

استفاده از زمین آمار و GIS در پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی

مریم زارع خوش اقبال^۱، دکتر فریدون غضبان^۲، دکتر فرود شریفی^۳ و دکتر خسرو خسروتهرانی^۴

چکیده

در این مطالعه روشهای آماری مختلف (همبستگی پیرسون، تحلیل عاملی و زمین آمار) برای تعیین همبستگی بین عناصر و منشاء آلودگی رسوبات و تغییرات مکانی فلزات سنگین در بخشهای مختلف تالاب مورد استفاده قرار گرفت. در طی مطالعه غلظت عناصر اصلی و فلزات سنگین (Al, Fe, K, Mg, Mn, Ti, S, P, Na, Ca, Sr, Ba, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, V, Ni, Pb, Zn) در ۱۸ نقطه از تالاب و رودخانه ی منتهی به آن اندازه گیری شد. نتایج تحلیل عاملی و همبستگی پیرسون نشان داد که نیکل دارای منشاء مشترک انسانزاد و طبیعی است در حالیکه As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Pb, Zn, V فقط منشاء انسانزاد دارند. برای درونیایی و بررسی تغییرات مکانی داده‌های فلزات سنگین از روش کریجینگ معمولی استفاده شد. ابتدا نرمالیت داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی شد و پس از رسم سمی واریوگرام برای هر یک از فلزات سنگین، مدل‌های مختلف مدور، کروی، نمایی و گوسی به واریوگرامها برازش داده شد. برای اعتبارسنجی و انتخاب بهترین مدل پارامتر RMS بدست آمده از Cross-Validation مورد استفاده قرار گرفت. بهترین مدل برازش شده برای فلزات سنگین برای عناصر Cu, As و Pb نمایی و برای Cd, Zn و Ni مدور می‌باشد. نتایج حاصله حاکی از دقت بالای تخمین کریجینگ برای عناصر AS, Cu, Ni و Pb می‌باشد. نقشه پهنه بندی آلودگی تولید شده توسط نتایج کریجینگ و GIS نشان داد که بخشهای هندخاله و شیجان آلوده‌ترین و سیاه کیشم غیرآلوده‌ترین بخش تالابند.

کلید واژه‌ها: کریجینگ، واریوگرام، فلزات سنگین، آلودگی، تالاب انزلی

Using geostatistics and GIS to heavy metal pollution zonation in Anzali wetland sediments

Maryam Zare Khosh Eghbal, Dr. Fereydoun Ghazban, Dr. Frood Sharifi and Dr. Khosro Khosro Tehrani

Abstract

In this study, selected statistical methods (Pearson correlation, factor analysis and geostatistics) were used to determine correlation between elements and pollution sources in their spatial variability in different parts of Anzali wetland. During of study Major elements and heavy metals (Al, Fe, K, Mg, Mn, Ti, S, P, Na, Ca, Sr, Ba, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, V, Ni, Pb, Zn) concentration in 18 points of wetland and rivers flowing into it were measured. Factor analysis and Pearson correlation results demonstrated that Ni has natural and anthropogenic source whereas As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Pb, Zn and V have anthropogenic source. The ordinary kriging method applied for Spatial variability and interpolation of data in geostatistical study. Firstly normality of data was determined by using Kolmogorov - Smirnov test and after semi-variogram calculation, Circular, Spherical, Exponential and Gaussian models were fitted to each of heavy metals. RMS parameter of Cross-Validation was used for model validity. For As, Cu and Pb is exponential and for Cd, Zn, Ni circular are the best models. Results for As, Cu, Ni and Pb reveal the

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- عضو هیئت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۳- عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۴- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

high estimation accuracy. Pollution zonation map that is produced by kriging and GIS showed Hendekhale and Shijan are the most polluting districts and Siakishom is the most none pollution part of Anzali wetland.

Keywords: Kriging, Variogram, Heavy Metals, Pollution, Anzali wetland

مقدمه

وجود ساختار فضایی بین داده‌ها پرداخته و سپس در صورت وجود ساختار فضایی تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد. از دیدگاه زمین آمار هر نمونه تا فاصله حداکثری که دامنه تاثیر نامیده می‌شود، دارای اهمیت فراوانی است و می‌توان در این فاصله از تخمین‌گرهای زمین آماری استفاده کرد. بنابراین می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در درون دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است تخمین زد. این عمل اصطلاحاً درونیابی نامیده می‌شود. در بین روش‌های مختلف درونیابی کریجینگ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و بنظر برخی از محققین مانند دلفینر (۱۹۷۵) این روش بعنوان بهترین روش درونیابی در نقاط فاقد اطلاعات عمل می‌کند. کریجینگ نیازمند محاسبات قبلی و تعیین نحوه همبستگی مکانی داده‌های صحرایی است که این امر با ترسیم سمی واریوگرام تجربی و انتخاب مدل ریاضی که بتواند بر نقاط آن برازش شود قابل انجام است. ون میرون (۱۹۹۱) ویژگیهای مکانی خاک را با استفاده از زمین آمار مشخص کرده است. آتیا و دبویس (۱۹۹۴) جهت تعیین پراکنش مکانی عناصر سنگین در سوئیس از تکنیک زمین آمار استفاده کرده و بوسیله آن منشأ اصلی کبالت و نیکل را تعیین نمودند. بلومروهمکاران (۲۰۰۰) روشهای زمین آماری را برای بررسی تغییرات مکانی pH در آب

یکی از مهمترین مسائل در هراکوسیستم حفظ شرایط زیستی آن جهت تداوم بقای موجودات زنده بوسیله جلوگیری از آلودگی است. تالاب انزلی از نظر آلودگی تاکنون مورد مطالعات فراوانی قرار گرفته است که بعضی از آنها روی آب مانند منوری (۱۳۶۳) و جایکا (۲۰۰۴) و بعضی روی رسوب (امینی رنجبر ۱۹۹۸) متمرکز بوده است. در بحث آلودگی فلزات سنگین از مهمترین آلاینده‌های رسوبی هستند و با توجه به پتانسیل خطر و ایجاد آلودگی، فلزات سنگینی مانند آرسنیک، کادمیم، کروم، سرب و روی بیش از بقیه موثرند (آلووی ۱۹۹۵). تمرکز این عناصر سمی در رسوبات از منابع مختلفی مانند منابع آلاینده انسانزاد، هوازدگی سنگهای با حد زمینه طبیعی بالا و نهشته شدن موضعی فلزات تامین می‌شود.

برای بررسی منشأ آلودگیها از تحلیل‌های مختلف آماری استفاده می‌شود. ولی از آنجاییکه اطلاعات مربوط به آلودگی رسوبات، عمدتاً بصورت نقطه‌ای برداشت می‌شود و به همین علت در مطالعات آلودگی حتی زمانی که تعداد نمونه‌ها بسیار زیاد است، با سطوح فاقد اطلاعات روبرو هستیم و برای شبیه سازی این سطوح فاقد اطلاعات نیازمند استفاده از روشهای مختلف زمین آمار هستیم. زمین آمار ابزاری قدرتمند برای بررسی متغیرهایی است که ساختار فضایی از خود بروز می‌دهند. در زمین آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم

در حدود ۱۹۳ کیلومتر مربع تالاب بسیار گسترده‌ای است که در حاشیه جنوب غربی دریای خزر در استان گیلان در طول ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی قرار دارد. وسعت حوزه آبخیز تالاب حدود ۳۶۱۰۰۰ هکتار است. حوزه آبریز تالاب از سمت شمال به دریای خزر، از جنوب و غرب به انتهای شیب سلسله جبال البرز و کوههای تالش و از جانب شرق به دلتای رودخانه سفید رود محدود می‌گردد. ۹۳۵۲۵ هکتار از سطح حوزه آبخیز زمینهای کشاورزی بخصوص مزارع برنج و ۱۹۶۰۲۰ هکتار از سطح آنرا اراضی جنگلی و مرتعی می‌پوشاند (جایکا ۲۰۰۴). درصد این پوششها از شرق به غرب حوزه افزایش می‌یابد. در حالیکه جمعیت شهری در شرق حوزه بیش از غرب آن است.

