

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین  
گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی  
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

# بررسی آلودگی فلزی در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان آبیک (استان البرز)

سیده سمانه موسوی

استاد راهنما  
دکتر افشین قشلاقی

بهمن ماه ۱۳۹۴



## تقدیم بہ:

پدرم، اول استادم، کہ ہموارہ چتر مجتہدش بر سرم است؛ بزرگواری کہ الفبای زندگی راز او آموختم.

مادرم، بلندتکیہ گاہم، کہ دلمان پر مرش یگانہ پنہم است؛ مہربانی کہ عشق ورزیدن راز او آموختم.

و تقدیم بہ ہمسر مہربانم کہ بہ تازگی، ہمسفر راہ ہای نایمودہ زندگی ام شدہ است و مانند کوسہی استوار تکیہ گاہ من است، کسی

کہ وجود پر مرش تام آن چہیزی است کہ از زندگی می خواہم...

## تقدیر و تشکر:

شکر و سپاس خدای را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.  
از پدر عزیز و مادر فداکارم که تمامی موفقیت های زندگیم را مدیون حضور پر مهرشان، هضم و بهنجین خواهر نازنینم سیما و برادر  
دوست داشتیم علی، بهرامان همیشگی و پشتوانه های زندگیم، صمیمانه سپاسگزارم.  
سپاس از همسر عزیزم میلاد؛ همراه زندگیم، پناه حاکمیت و امید بودم.  
باسپاس ویژه از راهبانی های صبورانه و همراهی دلسوزانه ای استاد کران قدوم، جناب آقای دکتر افشین تشلاقی که با  
گشاده رویی خویش مرا پذیرا بود و همواره به شاکردی ایشان افتخار می کنم.  
از جناب آقای دکتر کریمی و سرکار خانم دکتر فرقی که زحمات داورمی این پایان نامه را پذیرفتند، کمال تشکر و قدردانی را  
دارم.

سپاس فراوان از دوست عزیزم خانم الهام نقی زاده، کسی که در طول این مسیر همراه لحظه های شاد و غم انگیز من بود و به  
یادماندنی ترین دوست در خاطر من است.

از دوستان عزیزم خانم لیلیا خانی بندانی، میترا غلامی، یلدا علیدینی، حدیث تربتیان و سعیده قدیمی که همیشه موجب دلگرمی  
من بودند، نهایت سپاسگزاری را داشته و برای همه این عزیزان آرزوی شادکامی و تندرستی می نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب سیده سمانه موسوی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زیست‌محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی آلودگی فلزی در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان آبیک (استان البرز) تحت راهنمایی دکتر افشین قشلاقی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو

تاریخ

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمیشود.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد

## چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی فلزی خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان آبیگ، واقع در استان البرز صورت گرفته است. به این منظور ۲۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری) به طور تصادفی از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. همچنین یک نمونه در خلاف جهت باد منطقه و با فاصله بیشتر از کارخانه به عنوان نمونه شاهد برداشت شد. مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (شامل بافت، درصد ماده آلی و pH)، غلظت عناصر بالقوه سمی، کلسیم و منیزیم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده با مقادیر استاندارد جهانی مقایسه شده و شاخص‌های ژئوشیمیایی (شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی) محاسبه شد. همچنین این داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری (تحلیل همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی) تجزیه و تحلیل شدند و در انتها آلودگی خاک منطقه پهنه‌بندی گردید. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده بالاتر بودن میانگین غلظت کل عناصر آرسنیک (۱۵/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیم (۰/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کبالت (۱۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، سرب (۳۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (۷۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کلسیم (۱۲۸۳۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و منیزیم (۱۹۸۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به غلظت آنها در نمونه شاهد بوده؛ در حالی که میانگین غلظت کل مس (۲۹/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نیکل (۴۱/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در حد غلظت این عناصر در نمونه شاهد و غلظت کروم (۵۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) پایین‌تر از آن است. همچنین pH نمونه‌های خاک مورد مطالعه در محدوده نسبتاً قلیایی تا قلیایی خیلی زیاد (۸ تا ۸/۸۷) قرار گرفته و نسبت به نمونه شاهد، بالاتر است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی و ترسیم نقشه پهنه‌بندی آلودگی منطقه مشخص کرد که نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه به ویژه نمونه‌های برداشت شده دارای آلودگی فلزی هستند. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل‌های آماری مشخص شد که در خاک‌های منطقه مورد مطالعه، عناصر کادمیم، آرسنیک، سرب، روی، کبالت، کلسیم و منیزیم به طور عمده از منابع انسان‌زاد (فعالیت کارخانه سیمان) منشأ گرفته‌اند؛ در حالی که نیکل، کروم و مس منشأ زمین‌زاد دارند. به طور کلی فعالیت کارخانه سیمان آبیگ، منبع احتمالی آلودگی فلزی خاک‌های منطقه مورد مطالعه است.

**واژه‌های کلیدی:** کارخانه سیمان آبیگ، آلودگی فلزی، گرد و غبار، شاخص‌های ژئوشیمیایی.

## لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

۱. بررسی نحوه پراکندگی غلظت فلزات در اطراف کارخانه سیمان آبیگ و ارتباط آن‌ها با خواص فیزیکوشیمیایی خاک (نخستین کنگره بین المللی محیط زیست، دی ماه ۱۳۹۴)
۲. ارزیابی شدت آلودگی فلزی در خاک‌های پیرامون کارخانه سیمان آبیگ (نخستین کنگره بین المللی محیط زیست، دی ماه ۱۳۹۴)
۳. بررسی اثرات منفی احداث کارخانه‌های سیمان بر هوا، خاک و گیاهان (سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، اسفند ماه ۱۳۹۳)



## فهرست مطالب

### فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه و بیان مسأله..... ۲
- ۲-۱- ضرورت انجام پژوهش..... ۳
- ۳-۱- اهداف تحقیق..... ۳
- ۴-۱- روش انجام تحقیق و مراحل آن..... ۴
- ۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه..... ۵
- ۷-۱- توپوگرافی منطقه..... ۵
- ۸-۱- آب و هوای محدوده مورد مطالعه..... ۷
- ۹-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۸
- ۱۰-۱- معرفی کارخانه سیمان آبیگ و فرآیند تولید سیمان در آن..... ۱۱

### فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

- ۱-۲- مقدمه..... ۱۴
- ۲-۲- خاک و نحوه تشکیل آن..... ۱۴
- ۳-۲- آلودگی خاک و آلاینده‌های آن..... ۱۵
- ۴-۲- عناصر بالقوه سمّی و ویژگی‌های آنها..... ۱۶
- ۵-۲- تأثیر ویژگی‌های خاک بر رفتار عناصر بالقوه سمّی..... ۱۶
- ۱-۵-۲- pH و Eh خاک..... ۱۷
- ۲-۵-۲- ماده آلی خاک..... ۱۷

۱۸	۲-۵-۳- اندازه ذرات خاک.....
۱۸	۲-۶-۶- منابع عناصر بالقوه سمّی در خاک.....
۱۸	۲-۶-۱- منابع طبیعی (زمین‌زاد).....
۱۹	۲-۶-۲- منابع غیرطبیعی (انسان‌زاد).....
۱۹	۲-۶-۱- کارخانه‌های سیمان، یکی از منابع انسان‌زاد ورود فلزات به خاک.....
۱۹	۲-۷- مروری بر مطالعات پیشین.....

### فصل سوم: روش انجام پژوهش

۲۶	۳-۱- مقدمه.....
۲۶	۳-۲- نمونه‌برداری.....
۲۸	۳-۳- آماده‌سازی نمونه‌های خاک.....
۲۸	۳-۴- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک.....
۲۹	۳-۴-۱- اندازه‌گیری pH.....
۲۹	۳-۴-۲- اندازه‌گیری میزان ماده آلی.....
۳۰	۳-۴-۳- بررسی بافت خاک.....
۳۱	۳-۵- اندازه‌گیری غلظت کل عناصر در خاک.....
۳۲	۳-۶- ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌های خاک.....
۳۲	۳-۶-۱- شاخص زمین‌انباشت.....
۳۳	۳-۶-۲- ضریب غنی‌شدگی.....
۳۴	۳-۶-۳- ضریب آلودگی و درجه آلودگی.....

- ۳-۶-۴- شاخص بار آلودگی.....۳۵
- ۳-۶-۵- شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی.....۳۵
- ۳-۷- نرم‌افزارهای مورد استفاده.....۳۶
- ۳-۸- تحلیل آماری داده‌ها.....۳۶
- ۳-۸-۱- تحلیل همبستگی.....۳۷
- ۳-۸-۲- تحلیل خوشه‌ای.....۳۷
- ۳-۸-۳- تحلیل مؤلفه اصلی.....۳۸
- ۳-۹- نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی خاک.....۳۸

فصل چهارم: ارزیابی آلودگی خاک‌های اطراف کارخانه سیمان آبیک

- ۴-۱- مقدمه.....۴۲
- ۴-۲- خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک.....۴۲
- ۴-۲-۱- pH.....۴۲
- ۴-۲-۲- ماده آلی.....۴۴
- ۴-۲-۳- بافت.....۴۵
- ۴-۳- بررسی غلظت کل عناصر بالقوه سمّی و عناصر اصلی.....۴۷
- ۴-۳-۱- غلظت و روند تغییرات عناصر بالقوه سمّی.....۴۹
- ۴-۳-۱-۱- آرسنیک.....۴۹
- ۴-۳-۱-۲- کادمیم.....۵۱
- ۴-۳-۱-۳- کبالت.....۵۳

۵۴	..... کروم-۴-۱-۳-۴
۵۶	..... سرب-۵-۱-۳-۴
۵۸	..... روی-۶-۱-۳-۴
۶۱	..... مس-۷-۱-۳-۴
۶۲	..... نیکل-۸-۱-۳-۴
۶۴	..... ارزیابی تغییرات عناصر کلسیم و منیزیم موجود در ترکیب سیمان
۶۴	..... کلسیم-۱-۲-۳-۴
۶۶	..... منیزیم-۲-۲-۳-۴
۶۸	..... ارزیابی کمی شدت آلودگی در نمونه‌های خاک
۶۸	..... شاخص زمین‌انباشت-۱-۴-۴
۶۸	..... جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه-۱-۱-۴-۴
۶۹	..... سایر جهت‌های اطراف کارخانه-۲-۱-۴-۴
۷۱	..... ضریب غنی‌شدگی-۲-۴-۴
۷۲	..... ضریب غنی‌شدگی نسبت به نمونه شاهد-۱-۲-۴-۴
۷۲	..... الف- جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه
۷۳	..... ب- سایر جهت‌های اطراف کارخانه
۷۵	..... ضریب غنی‌شدگی نسبت به پوسته-۲-۲-۴-۴
۷۵	..... الف- جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه
۷۶	..... ب- سایر جهت‌های اطراف کارخانه

---

۷۸.....	۳-۴-۴- ضریب آلودگی و درجه آلودگی.....
۷۸.....	۱-۳-۴- جهتهای غرب و شمال غرب کارخانه.....
۷۹.....	۲-۳-۴- سایر جهتهای اطراف کارخانه.....
۸۱.....	۴-۴-۴- شاخص بار آلودگی.....
۸۲.....	۵-۴-۴- شاخص خطر بالقوه بومشناختی.....
۸۳.....	۵-۴- تجزیه و تحلیل آماری دادههای مورد مطالعه.....
۸۳.....	۱-۵-۴- تحلیل همبستگی.....
۸۷.....	۲-۵-۴- تحلیل خوشه‌ای.....
۸۸.....	۳-۵-۴- تحلیل مؤلفه اصلی.....
۹۲.....	۶-۴- پهنه‌بندی آلودگی فلزی در خاک‌های منطقه.....

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۹۸.....	۱-۵- مقدمه.....
۹۸.....	۲-۵- نتایج بدست آمده در این پژوهش.....
۱۰۲.....	۳-۵- پیشنهادهایی برای کاهش آلودگی کارخانه سیمان آبیک.....
۱۰۲.....	۴-۵- پیشنهادهایی برای مطالعات آتی.....
۱۰۵.....	منابع.....

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه سیمان آبیگ..... ۳
- شکل ۱-۳- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه..... ۶
- شکل ۱-۴- گلاباد سالانه منطقه آبیگ..... ۷
- شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه..... ۸
- شکل ۱-۶- نمایی از کارخانه سیمان آبیگ..... ۱۱
- شکل ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از خاک..... ۲۸
- شکل ۴-۱- تغییرات pH نمونه‌های خاک..... ۴۴
- شکل ۴-۲- تغییرات میزان ماده آلی در نمونه‌های خاک..... ۴۵
- شکل ۴-۳- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی مثلث طبقه‌بندی خاک..... ۴۶
- شکل ۴-۴- تغییرات درصد رس در نمونه‌های خاک..... ۴۶
- شکل ۴-۵- تغییرات غلظت آرسنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۵۰
- شکل ۴-۶- پراکندگی غلظت آرسنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۵۰
- شکل ۴-۷- تغییرات غلظت کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۵۲
- شکل ۴-۸- پراکندگی غلظت کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۵۲
- شکل ۴-۹- تغییرات غلظت کبالت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۵۳
- شکل ۴-۱۰- پراکندگی غلظت کبالت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۵۴
- شکل ۴-۱۱- تغییرات غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) کروم در نمونه‌های خاک..... ۵۶

- شکل ۴-۱۲- پراکندگی غلظت کروم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۵۶
- شکل ۴-۱۳- تغییرات غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۵۷
- شکل ۴-۱۴- پراکندگی غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۵۸
- شکل ۴-۱۵- تغییرات غلظت روی (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۶۰
- شکل ۴-۱۶- پراکندگی غلظت روی (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۶۰
- شکل ۴-۱۷- تغییرات غلظت مس (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۶۱
- شکل ۴-۱۸- پراکندگی غلظت مس (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۶۲
- شکل ۴-۱۹- تغییرات غلظت نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۶۳
- شکل ۴-۲۰- پراکندگی غلظت نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۶۴
- شکل ۴-۲۱- تغییرات غلظت کلسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲- پراکندگی غلظت کلسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۶۵
- شکل ۴-۲۳- تغییرات غلظت منیزیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک..... ۶۷
- شکل ۴-۲۴- پراکندگی غلظت منیزیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه..... ۶۷
- شکل ۴-۲۵- مقادیر شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه..... ۶۹
- شکل ۴-۲۶- مقادیر شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های سایر جهت‌های اطراف کارخانه..... ۷۰
- شکل ۴-۲۷- مقادیر متوسط شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های خاک..... ۷۱
- شکل ۴-۲۸- هیستوگرام توزیع عنصر زیر کونیم در مقایسه با منگنز، آهن و آلومینیم..... ۷۱
- شکل ۴-۲۹- ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به نمونه شاهد) در جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه..... ۷۳
- شکل ۴-۳۰- ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به نمونه شاهد) در سایر جهت‌های اطراف کارخانه..... ۷۴

- شکل ۴-۳۱- مقادیر متوسط ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به نمونه شاهد)..... ۷۵
- شکل ۴-۳۲- ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به پوسته) در جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه..... ۷۶
- شکل ۴-۳۳- ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به پوسته) در سایر جهت‌های اطراف کارخانه..... ۷۶
- شکل ۴-۳۴- مقادیر متوسط ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به پوسته)..... ۷۷
- شکل ۴-۳۵- ضرایب آلودگی در جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه..... ۷۸
- شکل ۴-۳۶- ضرایب آلودگی در سایر جهت‌های اطراف کارخانه..... ۷۹
- شکل ۴-۳۷- متوسط ضرایب آلودگی در نمونه‌های خاک..... ۸۰
- شکل ۴-۳۸- مقادیر درجه آلودگی عناصر برای نمونه‌های خاک..... ۸۱
- شکل ۴-۳۹- مقادیر ضرایب بار آلودگی برای نمونه‌های خاک..... ۸۲
- شکل ۴-۴۰- مقادیر شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی برای نمونه‌های خاک..... ۸۳
- شکل ۴-۴۱- نمودار پراکنش فلزات مورد مطالعه در ارتباط با خواص فیزیکوشیمیایی خاک..... ۸۶
- شکل ۴-۴۲- نمودار خوشه‌ای فلزات و پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک..... ۸۸
- شکل ۴-۴۳- مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها..... ۹۰
- شکل ۴-۴۴- نمودار سه بعدی بار چرخش یافته سه مؤلفه اصلی استخراج شده..... ۹۱
- شکل ۴-۴۵- پهنه‌بندی درجه آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه..... ۹۳
- شکل ۴-۴۶- پهنه‌بندی شاخص بار آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه..... ۹۴
- شکل ۴-۴۷- پهنه‌بندی شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی خاک منطقه مورد مطالعه..... ۹۵



