تحلیل الگوی مسیر ترافیک دریایی با استفاده از داده کاوی در خلیج فارس

مهدی ابراهیمی موینی[۱*]، مهدی شفیعی‌فر[۲]

[۱] کارشناسی ارشد سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، m_ebrahimi@modares.ac.ir
[۲] استاد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، shafiee@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

کلمات کلیدی:
تحلیل مسیر کشتیرانی
پیش‌پردازش
مدل خوشه‌بندی مسیر شناور
سیستم شناسایی خودکار AIS

چکیده

تحلیل مسیر کشتیرانی به منظور مدیریت ترافیک دریایی، به تجهیزاتی برای جمع‌آوری اطلاعات درباره رفتارهای کشتی بستگی دارد. بدین‌منظور، معتبرترین داده‌ها، داده‌های سیستم شناسایی خودکار (AIS) می‌باشند. پیچیدگی و حجم بالای داده‌های AIS، عملیات نظارت به‌صورت سنتی را بیشتر و تجزیه و تحلیل ترافیک دریایی را دشوارتر می‌کند. بنابراین یک رویکرد غیرنظارتی برای تبدیل موثر داده‌های خام AIS به الگوهای مسیر حمل و نقل دریایی منظم مطلوب است. مدل پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل مسیرهای حمل و نقل دریایی شامل ۴ بخش پیش‌پردازش داده‌های AIS، اندازه‌گیری شباهت ساختاری، خوشه‌بندی مسیر شناور و استخراج مسیر نماینده است. ارزیابی تجربی مدل پیشنهادی با داده‌های واقعی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مجموع از لحاظ بصری خوب عمل کرده و نتیجه مورد انتظار حاصل شده است. نتایج حاصله به درک بیشتر الگوهای مسیر حمل و نقل دریایی کمک کرده و مقامات دریایی را در مدیریت پایدار ترافیک دریایی کمک می‌کند.

The analysis of the pattern of maritime traffic trajectory using the data mining in the Persian Gulf

Mahdi Ebrahimi Mavini*[1], Mahdi Shafieefar[2]

[1] M.Sc.Department of Marine Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, m_ebrahimi@modares.ac.ir
[2] Prof., Department of Marine Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. shafiee@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 31 Jan. 2022
Accepted: 13 Jul. 2022

Keywords:
AIS
preprocessing
ship trajectory clustering model
shipping route analysis

ABSTRACT

Shipping route analysis for maritime traffic management depends on equipments to collect information about ship's behavior. For this purpose, the most reliable data is the Automatic Identification System (AIS) data. The complexity and high volume of AIS data enhances traditional surveillance operations and makes maritime traffic analysis more difficult. Therefore, an unsupervised approach is desirable for the effective conversion of raw AIS data into regular shipping route patterns. The proposed model for the shipping route analysis consists of four sections: AIS data preprocessing, structural similarity measurement, shipping route clustering and representative trajectory extraction. Experimental evaluation of the proposed model with real AIS data from the studied area shows that it has performed well visually and the expected result has been achieved. The results will contribute to better understanding of shipping route patterns and help maritime authorities in sustainable management of maritime traffic.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

۱ - مقدمه

همزمان با رشد سریع اقتصاد جهانی، حمل ونقل دریایی اهمیت بیشتری پیدا کرده است و امروزه حدود ۹۰ درصد از تجارت جهانی از لحاظ حجم و ۷۰ درصد از لحاظ ارزش از طریق دریا صورت می‌گیرد [۱]. عوامل اصلی برتری حمل و نقل دریایی بر سایر روش‌های حمل و نقل عبارتند از [۲]:

- ✓ هزینه پایین حمل و نقل کالا از طریق دریا
- ✓ حجم انبوه کالا
- ✓ وزن زیاد کالا
- ✓ انتقال سریع و بی‌خطر و به عبارت دیگر سلامت حمل کالا

با این حال حمل و نقل دریایی به عنوان یک روش نسبتا خطرناک شناخته می‌شود. با توجه به اطلاعات پایگاه داده مجتمع جهانی حمل و نقل (GISIS) صدها حادثه دریایی گزارش شده در سال ۲۰۱۷ رخ داده است. بنابراین اجرای رویه‌های کاهش خسارت دریایی و اطمینان از ایمنی و پایدار بودن محیط ترافیک دریایی اهمیت زیادی دارد. بر اساس طرح استراتژیک ۵ ساله (۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷) سازمان بین‌المللی دریایی (IMO)، ایمنی و امنیت دریایی به عنوان یک اولویت در مدیریت ترافیک دریایی تیدیل شده است. در بسیاری از رویدادهای دریانوردی، کسب دانش از منطقه کشتیرانی بصورت پیشاپیش و انتخاب مسیر حمل و نقل مطمئن برای امنیت ناوبری کشتی‌ها ضروری است. به طور سنتی، افسران عمدتا از طریق سیستم نمایش نمودار الکترونیکی یا سایر تجهیزات ناوبری، اطلاعات مربوط به سفر را به دست می‌آورند و تجربه شخصی دریانوردی خود را در ارزیابی عملکرد ناوبری لحاظ می‌کنند

با توسعه تکنولوژی، سیستم‌های نظارتی بسیار بیشتری در بندر و بر روی شناورها نصب شده‌اند تا سطح آگاهی موقعیتی و ایمنی دریایی تقویت شود. سیستم شناسایی خودکار (AIS) نوعی سیستم نظارت است. توالی جمع‌آوری شده از داده‌های مربوط به AIS می‌تواند شامل مسیر کشتی باشد. تجزیه و تحلیل مسیرهای کشتی، الگوهای حرکتی متداول را نشان می‌دهد و نمای کلی از ترافیک دریایی را ارائه می‌دهد. این دانش مربوط به مسیر حمل و نقل می‌تواند مرجع عملی‌تری نسبت به سایر تجربه‌های دریانوردی باشد. علاوه بر این، الگوهای کشف شده از داده‌های AIS می‌تواند از تصمیماتی برای توسعه پایدار ترافیک دریایی پشتیبانی کند. البته در این مسیر چالش‌هایی نیز وجود دارد که عبارتند از:

- بر خلاف وسایل نقلیه در خشکی که مسیر حرکتی محدودی دارند، شناورها در محیط دریا بصورت آزادانه در حال حرکت هستند. در واقع کانال‌های کشتیرانی توصیه شده‌ای برای شناورها وجود دارد، اما دشوار است که مسیر حرکتی معمولی را برای شناور تعریف کنیم.
- با توجه به اینکه داده‌های AIS هر چند دقیقه (معمولا بین ۱ تا ۵ دقیقه) مخابره می‌شوند، بنابراین حجم داده‌های AIS که باید پردازش شوند بسیار حجیم هستند. با این حجم بسیار بالای داده‌های AIS، تجزیه و تحلیل داده‌ها و همینطور روش ارزیابی داده‌ها بسیار سنگین می‌شود.

به منظور تحلیل مسیر ترافیک دریایی، یک رویکرد غیرنظارتی برای تبدیل کردن مؤثر داده‌های خام AIS به الگوهای مسیر کشتیرانی منظم، بسیار مطلوب است. علت بسیاری از حوادث دریایی این است که اپراتورها نمی‌توانند موقعیت‌های احتمالی شناورها در منطقه را پیش‌بینی کنند و بلافاصله با توجه به شرایط ترافیکی موجود واکنش نشان دهند. بنابراین برای نظارت بر ترافیک دریایی و مدیریت پایداری، یک راه حل خودکار و مؤثر برای کشف الگوهای حرکت کشتی و استخراج دانش مسیر حمل و نقل ضروری است. توسعه یک مدل مناسب می‌تواند چنین مسائلی را پیش‌بینی کند. در نهایت مدل پیشنهادی می‌تواند برای سیستم‌های هشداردهنده و راهنمای زودهنگام قبل از هرگونه وقایع خطرناک مورد استفاده قرار گیرد [۳].

سیستم شناسایی خودکار بر روی شناورها نصب می‌شود و بصورت دوره‌ای (در فواصل زمانی معین) پیام‌های مربوط به شناور را به مقامات دریایی ساحلی ارسال می‌کند. اطلاعات موجود در AIS را می‌توان مطابق شکل ۱ به سه دسته اصلی تقسیم نمود. هر یک از این دسته‌ها، خود دربرگیرنده چندین اطلاعات دیگر هستند. بدین‌ترتیب مجموعاً اطلاعات در هر مخابره از شناور ارسال می‌شوند [۷].

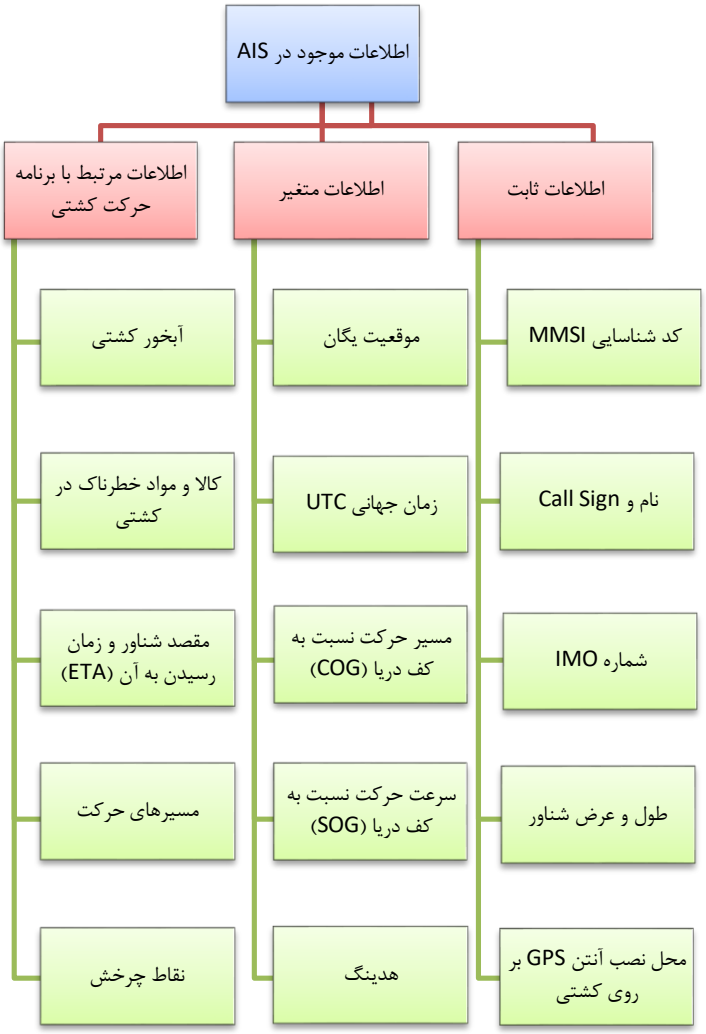
برخی از مزایای شناورهای مجهز به AIS عبارتند از: سهولت بیشتر در شناسایی شناورها، مبادله اطلاعات ضروری میان شناورها بطور خودکار، جلوگیری از برخورد شناورها به یکدیگر، کنترل ترافیک دریایی، تحقیقات و بازرسی حوادث، عملیات جست‌وجو و نجات، کمک ناوبری و ردیابی شناورها [۴].

۲ - مروری بر مطالعات گذشته

پیشرفت‌های اخیر در ماهواره‌ها و تجهیزات ردیابی مختلف، امکان جمع‌آوری تعداد زیادی از داده‌های مسیر اشیاء در حال حرکت را فراهم کرده است. به عنوان مثال می‌توان به داده‌های موقعیت خودرو، مسیر طوفان، حرکات حیوانات و موقعیت شناورها اشاره کرد. بسیاری از محققین علاقه زیادی به انجام تجزیه و تحلیل داده‌های مسیر دارند. بنابراین، یک الگوریتم خوشه‌بندی کارآمد برای مسیرها به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها ضروری است [۱۰].

