نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۷، شماره ۱، ۱۳۹۴، صفحات ۴۲-۵۲

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 7, Issue 1, 2015, Pages 42-52

# تلفیق منطق فازی و روش‌های زمین‌آماری در تهیه نقشه عنصر مس متاثر از خصوصیات شیمیایی، مطالعه موردی: خاک تالاب انزلی

**سیده مریم باقری*[۱] و محمدحسین مهدیان[۲]**

[۱] کارشناس‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران و [۲] استاد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۰۷

**چکیده**

به‌دلیل پیچیدگی و تغییرات وسیع عامل‌های زیست‌محیطی در تالاب‌ها، پایش آلودگی، حفظ و کنترل کیفیت خاک، امری ضروری تلقی می‌شود. بنابراین، شناخت توزیع مکانی ویژگی‌هایی نظیر مقادیر غلظت فلزات سنگین از اهمیت زیادی برخوردار است. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی عنصر مس با توجه به برخی خصوصیات شیمیایی خاک تالاب انزلی انجام شد. در این رابطه، نمونه‌برداری در ۴۸ محل از خاک سطحی تالاب انجام و مقادیر غلظت مس، اسیدیته و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک آن‌ها تعیین شد. در این پژوهش، روش‌های معکوس فاصله وزنی، چند جمله‌ای‌ها، پنج تابع اسپلاین شامل اسپلاین با تابع کاملا منظم، اسپلاین با تابع کششی، اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم، اسپلاین با تابع چندجمله‌ای معکوس، اسپلاین با تابع صفحه نازک، کریجینگ عام و تلفیق روش‌های یاد شده با روش‌های فازی با استفاده از تکنیک ارزیابی متقاطع مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، برای مقایسه اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی و تعیین روش مناسب، معیارهای ارزیابی میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین انحراف از خطا (MBE) و کارایی مدل (EF) مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روش فازی اسپلاین کششی با استفاده از متغیر کمکی ظرفیت تبادل کاتیونی، با کمینه MAE برابر ۵/۶۴، درصد خطا برابر ۱۱/۹۰ و مقدار EF برابر ۰/۳، به‌عنوان روش برتر در تهیه نقشه پراکنش مس برگزیده شد. این روش در مقایسه با روش‌هایی چون معکوس فاصله وزنی، چند جمله‌ای موضعی، چند جمله‌ای فراگیر، اسپلاین، کریجینگ عام و فازی کریجینگ معمولی، میانگین خطای مطلق را به‌ترتیب به میزان ۵۰، ۵۶، ۵۶، ۵۳، ۵۳ و ۵۰ درصد کاهش داد. همچنین، مقایسه مقادیر بیشینه و میانگین غلظت مجاز عنصر مس در این پژوهش با مقادیر این عنصر در استانداردهای خاک کشورهای استرالیا و لهستان نشان داد که در حال حاضر و با توجه به مقادیر داده‌های حاصل از نمونه‌ها، فعلا مقدار عنصر مس در خاک تالاب انزلی کمتر از حد بحرانی است.

**واژه‌های کلیدی:** چند جمله‌ای موضعی، چند جمله‌ای فراگیر، ظرفیت تبادل کاتیونی، فازی اسپلاین کششی، فازی کریجینگ

**مقدمه**

تعاریف گوناگونی در خصوص تالاب وجود دارد، به‌طوری‌که Williams در سال ۱۹۹۰ تالاب را "بستری مملو از خاک که به‌طور دائم از شرایط آب‌گرفتگی برخودار باشد" تعریف می‌کند (Hamtaei، ۲۰۰۸). همچنین، کمیسیون تالاب‌های کشور در سال

* مسئول مکاتبات: sm.bagheri65@gmail.com

۱۳۶۲، تالاب را ناحیه‌ای از مظاهر طبیعی و خدادادی معرفی کرده که در روند پیدایش، خاک آن به‌وسیله آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌صورت اشباع درآمده و در طی یک دوره کافی و شرایط عادی محیطی تشکیل شده و همچنین، دارای توالی زیستی می‌باشد. این مجموعه شامل جوامعی از گیاهان و جمعیت‌هایی از جانوران ویژه است که امکان سازگاری در چنین نقاطی را دارند. این اکوسیستم‌ها، به‌دلیل اهمیت فراوان، جزء مناطق حفاظت شده محیط زیست به شمار می‌روند و در عین حال نقش مهمی را در چرخه آب، کنترل سیلاب‌های منطقه‌ای، کنترل فرسایش، تصفیه آب و بازگشت مواد مغذی ایفا می‌کنند (Hamtaei، ۲۰۰۸).

امروزه آلودگی محیط‌های آبی بالاخص تالاب‌ها، یکی از مهم‌ترین آلودگی‌ها به شمار می‌رود. این‌گونه اکوسیستم‌ها، به‌طرق مختلف در گسترش انواع آلودگی و انتقال آن نقش ایفا می‌کنند. تالاب‌ها محل نگهداشت، جذب و انتقال انواع آلودگی بوده که از مهم‌ترین آن‌ها، آلودگی به عناصر سنگین است. مس از جمله عناصر سنگین مهم در آلایندگی اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌رود. وضعیت این عنصر با توجه به شرایط جغرافیایی، استقرار صنایع وابسته به مس و مصرف کودهای غیرآلی تغییر می‌کند. میزان مس در این کودها از ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. مس به‌صورت مفتول و آلیاژهایی با فلزهای مختلف کاربرد فراوان داشته و به‌صورت سولفات مس در قارچ‌کش‌ها و تغذیه ماکیان مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگر موارد کاربرد این فلز، می‌توان به وسایل الکتریکی، آشپزخانه، آلیاژ، رنگ‌دانه، مکمل غذایی اشاره کرد (Athar و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین، با توجه به وجود صنایع گوناگون در اطراف تالاب و استفاده از انواع کودهای شیمیایی، ورود این عنصر به طرق مختلف نظیر تخلیه فاضلاب‌های صنایع، پساب‌های کشاورزی و شهری صورت گرفته و به گیاهان و جانوران آبزی و به تبع آن جوامع بشری که به‌عنوان قشر مصرف‌کننده این محیط‌ها محسوب می‌شوند، می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری وارد کند. بر این اساس، کنترل مقادیر غلظت و بررسی تغییرات مکانی و زمانی مس و سایر عناصر سنگین در خاک سطحی اکوسیستم‌هایی نظیر تالاب، حائز اهمیت می‌باشد.