این تالاب در منتهی الیه ۱۵ رودخانه مهم قرارداد که از کوههای تالش سرچشمه می‌گیرند (کانزاک و همکاران ۲۰۰۴). یازده رشته از این رودخانه‌ها از لحاظ آورد آب و رسوب و تاثیر بر محیط تالاب از بقیه مهمترند. تالاب انزلی از نظر دریافت آب به چهار بخش غربی (آبکنار)، شرقی (شیجان)، مرکزی (هندخاله) و جنوب غربی (سیاه کیشم) قابل تقسیم است. بخش غربی محل ورود رودخانه کوچکی به نام چافرود است در حالی که بخش شرقی تالاب محل ورود رودخانه‌های بزرگ پیربازار و خمامرود می‌باشد. رودخانه پسیخان وارد بخش هند خاله یا تالاب مرکزی می‌شود و رودخانه‌های شاخرز، ماسوله، تنیان، کلسر، خالکایی،

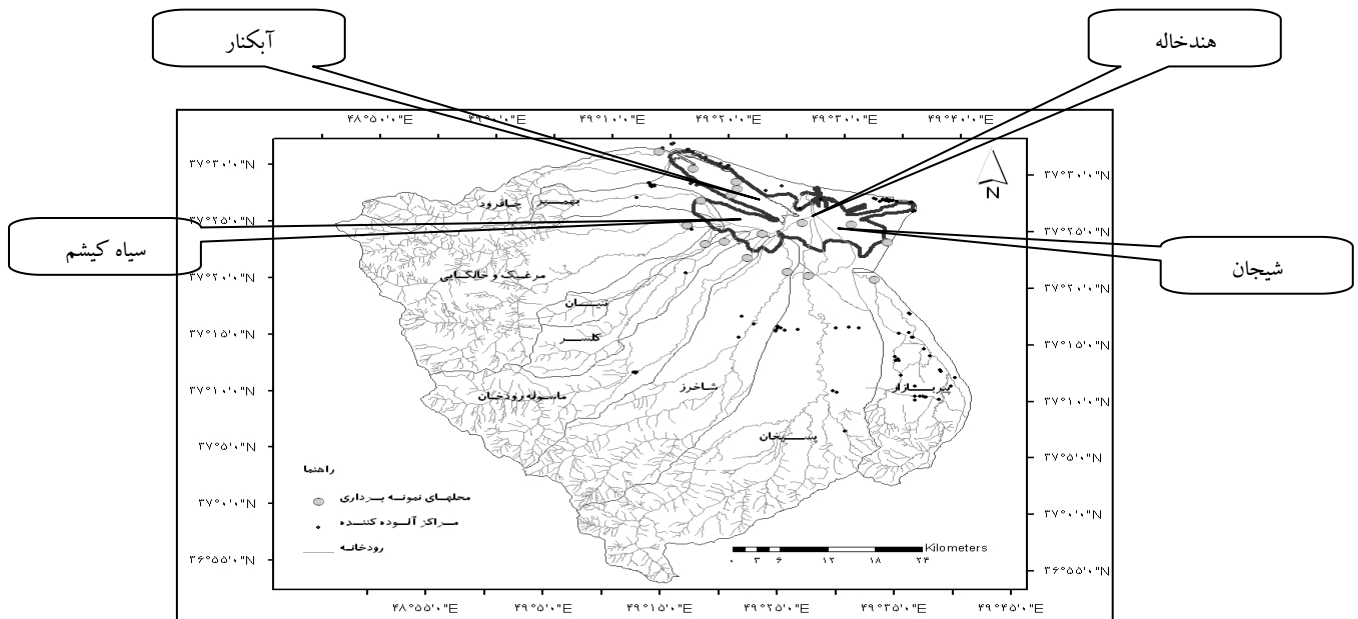
دریاچه بکار برده اند. گونزالز (۲۰۰۱) مطالعات گسترده ای را در زمینه کاربرد زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین انجام داده است. بقایی (۱۳۸۶) و حبشی (۱۳۸۶) بترتیب از تجزیه و تحلیل زمین آماری برای بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین قابل جذب و مطالعه خاکهای جنگلی استفاده کردند. (عساکره ۱۳۸۷) میانبایی بارش را با استفاده از کریجینگ انجام داده است. یانگ و همکاران (۲۰۰۸) توزیع احتمالی سرب افزایش یافته در پسابهای کشاورزی را با استفاده از کریجینگ پیش بینی کرده اند. امروزه استفاده از GIS (Geographic Information System) بعنوان ابزاری برای پهنه بندی بلایای طبیعی مانند لغزش، فرسایش و سیل در تعیین مناطق با ریسک بالا نسبت به این پدیده‌ها مرسوم است. همچنین GIS در تلفیق با زمین آمار در جهت بررسی تغییرات مکانی و شناسایی مناطق آلوده نسبت به فلزات سنگین در خاک بکار گرفته شده است (دائو ۲۰۰۸). هدف این مطالعه پس از تعیین همبستگی بین عناصر و بررسی ارتباط آنها با یکدیگر، منشاءبایی با استفاده از تحلیل عاملی، بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین و استفاده از نتایج کریجینگ معمولی در تلفیق با GIS و تعیین وضعیت آلودگی در رسوبات تالاب انزلی است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی اکوسیستم با ارزش و منحصر بفردی است که به علت قرار گرفتن در لیست تالابهای بین المللی توجه فراوانی را می‌طلبد. این تالاب با وسعتی

مرغک و بهمبر به منطقه حفاظت شده سیاه کیشم می ریزند (شکل ۱)



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز، محل نمونه برداریها و مراکز آلوده کننده تالاب

روش بررسی

در این مطالعه رسوبات هفت نقطه از بخشهای مختلف تالاب و یازده رودخانه منتهی به آن نمونه برداری شده است. نمونه‌های تالابی توسط لوله PVC به شکل مغزه و نمونه‌های رودخانه ای توسط گراب برداشته شده اند. هر مغزه در فواصل ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سانتی متری تقسیم و قطعاتی از آن نمونه برداری شد. نمونه‌های برداشته شده در دمای طبیعی آزمایشگاه خشک شده و پس از پودرشدن توسط آنالیز ICP-MS غلظت بعضی از عناصر اصلی و فلزات سنگین (Al, Fe, K, Mg, Mn, Ti, P, Na, Ca, Sr, Ba, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, V, Ni, Pb, Zn) در نمونه‌ها اندازه گیری شد و در کنار غلظت عناصر در رسوبات رودخانه ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در مرحله بعدی بین غلظت عناصر مختلف برای تعیین چگونگی ارتباط آنها، همبستگی پیرسون برقرار گردید. با استفاده از تحلیل عاملی، فلزات سنگین مورد بررسی از لحاظ تاثیر بر آلودگی تالاب اولویت بندی شده و همچنین منشاءهای مشترک آنها تعیین گردید. در مرحله بعد تغییرات مکانی فلزات سنگین در رسوبات با استفاده از روش کریجینگ از روشهای زمین آماری مورد بررسی قرار گرفته و بهترین مدل مشخص شده برای تولید لایه اطلاعاتی هریک از فلزات سنگین بکار گرفته شد. سپس با تلفیق لایه‌های فلزات سنگین بدست آمده در GIS، وضعیت آلودگی در بخشهای مختلف تالاب توسط تولید نقشه پهنه بندی آلودگی تعیین گردید. در این تحقیق برای تحلیل‌های آماری، محاسبات مربوط به کریجینگ و تهیه نقشه پهنه بندی آلودگی به ترتیب از نرم افزارهای SPSS و ARCGIS9.3 استفاده شد.

پردازش آماری داده‌ها

همبستگی پیرسون

برای بررسی چگونگی ارتباط متغیرها با یکدیگر همبستگی پیرسون بین آنها برقرار شد و با استفاده از معنی دار بودن یا بی معنا بودن همبستگی‌ها در سطح ۹۵ درصد و ضرایب همبستگی بدست آمده اقدام به تحلیل نتایج در هر بخش از تالاب خواهد شد. ضریب همبستگی پیرسون ارتباط بین چگونگی توزیع عناصر مختلف را نشان می‌دهد، بطوریکه اعداد مثبت نشانه ارتباط مستقیم و اعداد منفی نشانه ارتباط معکوس است. ضریب همبستگی بالای فلزات سنگین با عناصر زمینی می‌تواند نشانگر منشاء انسانزاد آن عنصر باشد و همچنین همبستگی‌های بالا بین انواعی از فلزات سنگین می‌تواند بیانگر انواع خاصی از آلودگی باشد.

