

# تعیین منشأ، سطح آلودگی و پیش‌بینی غلظت برخی از عناصر آلاینده معدنی در خاک‌های سطحی شهر سنندج

مهین ساعدپناه<sup>۱</sup>، فرشید قربانی<sup>۲\*</sup>، جمیل امان‌اللهی<sup>۲</sup>

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲ استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

## چکیده

**زمینه و هدف:** عناصر آلاینده معدنی در محیط شهری از مهمترین معضلات زیست محیطی به شمار می‌روند. این پژوهش با هدف تعیین غلظت، توزیع مکانی و منشأیابی عناصر آلاینده آهن، روی، کلسیم، مس، منگنز و نیکل در شهر سنندج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** محدوده مورد مطالعه به ۵ منطقه طبقه‌بندی شد و تعداد ۱۰۵ نمونه خاک سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری شد. شاخص‌های فاکتور آلودگی و جامع Nemerow به منظور برآورد میزان آلودگی فلزات استفاده شد. بعلاوه، آنالیز همبستگی و تجزیه مولفه‌های اصلی برای منشأیابی عناصر مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، روش درونیابی IDW برای توزیع مکانی عناصر و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه جهت برآورد غلظت عناصر بکار رفت.

**یافته‌ها:** غلظت مس در منطقه صنعتی بسیار بالا بود و از سوی دیگر شاخص آلودگی Nemerow کمترین و بیشترین مقدار آلودگی را به ترتیب برای فضای سبز و منطقه صنعتی نشان داد. غلظت کلسیم بیشتر تحت تاثیر مناطق مسکونی و پرتراфик قرار داشت. از سوی دیگر، مناطق صنعتی و پرتراфик بیشترین تاثیر را در میزان غلظت روی و مس داشته‌اند و نیکل، آهن و منگنز تحت تاثیر ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی بودند. نتایج ضریب همبستگی شبکه عصبی برای عناصر مس، نیکل، روی، منگنز، آهن و کلسیم به ترتیب ۰/۸۲۱، ۰/۶۶۱، ۰/۷۱۱، ۰/۷۶۷، ۰/۷۱۲، ۰/۷۰۱ بدست آمد.

**نتیجه‌گیری:** غلظت عناصر روی، کلسیم و مس بیشتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و غلظت نیکل، آهن و منگنز بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی-انسانی هستند. با توجه به نتایج حاصل می‌توان استفاده از شبکه عصبی سه لایه را در تخمین غلظت فلزات توصیه نمود.

**کلمات کلیدی:** آلودگی فلزات، آنالیز چند متغیره، خاک سطحی، شبکه عصبی مصنوعی، منابع آلودگی

## مقدمه

محیط زیست شهری محیطی است که تغییرات زیادی توسط انسان پیدا کرده است تا زیستگاه متناسب با شرایط زندگی انسان فراهم سازد<sup>۱</sup>. خاک یک جزء مهم از بوم‌سازگان شهری است که بر سلامت انسان اثر دارد. خاک چرخه طبیعی آب، هوا و ماده آلی و معدنی را تنظیم می‌نماید، آب را تصفیه می‌کند، مواد را در خود انباشته و تجزیه می‌نماید و از این رو به عنوان یک بخش حیاتی در جریان ثابت ماده و انرژی در بوم‌سازگان زمین محسوب می‌شود<sup>۲</sup>. سطح کل خاک کره زمین در حدود ۱۴۴۷۷ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که بیش از ۳۰۰۰ میلیون هکتار آن در معرض آلودگی با مواد شیمیایی قرار دارد. محیط خاک سطحی ناهمگن و در حال تغییر است و ویژگی‌های اصلی آلودگی خاک از جمله پسماند، انباشت و برگشت‌ناپذیری این محیط متفاوت از آب و هوا می‌باشد. خاک اساس هستی و از دیدگاه جهانی پس از آب و هوا، سومین جزء عمده محیط زیست انسانی تلقی می‌شود، بنابراین آلودگی خاک می‌تواند یکی از موضوعات اساسی محیط زیست باشد<sup>۳</sup>. نقش خاک‌ها در سلامت انسان و سایر جانداران و همچنین تاثیر بر پراکندگی عوامل بیماری‌زا، بسیار آشکار است. اولین و ساده‌ترین دلیل این ادعا فرایند ورود عناصر موجود در خاک به زنجیره غذایی موجودات زنده می‌باشد. خاک ممکن است از طریق بلع، استنشاق و یا از طریق زخم‌ها وارد بدن و باعث امراض مختلف شود. مهمترین آلاینده‌های خاک شامل عناصر معدنی به ویژه فلزات سنگین، اسیدی شدن، آلاینده‌های آلی و فراورده‌های نفتی هستند که از این میان فلزات سنگین به واسطه طبیعت غیر قابل تجزیه، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی مورد توجه می‌باشند<sup>۴</sup>. زیست‌مندان به مقادیر بسیار کمی از برخی فلزات سنگین برای ادامه رشد و بقا نیاز دارند که به اصطلاح به آن‌ها عناصر کمیاب می‌گویند که اگر از آن حداقل مورد نیاز

و ضروری افزایش یابد باعث اختلال در رشد می‌گردند. یکی از مهمترین مباحث در مطالعات زیست محیطی تعیین غلظت عناصر کمیاب و سنگین در خاک است. غلظت عناصر کمیاب نظیر آهن و منگنز به عنوان مهمترین کلونیدهای کنترل کننده تحرک فلزات سنگین در خاک حائز اهمیت می‌باشد. هر چند این عناصر به طور طبیعی دارای غلظت کمی در خاک هستند اما پراکنش جغرافیایی آن‌ها چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسانی مشکلات و مسائلی را در بر خواهد داشت. به طور کلی، اقدامات مستقیم و اساسی مطرح شده برای پیش‌گیری و کنترل آلودگی عناصر معدنی در خاک، کنترل نقل و انتقال این عناصر و کاهش غلظت کل آن در خاک است. در نتیجه، یک مطالعه جامع برای به دست آوردن درک درستی از محتوا، توزیع، انتقال و منابع آلودگی عناصر معدنی در خاک شهری مهم است و می‌تواند یک ابزار موثر برای نظارت و ارزیابی آلودگی عناصر معدنی خاک و به طور کلی کیفیت محیط زیست منعکس شده در خاک‌ها را ارائه کند<sup>۵</sup>. پهنه‌بندی آلودگی‌های زیست محیطی اولین قدم در شناسایی گستره آلودگی‌ها به شمار می‌آید. چنین نقشه‌هایی قادر به نشان دادن خطر آلودگی با تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه بر اساس سطوح مختلف غلظت و یا به صورت مقادیر تجاوز میزان آلودگی از حدود آستانه معینی هستند<sup>۶</sup>. از جمله مطالعاتی که بتواند مقدار پراکنش آلودگی را به صورت نقشه‌های کاربردی ارائه کند، می‌توان به مطالعه چن و همکاران (۲۰۰۸)، اشاره کرد. آن‌ها در یک مطالعه زمین‌آماری به بررسی منشاء عناصر سنگین در چین پرداختند و با ترکیبی از آمار چند متغیره و زمین‌آمار مشاهده نمودند که غلظت عناصر مس، روی و سرب توسط فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود، در حالی که نیکل، کروم و کبالت به وسیله فاکتورهای طبیعی و خصوصیات خاک کنترل می‌گردد<sup>۷</sup>. برخی از پژوهشگران نیز مقیاس‌هایی را برای تبدیل

در درجه دوم اهمیت نسبت به عناصر مخاطره آمیز قرار دارند، متأسفانه به نقش این عناصر در محیط زیست توجه کافی نشده و نادیده گرفته می‌شوند. با توجه به اهمیت آلودگی عناصر این مطالعه با هدف تعیین توزیع مکانی عناصر آلاینده آهن، روی، کلسیم، مس، منگنز و نیکل در خاک‌های سطحی شهر سنندج، ارزیابی سطح آلودگی عناصر در خاک، شناسایی منابع بالقوه آلاینده‌ها و برآورد غلظت آن‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در نقاط نمونه‌برداری نشده انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان سنندج، مرکز استان کردستان با مساحت ۶۳۶۸۸ هکتار در غرب ایران و در بخش جنوبی استان کردستان قرار دارد. مختصات جغرافیایی شهر سنندج در موقعیت ۱۴ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد.

### جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها

در راستای عملیات نمونه‌برداری از سطح شهر سنندج ابتدا محدوده مورد مطالعه به ۵ منطقه مطالعاتی شامل مسکونی در دو سطح ارتفاع پائین و ارتفاع بالا (نسبت به توپوگرافی شهری)، صنعتی، پرتراфик و فضای سبز شهری طبقه‌بندی شدند. تعداد ۱۰۵ نمونه خاک سطحی به صورت ترکیبی (در هر نقطه نمونه‌برداری، ۳ نمونه خاک سطحی گرفته شد و پس از آن، به طور کامل برای به دست آوردن نمونه اصلی ترکیب شدند) از عمق ۱۰-۰ سانتی متر جمع‌آوری شد. موقعیت نقطه مرکزی ۳ نمونه فرعی توسط سیستم موقعیت‌یابی جهانی ثبت شد<sup>۱</sup>. در شکل ۱ موقعیت شهر و الگوی نمونه‌برداری نشان داده شده است. نمونه‌های شاهد (۵ نمونه خاک) در منطقه‌ای به دور از فعالیت‌های صنعتی و تردد عمومی در نظر گرفته شده و به عنوان مقادیر پس زمینه استفاده شدند. در نهایت،

نتایج عددی به دست آمده به درجه‌هایی از شدت آلودگی پیشنهاد کرده‌اند. روان‌خواه و همکاران در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی شاخص‌های زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی و تحلیل مولفه‌های اصلی در برآورد آلودگی خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل پرداختند. الگوی مکانی این شاخص‌ها نشان داد که بیشترین انباشت فلزات کادمیوم، سرب و روی در محدوده شهرک‌های صنعتی، کوره‌های آجرپزی و مناطق شهری اتفاق افتاده است و برای دو عنصر مس و نیکل انباشت بیشتر در مناطق شهری و زمین‌های کشاورزی رخ داده است. طبق تحلیل مولفه‌های اصلی دو مولفه شناسایی شد که در مولفه نخست فلزات مس، نیکل و روی و در مولفه دوم کادمیوم و سرب قرار گرفتند<sup>۸</sup>. قربانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ قابلیت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی الگوی توزیع مکانی کادمیوم در خاک را ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که شبکه عصبی آموزش دیده، دارای قابلیت بالایی در پیش‌بینی مکانی غلظت کادمیوم در نقاط نمونه‌برداری نشده با دقت تشخیص مساوی صفر درصد بود<sup>۹</sup>. بخش اعظم شهر سنندج نیز به لحاظ وضعیت ترافیکی، وضعیت توپوگرافی شهر (شکل کاسه مانند شهر) و وجود کارگاه‌های کوچک (که بعضاً با تاکید بر افزایش تولید بدون وجود تجهیزات کافی برای مهار آلودگی مشغول فعالیت‌اند) در معرض خطر آلودگی هوا، خاک و آب قرار گرفته است. شاهد این مدعا گزارش موسسه کوارتز بر اساس داده‌های سازمان بهداشت جهانی است که در سال ۲۰۱۱ سنندج را سومین شهر آلوده جهان اعلام کرد. بر این اساس مطالعات مربوط به تعیین میزان و نوع آلاینده‌های ناشی از ترافیک شهری و صنعتی و غیره موجود در خاک می‌تواند راه‌گشای ارائه راه‌حل‌های عملی در جهت سالم‌سازی محیط زیست قرار گیرد. بنابراین انجام یک مطالعه تحقیقاتی در جهت تعیین آلودگی خاک در چند نقطه از مناطق صنعتی و غیر صنعتی شهر سنندج لازم و ضروری به نظر می‌رسید. از سوی دیگر برخی از عناصر معدنی نظیر منگنز و آهن با وجود اینکه

سپس مقدار ۲ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (۳۰ درصد) به نمونه افزوده شد و تا زمانی که جوشش محلول استخراج فروکش کند حرارت داده شد. در نهایت ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ (۳۷ درصد) به نمونه اضافه گردید و تا کاهش مقدار محلول به میزان ۵ میلی‌لیتر حرارت داده شد. برای جداسازی ذرات جامد باقیمانده‌ی نمونه‌های هضم شده به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰-۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند، سپس محلول به دست آمده را به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و غلظت عناصر آهن، روی، کلسیم، مس، منگنز و نیکل با استفاده از دستگاه جذب اتمی به روش شعله (Spectrophotometer: Phoenix-986 Absorption Atomic) تعیین شدند.

### تجزیه و تحلیل آماری

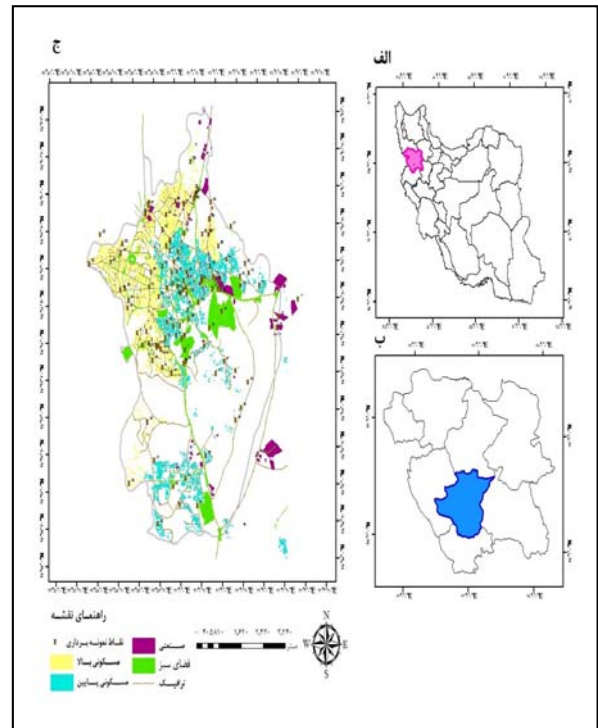
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نرمال بودن داده‌ها هیچ گونه عمل تبدیل و تغییر شکل روی داده‌ها صورت نگرفت. بنابراین از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد.

### شاخص‌های زیست محیطی

طیف وسیعی از روش‌های گوناگون برای مشخص کردن سطح آلودگی خاک وجود دارد. در تمام این روش‌ها تلاش این است که بر اساس مقایسه مناطق، تحلیل‌های آماری و استفاده از غلظت مرجع میزان آلودگی مشخص شود<sup>۱۲</sup>. از آنجا که روش‌های کمی ارزیابی آلودگی خاک به مقادیر غلظت مرجع تکیه دارند یک مشکل عمده در ارتباط با روش صحیح ارزیابی آلودگی خاک، شناسایی مقادیر مناسب مرجع در شرایطی است که خاک آلوده نشده باشد<sup>۱۳</sup>. میانگین هندسی غلظت عناصر آلاینده مورد بررسی در نمونه‌ها (n=۵) به عنوان غلظت مرجع

نمونه خاک سطحی و شاهد برای توصیف تحلیلی به آزمایشگاه منتقل شدند.

خاک‌های جمع‌آوری شده در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت به طور کامل خشک شدند سپس کوبیده شده و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. جهت استخراج عناصر از ماتریس نمونه خاک سطحی از روش استاندارد B ۳۰۵۰ که توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده پیشنهاد شده است، استفاده شد<sup>۱۱</sup>. به طور خلاصه پس از توزین یک گرم از نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) به آن افزوده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه هاضم مجهز به بازیابی بخار حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۵ میلی‌لیتر دیگر اسید نیتریک غلیظ به محلول اضافه گردید و با همان دما به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد تا بخار قهوه‌ای آن متوقف شود.



شکل ۱: موقعیت شهر سنندج در کشور (الف)، استان (ب) و الگوی نمونه‌برداری خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه (ج)

در منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

فاکتور آلودگی برای عناصر آلاینده مورد بررسی است. بر اساس این شاخص کیفیت خاک در ۵ سطح طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۲).<sup>۱۲</sup>

## فاکتور آلودگی

بر اساس فاکتور آلودگی، می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی آن‌ها سنجید و میزان آلاینده‌گی خاک را تعیین کرد. این فاکتور از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

که در آن  $C_i$  غلظت عنصر مورد بررسی و  $S_i$  غلظت عنصر مینا در نمونه مرجع است. خاک‌ها از نظر آلودگی به فلزات بر اساس فاکتور آلودگی به ۴ سطح تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی در جدول ۱ ارائه شده است.<sup>۵</sup>

## شاخص جامع آلودگی Nemerow

از این شاخص برای بررسی کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی استفاده شد. این شاخص با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$P = \frac{\sqrt{[(P_i)^2 + (\max(P_i))^2]}}{2} \quad (2)$$

که در آن  $P_i$  فاکتور آلودگی برای عنصر  $i$ ،  $\bar{P}_i$  میانگین فاکتور آلودگی برای عنصر  $i$  و  $\max(P_i)$  ماکزیم

## تجزیه مولفه‌های اصلی

روش PCA می‌تواند مبتنی بر ماتریس همبستگی (روش استاندارد) یا ماتریس واریانس-کوواریانس (روش غیر استاندارد) باشد. از روش PCA مبتنی بر ماتریس همبستگی، استفاده‌های متعددی برای تحلیل داده‌های خاک شده است.<sup>۱۴</sup> در هنگام تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، متغیرهایی که دارای همبستگی خیلی بالایی باشند، بعد از انجام PC محورها به گونه‌ای تغییر جهت داده می‌شوند که حداکثر واریانس را به خود اختصاص دهند. در این روش متغیرهای موجود در یک فضای چند حالتی همبسته به یک مجموعه از مولفه‌های غیر همبسته خلاصه می‌شوند که هر یک از آن‌ها ترکیب خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند. مولفه‌های غیر همبسته به دست آمده مولفه‌های اساسی (PC) نامیده می‌شوند که از بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس یا ماتریس همبستگی متغیرهای اصلی به دست می‌آیند.<sup>۱۵</sup>

جدول ۱: طبقه‌بندی سطح آلودگی بر اساس فاکتور آلودگی

سطح طبقه‌بندی	۱	۲	۳	۴
شاخص آلودگی	$P_i < 1$	$1 \leq P_i < 2$	$2 \leq P_i < 3$	$P_i \geq 3$
سطح آلودگی	غیرآلوده	آلودگی کم	آلودگی متوسط	بسیار آلوده

جدول ۲: مقادیر استاندارد شده شاخص جامع آلودگی (P)

سطح تقسیم‌بندی	شاخص جامع آلودگی (P)	سطح آلودگی
۱	$P \leq 0.7$	عالی
۲	$0.7 < P \leq 1$	پاک
۳	$1 < P \leq 2$	آلودگی کم
۴	$2 < P \leq 3$	آلودگی متوسط
۵	$P > 3$	بسیار آلوده

درون‌یابی IDW در محیط نرم افزار ArcGIS نسخه ۱۰ استفاده شد.

### شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه

شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، رایج‌ترین شبکه‌های عصبی می‌باشد. این شبکه‌ها جز شبکه‌های عصبی پیش‌خور می‌باشند. متداول‌ترین الگوریتم یادگیری این شبکه‌ها، الگوریتم پس انتشار خطا است. در شبکه‌های پیش‌خور نرون‌ها در لایه‌هایی که در لایه اول (ورودی)، شروع و به لایه خروجی ختم می‌شوند، آرایش می‌یابند. همچنین در این نوع شبکه، چندین لایه پنهان نیز وجود داشته و هر لایه دارای یک یا چندین نرون می‌باشد. بین نرون‌های لایه‌های مختلف اتصالاتی وجود دارد که هر کدام دارای وزن‌هایی می‌باشد. طی فرایند آموزش این وزن‌ها و مقادیر ثابتی که با آن‌ها جمع می‌شود و در اصطلاح بایاس نامیده می‌شود، به طور پی در پی تغییر می‌کنند تا خطای بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی به حداقل مقدار خود برسد. برای انتقال خروجی‌های هر لایه به لایه‌های بعدی از توابع محرک استفاده می‌شود. توابع محرک انواع مختلفی دارند که از معروف‌ترین آن‌ها تابع خطی، تابع سیگموئید، تانژانت هیپربولیک و ... را می‌توان نام برد<sup>۱۸</sup>. برای طراحی شبکه عصبی مصنوعی از جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۴b استفاده شد. برای نرمال کردن داده‌ها از رابطه (۳) استفاده شد<sup>۱۹</sup>.

$$X_n = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

که در آن  $X$  مقدار واقعی داده‌ها،  $X_{\min}$  حداقل داده‌ها مربوط به پارامتر مورد نظر و  $X_{\max}$  حداکثر داده‌ها مربوط به پارامتر مورد نظر هستند.

برای آزمون PCA عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک به ماتریس‌هایی ساخته شدند و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار PC-ORD نسخه ۵ آنالیز شدند. در PCA به منظور استاندارد کردن داده‌ها انحراف معیار داده‌ها به کار برده شد. روشی که به وسیله آن پژوهشگر قادر به تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل داده می‌باشد، آزمون‌های کایزر-مایر-الکین و بارتلت است. مقدار فاکتور کایزر-مایر-الکین بین ۰ و ۱ متغیر است. در صورتی که این فاکتور بزرگتر از ۰/۵ به دست آید، این امر نشان دهنده امکان اجرای تجزیه به مولفه اصلی روی متغیرهای ورودی است<sup>۱۶</sup>. آزمون بارتلت برای نشان دادن همگنی واریانس داده‌ها است و مقادیر Sig به دست آمده برای این آزمون باید کمتر از ۰/۰۵ باشد.

### فاصله معکوس وزن‌دار

این روش جزء روش‌های قطعی است و برای نواحی ناهموار مانند نواحی کوهستانی غرب کشور به کار برده می‌شود. شاید بتوان گفت که این روش‌ها پیش درآمد روش‌های زمین‌آماري هستند، زیرا برای نخستین بار بحث تاثیر نمونه‌ها بر یکدیگر در این روش‌ها مطرح شد. روش درون‌یابی IDW بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد به بیانی دیگر پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیکترین نقاط برداشت شده دارد، لذا برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این مدل از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود. به همین دلیل است که این مدل Inverse Distance Wighted نام گرفته است<sup>۱۷</sup>. به منظور شناسایی هر چه بهتر مناطق آلوده و یا در معرض آلودگی به عناصر آلاینده، به تهیه نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی پرداخته شد. از روش

## یافته‌ها

### توصیف آماری داده‌ها

در مناطق مورد مطالعه به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۵۵، ۱/۵۵، ۰/۹۰، ۰/۷۹ و ۵۳/۴۲، ۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. محدوده تغییرات غلظت عناصر به ترتیب ۸۴، ۲۸، ۵۴، ۲۵، ۲۶ و ۵۲ به دست آمد.

توصیف آماری عناصر آلاینده خاک در نمونه‌های برداشت شده از مناطق مطالعاتی در جدول ۳ خلاصه شده است. میانگین غلظت عناصر مس، منگنز، کلسیم، نیکل، آهن و روی

جدول ۳: نتایج آماری غلظت عناصر آلاینده مورد بررسی در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

پارامتر مورد بررسی	کلسیم	روی	منگنز	آهن	نیکل	مس
تعداد	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵
میانگین	۹۰/۹۰	۰/۷۹	۱/۵۵	۵۳/۴۲	۰/۲۸	۰/۳۷
ضریب تغییرات (%)	۵۴	۵۲	۲۸	۲۶	۲۵	۸۴
میانه	۷۷/۱۳	۰/۶۳	۱/۵۰	۵۲/۴۴	۰/۲۵	۰/۳۰
مد	۳۳/۶۳	۰/۶۰	۱/۵۲	۳۷/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۳
انحراف معیار	۴۹/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۴	۱۳/۴۴	۰/۰۷	۰/۳۱
حداقل	۲/۵۱	۰/۳۲	۰/۷۷	۲۹/۹۰	۰/۱۵	۰/۰۹
حداکثر	۲۳۲/۶۵	۲/۳۷	۳/۵۵	۹۵/۹۱	۰/۵۵	۲/۲۱
میانگین غلظت مرجع	۶۲/۳۳	۱/۱۰	۱/۴۳	۶۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۳

وضعیت آلودگی خاک به عناصر مورد بررسی

جدول ۴: مقادیر فاکتور آلودگی و غلظت مرجع عناصر مورد بررسی

مناطق مطالعاتی	کلسیم	روی	منگنز	آهن	نیکل	مس
مسکونی با ارتفاع بالا	۱/۲۷	۰/۷۹	۱/۲۲	۰/۸۶	۰/۹۱	۱/۰۷
مسکونی با ارتفاع پایین	۱/۶۶	۰/۸۳	۱/۰۸	۰/۹۴	۰/۹۴	۱/۱۳
فضای سبز	۱/۴۸	۰/۸۴	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۷۶	۱/۰۲
صنعتی	۱/۱۷	۱/۶۴	۱/۰۹	۰/۹۰	۱/۰۳	۳/۵۲
پرتراфик	۱/۶۲	۱/۳۹	۱/۰۲	۰/۸۸	۰/۸۶	۱/۴۹
میانگین فاکتور آلودگی	۱/۴۵	۱/۱۰	۱/۰۸	۰/۸۸	۰/۹۱	۱/۶۴
میانگین غلظت مرجع	۶۲/۳۳	۰/۷۱	۱/۴۳	۶۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۳

جدول ۵: فاکتور جامع آلودگی Nemerow

مناطق مطالعاتی	مسکونی بالا	مسکونی پایین	فضای سبز	صنعتی	پرتراфик	ارزیابی کلی
فاکتور جامع	۲/۶۸	۲/۷۴	۱/۲۱	۶/۸۶	۲/۴۹	۶/۸۲
سطح آلودگی	آلودگی متوسط	آلودگی متوسط	آلودگی کم	بسیار آلوده	آلودگی متوسط	بسیار آلوده

شناسایی منابع عناصر آلاینده مورد بررسی

## فاکتور آلودگی

تعیین غلظت عناصر آلاینده به تنهایی نمی‌تواند برآورد درستی از میزان آلودگی آن‌ها باشد<sup>۲۰</sup>. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است زیرا شرایط اقلیمی و زمین‌شناختی در نقاط مختلف، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد خواهد کرد<sup>۲۱</sup>. بر اساس داده‌های غلظت مرجع خاک، فاکتور آلودگی عناصر و میانگین مقادیر آن‌ها در مناطق اصلی مختلف نشان داده شده در جدول ۴ محاسبه شدند. به طور کلی، خاک‌های منطقه فضای سبز پایین‌ترین فاکتور آلودگی از عناصر آلاینده مورد بررسی را داشت. علاوه بر این، منطقه صنعتی مورد نظر به شدت آلوده به مس می‌باشد. مناطق ۵ گانه مطالعاتی نیز دارای آلودگی متوسطی به کلسیم بودند.

