

کاربرد شاخص لکه‌های داغ در تحلیل تغییرات مکانی فلزات سنگین در تالاب بین‌المللی انزلی

مریم فلاح^{۱*}، احمدرضا پیرعلی زفره‌ئی^۲، سیدعلی اکبرهدایتی^۳

۱ کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

۲ دکترای تولید و بهره برداری، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۶؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

چکیده

آگاهی از پراکندگی مکانی فلزات سنگین، امکان برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های مناسب محیط‌زیستی را فراهم می‌نماید. این مطالعه با هدف پایش وضعیت آلودگی فلزات سنگین تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و آمار فضایی انجام شد. نمونه‌برداری آب در ۱۰ ایستگاه در سال ۱۳۹۳ صورت گرفت. برای ارزیابی فضایی توزیع، تراکم، پهنه‌بندی و الگوی پراکنش از روش درون‌یابی، تابع کرنل، آزمون موران و شاخص لکه‌های داغ در محیط GIS استفاده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از تخمین تراکم نشان‌دهنده افزایش تراکم سرب و نیکل از سمت غرب به شرق تالاب انزلی بود. براساس آزمون موران و شاخص جی استار (GI^*) فلزات سنگین مورد مطالعه دارای خود همبستگی فضایی و الگوی پراکنش فلزات به صورت خوشه‌ای است که نشان‌دهنده تجمع و نزدیکی مناطق آلوده دارای تراکم بالا در مجاورت یکدیگر است. بر این اساس بیشترین لکه‌های داغ کادمیوم و نیکل متعلق به نواحی شمالی تالاب (زیر پل بندر انزلی)، روی و سرب در قسمت شرقی متمرکز بود و الگوی خوشه‌ای بالا را تشکیل می‌دهند یا به عبارتی در این نواحی فلزات سنگین از الگوی خود همبستگی مکانی مثبت تبعیت می‌کنند.

کلید واژه‌ها: فلزات سنگین، آزمون موران، شاخص لکه‌های داغ، تالاب انزلی

سرآغاز

از جمله آلاینده‌هایی که در فاضلاب صنایع، معادن و رواناب‌های شهری و کشاورزی وجود دارد، می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. در سال‌های اخیر نگرانی در مورد آثار دراز مدت فلزات سنگین به عنوان آلاینده‌های محیط‌زیستی افزایش یافته است (Mirroshandel & Abdous, 2013). فلزات سنگین یکی از آلاینده‌های مهم و پایدار در محیط‌های آبی می‌باشند، این فلزات از اجزای طبیعی محیط‌زیست بوده و در آب اکوسیستم‌های آبی، موجودات آبی و رسوبات یافت می‌شوند (Esmaeili Sari, 2002). این آلاینده‌ها از یک طرف منجر به کاهش اکسیژن محلول آب شده و از طرف دیگر اثرات مضر بر روی ماهیان دارند و سبب تلف شدن آنها می‌شوند (Jalali Jafari & Aghazadeh Meshgi, 2005). یکی از مهم‌ترین خواص این فلزات که آنها را از سایر آلاینده‌های سمی متمایز می‌کند، تخریب ناپذیر بودن و پایداری آنها است (Rauret et al., 1999). طی دو دهه اخیر تاثیرات فلزات سنگین بر روی سلامت اکوسیستم‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. اکوسیستم‌های آبی و تالاب‌ها به واسطه ورود مواد ناشی از محیط‌های طبیعی، صنعتی و شهری که معمولاً از طریق رودخانه‌ها وارد این نواحی می‌شوند، در معرض آلودگی این فلزات قرار می‌گیرند (Prange & Dennison, 2000). لازمه وجود یک راهبرد حفاظتی اثربخش، داشتن برنامه پایش موثر و پایدار بر روی وضعیت و وسعت زیستگاه‌های شکننده از قبیل تالاب‌ها به وسیله یک ابزار کارآمد است (Papastergiadou et al., 2008). در مجموع تعیین و ارزیابی نواحی آلوده با فلزات سنگین به طور قابل ملاحظه‌ای در تصمیم‌گیری برای مدیریت در آینده مورد نیاز است. پهنه‌بندی آلودگی‌های محیط‌زیستی ابزاری مناسب، در شناسایی گستردگی آلودگی‌ها به شمار می‌آید؛ این نقشه‌ها با طبقه‌بندی مناطق آلوده به فلزات سنگین یا در معرض هر آلودگی تلاش می‌نماید اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب یافتن مناطق مناسب برای استفاده بهینه از سرزمین یا پاک‌سازی آن در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان سرزمین قرار می‌دهد (Romic et al., 2007). اطلاع از توزیع مکانی و زمانی آلاینده‌هایی از قبیل فلزات سنگین، می‌تواند ویژگی و موقعیت هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده را مشخص نمود. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^(۱) می‌تواند نمایش فضایی اطلاعات

