

## بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی مکانی کلروفیل آ در تالاب بین المللی چغاخور با استفاده از شاخص لکه های داغ (Gi\*) و سنجش از دور

احمدرضا پیرعلی زفرهئی<sup>\*</sup><sup>۱</sup>، سیدعلی اکبر هدایتی<sup>۱</sup>، سعید پورمنافی<sup>۲</sup>، امید بیرقدار کشکولی<sup>۲</sup>، رسول قربانی<sup>۱</sup>

<sup>\*</sup>ahmadreza.pirali@gmail.com

۱- گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
گرگان، ایران

۲- دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۷

### چکیده

منابع آبی ساکن نظیر تالاب‌ها علاوه بر اهمیت اقتصادی و اجتماعی از نظر اکولوژیک نیز منابعی با ارزش در تولید آبزیان بشمار می‌آیند. ضرورت پایش و آگاهی از توزیع مکانی و زمانی کلروفیل آ به دلیل تاثیرات آن در محیط‌های آبی از اهمیت اساسی در مطالعات زیست محیطی برخوردار است. در رویکرد نوین این قبیل مطالعات، استفاده آمار فضایی جایگاه ویژه ای دارد. این مطالعه با هدف پایش وضعیت مقادیر کلروفیل آ در تالاب بین المللی چغاخور با استفاده از آمار فضایی و شاخص لکه های داغ مبتنی بر سنجش از دور می‌باشد. بدین منظور داده‌های ماهواره‌ای غلظت کلروفیل آ از لندست ۸ در سال ۲۰۱۷ تهیه گردید و سپس با استفاده از تکنیک‌های آمار فضایی موران جهانی و محلی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج موران جهانی نشاندهنده‌ی خودهمبستگی قوی و توزیع خوش‌های داده‌ها بود که در فصل بهار از قویترین و در فصل پاییز از ضعیفترین خودهمبستگی، برخودار بود. نتایج موران محلی، حاکی از تعداد بالای خوش‌های بالا-بالا مقادیر غلظت کلروفیل آ در فصل بهار نسبت به پاییز بود. این امر در اطراف تالاب بویژه نواحی غربی و جنوبی بارزتر بود که می‌تواند ناشی از فعالیت‌های متوجه کردن نواحی باشد. همچنین تاثیر و نقش عوامل اقلیمی و محیطی پیرامون تالاب نیز می‌تواند قابل ملاحظه باشد. در مجموع، نتایج این مطالعه کارایی این آماره را در شناسایی نقاط بحرانی و تفکیک مناسب، بر اساس اصول آمار فضایی بخوبی نشان داد و می‌تواند به عنوان الگویی در پارامترهای اکولوژیک در سایر منابع آبی کشور بکار گرفته شود.

**لغات کلیدی:** کلروفیل آ، آزمون موران، شاخص لکه های داغ، تالاب چغاخور، خودهمبستگی فضایی

\*نویسنده مسئول

**مقدمه**

فضایی جایگاه ویژه‌ای دارد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴). در این راستا، داده‌های سنجش از دور به دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن، در مقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار هستند. امکان رقومی بودن، سهل‌الوصول بودن داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دورافتاده و دقت بالای آنها، از امتیازات خاص این تکنیک محسوب می‌شود (احسانی، ۱۳۹۱). از مطالعات که در زمینه پایش تغییرات کلروفیل آ در منابع آبی با استفاده سنجش از دور صورت گرفته است، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: خسروی و بحری (۱۳۹۷) با استفاده از تکنیک آمار فضایی، تغییرات زمانی-مکانی کلروفیل آ را در خلیج فارس با سنجنده MODIS Aqua<sup>۳</sup> بررسی کردند. نتایج نشان داد که فصل زمستان از قوی‌ترین و فصل تابستان از ضعیف‌ترین خودهمبستگی برخوردار است. علمی‌زاده و فاضل پور (۱۳۹۵) به برآورد تغییرات پارامترهای زیست محیطی تنگه هرمز با استفاده از تصاویر مودیس پرداختند. نتایج توزیع کلروفیل آ، بخش ساحلی محدوده تنگه هرمز را برای شکوفایی، نسبت به بخش غربی و شرقی آن مستعد نشان داد. اولادی (۱۳۹۱)، پراکنش و فراوانی کلروفیل آ را در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از تکنیک سنجش از دور بررسی نمود. پردازش تصاویر دریافتی از ماهواره‌های MODIS و IRS<sup>۴</sup> نشان داد که در منطقه جنوبی دریای خزر با نزدیک شدن از شرق به سمت غرب، میزان کلروفیل آ و کدورت افزایش می‌باید و از میزان شفافیت آب کاسته می‌شود که بیانگر افزایش بار آلی این منطقه می‌باشد. El Masri و Rahman (۲۰۰۸) پارامترکیفی آب در دریاچه Kemp تگزاس را با استفاده از داده‌های سنجش از دور بررسی کردند. آنها پارامترهای کلروفیل آ، فسفات کل و کدورت را از ژانویه تا اکتبر ۲۰۰۶ با استفاده از سنجنده مودیس بررسی و نقشه‌های توزیعی آن‌ها را برآورد کردند (El Masri and Rahman, 2008).