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]



شکل ۱- اطلاعات موجود در AIS

بسیاری از تحقیقات تلاش زیادی برای تجزیه و تحلیل داده‌های مسیر کرده‌اند و برخی الگوریتم‌ها را به منظور استخراج الگوی حرکتی پیشنهاد کرده‌اند. برای یافتن روند حرکت معمول از داده‌های پیچیده مسیر، معمولاً باید مسیرهای مشابه را در یک خوشه قرار دهیم. یک روش خوشه‌بندی کلی برای نشان دادن مسیر با شباهت بردارهای ویژگی استفاده می‌شود. با این وجود ایجاد معیاری واحد برای مسیرهای مختلف کار ساده‌ای نیست، زیرا مسیرهای مختلف شامل ویژگی‌های مختلف و پیچیده‌ای هستند. به طور کلی، الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌توانند به چهار دسته تقسیم شوند: ۱. روش‌های جزءبندی (مانند K-means) ۲. روش‌های سلسله‌مراتبی (مانند BIRCH) ۳. روش‌های مبتنی بر تراکم (مانند DBSCAN [۲۵]) ۴. روش‌های مبتنی بر شبکه (مانند STING). گافنی و اسمیت [۱۲] با استفاده از یک مدل ترکیبی رگرسیون و الگوریتم امید ریاضی- بیشینه‌سازی، گروه‌بندی مسیرهای مشابه در خوشه‌ها را پیشنهاد داد. مواجه شدن با همه مسیرها ممکن است باعث از دست رفتن ویژگی‌های مشترکی در زیرمسیرها شود. در مواجهه با این چالش می‌توان مسیرها را با روش‌هایی مناسب این نوع خاص داده ساده‌سازی کرد و به جای در نظر گرفتن کلّ هر مسیر به عنوان واحد داده، مسیرها را به قسمت‌های تشکیل دهندهٔ آن‌ها تقسیم کرد. بنابراین، Lee و همکاران [۱۰] چارچوبی برای تقسیم مسیرها به قطعه‌های کوچک پیشنهاد دادند و سپس گروه‌هایی از قطعه مسیرهای نزدیک به هم را با استفاده از فاصله مسیر هاسدورف در خوشه‌ها قرار دادند. سپس یک مسیر نماینده برای هر خوشه پیدا شد. از آنجا که داده‌های مسیر اغلب به صورت افزایشی دریافت می‌شدند، Li و همکاران [۹] یک الگوریتم خوشه‌بندی افزایشی، با هدف کاهش هزینه محاسباتی و ذخیره‌سازی داده‌های مسیر دریافت شده، پیشنهاد کردند. در حوزه دریایی، نور و همکاران [۱۳] برای مقایسه ویژگی‌های مسیرهای کشتی مانند نقاط شروع و پایان، جهت و سرعت، اندازه‌گیری شباهت را اعمال کردند. فاصله شباهت بین دو مسیر با نمره مجموع بردارهای ویژگی اندازه‌گیری شد. بومبرگر و همکاران [۱۴] کل منطقه مورد نظر را به شبکه‌های مکانی مختلفی تقسیم کردند و از روش مبتنی بر شبکه برای کشف الگوهای حرکت کشتی برای آگاهی از موقعیت دریایی استفاده کردند. دهلبوم و نیکلاسون [۱۵] یک روش خوشه بندی مبتنی بر چگالی را معرفی کردند تا نمایانگر رفتار کشتی معمولی برای نظارت ساحلی باشد. ترافیک مورد بررسی قرار گرفت و مسیرهای شناورهای ردیابی شده بیشتر جهت حفظ دانش و درک نمایشی از روند طبیعی حرکات پردازش شدند. آسلاندر و همکاران [۱۶] فرض کردند که انواع مختلفی از ترافیک دریایی با سطوح مختلف پیچیدگی توصیف می‌گردد و دو الگوریتم تشخیص ناهنجاری جهانی و محلی ارائه می‌شود که عملکرد آن‌ها بسته به نوع ترافیک دریایی متفاوت است. وسپه و همکاران [۱۷] الگوریتم چگالی نقطه مسیر را برای اهداف زیر پیشنهاد کردند: (نقطه مسیر، یک نقطه یا مکان واسط در مسیر یا خط سفر است، در واقع یک نقطه توقف یا نقطه‌ای که در آن جهت کشتی تغییر می‌یابد.)

- فشرده‌سازی حجم زیادی از داده های AIS در لیستی از نقاط مسیر کافی.
- ترسیم خطوط دریایی و متعاقباً مسیرها از طریق مجموعه‌ای از خطوط اتصال به نقاط مسیر.

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

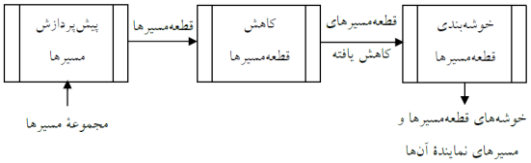
پالوتا و همکاران [۱۸] به منظور خوشه‌بندی مسیر کشتی به شیء مسیر، شیء نقطه مسیر و جسم ثابت و هم‌چنین ساختن چارچوبی برای تشخیص رفتار غیرعادی و پیش‌بینی حرکت کشتی، یک الگوریتم معمولی براساس چگالی پیشنهاد دادند. بو لیو و همکاران [۱۹] روش را با اطلاعات مربوط به سرعت و جهت کشتی توسعه دادند. همچنین در این تحقیق قوانین IMO را در نظر گرفتند. این روش می‌تواند نواحی در حال حرکت و توقف را شناسایی کرده و مرکز نماینده منطقه خوشه‌بندی شده را استخراج کند. Spaccapietra [۲۰] مدلی برای استدلال در مورد مسیرها تحت عنوان روش توقف و حرکت معرفی کرد. هم‌چنین در تحقیق انجام شده توسط وسپه و همکاران [۱۷] و پالوتا و همکاران [۱۸] به منظور تجزیه و تحلیل مسیرهای دریایی از روش توقف و حرکت استفاده شده است. مقدار آستانه سرعت، وجه تمایز الگوهای توقف و حرکت است. Lei [۲۱] الگوهای سفر دریایی توسط کشتی را با در نظر گرفتن ویژگی‌های مکانی، دنباله‌ای و حرکتی کشتی‌ها مدل‌سازی کرد و یک شاخص ترکیبی از امتیازات پرت برای تشخیص رفتار غیر عادی کشتی تعریف کرد. برای شناسایی مؤثر منطقه پر رفت و آمد، یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر شبکه ایجاد کرده و دو پارامتر برای تعیین اندازه سلول و کاهش مشکل از دست دادن تعیین کرده است. ژن و همکاران [۲۲] رویکرد جدیدی را برای تشخیص ناهنجاری‌های دریایی بر اساس ترکیبی از خوشه بندی مسیر کشتی و دسته‌بندی کننده ساده بیز تدوین کردند. در فرآیند خوشه‌بندی مسیر کشتی، اندازه‌گیری تشابه ساختار برای حل مشکل در تشابه مکانی و جهتی معرفی شد، در حالی که پارامترهای ترکیبی بهینه بصورت کمی به دست آمد. مسیرها شامل بسیاری از نقاط هستند و معمولاً روی خط مستقیمی قرار نگرفته‌اند. بنابراین، روش‌های اندازه‌گیری فاصله بین نقاط به سادگی نمی‌تواند به‌طور مستقیم برای اندازه‌گیری فاصله بین مسیرها مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم‌های خوشه‌بندی کنونی همگی بر اساس نقاطی هستند که به‌طور مستقیم برای خوشه‌بندی مسیر قابل استفاده نیستند. بنابراین، وِن لیو و همکاران [۵]، یک ادغامی بین مقیاس‌گذاری چندبعدی (MDS) و الگوریتم DBSCAN بهبودیافته برای درک مسیرهای کشتی بر اساس بازنمایی از نقاط منتخب پیشنهاد کردند. روش ارائه شده به روشنی می‌تواند اطلاعات مربوط به مسیرهای مختلف کشتی را از یکدیگر متمایز کند.

با توجه به ماهیت نویزدار بودن داده‌های مسیر و نیز یکسان و منظم نبودن شکل خوشه‌های مربوط به آن‌ها، روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی بهترین انتخاب برای این نوع داده‌ها به نظر می‌رسند[۱۰].

در بین تمام این مطالعات به نظر می‌رسد رویکردهای بکارگرفته شده توسط وسپه و همکاران [۱۷] و بو لیو و همکاران [۱۹] برای کاوش داده‌های مسیر AIS مناسب‌تر هستند. با این حال، رویکردهای موجود در مناطق با تراکم بالای کشتی‌ها خوب عمل نکرده‌اند، زیرا آن‌ها داده‌های مسیر را پیش‌پردازش نکردند که شامل بخش‌بندی داده‌ها یا فشرده‌سازی به منظور انتخاب مهم‌ترین داده‌ها می‌شود. بعلاوه، این رویکردها فقط عامل خوشه‌بندی محلی را تعیین می‌کنند و نمی‌توانند کل داده‌ها با ویژگی‌های مختلف را خوشه‌بندی کنند.

۳- روش انجام مطالعات

چارچوب پیشنهادی شامل چهار فاز است: پیش‌پردازش، اندازه‌گیری شباهت ساختاری، خوشه‌بندی و استخراج مسیر نماینده. در شکل ۲ شمایی از این چارچوب مشاهده می‌شود. در فاز پیش‌پردازش، ابتدا هر مسیر به زیرمسیری ساده‌تر با تعداد نقاط کمتر تخمین زده می‌شود و سپس قطعه‌مسیرهای تشکیل‌دهندهٔ مسیرهای تخمین‌یافته استخراج می‌شوند. در فاز اندازه‌گیری شباهت ساختاری، از تعداد قطعه‌مسیرهای حاصل از فاز اول با استفاده از سه تابع فاصله مکانی، جهتی و سرعت، میزان شباهت بین قطعه مسیرها به‌دست می‌آید. در فاز خوشه‌بندی، قطعه مسیرها بر اساس یک الگوریتم مبتنی بر چگالی خوشه‌بندی می‌شوند. در انتها نیز مسیرهای نماینده از هر خوشه استخراج می‌شود.



شکل ۲- چارچوب پیشنهادی برای خوشه‌بندی مسیر شناورها

تعداد و محتوای داده‌های AIS که مخابره می‌شود بسیار زیاد است، اما در این پژوهش به باارزش‌ترین خصیصه‌های داده‌های AIS نیاز است. بنابراین از داده‌ی MMSI به عنوان شاخص هر کشتی استفاده گردید و بر اساس آن مرتب‌سازی داده‌ها انجام گرفت. حداقل اطلاعات برای کشف مسیر حمل و نقل، موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی) کشتی است. به منظور دست‌یابی به اطلاعات بیشتر در مورد مسیرهای کشتی، تلاش شد تا خطوط جهت‌یابی‌شده در جهت‌های مخالف تمایز داده شود که برای این منظور، مسیر حرکت نسبت به کف دریا (COG) به مدل معرفی شد. از آنجا که در این تحقیق، شناسایی مولفه سرعت اهمیت داشت، ویژگی دیگری با عنوان سرعت حرکت نسبت به کف دریا (SOG) در نمای مسیر گنجانده شد. در نهایت مسیر شناور توسط فرمول زیر نمایش داده می‌شود (رابطه ۱):

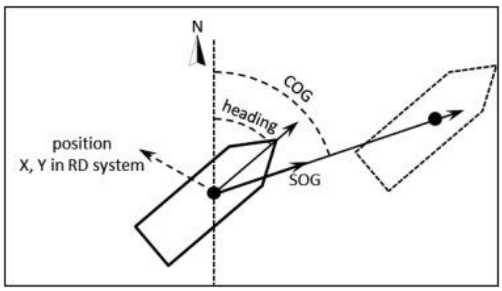
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

$$T_i = (TSp_{t1}p_{t2}.\cdots.TSp_{t_{m-1}}p_{t_m})^i = (P_{t_1}.P_{t_2}.\cdots.P_{t_m})^i = [x.y.\vartheta.\omega]_{t_m}^i \quad (۱)$$

جایی که T_i نمایانگر کل مسیر است، i نشان‌دهنده MMSI شناور و $TSp_{t_i}p_{t_j}$ نشان‌دهنده قسمتی از مسیر است. P_{t_m} نقطه مکانی در زمان t_m بوده که شامل خصیصه‌های برداری $P_{t_m} = [x.y.\vartheta.\omega]_{t_m}$ است. (x, y) طول و عرض جغرافیایی بوده، ϑ نشان‌دهنده سرعت و ω زاویه حرکت شناور می‌باشد.