در این راستا، پژوهشگران با نمونه‌برداری از منطقه، با صرف زمان و هزینه فراوان به کمک محیط زیست شتافتند تا با پی بردن به وضعیت آلاینده‌ها در آب و خاک، مانع گسترش آلودگی‌ها در این اکوسیستم‌ها شوند. با پیشرفت علوم و ورود زمین آمار با هدف صرفه‌جویی در زمان و هزینه، کمک موثری به پژوهشگران محیط زیست صورت گرفت. این امر از طریق اکتفا به تعداد نمونه‌های کم و انطباق آن به نقاطی که به دلایل متعدد از جمله هزینه بالا، صرف زمان طولانی و عدم امکان نمونه‌برداری، برداشت نمونه از آن‌ها صورت نگرفته، انجام می‌پذیرد.

پژوهش‌های متعدی در زمینه بررسی تغییرات مکانی عنصر مس در اراضی کشاورزی و دیم صورت گرفته است. به‌طوری که Jalali و همکاران (۲۰۱۱)، Zare Khosheghbal و همکاران (۲۰۱۱)، Yang و همکاران (۲۰۰۹) و Li و همکاران (۲۰۱۱)، به‌ترتیب در خاک مزارع شرق استان مازندران، حوزه آبخیز تالاب انزلی، اراضی کشاورزی چین و منطقه‌ای واقع در چین، به‌منظور بررسی توزیع مکانی تعدادی از عناصر سنگین از جمله مس، از روش کریجینگ در تهیه نقشه پراکنش عنصر مس استفاده نمودند.

در پژوهش دیگری، Fereidooni (۲۰۱۱)، از میان روش‌های معکوس فاصله وزنی[1]، چندجمله‌ای[2]، اسپلاین[3] و کریجینگ، روش اسپلاین را برای تهیه نقشه این عنصر در استان قزوین انتخاب نمود. همچنین، Chen و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور بررسی رابطه بین مس قابل دسترس و برخی خصوصیات خاک و Wu و همکاران (۲۰۱۰) برای تعیین پراکنش برخی از عناصر سنگین از جمله مس به‌ترتیب در زمین‌های تحت کشت سبزیجات در چین و شالیزارهای جنوب شرق چین به این نتیجه رسیدند که استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ دقت روش را افزایش نداد. در پژوهش دیگری، Zare Khosheghbal و همکاران

[1] Inverse Distance Estimators
[2] Polynomials
[3] Spline

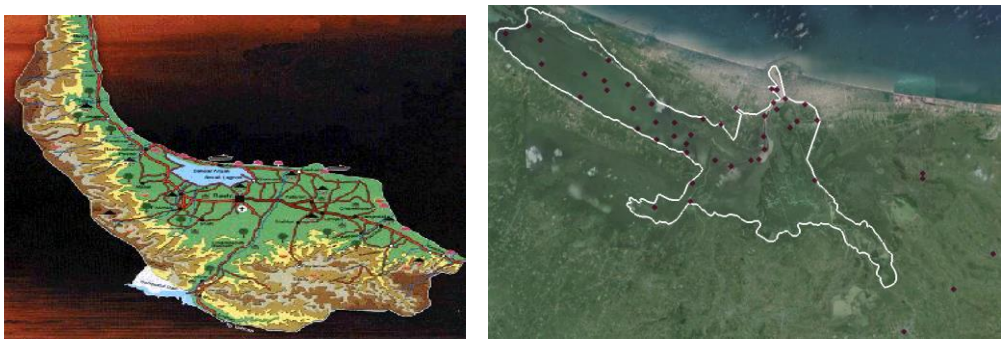
(۲۰۱۱) به‌منظور بررسی و تحلیل آلودگی‌های آب و رسوبات برخی از حوزه‌های آبخیز منتهی به خزر با برداشت نمونه از رسوبات سطحی از روش کریجینگ در تهیه نقشه آلودگی استفاده نمودند. تلفیق منطق فازی با روش‌های زمین‌آماری از جمله پژوهش انجام شده توسط Khorsadi (۲۰۱۱) است که به‌منظور بررسی تغییرات مکانی شاخص فرسایندگی باران در حوزه آبخیز دریای خزر صورت گرفت. در آن پژوهش، از روش فازی کریجینگ در تهیه نقشه پراکنش شاخص فرسایندگی باران استفاده شد.

در مجموع، بررسی پژوهش‌های انجام شده در نقاط مختلف دنیا، در رابطه با پراکنش فلزات سنگین طی سال‌های گذشته حاکی از این است که پژوهش-های زمین آماری اندکی در اکوسیستم‌های آبی چون تالاب صورت گرفته است. همچنین، استفاده از روش-های زمین آماری مختلف و تلفیق آن با روش‌هایی نظیر فازی به‌منظور تهیه نقشه پراکنش عناصر سنگین، از دیگر کاستی‌های موجود در پژوهش‌های گذشته است.

بدین منظور، این پژوهش با هدف رفع کاستی‌های پژوهش‌های گذشته، به بررسی تغییرات مکانی عنصر مس متاثر از برخی خصوصیات شیمیایی با استفاده از تلفیق روش‌های فازی و زمین آماری در خاک تالاب انزلی به انجام رسید.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** تالاب انزلی در محدوده عرض جغرافیایی '۵۵ °۳۶ تا '۳۲ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی '۴۵ °۴۸ تا '۴۲ °۴۹ شرقی در ساحل جنوبی دریای خزر و در استان گیلان واقع شده است. طول متوسط آن در امتداد شرق به غرب ۳۰ کیلومتر و عرض متوسط آن در امتداد شمال به جنوب تقریبا سه کیلومتر است. بیشینه عمق آب تالاب در بهار ۲/۵ متر در قسمت غربی و میزان بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰۰ تا۲۰۰۰ میلی‌متر متغیر است. مساحت حوزه آبخیز تالاب انزلی ۳۷۴۰ کیلومتر مربع است. از این مساحت، ۵۴ درصد را پوشش جنگل و مرتع، ۳۳ درصد را اراضی کشاورزی، نه درصد را تالاب، آب‌بندها، استخرها و در نهایت چهار درصد مابقی را نقاط مسکونی و سایر کاربری‌ها از زمین تشکیل می‌دهد. این تالاب در حدود ۱۹۳ کیلومتر مربع مساحت دارد و شامل چهار بخش تالاب‌های غربی (آبکنار)، جنوبی (سیاه کشیم)، شرقی (شیجان) و مرکزی (هندخاله) است. متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، میانگین، تبخیر منطقه ۸۰۰ میلی‌متر است که از غرب به شرق افزایش می‌یابد. تصویری از محدوده منطقه مورد مطالعه به همراه محل‌های نمونه‌برداری در تالاب انزلی واقع در استان گیلان در شکل ۱ آمده است.



