استفاده از تکنیک‌های آمار فضایی جهت بررسی تغییرات زمانی-مکانی غلظت کلروفیل a در خلیج‌فارس

یونس خسروی[1*]
علی بحری[2]

۱. استادیار گروه علوم محیطزیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. کارشناس ارشد علوم محیطزیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

***مسئول مکاتبات:**
khosravi@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۶
کد مقاله: ۱۳۹۷۰۲۰۵۷۱

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

بررسی غلظت کلروفیل a (Chl-a) از دیدگاه علوم مختلف مرتبط با دریا نظیر زیست‌شناسی دریا، محیطزیست دریا، اقلیم‌شناسی و اقیانوس‌شناسی دارای اهمیت است. با بررسی و پایش این پارامتر امکان شناسایی پدیده‌های مهمی همچون شکوفایی جلبکی و فراجوشی فراهم می‌شود. در این مطالعه ابتدا داده‌های ماهواره‌ای غلظت Chl-a با دقت مکانی ۰/۰۵ درجه از پایگاه داده NOAA و سنجنده MODIS Aqua به‌صورت ماهانه و طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ میلادی برای خلیج‌فارس تهیه گردید و سپس توسط تکنیک‌های آمار فضایی موران جهانی و موران محلی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحلیل موران جهانی حاکی از خودهمبستگی قوی و توزیع خوشه‌ای داده‌ها در هر چهارفصل بود که در فصل زمستان از قوی‌ترین و فصل تابستان از ضعیف‌ترین خودهمبستگی برخوردار بودند. در ادامه جهت تشخیص نوع خوشه‌های فضایی و محل تشکیل آن‌ها از آماره موران محلی استفاده گردید. نتایج این تحلیل بیانگر تعداد بیشتر خوشه‌های بالا-بالا (مقادیر بالای غلظت Chl-a) برای فصل زمستان نسبت به سایر فصل‌ها بود. با بررسی نقشه‌های خروجی از این تحلیل مشخص گردید که غلظت بالای Chl-a در فصل‌های زمستان و بهار عمدتاً در امتداد سواحل شمالی خلیج‌فارس و در فصل تابستان اکثراً در امتداد سواحل جنوبی این خلیج شکل‌گرفته‌اند؛ اما در فصل پاییز غلظت بالای Chl-a در امتداد تمامی سواحل منطقه دیده شد. خوشه‌های پایین-پایین (مقادیر پایین غلظت Chl-a) نیز غالباً در نواحی مرکزی خلیج‌فارس تشکیل‌شده بودند. درمجموع می‌توان بیان نمود که تغییرات غلظت Chl-a در خلیج‌فارس وابسته به جریانات سطحی دریا، ورودی رودخانه‌ها و شرایط اقلیمی منطقه است.

واژگان کلیدی: کلروفیل a، آمار فضایی، موران جهانی، موران محلی، خلیج‌فارس.

مقدمه

مولکول کلروفیل، امکان فتوسنتز را برای گیاهان و به‌ویژه جلبک‌ها فراهم می‌سازد. این مولکول با استفاده از نور خورشید مولکول‌های ساده را به ترکیبات آلی تبدیل می‌کند. کلروفیل a (Chl-a)، نوع غالب کلروفیل در گیاهان و جلبک‌ها به شمار می‌رود (EPA, 2014). بررسی و پایش این پارامتر ازنظر تأثیرات مثبت و منفی مختلفی که می‌تواند بر محیط‌های آبی داشته باشد دارای اهمیت است. برای مثال؛ کلروفیل a در ارزیابی ارتباط اکسیژن محلول و توده‌های جلبکی (EPA, 2014)، بررسی تولیدات اولیه و پراکنش توده‌های فیتوپلانکتونی (Iriarte *et al.*, 2007; Artigas *et al.*, 2014)، شناسایی اثرات مخرب شکوفایی جلبکی (Pitcher *et al.*, 2010) و بررسی کیفیت آب و آلاینده‌های آلی در محیط‌های دریایی (Kim *et al.*, 2017) دارای کاربرد است. همچنین با استفاده از سنجش هم‌زمان غلظت Chl-a و پارامترهایی همچون باد سطحی و دمای سطح دریا، امکان بررسی چرخه‌های فیزیکی، بیولوژیکی، بیوشیمیایی و شناسایی پدیده‌های جوی و اقیانوسی نظیر فرا جوشی فراهم می‌شود

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

Krezel *et al*., 2005; Kahru *et al*., 2010; Gai *et al*., 2012; Uiboupin *et al*., 2012; Nababan *et al*., 2016; Kampf and Chapman, 2016). لذا با توجه به کاربردهای غلظت Chl-a که به برخی از آن‌ها اشاره شد، بررسی تغییرات زمانی و مکانی این پارامتر در محیط‌های دریایی امری ضروری به نظر می‌رسد که در این رابطه مطالعات متعددی انجام‌شده است. به‌عنوان‌مثال؛ Krishna (۲۰۱۰)، به بررسی تغییرات فصلی و سالانه غلظت Chl-a ، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده SeaWiFS طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ در قسمت‌های مرکزی سواحل شرقی کشور هند پرداخت. این محقق دریافت که فرآیند فرا جوشی در اواخر فصل‌های بهار و زمستان، منطبق بر زمان حداکثر تابش خورشیدی بوده است و این فرآیند منجر به افزایش زی‌توده فیتوپلانگتونی شده است. همچنین غلظت Chl-a در محدوده ۲ تا ۱۰ میلی‌گرم بر مترمکعب متغیر بوده و حداقل آن در ماه ژوئن و حداکثر آن در ماه مارس مشاهده‌شده است. علاوه بر این غلظت Chl-a در امتداد ساحل از الگوی فصلی مشابهی پیروی نموده است. در پژوهشی مشابه Neto و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی تغییرات زمانی–مکانی Chl-a در مناطق ساحلی شمال شرقی کشور برزیل با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS Aqua پرداختند. این پژوهشگران در مطالعه خود از روش‌های سنجش‌ازدور و زمین‌آمار استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت Chl-a تغییرات مکانی بسیار بالایی داشته است و بیشترین غلظت این پارامتر در قسمت جنوبی منطقه موردمطالعه و در اعماق بالاتر از ۵۰ متر فلات قاره دیده‌شده است. همچنین در بررسی فصلی مشخص گردید که بالاترین غلظت Chl-a مابین ماه‌های آوریل تا ژوئن و پایین‌ترین غلظت این پارامتر بین ماه‌های اکتبر تا دسامبر ثبت‌شده است. همچنین با استفاده از آنالیزهای چند متغیره دریافتند که تغییرات زمانی–مکانی Chl-a در مناطق کم‌عمق متأثر از تغییرات فصلی شرایط هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و جریانات ساحلی ناشی از باد بوده است، که این تغییرات برای قسمت‌های عمیق‌تر به‌احتمال‌زیاد وابسته به دمای آب و دسترسی به نور بوده است. ادب و همکاران (۱۳۸۹)، به پایش زمانی دمای سطح دریا و Chl-a در دریای خزر با استفاده از تحلیل تصاویر سنجش‌ازدور پرداختند. ایشان در پژوهش خود از روش‌های آماری بهره بردند و با استفاده از آزمون من کندال برای بازه زمانی فصلی دریافتند که برای داده‌های غلظت Chl-a یک‌روند افزایشی وجود داشته است ولی روندی در داده‌های دمای سطح دریا دیده نشده است. همچنین این محققین پی بردند که از نیمه سال ۲۰۰۶ یک تغییر معنادار در میزان غلظت Chl-a مشاهده‌شده است، همچنین رابطه دمای سطح دریا و Chl-a به‌صورت یک همبستگی مثبت قابل توضیح بوده است. در مطالعه‌ای دیگر احمدی و غلامعلی فرد (۱۳۹۵)، به بررسی تغییرپذیری زمانی–مکانی کلروفیل a و شکوفایی جلبکی با استفاده از داده‌های سنجنده SeaWiFS و MODIS Aqua در حوزه جنوبی دریای خزر طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ پرداختند. ایشان پی بردند که در مقیاس زمانی سالانه غلظت Chl-a و دمای سطح دریا هر دو در منطقه موردمطالعه روندی افزایشی داشته‌اند. همچنین مقدار میانگین غلظت Chl-a در محدوده شکوفایی جلبکی نسبت به خارج این محدوده بیشتر بوده است. همچنین جهت کسب اطلاعات بیشتر درزمینه‌ی بررسی تغییرات زمانی–مکانی غلظت Chl-a می‌توان به پژوهش‌های (Jamshidi and Ben Abubakr, 2011;Bucci *et al*., 2012; Liu *et al*., 2014; Reboreda *et al*., 2014)، رجوع کرد.