مسیر حرکت نسبت به کف دریا (COG)، به زاویه‌ای گویند که قطب شمال در جهت عقربه‌های ساعت با مسیر حرکت شناور می‌سازد. در ترافیک دریایی جهت حرکت شناورها را با این زاویه می‌سنجند که اغلب تحت تأثیر جریان هوایی در دریا می‌باشد. هم‌چنین قابلیت مانور شناورها نیز با تغییر سرعت تغییر می‌کند. پارامتر سرعت شناور را با سرعت حرکت نسبت به کف دریا (SOG) نمایش می‌دهند. در شکل ۳ مسیر حرکت نسبت به کف دریا، سرعت حرکت نسبت به کف دریا و زاویه heading شناور نمایش داده شده است.



شکل ۳- نمایش COG, SOG و heading شناور

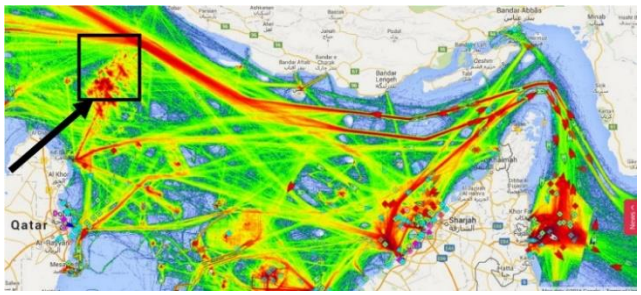
۳-۱-داده‌های AIS منطقه مورد مطالعه

داده‌های AIS در دسترس، داده‌های منطقه‌ای در خلیج فارس بین بندر عسلویه و کشور قطر است که برای ۳ ماهه اول سال ۲۰۱۵ با دقت ۵ دقیقه هستند. مساحت تقریبی منطقه مورد مطالعه ۲۸۰۰ کیلومتر مربع (۳۰ مایل دریایی در ۲۸,۵ مایل دریایی) است. در ادامه نمایی از منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- منطقه مورد مطالعه خلیج فارس

اساس انتخاب این منطقه، نقشه مجموع ترافیک عبوری از خلیج فارس در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بوده که در شکل ۵ نشان داده شده است. مناطق قرمز رنگ در نقشه، پرترددترین مناطق می‌باشند. نزدیکی به مناطق پرتردد و منطقه عسلویه، مهم‌ترین عوامل این انتخاب بوده‌اند. به‌علاوه اینکه تانکرهای حامل مواد نفتی و مشتقات آن، سهم زیادی از ترکیب ترافیکی منطقه مورد نظر را به خود اختصاص می‌دهند (به شکل ۶ رجوع شود). این نوع از شناورها، به دلیل پیامدهای محیط‌زیستی در صورت بروز سانحه از اهمیت بالایی در تحلیل ترافیک برخوردار می‌باشند. اکثر داده‌های منطقه مورد مطالعه در منطقه پارس جنوبی و میدان گازی قطر واقع شده است و هم‌چنین دو میدان نفتی الشب و الریان نیز در منطقه برگزیده وجود دارد که در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- ترافیک عبوری منطقه مورد مطالعه

استخراج الگوی ترافیک دریایی به دلایل زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد[6]: دانش ترافیکی برای اپراتورها، تشخیص ناهنجاری بر مبنای قانون، مدل‌های کشتی برای مدل سازی و برنامه های شبیه سازی، دسته‌بندی و ردیابی مبتنی بر دانش و پیش‌بینی تراکم ترافیکی شناورها.

۳-۲- پیش‌پردازش داده‌های AIS

پیش‌پردازش داده‌ها بصورت کلی شامل موارد زیر است [23]:

۱. پاک‌سازی داده‌ها: حذف یا جایگزینی مقادیر ناموجود (گم شده) و داده‌های نویزدار (چک کردن داده تکراری، توالی و null بودن) و تحلیل داده‌های پرت با استفاده از خوشه‌بندی

۲. کاهش داده‌ها: کاهش حجم داده‌ها و تعداد ویژگی‌ها "حذف ویژگی‌هایی از داده‌ها (نام شناور، شماره IMO، زاویه هدینگ، عمق آبخور و...) و حذف داده‌های شناورهای بجز شناور کالابر عمومی"

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

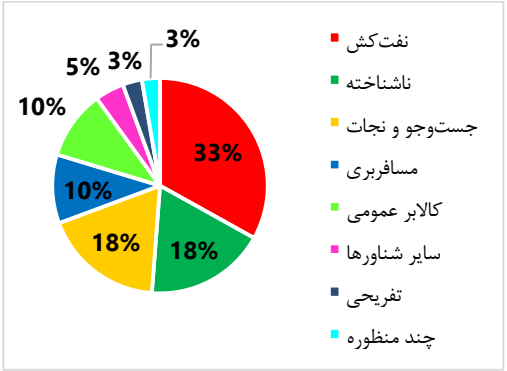
۳. تبدیل داده‌ها: نرمال‌سازی (بی‌اثر کردن واحدهای اندازه‌گیری متفاوت) "نرمال‌سازی روابط مربوط به فاصله مکانی، جهتی و سرعت شناورها"
۴. درونیابی داده‌ها: (فاصله زمانی > ۵ دقیقه) "در صورتی که فاصله زمانی بین دو نقطه از مسیر بیش از ۵ دقیقه باشد، نیاز به درونیابی وجود دارد."

کشتی‌ها همیشه از الگوهای حرکتی متفاوتی در مناطق مختلف پیروی می‌کنند. به عنوان مثال، کشتی‌های کالابر عمومی ممکن است در خطوط مستقیم با سرعت بالا در وسط دریا حرکت کنند، در حالی که ممکن است مرتباً مسیرهای خود را با سرعت کم در مناطق بندر یا سکوی دریایی تنظیم کنند. در چارچوب کار این پژوهش، از روش توقف و حرکت برای استخراج الگوهای حرکتی از مجموعه داده AIS تاریخی با آستانه توقف سرعت ۰٫۵ گره دریایی استفاده شده است.

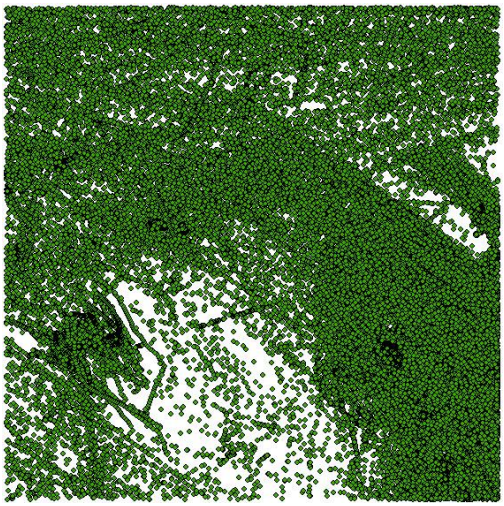
۳-۲-۱- انتخاب نوع شناور

داده‌های AIS منطقه مورد مطالعه در خلیج فارس شامل ۱۸۵۲۸۷ رکورد موقعیت شناور و ۱۸ ویژگی منحصربه‌فرد است که برای ۶۲۴ شناور متفاوت می‌باشد. در

شکل ۶ انواع شناورهای عبوری در منطقه مورد مطالعه به همراه درصد فراوانی نشان داده شده است. طبق شکل، نفت‌کش‌ها با ۳۳٪ بیشترین سهم شناورها را در منطقه مورد مطالعه دارند و در رتبه‌های بعدی به‌ترتیب شناور ناشناخته، جست‌وجو و نجات، مسافربری، کالابر عمومی و ... قرار دارند. هم‌چنین به منظور درک بهتر از داده‌ها، موقعیت مکانی کل داده‌های AIS در محدوده منتخب که شامل همه‌ی شناورها می‌باشد، در شکل ۷ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۷ نیز مشاهده می‌شود در ابتدا هیچ الگوی خاصی را نمی‌توان از این داده‌ها استخراج کرد و باید بخش پیش‌پردازش داده‌ها به‌خوبی انجام شود تا بتوان از این مجموعه داده الگوی ترافیکی خاصی را استخراج کرد.



شکل ۶- انواع شناورهای عبوری



شکل ۷- نمایش موقعیت جغرافیایی کل داده‌های AIS در محدوده منتخب

نکته قابل توجه این است که انواع شناورها در یک منطقه‌ی یکسان سرعت‌های متفاوتی دارند. برای مثال شناور کالابر عمومی می‌تواند نسبت به کشتی‌های ماهی‌گیری سریع‌تر باشد. حتی یک نوع شناور خاص نیز می‌تواند رفتار متفاوتی در ارتباط با جهت حرکت داشته باشد. یک شناور نفت‌کش را تصور کنید که مسافت بین دو کشور را طی می‌کند. زمانی که شناور پر باشد دارای سرعت کمتری است نسبت به زمانی که شناور خالی باشد. بنابراین به منظور بررسی بیشتر مسیر ترافیک دریایی لازم است تا یک نوع شناور خاص انتخاب گردد و تحلیل‌های مربوطه بر روی آن نوع شناور صورت پذیرد.

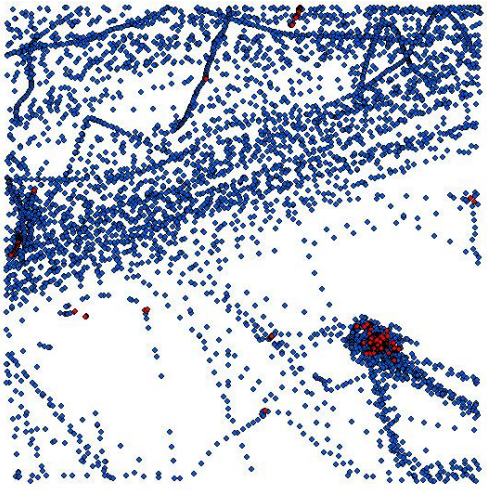
کشتی باری نوعی کشتی تجاری محسوب می‌شود که محموله، بار و مواد مختلف را از بندری به بندر دیگر جابه‌جا می‌کند. کشتی‌های باری بخش عمده‌ای از تجارت بین‌المللی را به عهده دارند.

با توجه به مطالب گفته شده و اهمیت بالای شناور کالابر عمومی، این شناور به عنوان شناور مورد نظر انتخاب می‌گردد. تقریبا ۱۰ درصد از کل شناورهای عبوری در این بازه سه ماهه از منطقه مورد مطالعه به این شناور اختصاص دارد.

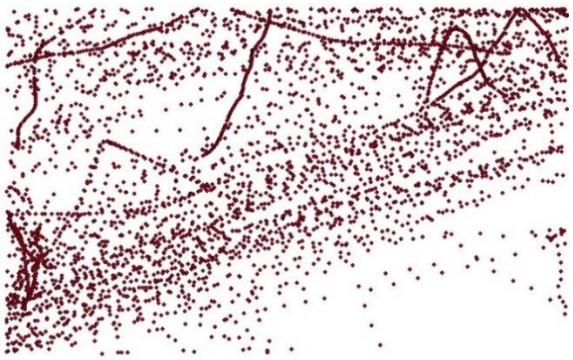
شناورهای کالابر عمومی شامل ۱۸۰۴۶ رکورد داده بوده که هر کدام دارای ابعاد مختلفی می‌باشند. از این تعداد، ۱۲۹۰۶ رکورد داده دارای سرعت کمتر از ۰٫۵ نات می‌باشد (هر نات معادل ۰٫۵۱۴ متر بر ثانیه و ۱٫۸۵۲ کیلومتر بر ساعت است). شکل ۸ که برگرفته از نرم‌افزار Arc map است، موقعیت این شناورها را نشان می‌دهد. با توجه به روش توقف و حرکت، با حذف رکورد داده‌های دارای سرعت کمتر از ۰٫۵ نات (داده‌های توقف) تعداد ۵۱۴۰ رکورد داده (داده‌های در حال حرکت) باقی می‌ماند. اما این پایان کار نبوده و قسمتی از داده‌ها که در قسمت جنوبی منطقه منتخب بودند به دلیل وجود سکوی نفتی حذف شدند. در نهایت تعداد ۳۸۰۶ رکورد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

داده AIS باقی ماند که مدل‌سازی شناور بر اساس این داده‌ها انجام گرفت. در شکل ۹ موقعیت مکانی شناورها پس از در نظر گرفتن حد آستانه سرعت و حذف داده‌های متعلق به سکوی نفتی مشخص شده‌اند.



