



آشکارش جبهههای دمایی دریای کاسپین با پردازش تصاویر ماهواره شهناز کالجی'، محمد اکبرینسب*'، عباس عینعلی' ۱- گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر

چک___يده

جبهههای دمایی که محدودههایی کم عرض بوده و در آنجا تغییرات شدید دمای آب مشاهده می شود، از منظر ویژگیهای زیستی، شیلاتی، شیمیایی، فیزیکی محیط دریا و همچنین بررسی تغییرات اقلیمی دارای اهیمت است. آشکارش جبهههای دریایی، در شناسایی و درک دیگر پدیدهها مانند فراجوشی، تجمعات زیستی، پیچک و غیره کاربرد اساسی دارد. بنابراین در این پژوهش، جبهههای دمایی دریای کاسپین به مدت پنج سال از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس بررسی شد. برای تشخیص و اَشکارش جبهههای دمایی از روش الگوریتم کنی (Canny) در محیط متلب بهرهگیری شد. علاوه بر مقایسه مکانی جبهههای شناسایی شده دریای کاسپین، همچنین هر سال به سه بازه زمانی چهار ماهه تقسیم و جبهههای دمایی هر دوره نیز با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که جبهههای دمایی در شمال دریای کاسپین، در دو دوره سه ماهه سپتامبر تا نوامبر و مارس تا می حضور پایدار داشته و در مابقی سال به صورت پراکنده و گسسته هستند. تنها حضور مستمر سالانه جبههها در شرق خزر جنوبی، ماه مارس است اما در غرب خزر جنوبی، بجز در ماه آگوست، جبههها به صورت پایدار شناسایی شدند. الگوی جبهههای دمایی در شرق و غرب خزر میانی با یکدیگر متفاوت است. به طور کلی جبههها در دوره زمستانی، عمدتا خوشهای اما در دوره تابستانی آشکارتر و منسجمتر هستند. همچنین تعداد جبهههای شناسایی شده در دوره پیش تابستانی در خزر جنوبی کمتر از دیگر دورهها است. جبهههای شناسایی شده، با محل تشکیل امواج داخلی، محدودههای پرشیب نزدیک ساحل و الگوی گردش آب دریای کاسپین ارتباط و همخوانی دارد.

نوع مقاله مقاله یژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰ تاريخ يذيرش: ١۴٠٢/٠٩/٠٢ تاريخ چاپ الكترونيكي: ١٤٠٢/٠٩/١٥

*نویسنده مسئول: m.akbarinasab@umz.ac.ir

کیلید واژهها: دمای سطحی دریا، مادیس، الگوریتم کنی، دریای خزر

مقدمه

جبهه اقیانوسی محدودهای باریک بین دو توده آب است که در آن محدوده گرادیان (تغییرات) شدیدی از برخی خصوصیات آب دریا مانند دما، شوری و چگالی وجود [۱]. علی رغم پهنای باریک، جبهههای اقیانوسی دینامیک فعالی داشته و در ارتباط جو و اقیانوس، نقش مهمی ایفا می کنند [۲]. ویژگیهای جبهههای دریایی متعدد بوده و از منظرهای مختلفی قابل مقایسه هستند. مقیاس طولی جبههها از چندین متر تا چندین هزار کیلومتر و از نظر زمانی نیز ممکن است بهصورت کوتاه مدت (چندین روز) تا دائمی شکل بگیرند. عمق نفوذ عمودی جبههها نیز از چندین متر تا یک کیلومتر متفاوت است [۳]. بهدلیل تغییرات زیاد دما در محدوده جبهههای دمایی، شرایط زیستی برای طیف وسیعی از جانداران فراهم شده و به همین دلیل تنوع زیستی در این مناطق فراوان است [۴].

همه انواع جبهههای اقیانوسی مانند جبهه دما، جبهه شوری، جبهه کدورت، جبهه مواد مغذی، جبهه کلروفیل و غیره تاثیرات کاملا واضح و آشکاری بر محیط خود داشته و اغلب ویژگیهای زیستی و غیرزیستی را در محدوده خود متاثر می کنند. در این میان، جبهه دما، با توجه به اثرگذاری بر طیف وسیعی از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی، دارای اهمیت بیشتری است [۵–۷]. از منظر فیزیکی، جبهههای دمایی، اطلاعات مهمی از ویژگیهای دینامیکی و ترمودینامیکی ستون آب نظیر جریانات، پیچکها، اختلاط، چرخندها، فراجوشی و فروجوشی و غیره را شامل می شود. تجمع مواد مغذی و فیتوپلانکتونها، مکان مناسبی برای زندگی جانوران دریای فراهم می کند [۶]. این محدوده که نقاط گرم (Hotspots) شهرت دارند، مکان مناسبی برای تخمریزی، نگهداری و تغذیه جانوران دریایی و حتی تجمع پرندگان دریایی است و متاثر از جبهههای دمایی است [۸]. به همین دلیل، تشخیص جبهههای دمایی از منظر صیادی و شیلاتی اهمیت فراوان داشته و یک عامل کلیدی در تشخیص مکانهای مناسب صیادی است، به نحوی که تعداد جبهههای دمایی با مقدار ماهی صید شده کاملا مرتبط است [۹]. عوامل فیزیکی مختلفی از جمله ورود آب رودخانهها به دریا، اختلاط جریانات جزرومدی، همگرایی جریانات، جریانات مرزی، فراجوشی، شرایط توپوگرافی (مانند جریانات ناشی از فلاتقاره) از جمله دلایل سبب تشکیل جبههها در محیط دریا هستند [۱۰].