با مروری بر مطالعات صورت گرفته درزمینه‌ی بررسی غلظت Chl-a در محیط‌های دریایی، مشخص شد که اکثر محققین برای بررسی این پارامتر از روش‌های سنجش‌ازدور و آمار کلاسیک استفاده کرده‌اند، حال اینکه روش‌های آمار فضایی باوجود ویژگی‌ها و کاربردهای فراوانی که دارند، در مطالعه و تحلیل این پارامتر کمتر مورداستفاده قرارگرفته است. این ابزارها در بررسی روابط و الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری (Xiao *et al*., 2013; Feng *et al*., 2017)، مطالعات مرتبط با آلاینده‌های زیست‌محیطی (Liu *et al*., 2013; Zhao *et al*., 2014)، پایش پارامترهای اقلیمی، همچون دما (Balyani *et al*., 2017)، بارش (Rousta *et al*., 2017) و بخارآب (Khosravi *et al*., 2017) به کار گرفته‌شده‌اند.

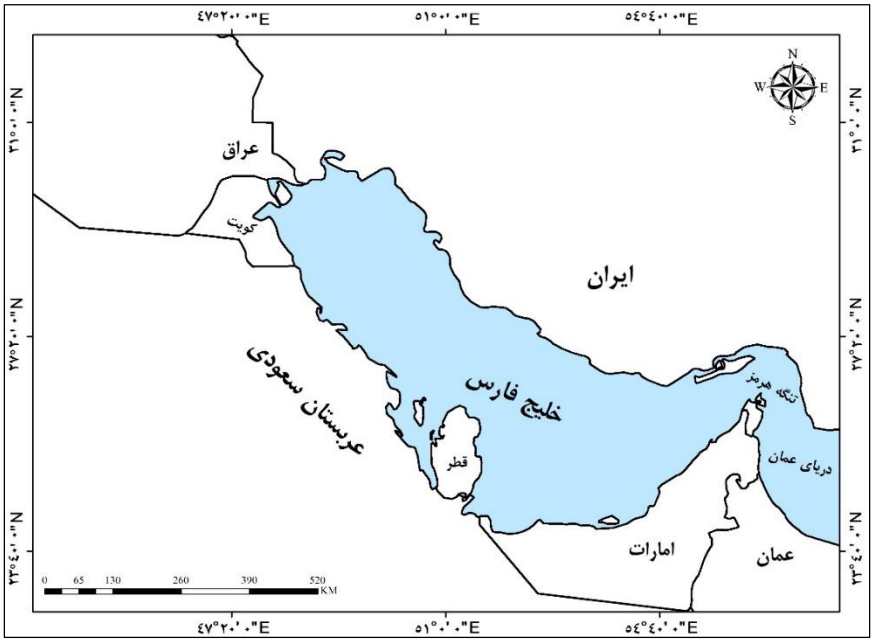
در تعریفی جامع، آمار فضایی مجموعه‌ای از تکنیک‌ها برای توصیف و مدل‌سازی داده‌های فضایی است که این تکنیک‌ها قادرند به ارزیابی الگوها، روندها، پراکنش‌ها، فرآیندها و روابط فضایی بپردازند (Scott and Getis., 2008). اغلب روش‌های آمار کلاسیک بر مبنای استقلال مشاهدات

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

نمونه‌ی مستخرج از جامعه بناشده‌اند؛ اما در عمل موارد زیادی وجود دارند که مشاهدات مستقل نبوده و برحسب موقعیت قرارگیری‌شان در فضای موردمطالعه به یکدیگر وابسته‌اند (محمد زاده، ۱۳۸۵). برخلاف آمار کلاسیک، تکنیک‌های آمار فضایی از فضا و محیط، فاصله، مجاورت، جهت‌گیری و روابط فضایی به‌طور مستقیم در محاسبات خود استفاده می‌کنند (Scott and Getis., 2008). پژوهش حاضر باهدف بررسی وضعیت خودهمبستگی فضایی و تغییرات زمانی-مکانی غلظت Chl-a در خلیج‌فارس با استفاده از تکنیک‌های آمار فضایی در بازه زمانی ۱۴ ساله انجام‌شده است. همان‌گونه که از پیشینه این تحقیق نیز مشخص شد، این تحقیق را می‌توان ازجمله نخستین پژوهش‌های مرتبط با پایش غلظت Chl-a به کمک آمار فضایی دانست.

مواد و روش‌ها

خلیج‌فارس در جنوب غرب آسیا و جنوب کشور ایران واقع‌شده است، این پهنه آبی در موقعیتی حساس و استراتژیک قرار داشته و از دیرباز به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین آبراهه‌های جهانی و مرکز تجارت و اقتصاد جهانی به شمار می‌رود. اهمیت این منطقه در یک‌صد سال اخیر به علت کشف منابع انرژی عظیم در مناطق حاشیه آن به میزان قابل‌توجهی افزایش‌یافته است. این خلیج در مختصات ۲۴ تا ۳۰ درجه عرض شمالی و ۴۸ تا ۵۶ درجه طول شرقی قرارگرفته است. خلیج‌فارس به‌عنوان یکی از گرم‌ترین دریاهای دنیا شناخته‌شده است و ازنظر آب و هوایی شرایط خشک و نیمه استوایی دارد. کشورهای؛ ایران در شمال، کویت و عراق در غرب و شمال غرب، قطر، بحرین، امارت متحده عربی و عربستان سعودی نیز در جنوب این خلیج واقع‌شده‌اند. همچنین این خلیج از شرق به تنگه هرمز و دریای عمان راه دارد. این خلیج از طریق تنگه هرمز و دریای عمان به دریای عرب و اقیانوس هند متصل می‌شود. در شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه ارائه‌شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه بر روی نقشه.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

