

## تعیین غلظت زمینه برخی از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان به روش فراکتال غلظت - مساحت

آزاده وزیری<sup>۱</sup>، نوید قنواتی<sup>۲\*</sup>، احد نظریور<sup>۳</sup>

۱- گروه خاک‌شناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

### چکیده

مؤلفه‌های تعیین حد آستانه غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مختلف بسیار متغیر است. استفاده از معیارهای موجود در قوانین زیست محیطی سایر کشورها و شهرها، برای بررسی آلودگی این فلزات در منطقه‌ای دیگر مناسب نخواهد بود، بنابراین لازم و ضروری است که حد آستانه برای هر منطقه به صورت محلی تعیین شود. در این تحقیق از روش فراکتال غلظت-مساحت، به منظور تعیین غلظت زمینه سه فلز سرب، کبالت و نیکل در خاک‌های سطحی استان خوزستان استفاده شده است. این تحقیق یک مطالعه تجربی-کاربردی است. جهت نیل به این هدف، تعداد ۸۷ نمونه از خاک‌های سطحی استان خوزستان برداشت و با استفاده از دستگاه طیف سنجی جفت شده پلاسمای القایی (ICP-OES) آنالیز گردید. کمترین و بیشترین میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی، به ترتیب مربوط به سرب (۹/۰۹) و نیکل (۶۶/۳۴) (mg/kg) به دست آمد. در این مطالعه بعد از مرتب‌سازی داده‌ها به ترتیب از زیاد به کم و تعیین فراوانی هر غلظت، نمودارهای لگاریتمی فراوانی تجمعی غلظت فلزات در مقابل مساحت رسم شد. با به دست آوردن نقاط شکست، حد آستانه هر فلز برای روش غلظت - مساحت تعیین شد. مقادیر زمینه برای فلزات کبالت، نیکل و سرب به ترتیب برابر ۶/۹۳، ۴۷/۵۹ و ۶/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. نتایج نشان دادند که کاربرد روش‌های فراکتالی در جدایی میزان زمینه از سایر جمعیت‌های ژئوشیمیایی بسیار مناسب است.

واژه‌های کلیدی: جمعیت ژئوشیمیایی، غلظت زمینه، غلظت - مساحت، فلزسنگین، مدل فراکتالی.

## مقدمه

در بسیاری از کشورها، غلظت‌های زمینه فلزات سنگین در خاک مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ این اطلاعات به‌عنوان مرجعی برای ارزیابی وضعیت کیفیت خاک به‌کار می‌روند (Karim et al, 2015). غلظت زمینه عناصر موجود در خاک به منظور ایجاد استانداردهای کیفیت زیست محیطی خاک، شناسایی اثرات سوء ناشی از کاربرد مواد زائد در اراضی کشاورزی و استفاده بلند مدت کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در کیفیت زیست محیطی خاک و همچنین به‌عنوان راهنمایی برای میزان مصرف عناصر ریزمغذی، بسیار مهم و سرنوشت‌ساز شناخته شده است (Borojerdnia et al, 2020). غلظت‌های زمینه عناصر در خاک، تابع ترکیب کانی‌شناسی مواد مادری و فرآیندهای هوازدگی مؤثر بر تشکیل خاک و همچنین خصوصیات ماند اندازه‌ی ذرات، مقادیر رس و موادآلی خاک است (عظیم زاده و خادمی، ۱۳۹۲). در نتیجه، غلظت طبیعی عناصر در خاک‌ها به‌طور گسترده‌ای متغیر است و استفاده از سطوح زمینه (حد آستانه غلظت فلزات سنگین) کشورهای دیگر و متوسط جهانی برای شناسایی وسعت و خطرات آلاینده‌ی فلزات سنگین در خاک‌های مناطقی که حدود زیست - محیطی در آن تعریف نشده است، نادرست است (Ghanavati et al, 2019; Nazarpour, 2018). به عبارت دیگر با توجه به این‌که مولفه‌های تعیین حد آستانه غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مختلف بسیار متغیر می‌باشند و استفاده از معیارهای موجود در قوانین زیست محیطی سایر کشورها و شهرها، برای بررسی آلودگی این فلزات در منطقه دیگری مناسب نخواهد بود، بنابراین لازم و ضروری است که حد آستانه برای هر منطقه به صورت محلی تعیین شود (Santos-Francés et al, 2017). به‌طور کلی دو روش اصلی مستقیم (ژئوشیمیایی) و

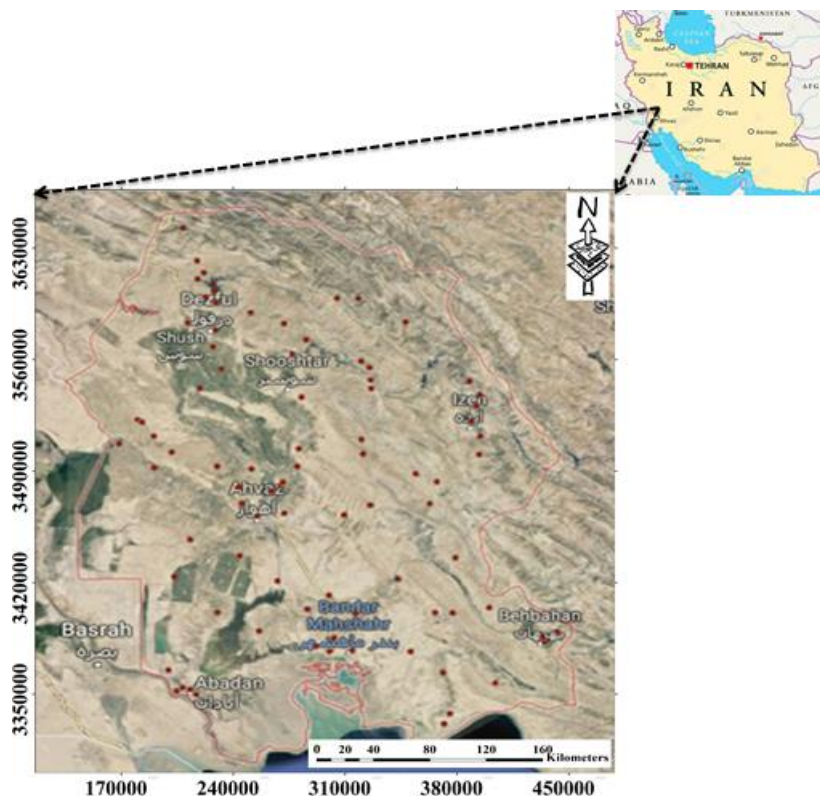
غیرمستقیم (آماری) برای برآورد سطح آستانه غلظت زمینه وجود دارد. در روش مستقیم به‌طور معمول از نمونه‌هایی که تحت تاثیر فعالیت‌های صنعتی یا معدنی قرار نگرفته باشند یا نمونه‌هایی از سایت‌های نسبتاً نابالغ استفاده می‌شود (Blonda and Valenzano, 2014; Pinto et al, 2015). هندسه فرکتال پدیده‌های طبیعی و اجسام پیچیده و نامنظم را با روابط ریاضی مطالعه می‌کند. برخلاف هندسه اقلیدسی که اجسام و پدیده‌های طبیعی را منظم و دارای بعد صحیح (برای مثال یک، دو و سه بعدی) در نظر می‌گیرد، هندسه فرکتال بر مبنای بعد غیرصحیح است. این شاخه از هندسه که توانایی بررسی تغییرپذیری متغیرهای پیچیده را با بررسی‌های ساده دارد، در علوم مختلف که بی‌نظمی‌های طبیعی (با بیانی بهتر نظم در بی‌نظمی) در آن حاکم است، کاربرد دارد (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). ارائه هندسه فراکتالی سبب شناخت بهتر ویژگی‌های مواد و فرآیندهای ظاهراً نامنظم موجود در طبیعت شده است. از این‌رو می‌توان گفت هندسه فراکتالی به‌عنوان یک پل ارتباطی بین مدل‌های تجربی و ماهیت فیزیکی پارامترها، ابزار مفیدی را فراهم کرده است (امامی، ۱۳۹۵). روش‌های مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق بی‌هنجاری از زمینه وجود دارد که از روش‌های آماری ساده (براساس پارامترهای آماری تابع توزیع) تا روش‌های پیچیده فراکتالی (براساس ساختار فضایی داده‌ها) تغییر می‌کنند. در داده ژئوشیمیایی با دو گروه داده‌ی فراکتالی متصل به هم مواجه هستیم که یک گروه معرف زمینه و گروه دیگر معرف بی‌هنجاری است. یکی از کاربردهای عمده هندسه فرکتال در برآورد حد آستانه‌ها و در نتیجه جداسازی جامعه بی‌هنجار از زمینه براساس اختلاف بُعد فرکتال آنها است (Nazarpour et al, 2015). وجود بی‌هنجاری‌های