## فهرست جدول‌ها

- جدول ۳-۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری..... ۲۷
- جدول ۳-۲- رده‌بندی خاک بر اساس میزان pH..... ۲۹
- جدول ۳-۳- رده‌بندی شاخص زمین‌انباشت..... ۳۳
- جدول ۳-۴- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی..... ۳۴
- جدول ۳-۵- رده‌بندی مقادیر ضریب آلودگی..... ۳۴
- جدول ۳-۶- رده‌بندی درجه آلودگی..... ۳۴
- جدول ۳-۷- مقادیر ضریب پاسخ سمیت برای فلزات مورد مطالعه..... ۳۶
- جدول ۳-۸- رده‌بندی شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی..... ۳۶
- جدول ۳-۹- مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد استفاده..... ۳۹
- جدول ۴-۱- مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک..... ۴۳
- جدول ۴-۳- استانداردهای مجاز جهانی غلظت عناصر بالقوه سمی در خاک..... ۴۷
- جدول ۴-۲- غلظت کل عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک..... ۴۸
- جدول ۴-۴- آمار توصیفی شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های خاک..... ۷۰
- جدول ۴-۵- آمار توصیفی ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به نمونه شاهد) در نمونه‌های خاک..... ۷۴
- جدول ۴-۶- آمار توصیفی ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به پوسته) در نمونه‌های خاک..... ۷۷
- جدول ۴-۷- آمار توصیفی ضرایب آلودگی در نمونه‌های خاک..... ۸۰
- جدول ۴-۸- ضرایب همبستگی میان عناصر و خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک..... ۸۵
- جدول ۴-۹- نتایج روش تحلیل مؤلفه اصلی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده..... ۸۹

جدول ۴-۱۰- سه مؤلفه اصلی استخراج شده پس از چرخش متغیرها به روش واریماکس..... ۹۰

فصل اول:

کلیات

## ۱-۱- مقدمه و بیان مسأله

خاک یکی از اصلی‌ترین اجزای محیط زیست و مهم‌ترین دریافت‌کننده آلودگی‌های ناشی از منابع انسان‌زاد است. آلاینده‌ها پس از ورود با اجزای مختلف آن پیوند ایجاد کرده و مشخصات شیمیایی، فیزیکی و حتی بیولوژیکی خاک را تغییر می‌دهند (Caravaca and Roldan, 2003). از میان آلاینده‌های مختلف خاک، عناصر بالقوه سمی به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و آثار زیان‌بار بر موجودات زنده (حتی در غلظت‌های کم) اهمیت ویژه‌ای دارند (Facchinelli et al., 2001). در میان فعالیت‌های صنعتی، صنعت سیمان یکی از منابع مهم ورود عناصر بالقوه سمی به خاک محسوب می‌شود. طی فرآیند خرد کردن سنگ آهک، کوره و حمل و نقل سیمان، گرد و غبار حاوی عناصر بالقوه سمی توسط باد انتقال یافته و بر روی خاک‌های سطحی و پوشش گیاهی، ته‌نشین می‌شوند (Estifanos and Degefa, 2012). ذرات گرد و غبار به طور طبیعی، از طریق بارش خشک و یا همراه برف و باران (بارش تر) از جو خارج و بر روی سطح خاک ته‌نشین می‌شوند؛ برای کارخانه‌های سیمان، ریزش ذرات متداول‌تر است. بیشتر ذرات سیمان درشت هستند، بنابراین معمولاً در محدوده ۱ کیلومتری کارخانه ته‌نشین می‌شوند (Adejumo et al., 1994). علاوه بر گرد و غبار، کارخانه‌های سیمان از منابع ورود ترکیبات کربن‌دار، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن به محیط زیست هستند (صادقی‌روش و خراسانی، ۱۳۸۸).

در ایران تعداد زیادی کارخانه تولید سیمان با ظرفیت‌های مختلف مشغول به فعالیت هستند. کارخانه سیمان آبیگ، از بزرگ‌ترین کارخانه‌های سیمان در کشور است. ظرفیت تولید این کارخانه در حال حاضر بیش از ۱۳۰۰۰ تن در روز است. گرد و غبار خروجی از این کارخانه (شکل ۱-۱) می‌تواند منبع بالقوه‌ای برای ورود طیف وسیعی از آلاینده‌ها به ویژه عناصر بالقوه سمی به داخل خاک‌های اطراف کارخانه باشد، بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان آلودگی فلزی این خاک‌ها است.



شکل ۱-۱- گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه سیمان آبیگ (دید به سمت شمال)

### ۱-۲- ضرورت انجام پژوهش

گرد و غبار خروجی از کارخانه سیمان آبیگ که به وسیله جریان باد تا مسافت‌های طولانی حمل شده و در حال حاضر یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی استان‌های البرز و قزوین است. این ذرات می‌توانند حاوی فلزاتی چون نیکل، کروم، سرب و روی باشند. همچنین بسته به نوع سنگ آهک مورد استفاده این ذرات حاوی فلزات قلیایی خاکی چون کلسیم و منیزیم هستند که چنانچه در غلظت‌های بالا وارد خاک شوند، به عنوان آلاینده عمل خواهند کرد (Zerrouqi et al., 2008). علاوه بر آلودگی فلزی، از دست رفتن کیفیت اولیه خاک چون تغییر pH آن و سخت شدن خاک (به علت تغییر بافت) نیز محتمل است. با توجه به فعالیت گسترده کارخانه سیمان آبیگ و احتمال آلوده شدن خاک‌های اطراف این کارخانه به عناصر مختلف (کلسیم، منیزیم، کروم، سرب، روی و ...)، انجام یک پژوهش در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

### ۱-۳- اهداف تحقیق

اهداف این پژوهش به قرار زیر است:

۱- بررسی تأثیر فعالیت کارخانه سیمان آبیگ بر تغییر pH خاک.

۲- ارزیابی اثر فعالیت کارخانه سیمان بر افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی (آرسنیک، کادمیم، سرب، روی، کبالت، مس، کروم و نیکل) در خاک‌های سطحی.

۳- تعیین شدت و میزان آلودگی احتمالی و نیز تعیین آلوده‌ترین نقاط به تفکیک نوع فلز آلاینده.

۴- بررسی تغییر غلظت فلزات شاخص تشکیل‌دهنده ترکیب سیمان (کلسیم و منیزیم) در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه.

۵- بررسی ارتباط میان غلظت فلزات و خواص فیزیکوشیمیایی خاک‌های اطراف کارخانه.

#### ۱-۴- روش انجام تحقیق و مراحل آن

۱- انجام مطالعات دفتری و کتابخانه‌ای: شامل اطلاعات جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه، ویژگی‌های کارخانه، جمع‌آوری اطلاعات مربوطه از سازمان نقشه‌برداری کشور، اداره کل حفاظت محیط زیست و اداره کل هواشناسی استان قزوین و مروری بر مطالعات پیشین در مورد اثرات زیست‌محیطی کارخانه‌های سیمان.

۲- مطالعات میدانی، نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها: پس از بازدیدهای مقدماتی از منطقه مورد مطالعه، تعداد ۲۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری) از اطراف کارخانه جمع‌آوری گردید و به روش‌های استاندارد، آماده‌سازی شدند.

۲-۱- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی و نیز غلظت کلسیم، منیزیم و عناصر بالقوه سمی در نمونه‌ها.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از محاسبه شاخص‌های ارزیابی کمی آلودگی، تحلیل‌های آماری و تهیه نقشه‌های پراکندگی. در این مرحله از نرم‌افزارهای مختلف مانند Arc GIS، Excel و SPSS استفاده شد.

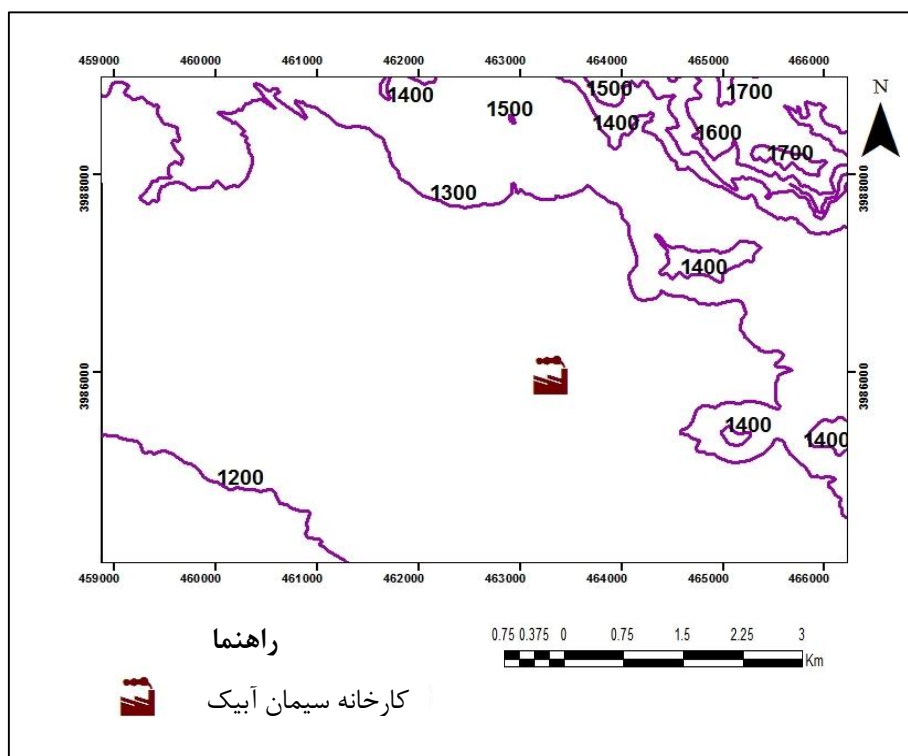
۴- نگارش و تدوین پایان‌نامه.

### ۱-۶- موقعیت جغرافیایی منطقه

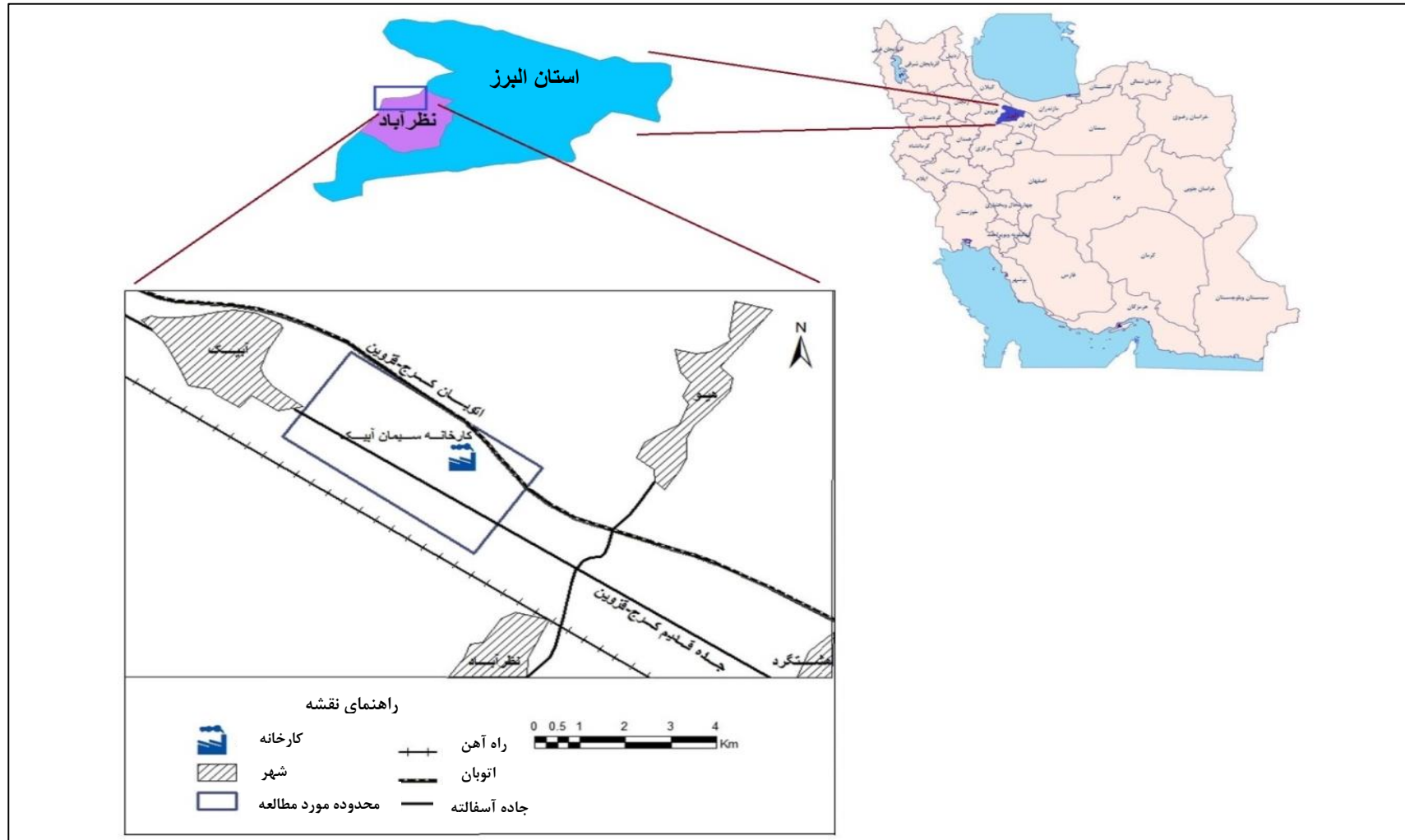
محدوده مورد مطالعه در حاشیه غربی استان البرز (شهرستان نظرآباد) و جنوب شرقی شهرستان آبیک (استان قزوین)، در بین طول‌های جغرافیایی  $32^{\circ} 50'$  تا  $36^{\circ} 50'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ} 00'$  تا  $36^{\circ} 02'$  شمالی گرفته است. کارخانه سیمان آبیک از سمت جنوب و شمال به ترتیب توسط جاده قدیم و اتوبان کرج-قزوین محدود می‌شود (شکل ۱-۲). شهرستان هیو در ۴ کیلومتری شمال شرقی کارخانه، شهرستان نظرآباد در ۴/۵ کیلومتری جنوب شرقی و شهرستان آبیک در ۵ کیلومتری شمال غربی آن، نزدیک‌ترین شهرها به کارخانه سیمان آبیک هستند.

### ۱-۷- توپوگرافی منطقه

در شمال منطقه مورد مطالعه کوه‌های البرز با ارتفاع متوسط ۲۵۰۰ متر از سطح دریا و در جنوب آن، دشت حاصلخیز قزوین قرار گرفته است که به طور متوسط ۱۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. شیب متوسط در منطقه آبیک در حدود ۰.۵٪ و جهت آن از شمال شرق به جنوب غرب است (ندایی طوسی، ۱۳۸۸). در شکل (۱-۳) نقشه توپوگرافی منطقه ارائه شده است.



شکل ۱-۳- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰ منطقه مورد مطالعه

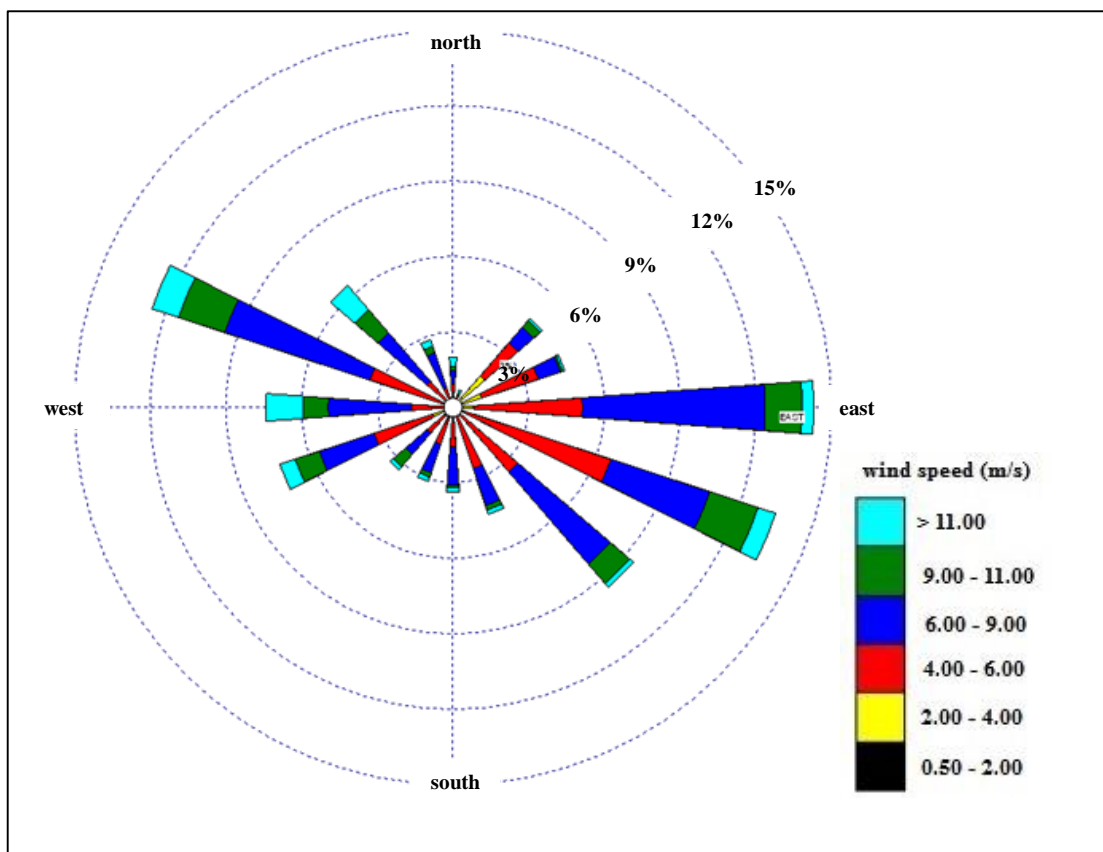


شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه (اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۹)



