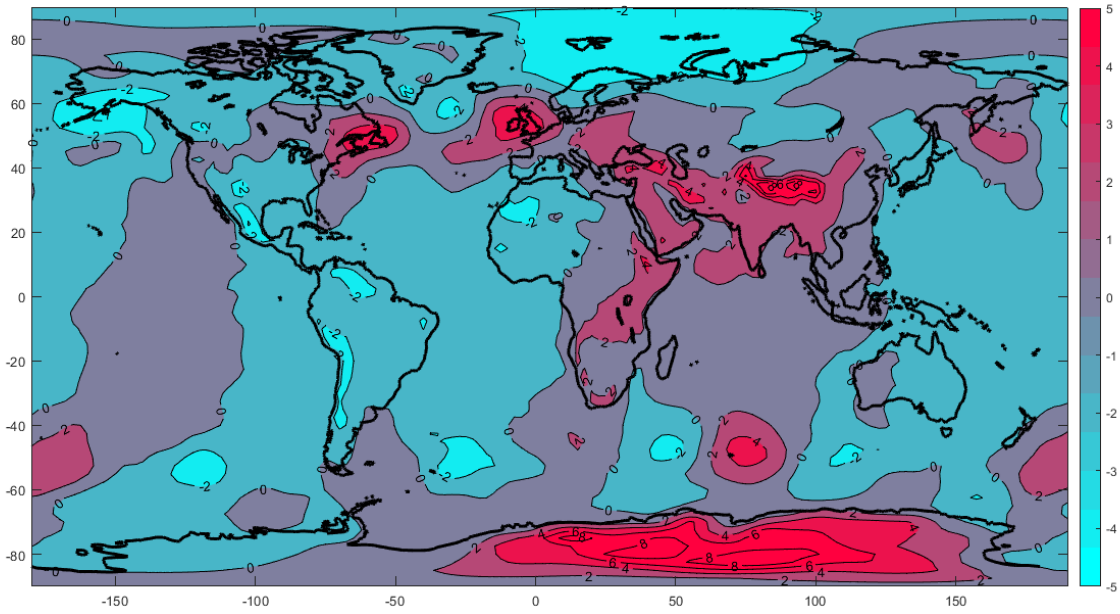
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]

[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]



(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)

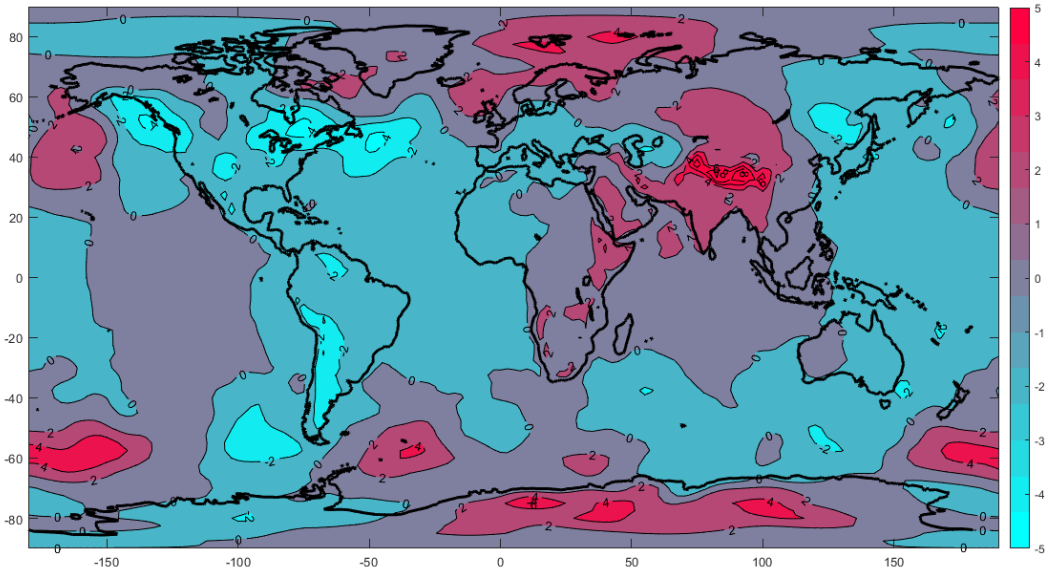


(الف)