**شکل ۱**- محدوده منطقه نمونه‌برداری و محل برداشت نمونه‌ها

**روش انجام پژوهش:** در این پژوهش، از داده‌های مقادیر غلظت عنصر مس در نمونه‌های رسوبات ۴۸ محل برداشت شده از رسوبات سطحی بخش‌های مختلف تالاب استفاده شد. همچنین، به‌منظور تعیین برخی خصوصیات شیمیایی خاک تالاب، از جمله اسیدیته و ظرفیت تبادل کاتیونی (برای استفاده در روش کوکریجینگ) نمونه‌های برداشت شده در دمای طبیعی آزمایشگاه خشک شده و پس از پودر شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، تحت تحلیل‌های شیمیایی قرار گرفتند. به‌طوری‌که مقادیر اسیدیته نمونه‌ها به

روش پتانسیومتری و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی آن‌ها به روش BOWER (Institute of Soil and Water Research، ۱۹۹۷) به‌دست آمد.

**تحلیل آماری داده‌ها:** در این قسمت برخی آماره‌های عنصر مس تعیین شد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ضرایب چولگی و کشیدگی اشاره نمود. با استفاده از این دو آماره می‌توان در مورد نرمال بودن داده‌ها قضاوت نمود. در عین حال، به‌منظور اظهار نظر قطعی در رابطه با نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. همچنین، آزمون همبستگی برای تعیین وجود و یا عدم وجود همبستگی (یکی از شروط استفاده از روش کوکریجینگ) بین عنصر مس و خصوصیات شیمیایی مورد پژوهش نیز به انجام رسید. برای این امر، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

**بررسی ساختار مکانی داده‌ها:** نیم تغییرنما، ابزاری است که به‌منظور بررسی وضعیت همبستگی مکانی متغیر مورد استفاده قرار گرفته و از اطلاعات اساسی روش‌های نوع کریجینگ محسوب می‌شود. با استفاده از نیم تغییرنما می‌توان در مورد ساختار مکانی متغیر مورد نظر و شعاع تاثیر آن اظهار نظر نمود. ساختار مکانی با محاسبه نسبت اثر قطعه‌ای نیم تغییرنما به مقدار آستانه آن به‌دست می‌آید. اگر مقدار آن کمتر از ۰/۲۵ باشد، ساختار مکانی قوی، اگر بین ۰/۲۵ و ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی متوسط و برای مقادیر بیشتر از ۰/۷۵، ساختار مکانی ضعیف محسوب می‌شود. در این پژوهش، نیم تغییرنما با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تعیین شد. همچنین، بررسی وضعیت ناهمسان‌گردی نیز به انجام رسید و نتیجه در قالب نیم تغییرنمای مسطحاتی در نتایج ارائه شده است.

**روش‌های درون‌یابی و ارزیابی خطا:** در این پژوهش، تغییرات مکانی عنصر مس با استفاده از روش‌های معکوس فاصله وزنی، چند جمله‌ای‌ها، پنج تابع اسپلاین شامل اسپلاین با تابع کاملا منظم[1]، اسپلاین با تابع کششی[2]، اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم[3]، اسپلاین با تابع چند جمله‌ای معکوس[4] و اسپلاین با تابع صفحه نازک[5]، همین‌طور روش کریجینگ عام[6] مورد بررسی قرار گرفت (Bagheri، ۲۰۱۳). همچنین، ترکیب روش‌های یاد شده با روش‌های فازی، از جمله فازی کریجینگ عام و فازی اسپلاین از دیگر روش‌های مورد بررسی در این پژوهش است.

بررسی‌های موجود نشان می‌دهد، یکی از روش‌های افزایش دقت روش‌های زمین آماری کلاسیک، تلفیق آن‌ها با روش‌های فازی است. در منطق کلاسیک، هر چیزی بر اساس یک سامانه دوتائی نشان داده می‌شود (درست یا غلط، صفر یا یک، سیاه یا سفید). در صورتی‌که در منطق فازی، درستی هر چیزی با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است، نشان داده می‌شود. مثلاً اگر رنگ سیاه با عدد صفر و رنگ سفید با عدد یک نشان داده شود، آنگاه رنگ خاکستری عددی نزدیک به صفر خواهد بود. لذا از آن‌جایی‌که در عمل در مقادیر اندازه‌گیری شده عدم قطعیت وجود دارد، لذا با کاربرد روش‌های فازی، امکان افزایش دقت برآورد وجود دارد.

این امر با استفاده از یک سامانه استنتاج و ایجاد رابطه بین مجموعه‌ای از داده‌های ورودی و مجموعه‌ای از داده‌های خروجی تحقق می‌یابد (Khorsandi، ۲۰۱۱). روش استنتاج ممدانی یکی از روش‌های استنتاج مورد استفاده در منطق فازی است که طی چهار مرحله فازی‌سازی متغیرهای ورودی، ارزیابی قوانین، تجمع خروجی‌های قوانین و دفازی‌کردن مقادیر فازی متغیر مورد بررسی را حاصل می‌کند (Mousavi Kiasari، ۲۰۱۰). تمامی روش‌های مورد بررسی ابتدا با تکنیک ارزیابی متقاطع[7] و با استفاده از معیارهای میانگین خطای مطلق (MAE)[8]، میانگین انحراف از خطا (MBE)[9] و کارایی مدل (EF)[10] و تعیین درصد خطای روش، مورد ارزیابی قرار گرفته و

[1] Regularized Spline
[2] Tension Spline
[3] Multi Quadratic Function Spline
[4] Inverse Multi Quadratic Function
[5] Thin Plates Spline
[6] Universal Kriging
[7] Cross Validation
[8] Mean Absolute Error
[9] Mean Bias Error
[10] Modeling Efficiency

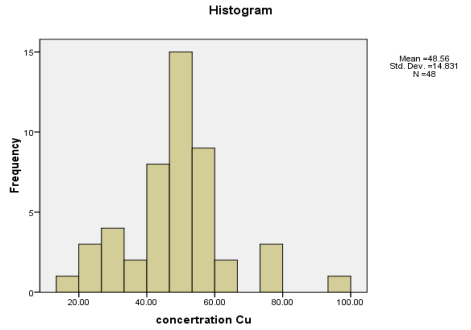
با انتخاب روش مناسب، نقشه پراکنش عنصر مس در سطح منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در این پژوهش، روش‌های زمین آماری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و روش‌های فازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به انجام رسید.