تالاب بین المللی چغاخور یکی از مهم ترین تالاب‌های ایران است که طی دهه‌های گذشته از طریق برخی فعالیت‌های انسانی از قبیل احداث سد، نوسانات حجم آب، ورود پساب مزارع کشاورزی و غیره در معرض فشارهای اکولوژیک شدید قرار گرفته است (ندشن و همکاران، ۱۳۸۷). تراکم بالای فیتوپلانکتون‌ها در محیط آبی در عکس‌العمل به ورود مواد مغذی گیاهان در اثر فعالیت‌های انسانی است که همراه با اثرات زیان بار متعدد زیست محیطی می‌باشد. لذا، تغییرات و نحوه پراکنش و غلظت کلروفیل آ (رنگدانه اصلی فتوسنترز) به عنوان شاخص زیست‌وده فیتوپلانکتونی، از اهمیت اساسی در مطالعات کیفیت آب و خصوصیات اکولوژیک محیط‌های آبی برخوردار است (نصرالهزاده ساروی و حسینی، ۱۳۸۳؛ Mansor *et al.*, 2001; Zonn, 2005; Korshenko and Gul, 2005) ضرورت پایش و آگاهی از توزیع مکانی و زمانی کلروفیل آ به دلیل تاثیرات آن در محیط‌های آبی، یکی از مهم ترین موضوعات مطالعات زیست محیطی و شیلاتی است. در مطالعات زیست محیطی برخی مولفه‌ها مستقل از یکدیگر نیستند و وابستگی آنها به دلیل موقعیت و مکان آنها در منطقه (فضا) مدنظر قرار می‌گیرد. لذا، چون این داده‌ها دارای ساختاری پیوسته در مکان و زمان هستند، به "داده‌های فضایی" معروفند. شیوه‌های سنتی آمار مانند آزمون من کندال، اسپیرمن، رگرسیون خطی و چندگانه (Braganza *et al.*, 2004) تبیین کننده این امر نیستند و علت آن وجود همبستگی فضایی بین این داده‌ها می‌باشد (Philipp and Jolliffe, 2010) بنابراین، آمار فضایی و شاخص لکه‌های داغ<sup>۱</sup> یا آماره گتیس ارد جی<sup>۲</sup>، برای تحلیل این نوع داده‌ها بنحوی که ساختار همبستگی داده‌ها لحاظ گردد، گرینهای مناسب می‌باشد. آمار فضایی شامل آنالیز الگو، شکل، مدل‌سازی سطح، رگرسیون مکانی و مدل‌سازی آماری به همراه مقایسه آماری مجموعه داده‌های مکانی می‌شود، لذا در رویکرد نوین مطالعات زیست محیطی، استفاده آمار

<sup>3</sup> - Moderate Resolution Imaging spectrometer

<sup>4</sup> - Indian Remote Sensing Satellites

<sup>1</sup> - Hot Spot Analysis

<sup>2</sup> - Getis- Ord Gi

باشید، این ابزار خوشهای عوارض با مقدار بالا (لکه های-داغ) و خوشهای عوارض با مقادیر کم (لکه های سرد) را شناسایی می کند (عسگری، ۱۳۹۰). آزمون موران به شرح ذیل استفاده شد:

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{معادله ۱}$$

$I$  = برابر ضریب متغیر فاصله ای یا نسبی در واحد های ناحیه ای،  $n$  = برابر تعداد واحد های ناحیه ای، وزن (شامل میزان غلظت کلروفیل).

ضریب موران بین ۱- (تعامل فضایی منفی) تا ۱ (تعامل فضایی مثبت) و (عدم تعادل) متغیر است. شاخص لکه های داغ ( $Gi^*$ ) بر اساس جدول (۱) و با توجه به نمره استاندارد پارامتر کلروفیل آ را در نقاط مختلف با توجه به الگوی پراکنش مشخص می کند و به صورت معادله (۲) قابل ارزیابی است.

$$Gi^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} X_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n - 1}}} \quad \text{معادله ۲}$$

$X_j$  = مقدار خصیصه برای عارضه  $j$ ،  $w_{ij}$  = وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  = برابر با تعداد کل عارضه ها. کلیه آنالیزها در محیط برنامه Arc GIS 10.2 صورت گرفت. داده ها بر اساس شاخص موران اگر نزدیک به +1 باشد، دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه ای می باشدند و اگر مقدار آن نزدیک به عدد ۱- باشد، آنگاه داده ها از هم پراکنده خواهند بود. در موران جهانی فرضیه صفر این است که هر نوع خوشه بندی فضایی بین مقادیر عنصر مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار محاسبه شده (مقدار  $p-value$ ) بسیار کوچک و مقدار  $Z$  محاسبه شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان)، آنگاه می توان فرضیه صفر را رد کرد.