داده‌های ماهواره‌ای موردنیاز پژوهش حاضر از پایگاه داده سازمان اقیانوس‌شناسی و هواشناسی ایالات‌متحده آمریکا (NOAA) استخراج گردید. داده‌های ماهواره‌ای غلظت کلروفیل a در فرمت Netcdf و در اندازه پیکسل ۰/۰۵ در ۰/۰۵ به‌صورت متوسط فصلی برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ میلادی در بازه زمانی ۱۴ ساله از سنجنده MODIS Aqua تهیه گردید. با بررسی داده‌های ماهواره‌ای کلروفیل مشخص گردید که در ماه‌های مختلف به علت پایین بودن غلظت کلروفیل، داده‌های مناسبی توسط سنجنده ثبت نگردیده است. به همین دلیل از هر فصل ماه‌هایی که ازنظر داده‌های کلروفیل مناسب‌تر بودند جهت انجام تحلیل میانگین‌گیری شد. این ماه‌ها برای فصل زمستان عبارت‌اند از؛ دسامبر، ژانویه، فوریه، برای فصل بهار مارس و آوریل، برای فصل تابستان ژوئن، برای فصل پاییز اکتبر و نوامبر. برای میانگین‌گیری فایل‌های Netcdf دانلود شده، توسط نرم‌افزار ArcMap 10.2 به لایه‌های رستری تبدیل‌شده و میانگین‌گیری از این لایه‌ها انجام گردید. سپس با استفاده از همین نرم‌افزار تبدیل داده‌های رستری به داده‌های نقطه‌ای صورت پذیرفت و برای انجام تحلیل‌های آمار فضایی وارد نرم‌افزار ArcMap 10.2 و Geoda شدند. در این پژوهش برای تحلیل آمار فضایی از آماره‌ی خودهمبستگی فضایی سراسری (موران جهانی) و خودهمبستگی فضایی محلی (موران محلی)- LISA استفاده شد.

از دیدگاه Anselin (۱۹۹۲)، مکان دارای دو نوع تأثیر وابستگی فضایی و ناهمگونی فضایی است: نخست همان همبستگی فضایی یا پیوستگی فضایی است که مستقیماً از قانون توبلر پیروی می‌کند. بدین معنی که ارزش‌های نزدیک به هم شباهت بیشتری با یکدیگر دارند و منجر به تجمع فضایی می‌شوند. دوم تأثیر فضایی متعلق به تفاوت‌های منطقه‌ای یا فضایی است که از بی‌نظیر بودن ذاتی هر مکان پیروی می‌کند. تعیین درجه پراکندگی و یا خوشه‌ای بودن عوارض در فضا با استفاده از آماره خود همبستگی فضایی سراسری – موران جهانی امکان‌پذیر است. درواقع این آماره باهدف توصیف ویژگی‌های فضایی یک متغیر در کل ناحیه به‌کاربرده می‌شود و با استفاده از آن می‌توان میانگین تفاوت فضایی بین تمام سلول‌های فضایی و سلول‌های مجاور آن‌ها را شناسایی کرد (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲). در آماره موران جهانی علاوه بر توجه به نحوه چیدمان عوارض، به خصایص عوارض هم توجه می‌شود و وضعیت خودهمبستگی فضایی را با توجه به موقعیت مکانی و ارزش‌های درونی عوارض بررسی می‌گردد. آماره خودهمبستگی فضایی موران جهانی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Anselin, 1992):

رابطه ۱:

$$I = \frac{n}{s_0}\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{i.j} z_i z_j}{\sum_{i=1}^{n} z_i^2}$$

در این رابطه n تعداد مشاهدات، Z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن $(X_i - \overline{X})$، $W_{i.j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j که محدوده تأثیر وابستگی ساختار فضایی را نشان می‌دهد و بر اساس ارتباط هم‌جواری (همسایگی) تعیین می‌شود و S_0 جمع کل وزن‌های فضایی است که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Anselin, 1992):

رابطه ۲:

$$S_0 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{i.j}$$

آماره‌ی موران جهانی عددی را به دست می‌آورد که با استفاده از آن می‌توان درجه پراکندگی یا خوشه‌بندی عوارض و یا داده‌های فضایی را در فضا اندازه‌گیری کرد (Getis and Ord, 1992; Levine, 1996; Illian *et al*., 2008; Khosravi *et al*., 2018). اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد مثبت یک باشد داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد منفی یک باشد، آنگاه داده‌ها ازهم‌گسسته و پراکنده می‌باشند. در مورد این ابزار فرضیه صفر آن است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه‌شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد (عسگری، ۱۳۹۰).

تکنیک‌های فضایی متنوعی برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا وجود دارد که یکی از معتبرترین آن‌ها آماره انسلین موران محلی است. با در اختیار داشتن عوارض مکانی وزن دهی شده و به کمک این آماره می‌توان نقاط با مقادیر کم یا زیاد که به‌طور خوشه‌ای توزیع‌شده‌اند و یا مقادیر با تفاوت ارزشی بالا (نا خوشه‌ها) را نمایش داد. آماره انسلین موران محلی به تبیین الگوی ارتباط فضایی یک پارامتر مکانی در محدوده همسایگی می‌پردازد. این آماره در سال ۱۹۹۵ توسط انسلین باهدف تشخیص مکان‌های محلی و پیشنهاد مکان‌های انفرادی مؤثر در پیوندهای فضایی ابداع شد (Yamada and Thill, 2007). این آماره برای منطقه i پیوند فضایی بین یک ارزش را در i و نزدیک به آن به روش زیر تعریف می‌کند (Cliff and Ord, 1981):

رابطه ۳:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1.j\neq 1}^{n} W_{i.j}(x_i - \bar{X})$$

در این رابطه Xi خصیصه عارضه $\bar{X}$،i میانگین خصیصه مربوطه و $W_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد که جمع وزن‌ها برابر ۱ است. در این رابطه S_i^2 برابر است با:

رابطه ۴:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1.j\neq 1}^{n} W_{i.j}}{n-1} - \bar{X}^2$$

در این رابطه، n برابر با تعداد کل عوارض می‌باشد. در این آماره امتیاز استاندارد Z محاسبه‌شده و در یک سطح اطمینان مورد آزمون قرار می‌دهد. امتیاز استاندارد ZI_i به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Cliff and Ord, 1981; Goodchild,1986):

رابطه ۵:

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}}$$

در اینجا خواهیم داشت:

رابطه ۶:

$$E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1.j\neq 1}^{n} W_{i.j}}{n-1}$$

رابطه ۷:

$$V[I_i] = E\left[I_i^2\right] - E[I_i]2$$

در این تحلیل اگر مقدار Ii مثبت و معنی‌دار باشد بیانگر این است که سلول‌های موجود توسط سلول‌های مشابه خود محاصره‌شده‌اند. مقادیر مثبت Ii نشان‌دهنده این است که عارضه موردنظر با مقادیر مشخص توسط سلول‌هایی با مقادیر مشابه همان سلول‌ها احاطه‌شده‌اند (بالا-بالا یا پایین-پایین) به این‌گونه عوارض خوشه گفته می‌شود. از طرف دیگر مقادیر منفی و معنی‌دار Ii بیانگر آن است که عارضه موردنظر توسط عوارضی که ازلحاظ ارزشی اصلاً مشابهتی با یکدیگر ندارند احاطه‌شده است (بالا-پایین یا پایین-بالا)؛ که به این نوع عوارض، ناخوشه گفته می‌شود. وجود چنین عوارضی حاکی از همبستگی فضایی منفی است.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