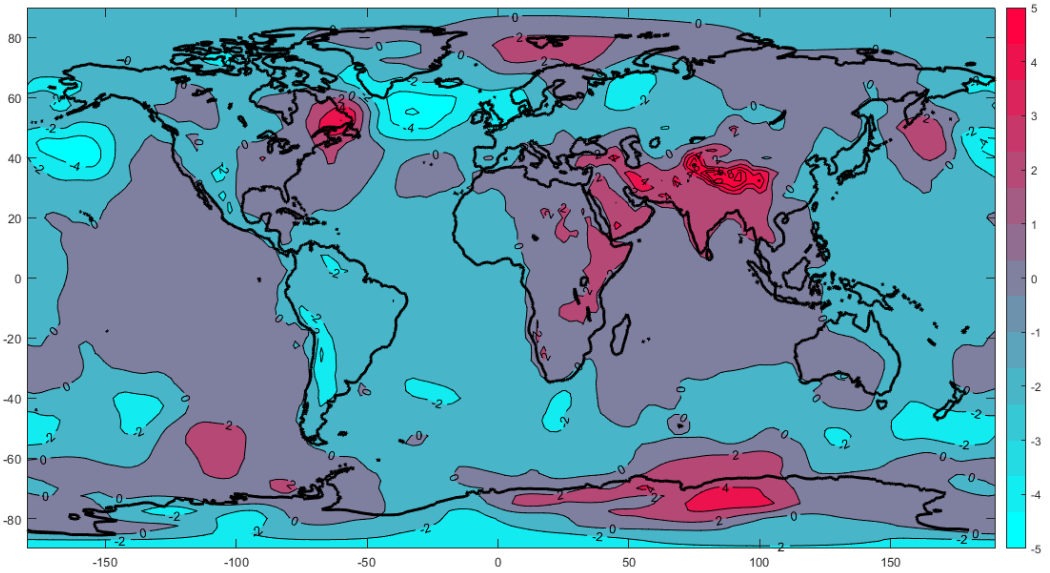
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]

[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]



(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)

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 قرارگرفته و میزان خطای حاصل از میانگین‌گیری برای حالت‌های مختلف محاسبه شده و درنهایت 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:

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 انتخاب‌شده 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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

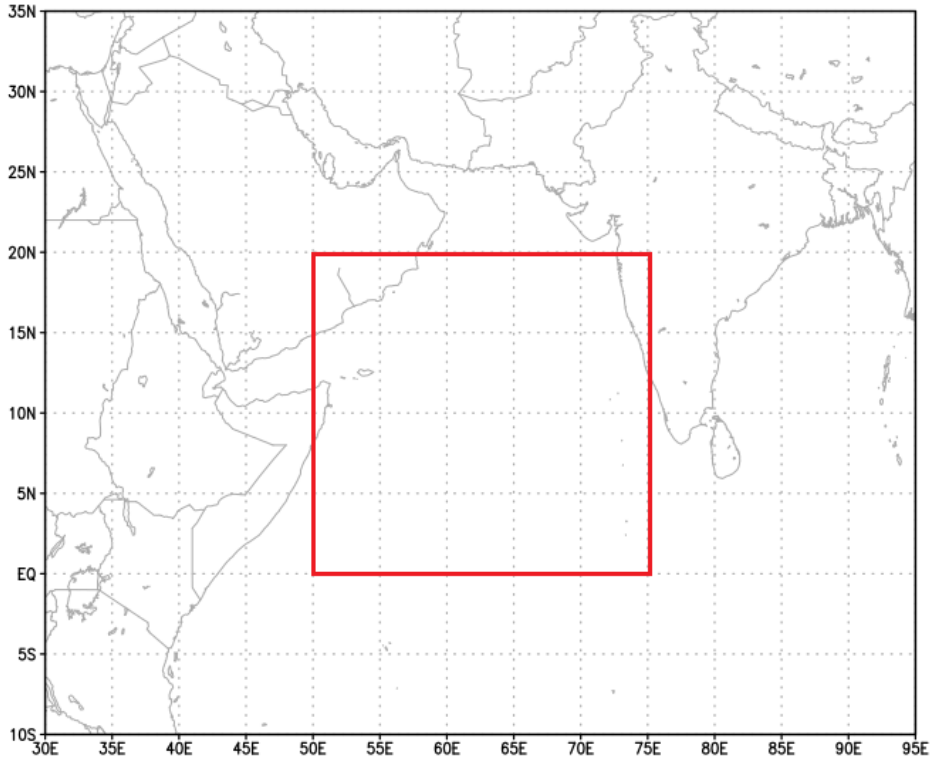
میانگین بلندمدت در ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه، داده‌های ساعت ۱۲۰۰ روزهـای ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ ژانویـه نیـز در نظـر گرفتـه می‌شود.

