

## Zonation of Heavy Metal Distribution of Surface Sediments in Anzali Wetland Using Geographical Information System (GIS)

### Mohsen Mohammadi Galangash

\*Associate Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran- and Department of Water and Environmental, Caspian Sea Basin research center, University of Guilan, Rasht, Iran. (Corresponding Author:) Email: m\_mohammadi@guilan.ac.ir

### Seyed Aliakbar Hedayati

Professor, Department of Fisheries and Aquatic Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan

### Mohammad Forouhar Vajargah

Ph. D, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

### Ahmadreza Pirali Zefrehei

Ph. D, Department of Fisheries and Aquatic Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan

### Maryam Fallah

M. Sc. Department of Environmental Sciences, Isfahan University of Technology, Isfahan

Received: 2021/10/18

Accepted: 2021/11/19

**Document Type:** Research article

### ABSTRACT

**Background and Aim:** The sediment monitoring in the aquatic environments is very important in terms of long-term exposure to various pollutants. This study was conducted to monitor the pollution of some heavy metals (Cd, Cu, Fe, Pb, and Zn) in the surface sediments of the Anzali wetland.

**Materials and methods:** For this purpose, the sediment samples were collected from east, west, and central sections of wetland in different seasons in 2020. Heavy metals contamination zoning for the sediments in the study area was performed using Arc GIS 10.7

**Results:** The results showed that the highest level of contaminants was obtained in the western section of wetland. The average concentrations of heavy metals in the sediments were related to Cu (18.47), Zn (74.15), Cd (0.67), Pb (12.05), and Fe (1.97) mg. kg<sup>-1</sup> in the western section. The pattern of the changes of studied metals was in conformity with Cd < Fe < Pb < Cu < Zn. Pearson correlation analysis showed a strong and significant relationship (p-value > 0.05) among Pb, Cu, and Zn. According to the zoning map of sections located in the middle of center to the west of the wetland, higher amounts of metals were deposited in their sediments.

**Conclusion:** In general, various human activities and the development of industries, and the existence of agricultural lands in the area of the Anzali Wetland and incoming rivers can be considered the factors affecting pollution. Therefore, by continuous biological and ecological monitoring of wetland, it is possible to estimate the amount of heavy metals and the share of each in the wetland. Furthermore, management seems necessary to protect and monitor the wetland.

**Keywords:** Pollution, Wetland, Inverse weight distance method, Pb, Sediment, GIS.

► **Citation:** Mohammadi Galangash M, Hedayati SA, Forouhar Vajargah M, Pirali Zefrehei A, Fallah M. Zonation of Heavy Metal Distribution of Surface Sediments in Anzali Wetland Using Geographical Information System (GIS). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2022; 7(4): 323-331.

## پهنه‌بندی پراکنش فلزات سنگین رسوبات سطحی در تالاب انزلی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

### چکیده

**زمینه و هدف:** پایش رسوبات در محیط‌های آبی به دلیل نقش آنها در آلاینده‌گی اهمیت بسزایی دارد. مطالعه حاضر با هدف پایش آلودگی برخی فلزات سنگین (کادمیم، مس، آهن، سرب و روی) در رسوبات سطحی تالاب انزلی صورت گرفت.

**مواد و روش‌ها:** بدین‌منظور نمونه‌های رسوب از سه بخش شرقی، غربی و مرکزی تالاب در فصول مختلف سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری شدند. در ادامه با استفاده از Arc GIS ۱۰/۷ پهنه‌بندی فلزات رسوب تالاب صورت گرفت.

**یافته‌ها:** بیشترین غلظت عناصر در منطقه غربی تالاب مشاهده شد. میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالاب برای مس (۱۸/۴۷)، روی (۷۴/۱۵)، کادمیم (۰/۶۷)، سرب (۱۲/۰۵) و آهن (۱/۹۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم در بخش غربی به‌دست آمد. در این بررسی ترتیب غلظت فلزات مورد بررسی در نمونه‌های رسوب در هر سه منطقه به‌صورت کادمیم > آهن > سرب > مس > روی به‌دست آمد. ارزیابی همبستگی پیرسون نیز ارتباط قوی و معناداری (در سطح ۰/۰۵) بین سرب با مس و روی را نشان داد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی، بخش‌های واقع در حد واسط مرکز تا غرب تالاب، مقادیر بالاتری از فلزات را در رسوبات خود جای داده‌اند.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع فعالیت‌های مختلف انسانی و توسعه صنایع و وجود اراضی کشاورزی در محدوده تالاب انزلی و رودخانه‌های ورودی را می‌توان از عوامل مؤثر بر آلودگی دانست، لذا با پایش مستمر زیستی و اکولوژیکی تالاب می‌توان برآوردی از میزان فلزات سنگین و سهم هر کدام در تالاب داشت. همچنین مدیریت در راستای حفاظت و پایش از تالاب ضروری به‌نظر می‌رسد.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی، تالاب، رسوب، روش فاصله معکوس وزنی، سرب، GIS

محسن محمدی گلنکش

\* دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران- و عضو وابسته گروه مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.  
(نویسنده مسئول):  
m\_mohammadi@guilan.ac.ir

سید علی اکبر هدایتی

استاد، گروه تولید و بهره‌برداری، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

محمد فروهر واجارگاه

دکتری، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، صومعه‌سرا، ایران

احمدرضا پیرعلی زفره‌ئی

دکتری، گروه تولید و بهره‌برداری، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مریم فلاح

کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

◀ **استناد:** محمدی گلنکش م، هدایتی س ع، فروهر واجارگاه م، پیرعلی زفره‌ئی الف، فلاح م. پهنه‌بندی پراکنش فلزات سنگین رسوبات سطحی در تالاب انزلی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. زمستان ۱۴۰۰؛ ۷(۴): ۳۲۳-۳۳۱.