### ۸-۱- آب و هوای محدوده مورد مطالعه

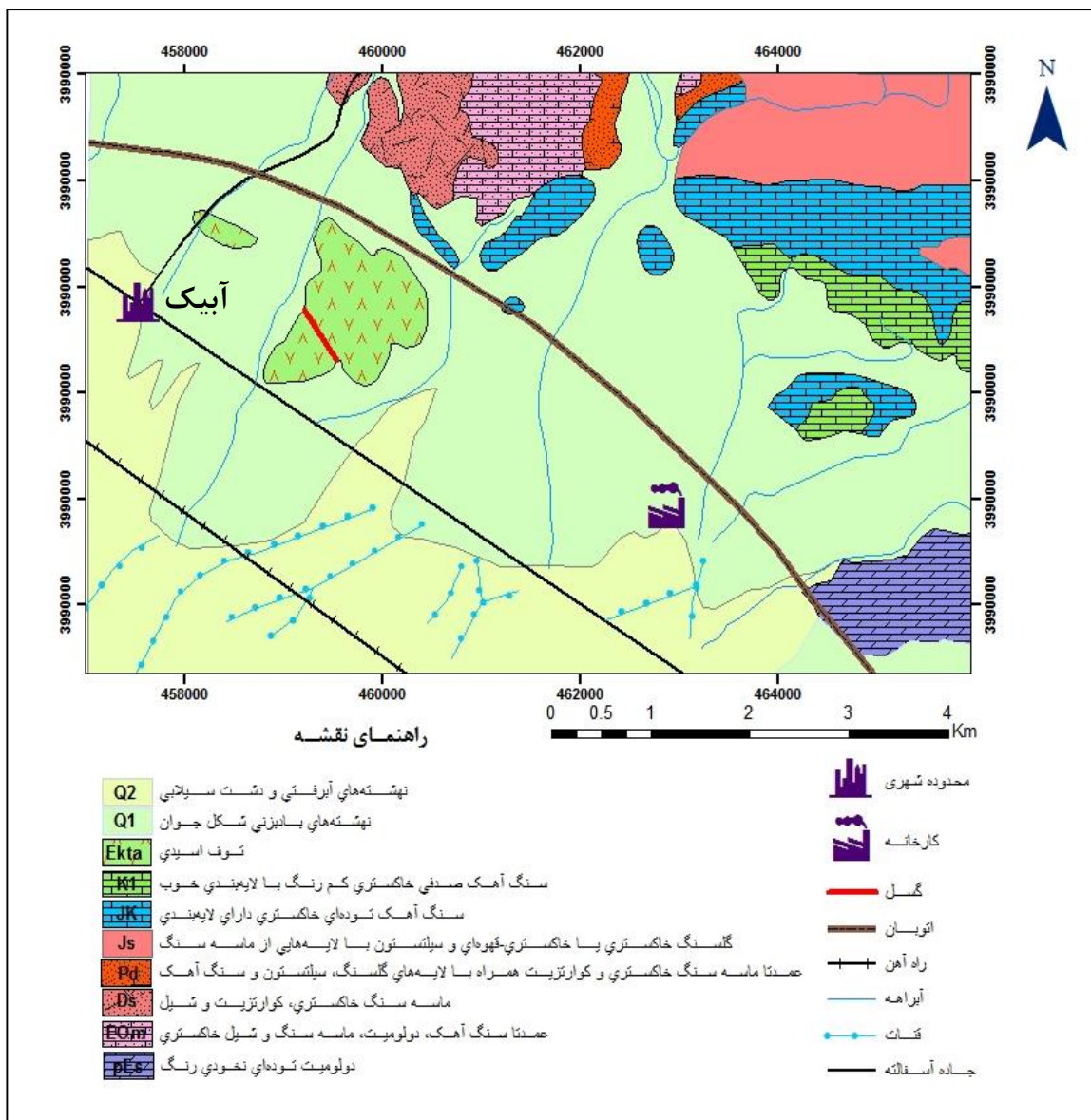
منطقه آبیگ دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. به سمت محدوده کارخانه سیمان اقلیم منطقه نیمه‌خشک فرا سرد می‌شود. بر اساس آمار سالانه ایستگاه آبیگ، متوسط حداقل دمای مطلق ۱۰/۸۲- و متوسط حداکثر دمای مطلق ۴۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد است. بارندگی سالانه به طور متوسط ۲۷۰ میلی‌متر است. جهت باد غالب در شهرستان آبیگ در بیشتر ماه‌های سال، شرقی (از سمت شرق) است و باد نایب غالب (بادی که بعد از باد غالب، بیشترین فراوانی وزش را دارد) از سمت جنوب شرق می‌وزد (اداره کل هواشناسی استان قزوین، ۱۳۹۳). در شکل (۴-۱) گلباد سالانه منطقه آبیگ آورده شده است.



شکل ۴-۱- گلباد سالانه منطقه آبیگ (اداره کل هواشناسی استان قزوین، ۱۳۹۳)

۹-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه آبیک از نظر زمین‌شناسی در زون البرز-آذربایجان قرار گرفته است (نبوی، ۱۳۵۵). این منطقه در میان رشته‌کوه‌های البرز در شمال و آبرفت‌های جوان در جنوب واقع شده است. در شکل (۵-۱) نقشه زمین‌شناسی منطقه (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰) آورده شده است. بر اساس مطالعات آنلس و همکاران (Annells et al., 1975, 1977) واحدها و سازندهای چینه‌شناسی در منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید عبارتند از:



شکل ۵-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شکران)

- سازند سلطانیه (pCs)

قدیمی‌ترین سازند در منطقه مورد مطالعه مربوط به دولومیت توده‌ای سلطانیه با سن پرکامبرین است که به طور عمده از دولومیت توده‌ای به رنگ زرد کم‌رنگ تشکیل یافته است.

- سازند لالون (E1)

سازند لالون از سه عضو ماسه سنگ، شیل و کوارتزیت بالایی تشکیل شده است. عضو شیل این سازند در دامنه کوه‌های شمال آبیگ رخنون دارد و درون آن یک توالی ماسه‌سنگ قرمز و صورتی داخل کوارتز آرنایت خاکستری مایل به قرمز و همچنین کوارتز آرنایت سفید مایل به خاکستری وجود دارد. در این عضو، عدسی‌های کمیاب دولومیت آنکریتی نیز حضور دارند. سن این سازند کامبرو-اردوئین است.

- سازند میلا (€Om)

سازند میلا، شامل یک توالی جانبی متغیر و پیچیده از دولومیت، سنگ آهک، کوارتزیت و شیل است و در شمال شرق آبیگ برونزد دارد. در این منطقه، بسترهای آهکی سازند میلا در مقایسه با منطقه برونزد اصلی آن، به میزان بیش‌تری تبلور دوباره یافته و نیز دولومیتی و آنکریتی شده‌اند.

- سازند درود (Pd)

سازند درود در این منطقه به طور عمده از ماسه‌سنگ و کوارتزیت تشکیل یافته است و متعلق به پرمین است. این سازند بخش کوچکی از محدوده مورد مطالعه را در بر گرفته و ضخامت برونزد آن به ۱۵۰ متر می‌رسد.

- سازند شمشک (Js)

سازند شمشک مربوط به ژوراسیک زیرین است و به طور کلی از ماسه‌سنگ و شیل خاکستری و قهوه‌ای تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه قسمت‌های زیرین توالی شمشک متشکل از زغال‌سنگ است. این سازند به طور ناپیوسته بر روی سنگ‌های پرمو-تریاس و به صورت محلی، به ویژه در نزدیکی آبیگ، بر روی سازندهای قدیمی‌تری قرار گرفته است.

### - سازند لار و دلیچای (JK)

در نزدیکی آبیگ سازند دلیچای در حدود ۲۰ تا ۶۰ متر ضخامت دارد و شامل فسیل‌های آمونیت فراوان است. این سازند توسط سنگ آهک‌های مربوط به ژوراسیک بالایی (سازند لار) با ضخامت ۲۰۰ متر پوشیده شده است. سازند دلیچای به ژوراسیک زیرین و میانی تعلق دارد.

### - سازند تیزکوه (K1)

در این منطقه سازند لار بر روی سنگ آهک‌های خاکستری کم‌رنگ و معمولاً فسیل‌دار سازند تیزکوه قرار گرفته است. این سازند به کرتاسه تعلق دارد.

### - سازند کرج (Ekta)

توالی سازند کرج به طور عمده شامل لاواها و توف‌ها، مقدار کمتری آگلومرا، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، گلسنگ، سنگ آهک، توف آهکی و ژپس است. این سازند در منطقه مورد مطالعه در شرق آبیگ برونزد دارد و بیشتر از توف‌های اسیدی و آندزیتی و گلسنگ‌های توفی تشکیل شده است. سن این سازند ائوسن است (Annells et al., 1975). سازند کرج منبع مهمی برای پوزولان کارخانه سیمان آبیگ به شمار می‌آید.

### - نهشته‌های آبرفتی و رسوبات دشت سیلابی (Q1 و Q2)

این نهشته‌ها که شامل مخروط افکنه‌ها، واریزه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای است، جوان‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه را تشکیل می‌دهند. در این رسوبات لایه‌بندی وجود ندارد. ریبِن (Rieben) در سال ۱۹۶۶، عنوان رسوبات کواترنری دشت قزوین را برای این رسوبات به کار برد. این نهشته‌ها از ماسه و گراول نهشته شده در مخروط افکنه‌های واریزه‌ای تشکیل شده‌اند. برخلاف رسوبات حوضه‌ای بین کوهستانی، شرایط تشکیل آن‌ها به طور نسبی ثابت و پایدار بوده است. این رسوبات به سمت شمال و شمال غرب، به طور ناپیوسته بر روی کنگلومرای سازند هزاردره قرار گرفته‌اند. زمان تشکیل این رسوبات مشخص نیست؛ به طور کلی می‌توان قدیمی‌ترین رسوبات مخروط افکنه‌ای مانند رسوباتی که در اطراف هیو و خور برجای مانده‌اند را با قدیمی‌ترین (و بالاترین) رسوبات تراسی حوضه‌های بین

کوهستانی انطباق داد و سن پلئستوسن آغازی و یا شاید پلئستوسن پایانی را به آن‌ها نسبت داد.

### ۱-۱- معرفی کارخانه سیمان آبیگ و فرآیند تولید سیمان در آن

کارخانه سیمان آبیگ در سال ۱۳۴۸ تأسیس شده است. در سال ۱۳۵۲، واحد اول آن با ظرفیت اسمی ۳۵۰۰ تن کلینکر (دانه‌های حرارت دیده‌ای که ۲۵-۳۰ میلی‌متر قطر دارند و از حرارت دادن سنگ آهک و رس در طی مرحله کوره سیمان به وجود می‌آید)، در روز مورد بهره‌برداری قرار گرفت و در سال ۱۳۵۸، واحد دوم این مجموعه با ظرفیت اسمی ۴۰۰۰ تن کلینکر در روز راه‌اندازی شد. در سال ۱۳۸۸، ظرفیت اسمی روزانه واحد اول به ۸۵۰۰ تن در روز ارتقا یافت. بنابراین این شرکت با توان تولید روزانه بیش از ۱۳۰۰۰ تن سیمان، از جمله بزرگ‌ترین کارخانه‌های سیمان کشور به‌شمار می‌آید. همچنین با اجرای فاز دوم بهینه‌سازی، این شرکت در آینده نزدیک با توان تولید ۱۶۵۰۰ تن در روز کلینکر و بیش از ۱۷۵۰۰ تن در روز سیمان، به بزرگ‌ترین شرکت تولید سیمان در ایران و خاورمیانه تبدیل خواهد شد. در حال حاضر کارخانه سیمان آبیگ، انواع سیمان از جمله پرتلند نوع ۱-۴۲۵ و پرتلند نوع ۲، پرتلند آهکی، پرتلند بلین زیاد (سیمان بسیار نرم) پرتلند پوزولانی و پوزولانی ویژه و پرتلند مرکب (ترکیبی از آهک و پوزولان) را تولید می‌کند (برگرفته از سایت [www.abyekcement.ir](http://www.abyekcement.ir)). در شکل (۱-۶) نمایی از این کارخانه ارائه شده است.



شکل ۱-۶- نمایی از کارخانه سیمان آبیگ (دید به سمت شرق)

با توجه به اینکه فرآیند تولید سیمان در هر دو خط کارخانه به طور نسبی مشابه است، بنابراین فرآیند تولید در خط ۱ به اختصار در زیر شرح داده می‌شود:

خط تولید از معدن، خردکن‌ها، انبارهای نگهداری مواد خام، آسیاب‌های مواد خام، کوره و پیش‌گرم‌کن‌ها، خنک‌کن، انبار کلینکر، آسیاب‌ها و سیلوهای سیمان و نیز بارگیرخانه تشکیل شده است. ابتدا مارن و سنگ آهک برداشت شده از معدن مان آبیگ، توسط سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای و پس از آن سنگ‌شکن‌های دنده‌ای خرد شده و سپس وارد سیلوهای سنگ آهک می‌شوند. در این قسمت سیلوهای سنگ آهن نیز وجود دارند. مارن خرد شده نیز در انبار دپوی مواد ذخیره می‌شود و پس از کنترل مواد تشکیل‌دهنده آن، در صورت لزوم، سنگ آهن و سنگ آهک موجود در سیلوه‌ها، جهت اصلاح به آن‌ها افزوده می‌شود. سپس این مواد توسط گازهای گرم حاصل از پیش‌گرم‌کن کوره حرارت دیده و خشک می‌شوند و پس از آن وارد آسیاب‌های گلوله‌ای خواهند شد. مواد ریز توسط جداکننده‌ها از مواد درشت جدا شده و وارد سیلوهای ذخیره و پس از آن وارد سیلوهای همگن‌ساز می‌شوند. در این سیلوه‌ها از مواد خام نمونه‌برداری صورت می‌گیرد. نمونه‌ها در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می‌گیرند و در صورت مناسب بودن مواد تشکیل‌دهنده و پراکندگی مواد، وارد سیلوهای خوراک کوره خواهند شد. همزن‌های بادی در سیلوه‌ها از رسوب و ناهمگن شدن مواد خام دپو شده جلوگیری می‌کنند. مواد خام قبل از وارد شدن به کوره، در کوره‌های پیش‌گرم‌کن، توسط گازهای گرم با حرارتی در حدود  $300^{\circ}\text{C}$ ، گرم می‌شوند. در این حالت آب فیزیکی و آب تبلور مواد، تبخیر گشته و کربنات کلسیم و کربنات منیزیم به اکسید کلسیم و منیزیم تبدیل شده و به صورت  $\text{CO}_2$  خارج می‌شود. در مرحله بعد مواد خام وارد کوره دوار شده و تا  $1500^{\circ}\text{C}$  حرارت داده می‌شوند. در این مرحله فرآیند، پخت کامل می‌شود. کلینکر، محصول خروجی این بخش است. کلینکر خارج شده از کوره، به علت داشتن حرارت زیاد، توسط خنک‌کننده، خنک شده و سپس به سیلوهای ذخیره کلینکر انتقال می‌یابند. پس از آن، کلینکر به همراه ۳٪ گچ وارد آسیاب کلینکر می‌شود. جداکننده‌ها مواد ریز را جدا کرده و آن‌ها را وارد سیلوهای سیمان می‌کنند. در نهایت سیمان پرتلند نوع ۱ و ۲ به‌عنوان محصول خروجی، از سیلوه‌ها بارگیری می‌شود (بی‌چلی، ۱۳۷۹).

فصل دوم:

مروری بر مطالعات پیشین

خاک به عنوان یک محیط ژئوشیمیایی، با سایر بخش‌های محیط در ارتباط متقابل است (Zhang et al., 2009). زمانی که خاک‌ها آلوده می‌شوند، این آلودگی به آب‌های سطحی و زیرزمینی، موجودات زنده، گیاهان و رسوبات منتقل می‌شود (Yalcin et al., 2007). عناصر بالقوه سمی یکی از مهم‌ترین انواع آلاینده‌های خاک به حساب می‌آیند. این فلزات به دلیل ماندگاری بالا از یک سو و واکنش‌پذیری زیاد از سوی دیگر، با اجزای مختلف خاک پیوند ایجاد کرده و به همین علت انباشت آن‌ها در محیط خاک بیشتر از سایر بخش‌های محیط است (Su et al., 2014). صنعت، یکی از منابع اصلی ورود عناصر بالقوه سمی به داخل خاک است (Ogunkunle and Fatoba, 2013). صنعت سیمان از جمله صنایع آلاینده محیط زیست به ویژه خاک محسوب می‌شود؛ چرا که گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه‌های سیمان، عناصر بالقوه سمی زیادی را از طریق بارش خشک و یا تر وارد محیط خاک می‌کند (Addo et al., 2012).

## ۲-۲- خاک و نحوه تشکیل آن

خاک قشر ناپیوسته‌ای در سطح زمین و یکی از اجزای زیست کره به حساب می‌آید که از کانی‌ها، مواد آلی، آب و هوا تشکیل شده است. خاک به عنوان یک منبع (Source) و مصرف‌گاه (Sink) فلزات و سایر آلاینده‌ها عمل می‌کند. خاک همچنین از نظر کشاورزی و بوم‌شناختی برای بشر دارای اهمیت بسیار زیادی است؛ چرا که بقای بشر به حاصلخیزی خاک، بستگی دارد (Kabata-Pendias, 2011). بنابراین ورود هرگونه آلودگی به آن می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامتی و حیات انسان اثر بگذارد.