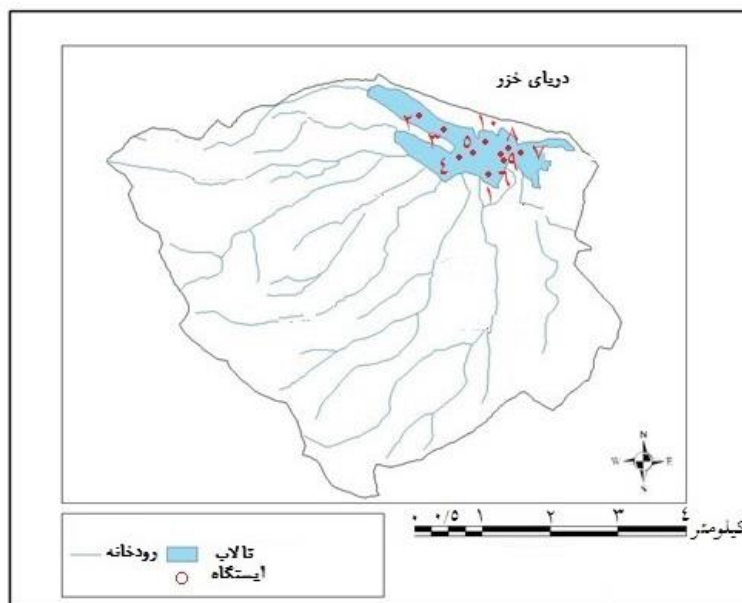
آلاینده‌ها، تحلیل‌های فضایی و درک بهتر از آنها را فراهم نماید (Arhami et al., 2017). فنون و مدل‌های تحلیل مکانی اغلب در علوم محیط‌زیست برای شناسایی آنومالی‌های مکانی (لکه‌های داغ) آلاینده‌های مختلف استفاده می‌شوند (Zhang et al., 2008). یکی از موضوعات مهم در بررسی و پایش پارامترهای محیطی به کارگیری مدل‌های زمانی و مکانی است. از مهمترین ارزیابی‌های زمانی و مکانی که در این ارتباط که باید به آن توجه ویژه‌ای شود، تحلیل فضایی آنها است. تحلیل فضایی می‌تواند تغییرات مکانی و زمانی داده‌های مکانی را به خوبی در یک منطقه مورد پایش قرار دهد (Khosravi et al., 2017). در میان روش‌های مختلف تحلیل خوشه‌ای، خود همبستگی فضایی موران روش موفق در مطالعات محیط‌زیستی بوده، به گونه‌ای که این روش قادر است موقعیت‌های منحصر را بر اساس مقایسه با نمونه‌های مجاورشان مورد بررسی قرار دهد (Yuan et al., 2018). از دیدگاه Anselin (۱۹۹۲)، مکان دارای دو نوع تاثیر وابستگی فضایی و ناهمگونی فضایی است، نخست همان همبستگی فضایی یا پیوستگی فضایی است، بدین معنی که ارزش‌های نزدیک به هم شباهت بیشتری با یکدیگر دارند و منجر به تجمع فضایی می‌شوند. دوم تاثیر فضایی متعلق به تفاوت‌های منطقه‌ای یا فضایی است که از بی نظیر 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 (Sadeghi Nia et al., 2013). مدل همبستگی فضایی موران بر اساس قانون اول جغرافیا مطرح می‌شود که هر پدیده وابسته به پدیده‌های دیگر می‌باشد. از این رو، هر چه قدر پدیده‌ها به یکدیگر نزدیکتر باشند، میزان همبستگی بین آنها قوی‌تر می‌باشد (Dogru et al., 2017). مطالعه‌های متعددی پیرامون پهنه‌بندی و استفاده از GIS برای ارزیابی فلزات سنگین انجام شده است که می‌توان به (Selvam et al., 2015; Balakrishnan et al., 2013; McGrath et al., 2004; Chandrasekaran et al., 2013; Bagheri Tavani & Norouzi, 2016) اشاره کرد. در مطالعه حاضر علاوه بر پایش و تخمین تراکم فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم، و نیکل) تالاب انزلی مبتنی بر GIS، با استفاده از آمار فضایی و شاخص لکه‌های داغ الگوی پراکنش و لکه‌های داغ این منطقه مشخص می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

عرض جغرافیایی 30° و $22'$ و 37° تا $8''$ و $32'$ و 37° شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) (Besharati, 2006). جدول (۱) موقعیت تالاب را بروی نقشه نشان می‌دهد.

تالاب انزلی در جنوب غرب دریای خزر و در استان گیلان در طول جغرافیایی 20° و $14'$ و 49° تا $45''$ و $36'$ و 49° شرقی و



شکل (۱): موقعیت تالاب بین‌المللی انزلی بر روی نقشه

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	هندخاله	$49^{\circ} 27' 14''$	$37^{\circ} 23' 54''$
۲	تالاب غرب (آبکنار)	$49^{\circ} 24' 20''$	$37^{\circ} 26' 35''$
۳	تالاب غرب (آبکنار)	$49^{\circ} 24' 20''$	$37^{\circ} 26' 35''$
۴	سیاه‌درویشان	$49^{\circ} 25' 29''$	$37^{\circ} 26' 9''$
۵	سرخانکل	$49^{\circ} 25' 42''$	$37^{\circ} 23' 53''$
۶	تالاب شرق	$49^{\circ} 30' 15''$	$37^{\circ} 25' 17''$
۷	خروجی تالاب شرق	$49^{\circ} 29' 26''$	$37^{\circ} 25' 26''$
۸	پیربازار	$49^{\circ} 30' 7''$	$37^{\circ} 24' 11''$
۹	نوخاله	$49^{\circ} 30' 1''$	$37^{\circ} 24' 12''$
۱۰	زیریل بندر انزلی	$49^{\circ} 27' 54''$	$37^{\circ} 27' 48''$

روش کار

بعد از بررسی کامل منطقه مورد مطالعه، ۱۰ نقطه نمونه برداری بر روی نقشه تعیین شد. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌ها قابل مشاهده است. فاکتورهای مورد آزمایش فلزات سنگین (سرب،

نیکل، روی و کادمیم) به صورت فصلی در طول سال ۱۳۹۳ با تناوب ۴۵ روزه و سه تکرار در اعماق مختلف (۱۵، ۳۰ و ۵۰ سانتی متری) برداشت و پس از اختلاط در ظروف پلی‌اتیلنی به آزمایشگاه منتقل و غلظت فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های آب

به کمک این آماره می‌توان نقاط با مقادیر کم یا زیاد که به طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند 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 با هدف تشخیص مکان‌های محلی و پیشنهاد مکان‌های انفرادی موثر در پیوندهای فضایی ابداع شد (Yamada & Thill, 2007). شاخص G_i^* براساس جدول (۲) و با توجه به نمره استاندارد (Z-score) به دست آمده از آزمون موران، میزان تمرکز هر کدام از فلزات سنگین را در نقاط مختلف با توجه به الگوی پراکنش مشخص می‌کند و به صورت معادله (۳) قابل ارزیابی است. این آماره برای منطقه i پیوند فضایی بین یک ارزش را در i و نزدیک به آن به روش زیر تعریف می‌کند، رابطه (۳): (Cliff & Ord, 1981)

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} (X_j - \bar{X})$$

در این رابطه X_i خصیصه عارضه 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):

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

در این رابطه، n برابر با تعداد کل عوارض می‌باشد (Cliff & Ord, 1981).