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های غیرآلی هستند که از مسیرهای مختلفی وارد اکوسیستم‌های آبی و خشکی می‌شوند (۱). فلزات سنگین وارد شده از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به دلیل سمیت، استفاده گسترده، مقاومت در برابر تجزیه و قابلیت تجمع زیستی، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و سیستم‌های اکولوژیکی هستند (۲). فلزات سنگین بر اساس شرایط محیطی و ساختار شیمیایی، از قابلیت دسترسی زیستی متفاوتی برخوردار هستند، اما این گروه از آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه در رسوبات از شرایط مناسب‌تری برای تجمع زیستی برخوردار هستند (۳). در اکوسیستم‌های آبی بیش از ۹۰٪ بار فلزات سنگین در رسوبات یافت می‌شود (۴). رسوب در این اکوسیستم‌ها، نقش پذیرنده آلاینده‌های آلی و غیرآلی (فلزات سنگین) را ایفا کرده و تاریخچه‌ای از ورود آلاینده‌های انسان-منشأ و تغییرات زیست‌محیطی ارائه می‌دهند (۵). با توجه به ته‌نشست آلاینده‌ها در محیط آبی، رسوبات به‌عنوان مخزنی جهت انباشته شدن آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین می‌باشد، به‌همین دلیل در بیشتر مطالعات جهت تعیین بهتر بار آلودگی در محیط‌های آبی مورد توجه قرار دارند (۶). همچنین به دلیل تأثیر این گروه فلزات بر موجودات و متعاقباً بر هم خوردن تعادل اکولوژیکی تالاب‌ها، مطالعه آنها حائز اهمیت است (۷).

سطوح پایین برخی از فلزات مانند آهن، مس، کبالت و روی برای رشد طبیعی بدن و متابولیسم موجودات زنده حیاتی هستند و جزء عناصر ضروری محسوب می‌شوند. از طرفی سطوح بالایی از فلزات مانند کادمیوم، کروم، منگنز و سرب به‌شدت برای حیات انسان و آبزیان مضر است (۸). آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده برخی فلزات سنگین از جمله کروم، مس، کادمیوم و سرب را به‌عنوان سمی‌ترین فلزات معرفی کرده است. فلزات سنگین در خاک ممکن است بر سلامت انسان تأثیر بگذارد؛ به‌طوری‌که افراد از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی در معرض غلظت بالایی از این فلزات هستند. نوزادان و کودکان به دلیل رشد سریع‌تر استخوان و تغییرات بدن، حتی در غلظت‌های پایین

بیشتر در معرض آسیب هستند (۹). سطوح بالای آرسنیک، کادمیوم و مس در بدن انسان می‌تواند باعث ایجاد مشکلات تنفسی، گوارشی، اختلال در عملکرد قلب و عروق و سیستم عصبی شود. اختلال غدد درون‌ریز و مسمومیت عصبی و مشکلات ایمنی نیز بر رفتار روانی - اجتماعی تأثیر می‌گذارد (۱۰). سرب باعث ایجاد مشکلات مضر در چندین اندام بدن مانند سیستم عصبی مرکزی، کلیه‌ها، تولید مثل و ایمنی می‌شود (۱۱). کادمیوم عمدتاً در کلیه و کبد انسان، سبب بروز مشکلات جدی در این اندام‌ها می‌شود (۱۲). مصرف کوتاه‌مدت کادمیوم حتی در غلظت کم، سمی است و به‌عنوان یک عامل سرطان‌زا در نظر گرفته می‌شود. قرار گرفتن در معرض مقادیر بیش از حد کادمیوم ممکن است منجر به مشکلات ریوی، برونشیت و آمفیژم<sup>۱</sup> شود (۱۳). غلظت بالای روی می‌تواند رشد و تولیدمثل را تحت تأثیر قرار دهد و ممکن است باعث مشکلات سلامتی مانند اختلال در عملکرد معده، تحریک، استفراغ، حالت تهوع، کم‌خونی و تغییرات در پوست شود (۱۴). غلظت بالای مس می‌تواند باعث تحریک جدی مخاط شود و مشکلات مویرگی گسترده، مشکلات کبدی و کلیوی، تحریک سیستم عصبی مرکزی و به‌دنبال آن افسردگی را در بردارد (۱۵). با توجه به مشکلات مذکور، سلامت انسان را از طریق قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین موجود در خاک و رسوبات را نباید نادیده گرفت.