اشغال شده این فلزات و انطباق آن با شرایط طبیعی منطقه از این مدل استفاده شده است.

### منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۲۳۶ کیلومتر مربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران و در شمال غربی خلیج فارس واقع شده است (شکل ۱). خاک‌های این استان غالباً از نوع آنتی‌سول، اریدی-سول و اینسپتی‌سول هستند. وجود منابع آب‌های سطحی فراوان (حدود ۳۳ درصد منابع آب سطحی کشور)، اراضی مسطح و مناسب برای کشاورزی (حدود ۱/۵ میلیون هکتار)، استقرار صنایع نفت و گاز، فولاد و پتروشیمی نقش کلیدی به این استان در عرصه ملی داده است.

ژئوشیمیایی در یک منطقه باعث افزایش بُعد فراکتال متغیرهای ژئوشیمیایی در آن منطقه می‌شود. بر این اساس می‌توان وجود یا عدم وجود بی-هنجاری را به سادگی شناسایی کرد (Hassanpour and Afzal, 2013). محدودیت اصلی روش‌های کلاسیک این است که اطلاعات فضایی، هندسه (به-عنوان مثال شکل یا فرم)، وسعت و بزرگی مناطق ناهموار را در نظر نمی‌گیرد و نمی‌تواند ناهنجاری‌ها موجود در مناطقی با غلظت پس‌زمینه بالا را تشخیص دهد (Chen et al, 2017). مدل فراکتالی غلظت-مساحت، از جمله مدل‌های مهم فراکتالی است که در تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی پیشنهاد شده است (Chen et al, 2017; Afzal et al, 2012) و در تحقیق حاضر به‌منظور تعیین غلظت زمینه فلزات سنگین کبالت، نیکل و سرب و نیز رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی و تعیین مساحت



شکل ۱: نقشه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در خاک‌های سطحی استان خوزستان

## مواد و روش‌ها

## نمونه‌برداری و آنالیزهای آماری

تحقیق حاضر یک مطالعه تجربی-کاربردی است که به منظور ارزیابی غلظت زمینه برخی از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان انجام شد. نمونه‌برداری در فصل خشک در خرداد ماه ۱۳۹۷ صورت گرفت. روش نمونه‌برداری بدین صورت بود که ابتدا با استفاده از توزیع نمونه‌برداری تصادفی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، محل‌های پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. سپس با اصلاح موقعیت هر کدام از محل‌های نمونه‌برداری موقعیت جغرافیایی<sup>۲</sup> (UTM) هر یک از نقاط به دستگاه سیستم موقعیت جغرافیایی<sup>۳</sup> (GPS) جهت دستیابی سریع به محل نمونه-برداری داده شد. نقاط به گونه‌ای انتخاب شدند که

بتواند کل منطقه مورد مطالعه را پوشش دهند. جدول ۱، مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه با دستگاه GPS را نشان می‌دهد. نمونه‌ها به صورت ترکیبی (مخلوط ۳ نمونه با هم، با فاصله ۵۰ m تا ۱۰۰) از عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری از سطح خاک و با وزن تقریبی ۵۰۰ گرم برداشت و در مجموع ۸۷ نمونه تهیه گردید. نمونه‌ها پس از خارج نمودن خار و خاشاک و مواد زائدی که در محیط رها شده‌اند مانند پلاستیک، کاغذ، قطعات فلزی و غیره، در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در هوای اتاق، خشک شدند، سپس کوبیده شده و از الک پلی اتیلنی مش ۲۰۰ گذرانده شدند (Jiang et al, 2015).

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	مختصات جغرافیایی		شماره نمونه	مختصات جغرافیایی		شماره نمونه	مختصات جغرافیایی	
	عرض	طول		عرض	طول		عرض	طول
S1	30°27'19.40"	48°9'51.47"	S19	30°7'56.11"	49°39'25.99"	S37	32°7'7.87"	48°55'22.12"
S2	30°21'32.17"	48°16'59.49"	S20	31°2'4.75"	49°44'17.15"	S38	31°55'1.13"	49°18'23.23"
S3	30°22'8.28"	48°14'33.99"	S21	31°17'39.61"	49°36'18.66"	S39	31°56'30.43"	49°18'15.61"
S4	30°21'11.15"	48°12'41.71"	S22	31°26'37.79"	49°31'39.89"	S40	31°37'57.71"	49°17'13.00"
S5	30°19'55.91"	48°21'8.52"	S23	31°14'10.60"	49°7'31.17"	S41	31°49'47.86"	48°53'53.85"
S6	30°28'26.63"	48°31'55.85"	S24	31°17'12.61"	49°16'35.46"	S42	31°34'58.97"	48°53'21.08"
S7	30°39'9.63"	48°39'50.43"	S25	31°31'28.89"	49°53'1.73"	S43	31°28'51.76"	48°52'30.12"
S8	30°44'58.19"	48°25'38.05"	S26	31°38'0.58"	49°53'2.30"	S44	31°17'39.61"	48°21'8.52"
S9	30°33'6.81"	49°3'11.68"	S27	31°49'40.74"	49°52'20.27"	S45	31°24'9.61"	48°47'45.10"
S10	30°33'8.60"	49°11'43.76"	S28	31°49'34.84"	49°52'21.94"	S46	31°21'29.16"	48°43'53.79"
S11	30°33'18.83"	49°10'40.82"	S29	31°42'33.73"	49°50'3.40"	S47	31°14'11.07"	48°39'11.60"
S12	30°42'49.92"	49°10'57.28"	S30	31°54'36.97"	49°49'26.32"	S48	31°1'54.75"	48°33'32.26"
S13	30°40'13.64"	49°24'49.86"	S31	31°44'47.06"	49°30'8.43"	S49	31°17'54.31"	48°34'5.12"
S14	30°44'37.82"	49°43'52.61"	S32	32°12'24.05"	49°26'45.30"	S50	31°19'4.16"	48°34'53.89"
S15	30°45'57.93"	49°55'34.53"	S33	32°12'33.47"	49°28'18.34"	S51	31°6'48.79"	48°17'6.20"
S16	30°35'52.59"	50°14'13.29"	S34	32°19'43.51"	49°5'39.23"	S52	31°28'57.40"	48°25'59.25"
S17	30°36'15.08"	50°15'17.78"	S35	32°14'42.66"	48°48'48.02"	S53	31°33'14.16"	48°10'56.07"
S18	30°21'20.38"	50°8'54.61"	S36	32°2'32.87"	48°51'7.22"	S54	31°27'42.57"	48°4'23.63"