شکل ۸- موقعیت شناورهای کالابر عمومی (نقاط آبی و قرمز رنگ به ترتیب دارای سرعت بیشتر و کمتر از ۰،۵ نات هستند.)



شکل ۹- موقعیت شناورهای کالابر عمومی دارای سرعت بیشتر از ۰،۵ نات و حذف موقعیت سکوی نفتی

در شکل ۹ موقعیت مکانی ۱۱۷ شناور با MMSI منحصربه‌فرد وجود دارد. مسیرهای کوتاه و ناقص در مدل خوشه‌بندی خوب عمل نکرده و اختلال ایجاد می‌کند. با توجه به بررسی انجام گرفته بر روی داده‌های AIS و مرتب‌سازی آن‌ها بر حسب MMSI شناورها و نمایش آن‌ها در نرم‌افزار Arc Map می‌توان دریافت که برای طی کردن یک مسیر کامل در منطقه مورد مطالعه حداقل به ۱۰ داده نیاز است. بنابراین با توجه به MMSI، شناورهای با کمتر از ۱۰ داده حذف شدند و نزدیک به ۱۰۰ شناور باقی ماندند. در ادامه بررسی روی تعداد موقعیت مکانی شناورهای باقی‌مانده صورت می‌گیرد.

۳-۲-۲- انتخاب شاخص‌ترین نقاط مسیر

هدف از اجرای فاز پیش‌پردازش، ساده‌سازی مجموعهٔ مسیرها و تشکیل مجموعهٔ قطعه‌مسیرهای تشکیل‌دهندهٔ آنها است. علاوه بر آن، به منظور کاهش زمان محاسباتی و بهبود کارآیی مدل، ابتدا لازم است تا داده‌های مسیر پردازش شوند و شاخص‌ترین نقاط را برای نشان دادن مسیر اصلی انتخاب کرد. طبق مرجع Lee و همکاران [12] دو معیار اصلی خودآگاهی و دقت برای انتخاب نقاط نماینده مسیر وجود دارد. خودآگاهی بدین معنا است که تعداد نقاط مسیر انتخاب شده باید تا حد امکان کم باشد. دقت بدین معنا است که مسیر پردازش شده تا حد امکان باید شکل و ویژگی‌های مسیر اصلی را حفظ نماید. در اینجا به منظور رسیدن به موارد خواسته شده از دو اصل برای انتخاب داده‌های مسیر AIS بهره گرفته شده است.

ابتدا شاخص‌ترین نقاط تشکیل‌دهنده‌ی هر مسیر شناور بر اساس رابطه ۲ و ۳ (جهت و سرعت شناور) انتخاب گردیدند که این نقاط را نقاط غالب گویند. در ادامه روابط مربوطه آورده شده است. به منظور درک بهتر روابط ذکر شده به شکل ۱۳ رجوع شود.

$$CRC = \frac{\left|\omega_{p_{t_m}} - \omega_{p_{t_n}}\right|}{t_m - t_n} \qquad (۲)$$

در واقع CRC نرخ تغییر COG است. $\omega_{p_{t_m}}$، مقدار COG در محل P_{t_m} است. t_m نیز نشان‌دهنده زمان است. در رابطه (۳) CRS نرخ تغییر SOG است و $\vartheta_{p_{t_m}}$، مقدار SOG در محل P_{t_m} است.

$$CRS = \frac{\left|\vartheta_{p_{t_m}} - \vartheta_{p_{t_n}}\right|}{t_m - t_n} \qquad (۳)$$

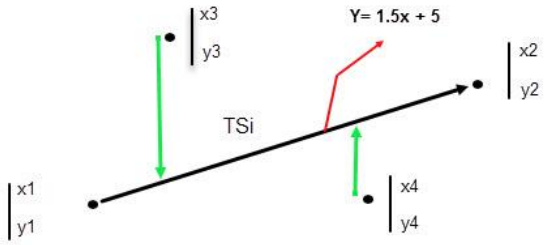
برای دو نرخ تغییرات فوق یعنی CRC و CRS، دو حد آستانه در نظر گرفته شد که به‌ترتیب عبارتند از α و β. اگر نرخ تغییرات نقاط مسیر بر اساس دو شاخص فوق بیشتر از حدآستانه‌های تعریف شده باشد، این بدان معناست که تغییرات سرعت و زاویه شناور در این نقاط زیاد بوده و تاثیر قابل توجهی در مسیر عبوری توسط شناورها خواهد داشت. بنابراین این نقاط را نگه داشته و سایر نقاط را حذف می‌کنیم. برای تخمین یک مسیر، زائدترین نقاط آن به صورت تکراری حذف می‌شوند. منظور از زائدترین نقطه، نقطه‌ای است که در صورت حذف آن کمترین اختلاف با مسیر اصلی ایجاد شود. این نقطه همواره از نقاط میانی مسیر انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر، نقاط ابتدا و انتهای مسیرها هرگز حذف نمی‌شوند.

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

تا بدینجا شاخص‌ترین نقاط (نقاط غالب) بر اساس مقایسه نرخ تغییرات سرعت و زاویه با حدآستانه‌های در نظر گرفته α و β بدست می‌آیند، اما ممکن است الزامات دقت برآورده نشود. زیرا معیار شکل مسیر در حدآستانه‌های فوق در نظر گرفته نشده است. بنابراین می‌توان از اصل حداقل طول توصیفی استفاده کرد تا شکل مسیر به اندازه ممکن حفظ شود و از تغییر مسیر اصلی جلوگیری شود. برای درک بهتر تأثیر پارامتر حداقل طول توصیفی و طریقه انتخاب آن به شکل ۱۲ رجوع شود. به همین منظور فاصله بین نقاط انتخاب نشده و بخش مسیر برگزیده اندازه‌گیری می‌شود و با پارامتر حدآستانه λ مقایسه می‌گردد. اگر این فاصله از حدآستانه تجاوز کرد، نقاط انتخاب نشده به عنوان مجموعه داده‌های برگزیده انتخاب می‌شوند.

فرض می‌شود در شکل ۱۰ دو نقطه ۱ و ۲ تحت عنوان نقاط برگزیده انتخاب شده‌اند و دونقطه ۳ و ۴ با توجه به حدآستانه زاویه و سرعت شناور (α و β) حذف شده‌اند. برای در نظر گرفتن پارامتر حدآستانه λ ، بین دو نقطه ۳ و ۴ و پاره‌خط TSi باید بررسی انجام شود و مقدار x3 و x4 را در معادله خط TSi قرار داد. با این‌کار تصویر نقاط ۳ و ۴ روی پاره‌خط TSi به دست می‌آید. سپس مقدار فاصله اقلیدسی نقاط ۳ و ۴ را از تصویر خودشان محاسبه کرده که در شکل با فلش سبز رنگ نمایش داده شده است و با پارامتر λ مقایسه می‌شود. اگر مقدار فاصله از پارامتر حدآستانه بیشتر شد آن نقطه به مجموعه نقاط انتخاب شده اضافه می‌گردد. در این‌جا مقدار فاصله اقلیدسی بین نقاط ۳ و ۴ با تصویر خودشان را حداقل طول توصیفی گویند.

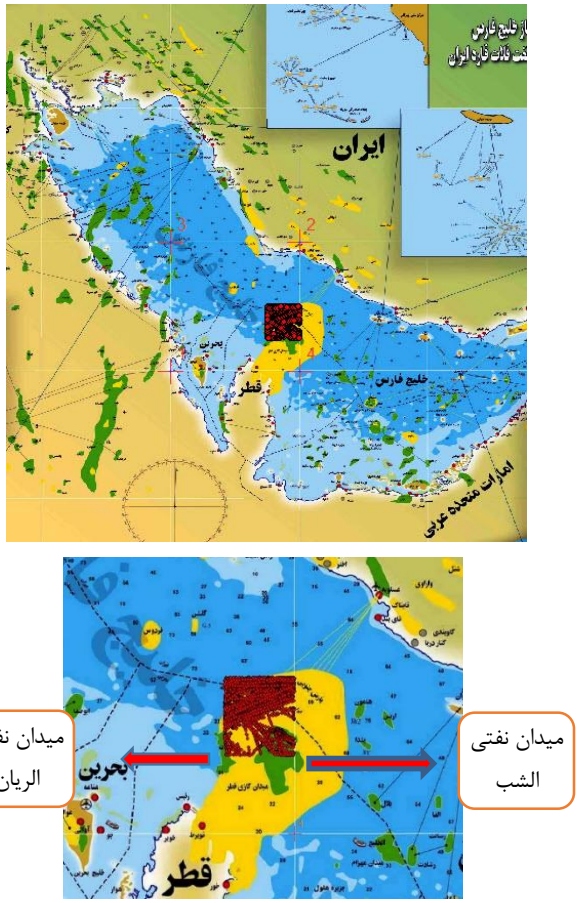


شکل ۱۰- نمایش پارامتر حداقل طول توصیفی

۳-۲-۳- توصیف داده مورد استفاده

داده‌های AIS مورد استفاده در این پژوهش داده سه ماهه شناور کالابر عمومی از ۱ ژانویه ۲۰۱۵ تا ۳۰ مارس ۲۰۱۵ می‌باشد. تعداد کل داده‌های موجود شناور کالابر عمومی در این محدوده ۳۵۰۰ نقطه است که با توجه به طولانی بودن زمان محاسباتی برای خوشه‌بندی این تعداد داده، به اجبار از تعداد نقاط کاسته شد. محاسبات انجام شده بر روی ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ نقطه از داده‌های شناور کالابر عمومی انجام گرفت. روش انتخاب این تعداد داده از مجموع داده‌ها بر اساس MMSI شناور صورت پذیرفت.

به منظور نمایش بهتر داده‌های AIS از تصویر میادین نفتی و گازی خلیج‌فارس استفاده شده است. هم‌چنین از نرم‌افزار Arc map برای زمین مرجع کردن موقعیت مکانی داده‌ها روی تصویر میادین نفتی و گازی استفاده شد. در شکل ۱۱ موقعیت داده‌های AIS شناور کالابر عمومی و محدوده‌های اطراف آن کاملا مشخص است. بطور کلی داده‌های مورد استفاده بین بندر عسلویه در ایران و کشور قطر قرار گرفته‌اند. بخشی از داده‌های موردنظر در میدان گازی ایران (پارس جنوبی) و بخشی دیگر در میدان گازی قطر (گنبد شمالی) واقع شده است. هم‌چنین بخشی از داده‌ها که در قطر واقع شده است در دو میدان نفتی الشب و الریان می‌باشد. به دلیل اینکه اکثر داده‌ها در اطراف این دو میدان نفتی، سرعت نزدیک به صفر داشتند این قسمت از داده‌ها حذف گردید تا مدل خوشه‌بندی مسیر شناور بهتر پاسخگو باشد و نتایج ملموس‌تر باشد.



