

## ارزیابی اثرات زیست محیطی معادن متروکه با استفاده از ژئوشیمی و زمین آمار

سید علیرضا آشفته<sup>1</sup> شراره حاج علی<sup>2</sup>

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب گروه مهندسی معدن، آدرس پست الکترونیک: [St\\_a\\_ashofteh@azad.ac.ir](mailto:St_a_ashofteh@azad.ac.ir)

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال گروه زمین شناسی، آدرس پست الکترونیک: [Sh.ha\\_7@yahoo.com](mailto:Sh.ha_7@yahoo.com)

### چکیده

یکی از جدی ترین مسائل مربوط به صنعت معدنکاری در ایران و جاهای دیگر سراسر جهان آلودگی های زیست محیطی ناشی از سایت های معدنی متروکه و رها شده است. باطله های معدنکاری موجب پدید آمدن منابع جدید از آلودگی های خاک می شوند. اثرات آب و هوایی مانند بارش باران های سنگین به پراکندگی و گسترش فلزات در این مناطق نیمه خشک به خصوص در خاک و بعضا پوشش گیاهی دامن می زند. در این مطالعه گسترش و بزرگی آلودگی خاک به عناصر سمی در معدن دره کاشان برای تهیه نقشه، تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی و زمین آماری مورد بررسی قرار گرفته است. باطله های خاک معدن برای 41 عنصر شیمیایی از قبیل (Mo, Pu, Pb) مورد نمونه برداری و آنالیز قرار گرفت. بر اساس فاکتور غنی سازی آنها 5 عنصر مورد علاقه (Cu, Pb, Zn, As, Fe) در این پژوهش انتخاب شده اند. زمینه ژئوشیمیایی اکتشافی تعیین شده و همچنین نقشه ژئوشیمیایی با استفاده از زمین آمار در سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که خاک نمونه های معدن دره کاشان آلوده به مواد فلزی و شبه فلزی هستند که از مقدار حد زمینه های ژئوشیمیایی تجاوز کرده اند. نقشه های ژئوشیمیایی نشان می دهند که باطله های معدنی عامل آلودگی خاک اطراف منطقه هستند و با آزاد شدن فلزات و شبه فلزات در قسمت پایین باطله های معدنی به وسیله آب باران پراکنده گردیده اند. انتظار می رود مطالعه حاضر به منظور توسعه، پایداری و همچنین برنامه ریزی محیط زیستی به عنوان یک مرجع برای سیاستمداران، مدیران و تصمیم گیران برای ارزیابی آلودگی خاک در قسمت معادن متروکه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: معدن متروک، دره کاشان، زمین آمار، ژئوشیمی.

### 1- مقدمه

در مناطقی که معدنکاری انجام شده است، زهکشی اسیدی معدن (AMD = Acid Mine Drainage) از باطله های معدنی و آلوده شدن آب و خاک به وسیله آن به عنوان مشکلات عمده زیست محیطی در نظر گرفته می شود. این پدیده از اکسایش کانی های سولفیدی به عنوان مثال پیریت و پیروتیت به وجود می آید. در نتیجه اسیدی شدن انحلال فلزات سمی از

1- نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش اکتشاف

2- کارشناسی ارشد زمین شناسی گرایش تکتونیک

باطله معدن‌رو باز و زیرزمینی افزایش مییابد. بنابراین موجب آلودگی زیست محیطی خاک می شود. بدیهی است نفوذ آب بارندگی به خاک و سنگ زیرزمینی موجب ایجاد جریان آب در منافذ فضاهای خالی بین خاک و سنگ می شود. جهت و نوع منافذ بستگی به شرایط زمین شناسی منطقه دارد. حل شدن فلزات سنگین در خاک و سنگ به وسیله نفوذ آب در منافذ باعث پراکندگی آلودگی در محیط اطراف می شود. علاوه بر این از لحاظ نظری حل شدن فلز در خاک یا سنگ باعث ایجاد ناپایداری در محیط می شود که این یک مشکل علمی شناخته شده است که به عنوان آلودگی سایت معدنی مطرح و تمرکز این مطالعه بر روی آن است. ما نیاز به علم ژئوشیمی خاک و تلاش برای تعیین اثرات و نتایج آلودگی و سموم ناشی از فعالیت های انسانی و تاثیر آن بر اکوسیستم جغرافیایی داریم. در این ارتباط لازم است به نحوه تشکیل آنها توجه کرد. علاوه بر این از نظر علمی نقشه های ژئوشیمیایی معادن می تواند ابزاری موثر برای برنامه ریزی محیط زیست باشد. این نقشه ها نشان دهنده اطلاعات مفیدی از قبیل میزان توزیع و فراوانی غلظت و محل منبع عناصر ژئوشیمیایی که این نقشه های ژئوشیمیایی شامل غلظت عناصر شیمیایی و مقدار زمینه ژئوشیمیایی هستند. مقدار حد زمینه ژئوشیمیایی (GB) به صورت میزان و درصد فراوانییک عنصر در سطح زمین‌تعریف می شود و این مقدار یک پارامتر مهم در مطالعات زیست محیطی است. ابزار داده کاوی (EDA) روش تحلیل داده های اکتشافی به عنوان یک ابزار موثر برای تعیین مقدار حد زمینه به کار گرفته می شود و این ابزار توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است و سیستم (GIS) بر اساس تجزیه و تحلیل آماری خود یکی از مهمترین ابزارها برای بررسی مشکلات ژئوشیمیایی محیطی است. اینیک ابزار موثر برای بررسی تنوع مکانی آلاینده ها و آلودگی ها است. روش زمین آمار از روش های پیشرفته ای است که سبب تسهیل ویژگی های فضایی و پارامتری خاک می شود. به همین دلیل از روش های تجزیه و تحلیل زمین آماری کریجینگ در محیط (GIS) جهت تهیه نقشه های ژئوشیمیایی محیطی برای عناصر آلوده و سمی در منطقه مورد مطالعه استفاده می شود. {1}

