

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک کشاورزی جنوب بردسکن (استان خراسان رضوی)

محمد ابراهیم فاضل ولی پور^۱

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران Dr.ef.valipour@gmail.com

چکیده

همگام با رشد صنعت و فناوری، ورود آلاینده‌های زیست محیطی و درصدر آن فلزات سنگین به خاک، موجب افزایش نگرانی جامعه بشری در رابطه با امنیت غذایی شده است. این مطالعه با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی زمین‌های کشاورزی جنوب بردسکن واقع در استان خراسان رضوی انجام شده است. برای این منظور نمونه‌های خاک از عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت گردید. بافت خاک غالب گراول ماسه‌ای و PH خاک ۷٫۳ و نیمه قلیایی است. میانگین غلظت کل کادمیوم، مس، منگنز و مولیبدن به ترتیب ۰٫۶۶ و ۲۱۶۷ و ۶٫۶۷ (برحسب ppm) اندازه‌گیری شدند. بیشترین مقدار شاخص زمین انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی به ترتیب مربوط به مس (۰٫۶)، مولیبدن (۶٫۲۶) و مولیبدن (۴٫۴۴) است. شاخص جامع آلودگی که از میانگین شاخص آلودگی کلیه فلزات محاسبه شد برابر با ۲٫۳۶ است و در کلاس آلودگی متوسط قرار گرفت. بالا بودن غلظت فلزات سنگین مس، مولیبدن، منگنز و کادمیوم در جنوب بردسکن می‌تواند تهدیدی برای کشاورزی در این منطقه باشد. وجود رخساره‌های سنگی مختلف همراه با ساختارهای زمین‌شناسی مانند گسل‌ها و فعالیت‌های انسانی مانند معدن کاری، کشاورزی و صنعتی می‌تواند زمینه‌های لازم را برای آلودگی خاک به فلزات سنگین فراهم نماید و موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی منطقه شده باشد. نظارت مستمر بر غلظت آلاینده‌ها در خاک و محصولات کشاورزی برای حفظ منابع تولید و دست‌یابی به امنیت غذایی ضروری است.

کلید واژه: فلزات سنگین، جنوب بردسکن، آلودگی خاک، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت.

۱- مقدمه

غلظت بالای فلزات سنگین در خاک می‌تواند برای اکوسیستم‌ها و انسان خطرات دراز مدت به همراه داشته باشد. گرچه فلزات سنگین در مقادیر متفاوت از مواد مادری خاک‌ها آزاد می‌شوند، آلودگی رو به افزایش محیط زیست به علت فعالیت بشر ایجاد می‌شود (Murciego, et al, 2007). از اثرات فلزات سنگین می‌توان به سر درد، فشار خون بالا و بیماری‌های کلیوی اشاره کرد (Shah, et al, 2012). این مقاله به ارزیابی آلودگی خاک با فلزات سنگین در جنوب بردسکن می‌پردازد. شهرستان بردسکن از جمله مناطق کوهستانی در استان خراسان رضوی است که از دیر باز در دامنه‌های آن کشاورزی صورت می‌گرفته است، بنابراین ضرورت بررسی غلظت فلزات سنگین در این منطقه آشکار است.

خاک به عنوان یکی از منابع دیر تجدیدشونده نقش مهمی در چرخه عناصر آلی و معدنی ایفا می‌کند و به عنوان یک محیط پویا، حیات موجودات را میسر می‌سازد (Fowler, et al, 1991). در چند دهه اخیر یکی از مشکلات زیست محیطی که مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است، آلودگی‌های خاک ناشی از سازندهای زمین‌شناسی و فعالیت معدن‌کاری می‌باشد (Misra, et al, 2009). در میان آلاینده‌های شیمیایی، فلزات سنگین به لحاظ اثرات اکولوژیکی، بیولوژیکی و بهداشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آنها بر موجودات زنده در غلظت‌های کم حائز اهمیت می‌باشند (Elinder, et al, 1986).

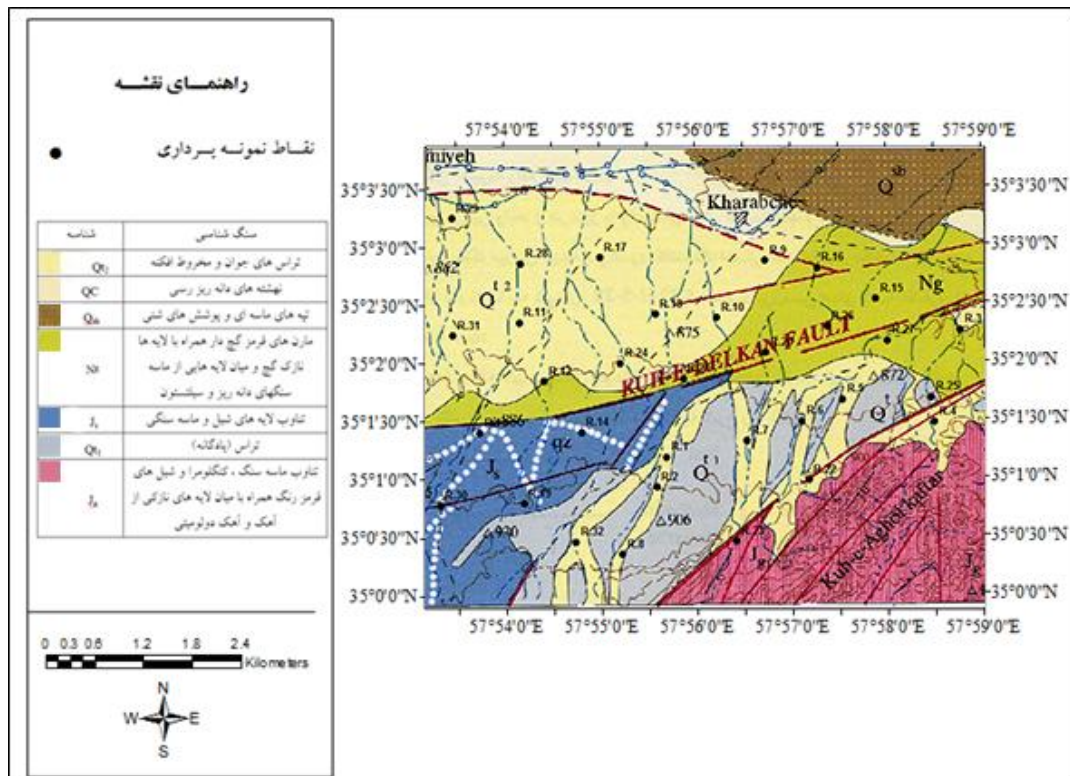
روش تحقیق

نمونه‌برداری

شد تا همگن‌سازی انجام شود. مقدار ۱۰ گرم از خاک منطقه (مواد عبوری از الک ۲۰۰) به آزمایشگاه زرآما ارسال گردید تا برای تعیین میزان فلزات سنگین به روش طیف سنجی جرمی پلاسمای القایی (ICP-MS) تجزیه شوند. بافت خاک غالب گراول ماسه‌ای و کمی قلیایی است.

به منظور پردازش اطلاعات و ارزیابی آلودگی از ضریب غنی‌شدگی عناصر (EF)، ضریب آلودگی (CF)، شاخص زمین‌انباشت (Igeo)، درجه آلودگی اصلاح شده (Mcd) استفاده شد.

نمونه‌برداری صحیح یکی از مراحل اولیه و بسیار مهم در مطالعات محیط زیست است. پس از بررسی اولیه منطقه و انتخاب الگوی مناسب جهت نمونه‌برداری، برداشت نمونه‌ها در طی یک مرحله صورت گرفت که در آن ۳۲ نمونه خاک از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و از بخش‌های مختلف منطقه برداشته شد (شکل ۱). در هر محدوده ۸ نمونه (۷ نمونه از گوشه‌ها و یک نمونه از مرکز) برداشت گردید تا نمونه همگنی به وزن حدود ۲ کیلوگرم از هر محدوده به دست آید. نمونه‌ها از خاک‌های کشاورزی اطراف معدن برداشت گردید. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال و پس از خشک شدن از الک عبور داده



