



Original Research Paper

Determining the spatial distribution of Lead, Cadmium and zinc in the Sediments of Astara's Estil wetland

Ghazal lotfi ¹, Mozghan Ahmadi Nadoushan ^{1,2*}

¹Department of environmental science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

²Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Key Words

Astara's Steel wetland
Heavy metals
Sediment
Geographic Information System

Abstract

Introduction: Wetlands, as one of the most important natural habitats in the world, play an important role in supplying fresh water and maintaining biological balance. The aim of this study was evaluating the spatial distribution of heavy metal concentrations of lead, zinc and cadmium in the sediments of Astara's Steel wetland.

Materials & Methods: Data were obtained through sediment sampling with Van Veen grab sampler and analyzed through laboratory and statistical analysis. Sampling was done in autumn and winter of 2019-2020 monthly and randomly from wetland sediments in 4 stations in north, south, east and west of Steel Wetland.

Results: Experimental data indicated that the metals zinc, cadmium and lead with concentrations of 1.2, 1.2 and 0.99 ppm, respectively, had the highest concentration in the western station and the lowest concentration (zero ppm) at the Southern Station. The results of statistical analysis showed that the difference between the concentrations of heavy metals lead, cadmium and zinc in wetland sediments at different stations was significant ($p < 0.05$). Pearson correlation method was used to investigate the correlation between heavy metals in the wetland. The results showed that the correlation between cadmium and zinc concentrations was not significant ($p > 0.01$). Also, the correlation between lead and zinc concentrations was not significant ($p > 0.01$). The correlation between cadmium and lead concentrations was significant ($p < 0.01$).

Conclusion: The results showed that the concentration of heavy metals in the sediments of the northern and western parts, especially the northwestern part of the wetland is higher than the southern and eastern parts.

* Corresponding Author's email: m.ahmadi1984@gmail.com, m.ahmadi@khuisf.ac.ir

Received: 13 December 2020; Reviewed: 16 January 2021; Revised: 24 March 2021; Accepted: 27 April 2021

(DOI): [10.22034/AEJ.2021.245511.2482](https://doi.org/10.22034/AEJ.2021.245511.2482)

بررسی توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در رسوبات تالاب استیل آستارا

غزال لطفی^۱، مژگان احمدی ندوشن^{۲،*}

^۱ گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
^۲ مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

چکیده

کلمات کلیدی

تالاب استیل آستارا
فلزات سنگین
رسوب
سامانه اطلاعات جغرافیایی

مقدمه: تالاب‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های طبیعی در جهان، نقش زیادی در تامین آب شیرین و حفظ تعادل زیستی دارند. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در رسوبات تالاب استیل آستارا است. **مواد و روش‌ها:** داده‌های مورد نیاز از طریق نمونه‌برداری رسوب با دستگاه گرب‌ون‌وین به‌دست آمد و سپس از طریق آنالیز آزمایشگاهی و پردازش آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمونه‌برداری در فصول پاییز و زمستان ۱۳۹۸ به‌صورت ماهانه و تصادفی از رسوبات تالاب در ۴ ایستگاه شمال، جنوب، شرق و غرب تالاب استیل انجام شد.

نتایج: داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات بر روی نمونه‌های استخراج شده، حاکی از آن است که فلزات روی، کادمیوم و سرب به‌ترتیب با غلظت ۲/۱، ۱/۲ و ۰/۹۹ پی‌پی‌ام بیش‌ترین غلظت را در ایستگاه غرب و کم‌ترین غلظت (صفر) را در ایستگاه جنوب دارند. نتایج حاصل از تحلیل آماری نشان داد که اختلاف بین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب در ایستگاه‌های مختلف معنی‌دار است ($p < 0/05$). به‌منظور بررسی میزان همبستگی بین فلزات سنگین در تالاب از روش ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد همبستگی بین غلظت کادمیوم و روی معنی‌دار نیست ($p > 0/01$). هم‌چنین ضریب همبستگی بین غلظت سرب با روی نیز معنی‌دار نیست ($p > 0/01$). همبستگی بین غلظت کادمیوم با سرب معنی‌دار می‌باشد ($p < 0/01$).

نتیجه‌گیری و بحث: نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بخش شمال و غرب به‌ویژه شمال‌غربی تالاب بیش‌تر از بخش‌های جنوب و شرق است.

مقدمه

امروزه ورود آلاینده‌ها به اکوسیستم‌های تالابی یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر سلامت این محیط‌ها به حساب می‌آید. تالاب‌ها، زیستگاه‌های خاصی هستند که توانایی حفاظت از تنوع زیستی را دارند. این بوم‌سامانه‌ها فواید ملموس و ناملموس بسیار زیادی برای جوامع شهری و حاشیه‌ای تالاب‌ها دارند. در حقیقت جوامع مرتبط با تالاب‌ها، در میزان حساسیتشان به ویژگی‌های زیست‌محیطی از یکدیگر تفکیک می‌یابند. آلودگی زیستگاه‌های آبی، با توجه به رشد جمعیت جهان و صنعتی شدن آن روز به روز در حال افزایش است (۱). شناخت ویژگی‌های آلودگی و ریسک اکولوژیکی بالقوه فلزات در رسوبات و هم‌چنین شناسایی منابع احتمالی و عوامل کنترل‌کننده از اهمیت کلیدی برای پیشگیری از آلودگی تالاب و مدیریت حفاظت از تنوع زیستی برخوردار است. منابع عمده انسانی آلودگی فلزات سنگین شامل معادنکاری، ذوب، کشاورزی، لجن فاضلاب و احتراق سوخت فسیلی می‌باشد (۲). بخشی از آلاینده‌ها طی فرآیندهای زیستی تجزیه می‌شود و برخی دیگر مانند فلزات سنگین چون توانایی خودپالایی ندارند می‌توانند در ذرات معلق و رسوبات تجمع یابند و وارد سیستم آبی و شبکه غذایی و... شوند و مشکلات زیادی به‌خصوص آبریان منطقه ایجاد کنند و باعث کاسته شدن از عمر طبیعی آن‌ها شوند (۳). رسوبات تالاب‌ها به‌عنوان فیلتر تصفیه‌کننده آب و منبعی برای ذخیره مواد مغذی، عناصر و آلاینده‌ها عمل می‌کنند. رسوبات آلوده منبع بالقوه آلاینده‌های سمی هستند و می‌توانند به رسوبات و موجودات پلاژیک آسیب برسانند. از این‌رو، تجمع زیستی آلاینده‌های آلی یا فلزات سنگین خطر بالایی برای سلامتی انسان‌ها و حیات وحش ایجاد می‌کند (۴). وجود فلزات سنگین در رسوبات تالاب به‌دلیل سمیت این آلاینده‌ها، ماندگاری آن‌ها در محیط و تجمع زیستی توجه جهانی را به خود جلب کرده است. آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی توجه زیادی را به‌دلیل سمیت، پایداری در محیط و تجمع در زیستگاه‌های آبی به خود جلب کرده است. بقایای فلزات سنگین در رسوبات آلوده می‌تواند در میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و جانوران آبری تجمع پیدا کند که به نوبه خود می‌تواند به زنجیره غذایی وارد شود و نهایتاً منجر به ایجاد مشکلاتی برای سلامتی انسان‌ها شود (۵). آب با تغییر شرایط محیطی، تهدیدی بالقوه برای سلامتی زیست آبریان و انسان است (۲). فلزات سنگین نوعی آلاینده زیست‌محیطی جهانی است، که به‌طور گسترده‌ای در آب، خاک و هوا وجود دارد. فلزات سنگین علاوه بر سمیت بالا، دارای ویژگی‌هایی مانند ماندگاری، غیرقابل تجزیه بیولوژیکی بودن و تجمع زیستی از طریق زنجیره‌های غذایی هستند (۶). به‌دلیل ماندگاری محیطی و خطرات زیست محیطی،