## نتایج و بحث

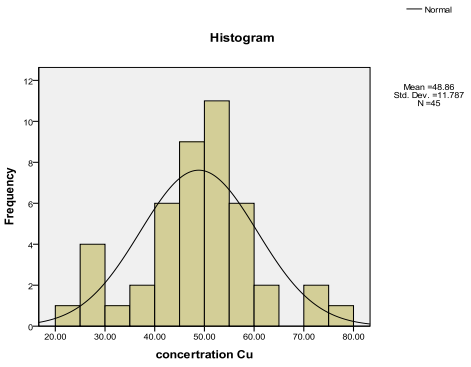
برخی آماره‌های ۴۸ داده عنصر مس در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه به‌ترتیب برابر ۱۴/۶، ۴۵/۵۶ و ۹۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مقدار ضریب تغییرات آن ۳۰/۵ درصد حاصل شد. در مرحله بعدی، داده‌های پرت نیز مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها به دلایل متعدد از جمله خطای اندازه‌گیری، خطا در قرائت و موارد مشابه می‌توانند مطرح باشند. در ادامه، سه داده برای عنصر مس تحت عنوان داده پرت، شناسایی و حذف شد. با حذف این داده‌ها، مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه عنصر به‌ترتیب برابر ۲۲/۴، ۴۸/۸۶ و ۷۶، میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در این شرایط، ضریب تغییرات به حدود ۲۴ درصد کاهش یافت. پس از حذف داده‌های پرت، مقادیر چولگی و کشیدگی به مقدار قابل توجهی کاهش یافت. به‌عبارت دیگر، مقادیر چولگی و کشیدگی از ۰/۳۷ و ۱/۸۲ به‌ترتیب به ۰/۰۲- و ۰/۵۸ کاهش یافت که با توجه به این مقادیر به‌نظر می‌رسد، داده‌های مس از توزیع نرمال برخوردار باشد که آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نیز نرمال بودن داده‌های را در این منطقه تایید نمود. هیستوگرام فراوانی این عنصر قبل و بعد از حذف داده‌های پرت به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

**جدول ۱**- آماره‌های توصیفی داده‌های اولیه عنصر مس، قبل و پس از حذف داده پرت

| عنصر مس | میانگین (میلی‌گرم برکیلوگرم) | کمینه (میلی‌گرم برکیلوگرم) | بیشینه (میلی‌گرم برکیلوگرم) | ضریب پراکندگی (درصد) | چولگی | کشیدگی | ضریب آزمون کلموگروف-اسمیرنوف |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قبل از حذف داده پرت | ۴۵/۵۶ | ۱۴/۶ | ۹۶/۶ | ۳۰/۵۳ | ۰/۳۷ | ۱/۸۲ | ۰/۰۹ |
| پس از حذف داده پرت | ۴۸/۸۶ | ۲۲/۴ | ۷۶ | ۲۴/۱۲ | ۰/۰۲- | ۰/۵۸ | ۰/۲ |




**شکل ۲**- هیستوگرام فراوانی مس قبل از حذف داده پرت

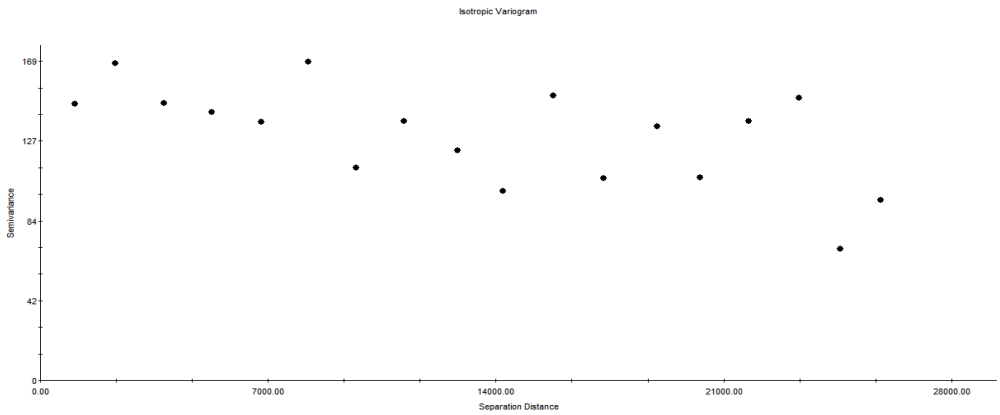



**شکل ۳**- هیستوگرام فراوانی مس پس از حذف داده پرت

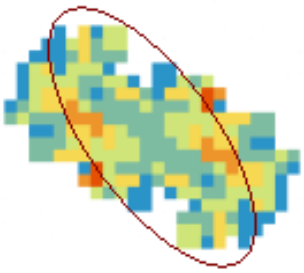
در ادامه، ماتریس همبستگی بین عنصر مس با اسیدیته و ظرفیت تبادل کاتیونی محاسبه شد. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد، ضریب همبستگی بین عنصر مس و ظرفیت تبادل کاتیونی با احتمال ۹۵ درصد، برابر ۰/۲۸ است و با اسیدیته همبستگی وجود ندارد. لذا، امکان استفاده از ظرفیت تبادل کاتیونی به‌عنوان متغیر کمکی در روش‌های نوع کریجینگ وجود ندارد، زیرا ضریب همبستگی کمتر از ۰/۵ است (Khorsandi، ۲۰۱۱). از آن‌جایی‌که در روش‌های فازی، ضرورت استفاده از یک متغیر که ارتباط فیزیکی و مفهومی با متغیر اصلی داشته باشد، مطرح است، لذا از ظرفیت تبادل کاتیونی در روش‌های یاد شده استفاده شد.

شکل ۴، نیم تغییرنمای تجربی را برای عنصر مس نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، نیم تغییرنما حالت موجی شکل دارد که بیانگر وجود روند در داده‌های این عنصر است. این

مهم می‌تواند به‌دلیل دخالت عوامل انسانی در پراکنش عنصر در منطقه باشد (Mohammadi، ۲۰۰۵). در شرایطی که داده‌ها دارای روند باشد، از میان روش‌های نوع کریجینگ، باید روش کریجینگ عام مورد استفاده قرار گیرد (Madani، ۲۰۰۸). برای اجرای این روش، ابتدا در نرم‌افزار ArcGIS، از میان انواع مدل‌های قابل برازش بر نیم تغییرنمای داده‌های عنصر مس، مدل دایره‌ای به‌عنوان مدل مناسب با کمترین خطای برآورد، برگزیده شد. بررسی وضعیت ناهمسان‌گردی نیز حاکی از وجود ناهمسان‌گردی در راستای جنوب به شمال و با زاویه ۳۲۴ درجه مطابق شکل ۵ است. عواملی مانند جهت باد غالب، تشکیلات زمین‌شناسی، سیمای اراضی، عوارض و پدیده‌های طبیعی و وجود منابع آلاینده (شهرک‌های صنعتی حاشیه تالاب) در بروز این ناهمسان‌گردی موثر می‌باشد.