تالاب انزلی در سال ۱۳۵۴ در فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر به ثبت رسید. همچنین سازمان بین‌المللی حیات پرنده‌گان، این تالاب را به‌عنوان زیستگاه با اهمیت پرنده‌گان تشخیص داده است. منطقه حفاظت شده سیاه کشیم، پناهگاه حیات‌وحش سلکه و منطقه شکار ممنوع سرخانکل در تالاب انزلی واقع شده‌اند. امروزه کاهش سطح آب دریای خزر، رسوب‌گذاری، افزایش رویش گیاهان آبی، بروز آلودگی‌های گوناگون، استفاده از سموم و کودهای مختلف در فعالیت‌های زراعی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع و ذخایر حیات‌وحش در اشکال صید و شکار، از مهم‌ترین

1. Emphysema

عوامل کاهش سطح زیستگاهی تالاب انزلی و تخریب زیستگاه هستند. عمده‌ترین آلودگی تالاب بین‌المللی انزلی از طریق رودخانه پیربازار است که از دو رودخانه کوچک‌تر گوهررود و زرجوب از شهر رشت منشأ می‌گیرد. فاضلاب‌ها و آلاینده‌های شهرستان‌های بندر انزلی، فومن، صومعه‌سرا، رشت و ماسال نیز به این تالاب می‌ریزند. علاوه بر فاضلاب‌های شهری، سموم کشاورزی شالیزارهای روستاهای پیرامون تالاب انزلی نیز از طریق زهکش‌ها به‌طور مستقیم وارد این تالاب می‌شوند (۱۶). تالاب انزلی در کنترل سیلاب و جلوگیری از فرسایش سواحل دریای خزر و همچنین اقلیم نواحی مجاور خود نقش مهمی دارد. طبیعت سیلابی این رودها بدون وجود تالاب انزلی، باعث بروز اختلالات آشکاری در کانون‌های جمعیتی و سکونتی متمرکز در دشت گیلان می‌شود (۱۷). سالانه ۳۰ میلیون متر مکعب فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی (خانگی، بیمارستانی) و زباله بدون تفکیک (سالانه ۲۰۰ هزار تن) در سطح حوزه آبخیز تالاب انزلی بدون تصفیه اصولی وارد رودخانه‌های حوزه و سرانجام تالاب انزلی می‌شود (۱۷). بررسی غلظت فلزات در رسوبات می‌تواند اطلاعات مفیدی از آلودگی تالاب را ارائه دهد. با توجه به مواردی که گفته شد، مطالعه حاضر با هدف بررسی برخی فلزات سنگین (کادمیم، مس، آهن، سرب و روی) در بستر رسوبات تالاب انزلی انجام گرفت. در ادامه پهنه‌بندی آلودگی به‌وسیله GIS به منظور تعیین میزان پراکنش عناصر در منطقه تهیه شد.

## روش کار

در این مطالعه توصیفی-تحلیلی ۱۵ منطقه در سه بخش غربی شرقی و مرکزی تالاب مطابق با شکل ۱ و ۳ تکرار در هر ایستگاه نمونه‌برداری انجام شد. انتخاب نقاط بر اساس اهداف مطالعه و عواملی همچون توزیع و پوشش مناسب در کل تالاب (شکل ۱)، شرایط منطقه، دسترسی و سهولت به ایستگاه‌ها، ورودی رودخانه‌ها به تالاب (شرق و غرب)، نزدیکی به زیستگاه‌های حیات وحش (مرکز) بود. نمونه‌های رسوب با استفاده از نمونه‌بردار گرب جمع‌آوری شدند. نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی قرار داده

شده و سپس در یخدان یونولیتی حاوی یخ خشک جمع‌آوری و با آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها ابتدا برای آنگیری روی کاغذ صافی قرار داده شده و در محیط آزمایشگاه هوا خشک شده، سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۴ درجه سانتی‌گراد در آن خشک شدند. به‌منظور هموژن‌سازی ابتدا نمونه‌ها از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند و در ادامه نمونه‌ها در آن عقیقی پودر شدند و مجدداً در دمای ۶۳ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به وزن ثابت در داخل آب قرار گرفتند. یک گرم از نمونه‌های پودر شده توسط ترازوی آزمایشگاهی با دقت یک ده‌هزارم توزین و وارد ظروف هضم گردید. ابتدا مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول Aqua Regia که نسبت ۳ به ۱ اسید کلریدریک به اسید نیتریک است به نمونه‌ها اضافه شد و در دمای ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت عملیات هضم انجام شد (۱۸). در ادامه برای هضم مواد آلی، مقدار ۵ میلی‌لیتر اسیدپرکلریک به آن اضافه شد. پس از اتمام عملیات هضم، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ واتمن ۴۲ فیلتر شده و در بالن‌های ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری با استفاده از آب دیونیزه به حجم رسانده شدند (۱۹). نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی قرار داده شدند و به یخچال ۴- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس اتمام عملیات هضم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Arcos مورد آنالیز قرار گرفتند. به‌منظور مطالعه همبستگی عناصر ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیروویلیک انجام شد. از آنجایی که داده‌ها نرمال بودند، از روش آزمون‌های پارامتریک و پیرسون برای بررسی میزان همبستگی بین عناصر استفاده شد.