ادامه جدول ۱:

شماره نمونه	مختصات جغرافیایی		شماره نمونه	مختصات جغرافیایی	
	عرض	طول		عرض	طول
S55	47°59'44.99"	31°42'56.55"	S73	49°14'16.54"	31°32'43.65"
S56	47°59'13.80"	31°43'10.53"	S74	47°53'32.08"	31°35'45.48"
S57	49°24'16.94"	30°53'34.12"	S75	48°5'3.20"	31°38'6.25"
S58	49°27'50.06"	30°59'43.87"	S76	50°18'27.39"	30°38'58.81"
S59	49°17'20.68"	31°58'8.11"	S77	49°38'38.79"	31°24'14.77"
S60	48°37'20.93"	31°28'7.84"	S78	48°48'11.09"	31°14'43.63"
S61	48°24'42.47"	32°23'55.63"	S79	48°55'34.55"	31°4'0.05"
S62	48°24'49.81"	32°21'49.70"	S80	49°2'29.34"	30°50'38.59"
S63	48°21'35.64"	32°27'15.16"	S81	49°4'41.47"	30°37'8.80"
S64	48°20'3.29"	32°25'59.82"	S82	48°11'49.86"	30°55'36.12"
S65	48°19'59.73"	32°29'26.46"	S83	48°14'42.54"	32°40'55.85"
S66	48°37'4.96"	32°15'21.63"	S84	48°20'15.58"	31°52'26.24"
S67	48°26'29.69"	32°9'4.47"	S85	49°29'58.48"	30°33'1.48"
S68	48°15'36.47"	32°11'31.90"	S86	49°40'29.47"	30°27'39.87"
S69	48°25'14.68"	32°18'3.20"	S87	49°14'16.54"	31°32'43.65"
S70	48°18'49.32"	32°21'35.86"			
S71	48°24'33.14"	32°5'1.81"			
S72	48°27'27.02"	31°58'19.27"			

## اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین

بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، سنجش غلظت فلزات سنگین کبالت، نیکل و سرب، با استفاده از دستگاه طیف سنجی پلاسمایی جفت شده القایی<sup>۴</sup> (دستگاه ICP-OES مدل (Model Varian735) انجام شد. آماده‌سازی نمونه‌ها با روش انحلال چهار اسید (HCl، HF، HClO<sub>4</sub> و HNO<sub>3</sub>) صورت گرفت. به ۰/۲۵ گرم از هر نمونه، HF (۸ ml) ۴۰ درصد و HClO<sub>4</sub> (۱ ml) ۷۰ درصد اضافه نموده و محلول آماده شده را تا زمانی در ظرف مخصوص پلاستیکی داخل آب تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده که یک محلول ژله‌ای به دست آید، سپس HCl (۳/۷۵ml) ۳۷ درصد و HNO<sub>3</sub> (۱/۲۵ ml) ۶۵

درصد اضافه نموده و محلول را به حجم ۲۵ میلی-لیتر رسانده و در نهایت با دستگاه (ICP-OES) آنالیز گردید (Yuen et al, 2012). تضمین کیفیت<sup>۵</sup> (QA) و کنترل کیفیت<sup>۶</sup> (QC) توسط اندازه‌گیری نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تکراری (با دقت ۴ تا ۶ درصد) و مواد مرجع NIST 2710 (با دقت  $\pm 0.5\%$ ) انجام گرفت (Yuen et al, 2012). حد تشخیص دستگاه برای عناصر Ni، Pb و Co به ترتیب ۰/۰۲۳، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۱۰ mg/Kg بود.

## مدل فراکتال غلظت-مساحت

## (Concentration-Area)

مدل فراکتال غلظت-مساحت (C-A) توسط چنگ و همکاران (Chang et al, 1994) مورد استفاده قرار

همچنین مساحت نواحی نهایی بی‌هنجار معرفی شده توسط این روش به مراتب کمتر از روش‌های سنتی تعیین نواحی بی‌هنجار می‌باشد که این امر سبب کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های اکتشافی در مراحل آتی می‌شود. اما به‌طور کلی توانایی عمده‌ی این روش، در آسانی درک، اجرا و قابلیت محاسبه کمی دقیق مقادیر آستانه بی‌هنجاری است (Guillén et al, 2011). در روش فراکتالی غلظت-مساحت، اساس بر میزان مساحتی است که هر عنصر خاص در منطقه مورد مطالعه اشغال کرده است. هرچه غلظت عنصر افزایش یابد میزان مساحت اشغالی توسط آن عنصر کاهش می‌یابد (Hassanpour and Afzal, 2013). محاسبات فراکتالی با استفاده از نرم‌افزار اکسل و رسم نقشه-های ژئوشیمیایی فراکتالی با نرم افزار Surfer نسخه ۱۲ انجام شده است.

## بحث و نتایج

### آنالیز داده‌ها

استفاده از برخی روش‌های آماری، منوط بر نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد استفاده است. به همین علت، قبل از استفاده از این روش‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌های خام انجام شد. رایج‌ترین این روش‌ها، آزمون  $(S\text{-Shapiro-Wilk-W})^y$  (Shapiro and Wilk, 1965) و نمودارهای  $Q-Q^a$  هستند، که در این پژوهش نمودارهای  $Q-Q$  مورد استفاده قرار گرفته است. نمودارهای  $Q-Q$  تک عنصری، می‌توانند در مشخص کردن نقاط شکست جمعیت‌های ژئوشیمیایی و ثابت کردن دقت روش-های انجام شده مفید واقع شوند. بدین صورت که اگر پس از رسم نمودار، تمام داده‌ها روی خط مماس شوند، نشان‌دهنده نرمال بودن داده‌ها است. که در این حالت روش‌های آمار کلاسیک از دقت بالایی برخوردار بوده است (Iiu et al,

گرفته است تا از میان مقادیر آستانه (نقطه‌های شکست) بین آلودگی‌های ژئوشیمیایی و غلظت پس‌زمینه تفکیک ایجاد شود (Rezaie and Afzal, 2016). در نمودار لگاریتمی غلظت در برابر مساحت، تجمعی از داده‌ها در نقاطی می‌شکنند یا به عبارتی تغییر شیب می‌دهند که این نقاط نمایان-گر تغییر از زمینه به بی‌هنجاری در جوامع مختلف و به پیروی از آن تغییرات در شرایط زمین‌شناسی به‌ویژه کانی‌سازی است. در مدل فراکتال غلظت-مساحت (C-A) برای جدایش جامعه بی‌هنجاری سعی می‌شود از غلظت بحرانی که در محدوده‌ی آن بعد فراکتالی تغییر می‌کند (یعنی از بعد کمتر مربوط به جامعه زمینه با سطح ژئوشیمیایی هموار به بعد بیشتر مربوط به جامعه بی‌هنجاری با سطح ژئوشیمیایی ناهموار) به عنوان حد آستانه استفاده شود. بنابراین در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی بی‌هنجاری به‌طور همزمان برای تشخیص حد آستانه‌ای و جدایش جامعه بی‌هنجار و زمینه استفاده شده است (Geranian et al, 2005; Cicchella et al, 2013). یکی از مرسوم-ترین روش‌ها برای نمایش توزیع غلظت یک عنصر در یک منطقه رسم نقشه کنتوری هم‌غلظت عنصر مربوطه در منطقه مورد مطالعه است. اگر مقدار هر کنتور غلظت  $\rho$  در نظر گرفته شود، می‌توان معادله توانی رابطه ۱ را برای تمرکز مواد با خواص فراکتالی ارائه کرد.