دریای خزر که از آن به عنوان بزرگترین دریاچه دنیا یاد میشود، با وجود بسته بودن و عدم تبادل آب با دریاهای دیگر، بهدلیل شرایط طبیعی، برخورداری از منابع طبیعی (بیولولوژی و مواد معدنی) و ایفا نمودن نقش مهم ژئوپولوتیکی داراری نقشی کاملا برجسته و ممتاز در منطقه است. متاثر بودن رژیم طبیعی دریای خزر از عوامل خارجی نظیر دبی رودخانه و پارامترهای جوی و همچنین دسترسی کشورهای متعدد و بهرهبرداری بیش از حد از این دریا سبب تغییرات سریع و چشمگیر در این دریا نسبت به دریاهای آزاد شده است. به همین دلیل دریای خزر در سالیان اخیر با پیامدهای متعدد و جدی مانند تغییرات شدید نوسانات سطح آب، انقراض جانوران دریایی نظیر ماهیان خاویاری، آلودگیهای نفتی و غیره مواجه شده است. همه این موضوعات ایجاب میکند که شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی دریای خزر و تغییرات آن مرتبا مورد بررسی قرار گیرد. دمای سطحی و جبهههای دمایی از بهترین شاخصههای بررسی تغییرات شرایط این دریا است مورد بررسی قرار گیرد. دمای سطحی و جبهههای دمایی از بهترین شاخصههای بررسی تغییرات شرایط این دریا است

دمای سطحی دریاها و تغییرات آن (جبهههای دمایی) به عنوان محرکی قدرتمند در الگوی آب و هوای جهانی شناخته می شود که نقش مهمی در تبادلات انرژی، اندازه حرکت و رطوبت بین دریا و اتمسفر دارد. بنابراین شناخت آن برای تغییرات آب و هوایی زمین و دریا هوا بسیار حائز اهمیت است.

امروزه سنجش از دور ابزاری کاربردی، کمهزینه و انفطاف پذیر جهت مطالعات منابع آب است. با توجه به وسعت دریاها و عدم دسترسی سریع و انجام عملیات میدانی اندازه گیری در زمان کوتاه، اهمیت سنجش از دور در مطالعات دریایی کاملا مشخص است.در مکانهای از دریا که در آن تغییرات شدید پارامترهای دریایی وجود دارد، مانند دهانه رودخانهها و جبهههای اقیانوسی، نقش سنجش از دور کاملا کاربردی و آشکار است [۱۳].

نقشه دمای سطحی دریاها با استفاده از سنسورهای مادون قرمز بکار رفته در ماهوارهها قابل سنجش است. در این روش علاوهبر صرفه جویی در هزینه و زمان، نقشههای بزرگ مقیاسی از دمای سطحی استخراج می شود که امکان مقایسه مکانی و زمانی در آن بهراحتی فراهم است [۱۴]. سنجنده مادیس (MODIS¹) که بر روی ماهواره آکوا^۲ ناسا قرار دارد و دمای آب را در بالاترین لایه میلیمتری سطح آب دریاها اندازه گیری می کند از بهترین ابزارها در این زمینه است [۱۵].

به را تربع ترین دید میلی مناری منطق به عریف معار عیری می عند را به رین برازت تر این را براسی کرده و به واگاوا^۳ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی جبهههای اقیانوسی و خصوصیات توده آب دریای مرکزی ژاپن را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که جبهههای دما، به دلیل تزریق مواد مغذی از عمق آب به لایه سطحی، از نظر بیولوژیکی مناطقی فعال محسوب می شوند [18]. سالیداس و لارا^۴ (۲۰۲۰) تکامل فصلی جبههای دمای سطح دریای چین را با استفاده از