یافته‌ها

نتایج بررسی مقادیر اندازه‌گیری فلزات سنگین در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۳ در جدول (۳) به تفکیک هر فلز نشان داده شده است. نتایج بررسی میانگین غلظت فلز سرب در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری جدول (۳) نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در ایستگاه پیربازار (۰/۰۰۴ ± ۰/۵۸۹ میلی‌گرم بر لیتر) و سرخانکل (۰/۰۰۲ ± ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) بود. همچنین حداکثر و حداقل مقدار میانگین فلز سنگین کادمیوم در منطقه زیرپل بندر انزلی (۰/۰۰۶ ± ۰/۲۳ میلی‌گرم بر لیتر) و سیاه درویشان (۰/۰۱۲ ± ۰/۰۴۴ میلی‌گرم بر لیتر) بود. در بررسی میانگین فلزات روی و نیکل به ترتیب در ایستگاه پیربازار (۰/۰۱ ± ۰/۳۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) و زیر پل بندر انزلی (۰/۰۷ ± ۰/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین

توسط دستگاه جذب اتمی، به روش کوره گرافیتی براساس کتاب استاندارد متد ارزیابی شد (APHA, 1992).

تهیه نقشه تراکم فلزات

در ابتدا از روش درون‌یابی IDW^(۲)، به منظور تهیه نقشه‌های رستری فلزات مورد مطالعه استفاده شد. سپس برای تهیه نقشه تراکم هر کدام از فلزات، لایه‌های رستری تبدیل به وکتور (نقطه) شد و از آزمون تراکم کرنل در محیط Arc GIS 10.2 استفاده شد. برای تحلیل آمار فضایی و الگوی پراکنش از آماره خودهمبستگی فضایی سراسری (موران جهانی) و خودهمبستگی فضایی محلی (موران محلی) - LISA استفاده شد. 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 می‌شود. آماره خودهمبستگی فضایی موران جهانی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود: (Anselin, 1992)

رابطه (۱)

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} WZ_i Z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n Z_i^2}$$

در این رابطه n ، تعداد مشاهدات، Z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن $(X_i - \bar{X})$ ، $W_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j که محدوده تاثیر 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: رابطه (۲)

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j}$$

آماره موران جهانی عددی را به دست می‌آورد که با استفاده از آن می‌توان درجه پراکنندگی یا خوشه‌بندی عوارض و یا داده‌های فضایی را در فضا اندازه‌گیری کرد (Getis & Ord, 1992; Khosravi et al., 2018).

لکه‌های داغ (شاخص G_i^*)

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 وزن‌دهی شده و

مقادیر یافت شد. لازم به ذکر است در بحث آلودگی و با توجه به کادمیم، کروم، سرب و روی، بیش از بقیه موثرند Alloway, پتانسیل خطر و ایجاد آلودگی، فلزات سنگینی مانند آرسنیک، (1995).

جدول (۲): طبقه بندی نمره استاندارد در تحلیل نوع پراکنش داده های مکان محور

نوع الگوی پراکنش فضایی	سطح معناداری (p-value)	نمره استاندارد (Z-score)
خوشه‌ای قوی - سرد - سرد	۰/۰۱	< - ۲/۵۸
خوشه‌ای متوسط - سرد - سرد	۰/۰۵	- ۲/۵۸ - (- ۱/۹۶)
خوشه‌ای ضعیف - سرد - سرد	۰/۱۰	- ۱/۹۶ - (- ۱/۶۵)
تصادفی - توزیع ناموزون	-	- ۱/۶۵ - ۱/۶۵
خوشه‌ای ضعیف - داغ - داغ	۰/۱۰	۱/۶۵ - ۱/۹۶
خوشه‌ای متوسط - داغ - داغ	۰/۰۵	۱/۹۶ - ۲/۵۸
خوشه‌ای قوی - داغ - داغ	۰/۰۱	> ۲/۵۸

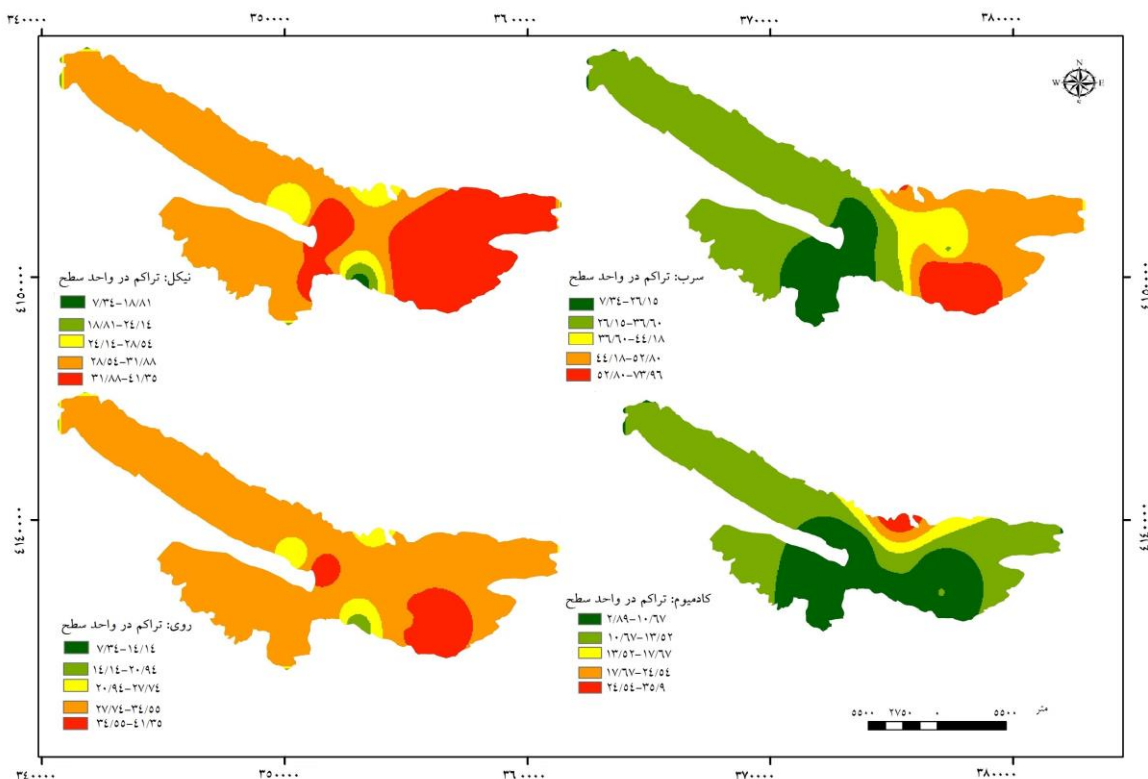
جدول (۳): میانگین فلزات سنگین \pm خطای میانگین در آب بین ایستگاه‌های مطالعاتی در سال ۱۳۹۳ (میلی گرم بر لیتر)