باتوجه به اهمیت نحوه توزیع کلروفیل آ در اکوسیستم های آبی، پژوهش در زمینه استفاده از آمار فضایی و شاخص لکه های داغ ( $Gi^*$ ) در پاییش کیفی به صورت محدود انجام شده است. لذا، مطالعه حاضر ضمن پاییش تغییرات الگوهای خودهمبستگی مکانی کلروفیل آ در یک دوره یکساله با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در تالاب چغاخور، می تواند الگوی مناسب جهت معرفی آمار فضایی بر مبنای سنجش از دور برای سایر محققین علوم شیلاتی فراهم کند.

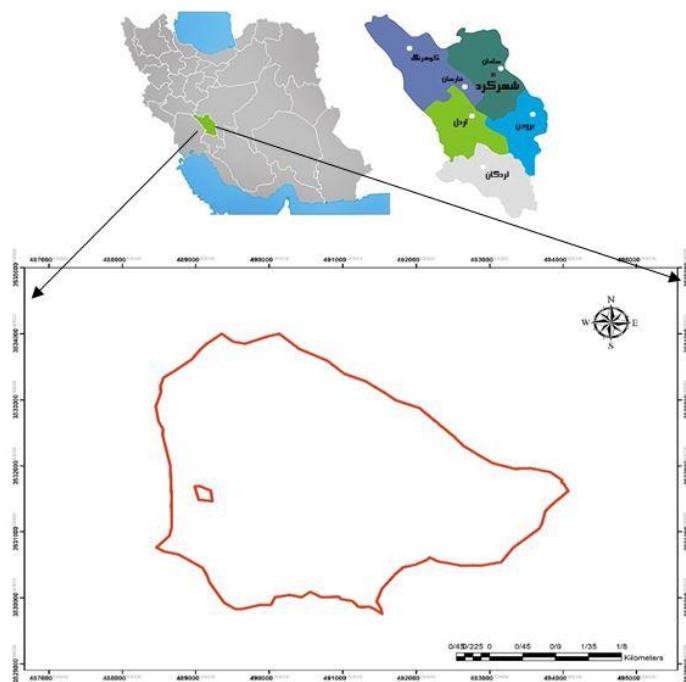
## مواد و روش کار

### معرفی منطقه مورد مطالعه

تالاب چغاخور بیست و سومین تالاب بین المللی ثبت شده کشور در کنوانسیون رامسر در استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان بروجن و بین عرض های ۳۱° و ۵۴° تا ۳۱° و ۵۶° و عرض شمالی و ۴۰° و ۵۲° و ۵۰° تا ۱۴° و ۵۶° و طول شرقی می باشد ( بهروزی راد، ۱۳۸۷ ) (شکل ۱).

### محاسبه شاخص لکه های داغ ( $Gi^*$ )

داده های کلروفیل آ با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در سال ۲۰۱۷ و برای دو فصل بهار و پاییز از پایگاه استخراج شد. در تصاویر لندست ۸ مورد استفاده تا سطح ۲، تصحیحات هندسی و اتمسفری صورت گرفته است. پس از پردازش های لازم در محیط ArcGIS 10.2، اطلاعات کلروفیل آ از باندهای تصاویر اخذ شده بدست آمد. در نهایت بررسی همبستگی مکانی داده های کلروفیل آ با استفاده از آمار فضایی صورت گرفت. جهت واکاوی فضایی و الگوی پراکنش (خوشه ای، پراکنده و تصادفی) توزیع کلروفیل آ از آزمون موران جهانی و شاخص خود همبستگی فضایی (جی استار) یا لکه های داغ ( $Gi^*$ ) استفاده شد. تحلیل لکه های داغ برای همه عوارض موجود در داده ها محاسبه می شود و براساس امتیاز  $Z$  محاسبه شده، نشان می دهد که کدام بخش از داده ها به مقادیر کم و زیاد خوشه بندی شده اند. به عبارت دیگر، اگر مجموعه ای از عوارض وزن دهی شده داشته



شکل ۱: موقعیت تالاب چغاخور بر روی نقشه  
Figure 1: Choghakhor wetland position on the map

جدول ۱: طبقه بندی نمره استاندارد در تحلیل نوع پراکنش داده های مکان محور

Table 1: Classification of Standard Score in the Type-Dispersion Analysis of Location-Based Data

نمره استاندارد (Z-score)	سطح معناداری (p-value)	نوع الگوی پراکنش فضایی
-0.1	< 0.058	خوش ای قوی - سرد - سرد
-0.5	-0.058 - (-0.096)	خوش ای متوسط - سرد - سرد
-1.0	-0.096 - (-0.165)	خوش ای ضعیف - سرد - سرد
-	-0.165 - 0.165	تصادفی - توزیع ناموزون
-0.10	0.058 - 0.096	خوش ای ضعیف - داغ - داغ
-0.05	0.096 - 0.058	خوش ای متوسط - داغ - داغ
-0.1	> 0.058	خوش ای قوی - داغ - داغ

جدول ۲: مشخصات آماری پارامتر کلروفیل آ تالاب چغاخور به تفکیک فصل در سال ۲۰۱۷ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Table 2: Characteristics of the chlorophyll-a parameter of Choghakhor wetland by season in 2017 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

فصل	میانگین $\pm$ انحراف معیار	بیشینه	کمینه
بهار	$1.08 \pm 0.17$	۱/۸۰	۰/۸۷
پاییز	$1.07 \pm 0.06$	۱/۴۷	۰/۹۲

اگر شاخص موران بزرگتر از صفر باشد، داده ها نوعی خوش بندی فضایی و اگر کمتر از صفر باشد، دارای الگوی پراکنده می باشند.