## شاخص جامع آلودگی Nemerow

جدول ۵ شاخص جامع آلودگی Nemerow ۶ عنصر در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که مناطق صنعتی دارای آلودگی بالا و مناطق مسکونی و پرتراфик دارای

آلودگی متوسط بودند. شاخص جامع آلودگی مناطق ۵ گانه شهر سنندج ۶/۸۲ شد، که نشان می‌دهد خاک در این مناطق شهری بسیار آلوده به عناصر مورد بررسی است.

## آنالیز همبستگی

جدول ۶ ماتریس همبستگی پیرسون عناصر در خاک‌های سطح شهر را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین روی و مس ۰/۵۶۵ و بین آهن و کلسیم ۰/۳۱۴ در سطح  $P < 0/01$  است که نشان می‌دهد یک رابطه خطی قوی‌تر نسبت به سایر عناصر مورد بررسی را دارد و احتمالاً از منابع مشترک سرچشمه گرفته است. ضریب همبستگی بین نیکل و مس ۰/۲۴، منگنز و آهن ۰/۲۳۶، روی و منگنز ۰/۲۳۰، آهن و نیکل ۰/۲۱۰ در سطح  $P < 0/05$  می‌باشد. همانطور که نتایج ضریب همبستگی نشان می‌دهد با استفاده از این ضریب فقط وجود یا عدم وجود منبع تولید مشترک فلزات در خاک مشخص می‌شود و برای شناسایی دقیق‌تر منابع تولید باید از آزمون PCA استفاده کرد.

جدول ۶: ماتریس همبستگی پیرسون عناصر آلاینده در کل نمونه‌های خاک

عناصر	مس	نیکل	آهن	منگنز	روی	کلسیم
مس	۱					
نیکل	۰/۲۴۰*	۱				
آهن	۰/۰۶۸	۰/۲۱۰*	۱			
منگنز	۰/۱۳۱	۰/۱۵۰	۰/۲۳۶*	۱		
روی	۰/۵۶۵**	۰/۱۰۹	۰/۱۶۷	۰/۲۳۰*	۱	
کلسیم	۰/۰۰۳	۰/۰۳۲	۰/۳۱۴**	۰/۰۴۳	۰/۰۳۱	۱

\* همبستگی در سطح ۰/۰۵ \*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱



**جدول ۷:** نتایج آزمون کایزر-مایر-الکین و بارتلت برای داده‌های عناصر مورد بررسی در خاک

آزمون کایزر-مایر-الکین	آزمون بارتلت
کفایت اندازه نمونه‌ها	Approx. Chi-Square
۰/۵۴۷	۷۳/۹۲۹
	Df
	۱۵
	Sig
	۰/۰۰۰

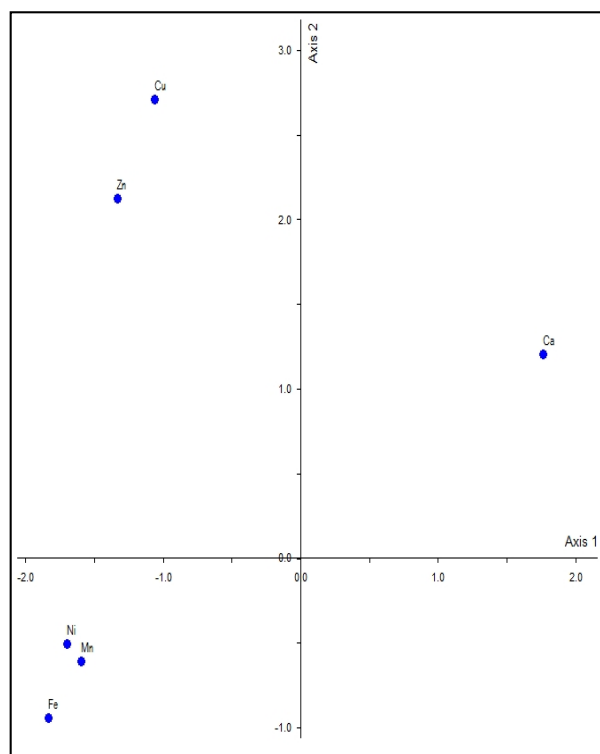
### نتایج ارزیابی داده‌ها با استفاده از PCA

تجزیه مولفه‌های اصلی یک روش موثر در مشخص کردن نقش انسان در مقیاس مکانی می‌باشد. نتایج به دست آمده از آزمون کایزر-مایر-الکین و بارتلت در جدول ۷ نشان داده شده است. در آزمون کایزر-مایر-الکین مقدار ۰/۵۴۷ و آزمون بارتلت = ۰ Sig آن اشاره می‌کند که داده‌ها برای تجزیه مولفه اصلی مناسب است و از توزیع نرمال چند متغیره پیروی می‌کند. بنابراین، توزیع فلزات متقابلاً مستقل از هم نیستند.

بر این اساس ابتدا داده‌ها با استفاده از انحراف معیار هم-وزن شدند و تغییرات میزان غلظت عناصر آلاینده در بین نمونه‌های خاک نسبت به محورهای حاصل از آزمون PCA به دست آمد (شکل ۲).

نتایج تجزیه ۳ مولفه اول در جدول ۸ نشان می‌دهد که مقادیر ویژه محورهای ۱ و ۲ به ترتیب ۳/۷۰۳ و ۱/۱۳۱ بوده که محور ۱ به تنهایی ۶۱/۷۱۳ درصد و محور ۲ نیز ۱۸/۸۴۴ درصد تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند.

از نتایج به دست آمده در جدول ۹ که همبستگی مکان نمونه‌برداری در ۵ منطقه مختلف با ۲ محور اصلی اول را نشان می‌دهد، برای شناسایی عوامل اثرگذار بر روی پراکنش عناصر مورد بررسی استفاده شد.



**شکل ۲:** دیاگرام دو بعدی حاصل از داده‌های عناصر آلاینده مورد بررسی در خاک

**جدول ۸:** نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی (۳ مولفه اول)

محورها	مقادیر ویژه	درصد آریانس	درصد تجمعی واریانس
۱	۳/۷۰۳	۶۱/۷۱۳	۶۱/۷۱۳
۲	۱/۱۳۱	۱۸/۸۴۴	۸۰/۵۵۷
۳	۰/۴۴۰	۷/۳۳	۸۷/۸۹۰

تعیین منشاء، سطح آلودگی و پیش‌بینی غلظت برخی از عناصر آلاینده معدنی در خاک‌های سطحی شهر سنندج