خاک در طبیعت در اثر عملکرد متقابل عوامل مختلف چون سنگ منشأ، آب و هوا، توپوگرافی، میکروارگانیزم‌ها و زمان ایجاد می‌شود (Jenny, 1994). تشکیل خاک از سنگ منشأ شامل دو مرحله است: در مرحله اول فرآیندهای هوازدگی فیزیکی و شیمیایی موجب تجزیه سنگ مادر و تغییر ترکیبات کانی‌های اولیه آن‌ها می‌شوند (Kabata-Pendias, 2011). در حقیقت ویژگی‌های سنگ منشأ



(از جمله کانی‌های تشکیل‌دهنده و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی)، تا زمانی که خاک‌ها توسط فرآیندهای خاک‌ساز دچار تغییر نشده، همان ویژگی‌های اولیه خاک‌ها است (Khomu, 2008). در مرحله دوم (پدوژنز) افق‌های خاک از مواد سنگی هوازده شده تشکیل می‌شوند (Kabata-Pendias, 2011). در نیمرخ خاک، سطح آن تا سنگ بستر توسط لایه‌های تقریباً افقی به صورت عمودی تقسیم‌بندی می‌شود که هر یک از این لایه‌ها، دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند؛ این لایه‌ها افق خاک نامیده می‌شوند (Khomu, 2008). در پایان در اثر برهم‌کنش این فرآیندها، خاکی با افق‌های بالغ تشکیل می‌شود (Kabata-Pendias, 2011).

## ۲-۳- آلودگی خاک و آلاینده‌های آن

آلودگی خاک به عنوان هر گونه تغییر نامطلوب در ماهیت طبیعی، فیزیکی، شیمیایی یا زیستی خاک تعریف شده است. همچنین در تعریف دیگری آلودگی خاک به صورت تجمع تدریجی ترکیبات سمی پایدار، مواد شیمیایی، نمک‌ها و مواد رادیواکتیو و یا عوامل بیماری‌زا در خاک که تأثیرات ناخوشایندی بر روی رشد گیاهان و سلامت جانوران دارد معرفی شده است (Sulphey and Safeer, 2015). محیط خاک به علت داشتن عوامل جذب‌کننده متعدد چون کانی‌های رسی و ماده آلی، می‌تواند آلاینده‌های انسان‌زاد را در مقادیری بیش از حد طبیعی آن‌ها در خود انباشته کند. این آلاینده‌ها ممکن است در اثر تغییر شرایط محیطی وارد آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، گیاه و یا جانوران شوند (Facchinelli et al., 2001). مهم‌ترین منابع آلودگی خاک شامل منابع کشاورزی (کودهای شیمیایی، کودهای آلی و آفت‌کش‌ها)، منابع شهری (فرآورده‌های احتراق سوخت، نیروگاه‌های برق، دفع زباله‌ها، شیرابه لندفیل‌ها و فاضلاب‌های تصفیه نشده)، منابع صنعتی (معدنکاری و ذوب فلزات، صنایع متالورژی، صنایع شیمیایی و الکترونیکی) و منابع جوئی (آلاینده‌های حمل‌شده توسط باد و باران‌های اسیدی) است. منابع آلودگی خاک می‌توانند به دو نوع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای (پراکنده) تقسیم شوند (Mirsal., 2004).

## ۲-۴- عناصر بالقوه سمّی و ویژگی‌های آنها

عناصر بالقوه سمّی گروهی از فلزات و شبه‌فلزات با چگالی بالاتر از  $5 \text{ g/cm}^3$  (Banfalvi, 2011) بوده که عدد اتمی بیشتر از ۲۰ (به استثنای فلزات قلیایی و فلزات قلیایی خاکی) دارند (Sherene, 2010). این فلزات اجزای طبیعی پوسته زمین هستند که در اثر فرآیندهای خاک‌زایی از ترکیب سنگ‌ها وارد ترکیب خاک می‌شوند (Al-Khashman, 2004).

در چند دهه گذشته عناصر بالقوه سمّی به علت داشتن آلاینده‌های خاص خود مورد توجه بسیاری قرار گرفتند:

- ۱- این عناصر برخلاف بسیاری از مواد آلی و مواد پرتوزا، با گذشت زمان از بین نمی‌روند.
- ۲- برخی از این عناصر می‌توانند در مقدار مشخصی، برای گیاهان ضروری و یا مفید باشند، اما زمانی که غلظت آنها از حد خاصی بالاتر می‌رود، به یک آلاینده سمّی تبدیل می‌شوند.
- ۳- این عناصر اغلب به صورت کاتیون حضور دارند و به شدت با ماتریکس (زمینه) خاک برهم‌کنش نشان می‌دهند، در نتیجه، عناصر بالقوه سمّی در خاک حتی در غلظت‌های بالا، ممکن است به شکل نامتحرک و بی‌خطر باشند؛ اما در اثر تغییر شرایط محیطی (مانند تغییرات ناشی از کاربری زمین، ورود پساب‌های کشاورزی و تغییر اقلیم) و یا انباشت بیش از ظرفیت بافری خاک، متحرک شده و به سایر بخش‌های محیط منتقل شوند (Facchinelli et al., 2001).

## ۲-۵- تأثیر ویژگی‌های خاک بر رفتار عناصر بالقوه سمّی

pH و Eh، ظرفیت تبادل کاتیون (CEC)، بافت، ماده آلی (OM)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم از جمله ویژگی‌های مهم خاک هستند که رفتار عناصر بالقوه سمّی موجود در آن را کنترل می‌کنند (Kabata-Pendias., 2011).

## ۲-۵-۱- Eh و pH خاک

تحرك فلزات در خاک‌های اسیدی، بالاتر از تحرك آنها در خاک‌های خنثی و یا قلیایی است. به طور کلی، تحرك فلزات در خاک در pH‌های پایین، به این ترتیب است:  $Pb > Cu > Mn > Zn > Ni > Cd$  (Fijalkowski et al., 2012). با افزایش pH، میزان جذب کاتیون‌های فلزی افزایش می‌یابد، در حالی که در این شرایط تحرك و زیست‌دسترس‌پذیری تمام اکسی‌آنیون‌های آرسنیک، سلنیوم و کروم شش ظرفیتی افزایش می‌یابد (Mclean and Bledsoe, 1992). هنگامی که Eh محیط کاهش می‌یابد، انحلال‌پذیری بیشتر یون‌های بالقوه سمی و بنابراین زیست‌دسترس‌پذیری آنها افزایش پیدا می‌کند (Dan, 2001). برای فلزاتی که چند حالت اکسیداسیون دارند، Eh نسبت به pH نقش مهم‌تری در کنترل رفتار آنها دارد (Bratlett, 1999)، اما به طور کلی، pH مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده تحرك عناصر است (Chuan et al., 1996).

## ۲-۵-۲- ماده آلی خاک

ماده آلی ظرفیت بالایی برای جذب عناصر بالقوه سمی دارد (Benedetti et al, 1996). ماده آلی نقش دوگانه‌ای در انحلال‌پذیری عناصر بالقوه سمی ایفا می‌کند. ترکیبات آلی با وزن مولکولی بالا معمولاً به فلزات متصل شده و با تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی پایدار منجر به ننگه‌داشت آنها می‌شوند، در حالی که مواد آلی با وزن مولکولی پایین مانند فولیک اسیدها در محلول خاک باقی مانده و تحرك فلزات پیوندیافته را افزایش می‌دهند (Selim and Iskandar, 1999). انحلال‌پذیری بالای مواد آلی، در pH‌های بالا نیز انحلال‌پذیری فلزاتی نظیر Pb و Cu را افزایش می‌دهد (Ashworth and Alloway, 2008). در هر حال ماده آلی خاک نقش عامل کلیدی‌کننده را برای بسیاری از فلزات در خاک ایفا می‌کند (Schatz et al., 1961).

## ۲-۵-۳- اندازه ذرات خاک

رفتار عناصر بالقوه سمی در خاک به بافت و اندازه ذرات آن نیز بستگی دارد. به طور معمول، خاک‌هایی که دانه‌بندی ریزتری دارند در مقایسه با خاک‌های درشت‌دانه، عناصر بالقوه سمی بیشتری را جذب می‌کنند. میزان تحرک‌پذیری یون‌های فلزی در انواع مختلف خاک به این ترتیب است: ماسه < لوم < لوم رسی < خاک‌های رسی (Dan, 2001). با افزایش محتوای رس خاک‌ها، انباشت فلزات سنگین نیز در آن‌ها افزایش می‌یابد، در حقیقت یک همبستگی خطی مثبت قوی، بین غلظت فلزات و میزان ذرات ریزدانه خاک وجود دارد (Kabata-Pendias, 2011).

## ۲-۶- منابع عناصر بالقوه سمی در خاک

عناصر بالقوه سمی به صورت طبیعی و همچنین در اثر فعالیت‌های انسان، وارد محیط خاک می‌شوند. میزان ورود این فلزات به خاک، بسیار بیشتر از میزانی است که توسط فرآیندهای طبیعی از آن خارج می‌شوند (حسینی‌نکو و همکاران، ۱۳۹۳).

## ۲-۶-۱- منابع طبیعی (زمین‌زاد)

عناصر بالقوه سمی به طور طبیعی طی فرآیندهای خاک‌ساز در طی هوازدگی سنگ منشأ، به مقدار ناچیز به محیط خاک وارد می‌شوند و به ندرت ایجاد سمیت می‌کنند (Mlitan et al., 2013). غلظت عناصر بالقوه سمی در خاک‌هایی که توسط عوامل انسان‌زاد آلوده نشده‌اند، به ترکیب کانی‌شناسی سنگ منشأ، اقلیم و توپوگرافی منطقه بستگی دارد (حسینی‌نکو و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین عناصر بالقوه سمی می‌توانند در نتیجه ریزش ذرات انتشار یافته از منابع طبیعی مانند آتش‌سوزی جنگل‌ها و یا فعالیت‌های آتشفشانی، وارد خاک شوند (Nriagu, 1989).

## ۲-۶-۲- منابع غیرطبیعی (انسان‌زاد)

آلودگی خاک به عناصر بالقوه سمی، به طور عمده به گسیل آن‌ها از منابع انسان‌زاد مربوط می‌شود. منابع انسان‌زاد مانند فعالیت‌های معدنکاری (استخراج و ذوب فلزات)، فعالیت‌های صنعتی (نیروگاه‌ها، کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی و کارخانه‌های سیمان)، ترافیک (اگزوز خودرو، سایش تایر و لنت ترمز)، کشاورزی (کاربرد کود و آفت‌کش‌ها) می‌توانند به طور گسترده‌ای عناصر بالقوه سمی را وارد محیط خاک کنند (Alkorta et al., 2004; Wei and Yang, 2010; Hu et al., 2013).

## ۲-۶-۲-۱- کارخانه‌های سیمان، یکی از منابع انسان‌زاد ورود فلزات به خاک

همان گونه که پیش از این اشاره شد، فعالیت کارخانه‌های سیمان با تولید حجم زیادی از گرد و غبار همراه است که می‌تواند باعث آلودگی هوا و در نتیجه آلودگی خاک شود (Zerrouqi et al., 2008). این ذرات در طول استخراج سنگ آهک از معدن، حمل و نقل، خرد و آسیاب کردن مواد خام و کلینکر، سوخت‌رسانی و بسته‌بندی سیمان منتشر می‌شوند (Mishra and Siddiqui, 2014). ذرات منتشر شده از کارخانه‌های سیمان به طور معمول غنی از عناصر بالقوه سمی هستند که می‌توانند در اثر بارش تر یا خشک، وارد محیط خاک شوند (Adejumo et al., 1994). همچنین مواد تشکیل‌دهنده سیمان مانند ترکیبات  $MgO$  و  $CaO$  نیز قابلیت آلوده کردن خاک‌های اطراف کارخانه‌های سیمان را دارا هستند (Zerrouqi et al., 2008).

## ۲-۷- مروری بر مطالعات پیشین

با توجه به اینکه آلودگی فلزی خاک در اثر فعالیت کارخانه‌های سیمان یکی از مسائل زیست‌محیطی مهم در دنیا به شمار می‌آید، تاکنون پژوهش‌های مختلفی در این زمینه در سرتاسر جهان صورت گرفته است. این پژوهش‌ها، معمولاً به بررسی میزان تمرکز عناصر بالقوه سمی و شدت آلودگی ناشی از آن‌ها در خاک و همچنین ارتباط این فلزات با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک پرداخته‌اند. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود:

الخاشمن و شوابکه (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006) در یک پژوهش توزیع فلزات Zn، Cd، Cu، Fe، Cr و Pb را در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان در منطقه قادسیه (واقع در جنوب اردن) مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان کردند غلظت بالای Zn، Cd و Pb در نمونه‌های خاک به طور عمده در ارتباط با فعالیت کارخانه سیمان و تا حدی مربوط به فعالیت‌های کشاورزی و یا ترافیک منطقه است. بیشترین غلظت Zn، Cd و Pb در منطقه، مربوط به نمونه‌های برداشت شده از نزدیکی کارخانه سیمان می‌باشد. همچنین این پژوهشگران پی بردند که فلزات در سطح خاک تمرکز بیشتری پیدا کرده و در بخش‌های پایین‌تر غلظت کمتری نشان می‌دهند که منعکس‌کننده تحرک کم آن‌ها در pH قلیایی است.

العمران و همکاران (Al-Omran et al., 2011) نیز تأثیر گرد و غبار خروجی از یک کارخانه سیمان واقع در منطقه Al-Hasa، (عربستان سعودی) را بر ویژگی‌های خاک اطراف آن مورد بررسی قرار دادند. مطالعه آن‌ها نشان داد که pH میانگین خاک اطراف کارخانه ۷/۸ است. بر اساس شاخص زمین‌انباشت، خاک‌های منطقه به صورت متوسط تا شدید توسط As، Cd، Pb و Ni آلوده شده‌اند و Zn نیز به ترتیب آلودگی شدید و متوسط ایجاد کرده‌اند. از سوی دیگر، بر اساس ضریب غنی‌شدگی، خاک منطقه مورد مطالعه به طور قابل توجهی توسط As، Cd و Cu آلوده شده است ( $EF < 20$ ). آلوده‌ترین مناطق در فاصله ۰ تا ۲ کیلومتری کارخانه سیمان تعیین گردید.

در مطالعه دیگری، مندل و وچکو (Mandal and Voutchkov, 2011) توزیع عناصر بالقوه سمی در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان کرائیب، واقع در کینگستون جامائیکا را مورد بررسی قرار دادند. گرد و غبار منتشر شده از این کارخانه در طول زمان، یک پوشش خاکستری بر روی خاک‌ها و برگ‌های گیاهان اطراف ایجاد کرده است. نتایج بدست آمده نشان داد که خاک‌های سطحی این منطقه، از نظر Pb، Zn، Cr، Cd، V و Hg غنی شده‌اند. بیشترین غلظت مربوط به Zn ( $132 \text{ mg/Kg}$ ) ارزیابی شد و پس از آن Cr ( $57 \text{ mg/Kg}$ ) و Pb ( $32 \text{ mg/Kg}$ ) بالاترین تمرکز را در خاک‌ها نشان دادند. شدیدترین آلودگی فلزی خاک‌ها در فاصله ۲ تا ۳ متری از کارخانه سیمان، مشاهده شد. همچنین

آنان بیان کردند که ذرات انتشار یافته ناشی از ترافیک، می‌تواند سهم قابل توجهی در بالا بودن غلظت فلزات در مناطق دورتر داشته باشد، زیرا منطقه مورد مطالعه در امتداد یکی از شلوغ‌ترین خیابان‌های کینگستون قرار دارد.

استفانوس و دگفا (Estifanos and Degefa, 2012) نیز اثر گرد و غبار ناشی از کارخانه سیمان مسبو را بر روی خواص فیزیکوشیمیایی خاک اطراف آن در منطقه تیگرای در شمال اتیوپی، مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه بر اساس نتایج بدست آمده از شاخص زمین‌انباشت، خاک‌های عمقی و سطحی به فلزاتی چون As، Ni، Cr و Co آلودگی شدید نشان می‌دهند. همچنین Cu، Pb و Mo در هر دو عمق خاک آلودگی شدید تا متوسط ایجاد کرده‌اند، در حالی که Zn موجب آلودگی متوسط خاک‌های سطحی شده است. نتایج بدست آمده از آنالیز عناصر بالقوه سمی خاک در دو عمق حاکی از این بود که بر اساس ضریب غنی‌شدگی، در هر دو عمق خاک، Pb غنی‌شدگی متوسط ( $2 < EF < 5$ )، Cu و As غنی‌شدگی بالا ( $20 < EF < 40$ )، Cr غنی‌شدگی خیلی بالا ( $40 < EF < 200$ ) و Ni غنی‌شدگی به شدت بالا ( $EF < 40$ ) دارند و نیز در جهت باد غالب منطقه (شرقی-غربی)، خاک به شدت توسط عناصر بالقوه سمی آلوده شده است.