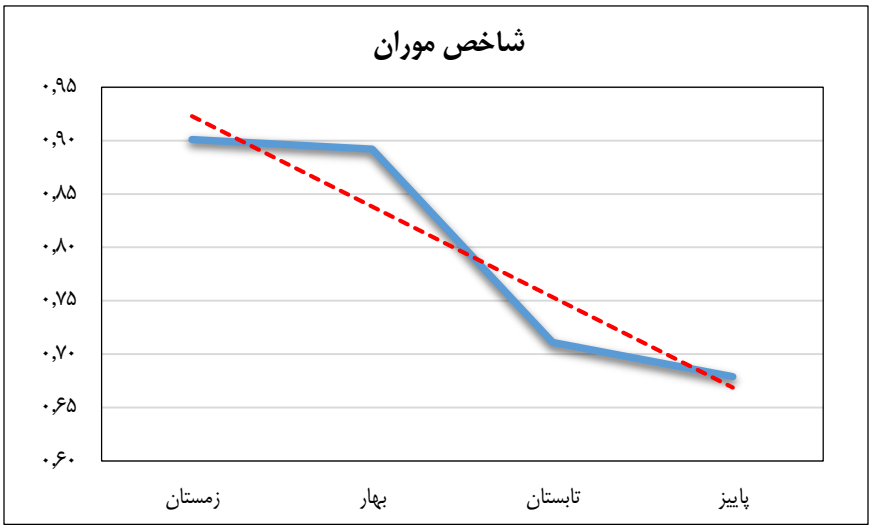
نتایج

با توجه به گفته‌های پیشین، آماره موران جهانی (Moran's I) به بررسی وضعیت خودهمبستگی فضایی داده‌ها می‌پردازد و ضمن تعیین نوع خودهمبستگی، در مورد نوع الگوی توزیع فضایی حاکم برداده‌ها، تصمیم‌گیری می‌کند. بنابراین در اینجا برای تعیین نوع توزیع فضایی حاکم بر داده‌های غلظت Chl-a ابتدا باید مشخص گردد که توزیع فضایی داده‌های Chl-a در خلیج‌فارس دارای خودهمبستگی فضایی هستند یا نه و این توزیع به چه صورت است. در این راستا آماره موران جهانی برای داده‌های Chl-a در بازه زمانی فصلی محاسبه گردید. نتایج حاصل از تحلیل موران جهانی برای مقیاس زمانی فصلی در جدول ۱ قابل‌مشاهده است. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد مثبت یک باشد داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای هستند و اگر نزدیک به عدد منفی یک باشد، آنگاه داده‌ها ازهم‌گسسته و پراکنده می‌باشند. از طرفی بالا بودن نمره استاندارد Z نیز نشان‌دهنده معنی‌داری آزمون در سطوح بالاتر می‌باشد. بر اساس جدول ۱ به دلیل مقادیر بالا و نزدیک به ۱ شاخص موران می‌توان نتیجه گرفت که بین داده‌هایChl-a در خلیج‌فارس خودهمبستگی قوی وجود داشته و داده‌ها به‌صورت خوشه‌ای با تمرکز بالا در فضا توزیع‌شده‌اند. گواه این موضوع نیز مقادیر بالای نمره استاندارد Z از عدد ۲/۵ است که معنی‌داری آزمون را در سطح ۹۹ درصد تأیید می‌کند. بنابراین با توجه به فرضیات محتمل (H_0 و H_1) فرض صفر که مبنی بر عدم وجود ارتباط فضایی بین داده‌های Chl-a در خلیج‌فارس است، رد شده و فرض یک که بیانگر وجود خودهمبستگی بین این داده‌ها است مورد تأیید قرار می‌گیرد. با بررسی شکل ۲ که مقادیر شاخص موران در فصول مختلف را نشان می‌دهد مشخص گردید که قوی‌ترین خودهمبستگی و توزیع خوشه‌ای در فصل زمستان شکل‌گرفته است و از این فصل به بعد از میزان خودهمبستگی داده‌ها کاسته می‌شود. شماتیک خروجی از ابزار موران جهانی به‌عنوان نمونه برای فصل زمستان که قوی‌ترین خودهمبستگی را داشته است در شکل ۳ قابل‌ملاحظه است. این شکل مقادیر شاخص موران، نمره استاندارد z، مقدار p-value، نمودار زنگوله‌ای نحوه توزیع داده‌ها و بازه‌های معناداری نمره استاندارد z و p-value را نشان می‌دهد. نحوه توزیع داده‌ها در سه حالت؛ خوشه‌ای، تصادفی و پراکنده قابل ارزیابی است. بر اساس این شکل در فصل زمستان توزیع داده‌ها الگوی خوشه‌ای داشته و داده‌ها در سطح معناداری ۹۹ درصد توزیع‌شده‌اند. اشکال شماتیک خروجی موران جهانی برای سایر فصل‌ها نیز این وضعیت را نشان می‌داد. نمودارهای خروجی ابزار موران جهانی برای چهارفصل موردمطالعه نیز در شکل ۴ قابل‌مشاهده است. بر اساس این شکل‌ها هرچه داده‌ها در امتداد خط رگرسیون به یکدیگر نزدیک‌تر باشند از خودهمبستگی قوی‌تری برخوردار بوده و ارتباط آن‌ها قوی‌تر می‌شود. با بررسی این شکل‌ها به‌خوبی گفته‌های پیشین مبنی بر خودهمبستگی قوی و توزیع خوشه‌ای داده‌های غلظت Chl-a در خلیج‌فارس اثبات می‌شود. همچنین بر اساس این شکل‌ها به‌خوبی می‌توان مشاهده کرد که در فصل زمستان که قوی‌ترین خودهمبستگی رخداده است، تعداد نقاطی که در امتداد خط رگرسیون توزیع‌شده‌اند، بالاتر از سایر فصل‌ها بوده است. از سویی دیگر، فصل تابستان مطابق شکل از کمترین تعداد نقاط برخوردار بوده است. اما بر اساس این شکل‌ها در تمامی فصول توزیع داده‌ها به‌صورت خوشه‌ای بوده است که نشان‌دهنده‌ی ارتباط قوی بین آن‌ها می‌باشد.

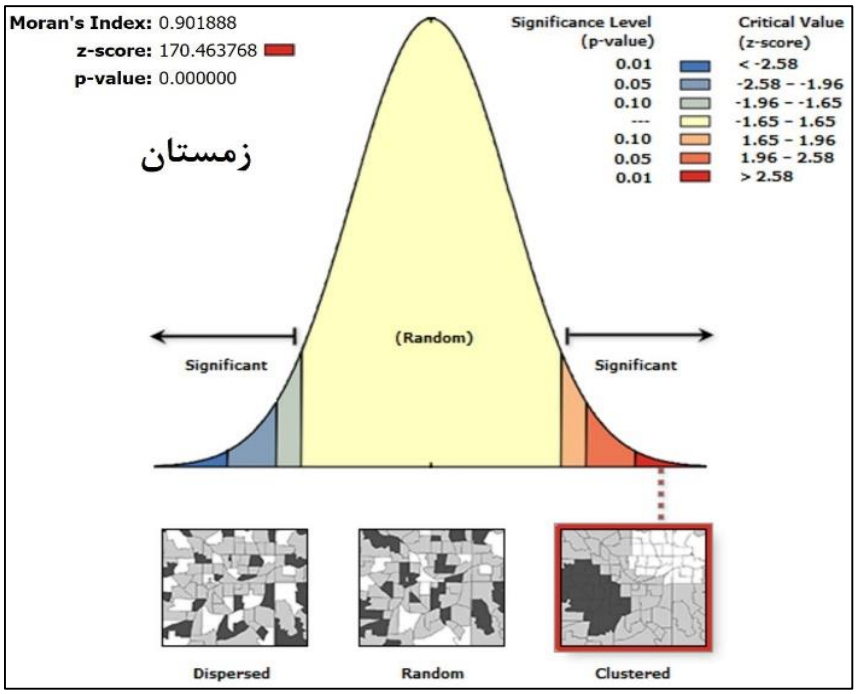
جدول ۱: مقادیر خودهمبستگی فضایی موران جهانی و نمره استاندارد Z داده‌های Chl-a فصلی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در خلیج‌فارس.