فلزات سنگین از اهمیت ویژه‌ای در سراسر جهان برخوردار است. فلزات سنگین به‌عنوان یکی از عوامل مهم تهدیدکننده اکوسیستم‌های آبی در بسیاری از مناطق جهان محسوب می‌شوند (۷). هنگامی که غلظت فلزات سنگین در رسوبات دریا افزایش می‌یابد، فلزات سنگین بیش‌تری به محیط‌های آبی از طریق فرایندهای شیمیایی و زیستی برمی‌گردند. توزیع مکانی فلزات سنگین در رسوبات دریایی در پاکسازی آلودگی سیستم‌های آبی دارای اهمیت است. توزیع مکانی فلزات سنگین در رسوبات دریایی تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، مانند هوازگی سنگ مادر، فاضلاب صنعتی، حمل و نقل، کشاورزی و آب و هوا است (۸). فلزات سنگین یکی از آلودگی‌های جدی در زیستگاه‌های آبی است. این فلزات می‌توانند به زنجیره غذایی آبریان وارد شوند و به شدت بر روی زیستگاه‌های آبی تأثیر می‌گذارند و به یک تهدید بزرگ تبدیل می‌شود زیرا بیش‌تر فلزات سنگین دارای اثرات سمی بر روی ارگانیسم‌های مختلف هستند. رسوبات، فلزات سنگین را از طریق مواد شیمیایی دریافت می‌کنند و فعالیت‌های شهرنشینی، صنعتی و کشاورزی نیز می‌تواند از آلودگی خاک توسط فلزات سنگین حمایت می‌کند (۹). سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات اخیر آلودگی محیط زیست به ویژه در تشخیص منابع غیر نقطه‌ای آلودگی و بررسی شرایط ژئوشیمیایی استفاده می‌شود. GIS به‌عنوان یک ابزار ایده‌آل برای تفسیر، یکپارچه‌سازی و ارائه داده‌های ژئوشیمیایی به‌دست آمده از تالاب‌ها استفاده می‌شود و نقشه‌برداری محیط زیست برای نظارت بر شرایط محیطی و حل مشکلات مناطق تالابی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۱۰). ارزیابی روند تغییرات تالاب‌ها با ظهور سیستم اطلاعات جغرافیایی تسهیل شده و امکان مطالعه مکان‌های بحرانی که به‌سرعت در حال تغییر هستند با سیستم اطلاعات جغرافیایی فراهم می‌شود. سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور ابزارهای مناسبی برای نظارت و پایش روند تغییرات تالاب‌ها و تعیین وضعیت تالاب هستند. پیشرفت‌های اخیر در زمینه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، بررسی تغییرات گونه‌های گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، بررسی پراکنش مکانی فلزات سنگین و بسیاری از مطالعات دیگر در تالاب را تسهیل خواهد کرد (۱۱). شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین برای درک و کنترل بهتر آلودگی فلزات سنگین در آبریان زیست‌بوم در رسوبات بسیار مهم است (۱۲). فلزات بیش‌تر به اکوسیستم‌های دریایی از طریق رودخانه‌ها و مصب‌ها منتقل می‌شوند. سطح رسوبات مخزن اصلی فلزات و آلاینده‌ها در سیستم‌های آبی است. بررسی مکانی میزان فلز در رسوبات برای ارزیابی آلودگی در مناطق ساحلی و ارائه داده‌های اساسی برای ارزیابی خطرات بهداشتی و زیست محیطی مفید است. سامانه اطلاعات جغرافیایی اغلب برای نمایش توزیع مکانی فلزات سنگین استفاده می‌شود (۱۳). طی سال‌های

گذشته، مطالعاتی در خصوص بررسی آلودگی فلزات سنگین تالاب و نیز تهیه نقشه پهنه‌بندی آلودگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته است که برخی از آن‌ها به شرح ذیل است. Vesali Naseh و همکاران، به منظور بررسی میزان اثرپذیری رسوبات کف تالاب انزلی از آلودگی فلزات سنگین محیط آب فوقانی، ۱۲ نمونه رسوب و آب از کف تالاب انزلی در ۱۲ ایستگاه برداشت کردند و میزان فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم و جیوه را اندازه‌گیری کردند. جهت بررسی ارتباط بین میزان عناصر در آب و رسوب از روش تحلیل همبستگی کانونیک (CCA) استفاده شد. نتایج سنجش میزان فلزات سنگین حاکی از غلظت بالای فلزات سنگین به‌ویژه در نمونه‌های رسوب بود و یافته‌های حاصل از CCA نیز بیانگر وجود رابطه قوی بین میزان عناصر در آب و رسوب بود (۱۴). Variz Kazemi و همکاران، در تحقیقی با عنوان پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین آب تالاب انزلی با استفاده از تکنیک تحلیل طبقه‌بندی فازی، به بررسی اثرات بیولوژیکی فلزات سنگین بر روی موجودات زنده پرداختند. در این تحقیق نمونه‌برداری در ۹ ایستگاه منتخب با مختصات جغرافیایی مختلف در تالاب انزلی به مدت یک‌سال انجام شد و غلظت فلزات سنگین آن‌ها بررسی شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار متلب و نیز تکنیک طبقه‌بندی فازی تحلیل‌های مربوطه انجام گرفت. نتایج حاصل از تحقیق نشان داده که برخی از ایستگاه‌ها دارای کیفیت متوسط و نیز خوب و برخی دیگر به‌علت در معرض قرار گرفتن با آلودگی بیش‌تر فضلاب‌های صنعتی و خانگی دارای کیفیتی نامطلوبی بوده‌اند. Elmizadeh و همکاران، برآورد آلودگی رسوبات تالاب پریشان به فلزات سنگین مس، آهن، منگنز و روی را با استفاده از شاخص غنی‌سازی، شاخص انباشت ژئوشیمیایی، درجه آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی انجام دادند. در این بررسی، تعداد ۴۰ نمونه رسوب برداشت شد و برای قرائت غلظت فلزات سمی آزاد شده در هر نمونه، از دستگاه جذب اتمی شعله استفاده شد. نتایج نشان داد میانگین غلظت فلزات مورد بررسی در منطقه کم‌تر از حداکثر غلظت قابل قبول برای کشورهای لهستان، کانادا و استرالیا بود. شاخص‌های زمین‌انباشتی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی برای تعیین میزان آلودگی منطقه استفاده شدند که شاخص زمین‌انباشتی برای همه فلزات کم‌تر از صفر به‌دست آمد که نشان‌دهنده غیرآلوده بودن منطقه بود، شاخص فاکتور آلودگی برای اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی قرار گرفت و فاکتور آلودگی برای تمام فلزات مورد بررسی مقداری کم‌تر از یک را نشان داد به‌طوری‌که تمام داده‌ها در طبقه بدون آلودگی قرار گرفتند (۱۶). Aghili و همکاران، فلزات سنگین در آب و رسوب منطقه شرق کانال خوزینی قبل و بعد از پرورش ماهی در حصار توری در خلیج گرگان را مورد بررسی قرار دادند. سه ایستگاه