## 2- هدف از این مطالعه

1. تعیین خصوصیات ژئوشیمیایی خاک و باطله در معدن دره کاشان.
  2. تعیین مقدار حد زمینه ژئوشیمیایی از عناصر انتخاب شده در خاک دره کاشان.
  3. تهیه نقشه های ژئوشیمیایی در مورد عناصر مشکوک به سمی بودن.
  4. مقایسه نتایج با مقدار زمینه بدست آمده ژئوشیمیایی.
- این مسائل نشان دهنده میزان آلودگی منطقه معدنکاری دره و خاک اطراف این معدن و بررسی خطرات زیست محیطی و بهداشتی در این منطقه می پردازد.

## 3- منطقه مورد مطالعه

معدن متروکه دره کاشان در فاصله 13 کیلومتری باغفینودر ناحیه یاکوهستانیدر جنوبغربکاشانواقع شده که دارای ارتفاع حدود 2130 متر از سطح دریا، طول جغرافیائی 51 درجه و 18 دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی 33 درجه و 53 دقیقه شمالی می باشد. راه ارتباطی به این معدن از طریق کاشان - فین - کارخانه دیرین - دوراهیدره - معدن دره، برقرار می شود. فاصله بین دو راهیدر هتامن 4 کیلومتر جاده خاکی بر اساس روش مسیری کوهستانی بسیار نامساعد بوده و گاهی شبانته 17 درجه نیز می رسد. معدن دره در سه فاز یا دوره مورد بهره برداری قرار گرفته بود. پروانه بهره برداری معدن در تاریخ 1353/7/13 صادر شد و تا مدت و سالتحت پوشش شرکت دیرین بود. پس از وقفه ای با ادغام شرکت آمریکا نیامکو، عملیات اکتشاف و استخراج (به صورت روباز) از معدن تحت پوشش شرکت ایرانیو آمریکا دیرین نیامکو و بانظار تکارشناسان آمریکا نیامکو صورت گرفته است. این معدن بعد از انقلاب به مدت 7 سال تعطیل گردید و در سال 1366 استخراج معدن مجدداً آغاز شد و تا 1383 ادامه یافت. برای استخراج پیریت به میزان 180 هزار تن سولفید که طی این دو مرحله سنگ معدن در حالت خام خود و بدون در نظر گرفتن هیچگونه کانی شناسی مورد بهره قرار گرفت و مواد باطله معدنی که حدود یک میلیون تن از مواد زائد و باطله دپو شد. از بخش کلاهک آهنی (Gossans) اکسید