## نتایج

وضعیت آماری داده های کلروفیل آ استخراجی از لندست در جدول ۲ گزارش شده است. با توجه به مطالعه مذکور، با استفاده از شاخص موران جهانی، وجود خود همبستگی فضایی داده ها بررسی شد.

با توجه به جدول ۳ مشاهده شد، از فصل بهار به فصل پاییز کاهش (۰/۷۵۸) در مقادیر آزمون موران جهانی وجود دارد و برای شناسایی آنها از موران محلی استفاده شد.

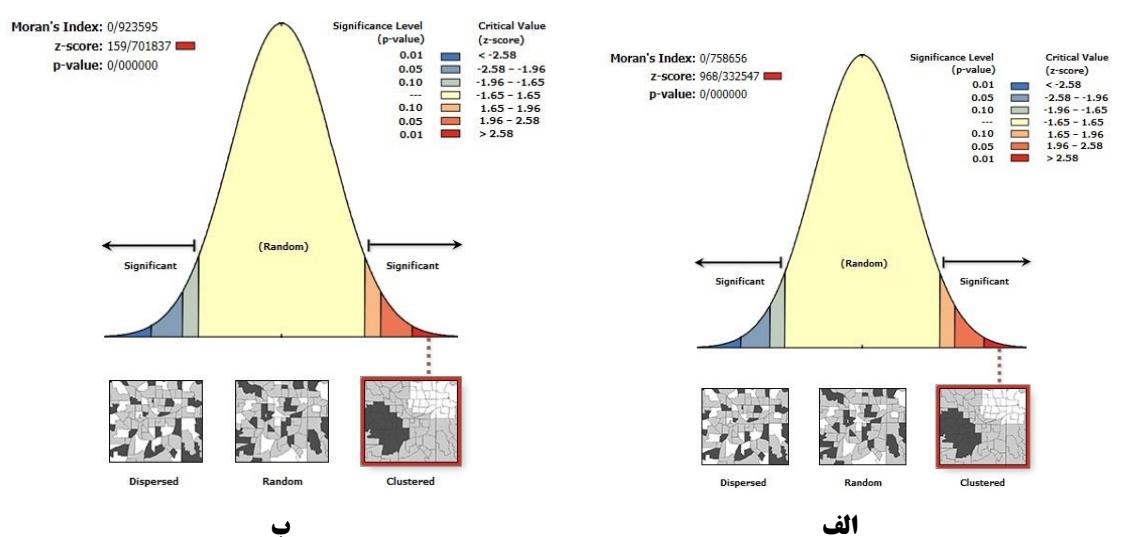
**جدول ۳: نتایج آزمون موران مقادیر کلروفیل آ تاب چغاخور**  
**Table 3: Results of Moran Test Chlorophyll- $\alpha$  Values in Choghakhor wetland.**

p-value	Z-Score	فصل شاخص موران
۰/۰	۱۵۹/۷۰	بهار
۰/۰	۹۶۸/۲۳	پاییز

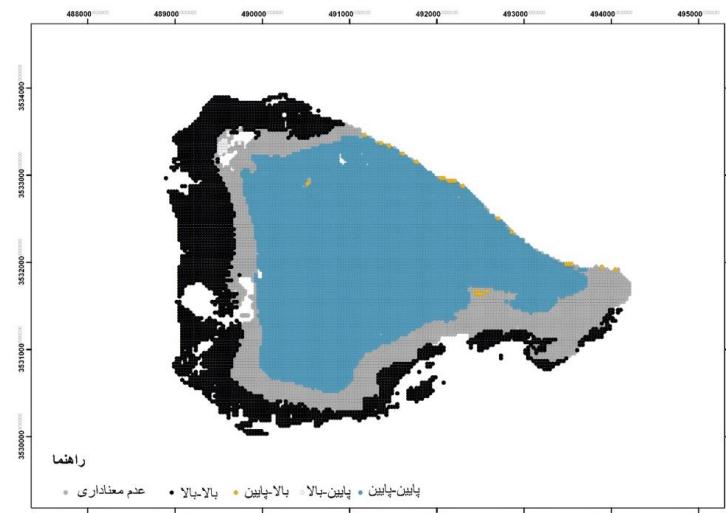
جهت شناسایی محل تشکیل خوش‌های نقشه‌های خوش‌های فضایی رسم شد. شکل ۳ و ۴ تغییرات پراکنش الگوهای خود همبستگی فضایی موران محلی کلروفیل آ در تاب چغاخور را نشان می‌دهد.