ادو و همکاران (Addo et al., 2012) نیز آلودگی هشت فلز سنگین As، Co، Cr، Mn، Ni، Pb، Cu و Zn را در خاک و گیاهان اطراف کارخانه سیمان دایموند در کشور غنا ارزیابی نمودند. نتایج بررسی آنان نشان داد که غلظت برخی فلزات بیشتر از زمینه طبیعی آنها بوده و در حد بحرانی برای خاک‌ها و گیاهان است. تحلیل همبستگی داده‌ها نیز مشخص نمود که رابطه مثبتی بین غلظت فلزات مورد بررسی (به ویژه Ni و Zn) در خاک و گیاه وجود دارد. همچنین این پژوهشگران مشاهده کردند که نحوه توزیع فلزات در فاصله‌ها و جهت‌های مختلف دارای پیچیدگی زیادی است و علاوه بر کارخانه، تأثیر آلودگی ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه نیز حائز اهمیت است؛ اما به طور کلی غلظت متوسط فلزات خاک و گیاهان با نزدیک شدن به کارخانه افزایش می‌یابد.

در تحقیقی که در استان انبار عراق توسط لافتا و همکاران (Lafta et al., 2013) انجام پذیرفت، توزیع فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان القائم بررسی شد و نتایج این مطالعه نشان داد که خاک تا فاصله ۳ کیلومتری از کارخانه به شدت به Cd، Co و Ni آلوده شده است.

اوگونکنل و فاتوبا (Ogunkunle and Fatoba, 2013) در مطالعه‌ای در جنوب غربی نیجریه، اثرات کارخانه سیمان پرتلند غرب آفریقا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نمونه‌های خاک را به صورت تصادفی از محور شرقی-غربی و جنوبی کارخانه برداشت نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که متوسط غلظت Pb، Cu، Cd و Cr بالاتر از مقادیر استاندارد مجاز بین‌المللی است. شاخص آلودگی نمر<sup>۱</sup> در امتداد محورها، آلودگی شدید به عناصر بالقوه سمی را مشخص نمود.

در مطالعه دیگری در کشور نیجریه، تأثیر گرد و غبار کارخانه سیمان آشاکا بر روی غلظت عناصر بالقوه سمی خاک توسط وفم و همکاران (Wufem et al., 2014) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه نمونه‌ها از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری و شعاع ۶ کیلومتری کارخانه جمع‌آوری شدند. نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از کارخانه، غلظت فلزات در خاک کاهش می‌یابد و غلظت Zn، Ni و Mn به طور کلی بیش‌تر از مقدار زمینه است.

ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های سیمان در دنیا است. با این حال اکثر کارخانه‌های سیمان در کشور، به علت عدم استفاده از الکتروفیلترهای مناسب جهت کنترل گرد و غبار خروجی از دودکش‌ها، وجود درز و پوسیدگی در قسمت‌های مختلف کارخانه نظیر سالن‌ها و سیلوها و همچنین رعایت نکردن استانداردهای زیست‌محیطی در فرآیند تولید، موجب آلودگی شدید محیط اطراف خود شده‌اند. مطالعات متعددی در مورد آلودگی فلزی ناشی از گرد و غبار کارخانه‌های سیمان در ایران صورت گرفته است که در زیر به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود.

پژوهشی با عنوان "بررسی آلودگی کارخانه‌های سیمان و ذوب فلزات جنوب شرق تهران و ارتباط آن با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک" توسط رفیعی و همکاران (۲۰۱۲) انجام پذیرفت. نتایج آنالیز

<sup>1</sup> Nemerow pollution index



نمونه‌ها نشان داد که غلظت کل ۶ فلز سنگین اندازه‌گیری شده در خاک به ترتیب زیر کاهش می‌یابد:  $Pb > Zn > Cr > Cu > Ni > Co$ . این محققان نشان دادند که خاک‌های منطقه مورد مطالعه نسبت به Pb به شدت آلوده شده‌اند، در حالی که Cu و Zn آلودگی کمتری ایجاد کرده و دارای منشأ انسان‌زاد هستند. در مقابل عناصر Ni، Cr و Co خاک را آلوده نکرده‌اند و منشأ طبیعی دارند.

مسلم‌پور و شهرداری (Moslempour and Shahdadi, 2013) به منظور ارزیابی آلودگی فلزات سمی در اطراف کارخانه سیمان خاش، ۲۰ نمونه خاک از این نواحی جمع‌آوری نمودند و آن‌ها را با روش ICP-OES آنالیز کردند. فلزات As، Cd، Ni، Cu، Cr، Pb، Zn، Mo، Co و Mn برای تحلیل بیشتر انتخاب شدند. محاسبه شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی و شاخص بار آلودگی نشان داد که منطقه مورد مطالعه فقط نسبت به Cd و Ni آلودگی متوسط نشان می‌دهد و بار آلودگی در اطراف کارخانه تقریباً یکسان است و با افزایش فاصله از کارخانه نیز اندکی کاهش می‌یابد.

کارخانه سیمان دورود به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آن بر خاک‌های اطراف، توسط رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2013) مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس مقایسه نتایج بدست آمده با استانداردهای موجود و محاسبه معیارهایی مانند ضریب غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت، نتیجه‌گیری شد که این کارخانه در طول ۵ سال، آلودگی شدیدی در خاک‌های منطقه ایجاد نکرده است.

موسوی و همکاران (۲۰۱۳) جهت بررسی توزیع عناصر بالقوه سمی در خاک‌های کشاورزی اطراف کارخانه سیمان کارون در جنوب شرقی مسجد سلیمان، تعدادی نمونه از سنگ آهک، گرد و غبار و خاک سطحی اطراف کارخانه جمع‌آوری نمودند. آنالیز نمونه‌ها، روند انباشت عناصر بالقوه سمی را در خاک‌های سطحی به صورت  $Cd > Co > Cu > Pb > Ni > Zn > Cr$  مشخص کرد. این پژوهشگران با مقایسه غلظت عناصر بالقوه سمی در سنگ آهک، گرد و غبار، خاک‌های سطحی و نمونه شاهد دریافتند که غلظت Cd، Cu، Zn و Ni در خاک‌های سطحی بیشتر از نمونه‌های دیگر است، بنابراین استدلال کردند که منشأ این فلزات در خاک‌ها مربوط به گرد و غبار ناشی از تولید سیمان است.

همچنین همبستگی خوب Pb و Zn و نیز Cd و Cu نشان‌دهنده منشأ مشترک این عناصر است. این پژوهشگران تجمع عناصر بالقوه سمی را در این محدوده به بافت ریزدانه خاک و وجود کانی رسی ایلیت، pH نیمه قلیایی خاک و نیز درصد بالای مواد آلی خاک ارتباط دادند. تجزیه و تحلیل‌های داده‌ها، آلودگی خاک‌های منطقه نسبت به Pb و تا حدی Cr را نشان داد.

کریمی (۲۰۱۳) غلظت عناصر بالقوه سمی را در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان کردستان مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه نمونه‌برداری به صورت شعاعی انجام پذیرفت. نتایج حاکی از آن بود که میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی As، Cd، Pb و Cu در نمونه‌های خاک بیشتر از مقادیر استاندارد جهانی آن‌ها است. این پژوهشگر بیان کرد که ساختار زمین‌شناسی منطقه، مهم‌ترین نقش را در آلودگی خاک داشته و کارخانه سیمان کردستان نیز در افزایش غلظت این فلزات در خاک مؤثر بوده است.

صادقی‌روش و خراسانی (۱۳۸۸) طی مطالعه‌ای آثار گرد و غبار ناشی از کارخانه سیمان آبیگ را بر روی خاک و تنوع و تراکم گیاهان مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش مشخص شد که اکسید کلسیم (CaO) در نمونه‌های خاک بیش‌ترین درصد را به خود اختصاص داده است و به همین دلیل آن را مهم‌ترین عنصر شاهد نمایش‌دهنده بار آلودگی در نظر گرفته‌اند. با توجه به غلظت اکسید کلسیم در محدوده مورد مطالعه مشخص شد که میزان ته‌نشینی ذرات بر روی سطح خاک با فاصله از کارخانه نسبت عکس دارد. همچنین نتایج بدست آمده نشان‌دهنده رابطه معکوس میان تنوع و تراکم پوشش گیاهی مرتعی محدوده اطراف کارخانه با ته‌نشست ذرات گرد و غبار خروجی از کارخانه است، به عبارتی با نزدیک شدن به کارخانه، میزان ته‌نشست غبار بیشتر شده و در نتیجه از تراکم و تنوع گیاهی کاسته می‌شود. با این حال در منطقه مورد مطالعه، پژوهشی در زمینه آلودگی خاک به عناصر بالقوه سمی صورت نگرفته است.

فصل سوم:

روش انجام پژوهش

### ۳-۱- مقدمه

در این پژوهش به منظور ارزیابی میزان آلودگی خاک به عناصر بالقوه سمّی، کلسیم و منیزیم انتشار یافته از کارخانه سیمان آبیگ، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای در رابطه با موضوع پژوهش، کلیه اطلاعات لازم از جمله نقشه‌ها و گزارش‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید و سپس بر اساس این اطلاعات از خاک‌های منطقه نمونه‌برداری به عمل آمد. پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها، برخی خواص فیزیکوشیمیایی خاک (شامل pH، بافت و درصد ماده آلی)، غلظت عناصر بالقوه سمّی، کلسیم و منیزیم، به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید. در نهایت با محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی مختلف و روش‌های آماری و نیز ترسیم نقشه‌های مورد نیاز، نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این فصل روش نمونه‌برداری، نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش‌های شیمیایی و همچنین روش‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.

### ۳-۲- نمونه‌برداری

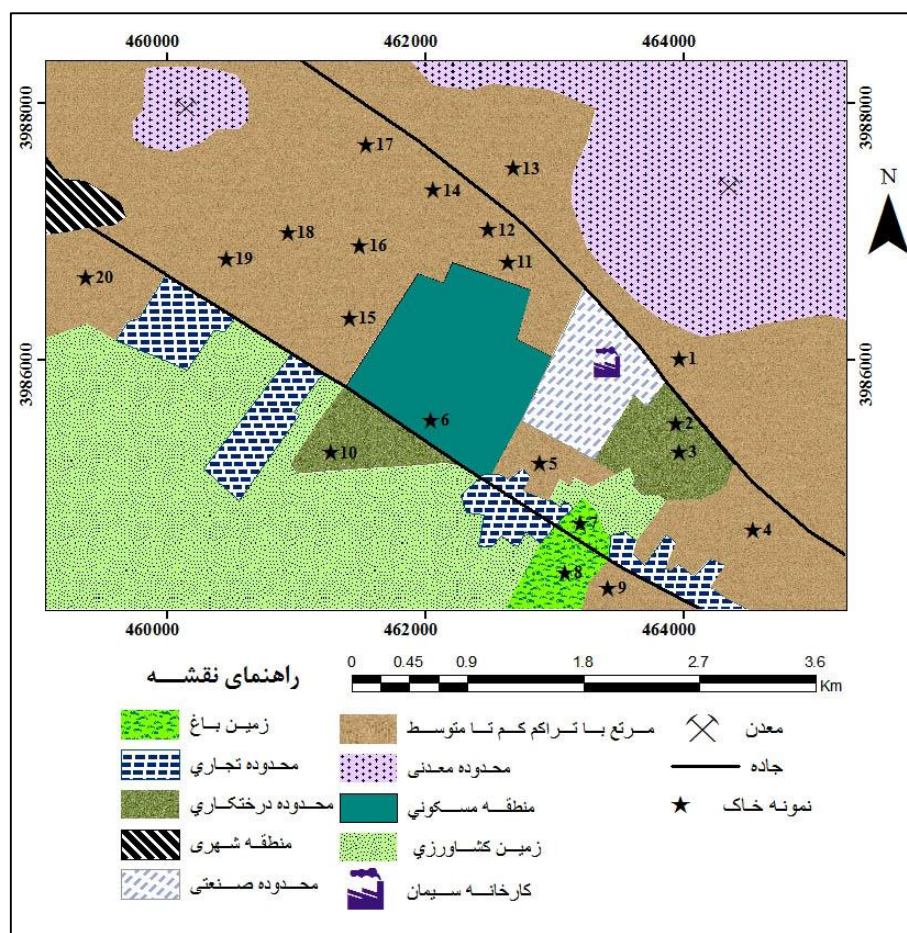
با انجام بازدید مقدماتی از منطقه مورد مطالعه و سپس بررسی نقشه‌های موجود (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شکران و نقشه کاربری اراضی) و تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا محدوده تقریبی منطقه نمونه‌برداری شناسایی و مشخص گردید. در آبان ۱۳۹۳، ۲۰ نمونه خاک به طور تصادفی از اطراف کارخانه سیمان آبیگ جمع‌آوری شد. از آنجایی که آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی نظیر کارخانه‌ها به طور عمده در خاک‌های سطحی مشاهده می‌شود (Hu et al., 2013)، نمونه‌برداری از خاک سطحی (عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری) صورت گرفت. با توجه به جهت باد غالب (از شرق به غرب) و باد نایب غالب (از جنوب شرق به شمال غرب) (شکل (۱-۴))، سعی گردید در این نواحی تراکم نقاط نمونه‌برداری بیشتر باشد تا اثر باد بر انتقال گرد و غبار انتشار یافته از کارخانه به خوبی مشخص شود. همچنین یک نمونه شاهد با فاصله ۷۸۰۰ متر از کارخانه و از بخش شمال شرقی آن (در خلاف جهت باد غالب) برداشت گردید. نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه در فاصله ۷۲۰ متری و دورترین آن در فاصله

۳۹۳۰ متری قرار دارد. نمونه‌برداری با استفاده از بیلچه فولادی ضد زنگ صورت گرفت. نمونه‌های خاک درون کیسه‌های نایلونی ریخته شده و سپس در محل کدگذاری گردیدند. موقعیت نمونه‌ها نیز توسط دستگاه GPS در محل ثبت شد. در جدول (۱-۳) موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری و در شکل (۱-۳) موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه کاربری اراضی آورده شده است.

جدول ۱-۳- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری (UTM)

X	Y	فاصله از کارخانه (m)	شماره ایستگاه نمونه‌برداری
۴۶۳۹۶۲/۷۲	۳۹۸۶۰۱۲/۳۶	۷۲۰	۱
۴۶۳۹۴۱/۸۵	۳۹۸۵۵۱۰/۷۲	۹۰۵	۲
۴۶۳۹۶۲/۲	۳۹۸۵۲۸۸/۶۸	۱۰۷۰	۳
۴۶۴۵۴۱/۰۴	۳۹۸۴۶۸۳/۰۳	۱۹۰۰	۴
۴۶۲۸۸۴/۸	۳۹۸۵۲۰۰/۷۳	۹۸۰	۵
۴۶۲۰۴۵/۱۴	۳۹۸۵۵۳۳/۹۹	۱۳۵۰	۶
۴۶۳۱۹۸/۲۹	۳۹۸۴۷۳۴/۸۵	۱۴۰۵	۷
۴۶۳۰۷۷/۱۳	۳۹۸۴۳۵۶/۰۹	۱۷۵۰	۸
۴۶۳۴۱۵/۷۱	۳۹۸۴۲۳۲/۴۲	۱۸۸۰	۹
۴۶۱۲۶۴/۱۳	۳۹۸۵۲۸۵/۹۵	۲۱۶۰	۱۰
۴۶۲۶۳۸/۶۱	۳۹۸۶۷۶۰/۷۹	۹۰۰	۱۱
۴۶۲۴۸۷/۰۲	۳۹۸۷۰۱۴/۰۸	۱۱۹۰	۱۲
۴۶۲۶۷۷/۵۹	۳۹۸۷۴۹۱/۸۳	۱۵۰۰	۱۳
۴۶۲۰۶۱/۶۸	۳۹۸۷۳۲۱/۲	۱۷۰۰	۱۴
۴۶۱۴۱۲/۷۵	۳۹۸۶۳۲۹/۵۸	۱۸۵۰	۱۵
۴۶۱۴۹۰/۷۳	۳۹۸۶۸۹۱/۶۸	۱۹۳۰	۱۶
۴۶۱۵۴۱/۳۵	۳۹۸۷۶۷۱/۳۶	۲۳۲۰	۱۷
۴۶۰۹۳۲/۱۲	۳۹۸۶۹۹۴/۴۴	۲۵۰۰	۱۸
۴۶۰۴۵۳/۷۴	۳۹۸۶۷۸۵/۷۶	۲۹۰۰	۱۹
۴۵۹۳۷۰/۳۷	۳۹۸۶۶۴۳/۲	۳۹۳۰	۲۰
۴۷۰۶۵۵/۸۳	۳۹۸۳۴۸۷/۳۹	۷۸۰۰	۲۱*

\* نمونه شاهد



شکل ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از خاک

### ۳-۳- آماده‌سازی نمونه‌های خاک

نمونه‌های خاک برداشت شده، به منظور آماده‌سازی و اندازه‌گیری خواص فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه زیست‌محیطی و آب‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شدند. نمونه‌ها به مدت ۲ روز در معرض هوای آزاد و دمای آزمایشگاه خشک شده و سپس توسط هاون دستی سرامیکی پودر شدند. پس از آن، نمونه‌های پودر شده از الک ۱۰ مش (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) عبور داده شدند. جزء عبوری از الک جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و نیز غلظت عناصر در نظر گرفته شد.

### ۳-۴- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک

در این مطالعه مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک شامل اندازه اجزای تشکیل‌دهنده (دانه‌بندی و بافت)، درصد ماده آلی و pH نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس روش‌های استاندارد تعیین

شد. در ادامه نحوه اندازه‌گیری این ویژگی‌ها ارائه می‌شود.