آهن استخراج شد که برای تهیه اکسید قرمز (هماتیت) در صنعت رنگ سازی استفاده شد. در این مرحله سنگ پیریت استخراج شده از کانی اصلی به وسیله کانه آرایه و روش جداسازی ثقل سنجی در قسمت کانه آرایه مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش جداسازی ثقلی (پرعیار سازی) برای جدا سازی مواد از جمله فلزات سولفیدی دارای وزن مخصوص به کار می‌رود. باطله های معدن بیشتر شامل کانی های سولفیدی مانند پیروتیت، پیریت و کالکو پیریت، گالن و اسفالریت است و این باطله های معدن تولید مقادیر قابل توجهی از AMD می‌کنند. مطالعات قبلی که روی نمونه ها انجام داده اند، PH آب منطقه دارایی 2.9 تا 4.2 و غلظت بالای سولفات (47 تا 5000 mg/Lit) و آهن (1 تا 12000 mg/Lit) و غلظت مس و روی (47 تا 58 mg/Lit) رسیده بود. در سایت معدنی برخی از مواد معدنی ثانویه در سطح زمین مشاهده شد (گوتیت، زادوسیت، آلونیت، گچ) که وجود این مواد معدنی در مقادیر زیاد نشان دهنده وجود زهکشی اسیدی معدن بسیار فعال در منطقه است. کانسار سولفیدی دره از نوع رسوبات دگرگونی است که سنگ میزبان آن از نوع آتشفشانی است. نوع کانی سازی متشکل از پیروتیت های عظیم با مقدار کمی اسفالریت، گالن، کالکو پیریت و پیریت در فاز کوهزایی مربوط به دوره دگرگونی هرسنین است. در قسمت های زیرین معدن لایه شیل دگرسانی وجود دارد که امکان تسهیل نفوذ (AMD) را فراهم می‌آورد علاوه بر آن در جدول آب های زیرزمینی که در اطراف این سازند وجود دارد عمق آب ها بین 10 تا 20 متر است و در نمونه برداری های انجام شده در محل معدن از چاه واقع در پایین دست باطله های معدنی که توسط (AMD) آلوده شده اند به مقادیر زیادی سولفات از 1200 mg/Lit بیشتر یافت شد. که دارای رسانندگی بالا در حدود 3000 تا 3680 mg/cm است. (پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور)

#### 4- نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها

برای این کار باید با توجه به معیار های مناسب نقاط نمونه برداری را انتخاب کرد. پس از بررسی نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی و با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در معدن متروکه دره کاشان نمونه برداری از خاک در سه نقطه متفاوت بر اساس موقعیت مکانی باطله های معدن صورت گرفت. طراحی نقاط نمونه برداری باید با توجه به شیب منطقه، غلظت عناصر و قابلیت تحرک عناصر صورت پذیرد. فاصله بین نقاط نمونه برداری متفاوت بوده و از 150 متر تا 350 متر متغیر است. چهار گروه از نمونه های خاک جمع آوری شده عبارتند از: بالادست معدن (ضایعات معدن) (حدود 13 نمونه)، نزدیکی باطله معدنی (27 نمونه)، پایین دست معدن (22 نمونه)، باطله های معدن (12 نمونه) و در نهایت 620 نمونه از خاک و 12 نمونه از زباله های معدنیدر سایت و اطراف منطقه که در حدود شش کیلومتر مربع است جمع آوری شد. مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری به وسیله سیستم موقعیتیاب جهانی و با دقت  $\pm 5$  متر و در سیستم تصویر لامبرت طرح ریزی و در نقشه مورد نظر اجرا شده است. نمونه ها از 20 سانتیمتر خاک و با استفاده از یک بیبل فولادی ضد زنگ گرفته شده برای به حداقل رساندن خطاها در نمونه گیری هر نمونه به چهار بخش تقسیم می‌شود و پس از آن در کیسه هایی از جنس پلی اتیلن ذخیره می‌گردد. پس از این مرحله هر نمونه در دمایی حدود 100 درجه سانتیگراد در اوون قرار گرفته و سپس از طریقیک مش 2 میلیمتر الک و سرد می‌شود. تجزیه و تحلیل شیمیایی عناصر در آزمایشگاه انجام می‌شود. در این تجزیه نمونه های خاک با استفاده از روش چند اسید قوی  $HF, 4HClO, 3HNO$  به صورت محلول در می‌آیند. نمونه های محلول شده به وسیله روش طیف سنجی جرمی توسط پلاسما جفت شده القایی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. برای تایید کیفیت و اطمینان از صحت آزمایش با استفاده از داده های تکراری دقت آزمایش را تعیین می‌کنیم. همچنین برای تعیین صحت آزمایش نیز با استفاده از نمونه استاندارد می‌سنجیم. در این جا بر اساس نمونه استاندارد که از خاک منطقه ای در جنوب غرب استرالیا تهیه شده میزان خطای آزمایش  $\pm 5\%$  برآورد شده است.