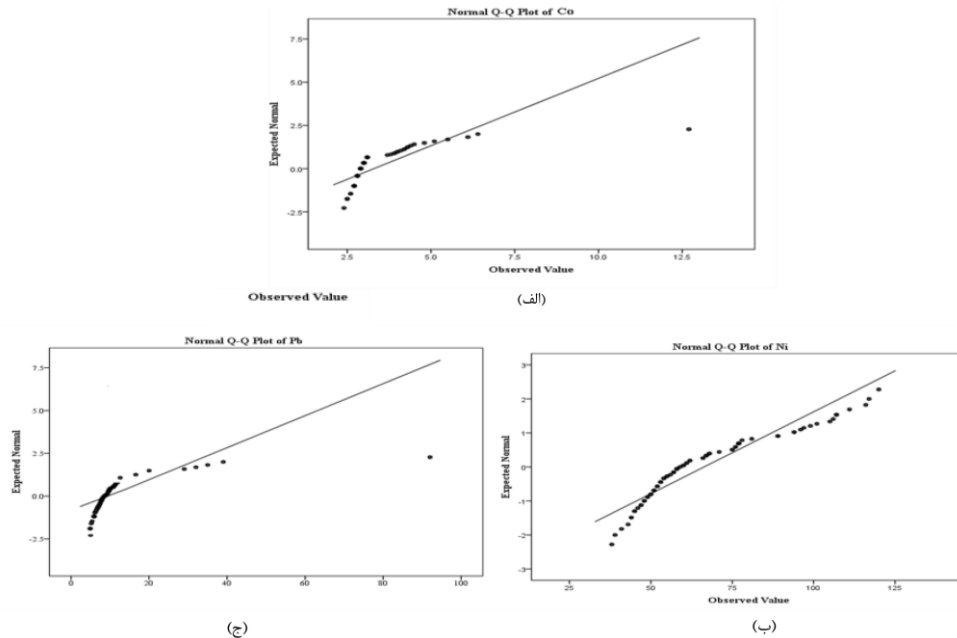
رابطه ۱)

$$A(\geq \rho) \propto \rho^{(-D)}$$

در این رابطه  $\rho$  غلظت عنصر،  $A(\geq \rho)$  مساحت با مقادیر بزرگ‌تر یا مساوی  $\rho$ ، مقدار  $D$  نیز بعد فراکتال مربوط به دامنه‌های متفاوت  $\rho$  را نشان می‌دهد (Cheng et al, 1994). از مزایای این روش در نظر گرفتن موقعیت دقیق فضایی نمونه‌ها در تعیین حد جدایش جوامع است که این موضوع در آمار کلاسیک به هیچ وجه در نظر گرفته نمی‌شود.

و برای محاسبات پارامترهای آماری از نرم افزار SPSS 20 استفاده گردید (شکل ۲).

2017). در صورتی که داده‌ها روی خط مماس نباشند گواه بر این است که داده‌ها نرمال نیستند. در این مطالعه جهت بررسی داده‌ها از نمودار Q-Q



شکل ۲: جمعیت ژئوشیمیای فلزات کبالت (الف)، نیکل (ب) و سرب (ج)

۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود. کمترین و بیشترین میانگین غلظت فلزات مورد بررسی به ترتیب مربوط به سرب و نیکل با مقادیر ۹/۰۹ و ۶۶/۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. غلظت‌های بالای فلزات سنگین نشان‌دهنده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد (Sadeghdoust et al, 2020). نیکل عنصری ضروری برای اکثر جانوران می‌باشد، ولی مقادیر زیاد آن مسموم کننده است. WHO<sup>۹</sup> میزان دریافت روزانه‌ی قابل تحمل را در مورد نیکل، ۰/۰۰۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن تعیین کرده است (Farland, 1991). مکانیسم اثر فلز نیکل نیز از طریق اتصالات غیرقابل برگشت با ماکرومولکول‌ها است و به همین علت موجب اختلال در فعالیت بیولوژیکی سلول‌ها می‌شود. نیکل بعد از ورود به بدن می‌تواند باعث آسیب رساندن به بافت‌های مختلفی از جمله کبد، کلیه، ریه و بیضه شود (Munoz and Costa, 2016).

فلزات سنگین چندین جمعیت ژئوشیمیایی را نشان می‌دهند که گواه بر فرآیندهای مختلف زمین-ساختی و ژئوشیمیایی می‌باشد. بنابراین با توجه به نرمال نبودن داده‌ها و مطابق آنچه گفته شد استفاده از روش‌های فراکتالی برای جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی دقت نتایج را نسبت به روش‌های آمار کلاسیک افزایش می‌دهد (Zuo et al, 2009). شکل ۲، نمودار Q-Q داده‌های خام ژئوشیمیایی که نشان دهنده چندین جمعیت ژئوشیمیایی می‌باشد.

#### غلظت فلزات سنگین کبالت، نیکل و سرب

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت سه فلزسنگین مورد بررسی به‌طور خلاصه در جدول ۲ آورده شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده، فلزات سنگین مورد مطالعه دامنه وسیعی از غلظت را نشان می‌دهد. غلظت فلزات نیکل، کبالت و سرب به ترتیب در محدوده بین ۱۲۰-۳۸، ۱۶-۵ و ۴۱-

بر خطرات فوق باعث عقب ماندگی ذهنی آن‌ها می‌شود (شفیعی، ۱۳۹۵). در اغلب موارد غلظت زیاد نیکل در خاک مربوط به فعالیت انسان می‌شود (Yeganeh et al, 2013). با بررسی منطقه، عامل اصلی آلودگی خاک به فلزات نیکل و کبالت ورود فاضلاب‌های شهری به خاک و وجود صنایع نفتی در منطقه و نیز حضور گازهای خارج شده از صنایع فلزی نظیر صنایع فولاد است (Ghorbani et al, 2020). ترکیبات سرب در روغن‌های روان‌کننده در موتور خودروها استفاده می‌شود. علاوه بر این فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) از منابع اصلی آلودگی محیط زیست به سرب به شمار می‌روند (Babaei et al, 2018).