منطقه فعال پرورش ماهی در حصار توری، ایستگاه فعالیت پرورش ماهی خاوباری و ایستگاه شرقی به فاصله ۵۰۰ متری قسمت شرقی از محل حصار توری انتخاب گردید. نمونه‌برداری از آب و رسوب یک بار قبل از ماهی‌دار نمودن حصار توری در مرداد ماه ۱۳۹۱ و یک‌بار در انتهای دوره پرورش در خرداد ماه ۱۳۹۲ انجام گردید. اندازه‌گیری فلزات سنگین در آب و رسوب شامل نیکل، سرب، آهن، کادمیوم، کروم، جیوه، روی، آرسنیک به روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی انجام گرفت. مقادیر به‌دست آمده در تحقیق با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد و نشان داد که در خصوص آلودگی آب میزان آلودگی فلزات روی، کروم و سرب کم‌تر و در رسوب خلیج، غیر از آهن، سطح آلودگی فلزات سنگین اندازه‌گیری شده کم‌تر از میزان استانداردهای جهانی رسوب در پوسته زمین و رسوبات جهانی بود. Firozshahian و همکاران، تحقیقی با هدف بررسی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب و رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان انجام دادند. نتایج نشان داد میزان فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در آب تالاب هورالعظیم بالاتر از حد مجاز استانداردهای ملی و جهانی بود. میزان کادمیوم و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم پایین‌تر مجاز استانداردهای ملی و جهانی بود، اما میزان نیکل در رسوبات بالاتر از حد آستانه استانداردهای ملی و جهانی به دست آمد (۷). Zhou و همکاران، به منظور بررسی توزیع فضایی فلزات سنگین در رسوبات دریای هنگ‌کنگ و تأثیرات انسانی آن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فلزات سنگین Zn، V، Ni، Mn، Pb، Cu، Cd، Ba، Hg، Fe، Cr و Al را در رسوبات دریایی بررسی کردند و تأثیرات انسان در مقیاس جهانی و محلی را دوبار در سال در ۵۹ منطقه در هنگ‌کنگ از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ مطالعه کردند. تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های شیمیایی بررسی را تسهیل و تکمیل می‌کند. نتایج سنجش میزان فلزات سنگین نشان داد که مس، کروم و روی حاصل فعالیت‌های انسانی هستند، در حالی که آلومینیوم، منگنز، وانادیوم و آهن از هوازادگی سنگ منشأ گرفته‌اند (۸). Liao و همکاران، پژوهشی با عنوان بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه شهری در حوضه آبریز در جنوب چین انجام دادند و طبق نتایج به‌دست آمده میزان آلودگی فلزات سنگین رسوبات این منطقه به‌دلیل عوامل انسانی و رواناب معدن زیاد بوده است (۱۸). Khodami و همکاران، پژوهشی با عنوان ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه Bayan Lepas مالزی انجام دادند و در این مطالعه که با هدف ارزیابی توزیع مکانی و زمانی فلزات سنگین Zn، V، Ni، Pb، Fe، Co، Cu، Cr، Cd، Cr، Zn در رسوبات منطقه صنعتی آزاد Bayan Lepas پنانگ در مالزی انجام گرفت، ده ایستگاه نمونه‌گیری انتخاب شد و نمونه‌های رسوبی طی

کیفیت زیستگاه و سایر شرایط زیستی لازم برای هر گونه باشد از این‌رو بررسی تغییرات تنوع و نوسانات جمعیتی پرندگان آبی در سال‌های مختلف می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی نشان‌دهنده وضعیت سلامت یا وجود تهدیدات موجود در اکوسیستم‌های تالابی باشد (۲۳). متأسفانه در حال حاضر تالاب با عوامل ناشی از فشار انسانی که منجر به از دست‌دادن و تخریب قابل توجهی از اکوسیستم تالابی می‌شود. از جمله این عوامل می‌توان به وجود یک معدن سنگ در مجاورت تالاب، مجاورت بخشی از شهر آستارا در ناحیه عباس آباد با ضلع شمالی این تالاب و ورود فاضلاب خانگی به تالاب، ایجاد جاده دسترسی در ضلع جنوبی آن و تخلیه پساب کشاورزی اشاره کرد. تخریب ارتفاعات اطراف تالاب و برداشت شن و ماسه که گویا به منظور ساخت اسکله و هم‌چنین کارخانه آسفالت‌سازی، نمای ناهمگونی به مناظر اطراف تالاب بخشیده است، علاوه بر برهم خوردن نمای طبیعی تالاب، این فعالیت‌ها باعث روان شدن رسوبات به‌داخل تالاب می‌شود. ورود فاضلاب روستاییان به‌داخل تالاب و جمع‌آوری زباله‌ها در اطراف تالاب از جمله تهدیدات دیگر استیل به‌شمار می‌رود (۲۲).

شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش کار: نمونه‌برداری از رسوبات تالاب در فصول پاییز و زمستان سال ۱۳۹۸ به‌صورت ماهانه و تصادفی با استفاده از گرب وین در ۴ ایستگاه شمال، جنوب، شرق و غرب تالاب استیل انجام شد. سپس نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه انتقال پیدا کرده و پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی از طریق دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شده است. میزان مواد آلی رسوبات از طریق سوزاندن با استفاده از کوره الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از محلول استات سدیم تعیین می‌شود و در آزمایشگاه برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم ارائه شده است (۲۴). به‌منظور پهن‌بندی و یافتن تغییرات مکانی غلظت سرب، کادمیوم و روی از روش‌های زمین آمار برای درون‌یابی و تبدیل نقطه‌های گسسته نمونه‌برداری شده به داده‌های پیوسته رستری استفاده شد که برای این منظور از ابزار زمین آمار نرم‌افزار ArcGIS 10.5 استفاده شد. برای روی مدل کروی، نمایی و گوسن انتخاب شد، برای کادمیوم مدل نمایی مناسب‌ترین انتخاب شد و برای سرب همه مدل‌ها مناسب بودند. برای تجزیه تحلیل داده از آنالیز واریانس دو طرفه و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۵ درصد استفاده شده است. برای بررسی همبستگی بین داده‌های سه متغیر غلظت روی، کادمیوم و سرب از تحلیل همبستگی پیرسون در SPSS استفاده شد.

جزر و مد کم جمع‌آوری شد. نقشه توزیع و پراکنش فلزات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. بر مبنای شاخص زمین‌انباشتگ (Igeo) رسوب، ایستگاه‌های نمونه‌برداری از غیرآلوده تا به‌شدت آلوده طبقه‌بندی شدند (۱۳). Sirizi و همکاران، در پژوهشی با عنوان بررسی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی در بافت عضله اردک ماهی تالاب بین‌المللی انزلی جهت بررسی انباشتگی و ارزیابی خطرات، ۲۶ نمونه جمع‌آوری کردند و فلزات با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله اندازه‌گیری شد و طبق نتایج به‌دست آمده ارتباط معنی‌داری بین سرب، مس و روی مشاهده نشد و زیر حد استاندارد است و غلظت کادمیوم مشاهده شده بالاتر از حد استاندارد بود (۱۹). Zhu و همکاران، توزیع و آلودگی فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی را در رسوبات خلیج بوهای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد رسوبات به کادمیوم به‌مقدار متوسط تا بالا و به سایر فلزات سنگین به‌مقدار بسیار کم آلوده هستند (۲۰). Machado و همکاران، فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، سرب، منیزیم و روی را در سه منطقه رسوبی در رودخانه باریگویی در جنوب برزیل مورد بررسی قرار دادند و توزیع زمانی و مکانی آلودگی فلزات سنگین را مشخص کردند. نتایج نشان داد آلودگی در بخش‌های مرکزی و پایین‌دست بیش‌تر از سایر مناطق مورد مطالعه است (۲۱). مطالعه Pandiyan و همکاران، به‌منظور بررسی سطح آلودگی فلزات سنگین در آب، رسوب و موجودات آبی نشان داد که بیش‌ترین میزان سرب در خرچنگ‌ها، نرم‌تنان و ماهی‌ها وجود دارد. به‌طور کلی سرب از طریق زنجیره غذایی و شبکه‌های غذایی وارد ارگانیسم‌های اعماق دریا می‌شود. علاوه بر این موجودات اعماق دریا مخازن اصلی فلزات هستند زیرا از رسوبات موجود در اکوسیستم ساحلی تغذیه می‌کنند (۹). با توجه به مواردی که ذکر شد هدف از این مطالعه تعیین غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در رسوبات تالاب استیل آستارا و ارزیابی تغییرات مکانی آن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه به‌منظور تجزیه و تحلیل مخاطرات زیست‌محیطی تالاب استیل واقع در شهرستان آستارا صورت گرفته است. تالاب استیل با وسعتی بالغ بر ۱۳۱ هکتاریکی از مناطق حفاظت شده گیلان است که از سال ۱۳۱۰ به‌عنوان یکی از پنج منطقه نمونه گردشگری این استان شناخته شده است (۲۲). پرندگان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه‌های تالابی به‌شمار می‌آیند. بررسی و مقایسه تراکم و تنوع پرندگان در چند سال پیاپی در یک زیستگاه می‌تواند به‌خوبی نماینگر مطلوب یا نامطلوب بودن



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

نتایج

داده‌های به‌دست آمده حاصل از نمونه‌برداری رسوبات:

نمونه‌برداری در فصول پاییز و زمستان سال ۱۳۹۸ در ۴ ایستگاه شمال، جنوب، شرق و غرب تالاب با دستگاه گرب‌ون‌وین انجام شد. داده‌های مربوط به اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نشان داد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بخش شمال و غرب به‌ویژه شمال غربی بیش‌تر از بخش‌های جنوب و شرق منطقه مورد مطالعه است. داده‌ها نشان می‌دهد که فلزات روی، کادمیوم و سرب به‌ترتیب با غلظت ۲/۱، ۱/۲ و ۰/۹۹ پی‌پی‌ام بیش‌ترین غلظت را در ایستگاه غرب و کم‌ترین غلظت (صفر) را در ایستگاه جنوب دارند. با توجه به این داده‌ها و طبق آنالیز آماری انجام شده بر روی داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری، فرضیه اولیه در مورد این‌که اختلاف معنی‌داری بین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد، صحیح می‌باشد ($p < 0/05$). تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوبات یا ذرات معلق به‌دلیل تغییرات دینامیک آب است. از طرفی عامل اصلی ته‌نشینی رسوبات در آب

دريا و خورها به‌وسیله جریانات و دینامیک حرکت آب کنترل می‌شود. احتمالاً ایستگاه جنوبی به‌دلیل بزرگ‌تر بودن میزان تلاطم‌ها، فرصت کم‌تری را برای ته‌نشینی مواد و رسوبات را فراهم می‌کند. این عوامل دلیل کم بودن میزان غلظت فلزات سنگین در این ایستگاه است. غلظت روی در نمونه‌های رسوب شماره ۳ دارای کم‌ترین میزان غلظت (صفر) در ایستگاه جنوب و بالاترین غلظت ۲/۱ در ایستگاه غرب و نمونه شماره ۲ است. غلظت نسبتاً کم روی به‌دلیل کاهش مواد آلی معلق در آب، یا کاهش میزان فیتوپلانکتون‌ها در اثر کاهش درجه حرارت آب است. در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در این تحقیق، غلظت سرب بین ۰ تا ۰/۰۴ و ۰/۴۹ تا ۰/۹۹ در ایستگاه‌های جنوب و شمال غربی به‌ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بوده است. غلظت استاندارد برای غلظت فلزات سنگین کادمیوم، روی و سرب به‌ترتیب ۱، ۱۰۰ و در محدوده ۲۰-۳۰ میکروگرم بر گرم رسوب است. با در نظر گرفتن محدوده غلظت‌های استاندارد، محاسبات آماری نشان می‌دهد که میانگین غلظت فلزات کادمیوم، سرب و روی در رسوبات پایین‌تر از مقادیر زمینه این فلزات در رسوبات دریایی است (میانگین غلظت روی ۰/۸ ppm، غلظت کادمیوم ppm

۰/۳۷ و غلظت سرب (۰/۲۳ ppm) و بین میانگین غلظت این فلزات با حد استاندارد، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p < 0/05$). با توجه به این مطلب، فرض اولیه ما در مورد این‌که میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات بستر تالاب، بالاتر از حد استانداردهای جهانی است، اشتباه بوده و این میزان کم‌تر از حد استانداردهای جهانی محاسبه شده است. یکی از عوامل موثر بر میزان غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر، مواد آلی و معلق موجود در آب دریاست. این امر به دلیل رسوب بسیاری از این فلزات توسط مواد آلی است. اکثر فلزات جذب لیگاندهای آلی می‌شوند، بنابراین انتظار می‌رود که فلزات سنگین موجود در آب دریا توسط لیگاندهای آلی جذب و در درون رسوبات بستر تمرکز پیدا کنند. با توجه به کاهش دمای آب در زمستان میزان فعالیت‌های زیستی کم‌تر می‌شود بنابراین در این فصول با کاهش درصد مواد آلی در آب و رسوبات مواجه هستیم.

همبستگی بین متغیرها: برای بررسی همبستگی بین داده‌های سه متغیر غلظت روی، کادمیوم و سرب از تحلیل همبستگی پیرسون در SPSS استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی همبستگی در جدول ۱ آورده شده است. ضریب همبستگی عددی بین ۱ تا -۱ خواهد بود. معنی‌داری یا P-Value اگر کم‌تر از ۰/۰۵ باشد نشان‌دهنده معنی‌دار بودن رابطه بین دو متغیر است. ضریب همبستگی بین

غلظت کادمیوم با روی ۰/۳۹۰ است. این ضریب همبستگی نشان می‌دهد که بین این دو متغیر رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش غلظت کادمیوم، غلظت روی افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به میزان Sig یا همان معنی‌داری که برابر با ۰/۰۶ است، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنی‌دار نمی‌باشد. ضریب همبستگی بین غلظت سرب با روی ۰/۰۲۰ است. این ضریب همبستگی نشان می‌دهد که بین این دو متغیر رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش غلظت سرب، غلظت روی افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به میزان Sig یا همان معنی‌داری که برابر با ۰/۰۹ است، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنی‌دار نمی‌باشد. ضریب همبستگی بین غلظت کادمیوم با سرب ۰/۵۰۹ است. این ضریب همبستگی نشان می‌دهد که بین این دو متغیر رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش غلظت کادمیوم، غلظت سرب افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به میزان Sig یا همان معنی‌داری که برابر با ۰/۰۱ است، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنی‌دار می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحلیل همبستگی پیرسون، فرض ابتدایی ما مبنی بر این‌که همبستگی معنی‌داری بین عناصر سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب وجود ندارد در مورد رابطه بین روی-کادمیوم و روی-سرب صدق می‌کند.

جدول ۱: تحلیل همبستگی پیرسون

	غلظت روی	غلظت کادمیوم	
Pearson Correlation	۱	۰/۳۹۰	غلظت روی
Sig. (2-tailed)		۰/۰۶۰	
N	۲۴	۲۴	
Pearson Correlation	۰/۳۹۰	۱	غلظت کادمیوم
Sig. (2-tailed)	۰/۰۶۰		
N	۲۴	۲۴	
	غلظت روی	غلظت سرب	
Pearson Correlation	۱	۰/۰۲۰	غلظت روی
Sig. (2-tailed)		۰/۹۲۸	
N	۲۴	۲۴	
Pearson Correlation	۰/۰۲۰	۱	غلظت سرب
Sig. (2-tailed)	۰/۹۲۸		
N	۲۴	۲۴	
	غلظت سرب	غلظت کادمیوم	
Pearson Correlation	۱	۰/۵۰۹*	غلظت سرب
Sig. (2-tailed)		۰/۰۱۱	
N	۲۴	۲۴	
Pearson Correlation	۰/۵۰۹*	۱	غلظت کادمیوم
Sig. (2-tailed)	۰/۰۱۱		
N	۲۴	۲۴	

است. سپس نتیجه نهایی برای هر مدل، از طریق جمع رتبه معیارها به دست آمد. بر این اساس می‌توان روشی که دارای رتبه پایین‌تری است، به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت. در روش کوکریجینگ جهت درون‌یابی نیاز به نرم‌سازی داده‌ها داریم. همان‌طور که مشاهده می‌شود مناسب‌ترین مدل آماری درون‌یابی با توجه به مجموع خطا که رتبه پایین معیار خطا مناسب‌ترین و رتبه بالا نامناسب‌ترین معیار است. برای روی مدل کروی، نمایی و گوسن مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. برای کادمیوم مدل نمایی مناسب‌ترین انتخاب شد و برای سرب همه مدل‌ها مناسب بودند. جدول ۲ بهترین مدل برازش برای داده‌های فلز سنگین سرب، روی و کادمیوم در رسوبات را نشان می‌دهد.