## 5- عوامل غنی سازی (EF)

به منظور تعیین محل عناصر شیمیایی دارای غنی شدگی که در خاک معدن وجود دارد از عامل غنی سازی (EF) استفاده می‌کنیم. مفهوم (EF) در اوایل دهه 70 برای پیدا کردن و استخراج منشاء عناصر در جو بارش یا در آب به کار گرفته شد. اما به تدریج برای مواد دیگر زیست محیطی مانند خاک رسوبات دریاچه ای مورد استفاده قرار گرفت و در حال حاضر به طور گسترده استفاده شد. برای شناسایی منبع آلودگی عناصر فلزی موجود در سطح زمین بر اساس (EF)، پنج دسته آلودگی شناسایی شده است (EF < 2) غنی سازی حداقل، 2 ≤ EF < 5 غنی سازی متوسط، 5 ≤ EF < 20 غنی سازی قابل توجه، 20 ≤ EF < 40 غنی سازی بسیار بالا، EF > 40 غنی سازی فوق العاده بالا). عامل غنی سازی برای عناصر شیمیایی با استفاده از معادله زیر قابل محاسبه است. در این معادله EL عنصر مورد نظر ما که تحت بررسی قرار می‌دهیم و مقادیر داخل کروشه نشان دهنده غلظت عنصر است و X عنصر انتخابی مرجع است که اشاره به غلظت متوسط نمونه یا پوسته دارد.

$$EF_{EL} = \frac{[EL]_{sample}/[X]_{sample}}{[EL]_{crust}/[X]_{crust}}$$

## 6- روش تجزیه و تحلیل اکتشافی داده‌ها (EDA)

علاوه بر روش‌های تجزیه و تحلیل و عامل غنی سازی، روش فوق هم به دلیل اینکه یک روش مناسب برای تجزیه و تحلیل داده هاست مورد مطالعه قرار گرفت. این روش برای تعیین مقدار زمینه خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و آن را به عنوان یک مرجع برای ارزیابی آلودگی خاک توسط عناصر سمی به کار می‌برند. این روش شامل نمودارها و منحنی‌های هیستوگرام، جعبه ای، (Q - Q) و غیره است که به تعیین فواصل مختلف از غلظت سمی دلالت دارد و مشاهده بهتر از فراوانی را نمایش می‌دهد.

جدول 1: مقایسه پارامترهای آماری 5 عنصر انتخابی

عناصر	قطعه	تعداد لايه	جذر میانگین مربعات	متوسط خطای استاندارد	میانگین استاندارد	شاخص RMSE
Cu	0	12	271.80	265.80	0.03056	0.9958
Pb	418.56	12	29.28	29.48	0.02168	0.9951
Zn	2648.70	12	59.18	59.48	0.02974	0.9990
As	0	12	21.72	23.04	0.04592	0.9485
Fe	0	12	40.550	50.690	0.02712	0.7984

## 7- استفاده از GIS تهیه در آنالیز نقشه های ژئوشیمیایی

مختصات نقاط نمونه برداری و مقادیر غلظت عناصر شیمیایی انتخاب شده در یک پایگاه داده در (GIS) با هم ادغام شد. درون یابی نقاط و فضاهای برای عناصر مورد مطالعه در نقشه (GIS) با استفاده از روش زمین آمار شامل روش کریجینگ و واریوگرام برای عناصر مورد مطالعه (مس، سرب، روی، آرسنیک و آهن) در نظر گرفته شده است. مدل بهینه سازی شده دارای RMSE (خطای جذر میانگین مربعات) نزدیک به 1 باشد. این خطا تفاوت میان مقدار پیش بینی توسط برآورد کننده آماری و مقدار واقعی می‌باشد. روش تجزیه و تحلیل چند متغیره (MCA) با استفاده از (GIS) به منظور بررسی نقشه های ژئوشیمیایی و گسترش نقشه خطر آلودگی خاک بکار گرفته شد. این نقشه ها با استفاده از تحلیلگر فضایی (SPATIAL ANALYST) و نرم افزار (ARCGIS) که دارای قدرت پرسش گری در نقشه های ژئوشیمی برای هر عنصر مورد نظر می‌باشد تهیه شده است. هر جستجو در نقشه باعث استخراج مناطقی است که دارای مقادیر عناصر سمی و غیر عادی هستند (نقاط داغ) مکان و نقاطی که دارای مقادیر فلز و شبه فلز بیش از حد نرمال است (300mg/kg:CU, 100mg/kg:PB, 300 mg/kg:ZN, 50mg/kg:AS, 100000mg/kg:FE). در نهایت مناطق خاصی که دارای خطر آلودگی بالاتری هستند علامتگذاری شده تا برای سیاستمداران و تصمیم گیرندگان مفید باشد.