¹ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

² Aqua

³ Wagawa

⁴ Saldías and Lara

ماهواره مادیس بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تشخیص جبهههای دمایی فلات قاره در فصل زمستان که همزمان با تخلیه بیشتر آب رودخانهها به دریا است، راحتتر است [۱۷]. بلیکن^۱ و همکاران (۲۰۰۹) جبهههای دمایی سراسر دریاهای زمین را به مدت ۱۲ سال بررسی کردند. در این تحقیق جبهههای دمایی پایدار شناسایی و نشان داده شد که عمده این جبههها به جریانات زمین گرد وابسته بوده و دلیل پیدایش جبهههای اکوسیستمی بزرگ دریایی محسوب می شوند [۱۸]. لین⁷ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی جبهههای دمایی دریای زرد را در تابستان را بررسی کرده و نشان دادند که ویژگیهای توپوگرافی و اختلاط جزرومدی در تشکیل جبهههای دوگانه در این دریا موثر هستند [۱۹]. سارما^۳ و همکاران (۲۰۱۸) پاسخ اکوسیستم شمال شرق دریای عرب را به جبهههای دوگانه در این دریا موثر هستند [۱۹]. سارما^۳ و جبهههای دمایی شکل گرفته در دریا، پتانسیل بالایی بر تولیدات شیلاتی دارد [۲۰]. تسنگ[†] و همکاران (۲۰۱۴) جبهههای دمایی شمال اقیانوس هند را با استفاده از سنجنده مادیس بررسی کرده و ارتباط نزدیک آنها را با میزان صد ماهی و تولیدات شیلاتی نشان دادند [۹]. کارمی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان «آسکارش جبهههای دمایی ساحلی جریانات تشکلی شده اند. همچنین پنج ناحیه ی جبهه دایی پایدار در نواحی دور از ساحل و همتان دادید که در جریانات تشکیل شده اند. همچنین پنج ناحیه ی جبهه دایی پایدار در نواحی دور از ساحل و همتران (ی در این جریانات میلاتی نشان دادند [۹]. کارمی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان «آسکارش جبهههای دمایی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از تصاویر مادیس» نشان دادند که اکثر جبههها در مکان های پرانرژی و در راستای جریانات تشکیل شده اند. همچنین پنج ناحیه ی جبهه دمایی پایدار در نواحی دور از ساحل و هشت ناحیه در نزدیک ساحل در این آب ها شناسایی شد. در این تحقیق، زمانهایی از سال که شاهد بیشترین و کمترین حضور جبهههای دمایی

در این تحقیق، جبهههای دمایی سطحی دریای خزر که از منظر علوم فیزیک دریا، شیمی دریا و زیست دریا و بهویژه شیلاتی حائز اهمیت است، با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس و روش الگوریتم کنی^۵ شناسایی و استخراج شدهاند. با شناسایی و درک صحیح از ابعاد زمانی و مکانی جبهههای دمایی سطحی، امکان مدیریت منابع شیلاتی و همچنین پیشبینی پدیدههای مرتبط با علوم اقیانوسشناسی فراهم خواهد گردید.

مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، دریای خزر است که در محدوده ۴۷–۳۷ درجه عرض شمالی و ۵۵–۴۷ درجه طول شرقی قرار گرفته است. این پهنه آبی با ۱۲۱۰ کیلومتر طول، ۳۲۰ کیلومتر عرض و مساحتی نزدیک به ۴۳۸۸۰۰ کیلومتر مربع، بزرگترین دریاچه جهان است. دریای خزر توسط کشورهای ایران، آذربایجان، روسیه، قزاقستان و ترکمنستان احاطه شده است [۱۱]. در (شکل ۱) موقعیت دریای خزر و کشورهای حاشیهای آن نشان داده شده است.

- ³ Sarma
- ⁴ Tseng
- ⁵ Canny

¹ Belkin

² Lin



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه (دریای خزر) Fig (1): Location of study area (Caspian Sea)

۲-۲- جمع آوری داده (تصاویر ماهواره)

هر سیستم سنجش از دور (سنجنده) با چهار قدرت تفکیک، شامل قدرت تفکیک مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتریک شناخته میشود. در این تحقیق، از تصاویر سنجنده مادیس که هدف اصلی آن تهیه همزمان دادههای زمین، اقیانوس و اتمسفر است استفاده شده است. این سنجنده از بهترین ابزارها برای سنجش دمای سطحی اقیانوسها از راه دور است. دامنه طیفی این سنجنده در محدوده طول موجهای ۲۰۰ – ۱۴.۴ سلا است که نیاز کاربران مختلف علوم محیطی را بهخوبی برآورده می سازد. قدرت تفکیک مکانی سنجنده مادیس در باندهای ۱ و ۲ برابر ۲۵۰ متر، در باندهای ۳ تا ۷ برابر ۲۰۰ متر و در ۲۹ باند باقی مانده برابر ۱۰۰۰ متر است. پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده برابر ۲۳۳۰ کیلومتر است که همین موضوع پوشش جهانی را در هر یک تا دو روز امکانپذیر می سازد. حساسیت رادیومتریک ۱۲ بیت، وجود ۳۶ باند طیفی مجزا و تصحیح هندسی پیشرفته از دیگر ویژگیهای این سنجنده است. علاوه بر ویژگیهای مذکور، وجود باندهای حرارتی متعدد از دلایل استفاده از سنجنده مادیس برای بررسی جبهههای دمایی در این تحقیق است [۲۲]. به این منظور دمای سطح آب دریای خزربصورت ماهانه به مدت پنج سال از ۲۰۱۸ تا ۲۹ بررسی و جبهههای دمایی مربوطه با استفاده از الگوریتم کنی شناسایی و استخراج شد. علاوه بر بررسی مکانی جبهههای دمایی، به منظور بررسی زمانی نیز، تصاویر هر سال در سه دوره با هم مقایسه شدند.