تحلیل عاملی

برای تعیین گروه فلزات سنگینی که با هم تغییر کرده و ممکن است بیان کننده یک پارائزوز یا یک منشاء باشند از تحلیل عاملی استفاده می‌شود. در واقع تحلیل عاملی یکی از روشهای آماری برای کاهش تعداد عوامل و اولویت بندی داده‌ها برحسب اهمیت آنها در گروههای جداگانه است.

زمین آمار

زمین آمار بخشی از آمار است که قادر به مدل‌سازی غیر قطعی زمانی و مکانی پدیده‌ها می‌باشد. اساس مدل‌های زمین آمار تخمین مقدار

نامعلوم بعنوان یک عدد تصادفی با یک توزیع احتمالی مشخص در نقطه‌ای دلخواه از فضای مورد مطالعه است (دائو 2008). البته قبل از استفاده از زمین آمار و مدل‌های آماری ابتدا داده‌ها از لحاظ نرمال بودن پراکنش توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنف بررسی می‌شوند و چنانچه داده‌ها به هر علتی دارای توزیع نرمال نبوده ابتدا به وسیله روشی مانند استفاده از لگاریتم، ابتدا آنها را نرمال کرده و سپس در زمین آمار مورد استفاده قرار می‌دهیم. برای تبدیل اطلاعات نقطه ای به یک نقشه با اطلاعات منطقه‌ای، از یکی از روشهای مرسوم در زمین آمار موسوم به کریجینگ استفاده می‌شود. کریجینگ برای درونیابی، پهنه بندی و پیش بینی امکان وقوع داده‌های دارای همبستگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرمول عمومی تخمین مقادیر مجهول در کلیه روشهای میانبایی زمین آماری از جمله کریجینگ طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

$Z^*(x)$: مقدار مشاهده شده متغیر Z در نقطه x_i

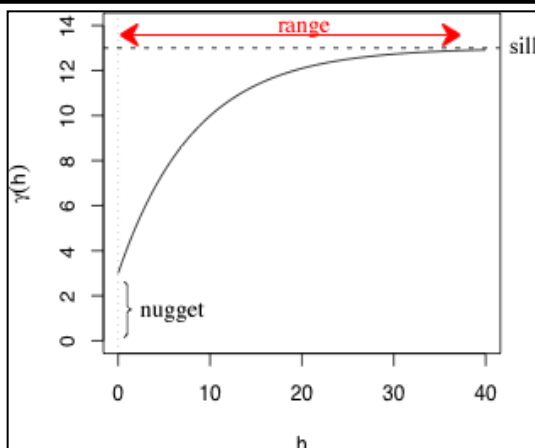
λ_i : وزن یا اهمیت نسبت داده شده به متغیر Z در

نقطه x_i

n : تعداد مشاهدات می‌باشد

آنالیز تغییر نما

اولین گام در محاسبات کریجینگ محاسبه واریوگرام یا تغییر نماست. تغییر نما یا واریوگرام



شکل ۲- طرحی شماتیک از یک سمی واریوگرام و اجزایش

معمولاً اثر قطعه ای ناشی از خطاهای نمونه برداری، اندازه گیری و آنالیز داده‌هاست و هرچه اثر قطعه ای کمتر باشد خطای نمونه برداری کمتر است.

در این تحقیق پس از رسم واریوگرام با استفاده از کریجینگ معمولی، چهار مدل مدور^۴، کروی^۵ نمایی^۶ و گوسی^۷ برای هر داده به سمی واریوگرام رسم شده برازش داده خواهد شد.

روش و معیار ارزیابی و اعتبار سنجی مدلها

برای ارزیابی و کنترل قابلیت و اعتبار پارامترهای مورد استفاده در تخمین از روشی موسوم به Cross-Validation استفاده شده است (ون میرون ۱۹۹۱). این روش شامل حذف به نوبت نمونه‌ها و برآورد مجدد آنها بروش کریجینگ و با استفاده از سایر نمونه‌ها و مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی است. سپس از تفاضل مقادیر واقعی و برآورد شده

تابعی است که بوسیله آن تغییرپذیری مکانی داده‌ها اندازه گیری می‌شود و درواقع مهمترین ابزار همبستگی فضایی داده‌هاست که اساس زمین آمار می‌باشد (گونزالز و همکاران ۲۰۰۱). با تقسیم واریوگرام بر دو سمی واریوگرام بدست می‌آید که فهم آن آسانتر است. در روشهای زمین آمار عملاً فقط از این نوع واریوگرام استفاده می‌شود. نیم نما که با علامت γ نشان داده می‌شود از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z_i(x) - Z_i(x+h)]^2$$

قابل محاسبه می‌باشد که در آن:

n : تعداد جفت نمونه‌ها به ازاء هر فاصله h

$Z_i(x)$: مقدار متغیر در نقطه i ام

$Z_i(x+h)$: مقدار متغیر در نقطه ای به فاصله h از

نقطه i ام

با افزایش h مقدار نیم تغییر نما تا فاصله معینی اضافه می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که حد آستانه^۱ نامیده می‌شود. به فاصله بین نمونه‌ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تاثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش بیشتر فاصله مقدار نیم تغییر نما تفاوت معنی داری نمی‌کند، دامنه یا شعاع تاثیر^۲ گفته می‌شود. به مقدار نیم تغییر نما به ازاء $h=0$ اثر قطعه ای یا واریانس تصادفی^۳ گفته می‌شود (گوارتز ۱۹۹۷).

4- circular
5- spherical
6- exponential
7- gaussian

1- Sill
2- Range of influence
3- Nugget effect

نتایج

نتایج حاصل از تعیین غلظت عناصر مختلف در رسوبات تالابی و رودخانه‌ای در جدول (۱) نشان داده شده است. غلظت آرسنیک در رسوبات تالابی از ۷ ppm در بخش آبکنار تا ۳/۱۷ ppm در بخش هندخاله و غلظت بیسموت از ۰/۲ ppm در بخش سیاه کیشم تا ۰/۳۸ ppm در بخش شیجان تغییر می‌کند.

برای ارزیابی برآوردها استفاده می‌شود (گونزالز ۲۰۰۱). در این تحقیق از معیارهای RMS^1 (ریشه متوسط مجذور خطاها) و $SRMS^2$ (مقدار استاندارد شده ریشه متوسط مجذور خطاها) استفاده می‌شود که از فرمولهای زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{i,act} - z_{i,est})^2}$$

$$SRMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(z_{i,act} - z_{i,est})^2}{S^2}} = \frac{RMS}{S}$$

در اینجا n ، تعداد نقاط، $z_{i,act}$ ارزش نقطه معلوم i ، $z_{i,est}$ برآورد نقطه معلوم i و S کواریانس خطا است.

بهترین برآورد باید کمترین RMS را داشت باشد و $SRMS$ باید به ۱ نزدیک تر باشد. اگر $SRMS$ برابر ۱ باشد به این معنی است که RMS برابر S است. بنابراین خطای استاندارد برآورد اندازه مناسب و موثق از عدم قطعیت برآورد است. معمولاً هر چه مقدار عبارتهای RMS (ریشه متوسط مجذور خطاها) کمتر باشد و همچنین هر قدر $SRMS$ به ۱ نزدیکتر باشد، دقت روش بیشتر است (عساکره ۱۳۸۷). از نظر تئوری هرگاه معیار صفر شود، نمایانگر این است که دقت روش صد درصد بوده و مقدار تخمین زده شده یک کمیت دقیقاً برابر مقدار واقعی آن می‌باشد.