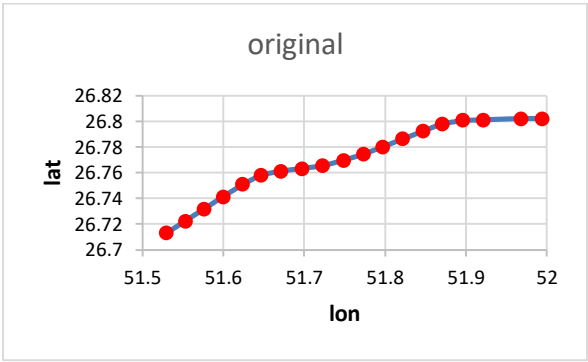
شکل ۱۱- ژئورفرنس کردن داده‌های AIS روی تصویر میادین نفتی و گازی خلیج‌فارس

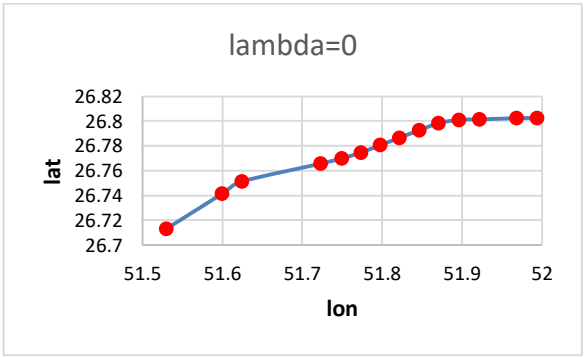
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]

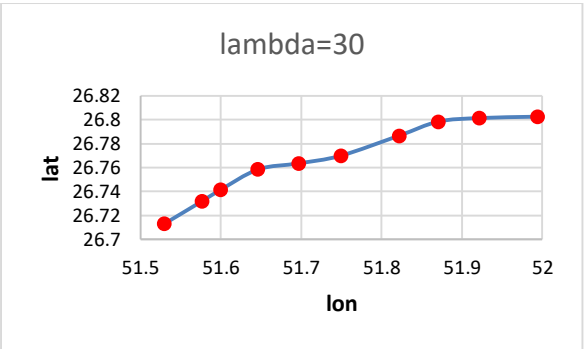
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

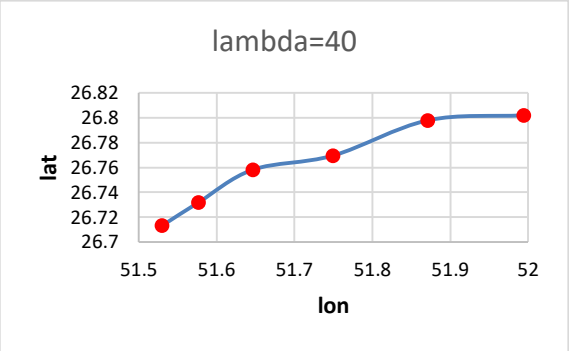
۳-۲-۴- انتخاب پارامترهای پیش‌پردازش داده‌ها

در این پژوهش، با توجه به میانگین نرخ تغییرات زاویه و سرعت شناور، مقادیر حدآستانه α و β برای CRC و CRS به ترتیب ۰,۴ درجه بر دقیقه و ۰,۰۰۳ نات بر دقیقه تنظیم شدند. رابطه‌ای بین λ و شکل مسیر یکی از شناورها در شکل ۱۲ نشان داده شده است. سرانجام مقدار λ بر اساس سعی و خطا و با توجه به تعداد داده مورد استفاده برای خوشه‌بندی تنظیم گردید تا شکل مسیر مورد انتظار حاصل گردد. مطابق این شکل، در حالتی که $\lambda = 30$ باشد شکل مسیر شناور به‌خوبی حفظ شده است.









شکل ۱۲- رابطه بین پارامترها و شکل مسیر

۳-۳- شباهت ساختاری مسیر شناورها

اندازه‌گیری شباهت پایه‌ای اساسی برای پیاده‌سازی مسائل خوشه‌بندی و دسته‌بندی می‌باشد. برای فرمول مسیر، هر نقطه از مکان P، یک نقطه چند بعدی با بردارهای ویژگی است. با در نظر گرفتن این ویژگی‌های هر مسیر، از روش تشابه ساختار (SSIM) برای اندازه‌گیری شباهت بین مسیرهای مختلف کشتی استفاده شده است. بدین منظور از سه فاصله مکانی، جهتی و سرعت استفاده می‌شود که در ادامه هر یک از این فواصل بطور جداگانه توضیح داده خواهند شد.

۱) اندازه گیری فاصله مکانی

فاصله مکانی به فاصله فیزیکی بین دو مسیر اشاره دارد و با داده های طول و عرض جغرافیایی محاسبه می‌شود. در بین توابع مختلف فاصله، فاصله هاسدورف برای اندازه گیری شباهت مکانی مسیر کشتی مناسب‌تر است، بدین علت که در این تابع فاصله احتیاجی به تعداد نقاط مشابه بین مسیرهای مختلف نیست. فاصله هاسدورف برای مسیرهای کشتی می تواند به صورت زیر باشد [۳]:

$$D_S\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right) = h\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right) \quad (۴)$$

$$h\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right) = maxmin\left\|\left(P_{t_{m-1}}.P_{t_m}\right)-\left(P_{t_{n-1}}.P_{t_n}\right)\right\| \quad (۵)$$

در روابط فوق عبارت $h\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right)$ فاصله مستقیم هاسدورف بین دو قطعه مسیر می‌باشد که نقطه را به عنوان دورترین از نزدیکترین همسایگان خود مشخص می‌کند. هم‌چنین عبارت $\left\|\left(P_{t_{m-1}}.P_{t_m}\right)-\left(P_{t_{n-1}}.P_{t_n}\right)\right\|$ فاصله اقلیدسی برای مقایسه موقعیت مکانی نقاط دو قطعه مسیر است.

۲) اندازه‌گیری فاصله جهتی

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

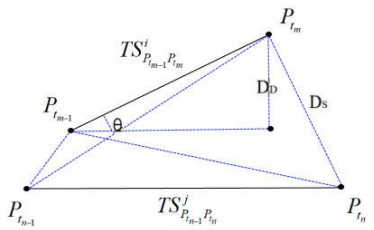
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

علاوه بر فاصله مکانی، جهت حرکت شناور نیز تاثیر زیادی در رفتار شناور خواهد داشت. طبق قوانین طرح تفکیک ترافیک (TSS)، کشتی‌های درون خط اصلی ترافیک باید در جهت کلی آن خط حرکت کنند. [15] با توجه به جهت‌های ناوبری مختلف کشتی‌ها در دریا، الگوی ترافیکی نیز متفاوت است. مسیر حرکت نسبت به کف دریا (COG) را در فرمول مسیر معرفی کرده‌ایم تا جهت مسیر را تشخیص دهیم. بنابراین تابع فاصله جهتی می‌تواند به صورت زیر نوشته شود [۳]:

$$D_D\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right)= \min\left(\left\|TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}\right\|.\left\|TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right\|\right) * \sin(\theta) \quad .0^\circ \le \theta \le 90^\circ \tag{۶}$$

$$D_D\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right)= min\left(\left\|TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}\right\|.\left\|TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right\|\right).90^\circ \quad \le \theta \le 180^\circ \tag{۷}$$

برای محاسبه تابع فاصله جهتی بین دو قطعه مسیر، از یکی از دو رابطه (۶) یا (۷)، با توجه به شرط زاویه قرار داده شده استفاده می‌گردد. هم‌چنین طول اقلیدسی قطعه مسیرِ $TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}$ نیز بدین‌صورت $\left\|TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}\right\|$ نوشته می‌شود و زاویه θ بین صفر تا ۱۸۰ درجه متغیر است که زاویه بین دو پاره‌خط متقاطع مسیر می‌باشد. تصویری از فاصله مکانی و جهتی بین دو قطعه مسیر و همینطور زاویه θ در شکل ۱۳ ارائه شده است.



شکل ۱۳- نمایش فاصله مکانی و جهتی بین دو قطعه مسیر

۳) اندازه‌گیری فاصله سرعت

سومین فاصله شباهت بر اساس سرعت شناور می‌باشد که یکی دیگر از بردارهای مهم در تحلیل الگوی ترافیک دریایی است و در این تحقیق در بیان مسیر قرار داده شده است. لازم به ذکر است که برای بیان فاصله شباهت از سرعت متوسط مسیر استفاده شده است [۳]. سرعت متوسط قطعه مسیر مربوطه $V_{avg}\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}\right)$ نیز طبق رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$D_v\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right) = \left|V_{avg}\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}\right) - V_{avg}\left(TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}\right)\right| \tag{۸}$$

$$V_{avg}\left(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}\right)=\frac{\left|\vartheta_{p_{t_m}}-\vartheta_{p_{t_{m-1}}}\right|}{t_m-t_{m-1}} \tag{۹}$$

بنابراین سه تابع فاصله مکانی، جهتی و سرعت طبق روابط (۴) تا (۹) محاسبه می‌گردند. لازم به ذکر است که محاسبه فاصله باید براساس داده‌های «بدون مقیاس» صورت بگیرد تا ویژگی یا متغیرهای خاص با واحد اندازه‌گیری بزرگ، باعث اریبی در مقدار فاصله بین نقطه‌ها نشود، در غیر این صورت ممکن است نتایج خوشه‌بندی بستگی زیادی به متغیری داشته باشد که دارای مقدارهای بزرگتر و در نتیجه واریانس بزرگتری است. در این‌جا نیز به‌منظور اطمینان از بزرگی عددی مشابه، از تبدیل خطی به‌منظور نرمال‌سازی داده‌های فاصله شباهت مکانی، جهتی و سرعت استفاده گردید. فرمول مورد استفاده برای انجام تبدیل خطی اینگونه است:

$$D_{norm}=(D-D_{min})/(D_{max}-D_{min}) \tag{۱۰}$$

در رابطه (۱۰)، D_{norm} مقدار فاصله‌ای هست که قرار است نرمال شود و D_{max}و D_{min} حداکثر و حداقل مقدار هر فاصله شباهت مکانی، جهتی و سرعت هستند.

سرانجام، بر اساس فاصله مکانی، جهتی و سرعت نرمال‌شده فوق، یک تابع فاصله ترکیبی برای محاسبه فاصله شباهت ساختاری مسیر (SSIM) پیشنهاد شده است. فرمول ریاضی این فاصله به شرح زیر نوشته شده است:

$$SDIS(TS^i_{p_{t_{m-1}}p_{t_m}}.TS^j_{p_{t_{n-1}}p_{t_n}}) = W_s * D_s + W_D * D_D + W_v * D_v \tag{۱۱}$$

در رابطه فوق W_s، W_D و W_v به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی وزن‌های هریک از توابع فاصله شباهت مکانی، جهتی و سرعت می‌باشد که دارای مقادیر نامنفی هستند و جمع این سه وزن برابر با یک است. هر یک از ضرایب W_s، W_D و W_v به‌ترتیب مقادیر ۰,۳، ۰,۴ و ۰,۳ انتخاب شدند که بر اساس مقاله Sheng و Yin (۲۰۱۸) بود. به این ترتیب، یک ماتریس فاصله زوج به دست آورده خواهد شد که شباهت بین هر جفت از بخش‌های مسیر را اندازه‌گیری می‌کند.

۳-۳-۱- نحوه محاسبه شباهت ساختاری مسیر شناورها

برای محاسبه شباهت ساختاری مسیر شناورها از سه فاصله مکانی، جهتی و سرعت استفاده می‌گردد. بدین‌ترتیب که فاصله مکانی، جهتی و سرعت هر قطعه مسیر با سایر قطعه مسیرها محاسبه

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

می‌گردد که حاصل آن سه ماتریس فاصله متقارن با قطر اصلی برابر صفر بود. در ادامه هر کدام از ماتریس‌های فاصله بصورت سطری یا ستونی نرمالایز شده و از حالت متقارن خارج شدند، اما قطر اصلی ماتریس فاصله ترکیبی هم‌چنان صفر باقی ماند. زیرا قطر اصلی ماتریس فاصله بیانگر فاصله هر قطعه مسیر با خودش است. در آخر سه ضریب ماتریس‌های فاصله مکانی، جهتی و سرعت یعنی W_S، W_D و W_v به ترتیب ۰٫۳ ، ۰٫۴ و ۰٫۳ تعیین شد. این ضرایب با توجه به مقاله Sheng و Yin (۲۰۱۸) انتخاب گردیدند. ماتریس فاصله ترکیبی از ضرب کردن سه ضریب بیان شده در هر یک از ماتریس‌های فاصله به دست می‌آید. شمایی از ماتریس فاصله ترکیبی در شکل ۱۴ نمایش داده شده است.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.224276	0.286131	0.479596	0.698973	0.7	0.85	0.85	0.85	0.7
0.342032	0	0.364794	0.633271	0.855481	0.870847	0.627806	0.904379	0.90406	0.889643
0.399172	0.369553	0	0.612834	0.811944	0.838356	0.863544	0.578923	0.588367	0.886104
0.287046	0.382275	0.354202	0	0.291533	0.334564	0.518107	0.536281	0.512797	0.324558
0.523227	0.639208	0.610628	0.412165	0	0.0580138	0.253693	0.273654	0.364747	0.335347
0.579739	0.701109	0.676043	0.492568	0.0684008	0	0.203132	0.227916	0.341718	0.326868
0.909633	0.610997	0.872621	0.850534	0.439177	0.360417	0	0.344275	0.470314	0.606076
0.925951	0.915712	0.601066	0.881702	0.491036	0.402849	0.349278	0	0.128449	0.562564
0.881106	0.870725	0.566395	0.805115	0.606687	0.521097	0.466001	0.114118	0	0.421207
0.567893	0.70242	0.707706	0.461765	0.432759	0.3391	0.423388	0.365766	0.261964	0