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن

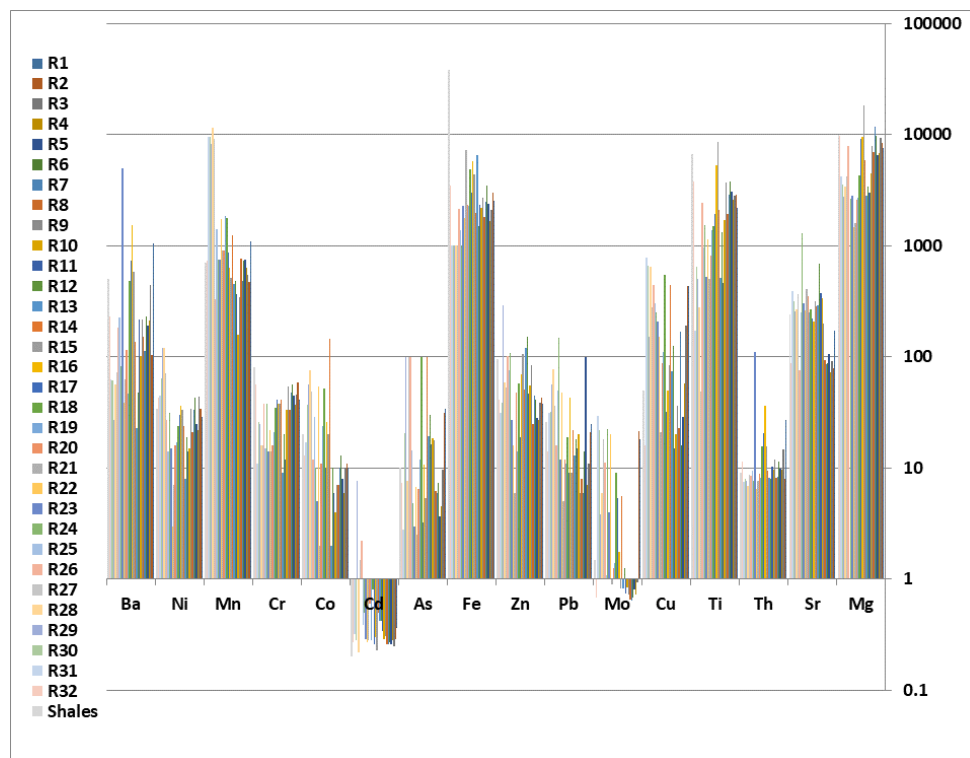
بحث و نتیجه‌گیری:

ضریب بار آلودگی و شاخص زمین‌انباشت اشاره نمود. مقایسه غلظت عناصر مس، مولیبدن، سرب، آرسنیک، کادمیوم، کبالت، منگنز، استرانسیم و توریم دارای میانگینی بالاتر از شیل جهانی بوده و غلظت عناصری مانند روی، آهن، کروم، نیکل، منیزیم، باریوم و تیتانیوم کمتر از شیل جهانی است (شکل ۲).

به منظور تعیین میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، معمولاً از مقایسه میزان عناصر در منطقه با استانداردهای بین‌المللی بهره می‌گیرند (جدول ۱). در این راستا روش‌ها و عوامل مختلفی در ارزیابی آلودگی‌ها ارائه شده است. از آن جمله می‌توان به ضریب غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی،

جدول ۱- میانگین غلظت فلزات سنگین با شیل جهانی

| SAMPLE | شیل جهانی | پوسته زمین |
|--------|-----------|------------|
| Zn | 95 | 70 |
| Pb | 20 | 12/5 |
| Cr | 100 | 102 |
| Ni | 68 | 50 |
| Cu | 45 | 55 |
| As | 13 | 1/8 |
| Sb | 1/5 | 0/2 |
| Co | 19 | 25 |
| Ba | 580 | 425 |
| V | 130 | 120 |
| Sr | 300 | 375 |
| Ba | 3 | 10 |
| Li | 66 | 20 |
| Zr | 160 | 165 |



شکل ۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه با شیل جهانی

ضریب غنی‌شدگی (EF)

ضریب غنی‌شدگی از رابطه (۱) بدست می‌آید. (Loska, et al, 1995).

$$EF = \frac{CX1}{Cref1} \div \frac{CX2}{Cref2}$$

رابطه (۱)

ضریب غنی‌شدگی عناصر بیانگر میزان تأثیر عامل خارجی بر رسوبات (Zhang, et al, 2009) و روش مناسبی در تعیین تأثیر منشاء سنگ‌زاد و انسان‌زاد آلودگی‌هاست (Adamo, et al, 2005). در این ضریب غلظت عنصر نمونه را با غلظت آن عنصر در زمینه مقایسه می‌کنند.

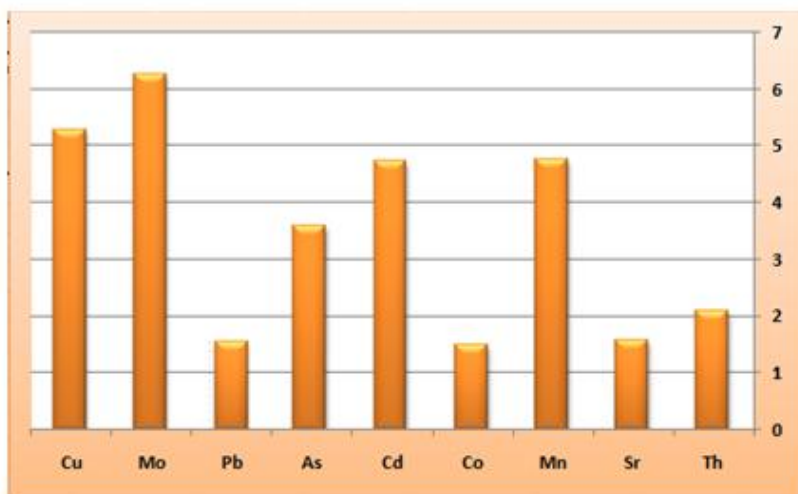
متوسط و مابقی عناصر بدون غنی‌شدگی یا غنی‌شدگی کم دارند.

نقشه پهنه‌بندی رسم شده منطقه افزایش غنی‌شدگی عناصر مس، مولیبدن و منگنز را در سمت غرب منطقه و افزایش غنی‌شدگی کادمیوم را در مناطق شمالی و مرکزی نشان می‌دهد. این امر می‌تواند به دلیل وجود حرکت محلول‌های مس‌دار توسط ساختارهای خطی و گسلی و نیز فعالیت‌های انسانی باشد (شکل ۴).

در این رابطه EF ضریب غنی‌شدگی، CX_1 غلظت عنصر بررسی شده، $Cref_1$ غلظت عنصر مینا، CX_2 غلظت عنصر در محیط مینا (پوسته زمین)، $Cref_2$ غلظت عنصر مینا در پوسته زمین است. ضریب غنی‌شدگی برای نمونه‌های خاک منطقه محاسبه و مقادیر ضریب غنی‌شدگی میانگین عناصر مورد بررسی در شکل ۳ و جدول ۳ نشان داده شده‌اند. براساس طبقه‌بندی (Chen, et al, 2007) (جدول ۲)، در خاک‌های منطقه مس و مولیبدن دارای غنی‌شدگی متوسط تا شدید، آرسنیک، کادمیوم، منگنز و توریم غنی‌شدگی

جدول ۲- رده‌بندی ضریب غنی‌شدگی

| ضریب غنی‌شدگی EF | شدت غنی‌شدگی |
|------------------|------------------------|
| $EF < 1$ | غنی‌شدگی وجود ندارد |
| $EF < 3$ | غنی‌شدگی کم |
| 3_5 | غنی‌شدگی متوسط |
| 5_10 | غنی‌شدگی متوسط تا شدید |
| 10_25 | غنی‌شدگی شدید |
| 25_50 | غنی‌شدگی خیلی شدید |
| $EF > 50$ | غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید |

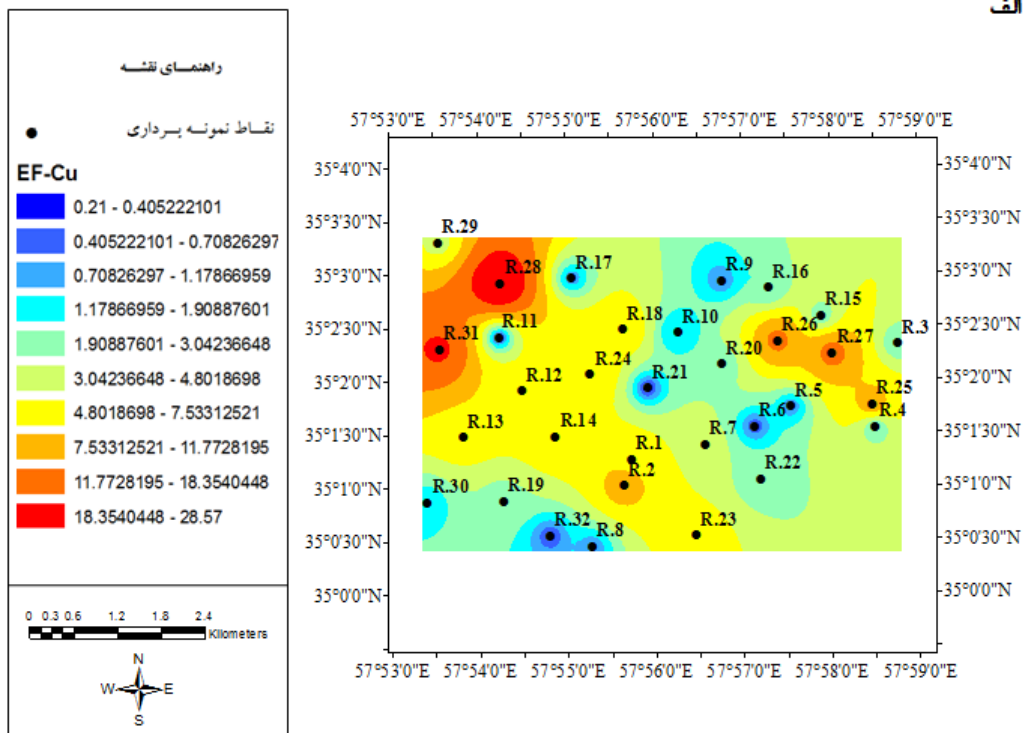


شکل ۳ - ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

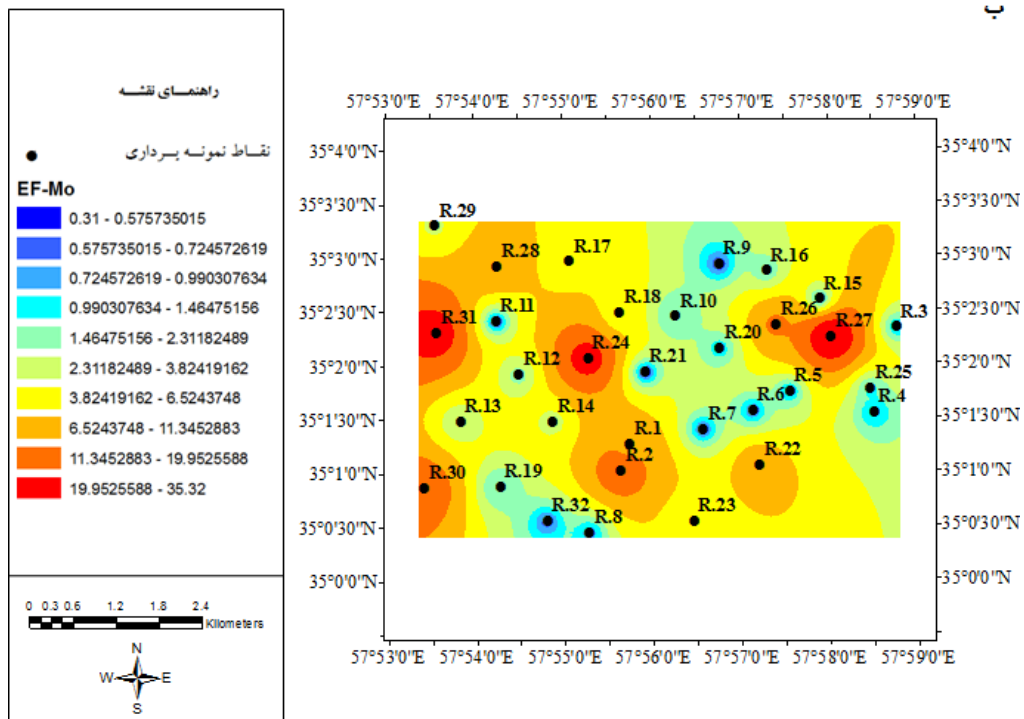
جدول ۳- مقادیر محاسبه شده فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های برداشت شده از منطقه

| EF | Cu | Mo | Pb | As | Cd | Co | Mn | Sr | Th |
|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| R.1 | 6.72 | 10.05 | 0.6 | 2.6 | 1.38 | 0.38 | 1.2 | 0.55 | 2.29 |
| R.2 | 9.53 | 17.14 | 0.72 | 3.4 | 1.61 | 0.61 | 0.75 | 0.36 | 0.98 |
| R.3 | 1.9 | 0.95 | 0.6 | 1.38 | 1.78 | 0.71 | 1.1 | 0.54 | 0.25 |
| R.4 | 1.75 | 0.79 | 0.41 | 0.69 | 2.15 | 0.46 | 1.39 | 0.46 | 1.65 |
| R.5 | 0.68 | 0.67 | 4.47 | 0.43 | 1.52 | 0.47 | 1.25 | 0.52 | 1.29 |
| R.6 | 0.4 | 0.6 | 0.67 | 0.91 | 1.68 | 0.81 | 1.3 | 0.45 | 1.58 |
| R.7 | 3.95 | 0.53 | 0.27 | 0.7 | 1.52 | 0.58 | 0.81 | 1.01 | 1.09 |
| R.8 | 0.76 | 0.78 | 0.51 | 1.03 | 2.16 | 0.58 | 1.83 | 0.65 | 1.51 |
| R.9 | 0.75 | 0.54 | 0.24 | 1.88 | 1.63 | 0.36 | 0.51 | 0.86 | 1.4 |
| R.10 | 0.5 | 0.75 | 0.96 | 2.3 | 1.81 | 0.25 | 0.28 | 1.75 | 1.33 |
| R.11 | 0.29 | 0.4 | 0.44 | 1.26 | 1.3 | 0.23 | 0.4 | 1.2 | 0.87 |
| R.12 | 5 | 1.78 | 1.38 | 6.02 | 4.2 | 1 | 1.36 | 5.74 | 1.77 |
| R.13 | 5.92 | 2.37 | 2 | 7.68 | 8.4 | 0.4 | 2.58 | 4.8 | 3.64 |
| R.14 | 6.86 | 3.07 | 0.65 | 7.69 | 1.92 | 5.57 | 1.36 | 0.91 | 0.8 |
| R.15 | 1.97 | 0.68 | 0.4 | 0.62 | 1.35 | 1.17 | 0.85 | 0.17 | 2.06 |
| R.16 | 1.25 | 1.55 | 2.06 | 1.33 | 1.87 | 1.62 | 1.11 | 1.07 | 5.04 |
| R.17 | 0.8 | 4.73 | 0.43 | 0.4 | 1.62 | 0.62 | 1.56 | 1.15 | 2.83 |
| R.18 | 7.47 | 4.48 | 0.5 | 6.89 | 2.75 | 1.79 | 1.74 | 0.76 | 1.21 |
| R.19 | 2.22 | 1 | 0.42 | 1.18 | 1.4 | 1.2 | 2.65 | 1.04 | 0.9 |
| R.20 | 2.07 | 1.05 | 0.54 | 0.75 | 3.52 | 0.64 | 1.52 | 1.71 | 1.16 |
| R.21 | 0.21 | 0.31 | 0.09 | 0.12 | 0.7 | 0.05 | 0.64 | 0.84 | 0.42 |
| R.22 | 2.11 | 9.95 | 1.27 | 0.46 | 0.91 | 1.86 | 1.7 | 0.07 | 0.49 |
| R.23 | 6.43 | 4.39 | 0.71 | 0.46 | 2.23 | 0.38 | 1.63 | 0.19 | 19.02 |
| R.24 | 7.81 | 26.54 | 9.48 | 0.8 | 4.16 | 0.83 | 1.79 | 9.03 | 1.42 |
| R.25 | 9.38 | 1.19 | 2.59 | 2.2 | 3 | 2.23 | 3.06 | 1.6 | 1.62 |
| R.26 | 13.66 | 12.57 | 0.94 | 15.38 | 16.92 | 0.92 | 0.71 | 0.48 | 1.45 |
| R.27 | 14.05 | 35.32 | 3.46 | 25 | 18.75 | 6.12 | 32.31 | 3.79 | 2.38 |
| R.28 | 28.57 | 9.36 | 6.66 | 1.68 | 2.44 | 8.44 | 36.48 | 2.47 | 1.7 |
| R.29 | 4.02 | 3.61 | 2.87 | 13.33 | 51.33 | 3.73 | 15.76 | 1.42 | 1.14 |
| R.30 | 1.36 | 16.54 | 1.29 | 5.31 | 1.47 | 1.94 | 14.45 | 1.37 | 0.93 |
| R.31 | 19.7 | 26.25 | 1.49 | 0.35 | 2 | 1.06 | 17.05 | 3.04 | 1.04 |
| R.32 | 0.4 | 0.6 | 0.67 | 0.91 | 1.68 | 0.81 | 1.3 | 0.45 | 1.58 |
| Mean | 5.26 | 6.26 | 1.55 | 3.59 | 4.72 | 1.49 | 4.76 | 1.57 | 2.08 |