ه) برای میانگین‌گیری بلندمدت ۴۰ ساله برای سـاعت ۱۲۰۰ سـه روز قبل و سه روز بعد از ۱۵ ژانویه نیز محاسبه می‌شـود یعنـی در میانگین بلندمدت در ساعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه، داده‌های ساعت ۱۲۰۰ روزهـای ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ ژانویـه نیـز در نظـر گرفته می‌شود.

و) خطای نرمال شده بـین مقـدار میانگین‌هـای محاسـبه شـده در بندهای ب، ج، د، ه با مقدار فشار واقعی در سـاعت ۱۲۰۰ روز ۱۵ ژانویه برای منطقه مشخص شده در شکل ۱۳ با اسـتفاده از رابطـه زیر محاسبه شده است:

$$normal\ error = \frac{\sum|ave_{12h} - ave_{nt}|}{\sum|ave_{12h}|} \qquad (۹)$$

کـه در رابطـه ۹ ave_{12h} میـانگین فشـار در سـاعت ۱۲۰۰ روز مـوردنظر (۱۵ ژانویـه) و ave_{nt} میـزان میـانگین بـرای n روز مطابق بندهای ب، ج، د، ه است. در جدول ۱ میزان خطای نرمـال شده حاصل از رابطه (۹) آورده شده است.



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 نرمـال شـده در حـالتی کـه تعـداد روزهـای دخیـل در میـانگین‌گیری ۳ روز اسـت (بنـد ج) دارای کمترین میزان خطا است. بنابراین در ادامـه بـرای میـانگین‌گیری برای ساعت موردنظر در روز مشـخص، روز قبـل و بعـد در همـان ساعت نیز وارد محاسبات می‌شود.

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	۱/۱۰۲۵*۱۰$^{-۳}$
۲	۳	۱/۱۰۰۲*۱۰$^{-۳}$
۳	۵	۱/۱۰۴۶*۱۰$^{-۳}$
۴	۷	۱/۱۰۹۱*۱۰$^{-۳}$

۶-۳ درون‌یابی خطی در زمان

داده‌های NCEP NCAR که در مـدت ۴۰ سـال دانلـود شـده‌اند برای ساعت‌های ۰۰۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ به وقـت گرینـویچ است. به همین دلیل در ساعت‌هایی کـه موقعیـت کشـتی در بـین این ساعت‌ها قرار می‌گیرد لازم اسـت درون‌یـابی در زمـان صـورت

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

گیرد. برای روشن‌شدن 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 قرارگرفته 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:

$$f(t) \approx \frac{t_2 - t}{t_2 - t_1} f(t_1) + \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} f(t_2), \qquad (۱۰)$$

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. $t - t_1$ 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 $f(t_1) = pressure(0600)$ همان مقدار فشار در ساعت ۰۶۰۰ و $f(t_2) = pressure(1200)$ مقدار فشار در ساعت ۱۲۰۰ است.

۳-۷ 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 طراحی‌شده به گونه ماژولار طراحی‌شده است تا به راحتی قابل توسعه باشد. در برنامه ماژولار یک برنامه اصلی تمامی ماژول ها 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 طراحی‌شده به تفکیک آورده شده است و در هر قسمت تابع نوشته‌شده 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 طراحی‌شده 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 نوشته‌شده است در شکل ۱۴ آورده شده است. توابع نوشته‌شده که برنامه اصلی به اجرا درآمده به‌صورت خلاصه عبارت‌اند از:

۱-۷-۳ 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.