نتایج پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین با روش زمین آماری:

به منظور پهنه‌بندی و یافتن تغییرات مکانی غلظت سرب، کادمیوم و روی در رسوبات دریاچه استیل آستارا از روش زمین آماری کوریجینگ برای درون‌یابی و تبدیل نقطه‌های گسسته نمونه‌برداری شده به داده‌های پیوسته رستری استفاده شد. برای این منظور از نوار ابزار Geostatistical analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 استفاده شد. برای گرفتن نتیجه از این مدل انجام مراحل زیر ضروری است

بررسی توزیع آماری: در این قسمت با استفاده از ۵ معیار خطای M، RMS، ASE، MS و RMSS برای سه عنصر سرب، کادمیوم و روی بر روی رسوبات روش‌های مختلف درون‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت، به این صورت که در هر معیار برای مناسب‌ترین روش رتبه پایین و برای نامناسب‌ترین آن رتبه بالاتری انتخاب شده

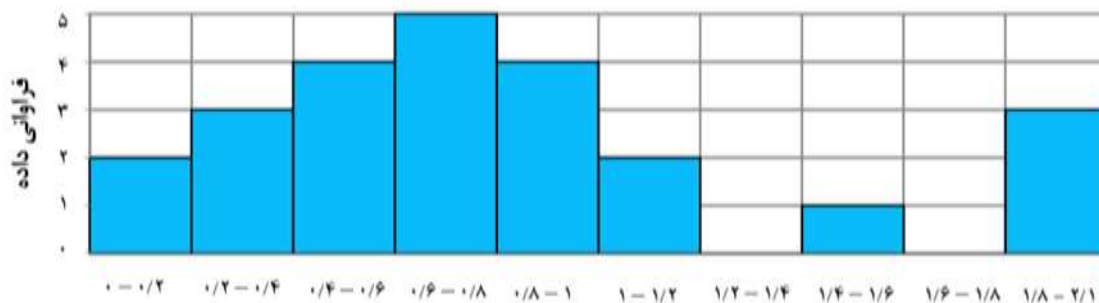
جدول ۲: تعیین بهترین مدل برازش برای داده‌های فلز سنگین سرب، روی و کادمیوم در رسوبات

RMSS	MS	ASE	RMS	M	Major range	مدل برازش	دوره بازگشت
۱/۰۹	-۰/۰۰۶۸	۰/۶۷	۲/۰۱	-۰/۰۳۵	۰/۷۲	دایره‌ای	روی
۱/۰۹	-۰/۰۰۶۸	۰/۶۷	۰/۸۱	-۰/۰۳	۰/۷۲	کروی	
۱/۰۹	-۰/۰۰۶۸	۰/۶۷	۰/۸۲	-۰/۰۰۳۵	۰/۷۲	نمایی	
۱/۰۹	-۰/۰۰۶۸	۰/۶۷	۰/۸۲	-۰/۰۰۳	۰/۷۲	گوسن	
۰/۸۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۰۸	۰/۱۸	دایره‌ای	کادمیوم
۰/۹۹	-۰/۰۱	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۰۸	۰/۱۸	کروی	
۰/۸۹	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۶۶	-۰/۰۰۰۷	۰/۱۸	نمایی	
۰/۸۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۶۵	-۰/۰۰۰۶	۰/۱۸	گوسن	
۰/۷۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴	۰/۰۹	دایره‌ای	سرب
۰/۷۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴	۰/۰۹	کروی	
۰/۷۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴	۰/۰،۹	نمایی	
۰/۷۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴	۰/۰،۹	گوسن	

به دست آمده بر روی عنصر روی در رسوبات نشان می‌دهد چولگی کمی به چپ بوده و دارای یک برآمدگی است که بیانگر نرمال بودن داده‌ها است (شکل ۲). نمودار هیستوگرام به دست آمده در این پروژه بر روی عنصر کادمیوم در رسوبات نشان می‌دهد دارای یک برآمدگی و چولگی به سمت چپ می‌باشد که بیانگر نرمال بودن داده‌ها است (شکل ۳). نمودار هیستوگرام به دست آمده در این پروژه بر روی عنصر سرب در رسوبات نشان می‌دهد که دارای یک برآمدگی می‌باشد و چولگی به سمت چپ بوده است که تقریباً نرمال می‌باشد (شکل ۴).

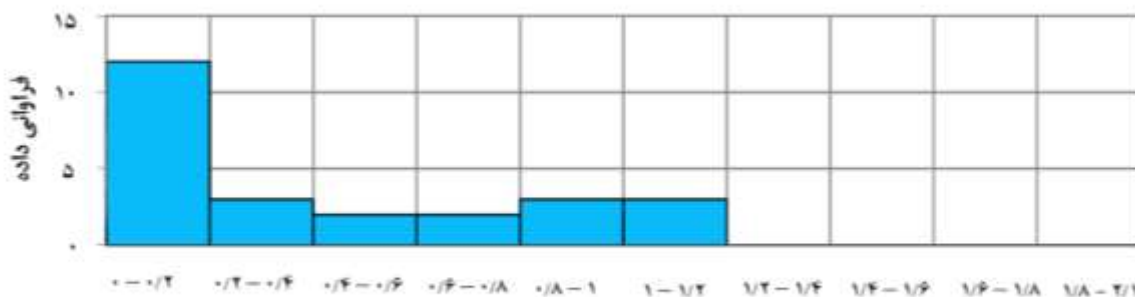
نمودار هیستوگرام به دست آمده از آزمون کوریجینگ: درک

توزیع داده‌ها قبل از پهنه‌بندی بسیار مهم خواهد بود که با نمایش هیستوگرام برای هر سه عنصر در رسوبات آن‌ها در این امکان میسر خواهد شد. با فعال نمودن نمودار هیستوگرام امکان نمایش توزیع داده‌ها ایجاد گردیده که در این پنجره با مشخص نمودن لایه مورد نظر برای مشاهده و انتخاب متغیر مربوطه می‌توان هیستوگرام آن را مشاهده و بررسی نمود. مهم‌ترین ویژگی توزیع این است که نمودار در مرکز هیستوگرام دارای تقارن باشد و در صورت یکسان بودن تقریبی میانگین و میانه، این امر حاصل می‌گردد. نمودار هیستوگرام



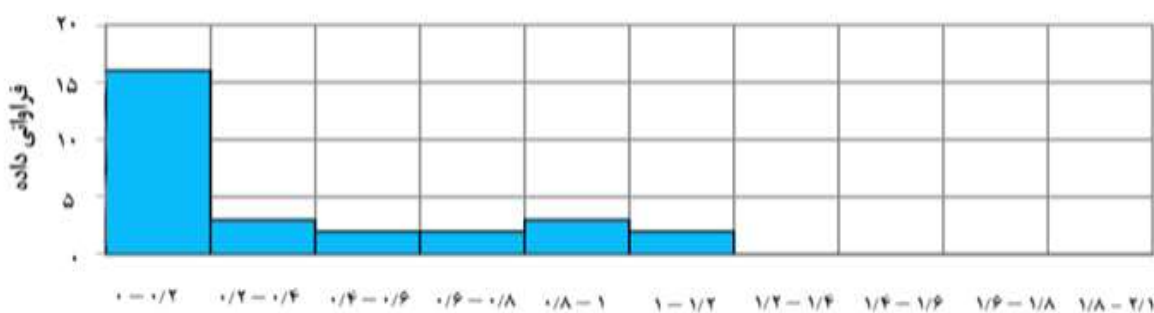
محدوده ی داده برای فلز روی (ppm)

شکل ۲: نمودار هیستوگرام عنصر روی در رسوبات (ppm) (تعداد نمونه: ۲۴)



محدوده ی داده برای فلز کادمیوم (ppm)

شکل ۳: نمودار هیستوگرام عنصر کادمیوم در رسوبات (ppm)

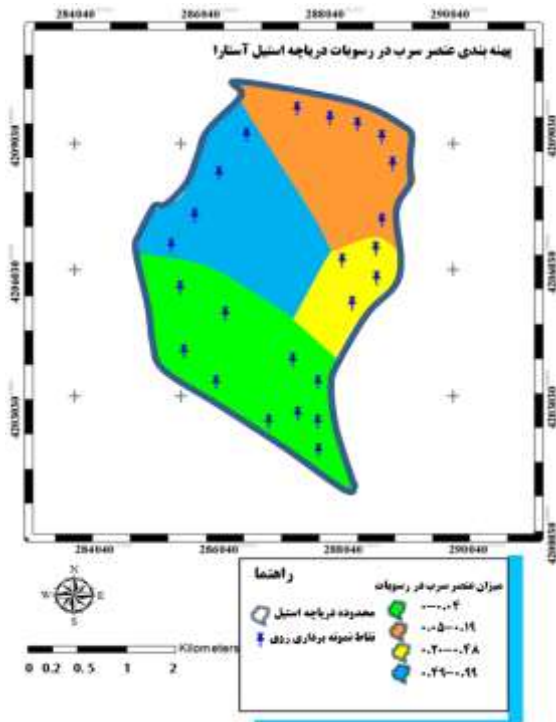


محدوده ی داده برای فلز سرب (ppm)