الف

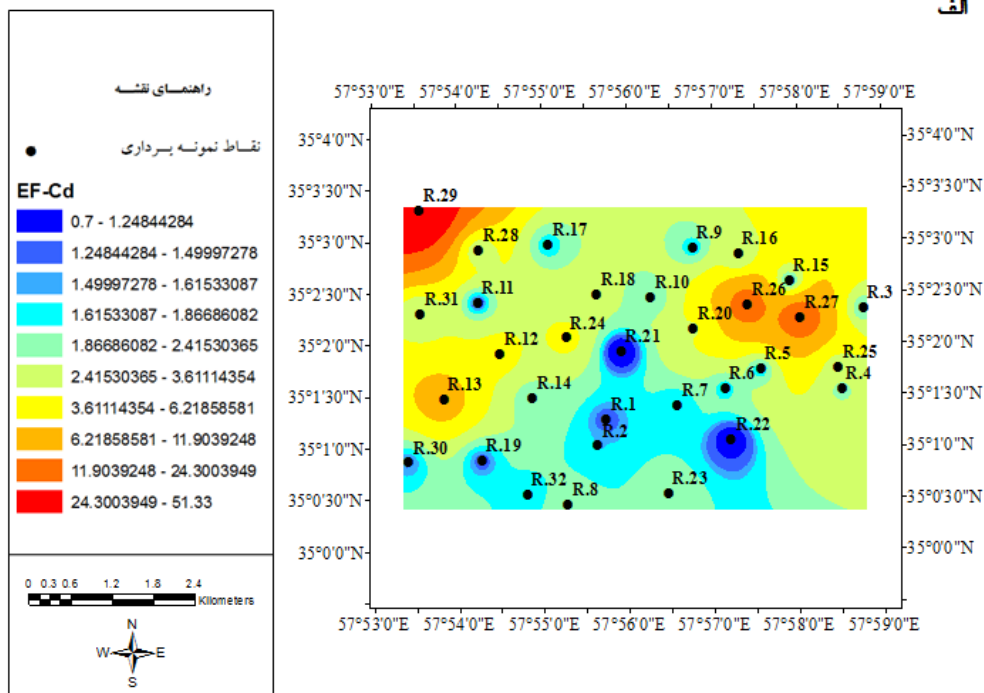


ب

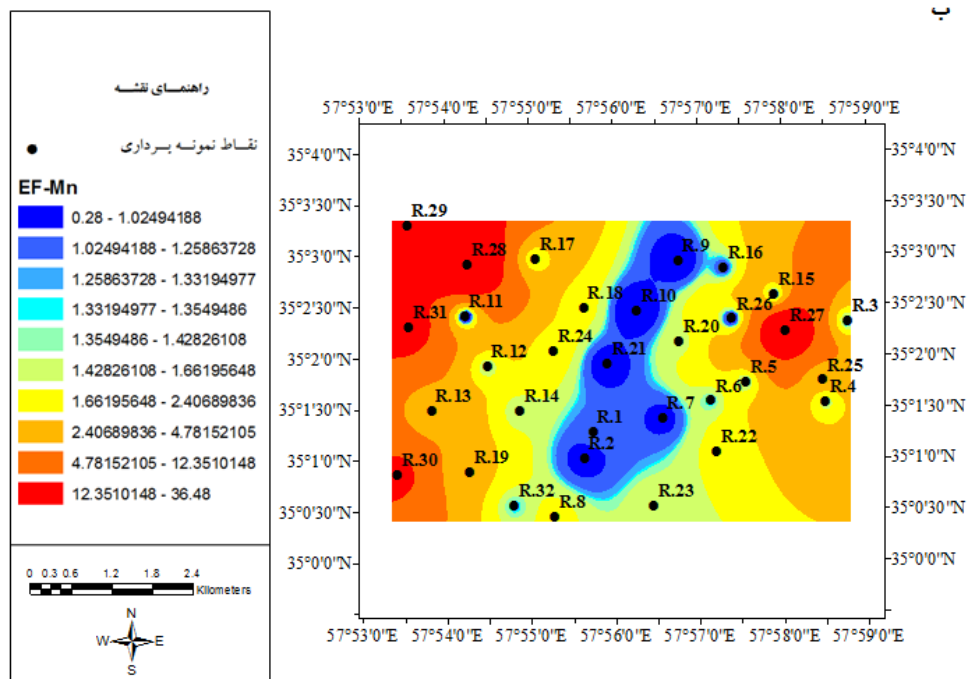


شکل ۱-۴ - نقشه پهنه‌بندی ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین مس و مولیبدن در خاک منطقه مورد مطالعه

الف



ب



شکل ۲-۴ - نقشه پهنه‌بندی ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین منگنز و کادمیوم در خاک منطقه مورد مطالعه

ضریب آلودگی (CF)

آلودگی قوی، منگنزو کادمیوم آلودگی متوسط تا قوی را دارا هستند. مابقی عناصر فاقد آلودگی بوده و یا آلودگی کمی دارند. بالاترین ضریب آلودگی در خاک R29 نسبت به عنصر کادمیوم بوده که نزدیک جاده اصلی و مناطق مسکونی برداشت شده و خاک R31 بیشترین آلودگی را نسبت به مس و مولیبدن نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی رسم شده در منطقه نشان‌دهنده افزایش آلودگی خاک به عناصر مس، مولیبدن، منگنزو کادمیوم می‌باشد. (شکل ۶)

ضریب آلودگی بیانگر میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین است و از رابطه ۲ بدست می‌آید. (Abraham, et al, 2008). در این رابطه CF ضریب آلودگی غلظت عنصر مورد بررسی و Bn غلظت عنصر در شیل جهانی است.

$$\text{رابطه (۲)} \quad CF = \frac{Cn}{Bn}$$

ضریب آلودگی محاسبه شده برای نمونه‌های خاک در شکل ۵ و جدول ۵ نشان داده شده است. براساس رده‌بندی (Hakanson, 1980)، (جدول ۴)، عناصر مس و مولیبدن

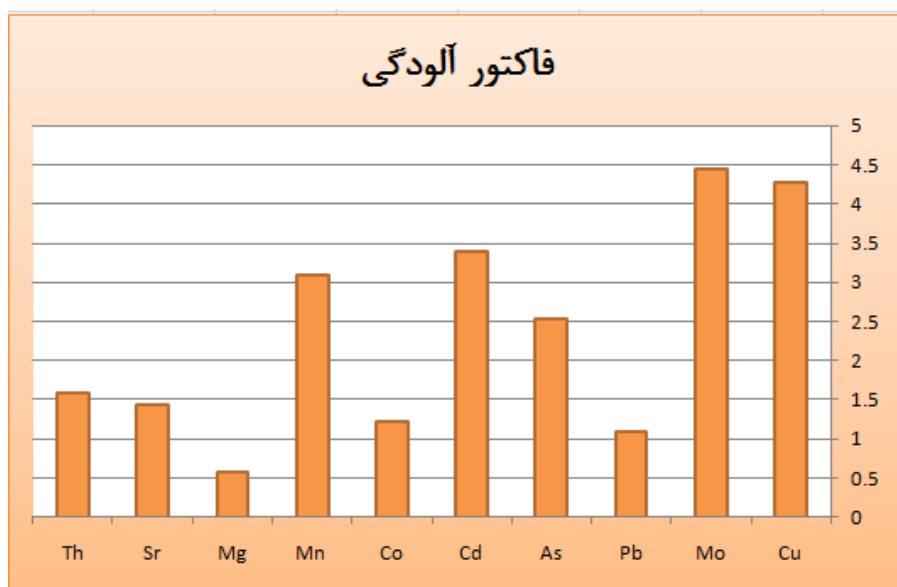
جدول ۴- رده‌بندی ضریب آلودگی

| مقدار فاکتور آلودگی CF | درجه آلودگی (Degree of pollution) |
|---------------------------|--|
| ۰ | بدون آلودگی (Clean) |
| ۱ | بدون آلودگی تا آلودگی متوسط (Clean to Medium pollution) |
| ۲ | آلودگی متوسط (Medium pollution) |
| ۳ | آلودگی متوسط تا قوی (pollution to High Medium) |
| ۴ | آلودگی قوی (High pollution) |
| ۵ | آلودگی قوی تا خیلی قوی (High to Very High pollution) |
| ۶ | آلودگی خیلی قوی (Very High pollution) |

جدول ۵ - مقادیر ضریب آلودگی محاسبه شده برای نقاط نمونه برداری به تفکیک عناصر مورد بحث در منطقه مورد مطالعه