جدول 2: میزان پارامتر های آماری 5 عنصر مورد علاقه

عناصر	خاک معدن دره			پس زمینه ژئوشیمیایی خاک معدن دره (جمعیت اول)			محتوای غیر عادی خاک معدن دره (جمعیت سوم)			مقدار خالص غیر عادی	دستورالعمل های کیفیت خاک کانادا	محدوده جهانی خاک های غیر آلوده
	متوسط	میانه	مد	متوسط	میانه	مد	متوسط	میانه	مد			
Cu	62	203.4	62.3	34	43.8	43.05	28	397.2	222.2	353.4	63	6-60
Pb	62	41.4	32.9	26	21.8	22.45	36	55.6	44.4	33.8	70	10-70
Zn	62	136.0	116.5	40	102.6	105	22	196.5	172.5	93.9	200	17-125
As	62	33.3	25	20	13.9	13.5	42	42.6	30	28.7	12	1-15
Fe	62	76.974	59.800	49	56.978	55.800	13	152.346	150000	95.368	-	-

### 8- بحث و نتایج تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل عامل غنی شدگی پنج کلاس مختلف را نشان می دهد:

الف کلاس اول عناصری که غنی شدگی حداقل: Mo – Ni – Co – MN – U – Th – Sr – V – Ca – P – La-Cr-

Mg-Ba-Ti-Al-Na – K – W – Zn – Ce – Sn – Y – N – Ta – Be – Sc – Rb-Hf

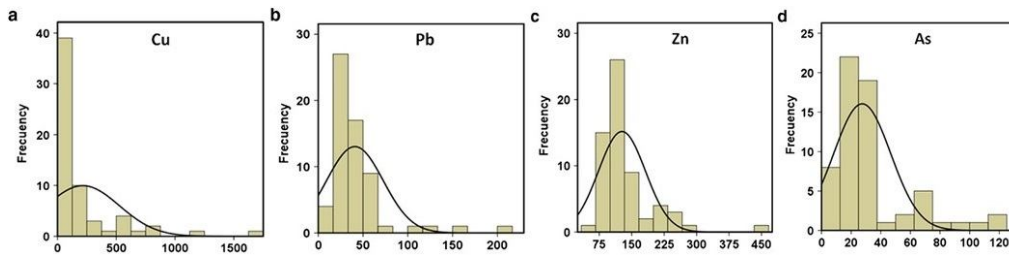
ب کلاس دوم عناصری با غنی شدگی متوسط: Pb-Zn-Ag-Fe-Cd-Li

ج - کلاس سوم عناصری با غنی شدگی قابل توجه: Sb-Cu

د - کلاس چهارم عناصری با غنی شدگی بالا: As-Bi

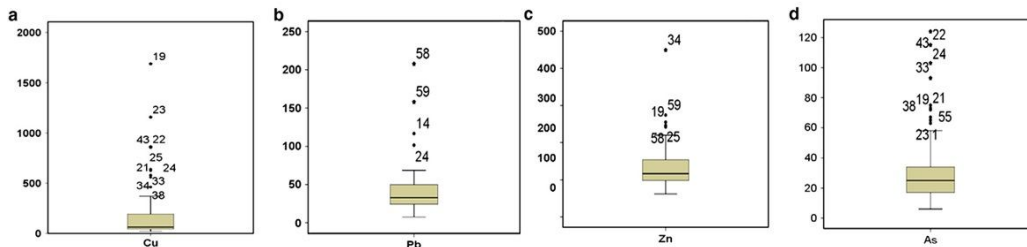
ه - کلاس پنجم عناصری با غنی شدگی بسیار بالا فقط: Au

اگر چه عناصر Ag-Au-Cd-Bi-Li-Sb دارای مقادیر غنی شدگی بین 2.93 تا 70.09 هستند اما میانگین غلظت آنها در خاک معدن دره کاشان پایین است و نمی تواند هیچ اثرات مضر روی انسان و حیوانات منطقه بگذارد. با این حال عناصر-Cu-Pb-Zn-As-Fe دارای میانگین مقادیر EF بین 2.17 تا 25.17 هستند. عناصر انتخابی مورد علاقه در بین همه عناصر مورد بررسی مس، سرب، روی، آرسنیک و آهن بودند که در غلظت های بالا امکان خطرناک و سمی بودن آنها وجود دارد. به منظور نشان دادن هر چه بهتر این موضوع شکل های (1) و (2) و (3) تهیه شده است که نمودار های مختلف هیستوگرام، جعبه ای و (Q-Q) را شامل می شود. که بر اساس پراکندگی عناصر انتخاب شده و مطابق (EDA) بدست آمده است. در شکل (2) خطی که جعبه را به دو قسمت تقسیم می کند نشان دهنده میانه است در انتهای ریشه ها داده های پرتب علامت دایره و به همراه شماره آن ارائه شده است. مقادیر خارج از ردیف شاخصی از فرآیند غیر معمول هستند که در بحث آماری به مقادیری که به طوری معنی دار نسبت به سایر مقادیر اختلاف دارند، مقادیر خارج از ردیف گفته می شود. این مقادیر معمولاً در منطقه آلوده وجود دارند. مقادیر خارج از ردیف عناصر انتخابی واقع شده در نزدیکی و پایین دست باطله های معدنی به احتمال زیاد دارای محتوای غیر عادی فلز یا شبه فلز هستند.