¹ (root mean square)

² (standard root mean square)

جدول ۱- غلظت عناصر و پارامترهای آماری آنها در رسوبات تالابی و رودخانه‌های منتهی به آن

رسوبات	نمونه	ppm										
		As	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
تالاب	B1-0	8.7	0.26	0.27	19.2	86	51.3	1.1	65.8	23.7	107	99
	B1-5	7	0.33	0.34	20.2	109	66.7	1.7	78	28.6	137	129
	B1-10	7.5	0.33	0.37	20.4	108	69.4	2.1	77.3	26.6	139	129
	B1-20	9.4	0.31	0.32	23	96	63.1	1.7	78.8	23.3	123	122
	B1-50	10.9	0.28	0.25	21.8	103	94.7	7.6	80.7	23.5	132	129
	B2-0	14	0.25	0.29	21	96	73.3	9.5	77.5	21.5	130	109
	B2-5	12.4	0.27	0.25	21.4	90	71.5	11.6	78	21.8	134	107
	B2-10	10.9	0.25	0.24	20.4	96	87.7	13.7	75.5	20.9	126	109
	B2-20	9.5	0.26	0.25	21.4	97	65.4	4.3	79.3	19.2	133	114
	B2-50	10.1	0.25	0.29	21.5	95	73.1	13.4	79.9	19.3	134	104
	B3-0	10	0.29	0.31	23.2	98	62.7	3.6	80.4	22.4	123	122
	B3-5	9.7	0.28	0.29	23.5	98	66	3.3	80.6	21.5	128	125
	B3-10	10.8	0.29	0.28	23.8	101	62.4	3.9	80.6	22.9	132	125
	B3-20	11.5	0.28	0.26	23	97	64.1	5.3	79.3	25	133	120
	B3-50	11.5	0.27	0.25	22.4	94	67.4	10.7	78	23	134	107
	B4-0	11.1	0.29	0.3	22.4	92	61.2	1.1	71.6	28.2	113	112
	B4-5	10.4	0.3	0.28	22.9	93	61.1	1.7	74.6	24	122	120
	B4-10	9.8	0.31	0.31	23.4	96	66.3	2.5	76.5	26.1	118	119
	B4-20	10.2	0.3	0.29	23.5	109	64.1	4	78.6	26.2	126	118
	B4-50	11.9	0.27	0.23	21.4	96	61.6	5.5	73.5	23.7	127	111
	B8-0	15.4	0.38	0.3	23	99	59.7	1	78.4	30.4	121	122
	B8-5	14.8	0.34	0.26	24.8	101	58.7	0.9	81	23.4	126	129
	B8-10	14.7	0.33	0.27	24.9	103	60.4	2.6	83.2	23.4	131	132
	B8-20	12.9	0.34	0.27	23.6	100	61.3	2.4	79.1	22.2	124	125
	B8-50	16.5	0.33	0.21	23.3	98	54.1	1.2	70.9	22.7	119	111
	B9-0	17.3	0.36	0.39	24.5	97	49.2	1.6	71.1	30.2	121	131
	B9-5	15.4	0.33	0.39	23	102	47.3	2.1	67.8	29.6	118	125
	B9-10	15.3	0.34	0.39	23.9	106	50.2	2.9	72.1	29.3	128	132
	B9-20	15.5	0.32	0.35	23.2	104	51.8	3.5	69.9	29.8	129	117
	B9-50	15.8	0.29	0.23	24.4	92	55.9	2.4	73.4	24.7	125	118
	B10-0	13.1	0.37	0.26	20.5	108	56.2	0.9	69.5	26.4	125	130
	B10-5	14.4	0.35	0.29	22.6	97	60.9	1.8	80.4	24.9	121	126
	B10-10	13	0.33	0.25	24	99	58.5	2.2	79.9	24.2	126	127
	B10-20	16.6	0.28	0.26	20.9	99	56.7	5.1	73	22.2	119	109
B10-50	16.8	0.2	0.18	21	90	48	1.1	63.7	22.1	113	100	
مینیمم	7	0.2	0.18	19.2	86	47.3	0.9	63.7	19.2	107	99	
ماکزیمم	17.3	0.38	0.39	24.9	109	94.7	13.7	83.2	30.4	139	132	
میانگین	12.42	0.3	0.28	22.5	98.4	62.34	4	75.94	24.48	126	119	
انحراف معیار	2.83	0.04	0.05	1.46	5.5	9.94	3.6	4.82	3.06	7	9.5	
رودخانه	چافرود	5	0.09	0.08	18	89	42.4	0.7	45.3	8	123	81
	بهمبر	9.4	0.2	0.41	21.7	132	56.5	1	73.7	47.2	119	166
	مرغک	7.7	0.08	0.21	21.7	258	30.4	1.3	94.7	13.2	125	93
	خالکابیی	10.4	0.19	0.13	14.9	88	24.2	0.9	35.1	8.7	110	69
	اسفند	24.7	0.17	0.1	11.2	59	20	0.9	26.6	20.5	98	60
	کلسر	15.3	0.21	0.08	11.8	64	18.7	1.1	29.1	10.9	96	47
	ماسوله رود	10.3	0.17	0.08	15.1	99	21.6	0.7	35.3	11	99	56
	شاخرز	9.3	0.18	0.11	12.4	70	18.9	1.2	32.8	13	90	53
	پسیخان	9.2	0.09	0.09	18.8	103	22.1	0.8	43.1	9.9	132	68
	پیربازار	12.3	0.12	0.13	15.8	64	29.6	1.4	26.7	30	88	97
	خمامرود	26	0.19	0.33	15.7	70	44.2	1.1	37.7	22.8	104	98
	مینیمم	5	0.08	0.08	11	59	18.7	0.7	26.6	8	88	47
	ماکزیمم	26	0.21	0.41	22	258	56.5	1.4	94.7	47	132	166
	میانگین	12.7	0.15	0.16	16.1	100	29.9	1	43.6	17.8	108	81
انحراف معیار	6.8	0.05	0.11	3.6	57	12.6	0.2	21.4	11.9	15	34	