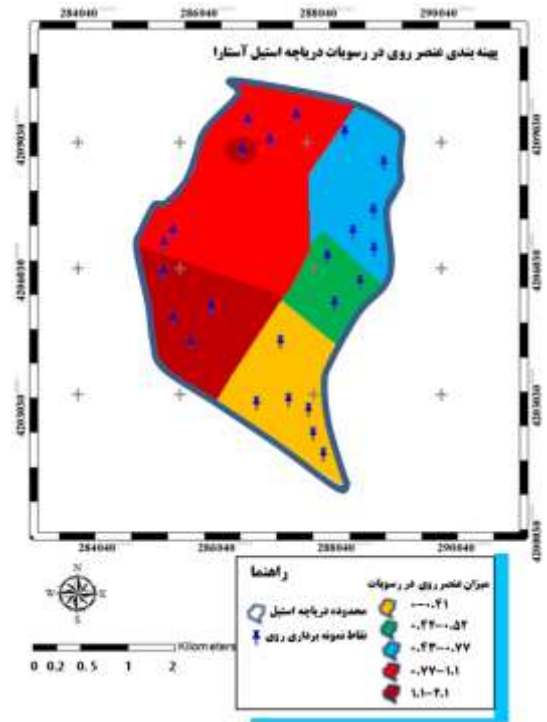
شکل ۴: نمودار هیستوگرام عنصر سرب در رسوبات (ppm)

درون یابی و پهنه بندی عناصر سرب، روی و کادمیوم در رسوبات دریاچه استیل آستارا ترسیم شد که در شکل های ۵ تا ۷ نشان داده شده است.

نقشه های خروجی پهنه بندی فلزات سنگین با روش زمین آمار کریجینگ: پس از بررسی واریوگرام ها و هیستوگرام های برازش آماری نمونه های اندازه گیری شده در مدل کریجینگ، نقشه های

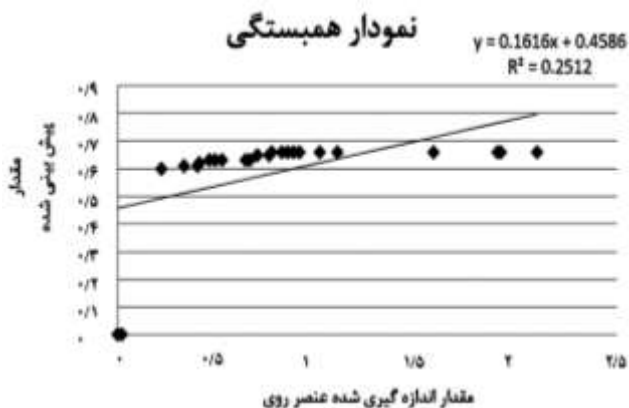


شکل ۷: پهنه‌بندی عنصر سرب به‌روش کریجینگ در رسوبات دریاچه استیل آستارا (ppm)

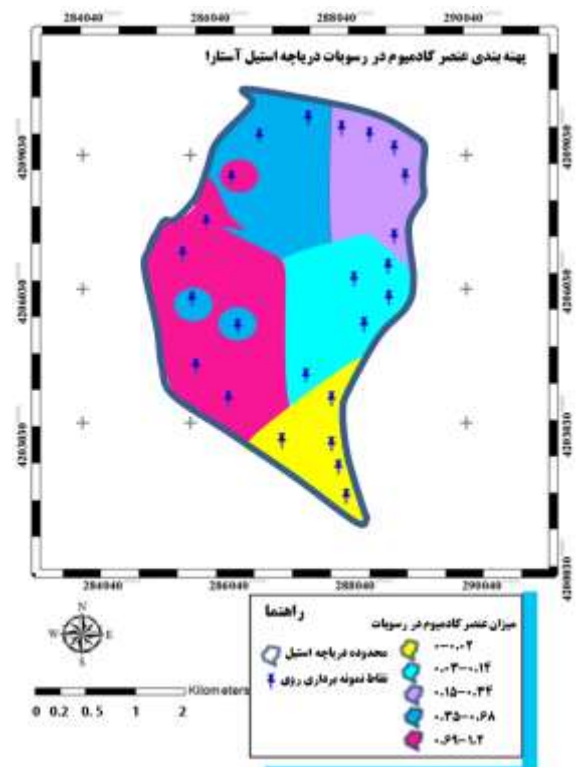


شکل ۵: پهنه‌بندی عنصر روی به‌روش کریجینگ در رسوبات دریاچه استیل آستارا (ppm)

رابطه بین درصد روی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده: به‌منظور بررسی رابطه بین درصد روی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده همبستگی انجام گرفت، که نشانگر رابطه مستقیم و معنی‌داری بین مقادیر ذکر شده می‌باشد و میزان همبستگی بین آن دو ۰/۲۵ می‌باشد.



شکل ۸: رابطه بین درصد روی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده



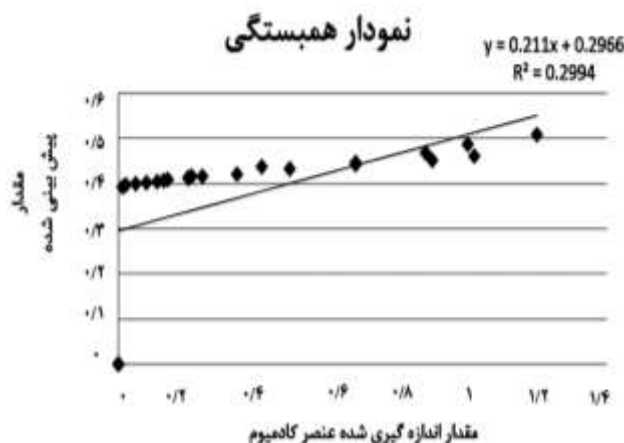
شکل ۶: پهنه‌بندی عنصر کادمیوم به‌روش کریجینگ در رسوبات دریاچه استیل آستارا (ppm)

بحث

داده‌های حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بخش شمال و غرب به‌ویژه شمال‌غربی تالاب بیش‌تر از بخش‌های جنوب و شرق تالاب مدنظر است. داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات بر روی نمونه‌های استخراج شده، حاکی از آن است که فلزات روی، کادمیوم و سرب به‌ترتیب با غلظت ۲/۱، ۱/۲ و ۰/۹۹ پی‌پی‌ام بیش‌ترین غلظت را در ایستگاه غرب و کم‌ترین غلظت (صفر) را در ایستگاه جنوب دارند. نتایج حاصل از تحلیل آماری بر روی داده‌ها، نشان می‌دهد که اختلاف بین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب در ایستگاه‌های مختلف معنی‌دار است ($p < 0.05$). این امر را می‌توان بدین‌صورت استنباط نمود که تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوبات یا ذرات معلق به‌دلیل تغییرات دینامیک آب است. از طرفی عامل اصلی ته‌نشینی رسوبات در آب دریا و خورها به‌وسیله جریان‌ات و دینامیک حرکت آب کنترل می‌شود. احتمالاً ایستگاه جنوبی به‌دلیل بزرگ‌تر بودن میزان تلاطم‌ها، فرصت کم‌تری را برای ته‌نشینی مواد و رسوبات فراهم می‌نماید و همین امر موجب ایجاد اختلاف معنی‌دار در میزان غلظت رسوبات فلزات سنگین در مناطق مختلف تالاب است (۲۵، ۱۸). هم‌چنین نتایج تحلیل آماری بر غلظت روی، نشان می‌دهد که در نمونه‌های رسوب دارای کم‌ترین میزان غلظت (صفر) در ایستگاه جنوب و بالاترین غلظت ۲/۱ پی‌پی‌ام در ایستگاه غرب است. غلظت نسبتاً کم روی به‌دلیل کاهش مواد آلی معلق در آب، یا کاهش میزان فیتوپلانکتون‌ها در اثر کاهش درجه حرارت آب است (۱۹). Tabatabaiee و همکاران، فلزات سنگین رسوبات تالاب بندعلیخان ورامین را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار کروم و روی در رسوبات قسمت شمالی تالاب، مشاهده گردید. نتایج حاصل نشان‌دهنده قلیایی بودن، بالا بودن میزان آهک و هم‌چنین رسی بودن بافت رسوبات تالاب است. نتایج تحلیل آماری هم‌چنین نشان داد که میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات بستر تالاب کم‌تر از حد استانداردهای جهانی بوده است. بایستی توجه داشت که یکی از عوامل موثر بر میزان غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر، مواد آلی و