۲-۳- روشهای تشخیص جبهه

برای آشکارسازی و تشخیص جبهه (لبه) در تصاویر ماهواره، روشهای متعددی ارائه شده که اساس بسیاری از آنها مشتق گیری، عملگرهای صریح ریاضی و هیستو گرام است. الگوریتم کنی روشی برای تشخیص جبههها و بررسی ویژ گیهای آنها براساس مشتق گیری است و در مناطق نزدیک ساحل کاربرد دارد [۲۳]. الگوریتم کنی بهشدت متاثر از نویز تصویر است، و بنابراین میبایست قبل از استخراج جبههها، نویز را تصویر اولیه حذف کرد. به این منظور معمولا از یک ماسک

ساده یا فیلتر گوسین ^۱ استفاده میشود. بعد از حذف نویز از تصویر، میتوان قدرت لبه (گرادیان) را با استفاده از الگوریتم سود:
سوبل^۲ در دو راستای X و Y بهدست آورد. برای هر بلوک مقدار گرادیان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه میشود:
(۱)
اندازه و مقدار G نشان دهنده قدرت لبه است. راستای لبه برای هر بلوک با استفاده از رابطه (۲) مشخص میشود:

$$\theta = Tan^{-1}(\frac{G_x}{G_y})$$
(۲)

باید توجه کرد که تنها زوایای ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه را میتوان بهعنوان راستای لبه در نظر گرفت. برای جلوگیری از خطا، از دو حد آستانه بالا (T2) و پایین (T1) برای تشخیص جبهه استفاده می شود. پیکسلی با مقدار کمتر از T1 به عنوان لبه محسوب نمی شود. پیکسلی با مقدار بیشتر از T2 به عنوان لبه در نظر گرفته می شود. چنانچه مقدار پیکسل از T1 بیشتر و از T2 کمتر باشد، تحت شرایطی خاص (اتصالی بین آن پیکسل و پیکسل های لبه وجود داشته باشد) می توان آن پیکسل را به عنوان لبه مشخص کرد [۲۴].

۳-یافته ها و بحث

تصاویر ماهانه جبهه¬های دمایی به سه دوره زمانی (چهار ماهه) نقسیم بندی شده است. ماههای ژوئن تا سپتامبر بهعنوان دوره تابستانی، ماههای اکتبر تا ژانویه بهعنوان دوره زمستانی و ماههای فوریه تا می بهعنوان دوره پیش تابستانی نامگذاری شده که در بخش (۳–۱) ویژگیهای هر دوره بهمنظور مقایسه زمانی جبههها ارائه شده است. همچنین در بخش (۳–۲) نیز با منطقه بندی دریای خزر و بررسی ویژگیهای جبهههای هر منطقه، مقایسه مکانی جبههها ارائه شده است.

۳-۱- مقایسه زمانی جبههها

در دوره تابستانی، جبهههای متعددی با الگوریتم کنی شناسایی شدند. در ژوئن و ژوئیه شکل گیری جبههها آشکارتر است، اما در انتهای ژوئیه و سپتامبر بهتدریج از تعداد آنها کاسته می شود. در این دوره، جبهههای شکل گرفته در خزر جنوبی منسجم تر و بلندتر هستند و به سمت مناطق ساحلی امتداد می یابند. در آگوست بیشتر جبههها در سواحل قزاقستان، ترکمنستان و ایران شکل گرفت و تقریبا هیچ جبههای در سواحل کشور آذربایجان شناسایی نشد. با وجود اینکه جبهههای شناسایی شده در سواحل روسیه در این دوره، کوتاه و پراکنده بود، اما در سپتامبر ۲۰۱۷، جبهه بزرگی با طول بیش از سال می شناسایی شده در سواحل این کشور شکل گرفت. در (شکل ۲) جبهههای دمایی شناسایی شده با روش کنی در ماه ژوئیه سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ تنان داده شده است.

¹ Gaussian Filter

² Sobel Algorithm



شکل (۲): جبهههای دمایی شناسایی شده با روش کنی در ماه ژوئیه سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ Fig (2): Sea surface temperature fronts detected by Kenny's algorithm in July from 2015 to 2019

در دوره زمستانی (اکتبر تا ژانویه)، جبهههای بیشتری که عمدتا خوشهای هستند، شروع به شکل گیری می کنند. جبهههای سواحل قزاقستان و ترکمنستان در ماه اکتبر، در همه دوره پنج ساله این تحقیق شناسایی شدند. در ماه نوامبر نیز جبهههای متعددی در حال شکل گیری است، اما مکان ثابتی برای آنها نمیتوان یافت. در دسامبر ۲۰۱۷، جبهه منحصربهفردی در ۶۰ کیلومتر ساحل ترکمنستان به طول تقریبی ۳۰۰ کیلومتر در امتداد ساحل شکل گرفت. در دسامبر ۲۰۱۶ نیز، جبههای مشابه در ۳۰ کیلومتری سواحل ایران (استان مازندران) با طول تقریبی ۲۰۰ کیلومتر شناسایی شد. در (شکل ۳) جبهههای دمایی شناسایی شده با روش کنی در ماه نوامبر سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ نشان داده شده است.