ایستگاه	سرب	روی	کادمیم	نیکل
هندخاله	۰/۱۸۵ \pm ۰/۰۲	۰/۰۹۲۷ \pm ۰/۰۱	۰/۰۵۸ \pm ۰/۰۰۱	۰/۰۳ \pm ۰/۰۰۲
تالاب غرب - آبکنار	۰/۲۰۰ \pm ۰/۰۰۱	۰/۱۵۵ \pm ۰/۰۰۴	۰/۰۵۸۵ \pm ۰/۰۰۵	۰/۰۱۵ \pm ۰/۰۱
سیاه درویشان	۰/۰۵۴ \pm ۰/۰۰۳	۰/۲۴۷ \pm ۰/۰۱	۰/۰۴۴ \pm ۰/۰۱۲	۰/۰۱۶ \pm ۰/۰۰۵
سرخانکل	۰/۰۴ \pm ۰/۰۰۲	۰/۲۲۲ \pm ۰/۰۰۱	۰/۰۵۵ \pm ۰/۰۰۸	۰/۰۲۲۷ \pm ۰/۰۰۲
تالاب شرق	۰/۲۱۹ \pm ۰/۰۱۱	۰/۲۱۷ \pm ۰/۰۰۳	۰/۰۵ \pm ۰/۰۰۱	۰/۰۲۱ \pm ۰/۰۵
پیربازار	۰/۵۸۹ \pm ۰/۰۰۴	۰/۳۴۵ \pm ۰/۰۱	۰/۰۷۸ \pm ۰/۰۰۴	۰/۰۳۴ \pm ۰/۰۱۱
نوخاله	۰/۲۸۸ \pm ۰/۰۰۱۱	۰/۱۲۵ \pm ۰/۰۹	۰/۰۵۲۲ \pm ۰/۰۰۲	۰/۰۲۱۸ \pm ۰/۰۶
زیر پل بندر انزلی	۰/۳۴۱ \pm ۰/۰۰۲۳	۰/۱۵۹ \pm ۰/۰۰۵	۰/۲۳ \pm ۰/۰۰۶	۰/۰۷ \pm ۰/۰۷
تالاب غرب - ماه روزه	۰/۳۱۰ \pm ۰/۰۰۲۳	۰/۱۷۳ \pm ۰/۰۰۵	۰/۰۷۱ \pm ۰/۰۰۶	۰/۰۲۳ \pm ۰/۰۷
خروجی تالاب شرق	۰/۲۴۵ \pm ۰/۰۰۲۳	۰/۲۵۷ \pm ۰/۰۰۵	۰/۰۹۳ \pm ۰/۰۰۶	۰/۰۲۸ \pm ۰/۰۷

نتایج نقشه‌های تخمین تراکم فلزات سنگین

بررسی نقشه‌های تخمین تراکم سالیانه ترسیم شده برای فلزات مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داد که بیشترین تخمین تراکم فلز سرب در جنوب شرقی تالاب انزلی با ۷۳-۵۲ واحد در واحد سطح در محدوده ایستگاه پیربازار و نوخاله به همراه بخشی از زیر پل بندر انزلی تخمین زده شد. همچنین در محدوده‌ای کوچک در حوالی ایستگاه هندخاله و سرخانکل و سیاه درویشان کمترین مقدار، ۲۶-۷ واحد در واحد سطح متراکم بود. حداکثر تراکم نیکل در شرق تالاب (۳۱-۴۱ واحد) و حداقل تراکم در ناحیه مرکز و جنوبی‌ترین قسمت تالاب انزلی (۷-۱۸ واحد در واحد سطح) تخمین زده شد. بررسی نقشه‌های تخمین تراکم

ترسیم شده برای فلز کادمیم شکل (۲) نشان داد که در قسمت شمال تالاب و منطقه زیر پل بندر انزلی تالاب انزلی بیشینه تراکم و حد فاصل مرکز تا جنوب تالاب انزلی (سیاه درویشان و سرخانکل) کمینه تراکم فلز کادمیم تخمین زده شد. در بررسی نقشه تخمین فلز روی حداکثر تراکم در دو قسمت حدفاصل شرق و غرب (ایستگاه شرق و پیربازار و سیاه درویشان) متمرکز بود. در بررسی نقشه نیکل نواحی شرقی تالاب تراکم بالا (۳۵/۸۸-۴۱/۳۲ واحد در واحد سطح) را نشان داد. در مجموع روند پهنه بندی حاصل از تخمین تراکم نشان‌دهنده افزایش تراکم سرب و نیکل از سمت غرب به شرق تالاب انزلی می‌باشد.



شکل (۲): نقشه تخمین تراکم فلزات سنگین در آب تالاب انزلی، ۱۳۹۳ الف. سرب؛ ب. کادمیوم؛ ج. نیکل؛ د. روی

خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد منفی یک باشد، آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده می‌باشند. در مورد این آماره فرضیه صفر آن است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد (Asgari, 2011).

نتایج نقشه‌های الگوی پراکنش فلزات سنگین
جدول (۴) نتایج کلی آزمون شاخص موران فلزات سرب، نیکل، کادمیوم و روی را در یکسال نشان می‌دهد. نمودار شاخص موران نیز در شکل (۳) به تفکیک هر فلز نشان داده شده است. مدل‌سازی روابط مکانی با استفاده از تکنیک‌های آمار فضایی از جمله شاخص آماره خودهمبستگی فضایی، یکی از روش‌های موثر برای درک وابستگی‌های مکانی در داده‌های جغرافیایی است (Salahi & Faridpour, 2016). اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد مثبت یک باشد داده‌ها دارای