فصل	عدد موران	نمره Z
زمستان	۰/۹۰۱	۱۷۰/۴۳۶
بهار	۰/۸۹۲	۲۹۱/۰۷۷
تابستان	۰/۷۱۱	۱۶۱/۱۸۷
پاییز	۰/۶۷۹	۲۲۶/۹۹۰

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

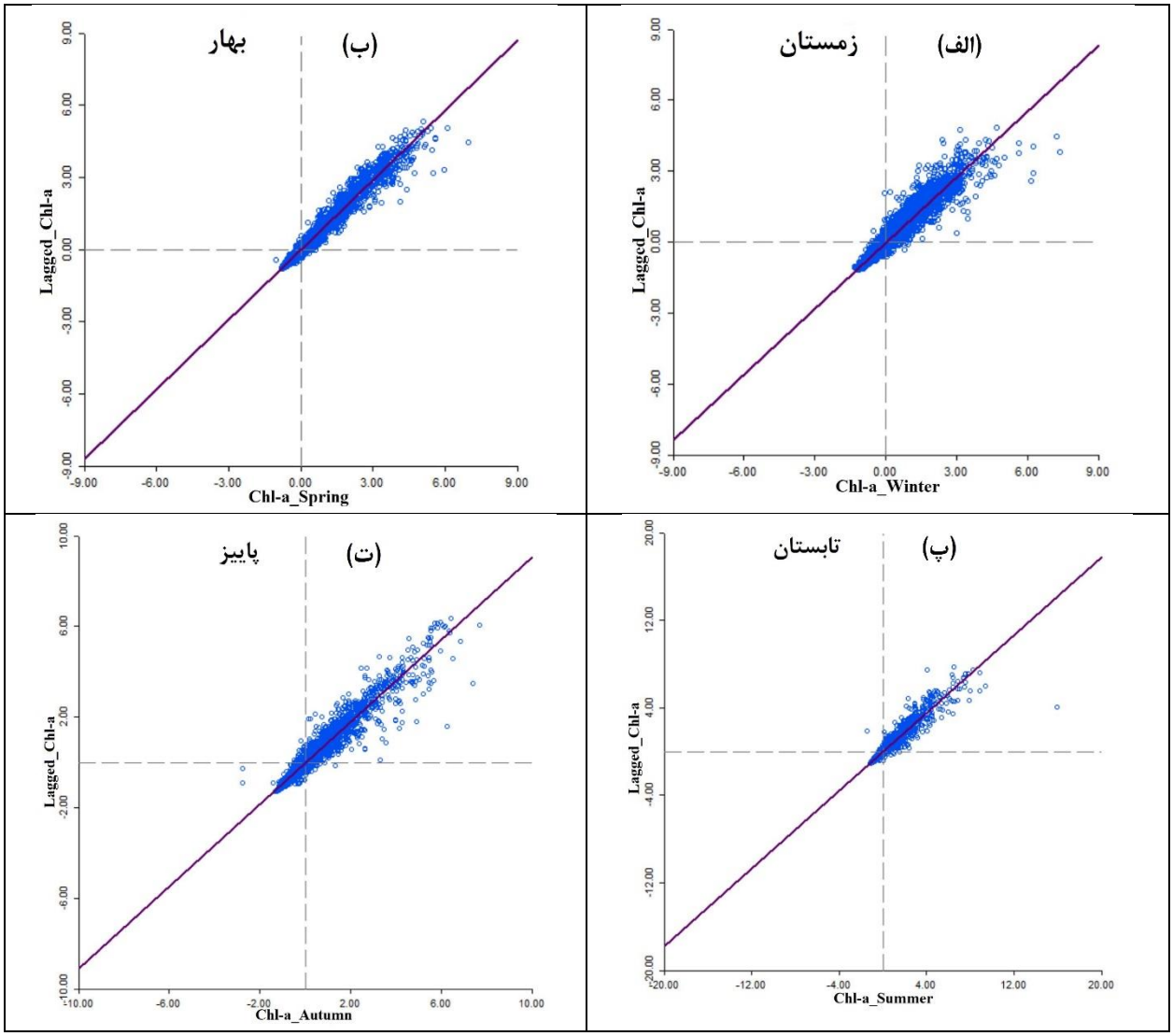


شکل ۲: تغییرات زمانی خودهمبستگی فضایی موران جهانی غلظت Chl-a فصلی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در خلیج‌فارس.



شکل ۳: نمایش گرافیکی نتایج خودهمبستگی فضایی آماره موران جهانی برای Chl-a در فصل زمستان طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در خلیج‌فارس.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]



شکل ٤: نمودار پراکنش نگار موران جهانی Chl-a در فصل مختلف طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱٦ در خلیج‌فارس.

با بررسی آماره موران جهانی مشخص گردید که داده‌های غلظت Chl-a در خلیج‌فارس دارای ساختار فضایی بوده و در مقیاس زمانی فصلی به شکل خوشه‌ای توزیع‌شده‌اند. بدین معنی که مقادیر بالا یا پایین غلظت Chl-a تمایل به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا رادارند. همچنین در این مقیاس زمانی مشخص گردید از فصل زمستان به بعد از تمایل داده‌ها به خوشه‌ای شدن کاسته شده است؛ اما ابزار موران جهانی قادر به شناسایی نوع این خوشه‌ها نمی‌باشد، درنتیجه برای مشخص کردن نوع خوشه‌های فضایی، کشف محل تشکیل آن‌ها و تشخیص نوع خوشه‌های کاهش‌یافته طی این چهارفصل از ابزار موران محلی استفاده شد. آماره موران محلی در یک بیان کلی، میزان خودهمبستگی و یا تمایزات فضایی بین مقادیر سلول‌های مجاور در یک محدوده جغرافیایی را تعیین و معناداری آن را مورد آزمون قرار می‌دهد.

جدول ۲ تعداد نقاط بالا-بالا (مقادیر بالای غلظت Chl-a) و پایین-پایین (مقادیر پایین غلظت Chl-a) را برای Chl-a در مقیاس زمانی فصلی در خلیج‌فارس نشان می‌دهد. با استناد به این جدول مشخص می‌گردد که روند نزولی نقاط بالا-بالا به ترتیب در فصل‌های زمستان، پاییز، بهار و