**شکل ۴**- نیم تغییرنمای همه جانبه مس



**شکل ۵**- ناهمسانگردی عنصر مس در نرم‌افزار GIS

جدول ۲، نتایج ارزیابی روش‌های معکوس فاصله وزنی، چندجمله‌ای موضعی و فراگیر و اسپلاین را نشان می‌دهد. در روش معکوس فاصله وزنی، توان‌ها و مقادیر تعداد نقاط همسایگی مختلف مورد آزمون واقع شد که در نتیجه مقدار توان یک و تعداد ۱۵ نقطه همسایگی به‌عنوان مقادیر بهینه انتخاب شد. همچنین، برای روش‌های چندجمله‌ای فراگیر و موضعی پارامتر مورد نیاز بهینه شد که کمترین مقدار خطای مطلق مربوط به توان بهینه یک با درصد منطقه‌ای ۱۰۰ به‌دست آمد. دو پارامتر وزن بهینه و تعداد نقاط همسایگی نیز در روش موضعی به‌منظور ارزیابی مقدار خطای مطلق حایز اهمیت می‌باشد که به‌ترتیب برابر ۱۴۴۹۴۱ و ۴۰ به‌دست آمد. روش درون‌یابی اسپلاین از دیگر روش‌های مورد استفاده در این پژوهش است. برای این منظور، برای پنج تابع روش اسپلاین، عدد پارامتر آن‌ها بهینه شد. نتایج حاکی از آن است که از میان انواع توابع اسپلاین، اسپلاین با تابع کششی با ۱۵ نقطه همسایگی و مقدار پارامتر بهینه ۰/۰۴۲ کمترین مقدار میانگین خطای مطلق را به خود اختصاص داد.

روش درون‌یابی بر اساس منطق فازی از دیگر روش‌های مورد استفاده در این پژوهش به شمار می‌رود. در این سامانه، ابتدا متغیر ورودی و خروجی و سپس تعداد و نوع تابع عضویت معرفی شد. منظور از متغیر ورودی، مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی و متغیر خروجی، مقادیر غلظت عنصر مس می‌باشد. تعداد و نوع تابع عضویت بر مبنای کمترین مقدار میانگین قدر مطلق خطا، با انجام آزمون و خطای بسیار بر روی تعداد و انواع مختلف توابع عضویت موجود در این روش، صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که تعداد پنج

تابع از نوع گوسی برای متغیر ورودی و سه تابع از نوع مثلثی برای متغیر خروجی، کمترین مقدار خطای مطلق را که برابر ۵/۷۸ می‌باشد را به خود اختصاص داد (جدول ۳). تعداد و نوع تابع عضویت برای ظرفیت تبادل کاتیونی و مقادیر مس، به‌ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. مرحله بعد تعریف قوانین است که ارتباط منطقی و فیزیکی دو متغیر را نشان می‌دهد. قوانین تعریف شده برای مس و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی بدین‌صورت است که اگر مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی خیلی کم، کم، متوسط، نسبتا زیاد و زیاد باشد، آنگاه غلظت مس در خاک تالاب به‌ترتیب کم، کم، متوسط، متوسط، زیاد و زیاد است.

**جدول ۲**- ارزیابی خطای روش‌های معکوس فاصله وزنی، چندجمله‌ای موضعی و فراگیر و اسپلاین

| معیار ارزیابی | معکوس فاصله وزنی | چندجمله‌ای فراگیر | چندجمله‌ای موضعی | اسپلاین کششی |
|---|---|---|---|---|
| RMS | ۱۱/۸۸ | ۱۱/۹۶ | ۱۱/۹۹ | ۱۲/۵۷ |
| MAE | ۸/۴۶ | ۸/۸۰ | ۸/۸۲ | ۸/۶۶ |
| MBE | ۰/۳۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۵۷ | ۰/۱ |
| درصدخطا | ۱۷/۳۱ | ۱۸/۰۲ | ۱۸/۰۶ | ۱۷/۷۲ |
| EF | -۰/۰۳۷ | -۰/۰۵۱ | -۰/۰۵۷ | -۰/۱۶ |

روش درون‌یابی بر اساس منطق فازی از دیگر روش‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌شمار می‌رود. در این سامانه، ابتدا متغیر ورودی و خروجی و سپس تعداد و نوع تابع عضویت معرفی شد. منظور از متغیر ورودی، مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی و متغیر خروجی، مقادیر غلظت عنصر مس می‌باشد. تعداد و نوع تابع عضویت بر مبنای کمترین مقدار میانگین قدر مطلق خطا، با انجام آزمون و خطای بسیار بر روی تعداد و انواع مختلف توابع عضویت موجود در این روش، صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که تعداد پنج تابع از نوع گوسی برای متغیر ورودی و سه تابع از نوع مثلثی برای متغیر خروجی، کمترین مقدار خطای مطلق را که برابر ۵/۷۸ می‌باشد را به خود اختصاص داد (جدول ۳). تعداد و نوع تابع عضویت برای ظرفیت تبادل کاتیونی و مقادیر مس، به‌ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. مرحله بعد تعریف قوانین است که ارتباط منطقی و فیزیکی دو متغیر را نشان می‌دهد. قوانین تعریف شده برای مس و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی بدین‌صورت است که اگر مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی خیلی کم، کم، متوسط، نسبتا زیاد و زیاد باشد، آنگاه غلظت مس در خاک تالاب به‌ترتیب کم، کم، متوسط، متوسط، زیاد و زیاد است.

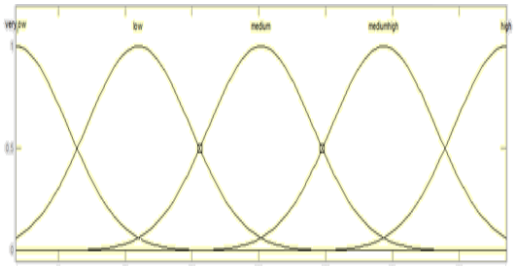
مرحله بعد تجمع قوانین است. در این مرحله، به ازای وارد نمودن یک عدد از متغیر ورودی، مقدار معادل متغیر خروجی استخراج می‌شود. این عمل برای تمامی داده‌ها اعمال و در نهایت اعداد فازی مس حاصل شد. این اعداد مانند اعداد اولیه مس تحت تحلیل‌های آماری و زمین آماری قرار گرفت. تحلیل آماری گویای نرمال بودن داده‌ها است (جدول ۴). در تحلیل نیم تغییرنما نیز عدم وجود روند در توزیع داده‌ها (شکل ۸) مشاهده شد.