جدول (۴): نتایج آزمون موران مقادیر فلزات سنگین در آب تالاب انزلی، ۱۳۹۳

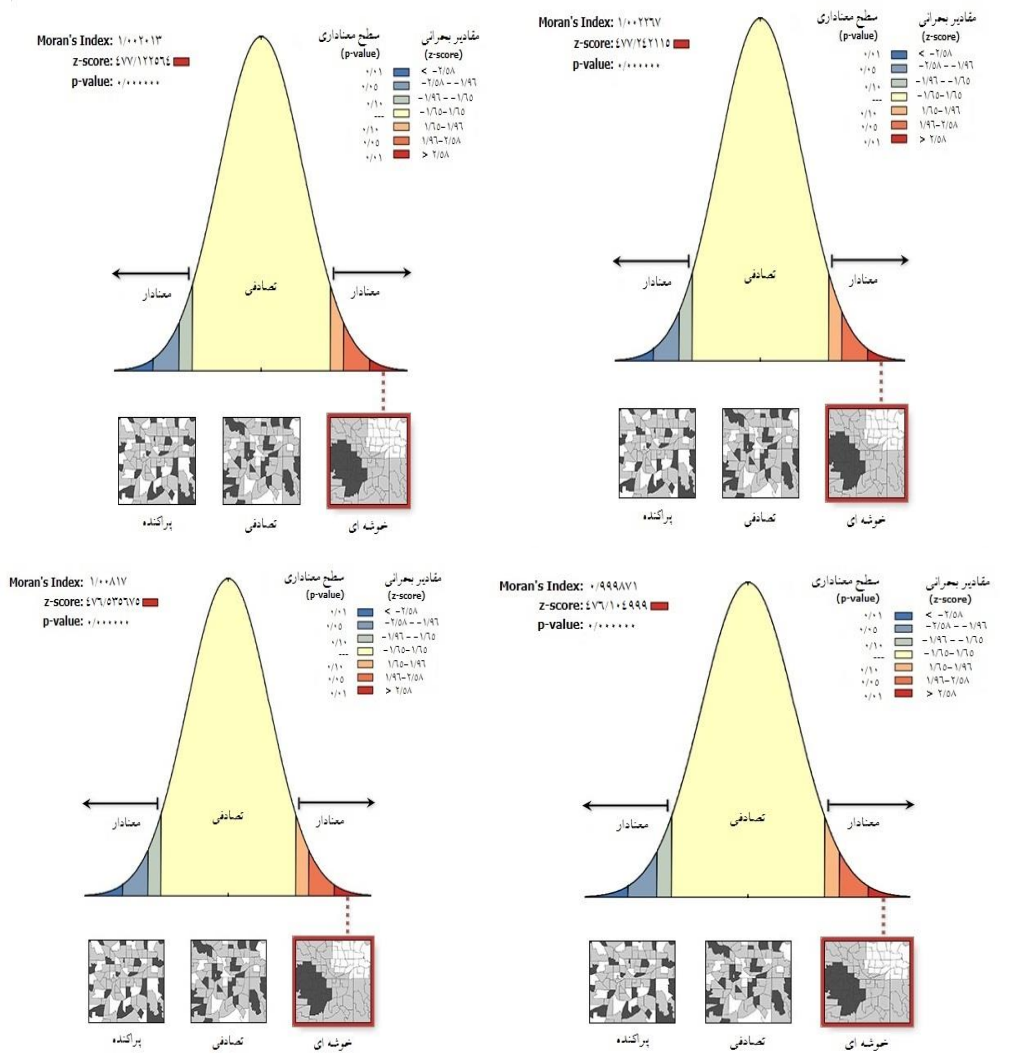
روی	نیکل	کادمیوم	سرب	آماره موران
۰/۹۹	۱/۰۰۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰۸	
۴۷۶/۱۰	۴۷۷/۲۴	۴۷۷/۱۲۲	۴۷۶/۵۳	Z-Score
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	p-value

بر اساس جدول (۴)، مقادیر شاخص موران برای تمام فلزات، مثبت به دست آمد که نشانگر خوشه‌ای بودن نقاط هم‌جوار می‌باشد، با توجه به مقدار P-Value و Z محاسبه شده (۴۷۶/۱۰ -

فرض صفر رد می‌شود و در نتیجه کل فلزات سنگین این مطالعه دارای خود همبستگی فضایی هستند و به عبارتی تمایل به متمرکز شدن و یا خوشه‌ای شدن مقادیر فلزات سنگین

خوشه‌بندی فضایی ارایه نمی‌دهد، لازم بود از آماره موران محلی و آماره گتیس- ارد جی استفاده شود تا لکه های داغ در بخش‌های مختلف مشخص شود.

در تالاب انزلی است. بر اساس شکل (۳) نمودار زنگوله‌ای نحوه توزیع داده‌ها و بازه معنی‌داری نمره استاندارد Z قابل مشاهده است. این اشکال گرافیکی و شماتیک برای همه فلزات مورد مطالعه، الگوی خوشه‌ای را نشان می‌دهد. در ادامه با توجه به اینکه روش آماره موران جهانی اطلاعاتی در مورد مکان



شکل (۳): شاخص موران فلزات مورد مطالعه، ۱۳۹۳ الف. کادمیوم؛ ب. نیکل؛ ج. سرب؛ د. روی