جدول ۲- همبستگی بین عناصر مختلف در رسوبات تالاب انزلی

	AL	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti	Ba	S	Sr	As	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
AL	1.00	-.468**	.756**	.709**	.879**	0.12	-.514**	-0.16	.751**	-0.07	-0.05	-0.31	-.340*	0.26	-0.09	.369*	.469**	0.22	-0.22	.749**	-0.16	.498**	.568*
Ca	-.468**	1.00	-.341*	-.542**	-.416*	0.21	-0.30	0.24	-.340*	-0.25	-.349*	.662**	0.07	-0.26	-0.29	-.409*	-.448**	-.359*	-0.27	-.610**	-0.09	-.761**	-.522*
Fe	.756**	-.341*	1.00	.767**	.601**	.447**	-.405*	0.02	.717**	0.13	0.05	-0.16	0.06	.518**	-0.14	.535**	.370*	-0.01	-.470**	.498**	0.00	0.10	.830*
K	.709**	-.542**	.767**	1.00	.455**	.370*	-0.07	0.08	.557**	.465**	0.08	-0.27	0.17	.628**	0.21	.649**	.632**	-0.17	-.414*	.447**	0.23	0.33	.830*
Mg	.879**	-.416*	.601**	.455**	1.00	-0.07	-.570**	-0.31	.784**	-.368*	-0.13	-0.32	-.546**	0.05	-0.15	0.21	0.23	.395*	-0.05	.750**	-0.30	.520**	.369*
Mn	0.12	0.21	.447**	.370*	-0.07	1.00	-0.26	.356*	0.04	0.20	0.12	.430**	.391*	0.32	-.387*	0.16	0.05	-0.17	-0.21	0.03	-0.11	-0.32	0.14
Na	-.514**	-0.30	-.405*	-0.07	-.570**	-0.26	1.00	0.22	-.568**	.355*	.452**	-0.07	.580**	0.00	0.33	0.24	-0.01	-0.24	0.23	-.359*	0.26	0.04	-0.09
P	-0.16	0.24	0.02	0.08	-.031	.356*	0.22	1.00	-0.25	0.00	0.21	.587**	.519**	0.02	-.384*	0.16	0.00	-0.18	-0.02	-0.27	-0.10	-0.24	-0.21
Ti	.751**	-.340*	.717**	.557**	.784**	0.04	-.568**	-0.25	1.00	-0.03	-.400*	-.380*	-.387*	.413*	0.04	0.22	0.31	0.13	-.440**	.493**	0.17	0.28	.540*
Ba	-0.07	-0.25	0.13	.465**	-.368*	0.20	.355*	0.00	-0.03	1.00	-0.14	-.410*	.414*	.750**	.613**	0.31	.516**	-.363*	-0.29	-0.08	.683**	0.03	.605*
S	-0.05	-.349*	0.05	0.08	-0.13	0.12	.452**	0.21	-.400*	-0.14	1.00	0.15	0.32	-0.29	-0.20	.409*	-0.14	0.06	.381*	0.10	-0.31	0.04	-0.12
Sr	-0.31	.662**	-0.16	-0.27	-0.32	.430**	-0.07	.587**	-.380*	-.410*	0.15	1.00	.339*	-.432**	-.583**	-0.23	-0.33	-0.21	-0.03	-.438**	-.382*	-.530**	.568*
As	-.340*	0.07	0.06	0.17	-.546**	.391*	.580**	.519**	-.387*	.414*	0.32	.339*	1.00	0.24	-0.09	.398*	-0.06	-.522**	-0.18	-.375*	0.23	-0.33	0.03
Bi	0.26	-0.26	.518**	.628**	0.05	0.32	0.00	0.02	.413*	.750**	-0.29	-.432**	0.24	1.00	.504**	.443**	.569**	-0.33	-.557**	0.12	.659**	0.00	.769*
Cd	-0.09	-0.29	-0.14	0.21	-0.15	-.387*	0.33	-.384*	0.04	.613**	-0.20	-.583**	-0.09	.504**	1.00	0.17	.447**	-0.21	-0.22	-0.03	.673**	0.10	.508*
Co	.369*	-.409*	.535**	.649**	0.21	0.16	0.24	0.16	0.22	0.31	.409*	-0.23	.398*	.443**	0.17	1.00	0.15	-0.30	-0.31	0.32	0.22	0.00	.520*
Cr	.469**	-.448**	.370*	.632**	0.23	0.05	-0.01	0.00	0.31	.516**	-0.14	-0.33	-0.06	.569**	.447**	0.15	1.00	0.05	-0.21	0.24	.414*	.466**	.704*
Cu	0.22	-.359*	-0.01	-0.17	.395*	-0.17	-0.24	-0.18	0.13	-.363*	0.06	-0.21	-.522**	-0.33	-0.21	-0.30	0.05	1.00	.685**	.576**	-.434**	.517**	-0.06
Mo	-0.22	-0.27	-.470**	-.414*	-0.05	-0.21	0.23	-0.02	-.440**	-0.29	.381*	-0.03	-0.18	-.557**	-0.22	-0.31	-0.21	.685**	1.00	0.28	-.509**	.474**	-.457*
Ni	.749**	-.610**	.498**	.447**	.750**	0.03	-.359*	-0.27	.493**	-0.08	0.10	-.438**	-.375*	0.12	-0.03	0.32	0.24	.576**	0.28	1.00	-.337*	.624**	.384*
Pb	-0.16	-0.09	0.00	0.23	-0.30	-0.11	0.26	-0.10	0.17	.683**	-0.31	-.382*	0.23	.659**	.673**	0.22	.414*	-.434**	-.509**	-.337*	1.00	-0.17	.470*
V	.498**	-.761**	0.10	0.33	.520**	-0.32	0.04	-0.24	0.28	0.03	0.04	-.530**	-0.33	0.00	0.10	0.00	.466**	.517**	.474**	.624**	-0.17	1.00	0.30
Zn	.568**	-.522**	.664**	.830**	.369*	0.14	-0.09	-0.21	.540**	.605**	-0.12	-.568**	0.03	.769**	.508**	.520**	.704**	-0.06	-.457**	.384*	.470**	0.30	1.00

** Correlation is significant at the 0/01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0/05 level (2-tailed).

بالاترین همبستگی‌های کادمیم با سرب ($R=0/673$)، باریم ($R=0/613$) و بیشترین ضرائب همبستگی روی با آهن ($R=0/664$)، پتاسیم ($R=0/830$)، باریم ($R=0/605$)، بیسموت ($R=0/769$) و کروم ($R=0/704$) برقرار است. بالاترین همبستگی مس با مولیبدن ($R=0/685$) دیده می‌شود و سرب بالاترین ضریب همبستگی را با عناصر باریم ($R=0/683$)، بیسموت ($R=0/659$) و کادمیم ($R=0/673$) داشته و بیشترین ضریب همبستگی کروم با پتاسیم ($R=0/623$) روی ($R=0/704$) برقرار است. بعد از آنالیز نتایج بین پارامترهای مختلف و برقراری تحلیل عاملی، از بین فلز سنگین کادمیم، سرب، روی، بیسموت، کروم موثرترین فلزات سنگین در رسوبات تالابی هستند. مس، وانادیم و ولی اگر عدد (2-tailed) Sig. مساوی یا بزرگتر از عدد P باشد، در این صورت داده نرمال است (سیگل ۱۳۷۲). بنابراین با توجه به نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنف توزیع همه فلزات سنگین در رسوبات تالابی نرمال است و داده‌ها می‌توانند به سهولت در زمین آمار مورد استفاده قرار گیرند.

غلظت کادمیم از 0/18ppm در سیاه کیشم تا 0/39ppm در بخش هندخاله تغییر می‌کنند. غلظت کبالت از 19/22ppm در آبکنار تا 24/9ppm در بخش شیجان و مس از 47/3ppm در هندخاله تا 94/7ppm در بخش هندخاله در تغییر ند.

غلظت نیکل از حداقل 63.7ppm در سیاه کیشم تا حداکثر 83/2pp در شیجان، غلظت سرب از 19/2ppm در آبکنار تا 30/4ppm در شیجان و غلظت وانادیم از 107-139ppm در بخش آبکنار و غلظت روی از 99ppm در آبکنار تا 132ppm در شیجان تغییر می‌کند. در رسوبات رودخانه‌های منتهی به تالاب حداکثر غلظت‌های عناصر کادمیم (0/41ppm)، سرب (47/2ppm) و روی (166ppm) رودخانه بهمبردیده می‌شود. در حالیکه حداکثر غلظت کروم (258ppm)، نیکل (94/7ppm) در رودخانه مرغک و حداکثر غلظت آرسنیک (26ppm) در خم‌مرود وجود دارد.

نتایج برقراری همبستگی پیرسون بین عناصر مختلف در جدول (۲) نشان می‌دهد که بالاترین همبستگی نیکل با عناصر آلومینیم ($R=0/749$)، با منیزیم ($R=0/750$) و با وانادیم ($R=0/624$) دیده می‌شود.

جدول ۳- نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای تعیین نرمالیت داده‌ها

		As	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
N		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Normal Parametersa	Mean	12.42	0.3017	0.284	22.49	98.43	62.34	3.9891	75.94	24.48	125.6	118.9
	Std. Deviation	3	2.833	0.0396	9	7	9	1.461	5.543	4	3	7
Most Extreme Differences	Absolute	2	7	9	1.461	5.543	4	3	4	9	7.166	9.504
	Positive	0.113	0.134	0.145	0.151	0.116	0.134	0.213	0.183	0.144	0.07	0.137
	Negative	0.113	0.102	0.145	0.095	0.116	0.134	0.213	0.118	0.144	0.064	0.085
Kolmogorov-Smirnov Z		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.104	-0.134	-0.1	0.151	0.102	0.065	-0.192	0.183	0.088	-0.07	0.137
Asymp. Sig. (2-tailed)		0.671	0.79	0.856	0.896	0.687	0.793	1.259	1.08	0.852	0.415	0.811
		0.759	0.561	0.456	0.398	0.733	0.556	0.084	0.194	0.463	0.995	0.527

مرحله پس از بررسی توزیع نرمال داده‌ها در روش کریجینگ استفاده از مقادیر معلوم و رسم یک نیم تغییر نما برای برآورد مقادیر مجهول است. بعد از رسم و محاسبه سمی واریوگرام، مدل‌های مختلف به واریوگرام هر یک از عناصر چهار مدل برازش داده شد.