## پهنه‌بندی غلظت فلزات با روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)

روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW<sup>۱</sup>) از روش‌های محلی درون‌یابی است. در این روش فرض بر این است که هر مشاهده یک اثر نقطه‌ای دارد که با فاصله گرفتن از آن محو می‌شود. در این مطالعه از این روش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی و نمایش بهتر لکه‌های داغ فلزات سنگین تالاب در برنامه YArc GIS/۱۰ استفاده شد.

1. Inverse Distance Weighting

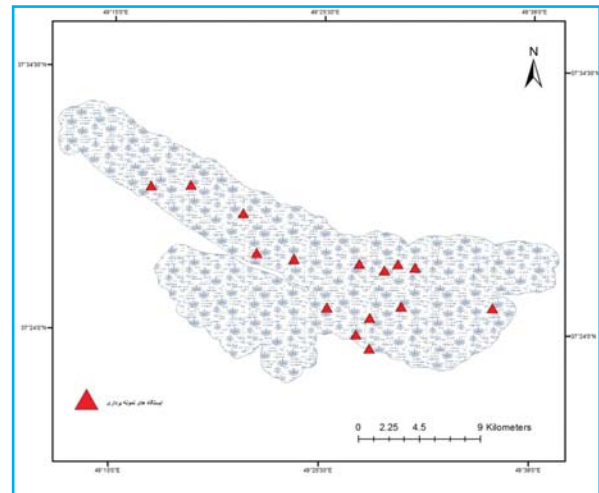
جدول ۲. مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی در نمونه رسوبات تالاب انزلی با مطالعات و استانداردهای مختلف

منبع	آهن	سرب	کادمیوم	مس	روی	استاندارد/ فلز
مطالعه حاضر	۱/۹۷	۱۲/۰۵	۰/۶۷	۷۴/۱۵	۱۸/۴۷	مطالعه اخیر (میلی گرم بر کیلوگرم)
(۲۰)	۲۲/۳۹	۷۰/۴۴	۹/۹۲	۱۵۹/۴۴	۳۳/۲	خلیج سوزن مصر (میلی گرم بر کیلوگرم)
(۲۱)	۲۲/۶۶	۳۳/۳۷	۵/۰۳	۱۳۲/۲۱	۳۰/۴۶	دریاچه Uluabat ترکیه (میلی گرم بر کیلوگرم)
(۲۲)	-	۳۵/۸	۰/۹۹	۱۲۱	۳۱/۶	استاندارد رسوبات آب‌های شیرین (میلی گرم بر کیلوگرم)
(۲۳)	-	۴۵۰	۵/۱	۴۱۰	۳۹۰	استاندارد رسوبات دریایی (میلی گرم بر کیلوگرم)

### پهنه‌بندی غلظت فلزات در رسوبات تالاب انزلی

نقشه پهنه‌بندی غلظت فلزات تالاب با روش وزن‌دهی معکوس فاصله در شکل‌های ۲-۶ قابل مشاهده است. از نظر پهنه‌بندی کادمیوم، در حد واسط مرکز تا غرب، مقادیر بالاتری را می‌توان مشاهده کرد و تقریباً در شرق تالاب مقادیر کادمیوم کمتر است (شکل ۲). در مورد مس تقریباً همین وضعیت را می‌توان مشاهده نمود (شکل ۳). بر اساس پهنه‌بندی آهن، نوساناتی در بخش‌های مختلف تالاب مشاهده می‌شود و به ترتیب لکه‌های داغ و سرد (بیشترین و کمترین مقدار) در نواحی غربی و شرقی تالاب مشاهده شد (شکل ۴). پهنه‌بندی سرب روند یکنواختی از پراکنش در سرتاسر تالاب را نشان می‌دهد (شکل ۵). الگوهای پهنه‌بندی روی در دو بخش شرق و غرب به ترتیب بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده است (شکل ۶).

نتایج همبستگی فلزات با استفاده از آزمون پیرسون برای کل منطقه در جدول ۳ گزارش شده است. بر این اساس بیشترین ارتباط قوی و معنادار (در سطح ۰/۰۵) بین سرب با مس و روی مشاهده شد.



شکل ۱. موقعیت تالاب بین‌المللی انزلی بر روی نقشه

### یافته‌ها

#### غلظت فلزات در رسوبات

توصیف آماری غلظت فلزات کادمیوم، مس، آهن، سرب و روی در رسوبات تالاب انزلی در جدول ۱ آورده شده است. میانگین غلظت کل فلزات مورد بررسی به ترتیب به صورت کادمیوم > آهن > سرب > مس > روی مشاهده شد. بر اساس ضریب تغییرات به دست آمده (جدول ۱)، غلظت تمام فلزات در رسوبات دارای تغییرپذیری متوسط بودند. شایان ذکر است که ضریب تغییرات ۱۰-۹۰٪ تغییرپذیری متوسط را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک

فلزات	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
مس	۱۸/۴۷	۱۱/۵	۲۸/۲۵	۵/۵۹	۳۰/۲۷
روی	۷۴/۱۵	۵۲/۷۵	۹۴/۷۵	۱۳/۰۶	۱۷/۶۲
کادمیوم	۰/۶۷	۰/۲۵	۱/۲۳	۰/۲۵	۳۷/۲۲
سرب	۱۲/۰۵	۵/۲۵	۱۸/۵	۳/۹۲	۳۲/۵۹
آهن	۱/۹۷	۱/۳۸	۲/۸۵	۰/۴۶	۲۳/۳۸

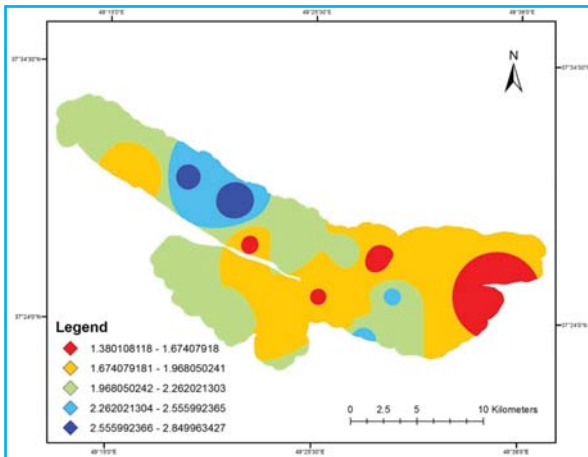
#### مقایسه غلظت فلزات در رسوبات با استانداردهای جهانی

در این مطالعه میانگین غلظت فلزات به دست آمده با نتایج سایر نقاط و همچنین استاندارد جهانی مقایسه شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است (جدول ۲).

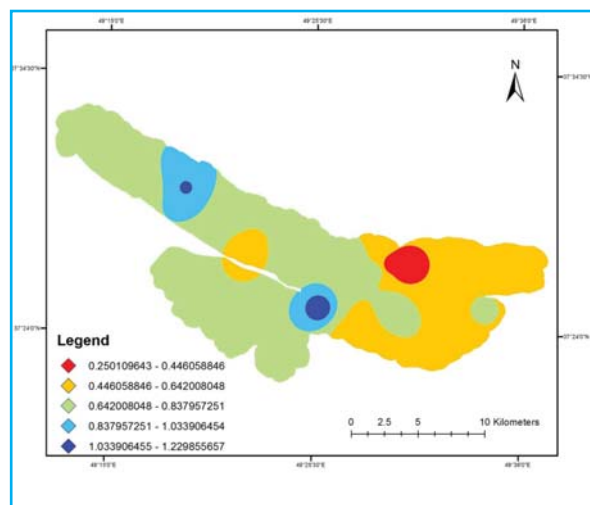
جدول ۳. نتایج همبستگی بین غلظت فلزات در رسوبات تالاب انزلی (پیرسون)

پارامتر	مس	روی	کادمیوم	سرب	آهن
مس	۱				
روی	۰/۲۶۸	۱			
کادمیوم	۰/۲۲۷	-۰/۲۱۲	۱		
سرب	*۰/۶۱۷	*۰/۶۴	۰/۳۵۷	۱	
آهن	۰/۱۸۶	-۰/۱۹۱	۰/۱۶۳	۰/۲۲۰	۱

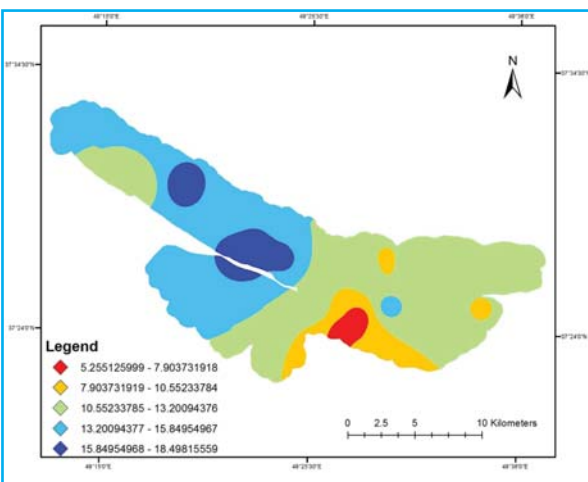
\* همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵



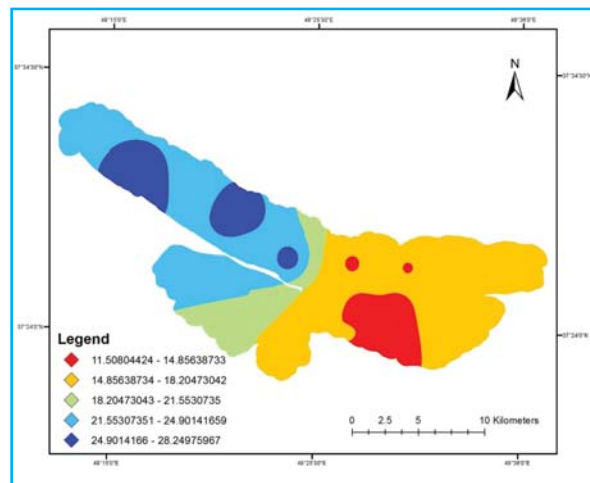
شکل ۴. تغییرات پهنه‌بندی غلظت آهن در رسوبات تالاب انزلی