۲-۷-۳ 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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

زیرا هرگونه اشتباه در ناوبری تخمینی روی مسیر دریانوردی منجر به نتایج اشتباه در مراحل بعدی خواهد شد. از معضل‌های این بخش این است که هرگونه اشتباه در این قسمت خطای قطع کننده برنامه را ایجاد نمی‌کند بلکه برنامه با نتایج اشتباه ادامه پیداکرده و موجب شکل‌گیری نتایج اشتباه در پایان محاسبات می‌شود. که جستجو برای یافتن ریشه خطای محاسباتی ایجادشده را بسیار مشکل می‌کند. 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 قرارگرفته و نتایج حاصل از برنامه مورد ارزیابی قرار گرفت تا اینکه درنهایت عملکرد درست برنامه از هر لحاظ مورد تائید نگارندگان قرار گرفت.

۳-۷-۳ درون‌یابی داده‌های هواشناسی روی نقاط تخمینی

در این مرحله با استفاده از نقاط ناوبری تخمینی حاصل از بخش قبلی، داده‌های هواشناسی روی این نقاط درون‌یابی می‌شوند. همان‌طور که قبلاً عنوان شد دو نوع درون‌یابی در مکان و در زمان برای این پژوهش انتخاب‌شده است. درون‌یابی در مکان مربوط به موقعیت مکانی نقاط تخمینی واحد شناور و درون‌یابی در زمان مربوط به زمان نقاط تخمینی است. برای درون‌یابی در مکان از درون‌یابی دوخطی استفاده‌شده است و برای درون‌یابی در زمان از روش درون‌یابی خطی استفاده‌شده است که در بخش‌های قبلی مبانی ریاضی هر دو روش با جزییات آورده شده است.

برای آزمایش نحوه عملکرد درون‌یابی داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی از داده‌های ثبت‌شده در یک سفر دریانوردی سال ۱۳۹۸ استفاده شده است. این سفر دریانوردی یک سفر دریانوردی آموزشی می‌باشد که برای دانشجویان علوم دریایی انجام می‌شود. در طول مدت سفر مقدار فشار، دما و سرعت و جهت باد در دفتر وضعیت جوی ثبت می‌شود. در ادامه به‌صورت خلاصه نحوه برداشت داده در سفر دریانوردی و مقایسه داده‌های برداشت‌شده با نتایج حاصل از این درون‌یابی آورده می‌شود.

۳-۷-۳-۱ مقایسه داده‌های حاصل از درون‌یابی با داده‌های سفر دریانوردی

در این بخش موقعیت نقاط چرخش مسیر رفت سفر دریانوردی سال ۱۳۹۸ از بندرعباس به جاکارتا در نرم‌افزار داده‌های هواشناسی در مسیر دریانوردی وارد شد. در شکل ۱۴ این نقاط در رابط کاربری نرم‌افزار داده‌های هواشناسی در مسیر دریانوردی وارد شده است. نرم‌افزار ضمن محاسبه مسیر دریانوردی و تعیین نقاط تخمینی روی مسیر دریانوردی، داده‌های هواشناسی را نیز روی این مسیر درون‌یابی کرده است. در شکل ۱۵ مسیر دریانوردی محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار آورده شده است.

نرم‌افزار داده‌های هواشناسی، اطلاعات مسیر را در فایلی در حافظه رایانه ذخیره می‌کند. برای این مسیر تعداد ۱۰ نقطه در رابط کاربری وارد شده است؛ درصورتی‌که نرم‌افزار تعداد ۱۲ مسیر را رسم کرده است. این حالت نشان می‌دهد که مسیر بندرعباس به جزیره سریلانکا و ازآنجا تا ورودی تنگه مالاکا به‌صورت مسیر دایره عظیمه در نظر گرفته‌شده و به‌صورت خودکار این دو مسیر به مسیرهای کوتاه‌تر ۶۰۰ مایلی شکسته شده است. لذا از ۱۰ مسیر ورودی تعداد ۱۲ مسیر حاصل‌شده است. نرم‌افزار به‌گونه‌ای تنظیم‌شده است که هر ۱۰ مایل یک نقطه را روی مسیر در نظر می‌گیرد. به همین دلیل تعداد نقاط در نظر گرفته‌شده 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 آرایه‌ای با ابعاد متفاوت ایجاد شود و هنگامی‌که باید اطلاعات تمامی مسیرها در یک آرایه دوبعدی ذخیره شود با عدم هماهنگی در تعداد اعضای هر آرایه روبرو می‌شویم. برای رفع این مشکل آرایه دوبعدی حاصل دارای تعداد ستون با اعضای بزرگ‌ترین مسیر است و آرایه‌های اضافی برای مسیرهایی که دارای تعداد اعضای کمتری هستند صفر در نظر گرفته‌شده است. برای اینکه خطای برنامه‌نویسی به حداقل کاهش یابد از یک آرایه برای نگه‌داری تعداد آرایه‌های هر مسیر استفاده شده است.