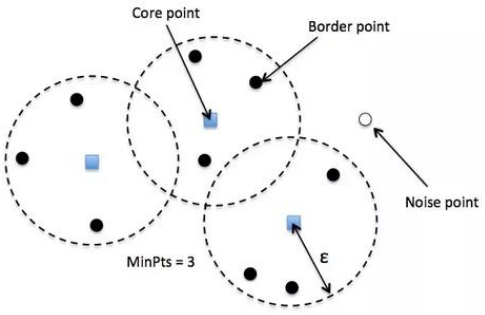
شکل ۱۴- خروجی ماتریس فاصله ترکیبی برای تعداد داده محدود

۴-۳- خوشه‌بندی مسیر شناور

روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم مناسب‌ترین روش برای خوشه‌بندی خطوط (مسیر) هستند، زیرا آن‌ها می‌توانند خوشه‌های با شکل دلخواه را کشف کنند و هم‌چنین نویزها را فیلتر و پاکسازی کنند[۲۴]. در این پژوهش به منظور انجام خوشه‌بندی مسیر شناورها از الگوریتم DBSCAN استفاده می‌گردد که با فاصله شباهت ترکیبی طبق رابطه (۱۱) اصلاح می‌شود.

دو پارامتر مهم در الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN، شعاع مشخص (ε) و حداقل تعداد نقاط لازم برای تشکیل یک خوشه (MinPts) می‌باشد. اگر مقدار ε کوچک در نظر گرفته شود، واضح است که خوشه‌های زیادی را تولید می‌کند، هم‌چنین با افزایش مقدار ε، از تعداد خوشه‌ها کاسته شده و تعداد بیشتری از نقاط داده‌ای به عنوان داده پرت معرفی می‌شود. شمای کلی از الگوریتم DBSCAN در شکل ۱۵ آورده شده است. هم‌چنین مراحل انجام خوشه‌بندی توسط این روش به قرار زیر می‌باشد:

- برچسب گذاری هر کدام از نقاط مجموعه داده مورد عملیات خوشه‌بندی با یکی از عنوان‌های هسته‌ای، حاشیه‌ای و مرزی
- حذف نقاط نویزی و متصل نمودن نقاط هسته‌ای که در شعاع همسایگی (ε) یکدیگر قرار گرفته‌اند. مجموعه نقاط هسته‌ای متصل به هم تشکیل یک خوشه جدید را می‌دهند.
- هر نقطه حاشیه‌ای با توجه به نقاط هسته‌ای هر خوشه به یکی از خوشه‌های شکل گرفته تخصیص می‌یابد[24].



شکل ۱۵- الگوریتم خوشه بندی DBSCAN

۴- نتایج و تحلیل خوشه‌بندی داده‌های مسیر شناورها

برای انجام خوشه‌بندی نیاز به تعیین دو پارامتر حداقل تعداد نقاط لازم و شعاع همسایگی است. به منظور دستیابی به حداقل تعداد نقاط لازم برای انجام خوشه‌بندی، بر اساس سعی و خطا انجام گرفته حداقل تعداد نقاط برابر با ۲ در نظر گرفته شده است. سپس شعاع همسایگی با توجه به تعداد داده مورد استفاده، تحلیل حساسیت شد تا خوشه‌بندی مطلوب حاصل شود.

پس از تحلیل حساسیت انجام گرفته برای شعاع همسایگی و براساس MMSI شناورها، مدل خوشه‌بندی ارائه شده در ۶ حالت مختلف بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ داده و در هر مرحله با افزایش ۱۰۰ داده پیاده‌سازی شد. در ادامه بهترین خروجی‌های نتایج خوشه‌بندی مطابق شکل‌های ۱۸ و ۲۰ تا ۲۵ به شرح زیر می‌باشد. تذکراتی که در این زمینه باید بدان اشاره کرد عبارتند از:

۱. در نتایج خوشه‌بندی، نقاط خاکستری رنگ بیانگر نقاط پرت (noise) هستند.
۲. محور طولی و عرضی نتایج خوشه‌بندی به‌ترتیب طول و عرض جغرافیایی می‌باشند.
۳. مقادیر شعاع همسایگی و حداقل تعداد نقاط در هر حالت خوشه‌بندی (۲۰۰ تا ۷۰۰ داده) با تحلیل حساسیت انجام گرفته به‌دست آمد. بازه در نظر گرفته شده برای تحلیل حساسیت شعاع همسایگی و حداقل تعداد نقاط به‌ترتیب بین ۰٫۰۵ تا ۰٫۱۵ و ۱ تا ۴ متغیر بود که در ادامه در هر

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

مرحله بهترین نتایج موجود از لحاظ بصری و با توجه به شرایط ترافیکی منطقه آورده شده است.

۴. مقادیر حداقل تعداد نقاط بر اساس سعی و خطا به دست آمد که از بین یک تا چهار نقطه بررسی شد و بهترین حالت آن یعنی ۲ نقطه انتخاب گردید.

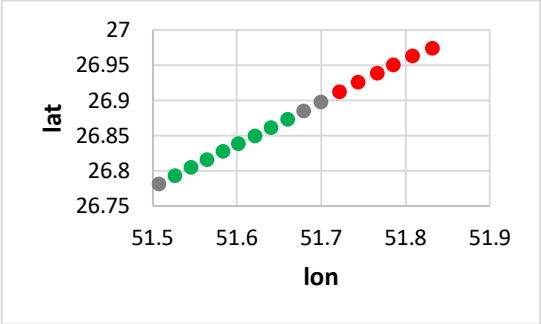
- **۲۰۰ داده ابتدایی**

با توجه به پیش پردازش انجام شده طبق شرایط اولیه زیر:

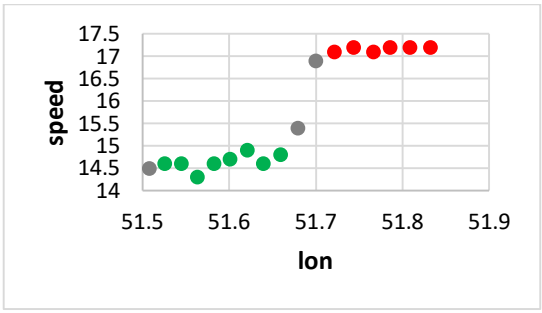
$$\alpha = 0.4 \ . \ \beta = 0.003 \ . \ \gamma = 30$$

از مجموع 200 داده مورد بررسی، 189 داده باقی ماند و نتیجه خوشه‌بندی برای این 189 داده ارائه شده است. شعاع همسایگی ۰٫۱و حداقل تعداد نقاط یک اختیار گردید.

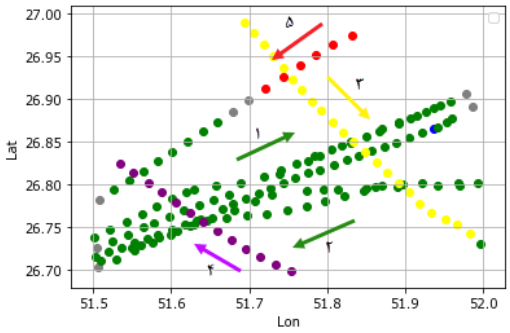
همانطورکه در شکل ۱۸ نیز مشخص است، مجموعه داده‌ها در ۴ خوشه به رنگ‌های سبز، زرد، بنفش و قرمز قرار می‌گیرند. مسیر اصلی در این خوشه‌بندی با سبز پررنگ نمایش داده شده است که شامل دو مسیر نماینده می‌باشد. مسیر نماینده اول از جهت غرب به شرق محدوده در حال حرکت است و دارای میانگین سرعت ۱۳ نات می‌باشد. مسیر نماینده دوم از جهت شرق به غرب است و دارای میانگین سرعت ۱۵ نات می‌باشد. در مجموع خوشه‌بندی برای ۲۰۰ داده، ۵ مسیر نماینده وجود دارد. خوشه بعدی زرد رنگ است که از سمت شمال غربی به جنوب شرقی محدوده منتخب در حال حرکت است و از میانگین سرعت ۱۲ نات برخوردار است. خوشه بعدی دارای رنگ بنفش است و جهت حرکت آن از سمت جنوب شرقی به شمال غربی می‌باشد. سرعت میانگین این خوشه ۱۴ نات است. آخرین خوشه به رنگ قرمز است و از سمت شمال شرقی به جنوب غربی در حال حرکت می‌باشد. نکته جالب توجه خوشه‌ی حاضر این است که در اواسط این مسیر، خوشه تغییر می‌کند و وارد خوشه سبز رنگ می‌شود. به‌منظور درک چرایی این تغییر خوشه عوامل جهت، موقعیت مکانی و سرعت شناور مورد بررسی قرار گرفتند. در طول مسیر، دو عامل جهت و موقعیت مکانی شناور تغییر قابل توجهی ندارند. اما با بررسی فاکتور سرعت مشاهده می‌شود که سرعت شناور در اواسط مسیر افت ناگهانی دارد، بنابراین علت تغییر خوشه، کاهش ناگهانی سرعت می‌باشد. هم‌چنین سرعت میانگین در این خوشه ۱۷ نات است. در شکل ۱۶ و شکل ۱۷ به‌ترتیب موقعیت مکانی و ویژگی سرعت شناور در این خوشه به نمایش درآمده است.



شکل ۱۶- بررسی موقعیت مکانی یکی از خوشه‌ها در حالت ۲۰۰ داده



شکل ۱۷- بررسی سرعت یکی از خوشه‌ها درحالت ۲۰۰ داده



شکل ۱۸- نتیجه خوشه‌بندی برای ۲۰۰ داده

- **۳۰۰ داده ابتدایی**

با توجه به پیش پردازش انجام شده طبق شرایط اولیه زیر:

$$\alpha = 0.4 \ . \ \beta = 0.003 \ . \ \gamma = 35$$

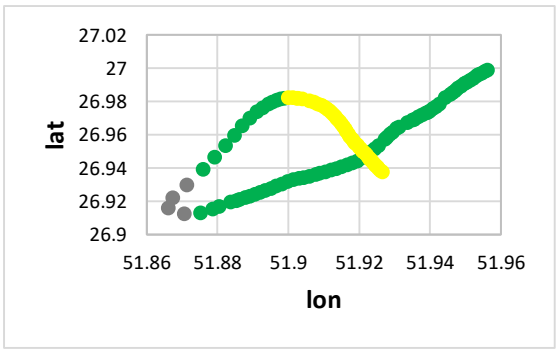
از مجموع ۳۰۰ داده مورد بررسی، ۲۶۸ داده باقی ماند و نتیجه خوشه‌بندی برای این ۲۶۸ داده ارائه شده است. شعاع همسایگی ۰٫۰۸۵ و حداقل تعداد نقاط دو اختیار گردید.