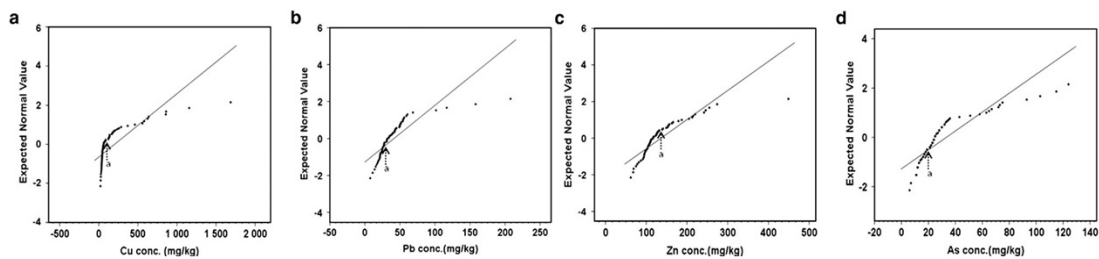
شکل 1: نمودارهای هیستوگرام نامتقارن و متمایل به راست (چولگی مثبت)

در شکل (3) مقادیر اندازه گیری شده روی محور X و مقادیر مورد انتظار اندازه گیری شده بر روی محور Y ها رسم شده است. نمودار تجسم قوی از داده ها به ما می دهد. نقاط عطف آن حاکی از حضور احتمال فرآیند ها است این بدان معنی است که انتخاب غلظت عناصر توزیع دارای توزیع نامتقارن است و چولگی به راست هستند که وجود مقادیر شدید بالا و در نتیجه درجه بالای آلودگی را نشان می دهد. نامتقارن بودن داده ها نیز با استفاده از آزمون عددی نرمال کولموگوروف - اسمیرنوف (K-S Test) بدست می آید. این آزمون جهت بررسی توزیع داده های یک متغیر کمی مورد استفاده قرار می گیرد. {2}



شکل 2: نمودار جعبه ای نامتقارن به سمت مقادیر حداقل غلظت

با توجه به نتایج (EDA) و محاسبه پارامترهای آماری در خاک منطقه دره شامل فواصل مختلف از غلظت ها است که حاکی از وجود جوامع متعددی از غنی سازی ها است و حدود غلظت متوسط شامل (Cu: 879 تا 6971 و مقدار کلارک آن Pb: 2428 تا 7 تا 778 و مقدار کلارک آن Zn: 156 تا 79 تا 361 و مقدار کلارک آن As: 176 تا 13 تا 715 و مقدار کلارک آن Fe: 200 تا 90.200 تا 413.600 و مقدار کلارک آن 294.825) است که نشان دهنده آن است که باطله های معدن دره دارای عناصر سمی در خود هستند و به احتمال زیاد مواد باطله معدن عامل اصلی آلودگی خاک در منطقه هستند.

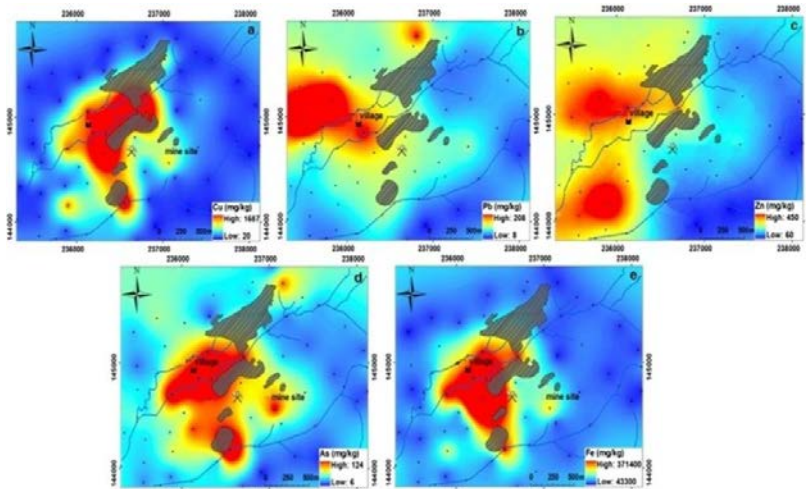


شکل 3: نمودارهای (Q-Q)