شکل (۳): جبهههای دمایی شناسایی شده با روش کنی در ماه نوامبر سالهای ۲۰۱۹ تا ۲۰۱۹ Fig (3): Sea surface temperature fronts detected by Kenny's algorithm in November from 2015 to 2019

در دوره پیش تابستانی، به صورت پراکنده و متعدد، انواع جبهه های طویل، منسجم، شاخه ای و گسسته دیده می شود. جبهه های ساحل آذربایجان در فوریه، از جمله جبهه های پایدار و پر تکرار در این مدت پنج ساله بررسی است. در ماه مارس نیز جبهه های سواحل روسیه، در تمام مدت این پنج سال مشاهده شد، اما در سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ منسجم تر و در سال های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ پراکنده تر بودند. در ماه می، جبهه های متعددی در سواحل جنوبی خزر شکل گرفت. در (شکل ۴) جبهه های دمایی شناسایی شده با روش کنی در ماه مارس سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ نشان داده شده است.



شکل (۴): جبهههای دمایی شناسایی شده با روش کنی در ماه مارس سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ Fig (4): Sea surface temperature fronts detected by Kenny's algorithm in March from 2015 to 2019

۲-۳- مقایسه مکانی جبههها

از بررسی جبهههای دمایی شناسایی شده با الگوریتم کنی، شش منطقه اصلی برای جبهههای پایدار ماهانه شناسایی شد که در (شکل ۵) ارائه شده است. در منطقه ۱، در بیشتر ماههای سال بجز ژانویه جبهههای دما شکل می گیرند. جبهههای منطقه ۱، جبهههای پایدار ساحلی در طی سال محسوب می شوند. جبهههای دمایی منطقه ۲ به طور کلی حضور مستمری در طی سال نداشته و پس از شکل گیری در ماه می تا دسامبر باقی مانده و پس از آن به صورت پراکنده شکل می گیرند. تنها حضور مستمر جبههها در منطقه ۳، ماه مارس است. در منطقه ۴ جبههها بجز در ماه آگوست، به صورت پایدار شناسایی شدند. در منطقه ۵، جبهههای دمایی در سپتامبر شکل گرفته و در ماههای اکتبر و نوامبر به طور پیوسته دیده می شوند. جبهههای دمایی منطقه ۶، در دو دوره سه ماهه سپتامبر تا نوامبر و مارس تا می حضور پایدار داشته و در مابقی سال به صورت پراکنده و گسسته شناسایی شدند.



شکل (۵): مناطق جبهههای دمایی شناسایی شده توسط الگوریتم کنی. Fig (5): Zoning of sea surface temperature fronts detected by Kenny's algorithm.

در (شکل ۶)، جبهههای دمایی ماهانه مستخرج با الگوریتم کنی به تفکیک سال و مناطق شش گانه، نشان داده شده است. همچنین در (جدول ۱) نیز جزئیات این جبهههای دمایی ارائه شده است.



شکل (۶): جبهههای دمایی شناسایی شده توسط الگوریتم کنی به تفکیک سال و مناطق ششگانه

Fig (6): Sea surface temperature fronts separated by year and region

منطقه ۶	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۲	منطقه ۱	
تکهتکه و متغیر مکان	بلند، منسجم و ثابت	حضور	حضور	غيرمستمر	حضور	ژوئن
غيرمستمر	غيرمستمر	بلند، منسجم و ثابت	حضور	حضور	حضور	ژوئيه
غيرمستمر	عدم حضور	غيرمستمر	عدم حضور	حضور	تكەتكە	اوت
بلند، منسجم و ثابت	عدم حضور	پيدايش	پيدايش	حضور	حضور	سپتامبر
پايدار و ثابت مكان	تكەتكە و متغيرمكان	تكەتكە	حضور	حضور	حضور	اكتبر
حضور	حضور	حضور	حضور	حضور	حضور	نوامبر
تكەتكە و متغيرمكان	نامشهود	تكەتكە	حضور	بلند و منسجم	حضور	دسامبر
پراکنده و نامشهود	پراکنده و نامشهود	حضور	پايدار و ثابت	تكەتكە	تکەتکە و	ژانويه
پيدايش و تكەتكە	عدم حضور	حضور	حضور	پيدايش و منسجم	حضور	فوريه
حضور	عدم حضور	حضور	پيدايش و تكەتكە	عدم حضور	حضور	مارس
حضور	عدم حضور	بلند، منسجم و ثابت	حضور	منسجم ودور از	حضور	آوريل
حضور	پيدايش و تكەتكە	حضور	غيرمستمر	پراکنده و نامشهود	حضور	مە