رابطه بین درصد کادمیوم اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی

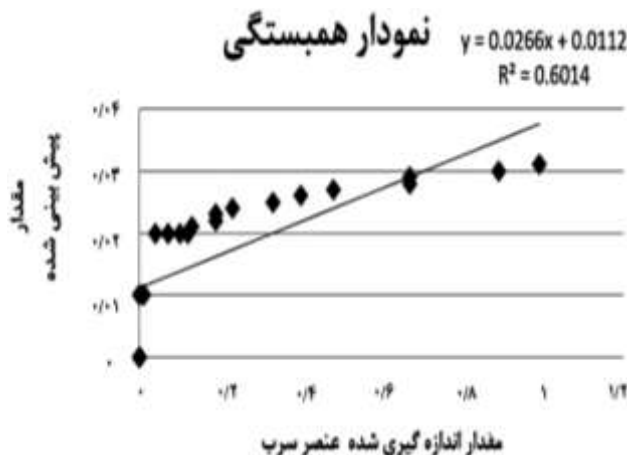
شده: به‌منظور بررسی رابطه بین درصد کادمیوم اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده همبستگی انجام گرفت، که نشانگر رابطه مستقیم و معنی‌داری بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشد و میزان همبستگی بین آن دو ۰/۲۹ می‌باشد.



شکل ۹: رابطه بین درصد کادمیوم اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده

رابطه بین درصد سرب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی

شده: به‌منظور بررسی رابطه بین درصد سرب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده همبستگی انجام گرفت که نشانگر رابطه مستقیم و معنی‌داری بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشد و میزان همبستگی بین آن دو ۰/۶۰ می‌باشد.



شکل ۱۰: رابطه بین درصد سرب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده

معلق موجود در آب دریاست. رسوب بسیاری از این فلزات توسط مواد آلی منجر به ایجاد چنین پدیده‌ای می‌گردد. اکثر فلزات جذب لیگاندهای آلی می‌شوند، بنابراین انتظار می‌رود که فلزات سنگین موجود در آب دریا توسط لیگاندهای آلی جذب و در درون رسوبات بستر تمرکز پیدا کنند. با توجه به کاهش دمای آب در زمستان میزان فعالیت‌های زیستی کم‌تر می‌شود و در نتیجه در این فصول کاهش درصد مواد آلی در آب و رسوبات رخ می‌دهد (۱۹، ۲۷).

به‌منظور بررسی همبستگی بین داده‌های مربوط به غلظت روی، کادمیوم و سرب از تحلیل همبستگی پیرسون در SPSS استفاده شد. نتایج نشان داد ضریب همبستگی بین غلظت کادمیوم با روی ۰/۳۹۰ محاسبه شده است. این ضریب همبستگی نشان می‌دهد که بین این دو متغیر رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش غلظت کادمیوم، غلظت روی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به میزان Sig یا همان معنی‌داری که برابر با ۰/۰۶ است، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0/01$). نتایج این پژوهش با نتایج Sirizi و همکاران (۱۹)، هم‌خوانی ندارد اما با پژوهش Karimi و همکاران (۲۷) مطابقت دارد.

هم‌چنین، ضریب همبستگی بین غلظت سرب با روی ۰/۰۲۰ است. این ضریب همبستگی نشان می‌دهد که بین این دو متغیر رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش غلظت سرب، غلظت روی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به میزان Sig یا همان معنی‌داری که برابر با ۰/۰۹ است، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0/01$). نتایج این پژوهش با نتایج Sirizi و همکاران (۱۹) هم‌خوانی ندارد اما با پژوهش Karimi و همکاران (۲۷) مطابقت دارد.

Gua و همکاران، براساس داده‌های فلزات سنگین در رسوبات دریایی هنگ‌کنگ، NMS همراه با GIS، نشان داد غلظت فلزات سنگین Cd، Pb، Cr، Ni، Cu، روی و جیوه تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی است (۱۲). نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پیرسون، حاکی از آن است که ضریب همبستگی بین غلظت کادمیوم با سرب ۰/۵۰۹ است. این ضریب همبستگی نشان‌دهنده آن است که بین این دو

متغیر رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش غلظت کادمیوم، غلظت سرب افزایش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به میزان Sig یا همان معنی‌داری که برابر با ۰/۰۱ است، مشاهده می‌شود که رابطه این دو متغیر معنی‌دار می‌باشد ($p < 0/01$). با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحلیل همبستگی پیرسون، فرض ابتدایی این مطالعه مبنی بر این‌که همبستگی معنی‌داری بین عناصر سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب وجود ندارد در مورد رابطه بین روی-کادمیوم و روی-سرب صدق می‌کند. در راستای رسیدن به هدف پژوهش، پس از بررسی واریوگرام‌ها و هیستوگرام‌های برازش آماری نمونه‌های اندازه‌گیری شده در مدل کریجینگ، پس از نرمال‌سازی داده‌ها با روش BOX COX و Arc sin نقشه‌های درون‌یابی و پهنه‌بندی هر یک از عناصر در رسوبات دریاچه استیل آستارا ترسیم شد. Zhou و همکاران، فلزات سنگین در رسوبات دریایی و شناسایی تأثیرات در مقیاس جهانی/ محلی از نظر توزیع فضایی جهانی، آب‌های ساحلی هنگ‌کنگ در میان سه منطقه تجزیه و تحلیل مبتنی بر GIS نشان داد که Cu، Cr و Zn از انسان ناشی شده‌اند و جیوه، نیکل و سرب توسط منابع انسانی یا توسط مواد طبیعی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. علاوه بر این یک PCA مبتنی بر GIS برای شناسایی سه منبع بالقوه، که دو منبع به‌دلیل تأثیرات انسانی شامل آلودگی صنعتی، رواناب کشاورزی و انتشار وسایل نقلیه بوده است (۸).

داده‌های مربوط به اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بخش شمال و غرب به‌ویژه شمال‌غربی بیش‌تر از بخش‌های جنوب و شرق منطقه مورد مطالعه است. فلزات روی، کادمیوم و سرب به‌ترتیب با غلظت ۲/۱، ۱/۲ و ۰/۹۹ پی‌پی‌ام بیش‌ترین غلظت را در ایستگاه غرب و کم‌ترین غلظت (صفر) را در ایستگاه جنوب دارند. با توجه به این داده‌ها و طبق آنالیز آماری انجام شده بر روی داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری، این فرضیه که اختلاف معنی‌داری بین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد، معنی‌دار می‌باشد ($p < 0/05$). تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوبات یا ذرات معلق به‌دلیل تغییرات دینامیک آب

فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات بستر تالاب کم‌تر از حد استانداردهای جهانی بوده است.

منابع

1. **Etemadi, E., Mohammadi, Y. and Salamat, N., 2013.** Histopathological study on kidney and liver of common moorhen (*Gallinula chloropus* Linnaeus, 1758) as the bioindicator of pollution in anzali wetland. Aquatic Physiology and Biotechnology. 1(1): 1-18. (In Persian)
2. **Xia, P., Ma, L., Sun, R., Yang, Y., Tang, X., Yan, D., Lin, T., Zhang, Y. and Yi, Y., 2020.** Evaluation of potential ecological risk, possible sources and controlling factors of heavy metals in surface sediment of Caohai Wetland, China, Science of the Total Environment. S0048-9697(20): 33752-33759.
3. **Migani, F., Borghesi, F. and Dinelli, E., 2016.** Geochemical characterization of surface sediments from the northern Adriatic wetlands around the Po River delta. Part II: aqua regia results. Journal of Geochemical Exploration. 169: 13-29.
4. **Kalita, S., Sarma, H.P. and Devi, A., 2019.** Sediment characterization and spatial distribution of heavy metals in the sediment of a tropical freshwater wetland of Indo Burmese province. Environmental Pollution. 250: 969-980.
5. **Giri, S. and Kumar Singh, A., 2016.** Spatial and temporal variation in distribution of metals in bed sediments of Subarnarekha River, India. Arab J Geosci. 9: 1-13.
6. **Xiao, H., Shahaba, A., Lia, J., Xia, B., Suna, X., Hea, H. and Yua, G., 2019.** Distribution, ecological risk assessment and source identification of heavy metals in surface sediments of Huixian karst wetland, China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 185: 109700.
7. **Firozshahian, N., Payandeh, kh. and Sabz Alipour, S., 2020.** Evaluation of Heavy Contamination of Metals (Nickel, Cadmium and Vanadium) in Water and Hawalzim Wetland Sediments in Khuzestan Province. Journal of Animal Environmental. 11(4): 359-368. (In Persian)