### 9- بررسی ژئوشیمیایی مقادیر زمینه خاک و تعیین آنومالی

مقدار زمینه خاک بر اساس منحنی نرمال تعیین می شود که تجسم خوبی از توزیع داده های تجربی ارائه می دهد. منحنی نمودارهای مس، سرب، روی، آرسنیک و آهن تحت تاثیر یک نقطه عطف واقع شده اند و وجود مقادیر غیر عادی را

نشان می دهد. تعیین نقاط عطف و تعیین مقادیر میانگین و میانه می تواند به ما برای پیدا کردن مقادیر زمینه و آنومالی کمک کند. مقادیر خالص آنومالی را می توان از کم کردن مقدار زمینه از مقدار آنومالی استنباط کرد. متأسفانه در کشور ایران هیچ استاندارد مشخصی برای حداکثر غلظت مجاز فلزات و غیر فلزات وجود در خاک برای جلوگیری از خطرات آلودگی محیط زیست وجود ندارد. بنابراین ارزش بدست آمده در این مطالعه در مقایسه با دستورالعمل ها و استانداردهای تصویب شده در کشور کانادا و اتحادیه اروپا خواهد بود. نتایج بدست آمده برای مقادیر زمینه Cu، Pb، Zn، As، Fe به ترتیب 43.8، 56.978، 13.9، 21.8102.6 است در حالیکه مقدار زمینه برای آرسنیک کمی بیش از استاندارد کانادا است و مقدار آن باید برابر 12 باشد با توجه به نتایج، مقادیر طبیعی عناصر مورد بررسی در خاک منطقه هیچگونه عوارض نامطلوب بهداشتی ندارد با این حال محاسبه مقادیر آنومالی عناصر نشان می دهد سهم فعالیت های انسانی در آلوده شدن منطقه دره تا چه اندازه بوده است. {3}



شکل 4 نقشه ژئوشیمیایی با استفاده از نرم افزار ArcGis

### 10- نقشه های ژئوشیمیایی و معیار های تجزیه و تحلیل

نمایش توزیع فضایی فلزات و شبه فلزات در خاک دره با استفاده از نقشه های (GIS) و بر اساس نقشه های زمین آمار (کریجینگ) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نقشه های بدست آمده ژئوشیمیایی با دیگر نقشه های موضوعی از قبیل مسیر جریان های آب و نقشه محل باطله های معدن مورد تلفیق واقع شده است. با توجه به نقشه های ژئوشیمیایی در شکل (4) غلظت های بالا برای عناصر Cu-Pb-Zn-As-Fe در اطراف و به ویژه در پایین دست باطله های معدنی قابل مشاهده است و این غلظت ها با افزایش فاصله از معدن و محل دفن باطله های معدنی کاهش مییابد. به طور کلی مواد پایین دست که دارای مواد باطله بیشتری هستند نسبت به مواد بالادست دارای غلظت های بالاتری هستند. از نظر وجود مس، خاک مورد مطالعه دره دارای غلظت بالایی حدود 20 تا 1678 mg/kg بود. مقادیر نرمال در قسمت بالادست و به دور از باطله های معدن واقع شد ولی مقادیر بالاتر از حد زمینه مس در بخش های پایین دست معدن وجود داشت که این مقادیر مس موجود در باطله های معدن مربوط به فاز دوم و سوم بهره برداری از معدن هستند که ناشی از بهره برداری پیریت و پیرویت است. همچنین مس از باطله های معدن و به وسیله (AMD) مشتق پیدا کرد و پس از آن به وسیله جریان آب های موقت و سطحی در طول فصل های بارانی پراکنده و انتشار پیدا کرد. عنصر سرب نیز که دارای غلظت متوسط در محدوده 7.6 تا 207.8 mg/kg است و مشاهده می شود بیشتر آنومالی و غلظت های بیش از حد زمینه 21.8 mg/kg در بخش های جنوبی واقع شده است که مربوط به فاز اول بهره برداری معدن (باطله های استخراج شده از اکسید آهن) هستند که به وسیله (AMD) و جریان