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

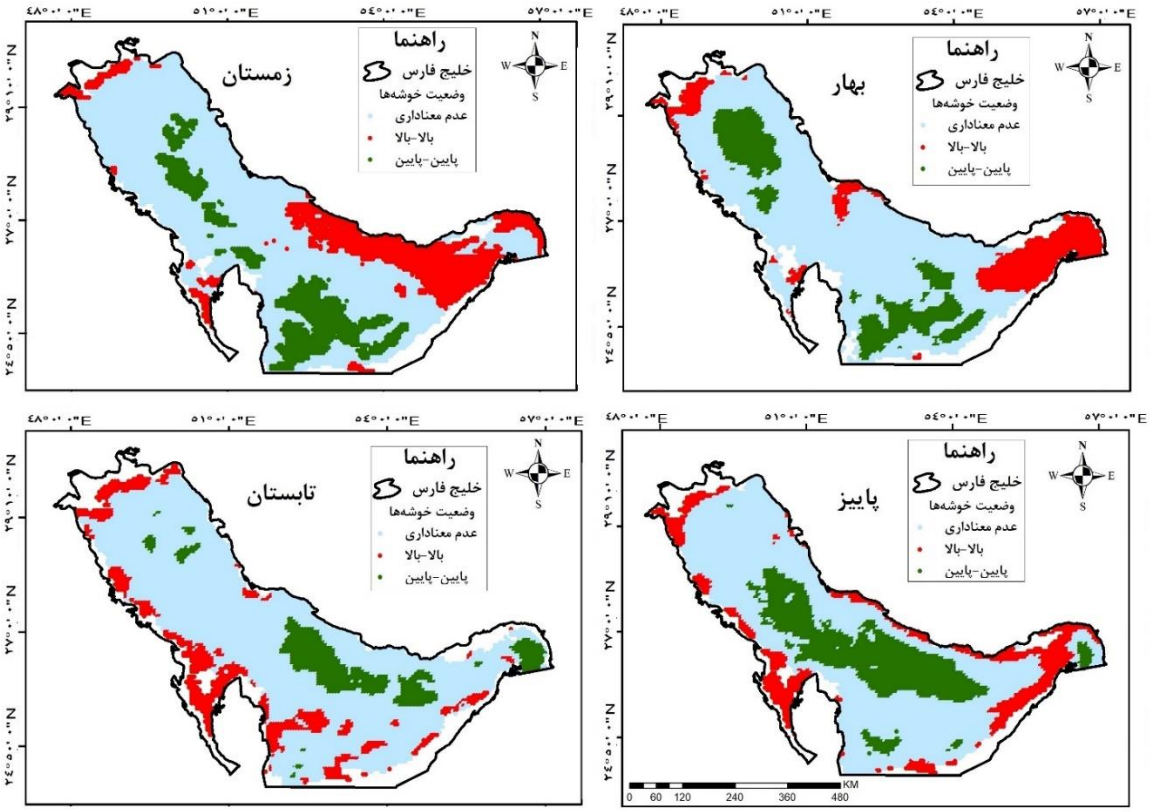
تابستان تشکیل‌شده‌اند. همچنین این روند نقاط پایین-پایین به ترتیب مربوط به فصل‌های پاییز، بهار، زمستان و تابستان بوده است. با دقت در این جدول مشخص می‌گردد که روند تغییرات نقاط بالا-بالا به‌گونه‌ای است که از فصل زمستان به سمت فصل تابستان از تعداد نقاط کاسته شده و پس‌ازآن در فصل پاییز بار دیگر تعداد نقاط روندی افزایشی به خود می‌گیرند؛ اما برای تعداد نقاط پایین-پایین، ابتدا از فصل زمستان تا فصل بهار بر تعداد این نقاط افزوده‌شده، سپس از فصل بهار به سمت فصل تابستان از تعداد این نقاط کاسته می‌شود و سرانجام در فصل پاییز تعداد نقاط به مقدار زیادی افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۲: مقادیر خوشه‌های فضایی غلظت Chl-a فصلی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در خلیج‌فارس.

فصل	بالا-بالا	پایین-پایین
زمستان	۱۳۸۹	۱۱۰۵
بهار	۱۰۸۵	۱۳۴۶
تابستان	۹۶۱	۸۳۹
پاییز	۱۱۲۴	۱۸۶۹

در ادامه جهت شناسایی محل تشکیل خوشه‌های فضایی در چهارفصل موردمطالعه، نقشه خوشه‌های فضایی غلظت Chl-a برای هر فصل ترسیم گردید که در شکل ۵ قابل‌مشاهده است. با دقت در این نقشه‌ها مشخص می‌شود که در فصل زمستان خوشه‌های بالا-بالای غلظت Chl-a در قسمت شمال شرقی خلیج‌فارس و از تنگه هرمز به سمت سواحل شمالی این خلیج تا غربی‌ترین سواحل استان هرمزگان کشیده شده‌اند. همچنین مقداری از این نقاط در قسمت غربی خلیج و در امتداد سواحل کشورهای ایران، عراق و کویت تشکیل‌شده‌اند. نقاط بالا-بالا برای این فصل همچنین در سواحل غربی شبه‌جزیره قطر و اندکی در سواحل کشور امارات دیده می‌شوند. نقاط پایین-پایین نیز برای فصل زمستان در قسمت مرکزی و جنوب شرقی خلیج گسترش‌یافته‌اند. برای فصل بهار محل تشکیل خوشه‌های بالا-بالا تا حدودی شبیه به فصل زمستان می‌باشد، با این تفاوت که از تعداد این نقاط در نواحی شمالی خلیج‌فارس و امتداد تنگه هرمز کاسته شده و این نقاط با مقدار نسبتاً بالایی در امتداد سواحل شهرستان‌های، پارسیان، عسلویه، کنگان و دیر دیده می‌شوند. این نقاط همچنین همانند فصل زمستان در قسمت غربی منطقه، شرق شبه‌جزیره قطر و قسمتی از ساحل کشور امارات تشکیل‌شده‌اند، اما مقادیر آن‌ها دستخوش تغییراتی شده است. خوشه‌های پایین-پایین نیز همانند فصل قبل در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی منطقه قابل‌مشاهده هستند؛ اما در فصل تابستان الگوی تشکیل خوشه‌های بالا-بالا دچار تغییرات زیادی نسبت به دو فصل قبل می‌شود. به‌گونه‌ای که اکثر نقاط بالا-بالا در سواحل جنوبی خلیج‌فارس و در امتداد سواحل عربی دیده می‌شوند، اما محل تشکیل این خوشه‌ها در سواحل غربی خلیج ثابت مانده است. مقدار اندکی از این نقاط در امتداد سواحل شهرستان دیر در قسمت شمالی خلیج دیده می‌شود. خوشه‌های پایین-پایین نیز فقط در قسمت مرکزی خلیج و به سمت شرق منطقه رؤیت می‌شوند. در فصل پاییز بار دیگر الگوی تشکیل خوشه‌های بالا-بالا دچار تغییر می‌شود و این نقاط تقریباً در امتداد تمامی سواحل خلیج‌فارس، چه سواحل شمالی و چه سواحل جنوبی گسترده شده‌اند، اما به نظر می‌رسد مقادیر این خوشه‌ها در امتداد سواحل جنوبی بیشتر از سواحل شمالی باشد. خوشه‌های پایین-پایین نیز در فصل پاییز با مقدار نسبتاً بالایی در قسمت مرکزی خلیج تمرکزیافته‌اند.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]