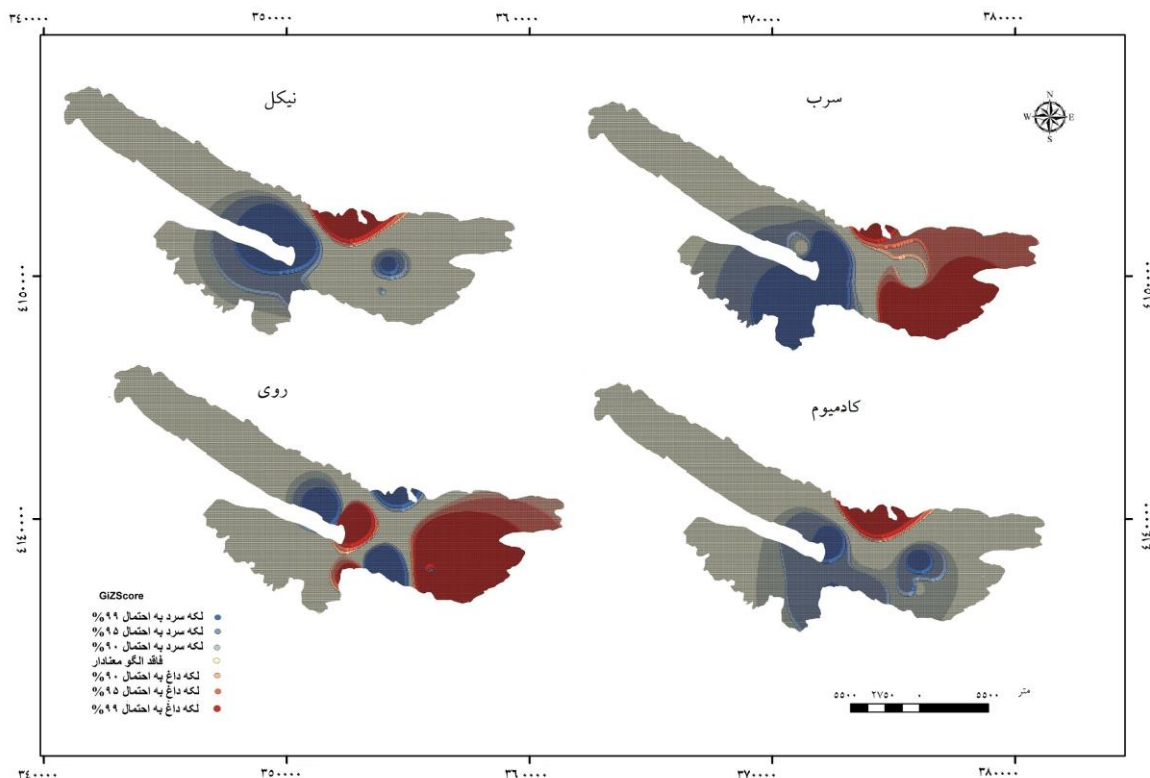
بحث و نتیجه‌گیری تحلیل لکه‌های داغ

(خوشه‌ای، پراکنده و تصادفی) می‌توان بر چگونگی نظم و ترتیب قرارگیری واحدهای ناحیه‌ای متمرکز شد و می‌توان مشابهت و عدم مشابهت هر جفت از واحدهای ناحیه‌ای مجاور را اندازه گرفت. وقتی که این مشابهت و عدم مشابهت‌ها برای الگوهای فضایی خلاصه شده‌اند، خودهمبستگی فضایی شکل می‌گیرد (Lee, 2000). اگر حضور یک متغیر در یک منطقه سبب شود که در مناطق همجوار نیز مقدار آن متغیر بیشتر شود، به

نقشه الگوی پراکنش فضایی فلزات به تفکیک در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج حاصل از نقشه‌های معناداری موران محلی (شکل ۴)، خوشه‌بندی آلاینده و نوع آنها را نمایش داد. مقدار ارزشی حاصل از این آماره با استفاده از مقدار P-value قابل تفسیر و تحلیل می‌باشد. در طبقه‌بندی الگوهای فضایی

تعیین چگونگی تغییر الگوهای فضایی در طول زمان است (Rahnema & Zabihi, 2011). نتایج این نوع تحقیق به فهم بیشتری از چگونگی تغییر الگوها از گذشته به حال کمک می‌کند.

خودهمبستگی فضایی مثبت تعبیر می‌شود اما اگر بر عکس، وجود آن متغیر سبب کاهش مقادیر آن در مناطق همسایه گردد، به خودهمبستگی فضایی منفی تعبیر می‌شود و در صورتی که تاثیر خاصی نداشته باشد به عدم خودهمبستگی فضایی تفسیر می‌گردد. خودهمبستگی فضایی ابزار تحلیلی ارزشمندی برای



شکل (۴): نقشه پراکنش خوشه ای فلزات مورد مطالعه در آب، ۱۳۹۳ الف. سرب؛ ب. کادمیوم؛ ج. نیکل؛ د. روی

آنها نشان داد که الگوی پراکنش فلزات سنگین به صورت خوشه‌ای قوی و داغ است (Bagheri Tavani & Norouzi, 2016). خود همبستگی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر یک متغیر که از نظر جغرافیایی به هم نزدیک‌اند، با هم مرتبط نیز باشند. به طور کلی همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، الگوهای خود همبستگی مثبت در مناطقی واقع شده‌اند که تمرکز فلزات سنگین در تالاب مشاهده شد. این مناطق بسته به نوع فلز به طور نسبی به سمت شمال برای فلزات کادمیوم و نیکل و شرق برای فلزات سرب و روی گسترده شده است. البته در تنوع الگوی مکانی فلزات سنگین علاوه بر عوامل محیطی، عوامل بیرونی هم در منطقه می‌تواند تاثیرگذار باشد (Jalali & Kamarian, 2018). از طرفی با بررسی شکل (۴) و مقایسه

بر اساس شکل (۴)، طیف‌های قرمز رنگ بیانگر الگوی خودهمبستگی‌های مثبت (لکه‌های داغ) و طیف‌های آبی رنگ (لکه‌های سرد) نشانگر الگوی خودهمبستگی منفی می‌باشد. بر این اساس بیشترین لکه‌های داغ کادمیوم و نیکل متعلق به نواحی شمالی تالاب (زیر پل بندر انزلی) که در واقع خروجی تالاب به سمت دریای خزر می‌باشد و با الگوی خوشه‌ای بالا مشاهده شد. پراکنش لکه‌های داغ روی و سرب در قسمت شرقی متمرکز بود و الگوی خوشه‌ای بالا را تشکیل می‌دهند یا به عبارتی در این نواحی فلزات سنگین از الگوی خود همبستگی مکانی مثبت تبعیت می‌کنند. (Bagheri Tavani & Norouzi, 2016). وضعیت آلودگی فلزات حوضه جنوبی خزر را با استفاده از شاخص لکه‌های داغ مورد بررسی قرار دادند. نتایج

پساب و فاضلاب‌ها از طریق پیربازار به تالاب، می‌تواند از عوامل آلودگی آن ذکر کرد، همچنین در مطالعه‌های دیگر نتایج مشابه به دست آمده بود (Sertaj et al., 2007; Khodaparast, 2005). در رابطه با فلز روی فراوانی این عنصر در پوسته زمین و حلالیت نسبی در آب (Paydar et al., 2003) را می‌توان از دلایل بالا بودن آن در تالاب بین‌المللی انزلی ذکر کرد. ایستگاه زیرپل بندرانزلی در بین ایستگاه‌های بیشترین غلظت نیکل و کادمیوم را به خود اختصاص داده است. نیکل در ترکیبات نفتی یافت می‌شود، فعالیت شناورهای دریایی و فعالیت‌های دیگر مرتبط در این بخش از تالاب نقش به‌سزایی در افزایش مواد نفتی و فلزات سنگین دارا می‌باشند (Khodaparast, 2002). در رابطه با کادمیوم با توجه به اینکه این نقطه خروجی تالاب قرار دارد طبیعی به نظر می‌رسد ترکیبات حاوی این فلز در این ناحیه از تالاب بیشتر مشاهده شود. با بررسی نتایج این مطالعه مشاهده شد که ایستگاه‌های واقع در بخش شرق تالاب انزلی نسبت به غرب تالاب آلودگی بالاتری از نظر فلزات سنگین سرب و روی دارند که در توافق با مطالعه‌های (Mirroshandel et al; 2003; Abdous, 2013; Paydar Sertaj et al., 2005) بود.