در جدول ۳ مقایسه بین داده‌های حاصل از نرم‌افزار با دفتر وضعیت جوی به‌صورت تصادفی برای روزهای فرد و ساعت‌های ۰۹۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۱۰۰ هرروز آورده شده است. مشاهده جدول ۳ با داده‌های حاصل از نرم‌افزار نشان می‌دهد که انطباق بسیار خوبی بین داده‌های حاصل از نرم‌افزار با داده‌های ثبت شده میدانی وجود دارد.

لازم است در ادامه یک نمونه از خروجی نرم‌افزار توضیح داده شود. این خروجی حاصل از برنامه رایانه‌ای در زیر آورده شده است:

```
rout 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
```

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

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

(rout 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.

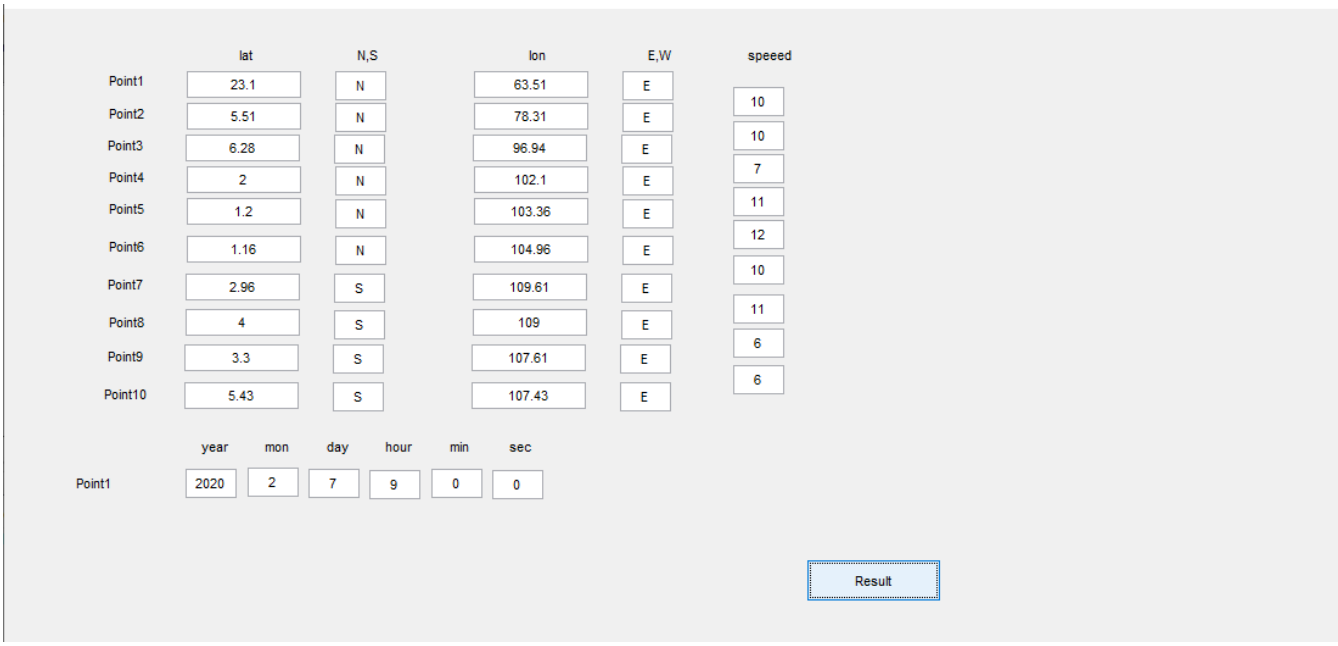
lat= 23.10 lon= 63.51 pressure= 1016.5 temp= 22.3 date= 07-Feb-2020 09:00:00

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.