کبالت و ترکیبات آن به‌طور گسترده در طبیعت پراکنده شده‌اند و بخشی از فعالیت‌های انسانی متعدد هستند. اگرچه کبالت از نظر بیولوژیکی نقش ضروری به عنوان عنصر فلزی ویتامین B<sub>12</sub> دارد، اما نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض بیش از حد آن، باعث ایجاد اثرات نامطلوب سلامتی می‌شود (Leyssens et al, 2017). سرب که از طریق خوردن آب و غذا و از راه تنفس وارد بدن می‌شود، به محض بلعیدن، این فلز با بیومولکول‌های بدن مانند پروتئین‌ها و آنزیم‌ها به شکل ترکیبات بیوتوکسیک پایدار در می‌آید، در نتیجه ساختار آن‌ها تغییر کرده و فعل و انفعالات زیستی آن‌ها با مشکل مواجه می‌شود (پیروتی و قاسم‌زاده، ۱۳۹۱). سرب اثرات منفی زیادی روی نوزادان داشته و علاوه

جدول ۲: میانگین غلظت و آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین (mg/kg)

فلزات سنگین	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
نیکل	۶۶/۳۴	۳۸/۰۰	۱۲۰/۰۰	۰/۹۸	۲۰/۶۴
کبالت	۹/۴۰	۵/۰۰	۱۶/۰۰	۰/۷۴	۲/۶۹
سرب	۹/۰۹	۵/۰۰	۴۱/۰۰	۳/۶۱	۶/۸۰

بررسی است (Deng et al, 2010). جهت ترسیم نمودار لگاریتمی مدل غلظت-مساحت به دست آمده از روش ارزش‌گذاری پیکسل‌ها استفاده شده است، سپس با اعمال روش طبقه‌بندی فواصل ۵ درصدی، در جدول توصیفی، در نرم‌افزار Surfer، تعداد پیکسل‌های موجود در هر طبقه مشخص شد. با اعمال روش فراکتال غلظت-مساحت، بر روی ارزش پیکسل‌های موجود تخمین آستانه با دقت بیشتری صورت می‌گیرد (Nazarpour et al, 2015). براساس مدل فراکتالی غلظت-مساحت، نمودارهای لگاریتمی، چندین جمعیت ژئوشیمیایی برای فلزات نیکل، کبالت و سرب نشان می‌دهند (شکل ۳ تا ۵)، هر کدام از جمعیت‌های ژئوشیمیایی دارای توزیع خاص خود هستند که نشان دهنده میزان فراوانی غلظت هر فلز با توجه به شرایط

### محاسبه غلظت زمینه با استفاده از مدل فراکتال غلظت-مساحت (C-A)

در نمودار لگاریتمی غلظت در برابر مساحت، تجمعی از داده‌ها در نقاطی می‌شکنند یا به عبارتی تغییر شیب می‌دهند که این نقاط نمایانگر تغییر از زمینه به بی‌هنجاری در جوامع مختلف است که در نتیجه آن باعث ایجاد تغییرات در شرایط زمین-شناسی به ویژه کانی‌سازی و پراکنش عنصر می‌شود. در هر نمودار، جامعه‌ای که نزدیک‌ترین شیب را به خط افق دارد در واقع مقدار زمینه را برای آن عنصر در منطقه نشان می‌دهد که به آن حد آستانه گفته می‌شود (Chen et al, 2017). مقدار D یا همان بُعد فراکتال نشان‌دهنده میزان غلظت عنصر در هر جامعه می‌باشد. در نتیجه افزایش بُعد فراکتال نشانگر افزایش غلظت عنصر در جامعه مورد



لگاریتمی فراوانی تجمعی غلظت فلزات در مقابل مساحت رسم شد. سپس با برازش خطهای مستقیم به سری نقاط و با به دست آوردن نقاط شکست این خطوط، حد آستانه و حدود آنومالی هر فلز برای روش غلظت- مساحت تعیین شد که در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این جدول، بعد فراکتال محاسبه شده برای تمام فلزات مورد بررسی به جز سرب، از جمعیت اول به آخرین جمعیت ژئوشیمیایی افزایش می‌یابد که نشانگر افزایش غلظت در واحد سطح در مناطق مورد بررسی است.

زمین‌شناسی منطقه، عوامل محیطی و تاثیر عوامل انسان‌زاد بر میزان آن است. این توانایی منحصر به فرد به دلیل ماهیت فراکتالی توزیع عناصر در طبیعت است و این موضوع زمینه‌ای را فراهم می‌سازد که در جدایش بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به روش آماری، نیازی به حذف مقادیر خارج از رده نباشد. زیرا به دلیل ماهیت فراکتالی داده‌های ژئوشیمیایی، به‌طور خودکار این داده‌ها کنار گذاشته می‌شوند (Borojerdnia et al, 2020). در این مطالعه بعد از مرتب‌سازی داده‌ها به ترتیب از زیاد به کم و تعیین فراوانی هر غلظت، نمودارهای

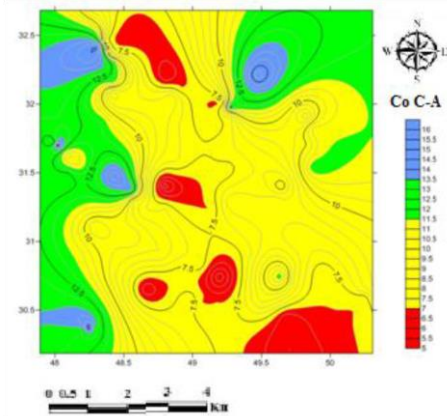
جدول ۳: مقادیر آستانه و ابعاد فرکتالی روش غلظت- مساحت فلزات سنگین در استان خوزستان (mg/Kg)

عنصر	T <sub>1</sub> ** آنومالی آستانه	D <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> آنومالی متوسط	D <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> آنومالی قوی	D <sub>3</sub>	T <sub>4</sub> آنومالی شدید	D <sub>4</sub>	T <sub>5</sub> آنومالی بسیار شدید	D <sub>5</sub>
Co	≤ ۶/۹۳	۰/۳۸	۶/۹۳-۱۱/۱۰	۲/۱۱	۱۱/۱۰-۱۳/۳۴	۸/۶۹	۱۳/۳۴-۱۵/۵۸	۲۸/۳۱	-	-
Ni	≤ ۴۷/۵۹	۰/۲۸	۴۷/۵۹-۷۸/۱۹	۲/۳۲	۷۸/۱۹-۹۴/۹۲	۵/۰۵	۹۴/۹۲-۱۰۷/۷۶	۱۱/۶۳	۱۰۷/۷۶-۱۱۷/۸	۶۰/۸
Pb	≤ ۶/۲۶	۰/۴۴	۶/۲۶-۸/۷۶	۳/۷۳	۸/۷۶-۲۵/۴۶	۲/۲۶	۲۵/۴۶-۴۰/۰۹	۸/۵۸	-	-

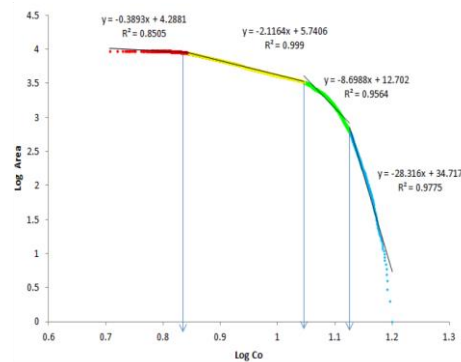
\*, \*\*, پارامترهای D و T نشان دهنده‌ی بعد فراکتال و مقدار آستانه برای هر فلز می‌باشند.