خروجی تحلیل خود همبستگی فضایی موران جهانی، به صورت عددی در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳، مقدار شاخص موران جهانی برای فصل بهار و پاییز بالا و حدود یک است که نشانگر خود همبستگی و الگوی خوش‌های بالا هر دو فصل می‌باشد. آماره Z در فصول بین ۰/۱۵۹ و ۰/۹۶۸ می‌باشد، با توجه به بالا بودن مقدار Z و صفر بودن مقدار p-value می‌توان فرضیه فقدان همبستگی بین فصول را رد نمود.

شکل ۲ نمودار گرافیکی الگوی داده‌های کلروفیل آ را به تفکیک فصل بهار و پاییز با استفاده از آزمون موران جهانی نشان می‌دهد و براساس آن نمودار زنگوله‌ای نحوه توزیع داده‌ها و بازه‌های معنی‌داری نمره استاندارد z قبل مشاهده است. همچنین این اشکال الگوی خوش‌های را برای دو فصل بهار و پاییز نشان می‌دهد.

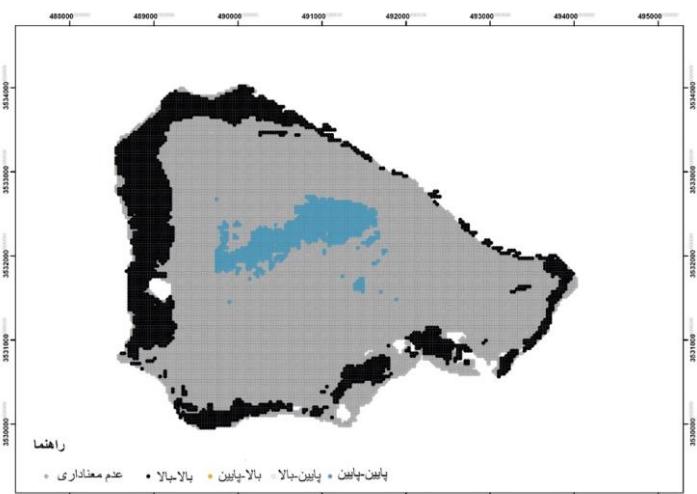


شکل ۲: نمودار گرافیکی شاخص موران (الف) فصل بهار ، ب) فصل پاییز  
Figure 2: Graphic chart Moran index, a) Spring season; b) Autumn season.



شکل ۳: نتایج حاصل از پراکنش الگوی موران محلی کلروفیل آ تالاب چغاخور - فصل بهار

Figure 3: The results of the distribution of chlorophyll-a local moraine pattern in Choghakhor wetland - spring season



شکل ۴: نتایج حاصل از پراکنش الگوی موران محلی کلروفیل آ تالاب چغاخور - فصل پاییز

Figure 4: Results of distribution of chlorophyll-a local moraine pattern in Choghakhor wetland - autumn season

در بررسی شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه فصل بهار و پاییز مشاهده می‌شود که اکثر نواحی تالاب چغاخور در فصل پاییز نا متوازن و فاقد الگوی مشخص می‌باشند. در مطالعه انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) بر جزایر گرمایی خراسان رضوی نیز اکثر مناطق در فصول سرد مانند زمستان، هیچ نوع الگویی حاکم نبود و به عبارتی، فاقد خود همبستگی فضایی بود. از سویی، فصل بهار الگوهای خودهمبستگی

### بحث

با بررسی شاخص موران جهانی مشخص شد (جدول ۳)، داده‌های کلروفیل آ در مقیاس زمانی فصلی به شکل خوش‌های توزیع شدند که با یافته‌های خسروی و بحری (۱۳۹۷) در بررسی مقادیر کلروفیل آ در خلیج فارس مطابقت داشتند. این به معنی تمایل به متمرکز یا خوش‌های شدن مقادیر کلروفیل آ در تالاب چغاخور است.