بنابراین، روش فازی کریجینگ معمولی مورد استفاده قرار گرفت و مدل سهمی بر نیم تغییرنمای تجربی این عنصر کمترین مقدار خطا برابر ۹۰۹ و بیشترین دقت برابر ۰/۹۰ را از میان سایر مدل‌ها به خود اختصاص داد. نیم تغییرنمای تجربی و وضعیت ناهمسان‌گردی به‌ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ و نتایج پارامترهای مدل و معیارهای ارزیابی در جدول ۵ نمایش داده شده است. از دیگر روش‌های فازی مورد استفاده در این پژوهش، روش فازی اسپلاین است. در این روش طبق جدول ۶، از میان تمامی توابع اسپلاین، اسپلاین با تابع کششی، کمترین مقدار میانگین خطای مطلق را به خود اختصاص داد. جدول ۵ بیان‌گر این مطلب است که مدل کروی در راستای جنوب غربی به شمال شرقی و با زاویه ۳۲۳/۷ درجه نسبت به شمال، تا شعاع متوسط ۹۲۷۰ متری از

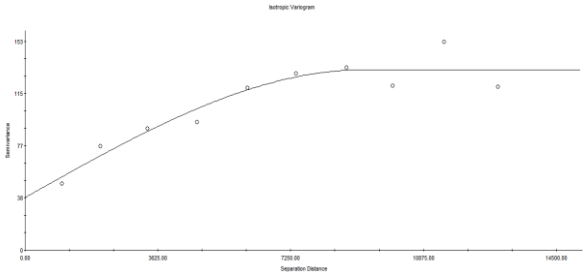
منطقه مورد پژوهش، از ساختار مکانی متوسط تا نسبتا قوی و برابر ۷۰/۹ درصد، قادر به تخمین تغییرات مکانی عنصر مس در شعاع مذکور محدوده تالاب انزلی است.

**جدول ۳**- مقادیر خطای مطلق برای تعداد و انواع مختلف توابع عضویت مس

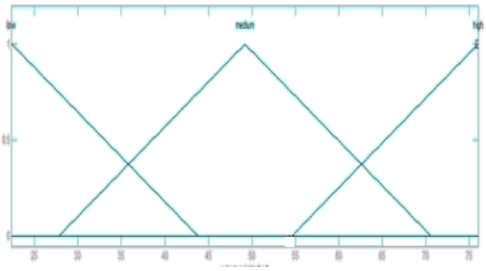
| نوع تابع عضویت | | تعداد تابع عضویت | | MAE |
|---|---|---|---|---|
| CEC | مس | CEC | مس | |
| مثلثی | مثلثی | ۶ | ۳ | ۶/۳۶ |
| زنگوله‌ای | زنگوله‌ای | ۶ | ۳ | ۷/۳۰ |
| زنگوله‌ای-مثلثی | زنگوله‌ای-ذوزنقه‌ای | ۶ | ۳ | ۷/۲۸ |
| مثلثی | مثلثی | ۵ | ۳ | ۵/۸۹ |
| گوسی | مثلثی | ۵ | ۳ | ۵/۷۸ |
| چند جمله‌ای | مثلثی | ۵ | ۳ | ۷/۶۷ |



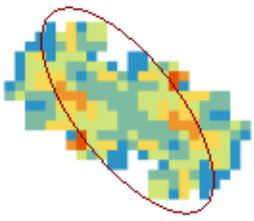
**شکل ۶**- تعداد و نوع تابع عضویت ظرفیت تبادل کاتیونی



**شکل ۸**- نیم تغییرنمای داده‌های دفازی عنصر مس



**شکل ۷**- تعداد و نوع تابع عضویت مقادیر غلظت مس



**شکل ۹**- وضعیت ناهمسان‌گردی عنصر مس

**جدول ۴**- آماره‌های توصیفی شاخص دفازی شده عنصر مس در حالت نرمال

| میانگین (میلی‌گرم برکیلوگرم) | کمینه (میلی‌گرم برکیلوگرم) | بیشینه (میلی‌گرم برکیلوگرم) | انحراف معیار | ضریب پراکندگی | چولگی | کشیدگی | ضریب آزمون کلموگروف-اسمیرنوف |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴۷/۴۵ | ۳۱/۲۰ | ۶۳/۹ | ۱۰/۱۴ | ۲۱/۳۳ | -۰/۵۰ | -۰/۹۵ | ۰/۲ |

**جدول ۵**- پارامترهای مقادیر دفازی شده غلظت مس به روش فازی کریجینگ معمولی

| مدل | شعاع تاثیر (متر) | زاویه ناهمسان‌گردی (درجه) | آستانه | اثر قطعه‌ای | ساختار مکانی (درصد) | RSS | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کروی | ۹۲۷۰ | ۳۲۳/۷ | ۱۳۲/۳ | ۳۸/۵ | ۷۰/۹ | ۹۰۹ | ۰/۹۰ |

با توجه به نتایج جدول ۷ و مقایسه معیارهای ارزیابی، از میان انواع روش‌های مورد استفاده برای عنصر مس، روش فازی اسپلاین کششی با کمترین مقدار میانگین خطای مطلق و درصد خطا، به‌ترتیب برابر ۵/۶۴ و ۱۱/۹۰ و بیشترین مقدار کارایی مدل برابر ۰/۳۰، به‌عنوان روش مناسب در تهیه نقشه

تغییرات مکانی عنصر مس در خاک تالاب انزلی انتخاب شد. این روش دقت ارزیابی را در مقایسه با روش‌های معکوس فاصله وزنی، چند جمله‌ای فراگیر، چند جمله‌ای موضعی، اسپلاین کششی، کریجینگ عام و فازی کریجینگ معمولی به میزان ۵۰، ۵۶، ۵۶، ۵۳، ۵۳ و ۵۰ درصد، بهبود بخشید.