جدول ۹: همبستگی اجزای تشکیل دهنده دو مولفه اول با مکان‌های نمونه‌برداری

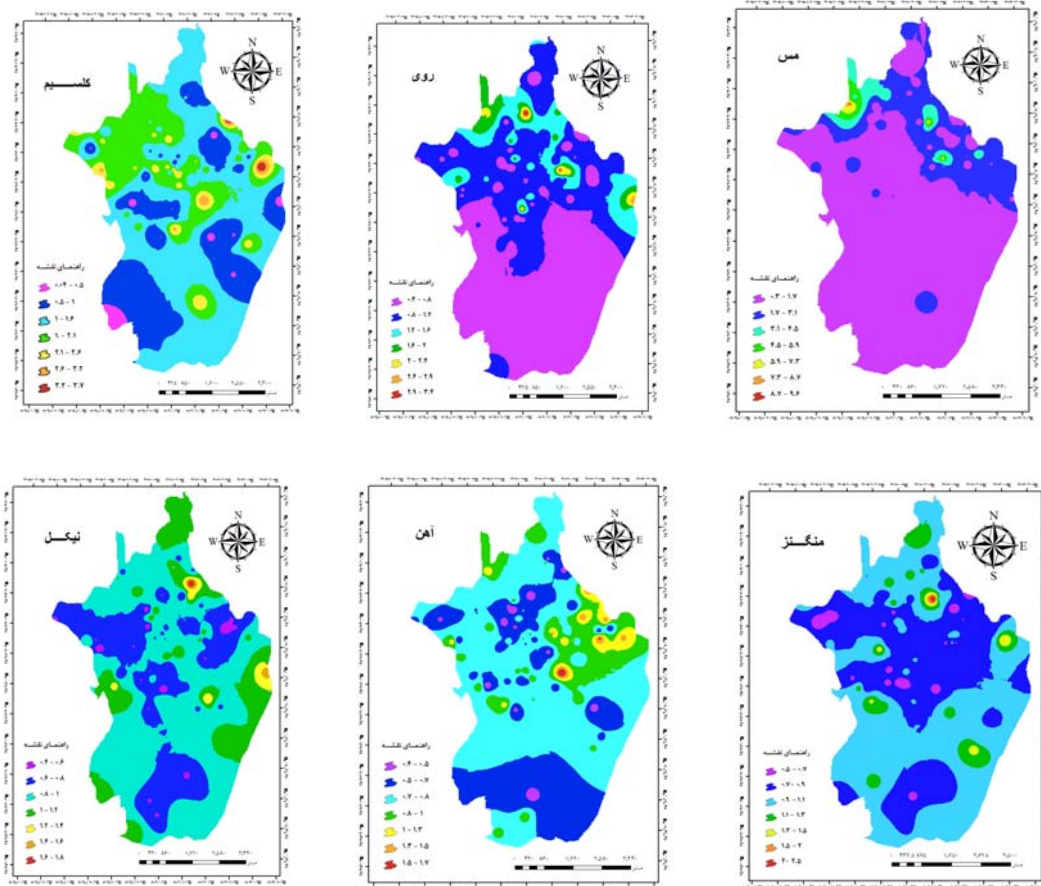
ایستگاه	محور ۱	محور ۲	ایستگاه	محور ۱	محور ۲	ایستگاه	محور ۱	محور ۲
Par1	۰/۶۲۲	-۰/۱۶۲	Tra20	-۱/۷۲۵	۲/۸۲۸	HLi11	-۵/۹۴۰	-۱/۶۸۷
Par2	-۰/۸۵۳	-۰/۶۵۹	Tra21	۱/۷۲۶	-۰/۲۵۱	HLi12	۱/۴۷۴	-۰/۴۶۵
Par3	۰/۰۵۳	۰/۱۰۸	Tra22	۱/۴۹۶	-۰/۵۳۳	HLi13	-۲/۷۴۷	-۱/۴۸۷
Par4	-۱/۵۱۵	-۱/۲۴۲	Tra23	۱/۰۷۰	-۰/۲۳۷	HLi14	۲/۷۹۰	-۰/۴۳۱
Par5	-۱/۰۹۳	-۰/۶۸۳	Tra24	-۰/۷۴۹	۱/۶۳۸	HLi15	-۲/۷۶۲	-۱/۱۷۴
Par6	-۰/۲۹۵	-۰/۵۷۷	Ind1	-۱/۵۰۳	-۰/۰۵۴	HLi16	-۱/۸۰۰	-۰/۹۱۷
Par7	۲/۳۵۸	-۰/۳۷۶	Ind2	-۲/۰۲۸	۱/۶۶۷	HLi17	-۳/۵۷۱	-۱/۶۵۰
Par8	۰/۷۴۲	۰/۳۶۸	Ind3	-۵/۲۳۶	-۰/۱۴۸	HLi18	۰/۲۱۳	-۰/۷۱۹
Par9	۰/۴۴۵	-۰/۱۰۵	Ind4	-۳/۸۲۲	۳/۳۳۴	HLi19	-۲/۰۸۰	-۱/۳۶۷
Par10	-۰/۳۷۷	-۰/۶۵۲	Ind5	-۳/۱۸۳	۳/۱۷۷	HLi20	-۱/۲۴۶	-۰/۶۱۴
Par11	۲/۷۰۶	-۰/۰۹۹	Ind6	-۰/۸۶۸	۱/۸۴۴	HLi21	۲/۵۰۸	۰/۲۸۵
Par12	۱/۸۸۵	-۰/۲۲۸	Ind7	-۱/۵۱۶	۴/۵۳۹	LLi1	-۲/۶۹۳	-۰/۲۹۴
Par13	۲/۱۱۰	-۰/۳۲۹	Ind8	۰/۸۸۰	۱/۷۶۹	LLi2	-۱/۱۵۷	-۱/۰۵۳
Par14	۲/۴۲۶	۰/۰۸۴	Ind9	-۰/۷۹۷	۱/۰۹۱	LLi3	۰/۹۳۳	-۰/۱۴۳
Par15	۲/۴۷۷	۰/۱۱۵	Ind10	۰/۷۵۳	۱/۵۹۶	LLi4	۰/۷۲۶	-۰/۳۷۹
Par16	۲/۲۲۳	۰/۰۹۵	Ind11	۰/۴۵۱	۱/۳۰۳	LLi5	۲/۳۷۹	-۰/۲۱۵
Tra1	-۰/۷۹۰	۰/۹۲۵	Ind12	-۰/۷۲۹	۱/۹۸۴	LLi6	-۱/۷۶۳	-۰/۹۳۶
Tra2	-۰/۳۷۴	-۰/۰۷۲	Ind13	-۰/۹۵۲	۲/۵۹۱	LLi7	-۳/۲۴۲	-۱/۲۴۵
Tra3	۲/۵۲۸	۰/۱۳۶	Ind14	-۱/۷۲۷	۱/۴۷۰	LLi8	۲/۵۱۷	۰/۲۱۹
Tra4	۰/۱۸۷	-۰/۱۵۸	Ind15	-۱/۲۵۲	۱/۴۴۶	LLi9	-۰/۵۳۴	-۰/۳۱۱
Tra5	-۱/۹۴۶	-۰/۴۴۹	Ind16	-۰/۳۶۲	-۰/۳۵۰	LLi10	۰/۳۹۹	-۰/۷۹۹
Tra6	-۰/۵۸۱	۰/۷۶۲	Ind17	-۳/۴۳۹	-۰/۹۷۰	LLi11	۱/۰۶۷	-۰/۲۴۰
Tra7	-۱/۰۷۴	۰/۵۷۹	Ind18	-۰/۹۶۱	۰/۴۴۴	LLi12	-۳/۲۸۵	-۱/۲۲۶
Tra8	۰/۰۱۴	-۰/۰۸۱	Ind19	۱/۰۲۰	-۰/۱۵۷	LLi13	-۱/۷۴۳	-۱/۱۴۶
Tra9	۰/۵۲۱	-۰/۲۳۰	Ind20	۰/۶۴۰	۰/۳۵۹	LLi14	۲/۳۰۱	-۰/۶۸۱
Tra10	۰/۲۰۶	۰/۰۹۹	HLi1	۲/۱۴۳	۰/۲۴۵	LLi15	۲/۳۰۰	-۰/۱۴۰
Tra11	۰/۴۲۳	-۰/۲۶۷	HLi2	۱/۹۱۱	-۰/۲۳۱	LLi16	۱/۴۹۶	-۰/۵۸۴
Tra12	۲/۰۰۳	۰/۲۲۷	HLi3	۰/۴۶۸	-۰/۹۹۳	LLi17	-۱/۰۸۹	-۱/۶۳۰
Tra13	۲/۰۱۰	-۰/۱۰۰	HLi4	۰/۷۸۶	-۰/۳۹۹	LLi18	-۰/۹۱۵	-۱/۵۱۰
Tra14	۲/۵۳۷	-۰/۰۱۳	HLi5	-۲/۰۵۷	۰/۴۱۹	LLi19	۲/۴۸۳	-۰/۳۸۵
Tra15	۱/۳۲۳	۰/۷۸۶	HLi6	-۰/۸۰۸	-۱/۰۶۵	LLi20	۱/۹۹	۰/۲۹۳
Tra16	۱/۵۵۶	۰/۰۴۹	HLi7	-۱/۰۶۵	-۱/۰۰۰	LLi21	۲/۴۰۹	۰/۱۸۲
Tra17	۱/۶۷۶	۰/۴۳۶	HLi8	۰/۶۸۹	-۰/۳۷۵	LLi22	۲/۱۸۵	-۰/۱۹۲
Tra18	-۰/۴۸۳	۰/۶۱۴	HLi9	۰/۴۹۰	-۰/۲۳۵	LLi23	۲/۰۶۵	۰/۰۸۸
Tra19	۲/۳۴۶	۰/۱۶۱	HLi10	-۰/۵۳۷	-۰/۶۶۱	LLi24	۲/۷۳۹	-۰/۲۶۲

غلظت بالا کمک می‌کند. نقشه حاصل از فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی در کل منطقه شهری سنندج در شکل ۳ ارائه شده است. حداقل مقدار غلظت مس  $0/3$  و حداکثر  $9/6$  میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. عنصر روی دارای غلظت حداقل  $0/4$  و حداکثر  $3/4$  میلی‌گرم بر کیلوگرم است. عنصر آهن با حداقل مقدار غلظت  $0/4$  و حداکثر  $1/7$  میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و حداقل مقدار غلظت منگنز  $0/5$  و حداکثر آن  $2/5$  میلی‌گرم بر کیلوگرم شد. حداقل و حداکثر مقدار غلظت نیکل به ترتیب  $0/4$  و  $1/8$  میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. حداقل مقدار غلظت کلسیم  $0/04$  و حداکثر آن  $3/7$  میلی‌گرم بر کیلوگرم شد.