فلزات مختلف مشاهده می‌شود اکثر نواحی تالاب انزلی نامتوازن و بدون الگوی مشخص هستند و به عبارتی بدون خودهمبستگی فضایی‌اند. بررسی‌ها نشان داد نقاط داغ و با الگوی خوشه‌ای بالا-بالا (خود همبستگی فضایی مثبت) بر اساس نوع فلز در دو بخش شرق و حد فاصل شمال تا جنوب تالاب انزلی متمرکز هستند. دلیل این وضعیت در شرق و حد فاصل مرکز تا جنوب می‌تواند شالیزارها و مزارع کشاورزی و ورود پساب‌های رودخانه‌های این نواحی به تالاب باشد. در رابطه با تشکیل نقاط داغ نیکل و کادمیوم و سرب در ناحیه شمالی تالاب نیز این قسمت در خروجی تالاب می‌باشد. بنابراین پذیرنده بار، مواد آلی و غیرآلی تالاب هستند. بررسی غلظت فلزات سنگین به طور نسبی نشان داد مقادیر فلزات مورد مطالعه در مقایسه با استانداردهای جهانی مرتبط (جدول ۵) سطح بالاتری دارد. به طوری که مقادیر سالیانه فلزات سرب، نیکل، کادمیوم در اکثر ایستگاه‌ها بالاتر از استانداردها و مطالعه‌ها بود. در مورد روی، این اختلاف کمتر بود. ایستگاه پیربازار در بین ایستگاه‌های بیشترین غلظت سرب و روی را به خود اختصاص داده است. فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی مقادیر زیادی سرب به همراه دارند، با توجه به وجود صنایع مختلف در این محدوده تالاب و ورود

جدول (۵): مقادیر فلزات سنگین در استانداردهای مختلف در برخی از کشورها (میلی‌گرم بر لیتر)

منبع	کادمیوم	نیکل	روی	سرب	استاندارد/ فلز سنگین
Yang et al.(2008)	<0.1	-	<0.1	<0.1	دریاچه و تالاب
Water Supply Authority (2002)	0.1	0.144	-	0.05	آب‌های سطحی
Brenner et al.(2012)	0.05	-	0.35	0	آب آشامیدنی
Wang et al.(2010)	0.5	-	>0.1	0.5	حیات آبریان

درست رفتار مکانی- زمانی فراسنجه‌ای محیط‌زیستی و اکولوژیکی باشد. از طرفی استفاده از تکنیک آمار فضایی و GIS ابزار مفیدی در اختیار قرار داده تا هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم اثرات محیط‌زیستی بر آب‌های سطحی کشور داشته باشد و با آگاهی بیشتر اتخاذ شده شیوه‌های مدیریتی منابع آب در هر نقطه اعمال شود.

سیاسگذاری

این مطالعه با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت، بدین‌وسیله از آن معاونت قدردانی می‌شود.

در این مطالعه آماره موران جهانی روش کارآمدی برای شناسایی لکه‌های داغ در سطح تالاب انزلی شناخته شد. این مطالعه یکی از نخستین پژوهش‌هایی است که در زمینه پراکنش فلزات سنگین به وسیله آمار فضایی در تالاب بین‌المللی انزلی انجام گرفته است. البته می‌توان در مطالعه‌های بعدی، با افزایش تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری و افزایش دوره پایش این روش را با دقت بیشتری بررسی و ارزیابی کرد. تحلیل خودهمبستگی فضایی موران ابزار کارآمدی برای ارتقای تصمیم‌گیری و ارزیابی مدیریت تصمیم‌گیری می‌باشد. همچنین این مطالعه می‌تواند الگوی مناسبی برای سایر مطالعه‌های محیط‌زیستی باشد به این دلیل که رویکرد آمار کلاسیک نمی‌تواند به تنهایی تبیین‌گر