شکل ۵: وضعیت تشکیل خوشه‌های غلظت Chl-a در خلیج‌فارس طی فصول مختلف بین سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی و پایش غلظت Chl-a در محیط‌های دریایی از دیدگاه علوم مختلف زیست‌شناسی دریا، شیلات، محیط‌زیست و آلاینده‌های دریایی، اقیانوس‌شناسی، اقلیم‌شناسی و هواشناسی دریایی دارای اهمیت و کاربرد است. در همین راستا در پژوهش حاضر داده‌های ماهواره‌ای غلظت Chl-a برای خلیج‌فارس طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ میلادی، به‌صورت متوسط فصلی با استفاده از تحلیل‌های موران جهانی و موران محلی موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل موران جهانی نشان‌دهنده خودهمبستگی قوی‌تر داده‌های غلظت Chl-a برای فصل زمستان نسبت به سایر فصل‌ها بود و در این فصل تمایل داده‌ها به تشکیل خوشه‌های فضایی بیش از مابقی فصل‌ها بود. فصل تابستان نیز ضعیف‌ترین خودهمبستگی را برای داده‌های غلظت Chl-a به نمایش گذاشت. در ادامه جهت مشخص کردن نوع خوشه‌های تشکیل‌شده در هر فصل و شناسایی محل تشکیل خوشه‌ها از آماره موران محلی استفاده شد. نتایج حاصل از این تحلیل نشان داد که بیشترین خوشه‌های بالا-بالا که معرف مقادیر بالای غلظت Chl-a می‌باشند در فصل زمستان و کمترین این خوشه‌ها در فصل تابستان تشکیل‌شده‌اند. همچنین این آماره نشان داد که بیشترین خوشه‌های پایین-پایین که نشانگر مقادیر پایین غلظت Chl-a در فصل پاییز و کمترین آن‌ها در فصل تابستان شکل‌گرفته‌اند. برای تشخیص الگوی پراکنش خوشه‌های فضایی نقشه پراکنش خوشه‌ها با استفاده از آماره موران محلی برای هر چهارفصل ترسیم گردید. قبل از توصیف وضعیت خوشه‌ها در فصول مختلف، ذکر این نکته ضروری است که بر اساس مطالعات Moradi و Kabiri (۲۰۱۵)، تغییرات غلظت Chl-a در خلیج‌فارس به ورودی رودخانه‌ها، جریانات و گردش‌های سطحی و شرایط اقلیمی منطقه وابسته است. در ادامه با بررسی نقشه‌ها مشخص گردید که غلظت‌های بالای

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

Chl-a در فصول زمستان و بهار عموماً از سمت تنگه هرمز در امتداد سواحل شمالی خلیج‌فارس گسترش‌یافته‌اند که دلیل این وضعیت را می‌توان جریان یافتن آب‌های سطحی از دریای عمان به خلیج‌فارس دانست چراکه بر اساس پژوهش Pionkovski و همکاران (۲۰۱۱)، در این فصول غلظت بالای Chl-a در نواحی شمالی دریای عمان دیده می‌شود، همچنین طبق یافته‌های Reynolds (۱۹۹۳)، جریان سطحی خلیج‌فارس در فصل زمستان از تنگه هرمز واردشده و در امتداد سواحل شمالی این خلیج به سمت غرب منطقه جریان می‌یابد و سپس در فصل تابستان بعد از عبور از سواحل جنوبی از قسمت جنوبی تنگه هرمز به دریای عمان وارد می‌شود، درنتیجه غلظت بالای Chl-a در فصل تابستان بیشتر در امتداد سواحل جنوبی خلیج‌فارس دیده می‌شود؛ اما در فصل پاییز مقادیر بالای Chl-a در تمامی نواحی ساحلی منطقه گسترش می‌یابد، بااین‌حال در امتداد سواحل جنوبی مقادیر بیشتری از این پارامتر قابل‌مشاهده است. شایان به ذکر است که در تمامی فصول در قسمت غربی خلیج‌فارس و در امتداد سواحل کشورهای عراق، کویت و سواحل جنوب غربی ایران غلظت بالای Chl-a قابل‌مشاهده است که دلیل این وضعیت را می‌توان جریان ورودی رودخانه اروندرود و سایر رودهای این ناحیه به خلیج‌فارس دانست. مقادیر پایین غلظت Chl-a نیز در تمامی فصول عموماً در بخش‌های مرکزی منطقه شکل‌گرفته بودند. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ی خود به غلظت بالای Chl-a در قسمت‌های شمالی خلیج‌فارس در فصل زمستان اشاره نمودند. علاوه بر این گفته‌ها، بر اساس مطالعات جدیدی که توسط پژوهشگرانی همچون دادی‌زاده و ملکوتی (۱۳۹۳)، و سلیمانی و همکاران (۱۳۹۵)، صورت پذیرفته است، اثرات گردوغبار و ذرات معلق که در سال‌های اخیر بر میزان آن‌ها نیز افزوده‌شده است بر پراکنش مقادیر غلظت Chl-a در خلیج‌فارس می‌تواند بسیار دارای اهمیت باشد، چراکه طبق یافته‌های این محققین ارتباط معناداری بین ذرات معلق موجود در هوا و افزایش غلظت Chl-a طی فصول مختلف در خلیج‌فارس وجود داشته است. در پژوهش پیش رو، سعی بر آن بود که تغییرات زمانی-مکانی غلظت Chl-a با استفاده از تکنیک‌های آمار فضایی موردبررسی قرار گیرد و در مورد کارایی این ابزارها در تحلیل و بررسی پارامترهایی همچون غلظت Chl-a تصمیم‌گیری شود. بر این اساس با توجه به نتایج تحقیق پژوهشگرانی که به آن‌ها اشاره شد، نتایج حاصل از این پژوهش نیز می‌تواند موردقبول واقع شود و از تکنیک‌های آمار فضایی، به‌عنوان ابزارهایی مفید جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اقیانوس‌ها و دریاها نام‌برده شود. درمجموع با توجه به نتایج این پژوهش و سایر پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که پایش مستمر غلظت Chl-a در خلیج‌فارس و طی بازه‌های زمانی مختلف از جهت تأثیراتی که این پارامتر می‌تواند در محیط‌های دریایی داشته باشد ضروری است، چراکه با صنعتی شدن روزافزون سواحل این پهنه آبی قطعاً شاهد تغییرات زیادی در پراکنش و غلظت این پارامتر خواهیم بود.

منابع

احمدی، ب. و غلامعلی فرد م.، ۱۳۹۵. تغییرپذیری مکانی زمانی کلروفیل a و شکوفایی جلبکی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوضه جنوبی دریای خزر. مجله بیولوژی دریا، ۳۲ (۸): صفحات ۵۳-۳۵.

ادب، ح.، عتباتی، آ.، امیر احمدی، آ. و اسماعیلی ر.، ۱۳۸۹. پایش زمانی دمای سطح دریا و کلروفیل a با استفاده از تحلیل تصاویر دورسنجی در دریای خزر. مجله بیولوژی دریا، ۸ (۲): صفحات ۱۲-۳.

دادی‌زاده، م. و ملکوتی، ح.، ۱۳۹۳. توفان‌های گردوغبار و تأثیرات اکولوژیکی آن‌ها بر توزیع کلروفیل در خلیج‌فارس. مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۴ (۳): صفحات ۸۲-۷۳.

سلیمانی، آ.، دادالهی‌سهراب، ع.، محمدعسگری، ح.، علمی‌زاده، ه.، و خزاعی، س.ح.، ۱۳۹۶. بررسی روند تغییرات ده‌ساله میزان کلروفیل a در خلیج‌فارس با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیطزیست، مقاله آماده انتشار.

سلیمانی، آ.، محمدعسگری، ح.، دادالهی‌سهراب، ع.، علمی‌زاده، ه.، و خزاعی، س.ح.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر ریز گردها بر تولید اولیه در خلیج‌فارس با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. مجله محیطزیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۳): صفحات ۷۲۸-۷۱۵.

صادقی نیا، ع.، علیجانی، ب.، ضیائیان، پ.، و خالدی، ش.، ۱۳۹۲. کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران، مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳ (۳۰): صفحات ۹۰-۶۷.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

عسگری ع.، ۱۳۹۰. تحلیل‌های آمار فضایی با ArcGIS، انتشارات سازمان تکنیکاوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، تهران، چاپ اول.

محمدزاده م.، ۱۳۸۵. آشنایی با آمار فضایی، نشریه دانشجویی آمار (ندا)، ۲: صفحات ۱۲-۱.