جدول (۱): وضعیت و شرایط حضور ماهانه جبهههای دمایی دریای خزر

۴- نتیجه گیری

یکی از پدیدههای دریای خزر، امواج داخلی است که توسط لاوروا و میتیاژینا در سال ۲۰۱۴ بررسی شد و نشان داد که امواج داخلی دریای خزر در سه منطقه اصلی (منطقه A، B و C) متمرکز شده و وقوع آنها وابسته به فصول سال است. این موضوع در (شکل ۷) نشان داده شده است. با پایان یافتن ماه می تا نیمه اول ماه ژوئن، امواج داخلی تنها در قسمت غربی خزر جنوبی شکل می گیرند (منطقه A). این درحالی است امواج داخلی در نیمه دوم ژوئن و ژوئیه در شرق دریای خزر (منطقه B) و در آگوست، در شمال شرق دریای خزر شناسایی شد. بیشترین امواج داخلی شناسایی شده مربوط به ماههای جولای و آگوست و در شرق دریای خزر شمال آبشرون سیل^۱ است. در بقیه مناطق سطحی دریای خزر، امواج داخلی فراوانی کمتری دارد [۲۵]. با مقایسه امواج داخلی دریای خزر با جبهههای دمایی شناسایی شده در این تحقیق، ارتباط بین این دو آشکار شد. امواج داخلی منطقه A را با جبهههای دمایی مناطق سطحی دریای خزر، امواج داخلی بین این دو آشکار شد. امواج داخلی منطقه A را با جبهههای دمایی مناسایی شده در این تحقیق، ارتباط داخلی پرقدرتی شکل گرفته است. نتایج نیز جبهههای دمایی منطقه ۴ میتوان مقایسه کرد. در منطقه A امواج داخلی پرقدرتی شکل گرفته است. نتایج نیز جبهههای داین را در ماههای ژوئن و ژوئیه در منطقه ۲ (نزدیک ساحل) داخلی نشان داد. در منطقه یک که با منطقه C همپوشانی دارد نیز، در بیشتر مواقع سال بهویژه آگوست، جبهههای دایی مشاهده شد.

¹ Apsheron Sill



[۲۵] شکل (۷): موقعیت امواج داخلی شناسایی شده در دریای خزر
 Fig (7): Location of internal wave detected in Caspian Sea [25]

پدیده فراجوشی نیز یکی از پدیدههایی است که بر دمای سطحی آب و جبهههای دمایی اثرگذار بوده و غالبا تحت تاثیر شرایط باد، جریان و توپوگرافی بستر شکل میگیرد. در تابستان الگوی باد غالب دریای خزر بهخصوص سواحل شرقی از شمال به سمت جنوب است. همچنین جهت جریانات سواحل شرقی خزر میانی، از ساحل بهسمت دور از ساحل است. بنابراین پدیده فراجوشی در سواحل شرقی خزر در تابستان شکل میگیرد [۲۶]. یکی دیگر از عوامل فراجوشی، توپوگرافی بستر دریا است. این نوع از فراجوشی در مناطقی ایجاد میشود که توپوگرافی نواحی ساحلی نامنظم بوده و دارای دماغه یا تپههای دریایی باشد. در این مناطق، برخورد جریانات نزدیک بستر با شیب تند ساحل یا تپه دریایی سبب تغییر مسیر و نخر که در (شکل ۸) نشان داده شده است، سواحل غربی خزر میانی دارای تغییرات شدیدی در شیب بستر است که مستعد پدیده فراجوشی وابسته به توپوگرافی گفته میشود. با توجه به نقشه عمقسنجی دریای پدیده فراجوشی وابسته به توپوگرافی است [۲۷]. بر این اساس، جبهههای شناسایی شده در مناطق کمعمق ۳ و ۴ که دارای تغییرات شدید بستر نیز هستند، با مناطق مستعد فراجوشی وابسته به عمق، همپوشانی دارند. تعدادی از جبهههای دارای تغییرات شدید بستر نیز هستند، با مناطق مستعد فراجوشی وابسته به عمق، همپوشانی دارند. تعدادی از جبهههای مناطق ۳ و ۴ در (شکل ۹، سمت راست) نشان داده شده است.