جدول ۴- پارامترهای واریوگرام برای هر یک از مدل‌های برازش شده

عناصر	مدل	Nugget	Partial Size	Nugget/Partial sill	عناصر	مدل	Nugget	Partial Size	Nugget/Partial sill
As	مدور	0.06	0.19	0.31	Mo	مدور	0.28	0.21	1.31
	کروی	0.06	0.17	0.34		کروی	0.28	0.21	1.35
	نمایی	0.05	0.16	0.28		نمایی	0.28	0.21	1.31
	گوسی	0.08	0.21	0.38		گوسی	0.32	0.18	1.73
Bi	مدور	0.07	0.19	0.35	Cu	مدور	0.00	446.58	0.00
	کروی	0.06	0.19	0.32		کروی	0.00	450.30	0.00
	نمایی	0.01	0.24	0.06		نمایی	0.00	506.98	0.00
	گوسی	0.10	0.16	0.61		گوسی	9.26	452.78	0.02
Cd	مدور	0.00	0.02	0.00	Ni	مدور	0.15	0.08	1.98
	کروی	0.00	0.02	0.00		کروی	0.09	0.13	0.71
	نمایی	0.00	0.02	0.00		نمایی	0.16	0.16	1.00
	گوسی	0.00	0.02	0.00		گوسی	0.11	0.11	1.00
Co	مدور	4.20	17.13	0.24	Pb	مدور	0.00	0.26	0.00
	کروی	3.70	17.56	0.21		کروی	0.00	0.26	0.00
	نمایی	0.00	21.62	0.00		نمایی	0.00	0.27	0.00
	گوسی	6.98	14.50	0.48		گوسی	0.00	0.27	0.00
Cr	مدور	0.11	0.00	بینهایت	Zn	مدور	0.00	1295.20	0.00
	کروی	0.11	0.00	بینهایت		کروی	0.00	1291.50	0.00
	نمایی	0.11	0.00	بینهایت		نمایی	0.00	1338.60	0.00
	گوسی	0.11	0.00	بینهایت		گوسی	50.55	1244.60	0.04
V	مدور	0.01	0.01	0.47	P	مدور	0.02	0.05	0.28
	کروی	0.01	0.01	0.58		کروی	0.01	0.05	0.28
	نمایی	0.01	0.02	0.40		نمایی	0.01	0.06	0.11
	گوسی	0.01	0.01	0.75		گوسی	0.02	0.05	0.50

آلودگیهای نفتی خزر، فاضلابها وزباله‌هایی که مستقیماً به تالاب ریخته میشوند تامین شوند. از بین فلزات سنگین بررسی شده، میانگین غلظت دو عنصر آرسنیک و کروم در رسوبات رودخانه‌ای بیش از رسوبات تالابی است. آرسنیک و کروم احتمالاً از فاضلابهای صنایع رنگ تولید شده اند که فاضلاب خود را مستقیماً به رودخانه‌ها ریخته اند.

در نتایج همبستگی پیرسون بعلت همبستگی بالای دیده شده بین نیکل با عناصر زمینی مانند آلومینیم و منیزیم منشاء طبیعی نیکل قطعی است در حالیکه کادمیم، روی، سرب و آرسنیک، مس و وانادیم بعلت نداشتن ضریب همبستگی بالا با عناصر زمینی منشاء انسانزاد دارند. همبستگی بالای کادمیم با سرب ($R=0/673$) به علت فرسودگی لاستیک‌های وسایل نقلیه است.

همبستگی بالای روی با عناصری مانند پتاسیم ($R=0/830$) و آهن ($R=0/664$) نشانگر حمل عنصر روی همراه کانیهای رسی است. همچنین همبستگی بالای روی با کروم ($R=0/704$) می‌تواند از صنایع رنگ ناشی شده باشد. طبق تحلیل عاملی عناصر کادمیم، سرب، روی، بیسموت و کروم دارای یک منشاء هستند. مس، وانادیم و نیکل نیز به یک منشاء تعلق دارند و کبالت دارای منشاء مجزایی است. قرارگیری مس با وانادیم و نیکل در یک دسته در تحلیل عاملی نشانگر این است که نیکل علاوه بر منشاء طبیعی دارای منشاء انسانزاد نیز می‌باشد در حالیکه فلزات سنگین دیگر تنها دارای منشاء انسانزاد هستند.

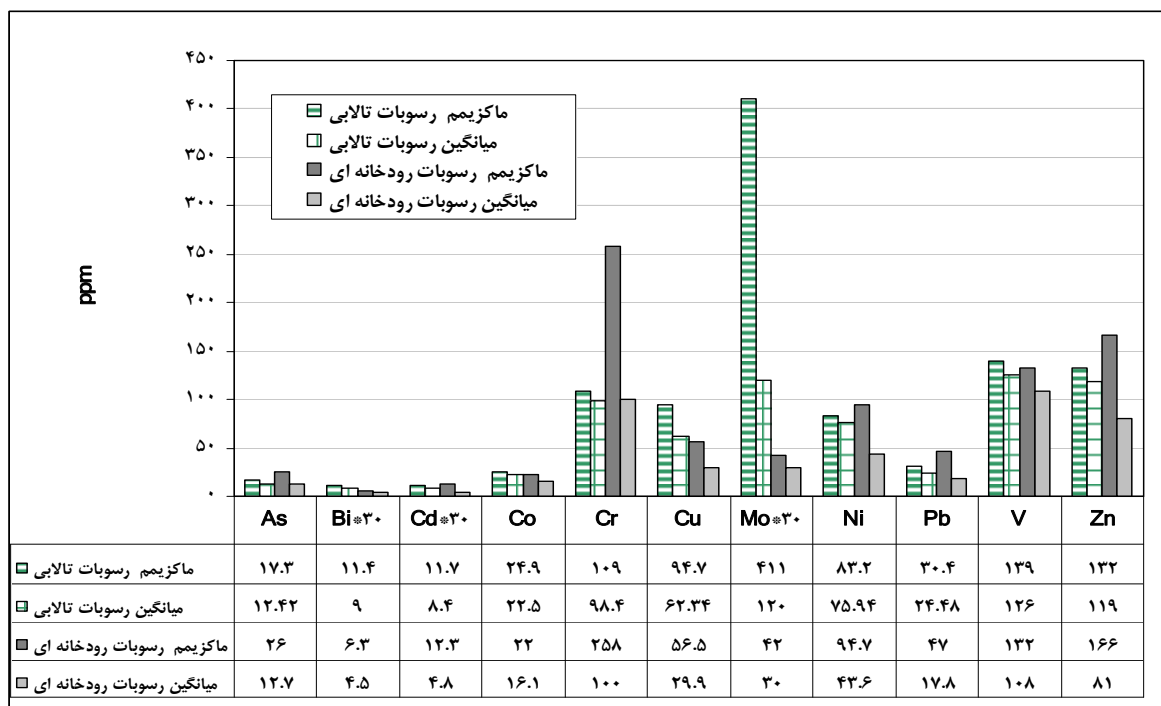
برای پهنه بندی آلودگی در رسوبات تالابی ابتدا با استفاده از روش کریجنگ معمولی، میانبایی داده‌ها در سطوح فاقد اطلاعات انجام شد.

نسبت پایین Nugget/Partial sill به پیوستگی مکانی متغیرها دلالت دارد و هرچه این نسبت کمتر باشد پیوستگی مکانی داده‌ها بیشتر است (آنجلو مارتینز، ۲۰۰۹).

چنانکه در جدول (۴) دیده می‌شود حداقل نسبت Nugget/Partial در مورد آرسنیک در مدل نمایی دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که مدل نمایی از بین مدل‌های برازش داده شده به واریوگرام بهترین مدل برای عنصر آرسنیک است در حالیکه در مورد بقیه عناصر به سادگی نمی‌توان این موضوع را مشخص کرد. چون برای هر عنصر حداقل دو مدل دارای نسبت Nugget/Partial یکسان هستند. بنابراین قضاوت درباره صحت مدل نیاز به اعتبارسنجی آن دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات غلظت عناصر در مغزه‌ها نشان داد که از بین فلزات سنگین نیکل قطعاً دارای منشاء انسانزاد است. بررسی غلظت عناصر در رسوبات تالاب و رودخانه‌های منتهی به بنابه ضرورت در دو سطح ماکزیمم و میانگین مورد توجه قرار می‌گیرد. ماکزیمم غلظت عناصر بیسموت، مولیبدن، وانادیم، کبالت و مس در رسوبات تالابی بیش از رودخانه‌های ورودی به آن است در حالیکه حداکثر غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، سرب و روی در رسوبات رودخانه‌ای دیده می‌شود. بنابراین میتوان به سادگی منشاء عناصر اخیر را در تالاب به رودخانه‌های آلوده منتهی به آن نسبت داد که با غلظت کمتری به تالاب و رسوبات آن رسیده اند. عناصری مانند مولیبدن، وانادیم، کبالت، مس و وانادیم می‌توانند از منابع دیگری مانند



شکل ۴- مقایسه تغییرات ماکزیمم و میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالابی و رودخانه‌های منتهی به تالاب

عناصر آرسنیک، مس و سرب نمایی و برای کادمیم، بیسموت، روی و نیکل مدور می‌باشد. همچنین تخمین کریجینگ در عناصر آرسنیک، بیسموت، سرب، نیکل و مس از دقت بسیار بالایی برخوردار است و این عناصر از پیوستگی مکانی خوبی برخوردارند.