مشابه با نتایج خوشه‌بندی برای ۲۰۰ داده، در بررسی ۳۰۰ داده نیز، مجموع داده‌ها در ۴ خوشه قرار می‌گیرند و مسیر اصلی با سبز پررنگ نمایش داده شده است. با این تفاوت که خوشه قرمز رنگ در حالت ۲۰۰ داده به خوشه سبز رنگ در شکل ۲۰ اضافه شده است. این خوشه شامل دو مسیر نماینده می‌باشد. مسیر نماینده اول از جهت غرب به شرق محدوده در حال حرکت است و دارای میانگین

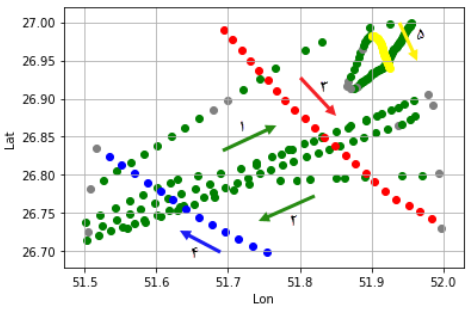
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

سرعت ۱۳ نات می‌باشد. مسیر نماینده دوم از جهت شرق به غرب است و دارای میانگین سرعت ۱۵ نات می‌باشد. در مجموع خوشه‌بندی برای ۳۰۰ داده، ۵ مسیر نماینده وجود دارد. به‌علاوه در بخشی از مسیر نیز به دلیل اینکه سرعت شناور پایین بوده شاهد تراکم زیاد نقاط هستیم که در قسمت گوشه سمت راست و بالای شکل ۲۰ مشخص است. این قسمت از مسیر شناورها در دو خوشه قرار گرفته است که با رنگ سبز و زرد از یکدیگر قابل تمایز هستند. جدا کردن نقاط یک مسیر شناور به دو خوشه مجزا نشانه عدم عملکرد مناسب این مدل خوشه‌بندی است. به منظور بررسی بیشتر، در شکل ۱۹ موقعیت مکانی این خوشه نمایش داده شده است که داده‌های آن مختص یک شناور و در یک روز ثبت شده است و دارای سرعت میانگین ۱ نات است. دو خوشه قرمز و آبی در شکل ۲۰ دقیقا همان خوشه‌های زرد و بنفش در شکل ۱۸ و با همان مشخصات می‌باشند که مسیر اصلی را قطع می‌کنند. به عبارت دیگر، خوشه قرمز رنگ از شمال غربی به جنوب شرقی با میانگین سرعت ۱۲ نات در حال حرکت است. خوشه آبی رنگ هم مسیر از سمت جنوب شرقی به شمال غربی را با میانگین سرعت ۱۴ نات طی می‌کند.



شکل ۱۹- بررسی موقعیت مکانی یکی از خوشه‌ها در حالت ۳۰۰ داده



شکل ۲۰- نتیجه خوشه‌بندی برای ۳۰۰ داده

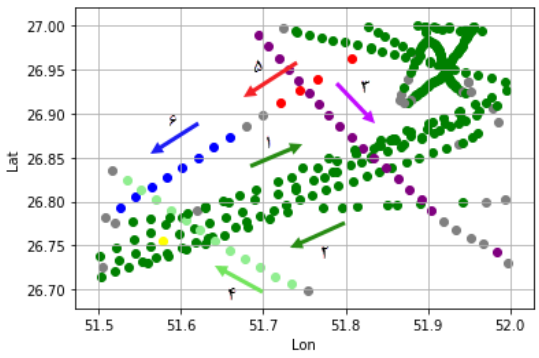
- **۴۰۰ داده ابتدایی**

با توجه به پیش پردازش انجام شده طبق شرایط اولیه زیر:

$$\alpha = 0.4 \ . \ \beta = 0.003 \ . \ \gamma = 35$$

از مجموع ۴۰۰ داده مورد بررسی، ۳۶۸ داده باقی ماند و نتیجه خوشه‌بندی برای این ۳۶۸ داده ارائه شده است. شعاع همسایگی ۰،۰۷ و حداقل تعداد نقاط دو اختیار گردید.

نتیجه خوشه‌بندی برای ۴۰۰ داده بسیار شبیه به حالت ۳۰۰ داده است. اما در ۵ خوشه قرار می‌گیرد و یک‌سری داده جدید در گوشه سمت راست بالا به آن اضافه شده است که آن هم در خوشه اصلی قرار می‌گیرد و با رنگ سبز پر رنگ مشخص شده است. هم‌چنین یک‌سری داده نیز در قسمت میانی به خوشه اصلی اضافه شده است. سایر خوشه‌ها که با رنگ‌های بنفش و سبز کم‌رنگ نمایش داده شده است. در نتیجه حالت ۲۰۰ داده نیز وجود داشت و تغییری نکرده است. حتی خوشه‌ای که از سمت شمال شرقی به جنوب غربی می‌باشد (قسمتی از آن قرمز رنگ و در ادامه آبی رنگ) نیز در نتیجه حالت ۲۰۰ داده وجود داشت و علت این تغییر خوشه هم افت ناگهانی سرعت ذکر گردید. مطابق شکل ۲۱ در مجموع خوشه‌بندی برای ۴۰۰ داده، ۶ مسیر نماینده وجود دارد.



شکل ۲۱- نتیجه خوشه‌بندی برای ۴۰۰ داده

- **۵۰۰ داده ابتدایی**

با توجه به پیش پردازش انجام شده طبق شرایط اولیه زیر:

$$\alpha = 0.4 \ . \ \beta = 0.003 \ . \ \gamma = 60$$

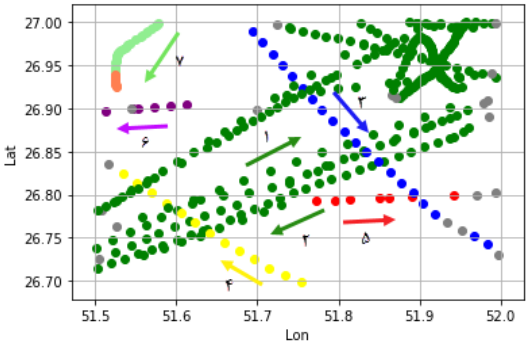
از مجموع ۵۰۰ داده مورد بررسی، ۴۳۲ داده باقی ماند و نتیجه خوشه‌بندی برای این ۴۳۲ داده ارائه شده است. شعاع همسایگی ۰،۰۷ و حداقل تعداد نقاط دو اختیار گردید.

نتیجه خوشه‌بندی برای ۵۰۰ داده بسیار شبیه به حالت ۴۰۰ داده است، اما در ۷ خوشه قرار می‌گیرد و یک‌سری داده جدید در گوشه سمت چپ بالا به آن اضافه شده است که با رنگ سبز کم‌رنگ

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

نمایش داده شده است و با میانگین سرعت ۱ نات از شمال به جنوب در حال حرکت است. علاوه بر آن یک‌سری داده نیز در قسمت میانی به خوشه اصلی اضافه شده است. خوشه‌های آبی و زرد رنگ شبیه به نتایج قبلی خوشه‌بندی بوده و تغییری نکرده است. خوشه‌ی قرمز رنگ نیز به علت تغییر زاویه قابل توجه ایجاد شده است. طبق شکل ۲۲ مجموع خوشه‌بندی برای ۵۰۰ داده، ۶ مسیر نماینده وجود دارد.



شکل ۲۲- نتیجه خوشه‌بندی برای ۵۰۰ داده

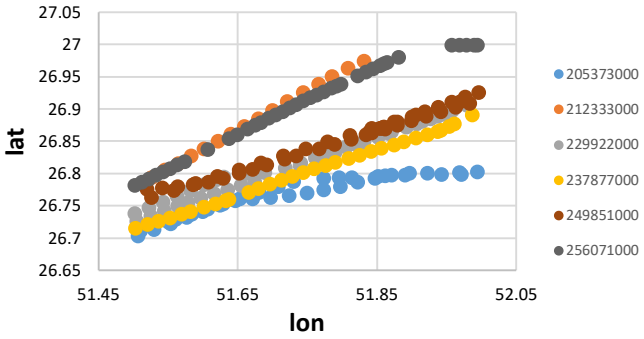
- **۶۰۰ داده ابتدایی**

با توجه به پیش پردازش انجام شده طبق شرایط اولیه زیر:

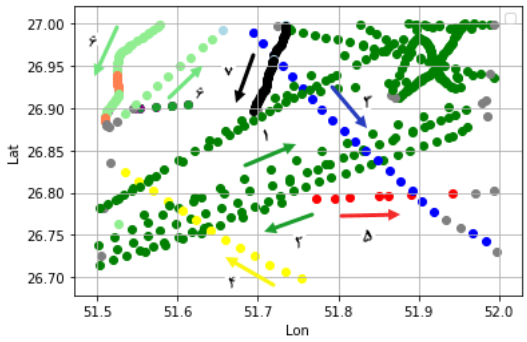
$$\alpha = 0.4 \ . \ \beta = 0.003 \ . \ \gamma = 60$$

از مجموع ۶۰۰ داده مورد بررسی، ۵۳۲ داده باقی ماند و نتیجه خوشه‌بندی برای این ۵۳۲ داده ارائه شده است. شعاع همسایگی ۰،۰۷ و حداقل تعداد نقاط دو اختیار گردید.

نتیجه خوشه‌بندی برای ۶۰۰ داده بسیار شبیه به حالت ۵۰۰ داده است و در ۸ خوشه قرار می‌گیرد. خوشه‌ای که با رنگ مشکی در شکل ۲۴ نمایش داده شده است از شمال به جنوب در حال حرکت می‌باشد و میانگین سرعت ۱ نات دارد. خوشه‌ای که سبز کم‌رنگی دارد در ابتدا با میانگین سرعت ۱ نات مسیر شمال به جنوب را طی می‌کند و سپس با میانگین سرعت ۱۱ نات از جنوب به شمال حرکت می‌کند. پیرامون سایر خوشه‌ها در نتایج قبلی توضیحات کاملی ارائه شده است. مطابق شکل ۲۴ در مجموع خوشه‌بندی برای ۶۰۰ داده، ۷ مسیر نماینده وجود دارد. هم‌چنین داده‌های واقعی قسمت میانی خوشه‌بندی برای حالت ۶۰۰ داده در شکل ۲۳ آورده شده است. اعداد موجود در راهنمای این شکل، نشان دهنده MMSI شناورها می‌باشند. از مقایسه بین دو شکل ۲۳ و شکل ۲۴ متوجه می‌شویم که همه‌ی مسیرهای نمایش داده شده در شکل ۲۳ به هنگام خوشه‌بندی در یک خوشه قرار گرفته‌اند.



شکل ۲۳ - نمایش داده‌های واقعی قسمت میانی خوشه‌بندی برای حالت ۶۰۰ داده



شکل ۲۴- نتیجه خوشه‌بندی برای ۶۰۰ داده

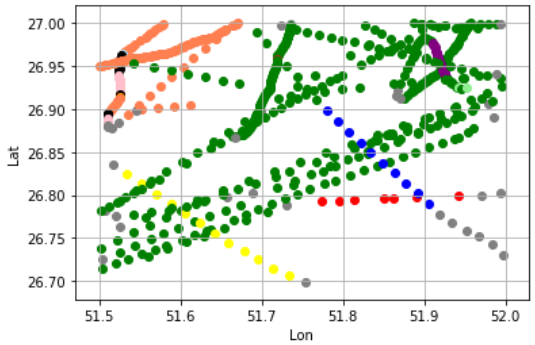
- **۷۰۰ داده ابتدایی**

با توجه به پیش پردازش انجام شده طبق شرایط اولیه زیر:

$$\alpha = 0.4 \ . \ \beta = 0.003 \ . \ \gamma = 45$$

از مجموع ۷۰۰ داده مورد بررسی، ۶۶۸ داده باقی ماند و نتیجه خوشه‌بندی برای این ۶۶۸ داده ارائه شده است. شعاع همسایگی ۰،۰۵ و حداقل تعداد نقاط دو اختیار گردید.

نتیجه‌ی ارائه شده در شکل ۲۵ خیلی مطلوب نیست، چرا که اکثر داده‌ها را که الگوهای متفاوتی دارند را در یک خوشه قرار داده است. در حالی که در نتایج قبلی الگوهای مکانی با کیفیت خوبی استخراج شدند.



شکل ۲۵- نتیجه خوشه‌بندی برای ۷۰۰ داده

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

نکته‌ای که در تمام نتایج خوشه‌بندی برای ۲۰۰ داده تا ۷۰۰ داده به‌صورت مشترک وجود دارد این است که خوشه اصلی و مسیر غالب در این نتایج با سبزپررنگ نمایش داده شده است و دارای دو مسیر نماینده می‌باشد: یکی از غرب به شرق با سرعت میانگین ۱۳ نات و دیگری از شرق به غرب با سرعت میانگین ۱۵ نات. سایر خوشه‌هایی که در نتایج خوشه‌بندی‌ها قرار گرفته‌اند مسیرهای پر رفت و آمدی نیستند.