[۲۸] شکل (۸): سمت راست: نقشه عمق سنجی [۲۷] و سمت چپ: نقشه خطوط هم عمق دریای خزر (۲۸): سمت راست: نقشه عمق سنجی [۲۵] و سمت چپ: نقشه خطوط هم عمق دریای خزر (۸): Fig (8): Right: bathymetric map [27] and Left: bathymetric contours [28] of Caspian Sea

از دیگر عوامل حرکات قائم (حرکت بالاسو) آب بهخصوص در نواحی عمیق خزر میانی، وجود گرادیان چگالی است. این گرادیان چگالی بر اثر ورود آب رودخانههای عظیمی مانند ولگا واورال در شمال دریای خزر و همچنین اختلاف دمای نصفالنهاری در این دریا ایجاد میشود. بر اثر این اختلاف چگالی، آبهای سرد و چگال خزر شمالی به طرف لایههای عمیق تر فرورفته و سبب بالا آمدن آب در خزر میانی و جنوبی میشود [۲۷]. بنابراین جبهههای دمایی شناسایی شده در مناطق ۱ و ۲ در خزر میانی که نمونههایی از آن در (شکل ۹، سمت راست) نشان داده شده، بر اثر تغییرات عمق در این منطقه و همچنین حرکات قائم ناشی از گرادیان چگالی ایجاد شدهاند.

گردش کلی آب دریای خزر متاثر از عوامل متعدد از جمله جریانات بادرانده سطحی و جریانات ترموهالاین ستون آب است. (شکل ۹، سمت چپ) گردش کلی آب دریای خزر و مناطق مستعد فراجوشی در سواحل شرقی را در دوره گرم سال نشان میدهد [۲۹]. بهطور کلی در دوره زمستان، گردشی پادساعتگرد در خزر میانی و گردشی ساعتگرد در خزر جنوبی فعال هستند. در تابستان تقریبا عکس این حالت اتفاق میافتد [۳۰, ۳۱]. این چرخندها و جریانات بالای سوی ناشی از آنها از عوامل ایجاد تغییرات سطحی دمای آب و جبهههای دمایی است که آشکارسازی جبهههای دمایی، ارتباط و تطابق این دو را آشکار کرد. جبهههای شناسایی شده در مناطق ۱، ۲ و ۳ که در (شکل ۹، سمت راست) نشان داده شده است نیز با



شکل (۹): سمت راست: منطقهبندی جبهههای دمایی حاصل از الگوریتم کنی در ماه ژوئن و سمت چپ: گردش تابستانه آب در دریای خزر [۲۹]

Fig (9): Right: Zoning of sea surface temperature fronts in June and Left: Summer Circulation of Caspian Sea [29]

منابع:

- 1. Belkin I, Shan Z, Cornillon P. Global survey of oceanic fronts from Pathfinder SST and in-situ data. Eos Trans AGU. 1998;79(45).
- 2. Hopkins J, Challenor P, Shaw AG. A new statistical modeling approach to ocean front detection from SST satellite images. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2010;27(1):173-91.
- 3. Belkin I, Cornillon P. Bering Sea thermal fronts from Pathfinder data: Seasonal and interannual variability. Pacific Oceanography. 2005;3(1):6-20.
- 4. Einali A, Sadrinasab M, Akbarinasab M. The Arvand River plume Detection by Using Numerical Modelling. Hydrogeomorphology. 2022;9(31):174-59.
- 5. DiGiacomo PM, Hamner WM, Hamner PP, Caldeira RM. Phalaropes feeding at a coastal front in Santa Monica Bay, California. Journal of Marine Systems. 2002;37(1-3):199-212.