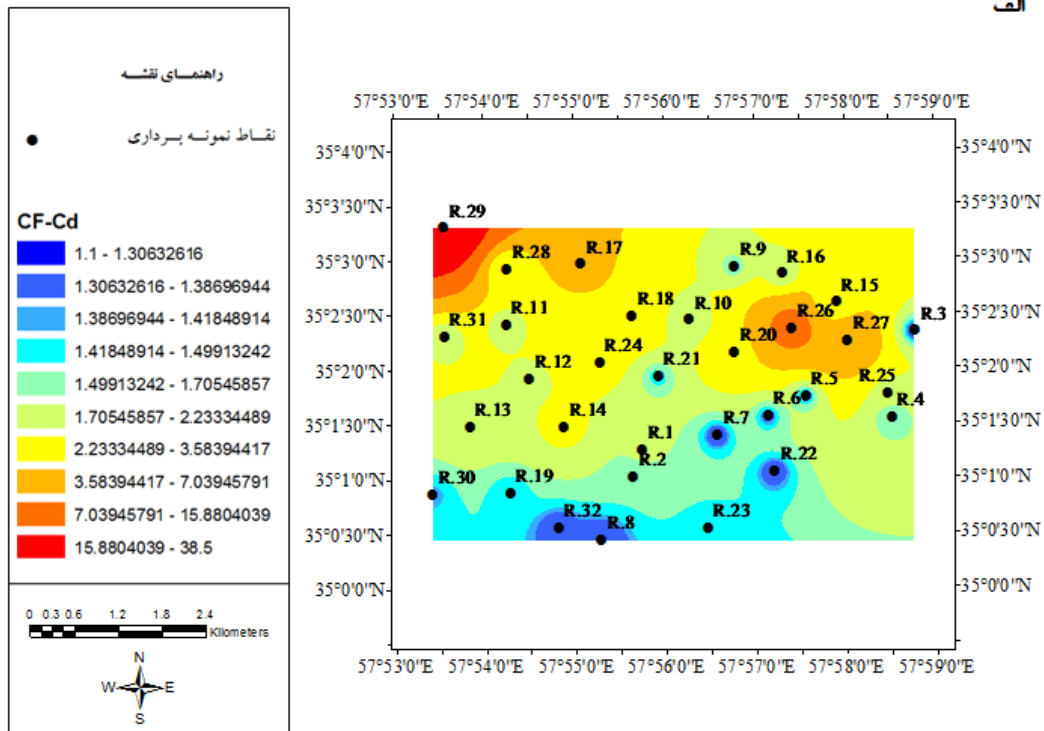
| CF | Th | Sr | Mg | Mn | Co | Cd | As | Pb | Mo | Cu |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R.1 | 2.98 | 0.72 | 0.75 | 1.57 | 0.5 | 1.8 | 3.39 | 0.96 | 12.2 | 8.47 |
| R.2 | 0.88 | 0.32 | 0.83 | 0.68 | 0.55 | 1.45 | 3.11 | 0.8 | 14.4 | 8.58 |
| R.3 | 1.62 | 0.37 | 0.92 | 0.77 | 0.5 | 1.25 | 0.97 | 0.42 | 0.62 | 3.8 |
| R.4 | 1.07 | 0.3 | 0.68 | 0.9 | 0.3 | 1.4 | 0.45 | 0.26 | 0.48 | 1.14 |
| R.5 | 1.1 | 0.44 | 0.65 | 1.06 | 0.4 | 1.3 | 0.37 | 3.8 | 0.53 | 0.58 |
| R.6 | 1.26 | 0.36 | 0.97 | 1.04 | 0.65 | 1.32 | 0.73 | 0.53 | 0.45 | 0.32 |
| R.7 | 0.93 | 0.35 | 1.17 | 0.69 | 0.5 | 1.3 | 0.6 | 0.23 | 0.42 | 3.36 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| R.8 | 0.91 | 0.39 | 0.7 | 1.09 | 0.35 | 1.3 | 0.62 | 0.3 | 0.44 | 0.46 |
| R.9 | 1.33 | 0.82 | 0.78 | 0.49 | 0.35 | 1.55 | 1.79 | 0.23 | 0.48 | 0.72 |
| R.10 | 1.06 | 1.4 | 0.44 | 0.22 | 0.2 | 1.45 | 1.84 | 0.76 | 0.56 | 0.4 |
| R.11 | 1.13 | 1.56 | 0.3 | 0.52 | 0.3 | 1.7 | 1.64 | 0.57 | 0.49 | 0.3 |
| R.12 | 0.88 | 2.87 | 0.33 | 0.68 | 0.5 | 2.1 | 3.01 | 0.69 | 0.83 | 2.5 |
| R.13 | 0.91 | 1.2 | 0.27 | 0.64 | 2 | 2.1 | 1.92 | 0.5 | 0.55 | 1.48 |
| R.14 | 1.04 | 1.18 | 0.58 | 1.77 | 7.25 | 2.5 | 10 | 0.84 | 3.73 | 8.92 |
| R.15 | 1.75 | 1.31 | 1.81 | 0.73 | 1 | 1.15 | 0.53 | 0.34 | 0.54 | 1.68 |
| R.16 | 4.03 | 0.85 | 0.94 | 0.89 | 1.3 | 1.5 | 1.07 | 1.65 | 1.16 | 1 |
| R.17 | 2.26 | 0.92 | 0.92 | 1.24 | 0.5 | 4 | 0.32 | 0.34 | 3.53 | 0.64 |
| CF | Th | Sr | Mg | Mn | Co | Cd | As | Pb | Mo | Cu |
| R.18 | 1.75 | 1.11 | 0.42 | 2.53 | 2.6 | 4 | 10 | 0.73 | 6.06 | 10.84 |
| R.19 | 0.9 | 1.04 | 0.27 | 2.65 | 1.2 | 1.4 | 1.18 | 0.42 | 0.93 | 2.22 |
| R.20 | 0.98 | 1.45 | 0.25 | 1.3 | 0.55 | 3 | 0.64 | 0.46 | 0.84 | 1.76 |
| R.21 | 0.84 | 1.69 | 0.15 | 1.28 | 0.01 | 1.4 | 0.25 | 0.19 | 0.59 | 0.42 |
| R.22 | 0.72 | 1.08 | 0.14 | 2.47 | 2.7 | 1.32 | 0.67 | 1.84 | 13.46 | 3.06 |
| R.23 | 12.36 | 1.25 | 0.28 | 1.06 | 0.25 | 1.45 | 0.3 | 0.46 | 2.66 | 4.18 |
| R.24 | 0.85 | 5.42 | 0.26 | 1.07 | 0.5 | 2.5 | 0.48 | 5.69 | 14.86 | 5.04 |
| R.25 | 1.05 | 1.04 | 0 | 1.99 | 1.45 | 1.95 | 1.43 | 1.92 | 0.72 | 6.1 |
| R.26 | 0.94 | 0.31 | 0.79 | 0.46 | 0.6 | 11 | 10 | 0.61 | 7.46 | 8.88 |
| R.27 | 0.95 | 1.51 | 0.41 | 12.92 | 2.45 | 7.5 | 10 | 1.38 | 12.06 | 5.62 |
| R.28 | 0.76 | 1.11 | 0.33 | 16.42 | 3.8 | 1.1 | 0.76 | 3 | 3.93 | 12.56 |
| R.29 | 0.85 | 10.6 | 0.27 | 11.82 | 2.8 | 38.5 | 10 | 2.12 | 2.53 | 3.02 |
| R.30 | 0.88 | 1.03 | 0.35 | 13.73 | 1.85 | 1.4 | 2.05 | 1.23 | 14.66 | 13.1 |
| R.31 | 0.83 | 1.63 | 0.42 | 13.64 | 0.85 | 1.6 | 0.28 | 1.19 | 19.6 | 15.76 |
| R.32 | 1.26 | 0.36 | 0.97 | 1.04 | 0.65 | 1.32 | 0.73 | 0.53 | 0.45 | 0.32 |
| Mean | 1.59 | 1.43 | 0.57 | 3.10 | 1.23 | 3.39 | 2.53 | 1.09 | 4.44 | 4.28 |