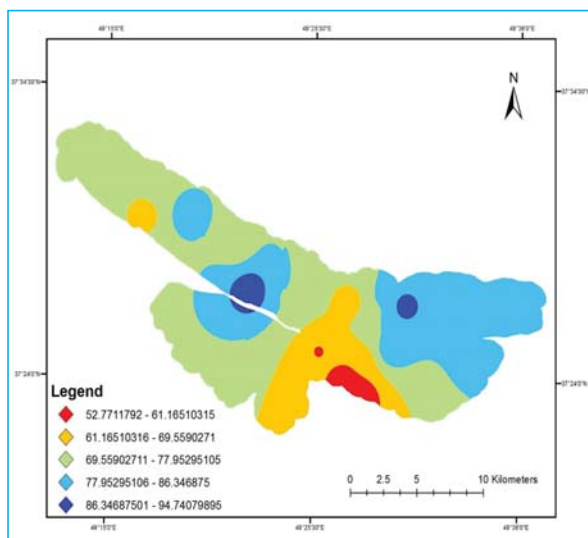
شکل ۲. تغییرات پهنه‌بندی غلظت کادمیوم در رسوبات تالاب انزلی



شکل ۵. تغییرات پهنه‌بندی غلظت سرب در رسوبات تالاب انزلی



شکل ۳. تغییرات پهنه‌بندی غلظت مس در رسوبات تالاب انزلی



شکل ۶. تغییرات پهنه‌بندی غلظت روی در رسوبات تالاب انزلی

اگرچه سنجش غلظت فلزات در رسوبات به دلیل نامشخص بودن کسر زیستی غلظت‌ها، لزوماً تهدیدی برای تالاب محسوب نمی‌شود، اما این واقعیت نیز وجود دارد که سرنوشت نهایی فلزات سنگین در طبیعت ممکن است غیرقابل پیش‌بینی و غیرمنتظره باشد. غلظت فلزات سنگین در رسوبات تحت تأثیر خصوصیات رسوب است. عواملی نظیر جذب سطحی، اندازه ذرات، ضریب توزیع و درصد مواد آلی و معدنی موجود در رسوبات، در میزان جذب فلزات سنگین رسوبات توسط موجودات زنده تأثیر می‌گذارند (۲۴).

بر اساس نتایج جدول ۱، بیشترین و کمترین مقادیر فلزات در رسوبات تالاب انزلی به ترتیب روی و کادمیوم بود. علاوه بر عوامل آلاینده‌های موجود در اطراف تالاب، فراوانی عنصر روی در پوسته زمین و حلالیت نسبتاً خوب آن در آب (۲۵) می‌تواند از دلایل بالا بودن آن در تالاب بین‌المللی انزلی باشد. در مطالعات دیگر نیز همین روند مشابه شد.

در مطالعه خسروی و همکاران در بررسی رسوبات سه بخش تالاب انزلی، بیشترین غلظت در منطقه شرقی تالاب و ترتیب غلظت فلزات در رسوبات هر سه منطقه به صورت  $Pb < Cd < Hg < Cu < Zn$  بود (۲۶). در مطالعه سرتاج و همکاران طی نمونه‌برداری رسوبات ۱۵ ایستگاه در تالاب انزلی، بین فلزات سنگین، روی بیشترین مقدار را دارا بود (۲۷). بر اساس مطالعه رفیعی و همکاران، فلزات کادمیوم، سرب، روی و مس منشأ انسانی دارند و فلزاتی از قبیل آهن، نیکل و منگنز مرتبط با کانی‌های موجود در تالاب انزلی می‌باشند (۲۸). همچنین بر اساس تحقیقاتی که در تالاب انزلی صورت گرفته است، خصوصیات زمین‌شناسی تالاب در بخش‌های شرقی، مرکزی و غربی با هم تفاوتی ندارند و این مورد تأثیر چندانی بر اندازه‌گیری فلزات ندارد (۲۹).

برای ارزیابی غلظت فلزات در رسوبات تالاب انزلی، مقادیر به‌دست آمده با برخی مطالعات و استانداردهای بین‌المللی کیفیت رسوبات مقایسه شد (جدول ۲). غلظت اکثر مقادیر مطالعه حاضر از مقادیر ارائه شده در مناطق مشابه و استانداردها کمتر بود. در

مطالعه زارع خوش‌اقبال و همکاران نیز اختلاف قابل توجهی بین مقادیر اندازه‌گیری فلزات رسوبات تالاب انزلی با میانگین جهانی یافت نشد، آنها قدرت خود پالایی تالاب را در این امر مرتبط دانستند (۳۰). آنالیز همبستگی برای تعیین اشتراک خصوصياتی مانند رفتار و منشأ فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس جدول ۳، همبستگی معناداری به جز فلز سرب با مس و روی، در سایر فلزها مشاهده نشد. عواملی مانند نوع سنگ مادر یا تیپ خاک، فرآیندهای هوازدگی، جذب سطحی و خصوصیات رسوب می‌تواند بر پراکنش رسوبات تأثیر گذارد (۳۱).