- 6. Holligan P. Biological implications of fronts on the northwest European continental shelf. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A, Mathematical and Physical Sciences. 1981;302(1472):547-62.
- 7. Jessup DA, Miller MA, Ryan JP, Nevins HM, Kerkering HA, Mekebri A, et al. Mass stranding of marine birds caused by a surfactant-producing red tide. PLoS One. 2009;4(2):e4550.
- 8. Tittensor DP, Mora C, Jetz W, Lotze HK, Ricard D, Berghe EV, et al. Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. Nature. 2010;466(7310):1098-101.
- 9. Tseng C-T, Sun C-L, Belkin IM, Yeh S-Z, Kuo C-L, Liu D-C. Sea surface temperature fronts affect distribution of Pacific saury (Cololabis saira) in the Northwestern Pacific Ocean. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2014;107:15-21.
- 10. Belkin I, Cornillon P. Surface thermal fronts of the Okhotsk Sea. Pacific Oceanography. 2004;2(1-2):6-19.
- 11. Kosarev AN. Physico-geographical conditions of the Caspian Sea. The Caspian Sea Environment. 2005:5-31.
- 12. Zonn IS, Kosarev AN, Glantz MH, Kostianoy AG. The Caspian Sea Encyclopedia: Springer; 2010.
- 13. Hashemi SN, Akbarinasab M, Safarrad T. The Detection of the Plume of the Arvand River Using Satellite Images. Hydrogeomorphology. 2018;4(13):147-64.
- 14. Us Department of Commerce NO, Atmospheric A. Why do scientists measure sea surface temperature? 2021 [Available from: https://oceanservice.noaa.gov/facts/sea-surface-temperature.html.
- 15. Nasa Earth Observatory. Sea Surface Temperature: NASA Earth Observatory; 2018 [Available from: https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MYD28M.
- 16. Wagawa T, Kawaguchi Y, Igeta Y, Honda N, Okunishi T, Yabe I. Observations of oceanic fronts and water-mass properties in the central Japan Sea: Repeated surveys from an underwater glider. Journal of Marine Systems. 2020;201:103242.
- 17. Saldías GS, Lara C. Satellite-derived sea surface temperature fronts in a river-influenced coastal upwelling area off central–southern Chile. Regional Studies in Marine Science. 2020;37:101322.
- 18. Belkin IM, O'Reilly JE. An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery. Journal of Marine Systems. 2009;78(3):319-26.
- 19. Lin L, Liu D, Luo C, Xie L. Double fronts in the Yellow Sea in summertime identified using sea surface temperature data of multi-scale ultra-high resolution analysis. Continental Shelf Research. 2019;175:76-86.
- 20. Sarma V, Desai D, Patil J, Khandeparker L, Aparna S, Shankar D, et al. Ecosystem response in temperature fronts in the northeastern Arabian Sea. Progress in Oceanography. 2018;165:317-31.
- 21. Karami H, Akbarinasb M, Safarad T. Detection coastal thermal fronts in the Persian Gulf and the Oman Sea using MODIS images. 2018.
- 22. Puthezhath AS. Identification of thermal fronts in the Arabian sea using MODIS-SST data. Kerala University Of Fisheries And Ocean Studies Panangad. 2014.
- 23. Wall CC, Muller-Karger FE, Roffer MA, Hu C, Yao W, Luther ME. Satellite remote sensing of surface oceanic fronts in coastal waters off west-central Florida. Remote Sensing of Environment. 2008;112(6):2963-76.
- 24. Ren S, Zhu X, Drevillon M, Wang H, Zhang Y, Zu Z, et al. Detection of SST fronts from a high-resolution model and its preliminary results in the south China sea. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2021;38(2):387-403.
- 25. Lavrova O, Mityagina M. Satellite survey of internal waves in the Black and Caspian Seas. Remote Sensing. 2017;9(9):892.
- 26. Shiea Ali M, A. A. Bidokhti AA. The study of upwelling in the eastern coast of the Caspian Sea using numerical simulation. Journal of the Earth and Space Physics. 2015;41(3):535-45.
- 27. Mansoury D, Sadrinasab M, Akbarinasab M. Seasonal and annual variability in wind fields and circulation of surface waters of the Caspian Sea. Journal of Marine Science and Technology. 2018;17(1):68-82.
- 28. Kostianoy AG, Ginzburg AI, Lavrova OY, Lebedev SA, Mityagina MI, Sheremet NA, et al. Comprehensive satellite monitoring of Caspian Sea conditions. Remote sensing of the Asian Seas. 2019:505-21.
- 29. Lavrova OY, Mityagina M, Sabinin K, Serebryany A. Satellite observations of surface manifestations of internal waves in the Caspian Sea. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2011;47:1119-26.

- 30. Gunduz M, Özsoy E. Modelling seasonal circulation and thermohaline structure of the Caspian Sea. Ocean Science. 2014;10(3):459-71.
- 31. Kara AB, Wallcraft AJ, Metzger EJ, Gunduz M. Impacts of freshwater on the seasonal variations of surface salinity and circulation in the Caspian Sea. Continental Shelf Research. 2010;30(10-11):1211-25.



Detection of The Caspian Sea Surface Temperature Fronts by Remote Sensing

Shahnaz Kaleji¹, Mohammad Akbarinasab^{*2}, Abbas Einali³

1- Physical Oceanography Department, Faculty of Environmental and Marine Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran.

ABSTRACT

A sea temperature front that is a narrow-width area with a high-temperature gradient has important rules in biological, chemical, physical, and agricultural parameters and climate change issues. Detection of Sea surface temperature front is usable for other phenomena understanding such as upwelling, eddy, and biological accumulation. So, in this study, the Caspian Sea surface temperature fronts in 5 years from 2015 until 2019 have been investigated by satellite images (Modis). For this purpose, the Canny algorithm was used in the MATLAB environment. The detected fronts were compared spatially and temporarily (each year was divided into three periods with four months) with each other. The results show that the fronts in the north of the Caspian Sea are permanent from September until November and March until May, and other times of year are impermanent and dashed. In the east of the south Caspian Sea, detected fronts in only March month repeated annually, while, in the west of the south Caspian Sea, in all months except for August, fronts were detected all five years. The pattern of temperature fronts in the east and west of the Middle Caspian Sea is different. In winter, the fronts are clustered, but in summer, are coherent and clear. Also, the southern Caspian Sea temperature fronts in the pre-summer period are less abundant than in other periods. In general, the detected fronts are related and consistent with the location of internal waves, steep areas near the coast, and the circulation pattern of the Caspian Sea.

KEYWORDS: Sea Surface Temperature, Modis, Canny Algorithm, Caspian Sea

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 1 Aug 2023 Accepted: 23 Nov 2023 ePublished: 6 Dec 2023