بالاترین حد آلودگی در منطقه مورد مطالعه دانست. براساس این نمودارها، توزیع غلظت عنصر کبالت خاصیت مولتی فراکتالی از خود نشان می‌دهد. براساس نقشه‌های ژئوشیمیایی که براساس مدل فراکتالی غلظت- مساحت برای فلز کبالت رسم شده‌اند (شکل ۳ ب)، مناطقی از استان که دارای غلظت کبالت در حد مقدار زمینه هستند و در واقع فاقد آلودگی به عنصر کبالت هستند با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. غلظت بالای این فلز که به رنگ آبی در نقشه مشخص شده است نشان دهنده آلودگی بالای خاک به فلز کبالت در منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین تجمع فلز سنگین کبالت در نیمه غربی استان خوزستان (شهرستان‌های سوسنگرد و بستان و آبادان) است. بعد از آن در شمال شرقی خوزستان و لکه‌ای نیز در جنوب شرقی منطقه، آلودگی به کبالت را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار لگاریتمی رسم شده بر مبنای مدل فراکتالی غلظت- مساحت، فلز کبالت (شکل ۳ الف)، دارای چهار جامعه ژئوشیمیایی مختلف در استان خوزستان می‌باشد که براساس نقاط شکست به دست آمده‌اند. جامعه اول که شبیه نزدیک به خط افق دارد، در واقع مقدار زمینه کبالت براساس مدل فراکتالی غلظت- مساحت در استان خوزستان است. بنابراین می‌توان مقدار زمینه فلز کبالت را ۶/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفت. جامعه دوم دامنه غلظت بین ۶/۹۳ تا ۱۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان می‌دهد. جمعیت سوم دارای غلظت‌هایی بین ۱۱/۱ تا ۱۳/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و جامعه چهارم که دارای شبیه نزدیک به خط عمود است شدیدترین نوع آنومالی یا بی‌هنجاری در منطقه را نشان می‌دهد و دارای غلظت‌های بالاتر از ۱۳/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. به عبارتی این محدوده را می‌توان به عنوان



(ب)

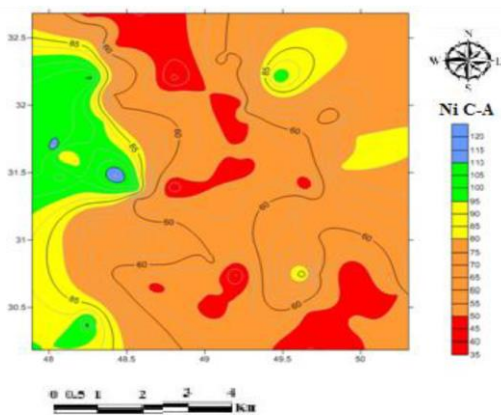


(الف)

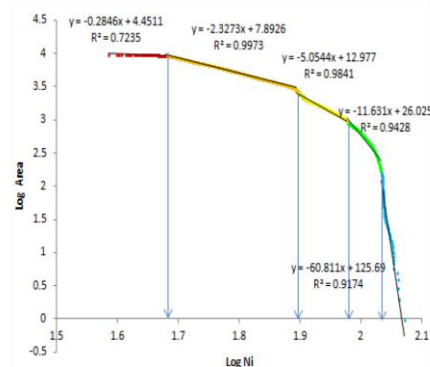
شکل ۳: الف: منحنی فراکتال غلظت- مساحت فلز کبالت، ب: جوامع ژئوشیمیایی چهارگانه کبالت در استان خوزستان

حد آستانه فلز نیکل به روش فراکتالی غلظت- مساحت، پنج جامعه ژئوشیمیایی در نمودار لگاریتمی رسم شده مشاهده شد (شکل ۴ الف). حد آستانه اول به دست آمده برای فلز نیکل که نشان- دهنده غلظت زمینه این فلز است، ۴۷/۵۹ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. جمعیت‌های دوم تا چهارم برای فلز نیکل مقادیری بین ۴۷/۵۹ تا ۷۸/۱۹، ۷۸/۱۹ تا ۹۴/۹۲، ۹۴/۹۲ تا ۱۰۷/۷۶ میلی گرم بر کیلوگرم و جمعیت پنجم که نشان‌دهنده بالاترین غلظت و در نتیجه بالاترین میزان آلودگی است، شامل مقادیر بالاتر از ۱۰۷/۷۶ را به خود اختصاص دادند. نقشه ژئوشیمیایی فلز نیکل در شکل ۴ ب ارائه شده است. در این نقشه، مناطق با غلظتی در

حد آستانه فلز نیکل که نخستین جمعیت ژئوشیمیایی این فلز را تشکیل داده‌اند با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند. جمعیت دوم ژئوشیمیایی با رنگ کرم، بیشترین مساحت را در استان خوزستان به خود اختصاص داده است. جمعیت‌های ژئوشیمیایی سوم و چهارم با رنگ‌های زرد و سبز در نیمه غربی استان و مقداری در شمال شرقی آن بیشترین فراوانی را نشان می‌دهند. جمعیت پنجم نیز با رنگ آبی، به صورت لکه‌هایی در شمال غربی استان مشاهده شده است که با توجه به صنعتی بودن این منطقه و نفت خیز بودن آن امری بدیهی به نظر می‌رسد.



(ب)

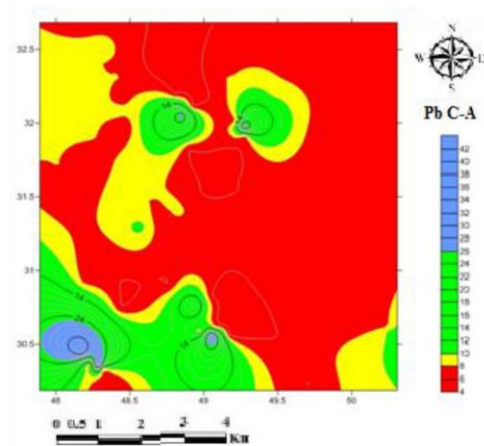


(الف)

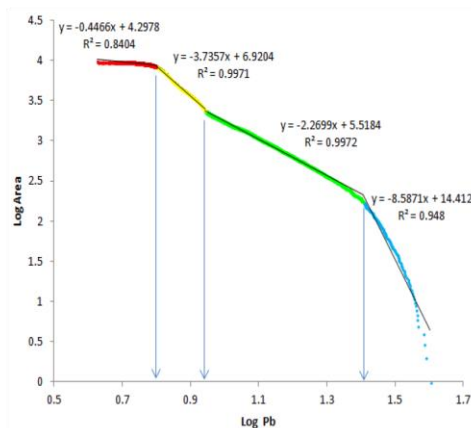
شکل ۴: الف: منحنی فراکتال غلظت- مساحت فلز نیکل، ب: جوامع ژئوشیمیایی پنج‌گانه نیکل در استان خوزستان

در قسمت‌های جنوب غربی استان خوزستان، محدوده شهرستان آبادان، قسمتی در منطقه شمالی، محدوده شهرستان شوشتر و یک لکه در نیمه شمال شرقی استان، محدوده شهرستان مسجدسلیمان مشاهده می‌شود. منطقه جنوب غربی خوزستان و محدوده شهرستان مسجد سلیمان، منطقه‌ای صنعتی است و صنایع عمده در این مناطق صنایع نفتی، اکتشافی، حفاری، پتروشیمی و غیره است. کاربری اراضی در این مناطق کشاورزی آبی و مرتع می‌باشد. کود و سموم شیمیایی به صورت غیراصولی و بی‌رویه در اراضی کشاورزی مصرف می‌شود. براساس مطالعات انجام شده، در سنگ بستر، ماسه سنگ و شیل به طور طبیعی، مقدار غلظت سرب بالاست ( Ghabeishavi et al, 2009). بنابراین عامل مؤثر بر افزایش غلظت سرب در منطقه مورد مطالعه، فعالیت‌های نفتی، ساختار زمین‌شناسی، فعالیت‌های کشاورزی و همچنین آلودگی شهری وسایل نقلیه می‌باشد.