برای تأیید و انتخاب بهترین مدل یکی از روشهای اعتبار سنجی بکار گرفته شد و با محاسبه پارامترهای RMS و SRMS نشان داده شد (جدول ۵) که کمترین RMS در عناصر کادمیم، روی و نیکل به مدل مدور و در عناصر آرسنیک، مس و سرب به مدل نمایی اختصاص دارد. بنابراین بهترین مدل برازش شده در فلزات سنگین برای

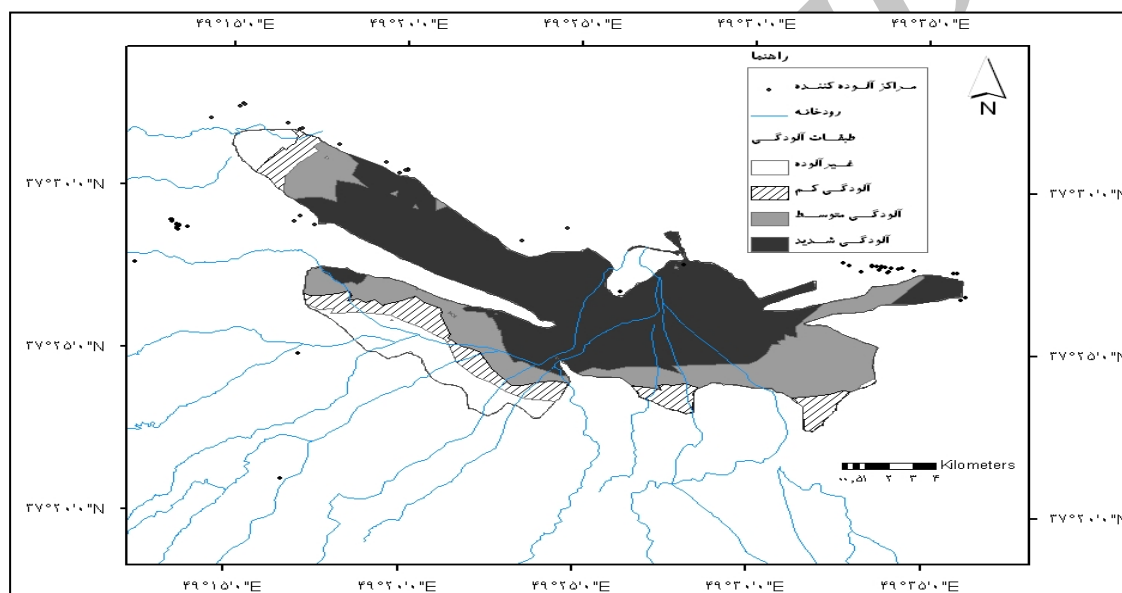
جدول ۵- معیارهای اعتبار سنجی مدل‌های مختلف

عنصر	مدل	RMS	SRMS	عنصر	مدل	RMS	SRMS	عنصر	مدل	RMS	SRMS	عنصر	مدل	RMS	SRMS
As	مدور	4.907	0.9594	Mo	مدور	2.296	1.702	Co	مدور	3.707	1.009	Pb	مدور	9.852	0.9439
	کروی	4.885	0.9657		کروی	2.297	1.703		کروی	3.761	3.761		کروی	9.848	0.9335
	نمایی	4.86	0.9541		نمایی	2.323	1.699		نمایی	3.935	1.895		نمایی	9.63	0.877
	گوسی	4.961	0.9744		گوسی	2.306	1.665		گوسی	3.679	0.9149		گوسی	10.32	1.97
Bi	مدور	0.07922	0.792	Cu	مدور	10.62	0.8939	Cr	مدور	43.39	1.278	Zn	مدور	25.52	1.315
	کروی	0.08128	0.8031		کروی	10.6	0.8732		کروی	43.39	1.278		کروی	25.78	1.283
	نمایی	0.08634	1.009		نمایی	10.5	0.7791		نمایی	43.39	1.278		نمایی	26.98	1.105
	گوسی	0.07972	0.7665		گوسی	10.99	1.032		گوسی	43.39	1.278		گوسی	27.43	1.154
Cd	مدور	0.08784	1.424	Ni	مدور	21.1	0.7776	V	مدور	14.67	1.076				
	کروی	0.08956	1.411		کروی	22.86	0.8579		کروی	14.22	1.028				
	نمایی	0.09733	1.239		نمایی	23.81	0.9523		نمایی	14.36	1.037				
	گوسی	0.1053	4.236		گوسی	22.11	0.8015		گوسی	14.64	1.056				

استفاده از GIS

برای استفاده از GIS بعنوان ابزاری برای تعیین و تفسیر آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سراسر تالاب، ابتدا نقشه‌های راستری وابسته به هر فلز سنگین براساس بهترین مدل انتخاب شده برای هر عنصر در مرحله بکارگیری کریجینگ (جدول ۵)، به وسیله GIS تولید می‌شوند. سپس همه نقشه‌های راستری باهم جمع شده و در نهایت نقشه به ۴

کلاس طبقه بندی و بعنوان نقشه پهنه بندی آلودگی برای تفسیر آلودگی رسوبات تالابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از بین فلزات سنگین نیکل دارای منشأ طبیعی در تالاب است و به این جهت در تولید نقشه آلودگی انسانزاد نقشی ندارد و بکار گرفته نمی‌شود. نقشه نهایی نشان می‌دهد که بیشتر سطح تالاب در طبقه آلوده قرار دارد.



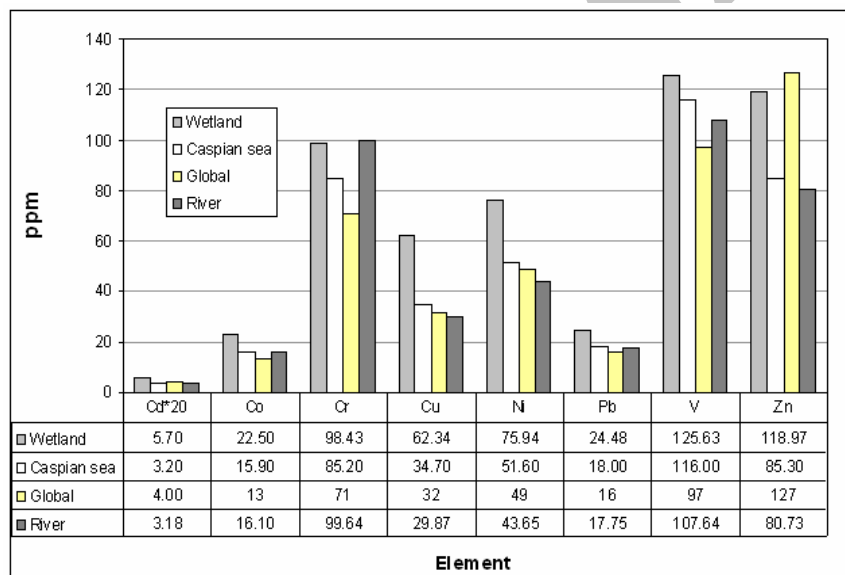
شکل ۵- نقشه پهنه بندی آلودگی رسوبات تالاب انزلی