است. از طرفی عامل اصلی تهنشینی رسوبات در آب دریا و خورها به‌وسیله جربانات و دینامیک حرکت آب کنترل می‌شود. احتمالاً ایستگاه جنوبی به‌دلیل بزرگ‌تر بودن میزان تلاطم‌ها، فرصت کم‌تری را برای تهنشینی مواد و رسوبات را فراهم می‌کند. این عوامل دلیل کم بودن میزان غلظت فلزات سنگین در این ایستگاه است. غلظت روی در نمونه‌های رسوب ایستگاه شماره ۳ دارای کم‌ترین میزان غلظت (صفر پی‌پی‌ام) در ایستگاه جنوب و بالاترین غلظت ۲/۱ پی‌پی‌ام در ایستگاه غرب و نمونه ایستگاه شماره ۲ است. غلظت نسبتاً کم روی به‌دلیل کاهش مواد آلی معلق در آب، یا کاهش میزان فیتوپلانکتون‌ها در اثر کاهش درجه حرارت آب است. در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در این تحقیق، غلظت سرب بین ۰ تا ۰/۰۴ و ۰/۴۹ تا ۰/۹۹ پی‌پی‌ام در ایستگاه‌های جنوب و شمال‌غربی به‌ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بوده است. هم‌چنین داده‌های حاصل از پژوهش و آزمایش نمونه‌ها نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بخش شمال و غرب به‌ویژه شمال‌غربی تالاب بیش‌تر از بخش‌های جنوب و شرق تالاب مد نظر است. داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات بر روی نمونه‌های استخراج شده، حاکی از آن است که فلزات روی، کادمیوم و سرب بیش‌ترین غلظت را در ایستگاه غرب و کم‌ترین غلظت (صفر) را در ایستگاه جنوب دارند. نتایج حاصل از تحلیل آماری بر روی داده‌ها، نشان می‌دهد که اختلاف بین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در رسوبات تالاب در ایستگاه‌های مختلف معنی‌دار است ($p < 0.05$). این امر را می‌توان بدین‌صورت استنباط نمود که تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوبات یا ذرات معلق به‌دلیل تغییرات دینامیک آب است. از طرفی عامل اصلی تهنشینی رسوبات در آب دریا و خورها به‌وسیله جربانات و دینامیک حرکت آب کنترل می‌شود. احتمالاً ایستگاه جنوبی به‌دلیل بزرگ‌تر بودن میزان تلاطم‌ها، فرصت کم‌تری را برای تهنشینی مواد و رسوبات فراهم می‌نماید و همین امر موجب ایجاد اختلاف معنی‌دار در میزان غلظت رسوبات فلزات سنگین در مناطق مختلف تالاب بوده است. نتایج تحلیل آماری هم‌چنین نشان داد که میزان غلظت

- international conference on applied research in biology. 4(2): 533-545. (In Persian)
16. **Elmizadeh, H., Farhadi, S. and Razmi, M., 2017.** Estimates of heavy metals pollution in parishan wetland sediments using pollution indices. *Environmental Sciences*. 15(1): 61-76. (In Persian)
 17. **Aghili, K. and Aghaei Moghaddam, A., 2018.** Heavy metals assessment in water and sediment of Gorgan Bay before and after rearing wild common carp (*Cyprinus carpio*) in pen culture (khozeini Canal). *Journal of Animal Environmental*. 10(4): 331-338. (In Persian)
 18. **Liao, J., Chen, J., Ru, X., Chen, J., Wu, H. and Wei, CH., 2017.** Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: enrichment and source apportionment. *Journal of Geochemical Exploration*. 176: 9-19.
 19. **Sirizi, Z., Sakizadeh, M., Bahramifar, A., Ghasempouri, N. and Abbasi, M., 2017.** Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu and Zn) Contamination in Muscle tissue of *Esox lucius* from Anzali International Wetland. *Accumulation and Risk Assessment*. 22: 57-63.
 20. **Zhu, H., Bing, H., Yi, H., Wu, Y. and Sun, Z., 2018.** Spatial Distribution and Contamination Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of the Caofeidian Adjacent Sea after the Land Reclamation, Bohai Bay. *Journal of Chemistry*. 108: 1-13.
 21. **Machado, K., Al Ferreira, P.A., Rizzi, J., Figueira, R. and Froehner, S., 2017.** Spatial and Temporal Variation of Heavy Metals Contamination in Recent Sediments from Barigui River Basin, South Brazil. *Environ Pollut Climate Change*. 1: 1-9.
 22. **Ataei, P., 2013.** Analysis of environmental hazards of Astara Steel Lagoon using entropy method. The first conference on the protection of wetlands and water systems. 10(1): 44-63. (In Persian)
 23. **Ashoori, A. and Varasteh Moradi, H., 2014.** Diversity study of Wintering Waterfowls and Waders in Anzali Wetland, Iran. *Wetland Ecobiology*. 6(2): 55-66. (In Persian)
 8. **Zhou, F., Guo, H. and Hao, Z., 2007.** Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: A GIS-based chemometric approach. *Marine Pollution Bulletin*. 54: 1372-1384.
 9. **Pandiyani, J., Mahboob, SH., Govindarajan, M., Al-Ghanim, KH., Ahmed, Z., Al-Mulhm, N., Jagadheesan, R. and Krishnappa, K., 2020.** An assessment of level of heavy metals pollution in the water, sediment and aquatic organisms: A perspective of tackling environmental threats for food security. 128: 1218-1225.
 10. **Moore, F., Keshavarzi, B. and Ebrahimi, P., 2015.** A GIS-based approach for detecting pollution sources and bioavailability of metals in coastal and marine sediments of Chabahar Bay, SE Iran. *Chemie der Erde*. 75: 185-195.
 11. **Wang, Q., Song, J., Li, X., Yuan, H., Li, N. and Cao, L.V., 2016.** Environmental evolution records reflected by radionuclides in the sediment of coastal wetlands: A case study in the Yellow River Estuary. *Journal of Environmental Radioactivity*. 162: 87-96.
 12. **Gua, Y. and Gaob, Y., 2019.** An unconstrained ordination and GIS based approach for identifying anthropogenic sources of heavy metal pollution in marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 146: 100-105.
 13. **Khodami, Sh., Surif, M., Maznah, W.O. and Daryanabard, R., 2016.** Assessment of heavy metal pollution in surface sediments of the Bayan Lepas area, Penang, Malaysia. 114: 615-622.
 14. **Vesali Naseh, M.R., Karbasi, A., Ghazaban, F. and Baghvand, A., 2012.** Relationship between Heavy Metal Concentration in Water and Sediments in Anzali Wetland, Iran. *Journal of Health System Research*. 8(1): 114-123. (In Persian)
 15. **Varij Kazemi, K., Sadegh Nejad, H. and Falah, F., 2016.** Zoning of heavy metal concentration in Anzali lagoon water using fuzzy classification analysis technique. The third national conference and the first international conference on applied research in chemical sciences and chemical engineering and the third national conference and the first

24. **APHA. 1995.** AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed, USA.
25. **Yang, Y., Zhengchao, Z., Yanying, B., Yimin, C. and Weiping, C., 2016.** Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Sediments of the Fenghe River by the Fuzzy Synthetic Evaluation Model and Multivariate Statistical Methods. 26: 326-334.
26. **Tabatabaiee, A., Gandomkar, M., Eskandary, S. and Tabatabaiee, A., 2017.** Investigation of Physicochemical Parameters and Heavy Metals in the Soil of Band-e AliKhan Wetland in Varamin and Environmental Impacts. Journal of Environmental Science Studies. 2(4): 476-484. (In Persian)
27. **Karimi, M. and Ghasempour Shirazi, M., 2012.** Geochemical distribution and pollution levels of heavy metals (Lead, Zinc, Nickel, Chromium, Arsenic) in the sediments of the Kor River in the south of Marvdasht. Journal of Applied Geology. 8(2): 133-145.