نتیجه نهایی خوشه‌بندی داده‌های AIS در منطقه مورد مطالعه در خلیج فارس در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتیجه خوشه‌بندی داده‌های AIS منطقه مورد مطالعه

ردیف	تعداد داده	α	β	γ	ϵ	Minpts	تعداد خوشه	زمان محاسباتی
۱	۲۰۰	۰,۴	۰,۰۰۳	۳۰	۰,۱	1	۴	۷ min
۲	۳۰۰	۰,۴	۰,۰۰۳	۳۵	۰,۰۸۵	۲	۴	۱۷ min
۳	۴۰۰	۰,۴	۰,۰۰۳	۳۵	۰,۰۷	۲	۵	۱h ۱۰ min
۴	۵۰۰	۰,۴	۰,۰۰۳	۶۰	۰,۰۷	۲	۷	۲h ۱۳ min
۵	۶۰۰	۰,۴	۰,۰۰۳	۶۰	۰,۰۷	۲	۸	۵h ۳۱ min
۶	۷۰۰	۰,۴	۰,۰۰۳	۴۵	۰,۰۵	۲	۸	۱۴h ۱۰ min

نکاتی که از جدول ۱ می‌توان دریافت به شرح زیر است:

- در هر ۶ حالت، α و β دارای مقادیر ثابت ۰,۳ و ۰,۰۰۴ می‌باشد.
- مقدار γ با توجه به تعداد داده مورد استفاده و حفظ شکل مسیر متغیر است.
- باتوجه به تذکر ۳ در بخش (۴) حداقل تعداد نقاط برای انجام خوشه‌بندی با توجه به سعی و خطا عدد ۲ به دست آمد به‌جز حالتی که از ۲۰۰ داده استفاده شد.
- شعاع همسایگی در حالت‌های مختلف که تعداد داده‌ها تغییر می‌کند بر اساس سعی و خطا به‌دست می‌آید.
- با افزایش تعداد داده‌های مورد استفاده برای خوشه‌بندی تعداد خوشه‌ها نیز تغییر می‌کند، اما روند خاصی را نمی‌توان از آن استخراج کرد.
- با افزایش تعداد داده‌های مورد استفاده در مدل، زمان محاسباتی برای محاسبه ماتریس‌های فاصله و در نهایت انجام خوشه‌بندی بصورت تصاعدی افزایش می‌یابد.
- هر چقدر تعداد داده مورد استفاده در مدل افزایش یابد، نتایج به واقعیت نزدیک‌تر و مطلوب‌تر می‌باشد که می‌توان مسیرهای نماینده هر خوشه را با دقت بیشتری نمایش داد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش، یک مدل خوشه‌بندی مسیر شناور به منظور استخراج دانش مسیر حمل و نقل دریایی بر اساس داده‌های AIS پیشنهاد شده است. چارچوب پیشنهادی شامل چهار فاز است: پیش‌پردازش، اندازه‌گیری شباهت ساختاری، خوشه‌بندی و استخراج مسیر نماینده منطقه مورد مطالعه، محدوده‌ای از خلیج‌فارس بین بندر عسلویه در ایران و کشور قطر می‌باشد. بدین منظور از داده‌های AIS سه ماهه اول سال ۲۰۱۵ استفاده شده است. شناور انتخابی به منظور پیاده‌سازی مدل خوشه‌بندی، شناور کالابر عمومی است. بخش پیش‌پردازش داده‌های AIS با استفاده از روابط Sheng و Yin (۲۰۱۸) انجام گرفت. به منظور محاسبه شباهت ساختاری مسیر شناورها، با استفاده از روابط Sheng و Yin (۲۰۱۸) سه فاصله مکانی، جهتی و سرعت مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از محاسبه شباهت ساختاری مسیر شناورها، از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN به منظور خوشه‌بندی مسیر شناورها استفاده گردید و در انتها مسیر نماینده هر خوشه مشخص شد.

هدف از ارائه‌ی این چارچوب کشف مسیرهای اصلی در حرکت شناورها بود. سعی بر این بود که علاوه بر کشف الگوهای پنهان در داده‌های مسیر، این کار با کارایی قابل قبولی انجام شود. در ادامه ارزیابی روش پیشنهادی نشان داد که این تلاش به نتیجه رسیده است و چارچوب پیشنهادی کارایی زمانی و کیفیت خوشه‌بندی رضایت‌بخشی دارد.

نتایج اصلی به‌دست آمده از این پژوهش به قرار زیر است:

- ❖ نتایج تجربی، اثربخشی این مدل خوشه‌بندی مسیر کشتی را نشان می‌دهد که در مجموع از لحاظ بصری خوب عمل کرده و نتیجه مورد انتظار را برآورد کرده است.
- ❖ در نظر گرفتن حدآستانه‌هایی بر اساس نرخ تغییرات سرعت و جهت شناورها و همینطور اصل حداقل طول توصیفی باعث کاهش پیچیدگی محاسبات و تعداد داده‌های AIS در عین حفظ سازگاری با داده‌های مسیر اصلی می‌شود.
- ❖ الگوریتم اصلاح شده DBSCAN برای کاوش داده‌های AIS مناسب است.
- ❖ در مقالات مشابه انجام گرفته در گذشته، بیشتر مناطق نزدیک بندر و یا آبراهه‌ها در نظر گرفته شده است که داده‌ها در منطقه‌ای محدودتر و دارای تراکم بیشتری می‌باشند، اما در این پژوهش از داده‌های شناورهای حاضر در آب‌های آزاد استفاده گردید که از تراکم کمتری

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

برخوردار هستند و شناورها امکان مانور حرکتی بیشتری دارند. بنابراین استخراج الگو از داده‌های پراکنده، پیچیده‌تر بوده و نیازمند آن است که ملاحظات بیشتری را در نظر گرفت تا بتوان به نتایج مطلوب خوشه‌بندی دست یافت.

- مدل پیشنهادی می‌تواند داده‌های انبوه و پیچیده را به اطلاعات قابل اعتماد تبدیل و به مقامات بندر کمک کند تا از قبل تصمیم‌گیری نمایند. این امر به کاهش حوادث دریایی کمک خواهد کرد، چرا که علت بسیاری از تصادفات دریایی این است که اپراتورها نمی‌توانند شرایط احتمالی موجود در منطقه را پیش‌بینی کنند و با توجه به شرایط فعلی ترافیک نمی‌توانند بلافاصله واکنش نشان دهند.

از این نتایج می‌توان برای تقویت امنیت و ایمنی در محیط دریایی استفاده کرد که این خود پایه‌ای برای توسعه پایدار بندر است.

- نتایج حاصل‌شده از این تحقیق می‌تواند در ناوبری دریایی به کار رود و راهنمایی‌های علمی در برنامه‌ریزی مسیر حمل‌ونقل ارائه دهد. به عنوان مثال، مسیر نماینده‌ای که از خوشه‌بندی استخراج می‌شود، می‌تواند به دریانوردان کمک کند تا بررسی کنند که آیا کشتی از خطوط ناوبری توصیه شده تبعیت می‌کند یا خیر. این امر دریانوردان را قادر می‌سازد از مسیر پیشنهادی مورد استفاده اکثر کشتی‌ها آگاهی داشته و از بروز حوادث ناشی از یک محیط ناوبری ناشناخته جلوگیری کنند.

کلیدواژگان

1- Automatic Identification System
2- Global Integrated Shipping Information System
3- International Maritime Organization
4- Electronic Chart Display System
5- Stops and Moves
6- Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
7- Course Over Ground
8- Speed Over Ground
9- cargo
10- Minimum description length
11- Traffic separation scheme

۶- مراجع

1- B. Slack, P. Rodrigue, and C. Comtois, The geography of transport systems, no. January. Routledge Taylor & Francis Group, 2016.
2- M. Safarzadeh, E. Azizabadi, M. Shahba and H. Hamidi, Maritime Transportation, Asrar Danesh, 2006. (In Persian)
3- S. Pan and Y. Jingbo, “Extracting Shipping Route Patterns by Trajectory Clustering Model Based on Automatic Identification System Data,” Sustain. Artic., vol. 13, no. July, pp. 1–13, 2018.
4- Y. Brain, “Predicting vessel trajectories from AIS data using R,” NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2017.
5- H. Li, J. Liu, K. Wu, Z. Yang, R. W. Liu, and N. Xiong, “Spatio-Temporal Vessel Trajectory Clustering Based on Data Mapping and Density,” IEEE Access, vol. 6, no. November, pp. 58939–58954, 2018.
6- G. Pallotta, M. Vespe, and K. Bryan, “Traffic knowledge discovery from AIS data,” Inf. Fusion (FUSION), 2013 16th Int. Conf., no. July 2015, pp. 1996–2003, 2013.
7- A. Harati-Mokhtari, “Automatic Identification System (AIS): Data Reliability and Human Eror Implications,” R. Inst. Navig., vol. 17, pp. 374–389, 2007.
8- A. Sidibé and G. Shu, “Study of Automatic Anomalous Behaviour Detection Techniques for Maritime Vessels,” J. Navig., vol. 70, no. 4, pp. 847–858, 2017.
9- Z. Li, J.-G. Lee, X. Li, and J. Han, “Incremental Clustering for Trajectories,” in Database Systems for Advanced Applications, 15th International Conference, DASFAA, 2010, pp. 1–15.
10- J. Lee and J. Han, “Trajectory Clustering : A Partition-and-Group Framework,” in Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 2007, pp. 1–12.
11- M. Ester, H. Kriegel, X. Xu, and D.- Miinchen, “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise,” in the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1996, pp. 226–231.
12- S. Gaffney and P. Smyth, “Trajectory Clustering with Mixtures of Regression Models,” in the fifth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 1999, vol. 20, no. June, pp. 1–20.
13- E. M. Knorr, R. T. Ng, and V. Tucakov, “Distance-based outliers : algorithms and applications,” VLDB J., vol. 17, no. February, pp. 237–253, 2000.
14- N. A. Bomberger, B. J. Rhodes, M. Seibert, and A. M. Waxman, “Associative Learning of Vessel Motion Patterns for Maritime Situation Awareness,” in Information Fusion, 2006 9th International Conference, 2006.
15- A. Dahlbom and L. Niklasson, “Trajectory Clustering for Coastal Surveillance,” in 10th International Conference on Information Fusion, 2007, pp. 1–8.
16- B. Auslander, K. M. Gupta, and D. W. Aha, “A Comparative Evaluation of Anomaly Detection Algorithms for Maritime Video Surveillance,” in

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]

Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense X, edited, 2011, vol. 8019, pp. 1–14.
17- M. Vespe, I. Visentini, K. Bryan, and P. Braca, "unsupervised learning of maritime traffic patterns for anomaly detection," in 9th IET Data Fusion & Target Tracking Conference (DF&TT 2012): Algorithms & Applications, 2012, pp. 1–5.
18- G. Pallotta, M. Vespe, and K. Bryan, "Vessel Pattern Knowledge Discovery from AIS Data," Entropy, vol. 28, no. June, pp. 2219–2245, 2013.
19- B. Liu, E. N. de Souza, S. Matwin, and M. Sydow, "Knowledge-based clustering of ship trajectories using Density-based Approach," in IEEE International Conference on Big Data, 2014, pp. 603–608.
20- S. Spaccapietra et al., "A conceptual view on trajectories," Data Knowl. Eng., vol. 65, pp. 126–146, 2008.
21- P. Lei, "A framework for anomaly detection in maritime trajectory behavior," Knowl. Inf. Syst., vol. 26, no. May, pp. 189–214, 2015.
22- R. Zhen, Y. Jin, Q. Hu, and Z. Shao, "Maritime Anomaly Detection within Coastal Waters Based on Vessel Trajectory Clustering and Naïve Bayes Classifier," R. Inst. Navig., vol. 23, no. February, pp. 1–23, 2017.
23- J. Han, M. Kamber, and J. Pei, Data Mining: Concepts and Techniques, Third. TheMorgan Kaufmann Series in DataManagement Systems, 2011.
24- M. Sanii Abadeh, S. Mahmoudi and M. Taherparvar, "Applied data mining", Niaz Danesh, 2014.(In Persian)

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.9.0]