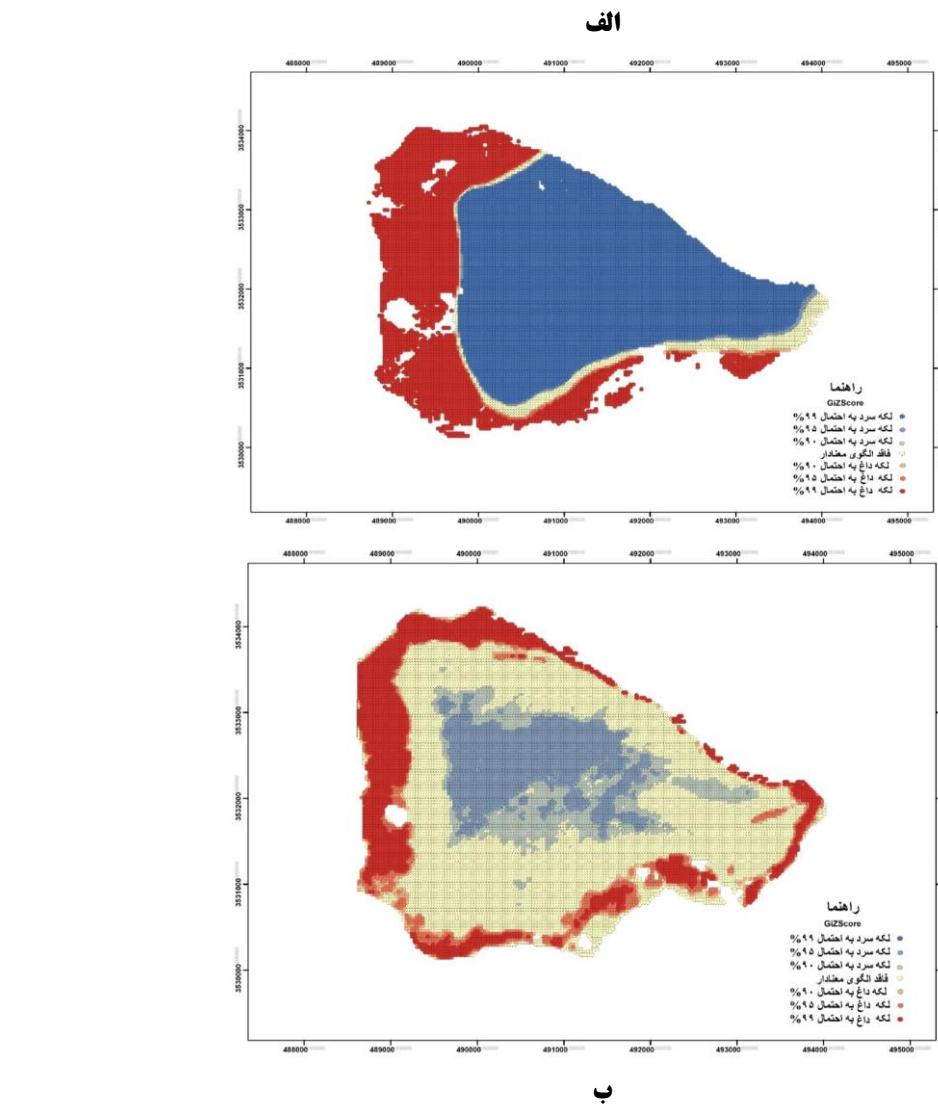
فضا دارند. همانطوریکه مشاهده می‌شود در فصل بهار مقادیر کلروفیل آ با خود همبستگی فضایی مثبت بالا نسبت به فصل پاییز در حدود ۱۹/۶ درصد افزایش یافته است. نقاط با خود همبستگی پایین در فصل پاییز نسبت به بهار کمتر و ۵/۶ درصد بود که مشابه نتایج انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) بود. از سویی، همانطوریکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، فصل پاییز بیشترین درصد مناطق فاقد الگو را بخود اختصاص داده است. Krishna (۲۰۱۰) دما را عامل مهمی در تغییرات فصلی و سالانه کلروفیل آ را طی سالهای ۱۹۹۸-۲۰۰۳ در سواحل هند دانست که سبب افزایش زی توده فیتوپلانکتونی و فرآیند فراجوشی شده است. لذا، می‌توان گفت که علت بالاتر بودن لکه‌های داغ و همچنین الگوهای خود همبستگی قوی در فصل بهار در این مطالعه، می‌تواند در ارتباط با دما باشد. خود همبستگی به رابطه بین مقادیر باقی مانده در طول خط رگرسیون مربوط می‌شود، از نظر آماری یک خود همبستگی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر باقیمانده، با یکدیگر در ارتباط باشند. به عبارت دیگر، تغییرات آنها به صورت سیستماتیک رخ دهد. با این وجود خود همبستگی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر متغیری که از نظر جغرافیایی بهم تزدیک هستند، باهم مرتبط نیز باشند. در مجموع، باید نقش عوامل بیرونی را در شکل‌گیری الگوهای پراکنش کلروفیل آ از جمله عوامل اقلیمی مانند تغییرات دمای هوای رطوبت، وزش باد و بارش را در نظر گرفت. در مطالعه انتظاری و همکاران (۱۳۹۴)، خوشه‌های گرمایی بالا و پایین فاقد شباخت بودند، آنها این تباین را ناشی از تأثیر عناصر گردش عمومی جو ذکر کردند.

**جدول ۴:** درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل شده  
**Table 4:** The coverage area covered by the pattern

نوع لکه	پاییز	بهار
الگوی خوشه بالا-بالا	۱۹/۶	۱۸/۶
الگوی خوشه بالا-پایین	۰/۲	-
الگوی خوشه پایین-بالا	۰/۲	-
الگوی خوشه پایین-پایین	۴۶/۳	۵/۶
فاقد الگو معنی دار	۳۵/۷	۷۵/۸