با اینکه در اغلب موارد درون‌یابی، از روش کریجینگ معمولی برای تعیین روند آلودگی استفاده می‌شود، اما در مطالعات با هدف تعیین شناسایی مناطق آلوده شده برای پیش‌بینی عوارض محلی و به‌خصوص لکه‌های داغ و لکه‌های سرد، استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله معمول‌تر است (۳۲). بر اساس نقشه پراکنش فلزات (شکل ۲-۶) تقریباً اکثر رسوبات در نواحی مرکزی و غربی تالاب حائز بیشترین مقادیر بودند. عمیق‌تر بودن نواحی غربی تالاب نسبت به نواحی شرقی (۹) می‌تواند در این روند و غلظت موجود در رسوبات تالاب اثرگذار باشد. الگوی پراکنش متفاوت فلزات می‌تواند نشان‌دهنده وجود منابع آلاینده مختلف باشد؛ به عبارتی منشأ و پراکنش فلزات توسط چندین عامل مختلف کنترل می‌شود (۳۳).

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه ترتیب عناصر در تالاب انزلی به‌صورت کادمیوم > آهن > سرب > مس > روی بود. در مجموع فعالیت‌های مختلف انسانی و توسعه صنایع و وجود اراضی کشاورزی در محدوده تالاب انزلی و رودخانه‌های ورودی را می‌توان از عوامل مؤثر بر آلودگی دانست، لذا با پایش مستمر زیستی و اکولوژیکی تالاب می‌توان برآوردی از میزان فلزات سنگین و سهم هر کدام در تالاب داشت. لذا با توجه به اثرات مخرب این گروه از فلزات بر تعادل اکولوژیکی موجودات آبی منطقه، مدیریت در راستای حفاظت و

همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی و با استفاده از اعتبارات پژوهشی پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد (شماره ۱۵/پ/۴۸۹۴۳)؛ بدین‌وسیله از مساعدت و همکاری بزرگواران تشکر و قدردانی می‌گردد.

پایش از تالاب ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین مدیریت و بهسازی زهکش‌های کشاورزی، نظارت و مدیریت مصرف کود و سموم کشاورزی، ساماندهی صنایع و مشاغل آلاینده، نظارت بر عملکرد تصفیه‌خانه شهرک‌های صنعتی دارای در محدوده منطقه مورد مطالعه و ایجاد تالاب‌های رسوب‌گیر پیشنهاد می‌گردد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

## References

- Sattari M, Bibak M, Bakhshalizadeh S, Forouhar Vajargah M. Element accumulations in liver and kidney tissues of some bony fish species in the Southwest Caspian Sea. *Journal of Cell and Molecular Research*. 2020, 12(1):33-40.
- Sattari M, Imanpour Namin J, Bibak M, Forouhar Vajargah M, Bakhshalizadeh S, Faggio C. Determination of trace element accumulation in gonads of *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) from the south Caspian Sea trace element contaminations in gonads. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2020, 90(4):777-84.
- Forouhar Vajargah M, Hedayati A. Toxicity Effects of Cadmium in Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) and Big Head Carp (*Hypophthalmichthys nobilis*). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. 2017, 19(1):43-8.
- Amin, B., Ismail, Arshad, A., Yap, Ch., Kamarudin, M., Anthropogenic impacts on heavy metal concentrations in the coastal sediments of Dumai, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 148:291–305. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0159-z>
- Shomar, B., Müller, G., Yahya, A., Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in the wetland of Wadi Gaza, Gaza Strip. *Wetland Ecology and Management*, 2005, 13:419–31. <https://doi.org/10.1007/s11273-004-0412-3>
- Wang, H., Wang, C. X., Wang, Z. J. and Cao, Z. H., Fractionation of heavy metals in surface sediments of Taihu Lake, East China. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26, 303-309. <https://doi.org/10.1023/B:EGAH.0000039594.19432.80>
- Sabzalizadeh S, Naseri S. Investigation and determination of the concentration of heavy metals (Ni, Cu, Cr, Cb, Pb) in the bed sediments of Rafi Wetland in Khuzestan Province, Research Office and Standards of Irrigation and Drainage Networks of Khuzestan Water and Electricity Organization. 2011. [In Persian]
- Karimi A, Naghizadeh A, Biglari H, Peirovi R, Ghasemi A, Zarei A. Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020;27(10):10317-10327. doi: 10.1007/s11356-020-07642-6. PMID: 31939013.
- Clarke R, Peyton D, Healy MG, Fenton O, Cummins E.A quantitative risk assessment for metals in surface water following the application of bio solids to grassland. *Science of the Total Environment*, 2016, 566:102–112
- Da Rosa CR, Favarsani J, Ceretta CA, Ferreira PAA, Marchezan C, Facco DB, Garlet LP, Silva JS, Comin JJ, Bizzi CA, Health risk assessment and soil and plant heavy metal and bromine contents in field plots after ten years of organic and mineral fertilization. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 153:142–150
- Jamal A, Delavar MA, Naderi A, Nourieh N, Medi B, Mahvi AH, Distribution and health risk assessment of heavy metals in soil surrounding a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2018, 1–16
- Chen Y, Wu P, Shao Y, Ying Y, Health risk assessment of heavy metals in vegetables grown around battery production area. *Scientia agricola*, 2014, 71:126–132
- Aluko T, Njoku K, Adesuyi A, Akinola M, Health risk assessment of heavy metals in soil from the iron mines of Itakpe and Agbaja, Kogi state, Nigeria. *Pollution*, 2018, 4:527–538
- Larakeb M, Youcef L, Achour S, Removal of zinc from water by adsorption on bentonite and kaolin. *Athens Journal of Sciences*, 2017, 4:47–57
- Celebi N, Nadaroglu H, Kalkan E, Kotan R, Removal of copper from copper-contaminated river water and aqueous solutions using *Methylobacterium extorquens* modified Erzurum clayey soil. *Arch Environ Protect*, 2016,