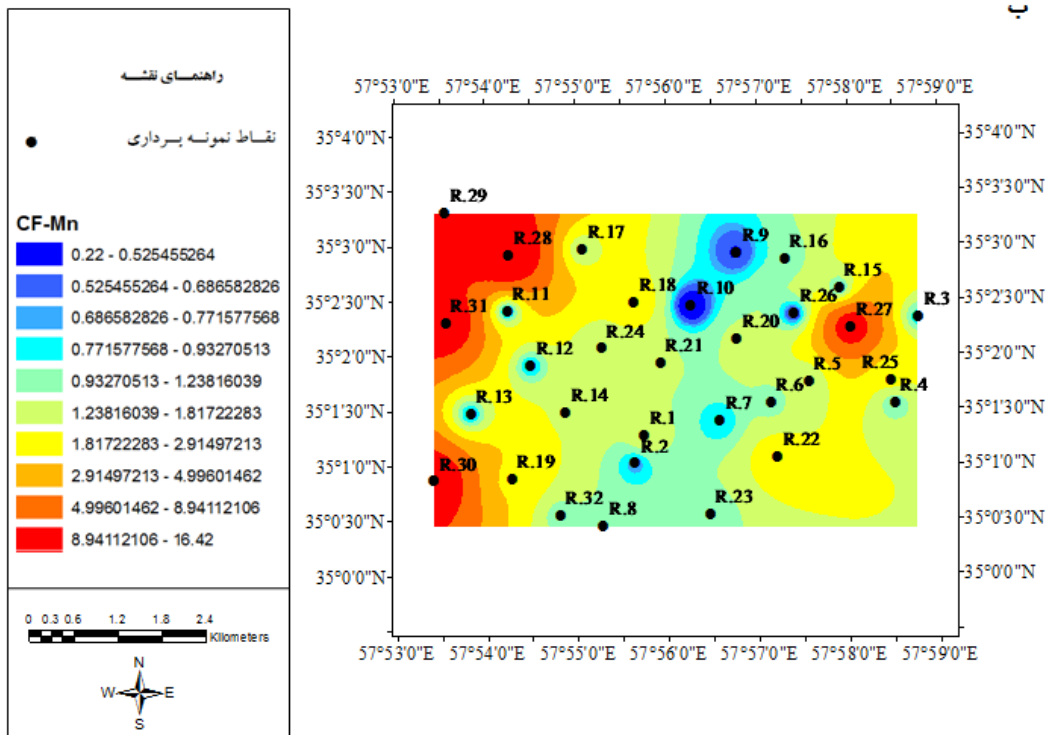


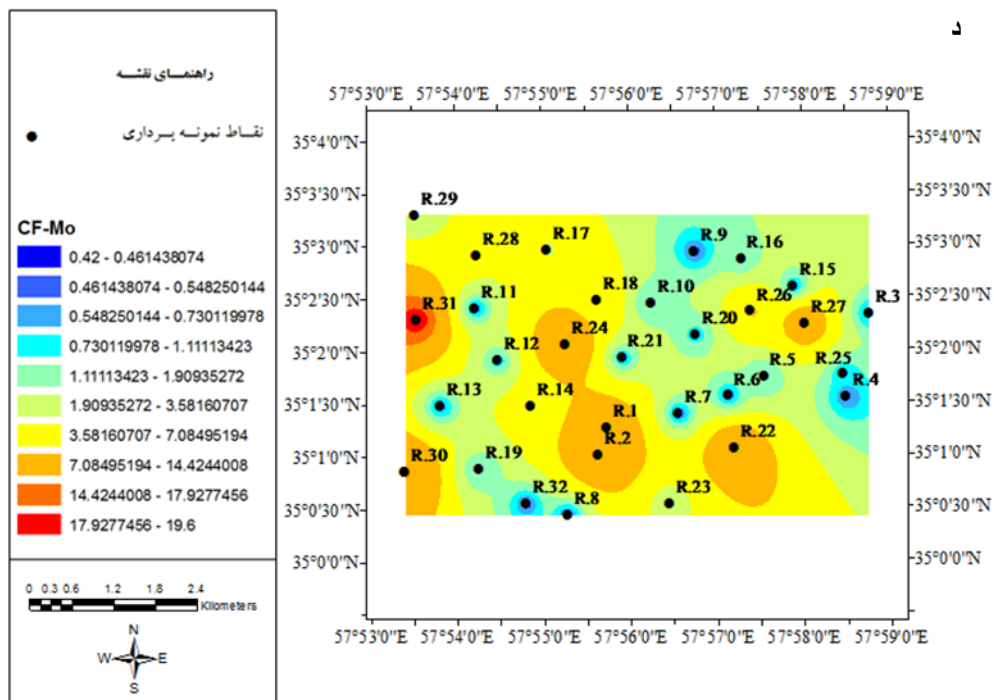
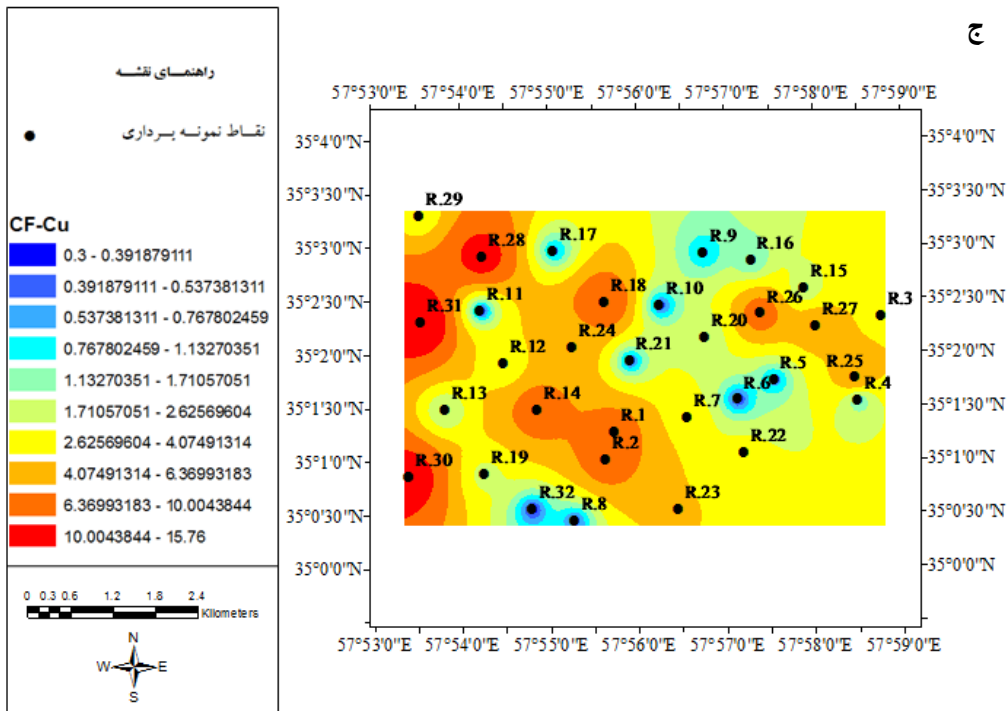
شکل ۵- ضریب آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

الف



ب





شکل ۶- نقشه توزیع فاکتور آلودگی عناصر: الف) کادمیم (ب) منگنز (ج) مس (د) مولیبدن در خاک منطقه مورد مطالعه

شاخص زمین انباشت (Igeo)

کار می‌رود (Audry, et al, 2004). شاخص یاد شده با رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / 1.5 B_n]$$

رابطه (۳)

این شاخص برای نخستین بار توسط مولر یان و به عنوان شاخص مولر شناسایی شد (Muller, 1979). این شاخص برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به

غیر آلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی شده است (Luoping Zhang, et al,2007). (جدول ۶). همان گونه که ملاحظه می‌گردد و فقط عناصر مس، مولیبدن و کادمیوم کمی آلودگی نشان می‌دهند و مابقی عناصر فاقد آلودگی هستند (شکل ۷ و جدول ۷).

در این رابطه Cn غلظت عنصر مورد نظر در نمونه، Bn غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. در این رابطه ضریب ۱/۵ برای حذف احتمالی زمینه به‌علت تأثیرات زمین‌شناختی اعمال می‌شود. (Gonzales, A., et al 2000). این شاخص دارای هفت گروه است که از

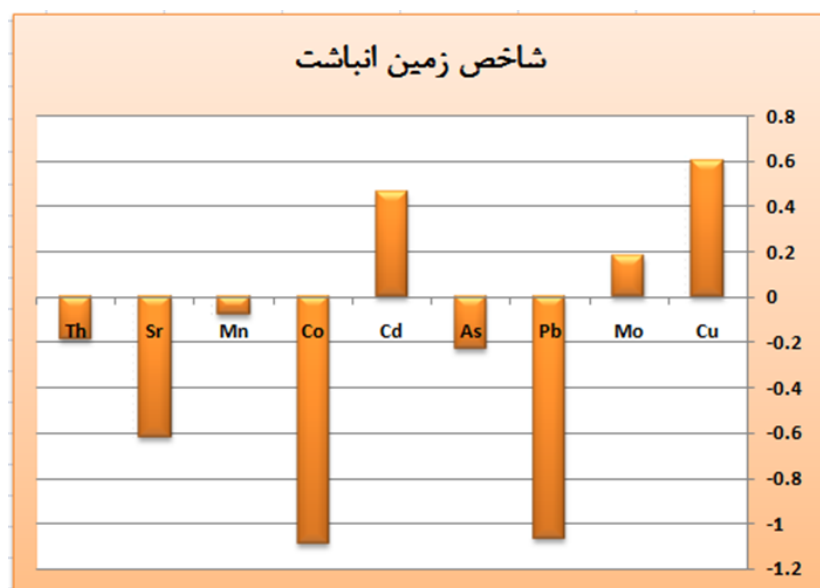
جدول ۶- طبقه‌بندی شاخص زمین انباشت

| درجه آلودگی | شاخص زمین انباشت Igeo | شدت آلودگی |
|-------------|-----------------------|----------------------------|
| ۱ | ≤ 0 | غیر آلوده |
| ۲ | ۱-۰ | غیر آلوده تا متوسط آلوده |
| ۳ | ۱-۲ | متوسط آلوده |
| ۴ | ۲-۳ | متوسط آلوده تا بالا آلوده |
| ۵ | ۳-۴ | بالا آلوده |
| ۶ | ۴-۵ | بالا آلوده تا به شدت آلوده |
| ۷ | > 5 | به شدت آلوده |

جدول ۷ - شاخص زمین انباشت عناصر در نمونه های خاک برداشت شده در منطقه مورد مطالعه

| Igeo | Cu | Mo | Pb | As | Cd | Co | Mn | Sr | Th |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R.1 | 2.65 | 3.02 | -0.64 | 1.17 | 0.26 | -1.58 | 0.06 | -1.05 | 0.99 |
| R.2 | 2.51 | 3.26 | -0.89 | 1.05 | -0.04 | -1.44 | -1.14 | -2.18 | -0.75 |
| R.3 | 1.34 | -1.25 | -1.82 | -0.62 | -0.26 | -1.58 | -0.95 | -1.98 | 0.11 |
| R.4 | -0.39 | -1.64 | -2.47 | -1.73 | -0.09 | -2.32 | -0.72 | -2.3 | -0.47 |
| R.5 | -1.37 | -1.49 | -0.34 | -2.01 | -0.2 | -1.9 | -0.49 | -1.75 | -0.44 |
| R.6 | -2.22 | -1.72 | -1.47 | -1.05 | 0.15 | -1.2 | -0.51 | -2.03 | -0.24 |
| R.7 | 1.16 | -1.81 | -2.7 | -1.32 | -0.2 | -1.58 | -1.11 | -2.08 | -0.68 |
| R.8 | -1.7 | -1.76 | -2.28 | -1.27 | -0.2 | -2.09 | -0.39 | -1.93 | -0.71 |
| R.9 | -1.05 | -1.62 | -2.7 | 0.25 | 0.04 | -2.09 | -1.6 | -0.86 | -0.16 |
| R.10 | -1.9 | -1.4 | -0.87 | 0.29 | -0.04 | -2.9 | -2.74 | -0.09 | -0.49 |
| R.11 | -2.32 | -1.66 | -1.37 | 0.12 | 0.18 | -2.32 | -1.52 | 0.06 | -0.4 |
| R.12 | 0.73 | -0.84 | -1.11 | 1 | 0.48 | -1.58 | -1.13 | 0.93 | -0.75 |
| R.13 | -0.01 | -1.43 | -1.45 | 0.35 | 0.48 | -3.9 | -1.21 | -0.32 | -0.71 |
| R.14 | 2.57 | -1.31 | -0.82 | 2.73 | 0.73 | 2.27 | 0.23 | -0.33 | -0.52 |
| R.15 | 0.16 | -1.41 | -2.11 | -1.5 | -0.38 | -0.58 | -1.03 | -0.18 | 0.22 |
| R.16 | -0.58 | -0.37 | 0.14 | -0.48 | 0 | -0.2 | -0.74 | -0.8 | 1.42 |
| R.17 | -1.22 | 1.23 | -2.11 | -2.22 | 1.14 | -1.58 | -0.26 | -0.7 | 0.59 |
| R.18 | 2.85 | 2.01 | -1.03 | 2.73 | 1.41 | 0.79 | 0.75 | -0.43 | 0.22 |
| R.19 | 0.56 | -0.68 | -1.82 | -0.34 | -0.09 | -0.32 | 0.82 | -0.52 | 0.73 |
| R.20 | 0.23 | -0.83 | -1.84 | -1.22 | 1 | -1.44 | -0.2 | -0.04 | -0.6 |
| R.21 | -1.83 | -1.33 | -4.5 | -2.55 | -0.09 | -3.9 | -0.22 | 0.17 | -0.82 |

| | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R.22 | 1.02 | 3.16 | 0.29 | -1.16 | -0.15 | 0.84 | 0.72 | -0.46 | -1.05 |
| R.23 | 1.47 | 0.83 | -1.84 | -2.32 | -0.04 | -2.58 | -0.49 | -0.25 | 3.04 |
| R.24 | 1.74 | 3.3 | 1.92 | -1.64 | 0.73 | -1.58 | -0.48 | 1.85 | -0.81 |
| R.25 | 2.02 | -1.04 | 0.35 | -0.06 | 0.37 | -0.04 | 0.4 | -0.52 | -0.5 |
| R.26 | 2.56 | 2.31 | -0.35 | 2.73 | 2.87 | -1.32 | -1.68 | -2.24 | -0.66 |
| R.27 | 1.9 | 3 | -0.11 | 2.73 | 2.32 | 0.7 | 3.1 | 0.01 | -0.7 |
| R.28 | 3.09 | 1.39 | 1 | -0.98 | -0.44 | 1.34 | 3.1 | -0.43 | -0.96 |
| R.29 | 1 | 0.75 | 0.52 | 2.73 | 4.68 | 0.9 | 2.97 | -0.49 | -0.81 |
| R.30 | 3.12 | 3.28 | -0.28 | 0.45 | -0.09 | 0.3 | 3.19 | -0.2 | 0.75 |
| R.31 | 3.39 | 3.7 | -0.26 | -2.42 | 0.09 | -0.81 | 3.18 | 0.12 | -0.84 |
| R.32 | -2.22 | -1.72 | -1.35 | -1.03 | -0.15 | -1.2 | 0.51 | -2.03 | -0.24 |



شکل ۷- شاخص زمین انباشت فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

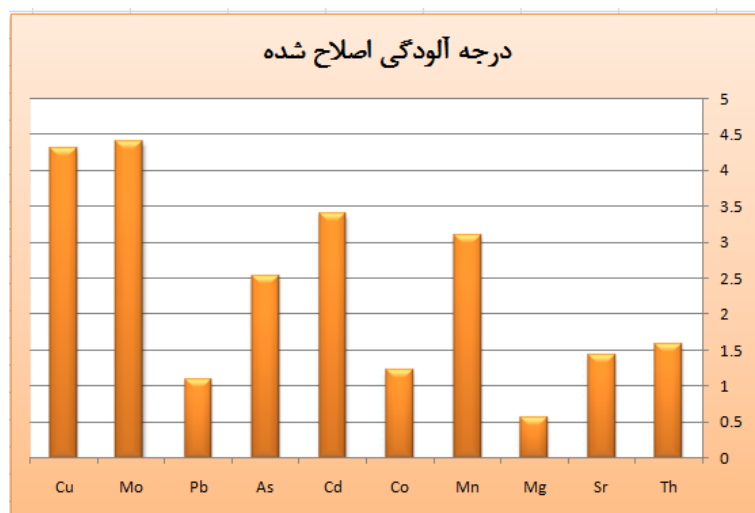
درجه آلودگی اصلاح شده

کادمیوم، منگنز آلودگی زیاد و مابقی عناصر آلودگی کم را نشان می‌دهند. (شکل ۸). (Abraham. 2005)

$$\text{MCF} = \frac{\sum_{i=0}^n c}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه MCF درجه آلودگی اصلاح شده، C ضریب آلودگی عنصر و تعداد عناصر است.

برای ارزیابی میزان آلودگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه از درجه آلودگی اصلاح شده استفاده شد. ارزیابی درجه آلودگی اصلاح شده که از رابطه ۴ به دست می‌آید، اگر نمونه‌ای از ضریب ۱/۵ بیشتر باشد براساس رده‌بندی آلودگی به شمار می‌رود بنابراین مس، مولیبدن، آرسنیک،



شکل ۸- درجه آلودگی اصلاح شده فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

شاخص بار آلودگی (PLI)

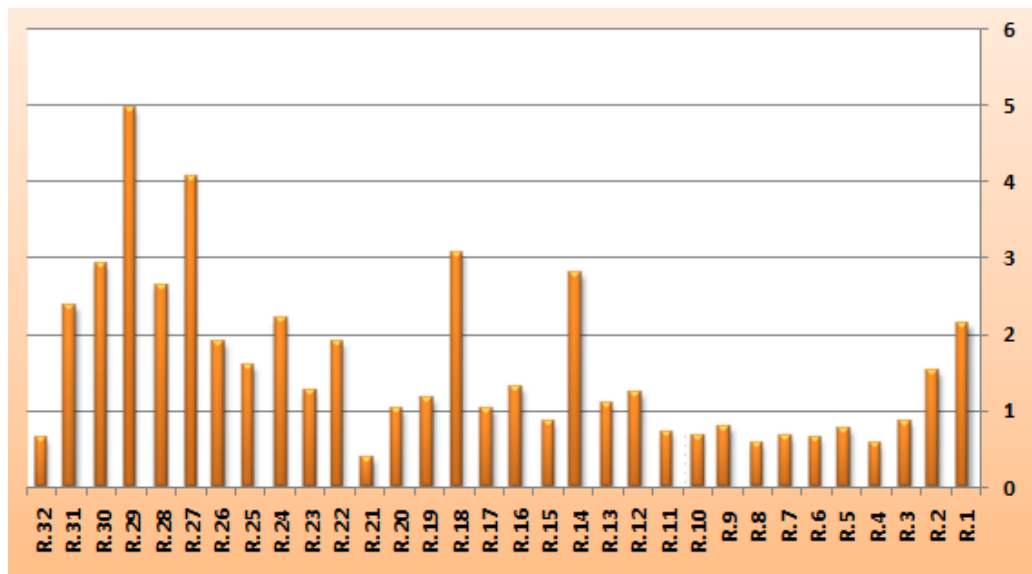
$$PLI = \sqrt[n]{CF1 \times CF2 \times \dots \times CFn} \quad (5) \text{ رابطه (۵)}$$

در این رابطه CF شاخص آلودگی هر عنصر و n تعداد عناصر آلاینده است. با توجه به شکل ۹ و جدول ۸ میزان شاخص بار آلودگی در همه نمونه‌ها بیشتر از یک و غلظت زمینه بوده و نشان‌دهنده آلوده بودن خاک در منطقه است. نقشه پهنه‌بندی ضریب بار آلودگی نشان‌دهنده افزایش آلودگی خاک به فلزات سنگین در مناطق غرب و شمال غربی است. (شکل ۱۰).