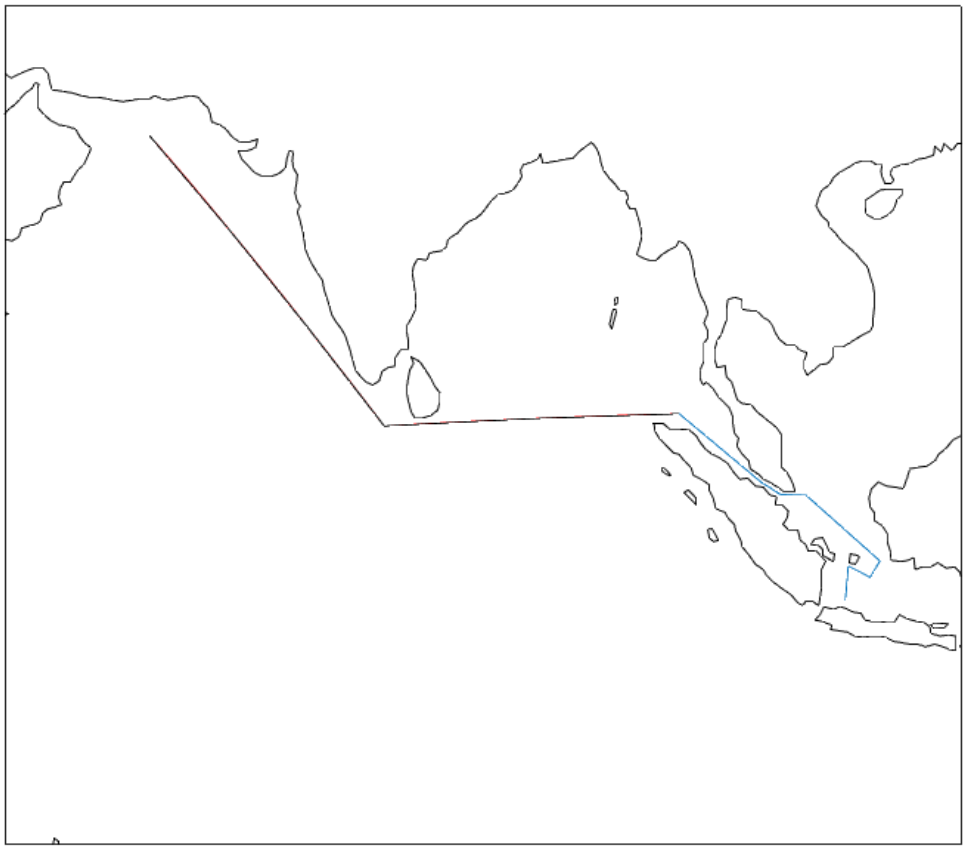
ب) جهت میانگین برحسب درصد باد برای جهت شمال (dire_N)، شمال شرق (dire_NE)، شرق (dire_E)، جنوب شرق (dire_SE)، جنوب (dire_S) ، جنوب غرب (dire_SW)، غرب (dire_W) ، شمال غرب (dire_ N) است.

ج) یکی دیگر از داده‌هایی که در این پژوهش معرفی و مورد استفاده قرارگرفته 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 تصوری 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.



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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]



شکل ۱۵- مسیر دریایی از بندرعباس به بندر جاکارتا.

جدول ۲. تعداد نقاط روی هر مسیر از بندرعباس به جاکارتا 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 نتیجه‌گیری

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] استفاده‌شده است. که از رابطه شکل‌گرفته در پژوهش طاهری (۱۴۰۰) [۲۱] برای ایجاد نقاط چرخش روی مسیرهای دایره عظیمه بهره گرفته‌شده 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 به‌صورت پیش‌فرض با استفاده از مسیریابی رامب لاین زاویه راه و مسافت بین نقاط چرخش محاسبه‌شده است. برای محاسبه راه و سرعت در این پژوهش از یک تابع به زبان متلب که توسط نگارنده نوشته‌شده است، استفاده گردید.