### ۳-۴-۱- اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH، از روش ۹۰۴۵D سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA, 2004) استفاده شد. بر طبق این روش، ابتدا ۲۰ گرم از خاک را وزن کرده و آن را داخل ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و سپس ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه می‌شود (نسبت ۱:۱). ارلن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه بر روی همزن (strier) قرار می‌گیرند تا آب و خاک به طور کامل مخلوط شوند. سپس ارلن‌ها به مدت یک ساعت به حالت ساکن باقی می‌مانند تا ذرات معلق ته‌نشین شوند. پس از آن الکتروود دستگاه pH متر کالیبره شده را وارد ارلن کرده و pH محلول باقی‌مانده بر روی نمونه خاک اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش از pH متر مدل YK-2001CT استفاده گردید. در انتها pH اندازه‌گیری شده با رده‌بندی انجمن خاک آمریکا (Soil Science Society of America, 1997) برای pH مقایسه شد (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲- رده‌بندی خاک بر اساس میزان pH

شرح	pH
به شدت اسیدی	< ۴/۵
اسیدی خیلی زیاد	۴/۶ - ۵/۵
اسیدی زیاد	۵/۶ - ۶
نسبتاً اسیدی	۶/۱ - ۶/۵
خنثی	۶/۶ - ۷/۳
کمی قلیایی	۷/۴ - ۷/۸
نسبتاً قلیایی	۷/۹ - ۸/۴
قلیایی خیلی زیاد	۸/۵ - ۹
به شدت قلیایی	> ۹/۱

### ۳-۴-۲- اندازه‌گیری میزان ماده آلی

به منظور تعیین میزان ماده آلی نمونه‌ها از روش اکسیداسیون تر با دی‌کرومات پتاسیم ( $K_2Cr_2O_2$ ) استفاده شد (Chopin and Allowey, 2007). بر اساس این روش، ابتدا ۱ گرم نمونه خاک از الک ۳۵

مش عبور داده شد و سپس در داخل ارلن ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. در مرحله بعد ۱۰ میلی‌لیتر محلول دی‌کرومات پتاسیم ۱ نرمال و پس از آن ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (به صورت سریع) در زیر هود به آن اضافه گردید. محلول به مدت ۱ دقیقه به آرامی تکان داده شد و سپس ۳۰ دقیقه به حالت سکون نگه داشته شد. سپس، ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ارلن اضافه گردیده و پس از سرد شدن حدود ۱۰ قطره ارتوفناترولین (به عنوان معرف) نیز به آن افزوده شد. در این مرحله از آزمایش، رنگ محلول سبز می‌شود. در انتها جهت تیتراسیون از محلول فروآمونیم سولفات ۰/۵ استفاده شد. با انجام تیتراسیون به مرور زمان رنگ محلول از سبز تیره به خاکستری تیره و بلافاصله به قرمز تغییر می‌یابد. همه مراحل ذکر شده برای نمونه تهی (نمونه بدون خاک) نیز انجام شد. در نهایت درصد ماده آلی هر نمونه توسط رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$OM\% = \frac{N \times (V_1 - V_2) \times 10 \times 0.003 \times 100}{V_1 \times W} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

N: نرمالیه فروآمونیم سولفات

V<sub>1</sub>: حجم فروسولفات اولیه بر حسب میلی‌لیتر (حجم مصرفی برای نمونه شاهد)

V<sub>2</sub>: حجم فروسولفات ثانویه بر حسب میلی‌لیتر (حجم مصرفی برای نمونه خاک)

W: وزن نمونه خاک خشک شده در هوای آزاد

### ۳-۴-۳- بررسی بافت خاک

به منظور اندازه‌گیری و تعیین درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک، از روش الک کردن و هیدرومتری استفاده شد. در این روش، وزن مشخصی از هر نمونه خاک توسط الک‌های ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰، ۲۳۰ مش با استفاده از دستگاه لرزاننده (shaker) به مدت ۱۵ دقیقه، سرنده شد و پس از آن، وزن ذرات خاک باقی‌مانده روی هر الک مشخص گردید. برای اندازه‌گیری ذرات ریزتر (رس، سیلت و ماسه بسیار ریز) نمونه‌ها نیز از روش هیدرومتری استفاده می‌شود. برای انجام این روش، حدود ۳۰ تا ۵۰ گرم از هر نمونه خاک که از الک با قطر کوچک‌تر از ۶۳ میکرون عبور کرده، داخل بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری



ریخته می‌شود و سپس محلول ۰.۴٪ هگزامتافسفات سدیم ( $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ ) به جهت پراکنده کردن ذرات به هم چسبیده خاک به نمونه اضافه می‌شود. بعد از گذشت ۱۲ ساعت، نمونه‌ها پس از مخلوط شدن توسط دستگاه لرزاننده، به استوانه مدرج ۱ لیتری انتقال داده می‌شوند. در این مرحله هیدرومتر درون استوانه قرار گرفته و به کمک آب مقطر به حجم رسانده می‌شود. استوانه به مدت ۱ دقیقه تکان داده شده و سپس در حالت سکون قرار می‌گیرد. پس از ۱۰ ثانیه به آرامی هیدرومتر درون استوانه قرار داده می‌شود و با گذشت ۴۰ ثانیه، قرائت اول ( $F_a$ )، با گذشت ۱ ساعت، قرائت دوم ( $F_b$ )، و با گذشت ۲ ساعت، قرائت سوم ( $F_c$ ) صورت می‌گیرد. تصحیحات دمایی و چگالی نیز پس از قرائت‌ها انجام می‌شود. با استفاده از روابط زیر، درصد ذرات دارای قطر ماسه، سیلت و رس نمونه به دست می‌آید.  $M$  وزن نمونه بر حسب گرم است (Soil Science Society of America, 1997):

$$\% \text{Sand} = 100 - F_a / M \times 100 \quad (\text{رابطه ۲-۳})$$

$$\% \text{Coarse silt} = F_a - F_b / M \times 100 \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

$$\% \text{Fine silt} = F_b - F_c / M \times 100 \quad (\text{رابطه ۴-۳})$$

$$\% \text{Clay} = F_c / M \times 100 \quad (\text{رابطه ۵-۳})$$

در نهایت، با محاسبه درصد رس، سیلت و ماسه، بافت خاک توسط مثلث طبقه‌بندی استاندارد خاک کشاورزی آمریکا (USDA, 1999) تعیین گردید.

### ۳-۵- اندازه‌گیری غلظت کل عناصر در خاک

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر بالقوه سمی (سرب، روی، کادمیم، آرسنیک، کروم، مس، کبالت و نیکل) و فلزات شاخص تشکیل‌دهنده ترکیب سیمان (کلسیم و منیزیم)، نمونه‌های خاک عبور داده شده از الک ۱۰ مش، به آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود ارسال گردیدند. در این آزمایشگاه غلظت عناصر با دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد.

### ۳-۶- ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌های خاک

در مطالعات زیست‌محیطی به ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد قرار داشته باشد، باید شدت آلودگی ایجاد شده بوسیله شاخص‌های ژئوشیمیایی تعیین گردد (شایسته‌فر و رضایی، ۱۳۹۰). شاخص زمین‌انباشت<sup>۱</sup>، ضریب غنی‌شدگی<sup>۲</sup>، ضریب آلودگی<sup>۳</sup>، درجه آلودگی<sup>۴</sup>، شاخص بار آلودگی<sup>۵</sup> و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی<sup>۶</sup> از جمله شاخص‌هایی هستند که می‌توان با استفاده از آن‌ها میزان یا شدت آلودگی خاک را به صورت کمی تعیین کرد (Krupadam et al., 2006; Seshan et al., 2010).

#### ۳-۶-۱- شاخص زمین‌انباشت

شاخص زمین‌انباشت از جمله مهم‌ترین و متداول‌ترین شاخص‌های ژئوشیمیایی برای ارزیابی میزان آلودگی فلزی در خاک‌های یک منطقه است که اولین بار در سال ۱۹۶۹ توسط مولر (Muller) معرفی شده است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Yisa et al., 2012):

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1.5 \times B_n \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

که در آن  $I_{geo}$  شاخص زمین‌انباشت،  $C_n$  غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک،  $B_n$  غلظت زمینه عنصر مورد مطالعه (ترکیب شیل میانگین) است. در رابطه فوق، ضریب ۱/۵ به منظور به حداقل رساندن تغییرات احتمالی مقادیر زمینه که ناشی از تغییرات سنگ‌شناسی در خاک‌ها بوده، اعمال شده است (Estifanos and Degefa., 2012). در جدول (۳-۳) رده‌بندی شاخص زمین‌انباشت ارائه شده است:

<sup>1</sup> Geoaccumulation Index

<sup>2</sup> Enrichment Factor

<sup>3</sup> Contamination Factor

<sup>4</sup> Contamination Degree

<sup>5</sup> Pollution Load Index

<sup>6</sup> Potential Ecological Risk Index

جدول ۳-۳- رده‌بندی شاخص زمین‌انباشت (Muller, 1969)

شدت آلودگی	بازه $I_{geo}$	درجه آلودگی
بدون آلودگی	$I_{geo} \leq 0$	۰
بدون آلودگی تا آلودگی متوسط	$0 < I_{geo} < 1$	۱
آلودگی متوسط	$1 < I_{geo} < 2$	۲
آلودگی متوسط تا شدید	$2 < I_{geo} < 3$	۳
آلودگی شدید	$3 < I_{geo} < 4$	۴
آلودگی شدید تا بی‌نهایت	$4 < I_{geo} < 5$	۵
آلودگی بی‌نهایت	$I_{geo} > 5$	۶

### ۳-۶-۲- ضریب غنی‌شدگی

ضریب غنی‌شدگی یک شاخص مناسب برای تمایز منشأ طبیعی از غیرطبیعی (انسان‌زاد) آلودگی است. این شاخص با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Loska et al., 1995):

$$EF = [C_x/C_{ref}]_{Sample} / [C_x/C_{ref}]_{Background} \quad (\text{رابطه ۳-۷})$$

که در آن  $EF$  ضریب غنی‌شدگی،  $C_x$  غلظت عنصر مورد نظر و  $C_{ref}$  غلظت عنصر مرجع (عنصر بهنجار کننده) است. عنصری به عنوان مرجع انتخاب می‌شود که تغییرات ناچیزی در محیط داشته و غلظت آن تحت تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد نباشد. معمولاً از عناصر آلومینیم، زیرکونیم، آهن، اسکاندینیم و تیتانیم به عنوان عنصر مرجع استفاده می‌شود، گرچه منگنز، کروم و لیتیم نیز در برخی مطالعات به عنوان عنصر مرجع، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Uduma and Jimoh, 2013). بررسی توزیع داده‌ها نشان داد که زیرکونیم در نمونه‌های مورد مطالعه دارای توزیع به نسبت نرمال است و تغییرپذیری کمتری نسبت به سایر عناصر دارد، بدین علت از این عنصر به عنوان عنصر مرجع استفاده گردید. در این پژوهش علاوه بر محاسبه غنی‌شدگی نسبت به پوسته زمین، غنی‌شدگی نسبت به نمونه شاهد نیز محاسبه شد. در جدول (۳-۴) رده‌های مختلف ضریب غنی‌شدگی بر اساس طبقه‌بندی ساترلند (Sutherland, 2000) آورده شده است.

جدول ۳-۴- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی

شدت غنی‌شدگی	EF
بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک	$EF < 2$
غنی‌شدگی متوسط	$2 < EF < 5$
غنی‌شدگی قابل توجه	$5 < EF < 20$
غنی‌شدگی بسیار بالا	$20 < EF < 40$
غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا	$EF > 40$

### ۳-۴-۳- ضریب آلودگی و درجه آلودگی

برای تعیین وضعیت آلودگی خاک نسبت به یک عنصر خاص از ضریب آلودگی استفاده می‌شود. این ضریب از رابطه (۳-۸) محاسبه می‌شود (Hakanson, 1980):

$$C_f = C_0 / C_n \quad \text{رابطه (۳-۸)}$$

در این رابطه  $C_f$  ضریب آلودگی،  $C_0$  غلظت فلز در نمونه مورد بررسی و  $C_n$  غلظت فلز در ماده مرجع است. در این پژوهش از ترکیب پوسته میانگین به عنوان ماده مرجع استفاده شد. رده‌بندی خاک بر اساس ضریب آلودگی هاکنسون در جدول (۳-۵) آورده شده است.

جدول ۳-۵- رده‌بندی مقادیر ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)

مقدار $C_f$	ضریب آلودگی خاک
$C_f < 1$	ضریب آلودگی پایین
$1 \leq C_f < 3$	ضریب آلودگی متوسط
$3 \leq C_f < 6$	ضریب آلودگی قابل توجه
$C_f \geq 6$	ضریب آلودگی بسیار بالا

درجه آلودگی ( $C_d$ ) نیز برای تعیین شدت آلودگی کلی محیط به کار می‌رود و از مجموع ضرایب آلودگی فلزات مورد مطالعه حاصل می‌شود (Hakanson, 1980). در جدول (۳-۶) رده‌بندی خاک بر مبنای درجه آلودگی آورده شده است.

جدول ۳-۶- رده‌بندی درجه آلودگی (Hakanson, 1980)

مقدار $C_d$	درجه آلودگی خاک
$C_d < 8$	درجه آلودگی پایین
$8 \leq C_d < 16$	درجه آلودگی متوسط
$16 \leq C_d < 32$	درجه آلودگی قابل توجه
$C_d \geq 32$	درجه آلودگی بسیار بالا

### ۳-۶-۴- شاخص بار آلودگی

شاخص بار آلودگی نیز آلودگی خاک را با توجه به تمام عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه در یک مکان نمونه برداری خاص، ارزیابی می کند. این شاخص، بر مبنای میزان ضریب آلودگی هر فلز در خاک است و با استفاده از رابطه (۳-۹) محاسبه می شود (Tomlinson et al., 1980):

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad \text{رابطه (۳-۹)}$$

در این رابطه PLI شاخص بار آلودگی،  $n$  تعداد فلزات مورد مطالعه در هر ایستگاه نمونه برداری (۸ فلز) و  $CF$  ضریب آلودگی عناصر مورد بررسی است. این شاخص به عنوان یک روش ساده جهت ارزیابی کیفیت خاک منطقه، مورد استفاده قرار می گیرد. در صورتی که  $PLI < 1$  باشد نشان دهنده غلظت طبیعی و غیرآلوده خاک است و اگر  $PLI > 1$  باشد، آلودگی فلزی را نشان می دهد (Tomlinson et al., 1980).

### ۳-۶-۵- شاخص خطر بالقوه بوم شناختی

روش شاخص خطر بالقوه بوم شناختی توسط هاکنسون (Hakanson, 1980) برای ارزیابی ویژگی و رفتار زیست محیطی آلاینده های عناصر بالقوه سمی در رسوبات و خاکها پیشنهاد شد. در این روش علاوه بر غلظت عناصر بالقوه سمی و آلودگی ناشی از آنها، اثرات بوم شناختی و زیست محیطی بالقوه همراه با اثرات سم شناختی آنها نیز در نظر گرفته می شود. این روش می تواند اثرات آلاینده های گوناگون و نیز تأثیر کلی چندین آلاینده مختلف را در یک محیط خاص آشکار سازد (Wang et al., 2013). این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود (Hakanson, 1980):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n T_i \times C_i \quad \text{رابطه (۳-۱۰)}$$

در این رابطه RI بیانگر شاخص خطر بالقوه بوم شناختی،  $E_i$  مؤلفه خطر بوم شناختی بالقوه عنصر مورد نظر در خاک و  $i$  بیانگر عنصر مورد نظر است که از ۱ تا  $n$  عنصر (در این مطالعه ۸ عنصر) متغیر است. همچنین  $T_i$  ضریب پاسخ سمیت عنصر مورد نظر است که مقادیر آن در جدول (۳-۷) ارائه شده

است.  $C_i$  در این رابطه میزان ضریب آلودگی فلز مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در جدول (۳-۸) رده‌بندی خاک بر اساس شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی هاکنسون آورده شده است.

جدول ۳-۷- مقادیر ضریب پاسخ سمیت برای فلزات مورد مطالعه (Hakanson, 1980; Xu, 2015)

فلز	آرسنیک	کادمیم	سرب	روی	مس	نیکل	کروم	کبالت
$T_i$	۱۰	۳۰	۵	۱	۵	۵	۲	۵

جدول ۳-۸- رده‌بندی شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (Hakanson, 1980)

RI	شدت خطر بالقوه بوم‌شناختی
$RI < 150$	خطر بوم‌شناختی پایین
$150 \leq RI < 300$	خطر بوم‌شناختی متوسط
$300 \leq RI < 600$	خطر بوم‌شناختی قابل توجه
$RI \geq 600$	خطر بوم‌شناختی بسیار بالا

### ۳-۷- نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این پژوهش، اغلب نمودارها با استفاده از نرم‌افزار MS Excel (نسخه ۲۰۱۰) رسم شدند. بسته نرم‌افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS ۱۰) به منظور ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی، راه‌های دسترسی، توپوگرافی و کاربری اراضی منطقه، نمایش پراکندگی مکانی عناصر و پارامترهای خاک و همچنین پهنه‌بندی آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به کمک نرم‌افزار تعیین بافت خاک (۴/۲ TAL for window)، بافت نمونه‌های خاک مورد بررسی تعیین شد. از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) نیز به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد.