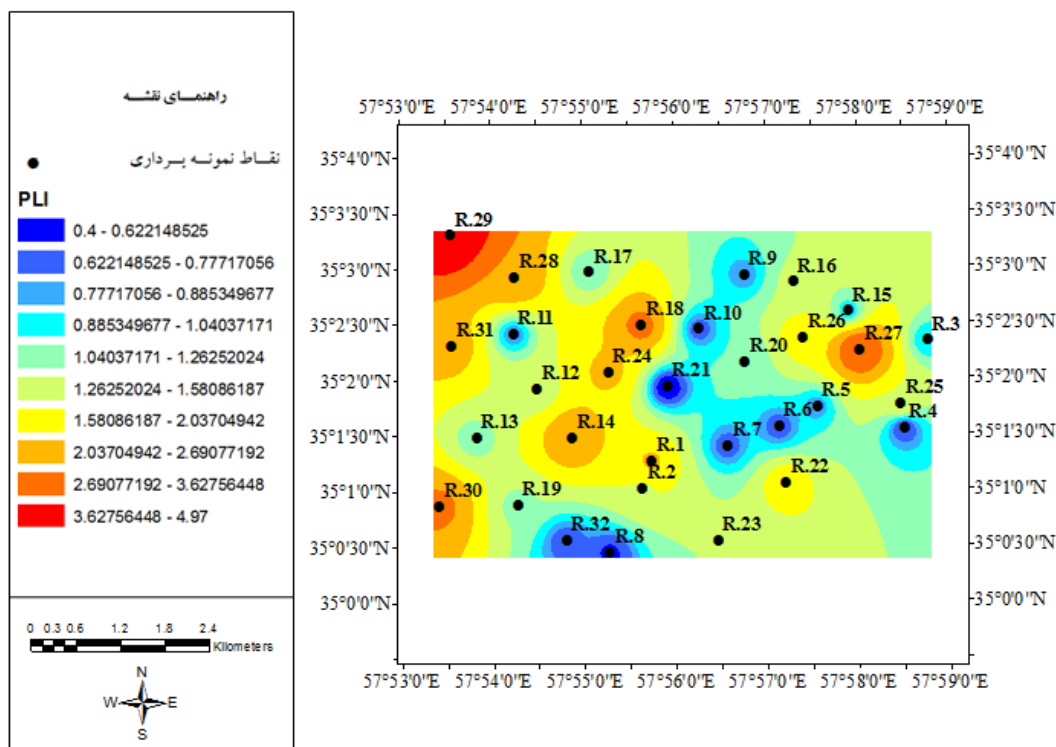
برای ارزیابی و تحقیق شدت آلودگی خاک معمولاً از شاخص بار آلودگی (pollution load index) استفاده می‌شود. این شاخص از رابطه ۵ محاسبه می‌شود. شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت همه فلزات مورد نظر محاسبه می‌شود. اگر شاخص بار آلودگی به عدد یک نزدیک باشد نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است و اگر این شاخص بیشتر از یک باشد، آلودگی خاک را نشان می‌دهد. (Qishlag, et al, 2007)

جدول ۸- میانگین شاخص بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه

| Sample | PLI | Sample | PLI |
|--------|------|--------|------|
| R.1 | 2.15 | R.17 | 1.02 |
| R.2 | 1.53 | R.18 | 3.07 |
| R.3 | 0.86 | R.19 | 1.17 |
| R.4 | 0.58 | R.20 | 1.03 |
| R.5 | 0.78 | R.21 | 0.4 |
| R.6 | 0.65 | R.22 | 1.91 |
| R.7 | 0.67 | R.23 | 1.27 |
| R.8 | 0.57 | R.24 | 2.21 |
| R.9 | 0.79 | R.25 | 1.61 |
| R.10 | 0.67 | R.26 | 1.92 |
| R.11 | 0.73 | R.27 | 4.08 |
| R.12 | 1.25 | R.28 | 2.65 |
| R.13 | 1.09 | R.29 | 4.97 |
| R.14 | 2.81 | R.30 | 2.92 |
| R.15 | 0.87 | R.31 | 2.38 |
| R.16 | 1.32 | R.32 | 0.65 |



شکل ۹- شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی ضریب بار آلودگی فلزات سنگین مس، مولیبدن، منگنز و کادمیوم در خاک منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

نمونه خاک مورد بررسی قرار گرفت. غلظت فلزات مس، مولیبدن، منگنز و کادمیوم بالاتر از شیل جهانی است. نتایج شاخص‌های آلودگی مختلف نشان می‌دهد که فلزات مس،

با توجه به اهمیت سلامت خاک از دیدگاه زیست محیطی، میزان حضور و نحوه پراکنش فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی ۳۲

سنگین توسط گسل‌ها، موجب افزایش غلظت فلزات سنگین شده است. شایسته است این موضوع مورد توجه کارشناسان ذی‌ربط و ساکنین منطقه قرار گیرد تا در آینده شاهد ورود این فلزات به چرخه زیستی و پیامدهای احتمالی آن در منطقه نباشیم. علاوه بر توجه به کاربری خاک در این منطقه، میزان نفوذ فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز بایستی مد نظر قرار گیرد.

مولپیدن و منگنز در بخش غرب منطقه و کادمیوم در بخش شمالی و مرکز منطقه آلودگی بیشتری نشان می‌دهند. منشأ ورود آلودگی و انباشت فلزات سنگین به خاک یکسان نبوده و عوامل مختلفی در آلودگی خاک منطقه به فلزات سنگین وجود دارد. باتوجه به شاخص آلودگی این فلزات، فعالیت‌های انسانی از قبیل معدن‌کاری و کشاورزی و نیز عوامل طبیعی مانند حرکت محلول‌های حاوی فلزات

منابع

- the water and sediment system water, Air and soil pollution 121, P. 11-29.
- Hakanson L. (1980)**, An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach, *Water Research*, 14:P.975-1001
- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D., Kwapulinski, J., (1995)**, Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland, *Water, Air and Soil pollution*, 93, P. 347-365.
- Luoping Zhang, X, Y., HuanFeng, Y, J., Tong Ouyang, X, Y., Rongyuan Liang, C, G., Weiqi, C., (2007)**, Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, *China, Mar Pollut Bull* 54, P. 974-982.
- Misra, S. G., Dinesh Mani, (2009)**, *Soil Pollution*, Published by S.B., Nangia, New Delhi.
- Muller, G., 1979, Schwermetalle in den sedimenten des RheinsVeränderungenseit 1971, *Umschau* Vol. 79, No. 24, P. 778- 783.
- Murciego Murciego a, A. Garcí'a Sa'nchez b, M.A. Rodri'guez Gonza'lez a,E. Pinilla Gil c, C. Toro Gordillo c, J. Cabezas Ferná'ndez d, T. Buyolo Triguero, (2007)**, Antimony distribution and mobility in topsoils and plants (*Cytisus striatus*, *Cistus ladanifer* and *Dittrichia viscosa*) from polluted Sb-mining areas in Extremadura (Spain), *Environmental Pollution* 145, P.15e21.
- Qishlag, A., Moore, F., Forghani, G., (2007)**, Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran, *Environmental Monitoring Assessment* 149, P.254.
- Shah, M.T., Ara, J., Khan, S., Tariq, S., (2012)**, Health risk assessment via surface water and sub-surface water consumption in the
- Abraham, G. M. S., Parker, R. J. (2008)** Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree contamination in marine sediments from Tamaki. *Estuary, Auckland, New Zealand, Environmental Monitoring and Assessment* 136, P. 227-238.
- Abraham, G.M.S, (2005)**, Holocene sediments of Tamaki Estuary. Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand, ph.D. thesis, University of Auckland, New Zealand, 361p.
- Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., (2005)**, Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naples city Por, *Chemosphere*, v. 61, P. 800-809.
- Audry, S., Schafer, J., Blanc, G., Jouanneau, JM, (2004)**, Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France), *Environmental Pollution* Vol.132, No. 3, P. 413-426.
- Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., & Dong, C.D.; (2007)**, Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, *Chemosphere* Vol. 66, No. 8, P. 1431-1440.
- Elinder, C.G., Friberg, L., (1986)**, Antimony. In: Friberg, L., Nordberg, G.S, Vouk, L. (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals*, 2nd edn. Elsevier, Amsterdam, P. 26e42
- Fowler, B.A., Goering, P.L., (1991)**, Antimony. In: Merian, E. (Ed.), *Metals and their Compounds in the Environment*. VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge., P. 743-750. Gebel, T.,
- Gonzales, A., Rodriguez, M., Sanchez, J.C., Espinosa, A.J. and La Rosa, F.J.; (2000)**, Assessment of metals in sediments in a tributary of GUADALQUIVIR river (Spain). Heavy metal partitioning and relation between

mafic and ultramafic terrain, *Geochemical Exploration*, V:8, P. 120-134.ic

Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H. and Yu, L., (2009), Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes, *Environmental Pollution* Vol.1-11, P. 1533-15.

Assessing of heavymetals pollution in the agriculture soil south of Bardaskan (Khorasan Razavi province)

Abstract

Considering the development of industry and technology, the accumulation of environmental contaminants, especially heavy metals in the soil led to increasing concern about food security. The aim of this study was to investigate the concentration of heavy metals in the surface soils of agricultural lands south of Bardaskan located in Khorasan Razavi. The soil samples were taken from depth of 10 to 30 cm soil by field assessment. The dominant soil texture is gravelsandy and PH 7.3 and subalkaline. Mean total concentration of Cd, Cu, Mn and Mo were 0.66, 251, 2176, 6.67 (ppm). The highest values of Igeo, EF and CF indicators were found for Cu (0.6), Mo (6.26), Mo (4.44). Pollution index calculated using the average of total CF was 2.36, indicating the medium contamination class in the area. High concentration of heavy metals Cu, Mo, Mn and Cd in the south of Bardaskan can be a threat to agricultural land in this area. Geological structures such as faults, and human activities such as mining, agriculture, and industry can provide the necessary grounds for soil contamination with heavy metals and increase the concentration of heavy metals in the agricultural soil of the region. Monitoring the pollutants concentration in the agricultural soils as well as in agricultural products is essential to conserve natural resources and ensure the food security.

Keywords:

Heavymetals, South Bardaskan, Soil pollution, Enrichment Factor, Geoaccumulation Index.