فضایی بالاتری نسبت به فصل پاییز نشان داد که این روند در مطالعه انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) نیز مشاهده گردید. بررسی شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که نقاط با الگوی خوشه‌ای پایین-پایین در فصل بهار و پاییز در مرکز تالاب متمرکز شده‌اند که تعداد آنها در فصل بهار بیشتر است. از سویی، در هر دو فصل نقاط داغ و با الگوی خوشه ای بالا-بالا (خود همبستگی فضایی مثبت) در اطراف تالاب بویژه در نواحی غربی و جنوبی تالاب چغاچور متتمرکز‌ترند. دلیل این وضعیت را می‌توان مزارع کشاورزی و ورود زه آب آن در این نواحی و پساب‌های روسایی دانست. خسروی و بحری (۱۳۹۷) علت تمرکز نقاط با الگوی خوشه ای بالا کلروفیل آ خلیج فارس را ناشی از ورود رودهای نواحی اطراف و جریانات و گردش‌های سطحی دانستند. تاکنون آن دسته از نواحی تالاب دارای خود همبستگی فضایی مثبت (خوشه گرم و بالا) و پایین مشخص گردیدند، اما به منظور حصول اطمینان از مناطق با خوشه‌ای ارزش بالا و پایین از شاخص<sup>\*</sup> Gi استفاده شد و نتایج در شکل ۵ ارائه شده است. شاخص<sup>\*</sup> Gi برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، نوعی امتیاز Z است. هر چه امتیاز Z بزرگ‌تر، مقادیر بالا به نسبت خوشه Z بندی و لکه داغ تشکیل می‌دهند و بالعکس. امتیاز Z محاسبه شده در این تحلیل نشان می‌دهد در کدام ناحیه داده‌ها مقادیر زیاد یا کم خوشه بندی شده‌اند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴). این ابزار در واقع، به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی اش قرار دارد، توجه می‌کند.

براساس شکل ۵، در فصل بهار و پاییز، مقادیر با ارزش بالا (خود همبستگی فضایی مثبت) نمایانگر لکه‌های داغ و مقادیر با ارزش پایین (خود همبستگی فضایی منفی) نمایانگر لکه‌های سرد است. نتایج فصل بهار مقادیر با خود همبستگی فضایی مثبت بالاتری را نسبت به پاییز نشان می‌دهد. جهت مقایسه بهتر، تغییرات هر کدام از الگوها تفکیک فصل در جدول ۴ به شکل درصد ارائه شده است. این مناطق علاوه بر دلیل آماری (خود همبستگی معنادار)، نمایانگر آن دسته از مقادیر کلروفیل آ می‌باشند که بیشترین تمایل را به متتمرکز شدن و خوشه‌ای شدن در



شکل ۵: نتایج حاصل از پراکنش الگوی لکه داغ برای کلروفیل آ طی دوره مورد مطالعه (الف) بهار؛ (ب) پاییز

Figure 5: The results of the distribution of hot spot pattern for chlorophyll-a during the aforementioned study period; a) spring; b) autumn

پژوهش، روش آزمون موران و شاخص لکه های داغ مبتنی بر تکنیک سنجش از دور، معرفی و برای اولین بار در تالاب چخاچور مورد استفاده قرار گرفت. بررسی الگوهای خودهمبستگی مکانی حاکی از نامتوازن بودن آن در فصل پاییز بود، در حالیکه فصل بهار خودهمبستگی فضایی بالاتری را نشان داد. تمرکز نقاط داغ با الگوی خوشه ای بالا-بالا (خود همبستگی فضایی مثبت) در نواحی غربی و جنوبی تالاب می تواند به دلیل فعالیتهای کشاورزی و روستایی پیرامون آن باشد. همچنین تاثیر و نقش عوامل

منابع آبی ساکن نظیر تالاب ها و دریاچه ها علاوه بر اهمیت اقتصادی و اجتماعی از نظر اکولوژیک نیز منابعی با ارزش در تولید آبزیان بشمار می آیند. با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای خشک محسوب می شود، توسعه منابع آبی قابل استفاده و حفظ و بهبود کیفیت آن امری حیاتی است. لذا، اطلاع از وضعیت کیفی این منابع این امکان را فراهم می سازد تا علاوه بر استخراج اطلاعات بهنگام، سیاست های مناسب نیز اتخاذ شود تا کمترین آسیب به این منابع وارد شود. در این راستا در این

خودهمبستگی فضایی درون دهه ای بازش ایران طی نیم قرن اخیر. جغرافیا و امایش شهری-منطقه ای، ۸۸-۷۱. ۱۴۵

ندوشن موسوی، ره.، فاطمی، م.ر.، اسماعیلی ساری، ع. و وثوقی، غ.، ۱۳۸۷. تعیین وضعیت تروفی و پتانسیل تولید ماهی در دریاچه چغاخور، مجله فن آوری های نوین در توسعه آبزی پروری(شیلات) دانشگاه آزاد اسلامی آزادشهر، ۲(۲)، ۷۵-۷۱.

نصراله زاده ساروی، ح. و حسینی، س.ع..، ۱۳۸۳. بررسی میزان همبستگی تغییرات کلروفیل a و عامل شفافیت در حوضه جنوبی دریای خزر. مجله علمی شیلات ایران، ۱۳(۱): ۱۹۱-۲۰۰.

**Braganza, K., Karoly, D.J. and Arblaster, J., 2004.** Diurnal temperature ranges as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters*, 31(13): 1-4. DOI:10.1029/2004GL019998.

**El Masri, B. and Rahman, A.F., 2008.** Estimation of water quality parameters for Lake Kemp Texas derived from remotely sensed data. Available online at twri.tamu.edu/funding/usgs/2006-07/el-masri\_manuscript.pdf.