### ۳-۸- تحلیل آماری داده‌ها

روش‌های آماری چند متغیره، تکنیک‌هایی را برای طبقه‌بندی روابط متقابل عناصر بالقوه سمی ارائه می‌کنند. با استفاده از این روش‌ها همچنین می‌توان منشأ عناصر و تأثیر عوامل انسان‌زاد را بر آن‌ها مشخص ساخت (Acosta, 2010). روش‌های تحلیل همبستگی<sup>۱</sup>، تحلیل خوشه‌ای<sup>۲</sup> و تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۳</sup> از جمله پرکاربردترین روش‌های آماری بوده که در ارزیابی‌های زیست‌محیطی مورد استفاده

<sup>1</sup> Correlation Analysis

<sup>2</sup> Clustering Analysis

<sup>3</sup> Principal Component Analysis

قرار می‌گیرند.

### ۳-۸-۱- تحلیل همبستگی

این روش برای تعیین شدت و جهت وابستگی بین دو متغیر به کار می‌رود. ضریب همبستگی ( $r$ ) در محدوده بین  $-1$  (برای متغیرهایی با رابطه منفی کامل) تا  $+1$  (برای متغیرهایی با رابطه مثبت کامل) قرار می‌گیرد. زمانی که این ضریب برابر با  $0$  باشد به این معنی است که هیچ رابطه خطی میان متغیرها برقرار نیست (Zamani et al., 2012). در واقع هر چه  $r$  به  $+1$  نزدیک‌تر باشد، رابطه مثبت خطی، قوی‌تر است و با افزایش یک متغیر، متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد در حالی که با نزدیک شدن  $r$  به  $-1$ ، رابطه منفی خطی برقرار می‌شود و افزایش یک متغیر موجب کاهش متغیر دیگر می‌شود (آسیابان‌ها، ۱۳۸۶). در صورتی که داده‌ها توزیع نرمال داشته باشند، برای محاسبه ضریب همبستگی می‌توان از روش پیرسون استفاده کرد، در غیر این صورت روش غیرپارامتری اسپیرمن به کار می‌رود (Zamani et al., 2012). همبستگی بالا و معنادار عناصر در محیط خاک نشان‌دهنده منشأ مشترک آن‌ها و یا کنترل‌شدن تغییرپذیری آن‌ها توسط یک عامل ویژه است (Skrbic and Durisic-Mladenovic, 2010).

### ۳-۸-۲- تحلیل خوشه‌ای

روش آماری تحلیل خوشه‌ای یک طبقه‌بندی غیرکنترلی برای متغیرهای آماری است که آن‌ها را بر اساس میزان شباهت‌ها و فاصله‌های موجود، تقسیم‌بندی می‌کند (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). در حقیقت متغیرها با رفتار و ویژگی‌های مشابه در یک خوشه قرار می‌گیرند. در این حالت بیشترین شباهت‌ها با کمترین فاصله میان متغیرها، در یک خوشه و بیشترین تفاوت‌ها در آن‌ها، در بین خوشه‌ها مشاهده می‌شود. در مطالعات ژئوشیمیایی، روش تحلیل خوشه‌ای برای طبقه‌بندی عناصر بر اساس شباهت‌های احتمالی آن‌ها (منشأ یا خواص ژئوشیمیایی مشابه) استفاده می‌شود و در انتها همبستگی میان عناصر و تفاوت‌های آن‌ها را در یک نمودار خوشه‌ای نمایش می‌دهد (Praveena et al., 2007).

### ۳-۸-۳- تحلیل مؤلفه اصلی

روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) از جمله روش‌های آماری چند متغیره کاربردی و رایج در مطالعات زیست‌محیطی است. در این روش داده‌های اولیه به تعدادی مؤلفه با ابعاد کوچک‌تر کاهش می‌یابند (Boruvka et al., 2005). در واقع مؤلفه‌های اولیه‌ای که بیشترین مقدار واریانس از واریانس کل را دارا بوده و امتیاز ویژه<sup>۱</sup> بالاتر از یک دارند، به عنوان مؤلفه‌های اصلی<sup>۲</sup> انتخاب می‌شوند (Kaiser, 1960) به طور کلی این مؤلفه‌ها اطلاعاتی از متغیرهای اولیه و همچنین اطلاعات پنهانی در ارتباط با ساختار اصلی داده‌ها و نیز تغییرپذیری آن‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد (Boruvka et al., 2005). کاهش ابعاد مجموعه داده‌های اولیه از طریق چرخش مؤلفه‌های اصلی حول محورهای مختصات صورت می‌گیرد که در این حالت اختلاف واریانس میان مؤلفه‌های اصلی به بیشترین مقدار خود می‌رسد و به همین دلیل به آن چرخش واریماکس<sup>۳</sup> گفته می‌شود (Kaiser, 1960). در روش تحلیل مؤلفه اصلی متغیرهای موجود در هر مؤلفه، دارای ویژگی‌های مشابه هستند و در مطالعات زیست‌محیطی از PCA به منظور منشأیابی عناصر و یا طبقه‌بندی متغیرهای ژئوشیمیایی بر مبنای ویژگی‌های مشترک استفاده می‌شود (Carlosona et al., 1998).

### ۳-۹- نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی خاک

برای پهنه‌بندی آلودگی خاک می‌توان از نقشه‌های پراکندگی استفاده کرد. با توسعه روش‌های درون‌یابی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS می‌توان با داشتن داده‌های کم، نقشه‌های توزیع مکانی میزان آلودگی‌ها را با دقت منطقی تهیه کرد. در پژوهش‌های مربوط به خاک و ترسیم نقشه آلودگی آن، از روش‌های درون‌یابی مانند روش توابع شعاع‌محور<sup>۴</sup>، کریجینگ<sup>۵</sup> و وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۶</sup> به طور گسترده‌ای استفاده شده است (رحیم‌پور و عباسپور، ۱۳۹۳). در این مطالعه، از روش درون‌یابی توابع

<sup>1</sup> Eigenvalue

<sup>2</sup> Principal Components

<sup>3</sup> Varimax

<sup>4</sup> Radial Basis Function, RBF

<sup>5</sup> Kriging

<sup>6</sup> Inverse Distance Weighted, IDW



شعاع محور برای تهیه نقشه توزیع آلودگی استفاده گردید، زیرا با بررسی ریشه میانگین مربعات خطاها<sup>۱</sup> در روش‌های مختلف مشخص شد که روش RBF نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی از دقت بالاتر و خطای کم‌تری برخوردار است (جدول ۳-۹). در این بخش برای محاسبه تأثیر همه عناصر بالقوه سمی در آلودگی خاک‌های منطقه، از شاخص‌هایی که آلودگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری را بر اساس عناصر مورد بررسی نمایش می‌دهند (شاخص‌های درجه آلودگی، بار آلودگی و خطر بالقوه بوم‌شناختی) به عنوان داده‌های مورد نیاز (ورودی) جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد. در نهایت به منظور ارتباط میان شدت آلودگی خاک و عوامل مؤثر بر آن، نقشه بدست آمده بر روی نقشه کاربری اراضی منطقه منطبق شد.

جدول ۳-۹- مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد استفاده بر اساس میزان RMSE

روش	IDW	RBF	کریجینگ
RMSE	۱۰۰/۹۰	۲/۳۲	۸۴/۲۳

<sup>۱</sup> Root Mean Squars Error, RMSE



فصل چہارم:

ارزیابی آلودگی خاک ہاں اطراف کارخانہ سیمان آسک

#### ۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک (شامل pH، مواد آلی و بافت)، روابط آماری آن‌ها با یکدیگر و با غلظت‌های عناصر مورد مطالعه ارزیابی می‌گردد. همچنین روند تغییرات این ویژگی‌ها به همراه غلظت عناصر بالقوه سمی و عناصر اصلی گسیل شده از صنایع سیمان با استفاده از نمودارها و نقشه‌های پراکندگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه با در نظر گرفتن اطلاعات بدست آمده و استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی مختلف، شدت آلودگی خاک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و همچنین پهنه‌بندی آلودگی منطقه ترسیم می‌شود.

#### ۴-۲- خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک

تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در ارزیابی آلودگی‌های زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Al-Omran et al., 2011). این ویژگی‌ها بر میزان انباشت و تمرکز فلزات در خاک تأثیر می‌گذارند. pH، میزان ماده آلی و محتوای رس خاک‌ها، از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تمرکز فلزات در خاک هستند (Kabata-Pendias, 2011). از آنجا که گرد و غبار خروجی کارخانه‌های سیمان، خواص فیزیکوشیمیایی خاک را نیز تغییر می‌دهد (Khamparia et al., 2012)، از این‌رو برخی از ویژگی‌های مهم خاک در نمونه‌های مورد مطالعه، اندازه‌گیری گردیدند. در جدول (۴-۱) پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک سطحی اطراف کارخانه آورده شده است.

#### ۴-۲-۱- pH

pH نمونه‌های مورد مطالعه در بازه ۸ تا ۸/۸۷ (میانگین ۸/۵۱) قرار می‌گیرد (شکل ۴-۱) و بر اساس استاندارد انجمن خاک آمریکا (Soil Science Society of America, 1997)، این خاک‌ها نسبتاً قلیایی تا قلیایی خیلی زیاد به حساب می‌آیند (جدول ۳-۲). به طور کلی pH نمونه‌های برداشت شده از نزدیکی کارخانه، بالاتر از سایر نمونه‌ها است و با فاصله گرفتن از آن، به طور نسبی کاهش می‌یابد.

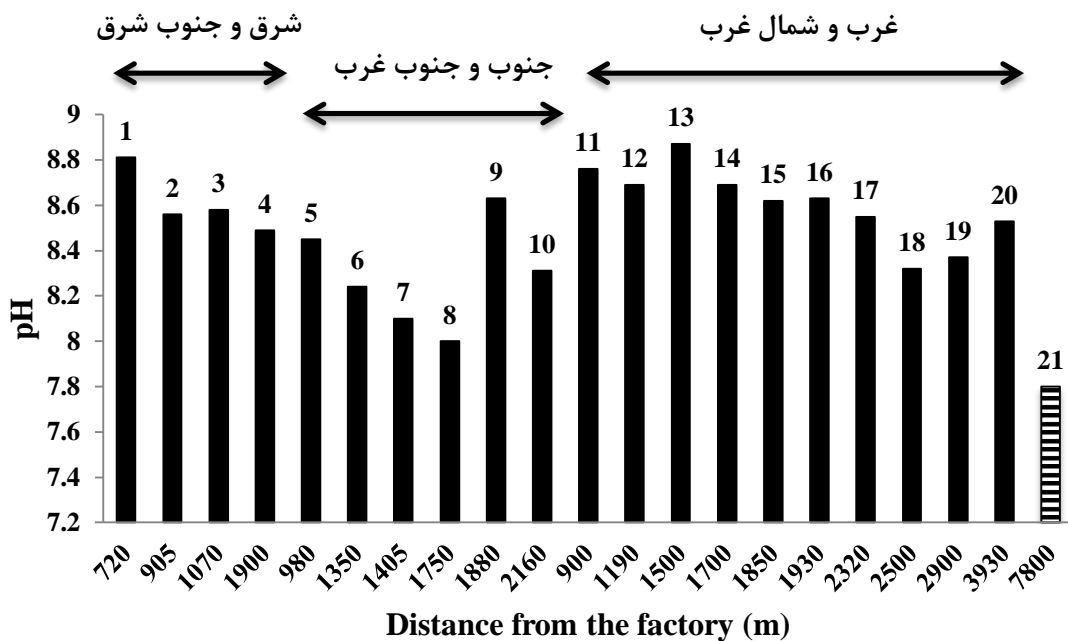
به طور کلی کارخانه‌های سیمان منبعی برای آلاینده‌های ذره‌ای قلیایی هستند که می‌توانند با ته‌نشین شدن بر روی خاک، باعث بالا رفتن pH آن شوند (Dabkowska- Naskret et al., 2014).

جدول ۴-۱- مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک

شماره نمونه	pH	ماده آلی (%)	رس (%)	سیلت (%)	ماسه (%)	بافت
۱	۸/۸۱	۰/۶۸	۱۳/۰۰	۳۷/۰۰	۵۰/۰۰	لوم
۲	۸/۵۶	۰/۵۰	۱۱/۰۰	۴۱/۰۰	۴۸/۰۰	لوم
۳	۸/۵۸	۰/۶۲	۱۷/۰۰	۴۱/۰۰	۴۲/۰۰	لوم
۴	۸/۴۹	۰/۵۶	۱۴/۰۰	۴۲/۰۰	۴۴/۰۰	لوم
۵	۸/۴۵	۰/۵۰	۹/۰۰	۴۷/۰۰	۴۴/۰۰	لوم
۶	۸/۲۴	۲/۱۶	۸/۰۰	۲۸/۰۰	۶۴/۰۰	لوم ماسه‌ای
۷	۸/۱۰	۱/۸۴	۷/۰۰	۳۱/۰۰	۶۲/۰۰	لوم ماسه‌ای
۸	۸/۰۰	۲/۲۰	۶/۰۰	۳۶/۰۰	۵۸/۰۰	لوم ماسه‌ای
۹	۸/۶۳	۰/۸۱	۱۲/۰۰	۳۵/۰۰	۵۳/۰۰	لوم ماسه‌ای
۱۰	۸/۳۱	۰/۸۲	۸/۰۰	۲۹/۰۰	۶۳/۰۰	لوم ماسه‌ای
۱۱	۸/۷۶	۱/۰۳	۱۱/۰۰	۲۷/۰۰	۶۲/۰۰	لوم ماسه‌ای
۱۲	۸/۶۹	۰/۷۲	۱۴/۰۰	۳۶/۰۰	۵۰/۰۰	لوم
۱۳	۸/۸۷	۰/۴۰	۱۴/۰۰	۳۹/۰۰	۴۷/۰۰	لوم
۱۴	۸/۶۹	۰/۵۴	۱۸/۰۰	۳۶/۰۰	۴۶/۰۰	لوم
۱۵	۸/۶۲	۰/۵۵	۱۱/۰۰	۴۰/۰۰	۴۹/۰۰	لوم
۱۶	۸/۶۳	۰/۵۳	۹/۰۰	۴۷/۰۰	۴۴/۰۰	لوم
۱۷	۸/۵۵	۰/۳۶	۱۷/۰۰	۲۷/۰۰	۵۶/۰۰	لوم ماسه‌ای
۱۸	۸/۳۲	۰/۹۰	۱۱/۰۰	۴۱/۰۰	۴۸/۰۰	لوم
۱۹	۸/۳۷	۰/۴۹	۷/۰۰	۳۱/۰۰	۶۲/۰۰	لوم ماسه‌ای
۲۰	۸/۵۳	۰/۵۰	۹/۰۰	۳۶/۰۰	۵۵/۰۰	لوم ماسه‌ای
۲۱*	۷/۸۰	۰/۵۵	۱۰/۰۰	۲۵/۰۰	۶۵/۰۰	لوم ماسه‌ای

\* نمونه شاهد

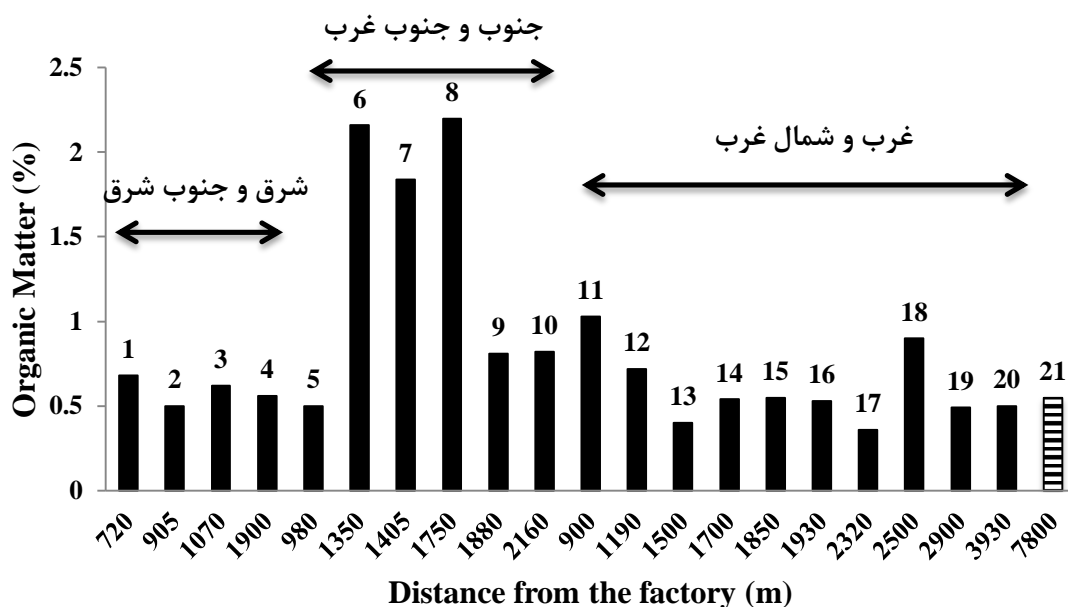
علاوه بر فعالیت کارخانه سیمان آبیک، زمین‌شناسی منطقه به احتمال زیاد در قلیایی بودن pH نمونه‌های خاک مؤثر است. pH همه نمونه‌های خاک اطراف کارخانه سیمان در مقایسه با pH نمونه شاهد (۷/۸) بالاتر است. با توجه به اینکه pH قلیایی خاک موجب کاهش تحرک اکثر کاتیون‌های فلزی می‌شود (Kabata-Pendias, 2011) احتمالاً خاک‌های منطقه مورد مطالعه توانایی بالایی در نگه‌داشت و انباشت فلزات در خود دارند، چرا که در pH‌های قلیایی تحرک بیشتر فلزات کاهش می‌یابد (Hooda, 2010).