وجود برنامه‌ای که بتواند نقاط چرخش را از کاربر دریافت کرده و محاسبات ناوبری را به‌صورت خودکار انجام دهد ازجمله نوآوری‌های این پژوهش است. در حال حاضر سامانه عملیاتی که چنین محاسباتی را برای افسران نگهبان انجام دهد وجود ندارد و هیچ‌گونه نرم‌افزاری برای مصارف ناوبری تائید نشده است. البته نرم‌افزار و اپلیکیشن هایی که توانایی محاسبه ناوبری را دارند

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

وجـود دارد ولـی بـه دلیـل کاربردهـای نظـامی موقعیت‌یـابی و محاسـبات مربوطـه نمی‌تـوان بـه نرم‌افزارهـای آمـاده کـه توسـط گروه‌های مورد اعتماد برنامه‌نویسی نشده‌اند اعتماد کرد.

توسعه زیرساخت برای ورود برنامه‌نویسان بـه ایـن حوضـه و تهیـه 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 انتخـابی بـرای دریافـت داده‌هـای هواشناسـی، مرکـز NCEP-NCAR اسـت. داده‌های هواشناسی با تفکیک مکانی ۲/۵ درجه در راستای طول و عرض جغرافیـایی از ایـن سـایت دریافـت شـدند. داده‌هـای مـورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

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

با استفاده از داده‌های فشار، دمـا و سـمت و سـرعت بـاد می‌تـوان دیدگاه کاملی از مسیر روی دریانوردی را به دست آورد.

پس‌ازاینکه محاسبات مسـیر انجام‌شـده و داده‌هـای هواشناسـی از سایت مربوطه دریافت گردید. در ادامه در ایـن پـژوهش داده‌هـای هواشناسـی روی مسـیر دریـانوردی درون‌یـابی شـدند. درون‌یـابی داده‌های هواشناسی روی مسیر دریانوردی بر اساس نقطه تخمینی انجام‌شده است. لذا داده‌های اقلیم گذشته روی مسـیر دریـانوردی برای همان ساعت در ۴۰ سال گذشته در دسترس است.

در این پژوهش از دو نوع درون‌یابی در زمان و مکـان استفاده‌شـده است. در درون‌یابی زمـانی از درون‌یـابی خطـی و بـرای درون‌یـابی مکانی از درون‌یابی دوخطی استفاده‌شده اسـت. درون‌یـابی زمـانی مربوط به حالتی است که زمان ناوبری تخمینـی بـین سـاعت‌های اصلی ۰۰۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ قرارگرفته باشد. در این حالت با استفاده از درون‌یابی خطی مقدار کمیت هواشناسی بـرای دقیقـاً همان زمان در ۴۰ سال درون‌یابی انجام می‌شود.

در ایـن پـژوهش بـرای انجـام محاسـبات مسـیریابی از زبـان برنامه‌نویسی متلب استفاده‌شـده اسـت. زبـان برنامه‌نویسـی متلـب حاوی انواع گوناگون از توابع ریاضی برای انجام محاسـبات ریاضـی است که می‌تواند روند تحقیقـات نظـری را بسـیار سـاده کنـد. بـه همین دلیل این برنامه برای طراحی نرم‌افزار مسـیریاب مبتنـی بـر آب‌وهوای اقلیم گذشته انتخاب‌شده است.

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 ساعت۹	بمبی	۱۰۱۳	۲۴/۲	شمال	۱۲/۶	داده نرم‌افزار
	بمبی	۱۰۱۵		۰۵۰	۱۶-۲۵	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 ساعت۱۵	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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