با توجه به محل قرار گرفتن عناصر آلاینده نسبت به محورهای ۱ و ۲ در شکل ۲ و نتایج بدست آمده در جدول ۹ می‌توان نتیجه گرفت که غلظت کلسیم تحت تاثیر مناطق ۵ گانه نمونه‌برداری به ویژه منطقه مسکونی و پرتراфик قرار دارد. محل قرار گرفتن روی و مس نسبت به محور ۲ نشان می‌دهد که مناطق صنعتی و پرتراфик بیش‌ترین تاثیر را در میزان غلظت روی و مس داشته است. نیکل، آهن و منگنز تحت تاثیر ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی می‌باشند.

### توزیع مکانی عناصر آلاینده مورد بررسی

توزیع مکانی غلظت عناصر آلاینده، ابزار بصری مفیدی است که به بررسی منابع احتمالی و شناسایی نقاط داغ با



شکل ۳: نقشه توزیع مکانی فاکتور آلودگی عناصر آلاینده

## نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در برآورد

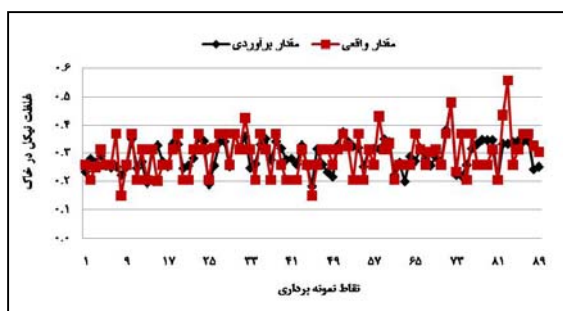
### غلظت عناصر آلاینده

مقادیر عوامل موثر در میزان غلظت عناصر آلاینده از جمله مختصات نقاط نمونه‌برداری یعنی طول جغرافیایی (X)، عرض جغرافیایی (Y)، به همراه ارتفاع نمونه‌برداری (Z) به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی و میزان غلظت عناصر اندازه‌گیری شده بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم به منزله تابع خروجی (هدف) شبکه در نظر گرفته شد. برای استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی باید داده‌ها به سه قسمت آموزش (معلوم/ در حین آموزش از آن‌ها استفاده می‌شود)، آزمون (نامعلوم/ پس از آموزش از آن‌ها استفاده می‌شود) و اعتبارسنجی (نامعلوم/ در حین آموزش از آن‌ها استفاده می‌شود) -

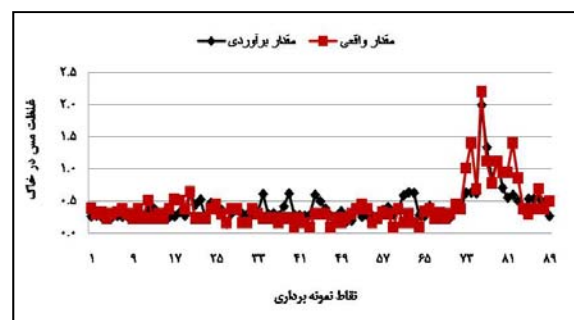
شود) تقسیم شوند. در این پژوهش ۷۰ درصد داده‌های مورد نظر برای طراحی شبکه، برای آموزش، ۱۵ درصد داده‌ها برای تست و ۱۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی به کار برده شد. برای ارزیابی نتایج از معیارهای ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده شد (جدول ۱۰). نتایج شبیه‌سازی شده غلظت عناصر در خاک سطحی شهر سنندج در مرحله آموزش (شکل ۴ تا ۹) و آزمون (شکل ۱۰ تا ۱۵) ارائه شده است. میزان تغییرات خطای متوسط فرایند شبیه‌سازی غلظت فلزات حاصل از مدل عصبی، در نوسان بود. به طور کلی کم‌ترین میزان خطا در مرحله آموزش مربوط به عنصر نیکل (۰/۰۵) و بیش‌ترین میزان خطا مربوط به عنصر کلسیم (۳۱) بود.

جدول ۱۰: نتایج ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه

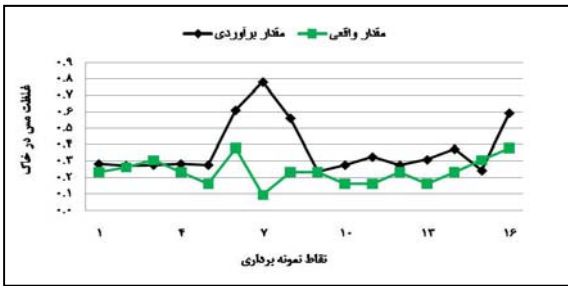
آموزش			آزمون			عناصر
MAE	RMSE	R	MAE	RMSE	R	
۰/۱	۰/۲	۰/۸۱۴	۰/۰۰۴	۰/۲	۰/۸۲۱	مس
۰/۰۵	۰/۱	۰/۶۵۴	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۶۶۱	نیکل
۰/۰۱	۰/۲	۰/۷۲۹	۰/۰۱	۰/۳	۰/۷۱۱	روی
۰/۱	۰/۴	۰/۷۳۳	۰/۰۲	۰/۳	۰/۷۶۷	منگنز
۴	۱۴	۰/۶۹۲	۰/۶	۱۰	۰/۷۱۲	آهن
۳	۴۴	۰/۶۶۴	۱	۳۱	۰/۷۰۱	کلسیم



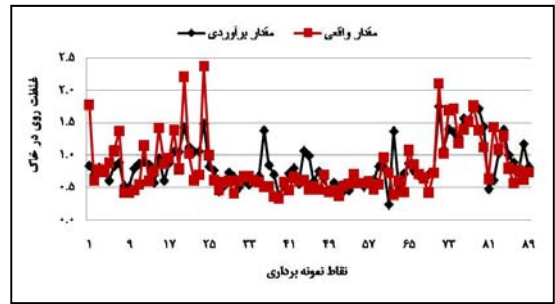
شکل ۵: نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت نیکل در خاک در مرحله آموزش



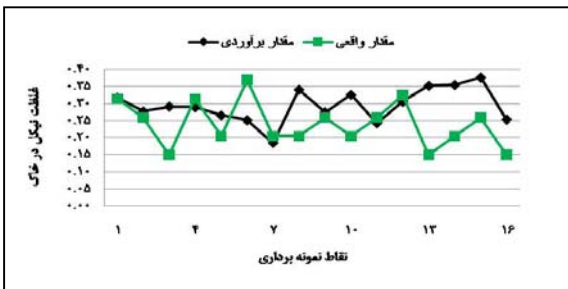
شکل ۴: نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت مس در خاک در مرحله آموزش



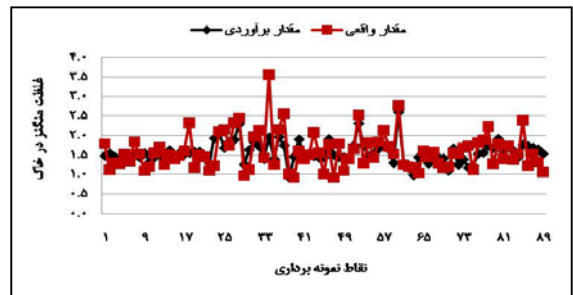
**شکل ۱۰:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت مس در خاک در مرحله آزمون



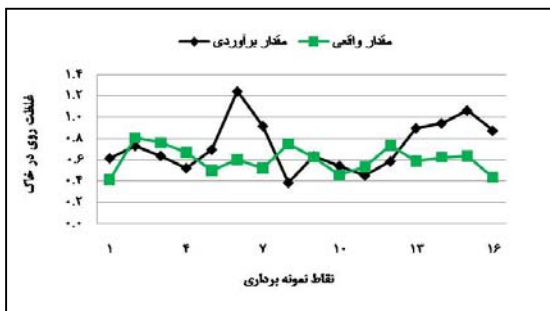
**شکل ۶:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت روی در خاک در مرحله آموزش



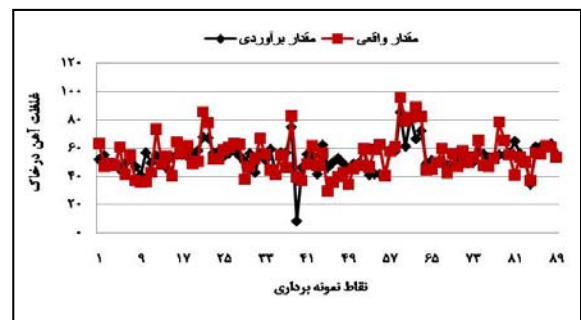
**شکل ۱۱:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت نیکل در خاک در مرحله آزمون



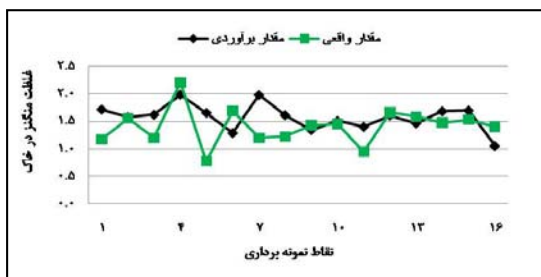
**شکل ۷:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت منگنز در خاک در مرحله آموزش