**Jolliffe, I.T. and Philipp, A., 2010.** Some recent developments in cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9): 309-315. DOI: 10.1016/j.pce.2009.07.014.

**Korshenko, A. N. and Gul, A.G., 2005.** Pollution of the Caspian Sea. In: Kostianov, A.G. and, Kosarev A. N. (Ed.). *The Caspian Sea Environment (Handbook of Environmental Chemistry)*. Springer, pp. 109-142.

اقلیمی و محیطی پیرامون تالابرا نیز نمی‌توان نادیده گرفت. نتایج این مطالعه کارایی این ابزار را در شناسایی نقاط بحرانی و تفکیک مناسب بر اساس اصول آمار فضایی بخوبی نشان داد و می‌تواند به عنوان الگویی در سایر منابع آبی کشور بکار گرفته شود. همچنین مطالعه این شاخص بر سایر پارامترهای اکولوژیک، تلفیق اطلاعات حاصل از آمارفضایی با اطلاعات اقلیمی، بررسی تاثیر طولانی مدت تغییرکاربری ها بر تغییرات الگوی لکه های داغ و توسعه سایر شاخص های فضایی در مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد.

### منابع

- احسانی، ا.، ۱۳۹۱. ارزیابی صحت داده های دور سنجی اصول و روش ها. چاپ اول، دانشگاه تهران، ۱۸۰ صفحه.
- انتظاری، ع.ا.، داداشی رودباری، ع. و اسدی، م..، ۱۳۹۴. ارزیابی خودهمبستگی فضایی تغییرات زمانی - مکانی جزایر گرمایی در خراسان رضوی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۶(۴)، ۱۴۶-۱۲۵.
- اولادی، ا.، ۱۳۹۱. پرآنش و فراوانی کلروفیل آ در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از تکنیک RS پایان نامه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۲۰ صفحه.
- خسروی، ی. و بحری، ع..، ۱۳۹۷. استفاده از تکنیکهای آمار فضایی جهت بررسی تغییرات زمانی-مکانی غلظت کلروفیل آ در خلیج فارس. *مجله زیست شناسی دریا*، ۳۷(۱۰)، ۴۶-۳۳.
- عسگری، ع..، ۱۳۹۰. تحلیل های امار فضایی با ArcGIS انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، چاپ اول، ۱۲۷ صفحه.
- علمی‌زاده، ه. و فاضل پور، خ..، ۱۳۹۵. برآورد تغییرات پارامترهای زیست محیطی در تنگه هرمز با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس. *اقیانوس شناسی*، ۱۱(۷)، ۳۹-۲۹.
- علیجانی، ب..، دوستکامیان، م..، اشرفی، س. و شاکری ف..، ۱۳۹۴. بررسی تغییرات الگوهای

- 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. DOI: 10.1016/j.jag.2009.12.001.
- Mansor, B., Chun Knee, T., Ibrahim, H.M., and Sharif, A.R.M., 2001.** Satellite Fish Forecasting IN South China Sea Proc.ACRS 2001. 22nd Asian Conference On Remote Sensing, 2: 887-892.
- Zonn, I.S., 2005.** Environmental Issues of the Caspian. In: Kostianov, A.G. and Kosarev, A.N. (Ed.). The Caspian Sea Environment (Handbook of Environmental Chemistry). Springer, pp. 223-242.

## Investigation of changes of spatial autocorrelation patterns of chlorophyll-a in Choghakhor International wetland using hot spots index ( $Gi^*$ ) and remote sensing

Pirali Zefrehei A.R.<sup>1\*</sup>; Hedayati A.A.<sup>1</sup>; Pourmanafi S.<sup>2</sup>; Beyraghdar Kashkooli O.<sup>2</sup>; Ghorbani R.<sup>1</sup>

\*ahmadreza.pirali@gmail.com

1- Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

### Abstract

Water resources such as wetlands, in addition to their economic and social importance, are ecologically valuable sources of aquaculture production. Due to its effects on aquatic environments, necessity of monitoring and awareness of the spatial and temporal distribution of chlorophyll-a is important for environmental studies. In the new approach to such studies, application of spatial statistics has a special place. This study aims were to monitor the status of chlorophyll-a content in Choghakhor international wetland using spatial statistics and hot spots index based on remote sensing. For this purpose, satellite data of chlorophyll-a were prepared from Landsat 8 in 2017 and then analyzed using global and local spatial Moran of spatial statistics techniques. The results of global Moran showed strong correlation and data cluster distribution, which was the strongest in the spring and weakest attachment in the autumn. The results of local Moran showed a high number of high-dwarf clusters (levels of chlorophyll-a) in spring compared to autumn. This was more pronounced around the wetland, especially in the western and southern regions, which could be attributed to concentrated activities in these areas. Also, the impact and role of climatic and environmental factors around the wetland could be significant. Overall, the results of this study showed the efficiency of this statistic in identification of critical points and the appropriate separation based on the principles of spatial statistics and can serve as a model for other ecological parameters in other water resources.

**Keywords:** Chlorophyll-a, Moran test, Hot spots index, Choghakhor wetland, Spatial Autocorrelation

\*Corresponding author