محسوب شوند. همچنین آلودگی بالای رسوبات در بخش مرکزی در مجاورت کانال کشتیرانی که محل ورود فاضلاب شهر بزرگ انزلی است طبیعی بنظر می‌رسد. گسترش آلودگی از کانال کشتیرانی و شهر انزلی به سمت بخشهای هندخاله و آبکنار نشانگر عمل امواج و نقش آنها در انتقال آلودگی به بخشهای مختلف تالاب است. فاضلابهای آلوده (امینی رنجبر ۱۹۹۱)، آب آلوده دریای خزر که

بیشتر بخش‌های مرکزی، شرقی و غربی تالاب، ورودی رودخانه بهمبر به بخش سیاه کیشم و محل ورود رودخانه خم‌امرود تالاب دارای وضعیت بسیار آلوده‌ای هستند و بخشهای جنوبی سیاه کیشم از پاکیزه‌ترین بخشهای تالاب محسوب می‌شوند. شهرهای پرجمعیت و مناطق صنعتی حوزه که عمدتاً در حاشیه بخش شرقی و مرکزی تالاب متمرکزند می‌تواند از علل اصلی آلودگی این بخشها

است و آلودگی بخشهای مختلف تالاب را نسبت به هم نشان می‌دهد در حالیکه براساس مقایسه میانگین (شکل ۶) غلظت بعضی از فلزات سنگین استفاده شده در آن با میانگین غلظت جهانی، همه فلزات سنگین در تالاب غلظتی کمتر از دوبرابر مقدار میانگین جهانی بخود اختصاص می‌دهند. البته افزایش بیش از حد هر یک از این فلزات نقش مهمی در بهم خوردن شرایط زیستی تالاب دارند و بنابراین توجه به آنها ضروری بنظر می‌رسد.

از طریق کانال کشتیرانی (شریفی ۲۰۰۶) وارد تالاب می‌شود، کودهای شیمیایی و کانونهای آلوده کننده حاشیه تالاب (جایکا ۲۰۰۴) از مهمترین منابع آلوده کننده هستند. اراضی کشاورزی با سطحی برابر ۹۳۵۲۵ هکتار بخش قابل توجهی از سطح حوزه آبخیز تالاب انزلی را بخود اختصاص می‌دهند و آلودگیهای ناشی از کودهای شیمیایی و علف کشها و قارچ کشهای استفاده شده در این اراضی از مهمترین منابع آلودگی (بیانچی ۲۰۰۳) هستند (شکل ۱). نقشه بدست آمده از روش فوق یک نقشه نسبی



شکل ۶- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالابی، دریای خزر، میانگین جهانی و رودخانه‌های ورودی به تالاب

قدرت خودپالایی تالاب وابسته است. اما این پالایندگی نیز با محدودیتهایی روبروست و پس از آن حد، تالاب با مشکل جدی روبرو خواهد شد. مدیریت مصرف صحیح آفت کشها و کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی حوزه آبخیز تالاب، کنترل و تصفیه فاضلابهای شهری و روستایی و پساب کارخانه‌ها و کارگاههای کوچک و بزرگ

با توجه به اینکه مدتهای طولانی از زمان ورود آلودگیهای مختلف به تالاب میگذرد، انتظار آلودگی زیادی نسبت به فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی وجود دارد. اما همانطور که نتایج این تحقیق نشان داده است، غلظت بیشتر فلزات سنگین در رسوبات تالابی تفاوت قابل توجهی با میانگین جهانی ندارند. به نظر می‌رسد که این مسئله به

- سیگل، س.، ۱۳۷۲، آمار غیرپارامتری برای علوم رفتاری، ترجمه یوسف کریمی، دانشگاه علامه طباطبائی، چاپ اول، ۳۸۴ صفحه.

- عساکره، ح.، ۱۳۸۷، کاربرد روش کریجینگ در میانبایی بارش، جغرافیا و توسعه، ۱۲، ۲۵-۴۲.

- منوری، م.، ۱۳۶۹، بررسی اکولوژیک تالاب انزلی، نشر گیلکان، چاپ اول، ۲۲۷ صفحه.

- Alloway, B.J., 1995, Soil Pollution and Land Contamination, in Pollution: causes, Effects and Controlled, R. M, Harrison. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 318 P.
- Amini Ranjbar, Gh., 1998, Heavy Metal Concentration in Surficial Sediments from Anzali Wetland, Iran, water, air, soil pollution, 104, P.305-315.
- Angulo-Martinez, M., Lopez-Vicente, M., Vicente-Serrano, S. and Begueria, S., 2009, Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain), Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6, P.417-453.
- Attia, O. and Dubois, J.P., 1994, Geostatistical Analysis of Soil Contamination in the Swiss Jura. Env. Pollution, 86, P. 315-327.
- Bellehumeur, C., Marcotte, D. and Legendre, P., 2000, Estimation of Regionalized Phenomena By Geostatistical Methods: Lake Acidity on the Canadian Shield. Environmental Geology, 39(3-4), P. 211-220.
- Bianchi, M., 2003, Nonpoint Sources of Pollution in Irrigated Agriculture, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources
- Dao, L., 2008, Using GIS and Geostatistics to Characterize Spatial Variation of Heavy Metal Pollution in Soils of a Sports Ground in Galway, Ireland, EPA Doctoral

حاشیه تالاب با استفاده از روشهای بیوتکنولوژی، حذف ویا کاهش فلزات سنگین به کمک امواج فراصوتی (انتظاری ۱۳۸۴)، صاف کردن و آبگیری از لجن فاضلابهای ورودی (امین شهیدی ۱۳۷۸) به تالاب در کنترل آلودگی های تالاب توصیه می شود.

منابع

- امین شهیدی، ب.، ۱۳۷۸، مطالعه و بررسی آلودگی آب ناشی از فاضلاب صنایع آبکاری در مشهد، سازمان حفاظت محیط زیست، مرکز تحقیقات زیست محیطی خراسان، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰۰ صفحه.
- انتظاری، م.، ۱۳۸۴، حذف و کاهش فلزات سنگین سمی از محیط آب به کمک امواج فراصوتی، کمیته تحقیقات کاربردی شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۶۹.
- بقایی، ا.، خادمی، ح. و م. جهانگرد، ۱۳۸۶، تجزیه و تحلیل زمین آماری برای بررسی تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۲) ۱۱-۱۹.
- حبشی، ه.، حسینی، س.، محمدی، ج. و رحمانی، ر.، ۱۳۸۶، کاربرد تکنیک زمین آمار در مطالعات خاکهای جنگلی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۱) ۱۸-۲۸.

- Environmental Characteristics of the Gilan–Mazenderan Plain, Northern Iran: Influence of Long- and Short-Term Caspian Water Level Fluctuations on Geomorphology, *Journal of marine systems*, 46, P.145-168.
- Sharifi, M., 2006, The Pattern of Caspian Sea Water Penetration into Anzali Wetland: Introduction of a Salt Wage. *Caspian J.Env.Sci.*, 4(1), P. 77-81.
- Van Meirvenne, M., 1991, Characterization of soil spatial variation using geostatistics. Ph.D. thesis, university of Gent, Belgium, academic press, 168 pp
- Yang, J., Huang, Z., Chen, T., Lei, M., Zheng, Y., Zheng, G. and Song, B., 2008, Yan-Qing Liu A, Chaosheng Zhang C Predicting the probability Distribution of Pb-increased Lands in Sewage-Irrigated Region: A case study in Beijing, China, *Geoderma* 147, P.192–196.
- Scholarship Scheme 2007, (No.:2007-Phd-S-3)
- Delfiner, P. and Delhomme, J.P., 1975, Optimum Interpolation by Kriging, Display and Analysis of Spatial Data. New York, John Wiley and Sons, P.96-114.
- Gonzalez, A., Taboada, M.T. and Vieira, S.R., 2001, Geostistical Analysis of Heavy Metals in a One–Ha Plot Under Natural Vegetation in a Serpentine Area. *Can.J.Soil Sci.*, 81, P. 469-479.
- Goovaerts, P., 1997, Geostatistical Tools for Natural, *journal of soil science*, 43, P. 597- 619.
- JICA., 2004, The Study on Integrated Management for Ecosystem Conservation of the Anzali Wetland. Nippon Koei Co., Ltd.
- Kazanci, N., Gulbabazadeh, T., Leroyd, S. and Ileri, Z., 2004, Sedimentary and

Archive