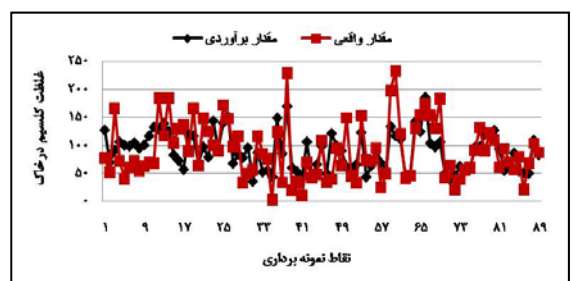
**شکل ۱۲:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت روی در خاک در مرحله آزمون



**شکل ۸:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت آهن در خاک در مرحله آموزش

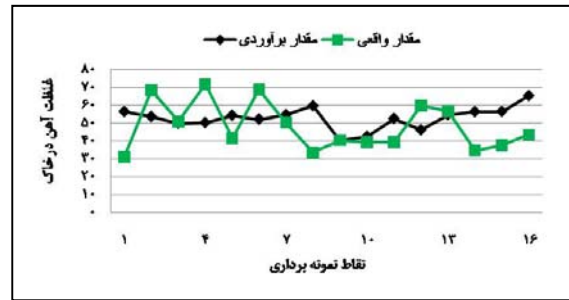


**شکل ۱۳:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت منگنز در خاک در مرحله آزمون

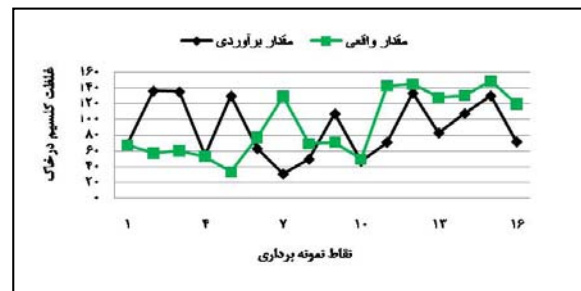


**شکل ۹:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت کلسیم در خاک در مرحله آموزش

مس، روی، آهن و کلسیم در صنایع کاربرد دارند و همچنین در محیط زیست شهری دارای غلظت فراوان‌ترند بیان‌کننده منشاء انسان‌زاد آن‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که منطقه شهری تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی منجر به تجمع عناصر آلاینده مس، روی و کلسیم شده است. تجمع غلظت عناصر آلاینده به صورت آهن > نیکل > منگنز > روی > کلسیم > مس کاهش یافته است. نتایج به دست آمده از فاکتور آلودگی با نتایج حاصل از مطالعه افشاری و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از آن است که کاربری اراضی شهری باعث افزایش غلظت عناصر سرب، روی، کادمیوم و مس شده است، این در حالی است که میانگین فاکتور آلودگی عناصر کبالت، کروم، نیکل، منگنز و آهن پایین‌تر بوده و مقدار آن کمتر از یک است که در کلاس آلودگی کم قرار دارند<sup>۳۳</sup>. نتایج حاصل از شاخص جامع آلودگی Nemerow نشان داد که سطوح آلودگی عناصر آلاینده در مناطق اصلی مختلف به صورت زیر کاهش یافته است. منطقه فضای سبز > منطقه پرتراپیک > منطقه مسکونی با ارتفاع پایین > منطقه مسکونی با ارتفاع بالا > منطقه صنعتی. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی به همه فلزاتی که در منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد مشخص می‌شود. ژئو و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص جامع آلودگی Nemerow تعیین کردند که مناطق مسکونی و صنعتی، جاده و حوزه پارک دارای آلودگی بالا و در منطقه کوهستانی آلودگی پایین بوده است<sup>۵</sup>. در این مطالعه برای این که تفاوت‌ها و منشأیابی به خوبی صورت گیرد از عناصر آلاینده آهن، روی، کلسیم، مس، منگنز و نیکل در تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد. از مهمترین منابع انتشار مس و روی در خاک‌های شهر سنجند می‌توان به ترافیک و فعالیت‌های وابسته به آن مانند پمپ بنزین‌ها، باطری‌سازی‌ها، تعویض روغن‌ها، نقاشی و صافکاری اتومبیل و فرایندهای مختلف صنعتی اشاره کرد. میکو و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی



شکل ۱۴: نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت آهن در خاک در مرحله آزمون



شکل ۱۵: نتایج حاصل از شبیه‌سازی غلظت کلسیم در خاک در مرحله آزمون

## بحث

میانگین بیشتر از مقادیر پس زمینه نشان دهنده ورود عناصر از منابع آنتروپوژنیک در منطقه دارد<sup>۲۲</sup>. این مسئله در مورد غلظت عناصر مس، منگنز و کلسیم صادق بوده و در مورد سایر عناصر کم‌تر از غلظت مقادیر پس زمینه است. بر اساس این نتایج ممکن است این عناصر ناشی از منابع طبیعی مانند ساختار زمین‌شناسی منطقه باشد. ضریب تغییرات عناصر مس، روی و کلسیم در نقاط اندازه‌گیری شده بیشتر از ۵۰ درصد است که بیانگر وجود تغییرات زیاد غلظت این عناصر در خاک مناطق مورد مطالعه می‌باشد. اما برای سایر عناصر ضریب تغییرات کمتر از ۵۰ درصد بیانگر تغییرات همگن و یکنواخت عناصر در منطقه مورد مطالعه بوده و بیانگر محدود بودن عوامل دخیل در تغییرات آن‌ها است. ضریب همبستگی بالا بین فلزات بیان‌کننده منشأ آلودگی یکسان و عامل کنترل‌کننده مشترک این فلزات است. با توجه به این که فلزات

بالاترین غلظت نیکل و منطقه مسکونی با ارتفاع پایین (مناطق مسکونی قدیمی) بالاترین غلظت کلسیم در شهر سنندج را داشت (شکل ۳). شای و همکاران (۲۰۰۸) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی شانگ‌های بررسی کردند. آن‌ها منبع ورود عناصر روی، سرب و مس را به طور عمده فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی را عامل افزایش نیکل به محیط عنوان کردند<sup>۲۵</sup>. خطای داده‌ها در مرحله آموزش نسبت به مرحله تست مقدار پایین‌تری دارد و عملکرد بهتری نشان می‌دهد و بیان‌گر این نکته است که شبکه به نحو مطلوب و خوبی آموزش دیده است. انتخاب بهترین ساختار شبکه‌های عصبی قالب مشخصی ندارد و با سعی و خطا انجام می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

کیفیت زندگی بر روی زمین رابطه نزدیکی با کیفیت محیط زیست دارد. خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند طبیعت و منبع درآمد و تولید و اساس جمیع تمدن مادی است. از آنجایی که خاک روز به روز به قبرستان مواد زیان‌بخش تبدیل شده و بیش‌تر از آب و هوا بر بار آلودگی آن افزوده می‌شود و بر اثر ایجاد ساختمان، راه و تاسیسات شهری و صنعتی مقدار زیادی خاک از گردش طبیعی خارج می‌شود حفاظت و پاک‌سازی آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که فاکتور آلودگی هر یک از عناصر در مناطق مختلف متفاوت است. تاثیر مناطق ۵گانه شهر سنندج بر افزایش نسبی غلظت عناصر مس، روی و کلسیم آشکارتر است. با توجه به پایین بودن سطح آلودگی در منطقه فضای سبز می‌توان نتیجه گرفت که وجود این مناطق در سطح شهر می‌تواند در کاهش آلودگی موثر باشد. به طور کلی نتایج نشان داد که همواره عوامل انسانی و طبیعی همزمان در پراکنش و میزان غلظت عناصر آلاینده دخیل هستند. غلظت روی، کلسیم و مس بیش‌تر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و غلظت نیکل، آهن و منگنز بیش‌تر تحت کنترل عوامل طبیعی و انسانی بودند.