براساس نمودار لگاریتمی رسم شده برای فلز سرب در مدل فراکتالی غلظت- مساحت (شکل ۵ الف)، این فلز دارای چهار جمعیت ژئوشیمیایی است. حد آستانه اول برای این عنصر برابر با ۶/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که میزان غلظت زمینه سرب را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. جمعیت‌های ژئوشیمیایی دوم و سوم نیز مقادیری بین ۶/۲۶ تا ۸/۷۶ و ۸/۷۶ تا ۲۵/۴۶ را در برگرفته‌اند. بالاترین غلظت فلز سرب در جامعه چهارم دیده شد که مقادیر بالاتر از ۲۵/۴۶ را شامل شده است. نقشه توزیع فضایی فلز سرب (شکل ۵ ب)، براساس اولین جمعیت ژئوشیمیایی محاسبه شده، بیشترین فراوانی این فلز را در حد غلظت زمینه فلز سرب در سطح استان خوزستان نشان می‌دهد که با رنگ قرمز مشخص شده است. جمعیت‌های ژئوشیمیایی دوم و سوم به رنگ زرد و سبز، بیشتر در شمال و نیمه غربی استان و مقدار کمتری در جنوب شرقی پراکنده هستند. مناطق با غلظت بالای فلز سرب که در محدوده جمعیت ژئوشیمیایی چهارم قرار دارند،



(ب)



(الف)

شکل ۵: الف: منحنی فراکتال غلظت مساحت فلز سرب، ب: جوامع ژئوشیمیایی چهارگانه سرب در استان خوزستان

جدول ۴ ارائه شده است. براساس نتایج، مشاهده می‌شود که غلظت زمینه فلز نیکل، در منطقه مورد مطالعه، از میزان غلظت زمینه این فلز در کشورهای

مقایسه مقادیر غلظت زمینه به دست آمده از روش فراکتال غلظت- مساحت (C-A) در استان - خوزستان، با سایر کشورها و مقیاس جهانی، در

تمام کشورهای مورد مقایسه و نیز مقادیر مقیاس جهانی کمتر به دست آمده است. اختلاف بین غلظت‌های زمینه به دست آمده با سایر کشورها و مقادیر جهانی آن می‌تواند به دلیل تغییرات مکانی و زمانی عوامل کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین در طبیعت و همچنین نوع و میزان گسترش فعالیت‌های انسانی باشد (عظیم زاده و خادمی، ۱۳۹۲).

چین و امریکا و همچنین از مقادیر مقیاس جهانی بیشتر و از مقدار زمینه آن در کشور کوبا کمتر به دست آمده است. همچنین در منطقه مورد مطالعه، غلظت زمینه فلز کبالت، از مقادیر آن در کشورهای چین و کوبا و مقادیر مقیاس جهانی کمتر بوده اما با مقدار زمینه این فلز در امریکا اختلاف بسیار کمی دارد. غلظت زمینه فلز سرب به دست آمده با روش فراکتال غلظت-مساحت، از مقادیر زمینه این فلز در

جدول ۴: مقایسه غلظت زمینه فلزات سنگین در استان خوزستان (mg/Kg) با برخی از کشورها و مقیاس جهانی

سرب	کبالت	نیکل	روش
۶/۲۶	۶/۹۳	۴۷/۵۹	فراکتال (C-A) (منطقه مورد مطالعه)
۲۶	۱۲/۷	۲۶/۹	چین (Su and Yang, 2008)
۱۶	۶/۷	۱۳	USA (Alfaro et al, 2015)
۳۴/۶	۳۱/۴	۲۹۴/۲	کوبا (Alfaro et al, 2015)
۲۲-۴۴	۱۰-۱۵	۱۲-۳۴	مقیاس جهانی (Kabata and Pendias, 2001)

واحدهای صنعتی بر میزان غلظت و فراوانی فلزات سنگین و همین‌طور میزان آلودگی فلزات سنگین در منطقه دارند و به خوبی تاثیر عوامل انسان‌زاد را بر میزان غلظت فلزات نشان می‌دهند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که همواره عوامل مختلف از جمله عوامل انسانی و طبیعی در کنار هم، در پراکنش و میزان غلظت فلزات سنگین تاثیرگذار هستند، به همین دلیل برای حفظ تعادل اکوسیستم، سلامت انسان، شناسایی اثرات سوء وارده بر محیط زیست و مدیریت مناسب آن، نیاز است تا غلظت زمینه و یا حدود اطمینان زیست محیطی با توجه به شرایط اقلیمی، منطقه‌ای و خصوصیات خاک مشخص گردند.

### نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده نشان دادند که کاربرد روش‌های فراکتالی در جدایی میزان زمینه از سایر جمعیت‌های ژئوشیمیایی بسیار مناسب است. همچنین با توجه به نمودارهای لگاریتمی و نقشه‌های ژئوشیمیایی به دست آمده به روش فراکتالی غلظت-مساحت، هرچه غلظت عنصر افزایش یابد میزان مساحت اشغالی توسط آن عنصر کاهش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نقشه‌های ژئوشیمیایی تهیه شده به روش فراکتالی غلظت-مساحت انطباق بسیار خوبی با شرایط منطقه از نظر شرایط طبیعی منطقه، کاربرد اراضی و به‌ویژه تاثیر

### پانویس

1-Concentration-Area  
2-Universal Transverse Mercator  
coordinate system

3-Global Positioning System  
4-Inductively Coupled Plasma Optical  
Emission Spectrometer

5-Quality assurance  
6-Quality control  
7-Stewart Shapiro

8-Quantile-Quantile  
9-World Health Organization

## منابع

جداسازی بی‌هنجاری های ژئوشیمیایی از زمینه در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مزایجان، برگه ۱: ۱۰۰۰۰۰ سوریان، استان فارس. ژئوشیمی، شماره ۱، ص ۱۵-۲۰.

-عظیم زاده، ب. و خادمی، ح.، ۱۳۹۲. تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران، آب و خاک، شماره ۳، ص ۵۴۸-۵۵۹.  
-محمد شفیعی، م.ر. و محمد شفیعی، ا.ح.، ۱۳۹۵. فلزات سنگین، منابع و اثرات آن بر انسان، کنفرانس بین‌المللی معماری، شهرسازی، مهندسی شهری، هنر و محیط زیست، تهران، ایران.

-امامی، ح.، ۱۳۹۵. برآورد برخی پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از بعد فرکتالی ذرات جامد خاک، مدیریت خاک و تولید پایدار، شماره ۶، ص ۲۱۹-۲۳۲.

-پیروتنی، ش. و قاسم زاده، م.، ۱۳۹۱. اثرات سمی فلزات سنگین بر بخش‌های مختلف بدن انسان، خلاصه مقالات سومین کنگره عناصر کمیاب ایران، دانشگاه علوم پزشکی کاشان.