آب سطحی و جریان باد پراکنده شده اند. کانی گالن موجود در باطله های معدنی که در طول دوره بهره برداری باقی مانده است و به همین صورت عنصر روی نیز قابل بررسی که دارای غلظت متوسط 60 تا 450 و مقدار زمینه آن 102.6 و بیشتر در مناطق پایین دست دارای آلودگی بالاتری است. مناطق آلوده روی دارای دو منطقه شدیداً آلوده است که در یکی از آنها غلظت به 450 هم میرسد. باطله های معدن که حاوی ماده معدنی اسفالریت به وسیله (AMD) و آب های موجود باعث انتشار این عنصر در منطقه هستند. عنصر بعدی آرسنیک است که دارای الگوی توزیع مشابه با مس است. این عنصر دارای غلظت 6 تا 124 است و حد مقدار زمینه 13.9 است. در مقایسه با سایر عناصر انتخاب شده، آهن دارای بالاترین غلظت در منطقه مورد مطالعه استو غلظت آن 43.3 تا 371.400 mg/kg. آهن یک عنصر مهم و دارای فراوانی بسیار بالا در پوسته زمین است و نشان دهنده میزان پراکندگی آهن است که دارای الگویی مشابه بقیه عناصر دارد. در برخی از نقاط غلظت آهن از میزان حد زمینه تجاوز می کند و دارای آلودگی شدید می شوند. به طوری کلی نقشه های ژئوشیمیایی نشان می دهد که غلظت با فاصله از باطله های معدنی کاهش مییابد. با توجه به مطالب گفته شده نقشه نهایی از خطر آلودگی خاک در منطقه دره تهیه شد که شامل تلفیق نقشه های ژئوشیمیایی، نقشه های موضوعیاز قبیل نقشه های زمین شناسی، شبکه جریان آب، محل باطله های معدنی است. در مناطق پایین دست باطله های معدن دارای سطح بالای غلظت است. مس بیشتر از 300، سرب بیشتر از 100، روی بیشتر از 300، آرسنیک بیشتر از 50، آهن بیشتر از 100.

## 11- نتایج

مشاهده می شود که در قسمت مرکزی روستای دره که اکثریت جمعیت در آن قرار دارد شدت آلودگی اتفاق افتاده و غلظت فلزات و شبه فلزات مجاز آن در محدوده خطرناک واقع شده اند (مطابق دستورالعمل استاندارد اتحادیه اروپا و کانادا). بنابراین ممکن است اثرات منفی بر سلامت مردم به خصوص کودکان و خردسالان بگذارد و امکان جذب مقادیر بالایی از فلزات و شبه فلزات در سیستم هضم غذای ساکنین به وجود آورد و ابتلاء به بیماری سرطان و بیماری های پوستی و گوارشی را در پی دارد. همچنین تجمع مس در بافت های انسان امکان ابتلاء به بیماری های مغزی، اختلال در کبد و سیستم کلی بدن و همچنین سرب موجب پدید آمدن بیماری های خونی و اختلال در دستگاه گوارش، وجود روی سقط جنین و مرگ نوزاد و وجود آهن سبب آسیب شدید به بافت ها و ریه ها می شود. نتایج بدست آمده نشان می دهد که روش های آماری مورد استفاده در پردازش داده های ژئوشیمیایی از (GIS) و زمین آمار برای تهیه پراکندگی، غلظت و بی هنجاری و گسترش آلودگی ها و نظارت بر آلودگی خاک استفاده شد و در نهایت جزئیات نقشه نهایی از مناطقی که خطر آلودگی خاک در آن ها بیشتر است. غلظت عناصر مس، آرسنیک، آهن در خاک دره کاشان بیش از حد زمینه ژئوشیمیایی استاندارد که بر اساس دستورالعمل هایی کیفیت خاک کانادا و اروپا است. بنابراین نقشه های ژئوشیمیایی بدست آمده نشان می دهد: 1- در مناطق پایین دست معدن، جریان باطله های معدنی دارای غلظت بالاتری هستند 2- باطله های معدن دره کاشان توسط اسید محل زهکشی در خاک اطراف منتشر شده است 3- الگوی پراکندگی آلودگی، جریان های سطحی است که به وسیله بارش باران و حرکت جریان های آب بوجود می آید. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی آلودگی خاک ناشی از فعالیت های انسانی معدنکاری در یک منطقه محدود و کنترل شده انجام گرفت. بررسی کامل نیاز به زمان و هزینه های سرمایه گذاری بالا دارد اما کارهای انجام شده در این مطالعه می تواند به عنوان پایه و اساس برای مطالعه ژئوشیمیایی زیست محیطی به کار رود.

## مراجع

- 1-Hart, W. K., WoldeGabrie, G., Walter, R. C. and Mertzman, S. A., 1989, "Basaltic volcanism in Eth-iopia: constraints on continental rifting and mantle inte -ractions", Journal of Geophysical Research, 94: P.7748- 7731
- 2-Hawkesworth, C.J., Gallagher, K., Herg t, J.M. and Mcdermott, F., 1994, "Destructive plate margin magm- atism, geochemistry and melt generation", Lithos, :33P..188-169



3-Abdel-Fattah, M., Abdel-Rahman, A. M. and Nassar, P. E., 2004, "Cenozoic Volcanism in the Middle East: Petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon", Geol. Mag., 141(5): P.545-563