منابع آلودگی فلزات سنگین با استفاده از آنالیز چند متغیره در خاک‌های کشاورزی اروپا منطقه مدیترانه فلزات سرب، روی، مس و کادمیوم را در یک گروه قرار دادند و آن‌ها را متاثر از ذرات گرد و غبار آزاد شده توسط ترافیک و فعالیت‌های صنعتی در منطقه گزارش کردند<sup>۴</sup>. غلظت کلسیم تحت تاثیر هر ۵ منطقه مطالعاتی به ویژه منطقه مسکونی و پرترافیک قرار دارد. دلیل احتمالی افزایش کلسیم در این مناطق گرد و غبار معدنی ناشی از فعالیت‌های تخریب و ساخت و ساز ساختمان در سطح شهر می‌باشد. معمولا سیمان شامل ۸۰ درصد مواد معدنی کلسیم و عمدتاً مابقی، نسبتی از فیلوسیلیکات-خاک رس است که در تشکیل ماسه، سنگ فرش و بتن به کار می‌رود<sup>۲۴</sup>. با توجه به این که آهن و منگنز، عموماً عناصری با منشأ طبیعی می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت احتمالاً بخش عمده این فلزات از منابع سنگ‌زاد بوده و همچنین با توجه به حضور نیکل، در میان آن‌ها احتمال منابع انسان‌زاد آن‌ها با وجود فعالیت‌های صنعتی دور از انتظار نیست. از آنجایی که هرگونه عملیات اصلاحی و یا مدیریت خاک مبتنی بر اطلاعات و داده‌های خاک در مناطق مختلف می‌باشد لذا استفاده از ابزارهای مناسب و سریع در پردازش داده‌ها و تعمیم آن‌ها به نقاط مجهول و ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند بسیار سودمند باشد. توزیع مکانی مس و روی الگوهای مشابه‌ای دارند، تغییرات مکانی آن‌ها نسبتاً کمتر است. قسمت شمال غربی شهر واقع در منطقه صنعتی به شدت آلوده به مس می‌باشد. از نقشه توزیع مکانی روی پیداست که بالاترین غلظت منطقه در بخش شمالی و مرکز شهر (منطقه صنعتی و تا حدودی منطقه پرترافیک) واقع شده است. نقشه توزیع مکانی آهن و منگنز نشان می‌دهد که تغییرات مکانی متوسطی داشته و بخش مرکزی شهر (منطقه مسکونی با ارتفاع پایین) دارای بالاترین غلظت آهن و بخش شمالی شهر شامل منطقه مسکونی با ارتفاع بالا دارای بالاترین غلظت منگنز بوده است. نقشه توزیع مکانی نیکل و کلسیم حاکی از تغییرات مکانی نسبتاً بالا بوده و منطقه صنعتی

منطقه‌ای به صورت بصری درجه نفوذ انسان در محیط زیست را مشاهده کرد. شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه نشان داد که از قابلیت بالایی در تعمیم داده‌های آزمایش به سایر مناطق برخوردار می‌باشد. لذا شبکه عصبی مصنوعی مذکور می‌تواند در سایر مناطق و مطالعات مشابه به عنوان ابزار مفید و سریع به کار گرفته شده و با مدیریت مبتنی بر اطلاعات مکانی، در کاهش هزینه‌های ناشی از حضور عناصر آلاینده در خاک به طور مؤثری مفید واقع گردد.

به همین دلیل برای حفظ تعادل بوم‌سازگان، سلامت انسان، شناسایی اثرات سوء وارده بر محیط زیست خاکی و مدیریت مناسب محیط زیست نیاز است تا غلظت زمینه و یا حدود اطمینان زیست محیطی با توجه به شرایط اقلیمی، منطقه‌ای و ویژگی‌های خاک برآورد گردند. مجموعه روش‌های مختلف کمی و کیفی ارزیابی آلودگی خاک به همراه روش‌های پهنه‌بندی به طور همزمان درک بهتری از وسعت آلودگی را فراهم می‌سازند. با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان در مقیاس

## References

1. Salmasi R. Geochemistry of Heavy Metals in Urban Environment. HE 2013: 13-7 [In Persian].
2. Veravipour M. Soil Pollution. Jahad University Press 2011: 247 [In Persian].
3. Firozbakht S, Gitipour S, Valizadeh R, Ghorbanzadeh jalaeeyan S. The Importance of Soil, Polluting Resources and Soil Recycling Methods. Second Conference on Resource Planning and Management, Tehran University, Tehran, Iran 2012: [In Persian].
4. Mico CL, Recatala M, Peris J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an european mediterranean area by multivariate analysis. Ch 2006;65: 863-72.
5. Zhou P, Zhao Y, Zhao Z, Chai T. Mapping and Determining of Soil Contamination by Heavy Metals Using Statistical Analysis, Artificial Neural Network, and Adaptive Genetic Algorithm. ECE 2015;3: 2569-79.
6. Mousavi E. The zoning of soils contaminated with heavy metals in Hamedan region. Master's degree in environmental sciences, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology 2009: 86 [In Persian].
7. Chen T, Xingmei L, Muzhi Z, et al. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban- rural transitional area of hangzhou, china. EP 2008;151: 67-78.
8. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of Geoaccumulation Index, Contamination Factor, and Principal Component Analysis for Estimating Soil Contamination. IranHE 2015;8: 345-65 [In Persian].
9. Ghorbani H, Roohani A, Hafezi Moghaddas N. Evaluation of the Ability of LVQ4a2 Artificial Neural Network Model to Predict the Spatial Distribution Pattern of Cadmium in Soil. WS 2013;27: 90-102 [In Persian].
10. Ghorbani F, Amanollahi J, Sijanvandi V, et al. Spatial distribution and analysis of heavy metal pollution in urban roadside dusts from Sanandaj, Iran. EHR 2015;3(1): 33-41.
11. EPA. 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Revision 2 1996.
12. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, et al. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. china university of geosciences 2008;19(3): 230-41.
13. Desaulles A. Critical evaluation of soil contamination assessment methods for trace metals. Sci TE 2012;426: 120-31.
14. Alavi Panah SK. Study of natural features based principal components analysis. 2001;54: 221-34 [In Persian].
15. Mohades F. Principal Components Analysis and Investigating Factors (Case Study: Extracting the Price Index of Assets and Investigating its Influence on Inflation). ERC 2010: 42 [In Persian].
16. Shrestha S, Kazama F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the fujiriver basin. JE 2007;22: 464-75.
17. Nusret D, Dug S. Applying the inverse distance weighting and kriging methods of the Spatial interpolation on the mapping the annual precipitation in bosnia and Herzegovina. EMSs 2012.
18. Chio JH, Teresa M, Bahia M, Hussain U. Pavement Roughness Modeling Using Back -Propagation Neural Networks. CAC and IE 2004: 295-303.
19. Arab Ameri A, Shirani C, Creamy G, Koloraghan A. Application of Multilayer Perceptron Neural Network in Urban Solid Waste Landfill Detection with Emphasis on Hydrogeomorphic Characteristics (Case Study: Fereydoun City). ES 2016;42(2): 329-41 [In Persian].
20. Zhang W, Feng H, Chang J, et al. Heavy metal contamination in surface sediments of yangtze river intertidal zone: An assessment from different indexes. EP 2009;157: 1533-43.



21. Blaser P, Zimmermann S, Luster J, Shotyk W. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. *Sci TE* 2000;249: 257-80.
22. Iqbal J, Shah MH. Distribution, correlation and risk assessment of selected metals in urban soils from islam abad, Pakistan. *HM* 2011;192: 887-98.
23. Afshari A, Khademi H, Delavar MA. Heavy Metals Contamination Assessment in Soils of Different Land Uses in Central District of Zanjan Province Using Contamination Factor. *WS* 2015;25: [In Persian].
24. Moreno T, Karanasiou A, Amato F, et al. Daily and hourly sourcing of metallic and mineral dust in urban air contaminated by traffic and coal- burning emissions. *AE* 2013;68: 33-44.
25. Shi G, Chen Z, Xu S, et al. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *EP* 2008;156: 251-60.

# Source Determination, Contamination Level and Predicting of Some Inorganic Contaminants Concentration in the Top Soils of Sanandaj City

Mahin Saedpanah<sup>1</sup>, Farshid Ghorbani<sup>2\*</sup> and Jamil Amanoollahi<sup>2</sup>

1. M.Sc. Student, Environment Pollution, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. Assistant Professor, Department of Environment Science, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

\* E-mail: f.ghorbani@uok.ac.ir

Received: 21 Oct. 2017 ; Accepted: 3 Mar. 2018

## ABSTRACT

**Background & objective:** Mineral contaminations are the most important environmental problems in the urban area. The objectives of the present study was determination of concentration, spatial distribution and source determination of Iron, Zinc, Calcium, Copper, Manganese, and Nickel by Artificial Neural Network in Sanandaj city.

**Materials & Methods:** The study area were divided into the five classes and the total number of 105 surface soil samples (0-10 cm) were collected. Contamination factor and Nemerow index were developed for estimation of metal concentration. In addition, the correlation and principle component analysis were conducted to find the origin of the considered elements in the soil samples. Moreover, IDW interpolation technique was applied for mapping the spatial distribution of the elements and ANN (multilayer perceptron) was applied to estimate the concentration.

**Results:** Copper concentration in industrial area was very high and in the other hand, green and industrial area had the lowest and highest Nemerow index, respectively. Calcium concentration especially was affected by residential and high traffic areas. On the other hand, industrial and high traffic areas have the greatest impact on the Zinc and Copper concentration and Nickel, Iron and Manganese contamination was under combination effects of natural and anthropogenic factors. Correlation coefficients derived by ANN were 0.821, 0.661, 0.711, 0.767, 0.712, and 0.701 for Copper, Nickel, Zinc, Manganese, Iron, and Calcium, respectively.

**Conclusion:** The concentration of Zinc, Calcium and Copper are mostly affected by human activities and Nickel, Iron, Manganese concentration are controlled by both anthropogenic and natural sources. According to the results, three-layer neural network is recommended for estimating metal concentration in the soil samples.

**Keywords:** Metal contamination, Multivariate analysis, Top soil, Artificial neural network, Contamination sources