-رجب زاده، م.ع.، یزدانی، س.، نظریور، ا. و احمدی، ا.، ۱۳۹۴. کاربرد روش فراکتال عیار مساحت برای

-Afzal, P., Afshar, Z.Z., Khankandi, F.S., Wetherelt, A. and Yasrebi, B.A., 2012. Separation of uranium anomalies based on geophysical airborne analysis by using Concentration-Area (CA) Fractal Model, Mahnesan 1: 50000 Sheet, NW IRAN: Journal of Mining and Metallurgy A: Mining, v. 48(1), p. 1-11.  
-Alfaro, M.R., Montero, A., Ugarte, O.M., Nascimento, C.W.A., Aguiar Accioly, A.M., Biondi, C.M. and Silva, Y.J.A.B., 2015. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba: Environmental monitoring and assessment, v. 187(1), p. 41-58.  
-Babaei, H., Ghanavati, N. and Nazarpour, A., 2018. Contamination level of mercury in the street dust of Ahvaz city and its spatial distribution: Journal of Water and Soil Science, v. 22, p. 249-259.  
-Blonda, M. and Valenzano, B., 2014. Proposal of procedure to determine metals and metalloids background values in contaminated soils. Case study

of a national interest site in South Italy: Desalination and Water Treatment, v. 52(4-6), p. 1171-1176.

-Borojerdnia, A., Rozbahani, M.M., Nazarpour, A., Ghanavati, N. and Payandeh, K., 2020. Application of exploratory and Spatial Data Analysis (SDA), singularity matrix analysis, and fractal models to delineate background of potentially toxic elements: A case study of Ahvaz, SW Iran: Science of the Total Environment.

-Cicchella, D., De Vivo, B. and Lima, A., 2005. Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial areas of Napoli, Italy: Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, v. 5(1), p. 29-40.

-Chen, Z., Chen, J., Tian, S. and Xu, B., 2017. Application of fractal content-gradient method for delineating geochemical anomalies associated with copper occurrences in the Yangla ore

- field, China: *Geoscience Frontiers*, v. 8(1), p. 189-197.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P. and Ballantyne, S.B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 51(2), p.109-130.
- Deng, J., Wang, Q., Yang, L., Wang, Y., Gong, Q. and Liu, H., 2010. Delineation and explanation of geochemical anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 105(3), p. 95-105.
- Farland, Wh., 1991. The United-States-Environmental-Protection-Agency Risk Assessment Guidelines-Current Status and Future-Directions: *Toxicology and Industrial Health.*, v. 7(5-6), p. 31-47.
- Geranian, H., Mokhtari, A.R. and Cohen, D.R., 2013. A comparison of fractal methods and probability plots in identifying and mapping soil metal contamination near an active mining area, Iran: *Science of the total environment*, v. 463, p. 845-854.
- Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H. and Taheri, A., 2009. Facies distribution and sequence stratigraphy of the Coniacian-Santonian succession of the Bangestan Palaeo-high in the Bangestan Anticline, SW Iran: *Facies*, v. 55(2), p. 243-257.
- Ghanavati, N., Nazarpour, A. and Watts, M.J., 2019. Status, source, ecological and health risk assessment of toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust of Abadan, Iran: *Catena*, v. 177, p. 246-259.
- Ghorbani, M.R., Ghanavati, N., Babaenejad, T., Nazarpour, A. and Payandeh, K., 2020. Assessment of the potential ecological and human health risks of heavy metals in Ahvaz oil field, Iran: *Plos one*, v. 15(11), p. 24-43.
- Guillén, M.T., Delgado, J., Albanese, S., Nieto, J.M., Lima, A. and De Vivo, B., 2011. Environmental geochemical mapping of Huelva municipality soils (SW Spain) as a tool to determine background and baseline values: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 109(1-3), p. 59-69.
- Hassanpour, S. and Afzal, P., 2013. Application of concentration-number (C-N) multifractal modeling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran: *Arabian Journal of Geosciences*, v. 6(3), p. 957-970.
- Jiang, Y., Zeng, X., Fan, X., Chao, S., Zhu, M. and Cao, H., 2015. Levels of arsenic pollution in daily foodstuffs and soils and its associated human health risk in a town in Jiangsu Province, China: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 122, p. 198-204.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2001. *Trace Elements in Soil and Plant* (3<sup>rd</sup> ed.). CRC Press LLC, Washington, D.C.
- Karim, Z., Qureshi, B.A. and Mumtaz, M., 2015. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan: *Ecological Indicators*, v. 48, p. 358-364.
- Leyssens, L., Vinck, B., Van Der Straeten, C., Wuyts, F. and Maes, L., 2017. Cobalt toxicity in humans. A review of the potential sources and systemic health effects: *Toxicology*, v. 387, p. 43-55.
- Liu, Y., Zhou, K. and Cheng, Q., 2017. A new method for geochemical anomaly separation based on the distribution patterns of singularity indices: *Computers & Geosciences*, v. 105, p. 139-147.
- Munoz, A. and Costa, M., 2016. Elucidating the mechanisms of nickel compound uptake, a review of

- particulate and nanonickel endocytosis and toxicity: *Toxicol Appl Pharmacol*, v. 260, p. 1-16.
- Nazarpour, A., 2018. Application of CA fractal model and exploratory data analysis (EDA) to delineate geochemical anomalies in the: Takab 1: 25,000 geochemical sheet, NW Iran: *Iranian Journal of Earth Sciences*, v. 10(2), p. 173-180.
- Nazarpour, A., Sadeghi, B. and Sadeghi, M., 2015. Application of fractal models to characterization and evaluation of vertical distribution of geochemical data in Zarshuran gold deposit, NW Iran: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 148, p. 60-70.
- Pinto, M.C., Silva, E.F., Silva, M.M.V.G. and Melo-Gonçalves, P., 2015. Heavy metals of Santiago Island (Cape Verde) top soils, estimated background value maps and environmental risk assessment: *Journal of African Earth Sciences*, v. 101, p. 162-176.
- Rezaie, M. and Afzal, P., 2016. The effect of estimation methods on fractal modeling for anomalies' detection in the Irankuh area, Central Iran: *Journal of Geopersia*, v. 6(1), p. 105-116.
- Sadeghdoust, F., Ghanavati, N., Nazarpour, A., Babaenejad, T. and Watts, M.J., 2020. Hazard, ecological, and human health risk assessment of heavy metals in street dust in Dezful, Iran: *Arabian Journal of Geosciences*, v. 13(17), p. 1-14.
- Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Alonso Rojo, P. and García Sánchez, A., 2017. Geochemical background and baseline values determination and spatial distribution of heavy metal pollution in soils of the Andes mountain range (Cajamarca-Huancavelica, Peru): *International journal of environmental research and public health*, v. 14(8), p. 85-109.
- Shapiro, S.S. and Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples): *Biometrika*, v. 52(3/4), p. 591-611.
- Su, Y.Z. and Yang, R., 2008. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of Heihe River Basin, North-west China: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 98(3), p. 57-64.
- Yeganeh, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Khodakarami, L., Amini, M., Soffyanian, A.R. and Schulin, R., 2013. Mapping of human health risks arising from soil nickel and mercury contamination: *Journal of hazardous materials*, v. 244, p. 225-239.
- Yuen, J.Q., Olin, P.H., Lim, H.S., Benner, S.G., Sutherland, R.A. and Ziegler, A.D., 2012. Accumulation of potentially toxic elements in road deposited sediments in residential and light industrial neighborhoods of Singapore: *Journal of Environmental Management*, v. 101, p. 151-163.
- Zuo, R. and Wang, J., 2016. Fractal/multi fractal modeling of geochemical data: A review: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 164, p. 33-41.