۱۷ فوریه ساعت ۹	خلیج بنگال	۱۰۱۱	۲۶/۸	شمال شرق	۶/۷	نرم‌افزار
	خلیج بنگال	۱۰۱۳		۰۲۰	۱۳	دفتر وضعیت جوی
۱۷ فوریه ساعت ۹	خلیج بنگال	۱۰۱۱	۲۶/۸	شمال شرق	۶/۷	نرم‌افزار
	خلیج بنگال	۱۰۱۳		۰۲۰	۱۳	دفتر وضعیت جوی
۱۷ فوریه ساعت ۱۵	خلیج بنگال	۱۰۱۰	۲۶/۸	شمال-شمال شرق	۶/۸	نرم‌افزار
	خلیج بنگال	۱۰۱۱		۰۲۰	۱۵	دفتر وضعیت جوی
۱۷ فوریه ساعت ۲۱	جزایر سوماترا	۱۰۱۱	۲۵/۷	شمال-شمال شرق	۶	نرم‌افزار
	جزایر سوماترا	۱۰۱۰		۰۴۰	۱۸	دفتر وضعیت جوی
۱۹ فوریه ساعت ۹	جزایر سوماترا	۱۰۱۰/۷	۲۶/۲	شمال غربی	۲/۹	نرم‌افزار
	جزایر سوماترا	۱۰۱۲		۰۶۵	۱۶	دفتر وضعیت جوی
۱۹ فوریه ساعت ۱۵	جزایر سوماترا	۱۰۱۰/۵	۲۵/۴	شمال-شمال شرق	۲/۸	نرم‌افزار
	جزایر سوماترا	۱۰۰۹		۰۷۰	۲۲	دفتر وضعیت جوی
فوریه ۱۹ ساعت ۲۱	تنگه مالاکا	۱۰۱۱/۷	۲۳/۸	شمال- شمال شرق	۲/۳	نرم‌افزار
	تنگه مالاکا	۱۰۱۲		۱۰۰	۲۳	دفتر وضعیت جوی
فوریه ۲۱ ساعت ۹	تنگه مالاکا	۱۰۱۰/۲	۲۶/۶	شمال-شمال شرق	۹/۲	نرم‌افزار
	تنگه مالاکا	۱۰۱۳		۱۴۰	۵	دفتر وضعیت جوی
فوریه ۲۱ ساعت ۱۵	تنگه مالاکا	۱۰۱۰	۲۷	شمال-شمال شرق	۹/۸	نرم‌افزار
	تنگه مالاکا	۱۰۱۰		۲۳۸	۱۰	دفتر وضعیت جوی
فوریه۲۱ ساعت ۲۱	تنگه مالاکا	۱۰۱۰/۸	۲۶/۳	شمال غربی	۸	نرم‌افزار
	تنگه مالاکا	۱۰۱۲		۰۴۰	۲۵	دفتر وضعیت جوی
فوریه ۲۳ ساعت ۹	حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۱	۲۶/۴	شمال-شمال غربی	۸	نرم‌افزار
	حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۱		۰۱۰	۳۲	دفتر وضعیت جوی
فوریه ۲۳ ساعت ۱۵	حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۰	۲۶/۳	شمال-شمال غربی	۸	نرم‌افزار
	حوالی بندر جاکارتا	۱۰۰۸		۰۱۰	۱۳	دفتر وضعیت جوی
فوریه ۲۳ ساعت ۲۱	حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۰/۵	۲۵/۳	شمال-شمال غربی	۶/۸	نرم‌افزار
	حوالی بندر جاکارتا	۱۰۱۰		۱۲۰	۱۰	دفتر وضعیت جوی

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 ساخته‌شده است و تعداد اندکی از نرم‌افزارهای تخصصی و برنامه‌نویسی کتابخانه‌های لازم برای خواندن این فرمت را در اختیاردارند. ازاین‌رو 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 طراحی‌شده 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 به‌عنوان شروعی برای این جنبه از هواشناسی در دانش ناوبری اقیانوسی است.

در این پژوهش بر اساس نیازهای یک دریانوردی ایمن به داده‌های هواشناسی، از فن جدید و نوآورانه میانگین‌گیری ۴۰ ساله استفاده‌شده است. انواعی مختلف از روش‌های میانگین‌گیری ماهیانه، روزانه و ساعتی در این پژوهش انجام‌شده است. و درنهایت 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 قرارگرفته است، میانگین‌گیری ساعتی با فرض روزهای تقدم و تأخر است. برای مثال قصد داریم برای ساعت ۱۴۰۰روز 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 معرفی‌شده است و نشان داده‌شده است که با استفاده از این کمیت می‌توان مقدار واقعی باد در منطقه را با دقت و صحت زیاد پیش‌بینی کرد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]

۵ - مراجع

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., & Veleda, 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 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- Melluish, 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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.39.2.8]

[DOI: 10.61186/marineeng.19.39.12]