**جدول ۶**- پارامترهای روش توابع اسپلاین برای مقادیر دفازی شده غلظت مس

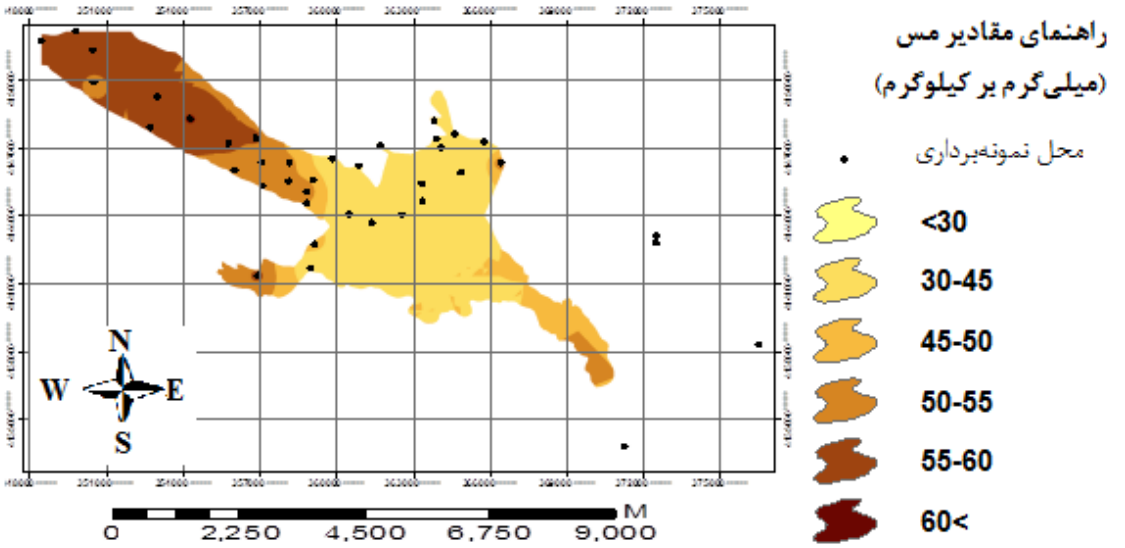
| نوع تابع | پارامتر | نقاط همسایگی | RMS | MAE | MBE | درصد خطا | EF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اسپلاین کاملا منظم | ۰/۰۲۹ | ۱۵ | ۸/۴۴ | ۵/۷۹ | -۰/۰۹۲ | ۱۲/۲۰ | ۰/۲۹ |
| اسپلاین کششی | ۰/۰۴۲ | ۱۵ | ۸/۳۷ | ۵/۶۴ | ۰/۰۴۳ | ۱۱/۹۰ | ۰/۳۰ |
| اسپلان چند جمله‌ای درجه دوم | ۰ | ۱۵ | ۹/۷۵ | ۶/۳۲ | -۰/۲۰ | ۱۳/۳۳ | ۰/۰۵۰ |
| اسپلاین چند جمله‌ای درجه دوم معکوس | ۹۸/۹۷ | ۱۵ | ۸/۲۷ | ۵/۷۱ | -۰/۶۲ | ۱۲/۰۴ | ۰/۳۲ |
| اسپلاین صفحه نازک | $۱\times۱۰^{۲۰}$ | ۱۵ | ۱۲/۷ | ۸/۲۸ | -۰/۷۶ | ۱۷/۴۶ | -۰/۶۱ |

در مجموع، با مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش با پژوهش‌های پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که به علت محدودیت نمونه‌برداری در محیط‌هایی چون تالاب، همین‌طور محدودیت در استفاده از روش‌های درون‌یابی در پژوهش‌های گذشته، انتخاب روش مناسب در برآورد تغییرات مکانی متغیرها نیز می‌تواند در منطقه‌ای مشابه متفاوت باشد. به‌طوری‌که در این پژوهش، با مشاهده افزایش دقت با تلفیق منطق فازی و روش‌های زمین‌آماری، محدودیت‌های یاد شده مرتفع شد. همچنین، تفاوت در انتخاب روش منتخب را نیز می‌توان ناشی از ناهمگن بودن منطقه از لحاظ نوع کاربری، دوری یا نزدیکی به منابع آلاینده، ساختار زمین‌شناسی، زمان نمونه‌برداری، وسعت محدوده مورد پژوهش، تعداد و فواصل نمونه‌ها نسبت داد. البته با توجه به مطالب فوق باید به این نکته توجه نمود که روش‌های درون‌یابی منتخب در یک منطقه مطالعاتی، نمی‌تواند معیار مناسبی به‌منظور تعیین روش مناسب ارزیابی در برآورد یک متغیر خاص در دیگر مناطق باشد.

در پایان نقشه تغییرات مکانی عنصر مس مطابق شکل ۱۰ به روش فازی اسپلاین کششی ترسیم شد. در این نقشه، مقادیر غلظت عنصر مس در شش طبقه قرار دارد. بیشترین غلظت مس در خاک منطقه مورد مطالعه، در دامنه ۴۵-۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که شرق و مرکز محدوده مورد مطالعه در حوزه آبخیز تالاب انزلی را اشغال کرده است. این محدوده، ۵۰ درصد از مساحت کل را به خود اختصاص می‌دهد. مقادیر بالای این عنصر در تالاب آبکنار را می‌توان به ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی حاشیه تالاب غربی، همچنین، دفن زباله در این بخش نسبت داد. در این پژوهش، محدوده‌های ۵۰-۴۵، ۵۵-۵۰ و ۶۰-۵۵ به‌ترتیب مساحت ۱۱، ۱۴ و ۲۵ درصد را به خود اختصاص داد.

**جدول ۷**- مقادیر معیارهای ارزیابی خطای روش‌های درون‌یابی عنصر مس

| روش ارزیابی | معکوس فاصله وزنی | چند جمله‌ای فراگیر | چند جمله‌ای موضعی | اسپلاین کششی | کریجینگ عام | فازی | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | کریجینگ معمولی | اسپلاین کششی |
| MAE | ۸/۴۶ | ۸/۸۰ | ۸/۸۲ | ۸/۶۶ | ۸/۶۵ | ۸/۵۰ | ۵/۶۴ |
| MBE | ۰/۳۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۵۷ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۲۸ | ۰/۰۴۳ |
| درصد خطا | ۱۷/۳۱ | ۱۸/۰۲ | ۱۸/۰۶ | ۱۷/۷۲ | ۱۷/۷۱ | ۱۲/۱۸ | ۱۱/۹۰ |
| EF | -۰/۰۳۷ | -۰/۰۵۱ | -۰/۰۵۷ | -۰/۱۶ | -۰/۰۹ | -۰/۲۶ | ۰/۳۰ |




**شکل ۱۰**- نقشه تغییرات مکانی عنصر مس با استفاده از روش فازی اسپلاین کششی در خاک تالاب انزلی

طی پژوهشی Lacatusu (۲۰۰۰)، بیشینه مقادیر بیشینه مجاز عنصر مس را در استاندارد خاک دو کشور استرالیا و لهستان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نموده است. در پژوهش حاضر میانگین مقادیر این عنصر در خاک تالاب ۴۸/۸۶ و حداکثر آن ۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. در نتیجه می‌توان مطرح نمود، مقادیر این عنصر نسبت به حد مجاز آن در سطح پایین‌تری قرار دارد و در حال حاضر مقادیر غلظت مس در رسوبات تالاب انزلی بحرانی نبوده و منجر به بروز آلودگی در تالاب نمی‌باشد.

## پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، به‌منظور انجام پژوهش‌های بعدی برای بررسی همه‌جانبه عوامل تاثیرگذار در رابطه با تغییرات عناصر سنگین، موارد زیر توصیه می‌شود:

۱. با توجه به اهمیت عناصر سنگین، لازم است، منطقه از نظر آلودگی سایر عناصر نیز بررسی شود.
۲. بررسی سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به‌منظور تعیین متغیر کمکی صورت گیرد.
۳. به‌منظور تاثیرحوزه‌های آبخیز، هر یک از بخش‌های چهارگانه تالاب با برداشت تعداد نمونه کافی به‌صورت جداگانه بررسی شود.
۴. علاوه بر رسوبات سطحی از رسوبات عمقی تالاب نیز نمونه‌برداری صورت گیرد تا تغییرات زمانی بررسی شود.
۵. احتساب پوشش گیاهی و میکروارگانیسم‌های موجود در بخش‌های مختلف تالاب که بر روی مقادیر جذب فلزات سنگین در رسوبات تالاب تاثیر گذارند، از دیگر پیشنهادهای این پژوهش برای بررسی‌های آتی می‌باشد.

## تشکر و قدردانی

از اساتید و کارشناسان پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سازمان حفاظت محیط زیست و پژوهشگران پژوهشکده حفاظت محیط زیست استان گیلان، همچنین کلیه عزیزانی که در راستای به ثمر رساندن اهداف این پژوهش مساعدت لازم را مبذول نمودند، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1. Athar, M. and SH.B. Hoora. 2003. Heavy metals and environmental. Islamic Azad University Press, Sanandaj Unit. 175 pages (in Persian).

2. Bagheri, S.M. 2013. Spatial variations of cobalt, nickel, copper and chrome elements according to some physical and chemical properties of Anzali Wetland soil. MSc Thesis, Islamic Azad University, Sciences and Researches Unit, 134 pages (in Persian).
3. Chen, T., X. Liu, K. Zhao, J. Zhang, J. Xu, J. Shi and R.A. Dahlgren. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainly analysis in a field scale vegetable soil of Hangzhou, China. Environmental Pollution, 157: 1003-1010.
4. Fereidooni, Z. 2011. Investigating spatial variability of soil pollution with some heavy metals in Qazvin province, Iran. MSc Thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 72 pages (in Persian).
5. Hamtaei, F. 2008. Wetland conservation (geographical view). Almas Danesh Press. 94 pages (in Persian).
6. Institute of Soil and Water Research. 1997. Explanation methods of chemical analysis of soil. No. 1024 (in Persian).
7. Jalali, GH., M.J. Malakooti, M.M. Tehrani and V.R. Ghasemi Dehkordi. 2011. Survey spatial distribution zinc element and determination critical limit for soybean in Mazandaran province. Journal of Soil and Water Sciences, 25: 186-178 (in Persian).
8. Khorsandi, N. 2011. Investigating spatial variations of rainfall erosivity index in Caspian Watershed. PhD Thesis, Islamic Azad University, Sciences and Researches Unit, 142 pages (in Persian).
9. Lacatusu, R. 2000. Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals. European Soil Bureau, 4: 93-102.
10. Li, Q., J. Zhou., Y. Zhang, W. Tao, Zh. Zhang, Y. Xie and X. Liu. 2011. Study on spatial distribution of soil available microelement in Quging tobacco farming area, China. Elsevier, 25: 185-191.
11. Madani, H. 2008. Basics geostatistics. Amirkabir University of Technology Press, 658 pages (in Persian).
12. Mohammadi, J. 2005. Pedometri 2. Pelk Press, 453 pages (in Persian).
13. Mousavi Kiasari, E. 2010. Survey rain erosion indices and preparation map in the Tehran, Ilam and Khorasan Razavi provinces. PhD Thesis, Islamic Azad University, Sciences and Researches Unit, 201 pages (in Persian).
14. Wu, C., Y. Luo and L. Zhang. 2010. Variability of copper availability in paddy fields in relation to selected soil properties in south-east China. Geoderma, 156: 200-206.
15. Yang, P., R. Mao, H. Shao and Y. Gao. 2009. The spatial variability of heavy metal distribution in the suburban farmland of Taihang Piedmont Plain. Biologies, 332: 558-566.
16. Zare Khosheghbal, M., F. Ghazban and M. Kohansal. 2011. Survey and analysis water and sediment pollution some watersheds translation to the Caspian. 5th Congress of Environmental, Tehran (in Persian).

# Combination of fuzzy logic and statistical land methods in mapping of copper affected by chemical properties, case study: Anzali wetland's soil

**Seyede Maryam Bagheri[*1] and Mohammadhossein Mahdian[2]**
[1] MSc, Sciences and Researches Unit, Islamic Azad University, Iran and [2] Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization

Received: 03 July 2013 Accepted: 28 December 2013

## Abstract

Due to the complexity and wide changes in wetlands' environmental factors, pollution monitoring, protection and control of soil quality is deemed to be necessary. Therefore, understanding the spatial distribution of characteristics including the concentration of heavy metals is of great importance. In this context, this study aimed to investigate the spatial variations of copper element as for some chemical properties of Anzali wetland's soil. In this regard, sampling was conducted at 48 sites of the wetland topsoil and copper concentration, pH and cation exchange capacity of their soil was determined. Inverse distance estimators, polynomials, five spline functions including regularized spline, tension spline, multi quadratic function spline, inverse multi quadratic function, thin plates spline and universal kriging and combination of above mentioned and fuzzy methods using cross-evaluation method have been examined in this research. Also, assessment criteria of Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE) and Model Efficiency (EF) were used to compare the differences between observed and estimated values and determine the appropriate method. Based on the results, fuzzy tension spline method using the auxiliary variable of cation exchange capacity (least MAE=5.64, percent error=90/11 and EF=0.3) was chosen as the preferred method in copper's distribution mapping. This method decreased the mean absolute error of 50, 56, 56, 53, 53 and 50 percent compared with techniques such as inverse distance estimators, local polynomials, universal polynomials, spline, universal kriging and fuzzy ordinary kriging, respectively. Furthermore, comparing maximum and average values of copper's allowable concentration in this study with the same values in Poland and Australia's soil standards showed that nowadays given to the data obtained from samples, the level of copper element in Anzali wetland's soil is less than the critical level.

**Key words**: Cation Exchange Capacity, Fuzzy Kriging, Fuzzy Tension Spline, Local Polynomial, Universal Polynomial

[*] Corresponding author: sm.bagheri65@gmail.com