Anselin, L., 1992. Spatial data analysis with GIS: an introduction to application in the social sciences, National Center for Geographic Information and Analysis University of California, Santa Barbara, CA 93106, Technical Report, 10-92.

Artigas, M.l., Llebot, C., Ross, O.N., Neszi, N.Z., Rodellas, V., Garcia-Orellana, J., Masqué, P., Piera, J., Estrada, M., Berdale., E. 2014. Understanding the spatio-temporal variability of phytoplankton biomass distribution in a microtidal Mediterranean estuary, Deep-Sea Research II. 101: 180-192.

Balyani, S., Khosravi, Y., Ghadami, F., Naghavi, M., Bayat, A., 2017. Modeling the spatial structure of annual temperature in Iran, Model. Earth Systems and Environment. 3: 581-593.

Bucci, A.F., Ciotti, A.M., Pollery, R.C.G., de Carvalho, R., de Albuquerque, H.C., Simões, L.T.S. 2012. Temporal variability of chlorophyll-a in the sao vicente estuary, Brazilian Journal of Oceanography. 60 (4): 485-499.

Cliff, A. D., And Ord, J. K., 1981. Spatial processes: models & applications, No 44, London.

EPA 2014. Expert Workshop: Nutrient Enrichment Indicators in Streams, United States Environmental Protection Agency. 20-21.

Feng, Y., Chen, X., Liu, Y. 2017. Detection of spatial hot spots and variation for the neon flying squid *Ommastrephes bartramii* resources in the northwest Pacific Ocean, Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 35 (4): 921–935.

Gai, S., Wang, H., Liu, G., Huang, L., Song, X. 2012. Chlorophyll a increase induced by surface winds in the northern South China Sea, Acta Oceanologica Sinica. 31(4): 76-88

Getis, A., And Ord, J.K., 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical Analysis. 24 (3):189-206.

Goodchild, M.F., 1986. Spatial Autocorrelation, CATMOG 47; Norwich, UK, PP. 6–25.

Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., Stoyan, D., 2008. Statistical analysis and modeling of spatial point patterns. Wiley, London.

Iriarte, J.L., Gonzalez, H.E., Liu, K.K., Rivas, C., Valenzuela, C. 2007. Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile, Estuarine, Coastal and Shelf Science 74: 471-480.

Jamshidi, S., And Bin Abu Bakar, N., 2011. A study on distribution of chlorophyll-*a* in the coastal waters of Anzali Port, south Caspian Sea, Ocean Science Discussions. 8: 435–451.

Kahru, M., Gille, S.T., Murtugudde, R., Strutton, P.G., Manzano- Sarabia, M., Wang, H., Mitchell, B.G., 2010. Global correlations between winds and ocean chlorophyll. Journal of Geophysical Research: Oceans. 12 (115).

Kämpf, J., And Chapman, P. 2016. Upwelling Systems of the World: A Scientific Journey to the Most Productive Marine Ecosystems, Springer.

Khosravi, Y., Lashkari, H., Asakereh, H. 2017. Spatial variability of water vapour in south and southwest of Iran. MAUSAM. 68: 9-22.

Khosravi, Y., Zamani, A.A., Parizanganeh, A.H., Yaftian, M.R., 2018. Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. Geoderma Regional. 12: 10-17.

Kim, H.C., Son, S., Kim, Y.H., Khim, J.S., Nam, J., Chang, W.K., Lee, J.H., Lee, C.H., Ryu, J. 2017. Remote sensing and water quality indicators in the Korean West coast: Spatio-temporal structures of MODIS-derived chlorophyll-a and total suspended solids, Marine Pollution Bulletin. 121 (1-2): 425-434.

Krężel, A., Szymanek, L., Kozłowski, L., Szymelfenig, M. 2005. Influence of coastal upwelling on chlorophyll a concentration in the surface water along the Polish coast of the Baltic Sea, Oceanologia, 47 (4): 433-452.

Krishna, K.M. 2010. Variability of SeaWiFS-derived chlorophyll-a concentrations in waters off central east coast of India, 1998–2003, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 12: 101–109.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

Levine, N., 1996. Spatial statistics and GIS: software tools to quantify spatial patterns. Journal of the American Planning Association, 62 (3):381-391.

Liu, G., Bi, R., Wang, S., Li, F., Guo, G. 2013. The use of spatial autocorrelation analysis to identify PAHs pollution hotspots at an industrially contaminated site, Environmental Monitoring and Assessment. 185 (11): 9549–9558.

Liu, M., Liu, X., Ma, A., Li, T., Du, Z. 2014. Spatio-temporal stability and abnormality of chlorophyll-a in the Northern South China Sea during 2002–2012 from MODIS images using wavelet analysis, Continental Shelf Research. 75: 15-27.

Moradi. M., Kabiri, K., 2015. Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf, Marine Pollution Bulletin. 98: 14-25.

Nababan, B., Rosyadi, N., Manurung, D., Natih, N.M., Hakim, R. 2016. The seasonal variability of sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in the south of Makassar Strait, Procedia Environmental Sciences. 33: 583 – 599.

Neto, J.L.R., Fragoso Jr, C.F., Malhado, A.C.M., Ladle, R.J. 2014. Spatio-temporal Variability of Chlorophyll-A in the Coastal Zone of Northeastern Brazil, Estuaries and Coasts. 38 (1): 72-83.

Pionkovski, S., Al-Azri, A., Al-Hashmi, K., 2011. Seasonal and interannual variability of chlorophyll-a in the Gulf of Oman compared to the open Arabian Sea regions, International Journal of Remote Sensing. 32: 7703-7715.

Pitcher, G.C., Figueiras, F.G., Hickey, B.M., Moita, M.T. 2010. The physical oceanography of upwelling systems and the development of harmful algal blooms, Progress in Oceanography. 85: 5–32.

Reboreda, R., Cordeiro, N.G.F., Nolasco, R., Castro, C.G., Alvarez-Salgado, X.A., Queiroga, H., Dubert, J. 2014. Modeling the seasonal and interannual variability (2001–2010) of chlorophyll-a in the Iberian margin, Journal of Sea Research. 93: 133-149.

Reynolds, R.M. 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition, Marine Pollution Bulletin, 27: 35-59.

Rousta, I., Doostkamian, M., Haghighi, E., Ghafarian-Malamiri, H.R., Yarahmadi, P. 2017. Analysis of spatial autocorrelation patterns of heavy and super-heavy rainfall in Iran, Advances in Atmospheric Sciences. 34 (9): 1069–1081.

Scott L, And Getis A., 2008. Spatial statistics. In Kemp K (ed) Encyclopedia of geographic informations. Sage, Thousand Oaks, CA.

Uiboupin, R., Laanemets, J., Sipelgas, L., Raag, L., Lips, I., Buhhalko, N. 2012. Monitoring the effect of upwelling on the chlorophyll a distribution in the Gulf of Finland (Baltic Sea) using remote sensing and in situ data, Oceanologia. 54 (3): 395-419.

Xiao, R., Su, S., Ghadouani, A., Wu, J. 2013. Spatial analysis of phytoplankton patterns in relation to environmental factors across the southern Taihu basin, China, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27 (6): 1347–1357.

Yamada, I., and Thill, J. C., 2007. Local indicators of network-constrained clusters in spatial point patterns. Geographical Analysis, 39 (3): 268-292.

Zhao, K., Fu, W., Liu, X., Huang, D., Zhang, C., Ye, Z., Xu, J. 2014. Spatial variations of concentrations of copper and its speciation in the soil-rice system in Wenling of southeastern China, Environmental Science and Pollution Research, 21 (11): 7165–7176.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-07]