- 42:58-69
16. Anzali Wetland Conservation and Reconstruction Project, General Department of Environmental Protection of Gilan. Phase One, Volume One, Library of Environmental Research Center of Guilan Province.1995. [In Persian]
  17. Japan International Cooperation Agency. Integrated management for Anzali Wetland [Internet]. Tehran: Environmental Protection Agency,2005. [cited 2018 Jun 18]. Available from: <https://bit.ly/2Nc8pAh>. [In Persian]
  18. Mohammadi Galangash, M., Solgi, E., & Bozorgpanah, Z. The study of Heavy Metals Concentration in Pontogammarus Maeoticus & Surficial Sediment in Coastal Areas of the Caspian Sea; Guilan Province. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*,2018, 30(4), 471-482.
  19. Mohammadi Galangash, M., Solgi, E., & Bozorgpanah, Z. An assessment of heavy metals in coastal sediments of the Caspian Sea, Guilan Province. *Journal of Oceanography*,2017, 8(31), 27-34.
  20. Nemr AE, Khaled A, Sikaily AE. Distribution and statistical analysis of leachable and total heavy metals in the sediments of the suez gulf. *Environmental Monitoring and Assessment*,2006, 118(1-3):89-112.<https://doi.org/10.1007/s10661-006-0985-9>
  21. Katip A, Karaer F, Ileri S, Sarmasik S, Aydoğan N, Zenginay S. Analysis and assessment of trace elements pollution in sediments of Lake Uluabat, Turkey. *Journal of Environmental Biology*,2012, 33(5):961-968. PMID: 23734466.
  22. MacDonald, D, D., Ingersoll, C., Berger, T., Development and evaluation of consensus-based Sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*,2000, 39:20-31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>
  23. Burton Jr GA. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*,2002; 3(2):65-76. <https://doi.org/10.1007/s102010200008>
  24. Chakraborty, P., Ramteke, D., Chakraborty, S., Nath, N., Changes in metal contamination levels in estuarine sediments around India. An assessment. *Marine Pollution Bulletin*,2014, 78:15-25. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.044>
  25. Paydar M, Sharif Fazeli M, Riahi AR. Determination of Heavy Metals Content in *Astacus Leptodactylus Caspicus* in Anzali Lagoon. *Iranian Scientific Fisheries Journal*,2003; 12(2): 1-14. [https://isfj.areeo.ac.ir/article\\_113593.html?lang=en](https://isfj.areeo.ac.ir/article_113593.html?lang=en)
  26. Khosravi M., Bahramifar N., Ghasempouri M. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) Contamination in Sediment of Three Sites Anzali Wetland, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*,2011, Vol. 4, No.2:223-232. [https://ijhe.tums.ac.ir/browse.php?a\\_id=78&sid=1&slc\\_lang=en](https://ijhe.tums.ac.ir/browse.php?a_id=78&sid=1&slc_lang=en)
  27. Sertaj M. Fatollahi F. Filizadeh Y. 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*,2005, 58(3):623-634. [https://ijnr.ut.ac.ir/article\\_25259.html?lang=en](https://ijnr.ut.ac.ir/article_25259.html?lang=en)
  28. Rafiei, B., Movasagh, A., Karimkhani, A., Sadeghi Far, M. Distribution of heavy metals in surficial sediments of the Anzali Lagoon outlet, North Iran. *Applied Sedimentology*,2014; 2(4): 1-15. [https://psj.basu.ac.ir/article\\_983.html?lang=en](https://psj.basu.ac.ir/article_983.html?lang=en)
  29. Jahangir D., Keshavarzan Zadeh Z. Atlas Report of Geomorphological Surveys and Coastal Natural Features of Anzali Port. Geological Survey of Iran, Gilan.2005. [In Persian]
  30. Zare Khosh Eghbal M., Ghazban F., Sharifi F., Khosro Tehrani K., Using geostatistics and GIS to heavy metal pollution zonation in Anzali wetland sediments. *Earth*,2011, 6 (19): 33-48. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=201540>
  31. NAVFAC., Guidance for environmental background analyses. Volume II: Sediment. Washington, DC 20374-5065: Naval Facilities Engineering.2003.
  32. Xie, Y., Chen, T., Lei, M., Yang, J., Guo, Q., Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*,2011, 82:468-476. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.09.053>
  33. Ghanbarpour, M, R., Goorzadi, M., Vahabzade, G., Spatial variability of heavy metals in surficial sediments: Tajan River Watershed, Iran. *Sustainability of Water Quality and Ecology*,2014, Vol 2:48-58. [In Persian]