یادداشت‌ها

2. Inverse Distance Weighted

1. Geographic Information System

فهرست منابع

- Alloway, B.J. 1995. Soil Pollution and Land Contamination, in Pollution: causes, Effects and Controlled, R. M, Harrison. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 318pp.
- Asgari, A. 2011. Space Statistics Analysis with ArcGIS, Tehran Municipality Information & Communication Technology Organization Press. (In Persian)
- APHA. 1992. Standard method for examination of water and wastewater.18 the edition. American.
- Arhami, M.; Hosseini, V.; Shahne, M. Z.; Bigdeli, M.; Lai A. & Schauer, J. J. 2017. Seasonal trends, chemical speciation and source apportionment of fine PM in Tehran. Atmospheric Environment; 153:70-82.
- 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.
- Bagheri Tavani, M. & Norouzi, M. 2016. Lead and Cadmium Pollution in the Southern Caspian Sea Basin through *Liza aurata* using the GIS System, Journal of aquatic ecology 6(2):101-115. (In Persian)
- Balakrishnan, A.; Ramu, A. & Murugesan, A. 2013. Spatial distribution of heavy metal concentration in groundwater in and around Palk Strait Sea shore area using GIS techniques. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2(12): 7650-7656.
- Besharati, N. 2006. Threats to the health of wetland environmental hazards caused by pollutants. South Medical (Bulletin National Congress of medicine and sea) 4:76-86. (In Persian)
- Brenner, A. & Hoekstra, E. J. 2012. Drinking water quality standards and regulations. Best Practice Guide on Metals Removal from Drinking Water by Treatment: chapter 1:4, 5.
- Cliff, A. D. & Ord, J. K. 1981. Spatial processes: models & applications, No 44, London.
- Chandrasekaran, A.; Mukesh, M.V.; Anantharaman, P.; Tamilselvi, M.; Muthukumarasamy, R.; Manivel, T. & Rajmohan, R. 2013. Trace Metal Concentration in Sediments of Tamirabarani River in relationships with physico chemical characteristics -a study using GIS application. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 3(2): 9-15.
- Dogru, A. O.; David, R.M.; Ulugtekin, N.; Goksel, C.; Seker, DZ. & Sözen, S. 2017. GIS based spatial pattern analysis: Children with Hepatitis A in Turkey. Environmental Research; 156:349.
- Esmaili Sari, A. 2002. Pollutants, Health and Standard in the environment, Press The role of Mehr.767pp. (In Persian)
- Getis, A. & Ord, J.K. 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical Analysis. 24 (3):189-206.
- Jalali Jafari, B. & Aghazadeh Meshgi, M. 2005. Fish poisoning due to heavy metals in water and its importance in public health, Man Press, 138 pp. (In Persian)
- Jalali, M. & Kamarian, V. 2018. The Analysis of Spatial Patterns of Thunderstorms in the North West of Iran, Journal of geographic space 61: 63-81. (In Persian)
- Khodaparast, H. 2002. Anzali lagoon fisheries studies, Department of Fisheries Gilan, carrying out: Fisheries Research Center of Gilan.204pp. (In Persian)
- Khodaparast, H. 2007. Investigation of oil hydrocarbons in floating sites in Anzali Wetland and Coasts in a Caspian Sea (Guilan Province), Guilan Provincial Environment Office.89pp. (In Persian)

- Khosravi, Y.; Heidari, M.; Tavakoli, A. & Zamani, A. 2017. Analyzing of the Relationship Between Land Surface Temperature Temporal Changes and Spatial Pattern of Land Use changes, *Journal of spatial planning* 21(3): 119-144. (In Persian)
- 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.
- Lee, S. I. 2000. Developin a Bivariate Spatial Association an Integration of Pearson's r and Moran's I, *Journal of Geographical Systems*, No. 3: 369-385.
- McGrath, D.; Zhang, C. & Carton, O. T. 2004. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environmental Pollution*, 127, 239–248.
- Mirroshandel, M. & Abdous, A. 2013. Monitoring the level of ten heavy metal in 24 points of water and surface sediments of Anzali wetland, The 1th Conference and Exihibition on Environment Energy and Clean Industry, 14pp. (In Persian)
- Papastergiadou, E. S.; Retalis, A. Apostolakis, A. & Georgiadis, T. 2008, Environmental monitoring of Spatio-temporal changes using remote sensing and GIS in a Mediterranean wetland of northern Greece, *Water Resources management*, Vol. 112, pp. 259-273.
- Paydar, M.; Sharif Fazeli, M. & Riahi, AR. 2003. Determination of Heavy Metals Content in *Astacus Leptodactylus Caspicus* in Anzali Lagoon. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 12(2): 1-14. (In Persian)
- Prange, J.A. & Dennison, W.C. 2000. Physiological responses of five sea grass species to trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 4: 327-336.
- Rahnama, M.R. & Zabihi, G. 2011. Analysis of the Distribution of Urban Public Facilities for Spatial Justice with Mashhad's Integrated Access Model, *Geography and development Iranian journal* 23: 5-21. (In Persian)
- Rauret, G.; LoopezSanchez, J.F.; Sauquillo, A.; Rubio, R.; Davidson, C.; Ure, A. & Quevauviller, PH. 1999. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the cortication of new sediment and soil reference materials. *Journal of Environmental Monitoring*; 1: 57-61.
- Romic, M.; Hengl, T.; Romic, D. & Husnjak, S. 2007. Representing soil pollution by heavy metals using continuous limitation scores, *Computers & Geosciences*, Vol. 33, No. 10, pp. 1316-1326.
- Sadeghi Nia, A.; Alijani, B. Ziaeian, P. & Khaledi, SH. 2013. Application of spatial self-correlation techniques in the analysis of thermal island of Tehran, *Journal of applied researches in geographical sciences* 30: 67-90. (In Persian)
- Salahi, P. & Faridpour, M. 2016. Spatial analysis of climatic drought in North West of Iran using spatial autocorrelation statistics, *Journal of spatial analysis environmental hazards* 3(3):1-20. (In Persian)
- Selvam, S.; Venkatramanan, S. & Singaraja, C. 2015. A GIS-based assessment of water quality Pollution indices for heavy metal contamination in Tuticorin Corporation, Tamilnadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 8(12): 10611-10623.
- Sertaj, M.; Fatollahi, F. & Filizadeh, Y. 2005. An investigation of the evolution of distribution and accumulation of heavy metals (Cr,Ni,Cd,Zn,Pb)in Anzali Wetland's Sediment,Iranian Journal of Natural Resources, 58(3):623-634. (In Persian)
- Wang, Y.; Chen, P. ;Cui, R. Si, W.; Zhang, Y. & Ji, W. 2010.Heavy metal concentrations in water, sediment, and tissues of two fish species (*Triplohyza pappenheimi*, *Gobio hwanghensis*) from the Lanzhou section of the Yellow River, China. *Environmental Monitoring and Assessment*; 165(1-4):97-102.
- Water Supply Authority. 2002. Surface Water Quality and Pollutant Loadings: A Technical Report for the Raritan Basin Watershed Management Project, New Jersey, 86pp.
- Yamada, I. & Thill, J. C. 2007. Local indicators of network constrained clusters in spatial point patterns. *Geographical Analysis*, 39(3), 268-292.

Yang, H.; Shen, Z.; Zhu, S. & Wang, W. 2008. Heavy metals in wetland plants and soil of Lake Taihu, China. *Environmental Toxicology and Chemistry*; 27(1):38-42.

Yuan, Y.; Cave, M. & Zhang, C. 2018. Using Local Moran's, I to identify contamination hotspots of rare earth elements in urban soils of London. *Applied Geochemistry* 88: 167-178.

Zhang, C.; Luo, L.; Xu, W. & Ledwith, V. 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pp in urban soils of Galway, Ireland *Science of the Total Environment*; 398(1):212-21.