شکل ۴-۱- تغییرات pH نمونه‌های خاک

#### ۴-۲-۲- ماده آلی

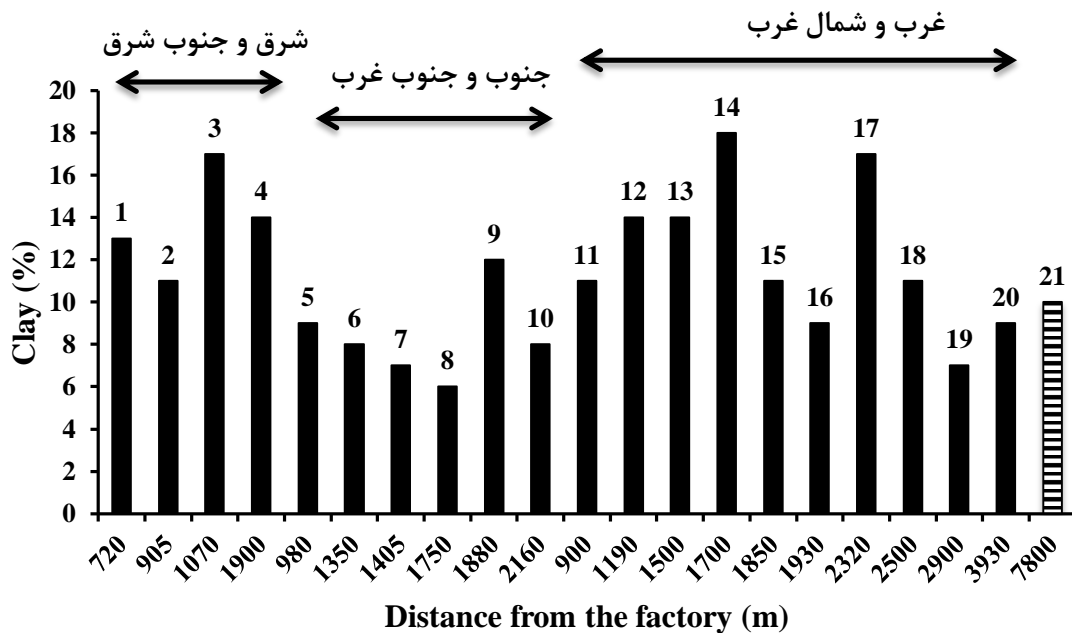
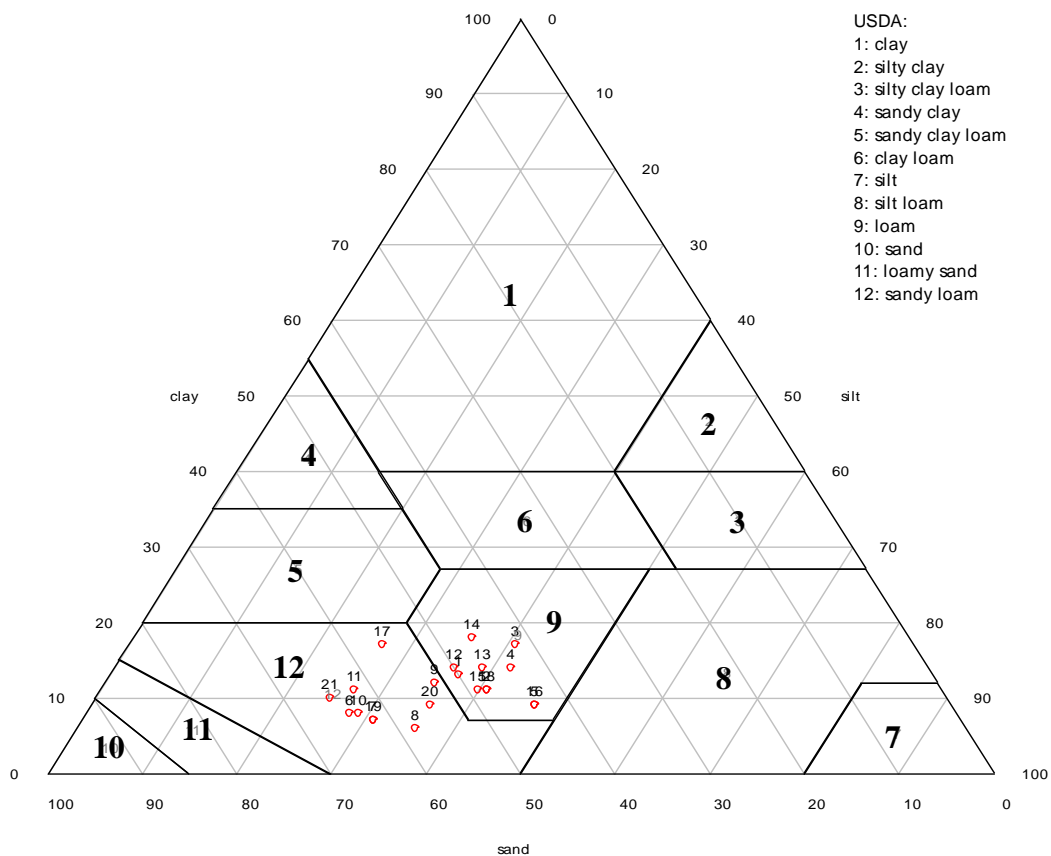
مقدار ماده آلی در نمونه‌های مورد مطالعه از ۰/۳۶ تا ۲/۲ (میانگین ۰/۸۳) درصد وزنی تغییر می‌کند (شکل ۳-۲). نمونه شاهد نیز در مقایسه با میانگین ماده آلی در نمونه‌های اطراف کارخانه، درصد پایینی از ماده آلی (۰/۵۵ درصد) را داراست. نمونه شماره ۸ با بالاترین میزان ماده آلی، از یک باغ انگور برداشت شده است. به طور کلی میزان ماده آلی در نمونه‌های برداشت شده از باغ (نمونه شماره ۷ و ۸) و منطقه مسکونی (نمونه شماره ۶) بالا است. لازم به ذکر است در محدوده مسکونی که مربوط به کارکنان کارخانه سیمان است، درخت‌های میوه و همچنین چنار به طور انبوه وجود دارد. به احتمال زیاد دلیل بالا بودن مقدار ماده آلی در این نمونه‌ها، استفاده از کودهای حیوانی و کمپوست و نیز بالا بودن هوموس این خاک‌ها است زیرا استفاده از کودهای حیوانی و کمپوست باعث افزایش قابل توجه ماده آلی خاک می‌شود (Ashwort and Allowey, 2004). همانطور که مشاهده می‌شود بیشتر نمونه‌های اطراف کارخانه درصد پایینی ماده آلی دارند و علت آن وجود پوشش گیاهی کم در این مناطق است.



شکل ۴-۲- تغییرات میزان ماده آلی در نمونه‌های خاک

#### ۴-۲-۳- بافت

به طور کلی در نمونه‌های خاک مورد مطالعه میانگین مقدار رس، سیلت و ماسه به ترتیب ۱۱/۳، ۳۶/۳۵ و ۵۲/۳۵ درصد است. بر اساس طبقه‌بندی USDA، بافت خاک در نمونه‌ها بین لوم (Loam) و لوم ماسه‌ای (Sandy loam) تغییر می‌کند (شکل ۴-۳). به طور کلی بافت خاک در نمونه‌های مجاور کارخانه در رده متوسط (لومی) و در مناطق دورتر و همچنین در جهت جنوب کارخانه، با افزایش درصد ماسه خاک در رده سبک (لوم ماسه‌ای) قرار می‌گیرد. در شکل (۴-۴) تغییرات درصد رس در نمونه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. از نظر بافتی نمونه‌هایی که درصد رس بالاتری دارند، ظرفیت جذب بیشتری برای فلزات دارند (Hooda, 2010).



شکل ۴-۴- تغییرات درصد رس در نمونه‌های خاک



### ۳-۴- بررسی غلظت کل عناصر بالقوه سمی و عناصر اصلی

گرد و غبار و گازهای خروجی از کارخانه‌های سیمان به طور معمول حاوی غلظت بالایی از عناصر و عناصر بالقوه سمی چون آرسنیک، کبالت، مس، نیکل، سرب، کروم، روی و کادمیم هستند (Adejumo et al., 1994). همچنین عناصر اصلی چون کلسیم و منیزیم نیز در ترکیب غالب سیمان‌ها وجود دارند (Taylor, 1997) که در غلظت‌های بالا می‌توانند به عنوان آلاینده عمل کنند. در این پژوهش غلظت و روند تغییرات این عناصر در خاک‌های پیرامون کارخانه سیمان آبیگ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول (۲-۴) غلظت کل عناصر مورد نظر آورده شده است. لازم به ذکر است که برای ارزیابی آلودگی نمونه‌های مورد مطالعه از ترکیب میانگین خاک‌های جهانی (Kabata-Pendias, 2011)، ترکیب پوسته میانگین و شیل میانگین (میسون و مر، ۱۳۸۹) استفاده شده است (جدول ۳-۴).

جدول ۳-۴- استانداردهای مجاز جهانی غلظت عناصر بالقوه سمی در خاک (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

عنصر	As	Cd	Pb	Zn	Co	Ni	Cu	Cr
میانگین خاک‌های جهانی	۶/۸۳	۰/۴۱	۲۷/۰۰	۷۰/۰۰	۱۱/۳۰	۲۹/۰۰	۳۸/۹۰	۵۹/۵۰
میانگین پوسته‌ای	۱/۸۰	۰/۲۰	۱۳/۰۰	۷۰/۰۰	۲۵/۰۰	۷۵/۰۰	۵۵/۰۰	۱۰۰/۰۰
شیل میانگین	۱۳/۰۰	۰/۳۰	۲۰/۰۰	۹۵/۰۰	۱۹/۰۰	۶۸/۰۰	۴۵/۰۰	۹۰/۰۰

جدول ۴-۲- غلظت کل عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

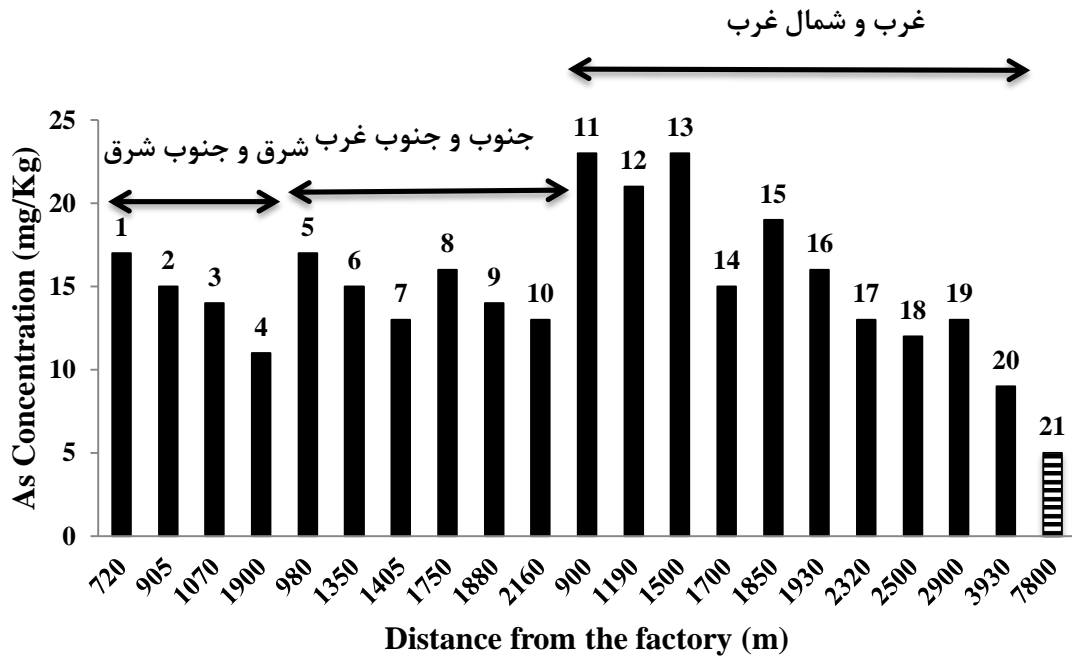
شماره نمونه	Co	Pb	Zn	Mg	Ca	As	Cu	Ni	Cr	Cd
۱	۱۸/۰	۴۵/۰	۸۳/۰	۱۸۱۰۰/۰	۲۰۵۲۰۰/۰	۱۷/۰	۳۵/۰	۴۹/۰	۶۰/۰	۲/۰
۲	۱۵/۰	۲۷/۰	۷۶/۰	۱۷۷۰۰/۰	۱۹۳۸۰۰/۰	۱۵/۰	۲۶/۰	۴۱/۰	۵۵/۰	۱/۰
۳	۱۶/۰	۲۳/۰	۷۵/۰	۱۶۱۰۰/۰	۱۴۱۱۰۰/۰	۱۴/۰	۲۸/۰	۴۲/۰	۵۵/۰	۰/۵
۴	۱۰/۰	۱۸/۰	۶۷/۰	۱۵۲۰۰/۰	۱۱۱۱۰۰/۰	۱۱/۰	۲۹/۰	۴۴/۰	۵۸/۰	۰/۵
۵	۱۶/۰	۲۱/۰	۶۹/۰	۱۸۰۰۰/۰	۸۰۰۰۰/۰	۱۷/۰	۲۳/۰	۴۳/۰	۵۹/۰	۰/۵
۶	۱۳/۰	۱۴/۰	۶۳/۰	۲۰۹۰۰/۰	۹۷۴۰۰/۰	۱۵/۰	۳۶/۰	۴۶/۰	۶۲/۰	۱/۰
۷	۲۰/۰	۲۴/۰	۹۷/۰	۲۱۷۰۰/۰	۸۳۷۰۰/۰	۱۳/۰	۳۶/۰	۴۵/۰	۶۶/۰	۱/۰
۸	۱۹/۰	۱۷/۰	۹۰/۰	۲۰۵۰۰/۰	۷۵۴۰۰/۰	۱۶/۰	۳۸/۰	۴۸/۰	۶۵/۰	۱/۰
۹	۱۵/۰	۲۲/۰	۶۵/۰	۱۲۲۰۰/۰	۷۲۲۰۰/۰	۱۴/۰	۳۰/۰	۴۱/۰	۴۹/۰	۰/۵
۱۰	۱۶/۰	۱۸/۰	۷۰/۰	۱۷۹۰۰/۰	۸۹۷۰۰/۰	۱۳/۰	۳۱/۰	۴۴/۰	۵۲/۰	۰/۵
۱۱	۱۹/۰	۵۸/۰	۹۲/۰	۲۳۰۰۰/۰	۱۹۹۵۰۰/۰	۲۳/۰	۳۴/۰	۴۳/۰	۶۱/۰	۳/۰
۱۲	۱۸/۰	۵۴/۰	۸۹/۰	۲۷۲۰۰/۰	۱۶۲۳۰۰/۰	۲۱/۰	۳۴/۰	۴۷/۰	۵۹/۰	۲/۰
۱۳	۱۶/۰	۴۸/۰	۹۰/۰	۲۵۸۰۰/۰	۱۷۳۵۰۰/۰	۲۳/۰	۲۳/۰	۲۹/۰	۴۲/۰	۰/۵
۱۴	۱۸/۰	۴۷/۰	۸۷/۰	۲۲۲۰۰/۰	۱۵۸۷۰۰/۰	۱۵/۰	۳۰/۰	۴۹/۰	۴۸/۰	۱/۰
۱۵	۱۶/۰	۴۷/۰	۸۳/۰	۲۳۱۰۰/۰	۱۶۳۳۰۰/۰	۱۹/۰	۲۷/۰	۴۲/۰	۴۷/۰	۱/۰
۱۶	۱۵/۰	۴۳/۰	۸۶/۰	۲۳۱۰۰/۰	۱۳۸۳۰۰/۰	۱۶/۰	۲۴/۰	۳۸/۰	۵۰/۰	۱/۰
۱۷	۱۶/۰	۳۸/۰	۸۱/۰	۲۱۴۰۰/۰	۱۲۶۹۰۰/۰	۱۳/۰	۲۵/۰	۴۲/۰	۵۵/۰	۰/۵
۱۸	۱۵/۰	۳۳/۰	۸۰/۰	۱۶۶۰۰/۰	۱۲۴۸۰۰/۰	۱۲/۰	۲۵/۰	۳۱/۰	۴۵/۰	۰/۵
۱۹	۱۴/۰	۳۳/۰	۷۸/۰	۱۸۱۰۰/۰	۹۰۸۰۰/۰	۱۳/۰	۲۷/۰	۳۴/۰	۵۲/۰	۰/۵
۲۰	۱۱/۰	۲۰/۰	۶۹/۰	۱۸۰۰۰/۰	۷۸۸۰۰/۰	۹/۰	۲۴/۰	۴۱/۰	۵۶/۰	۰/۵
۲۱*	۱۳/۰	۱۷/۰	۶۵/۰	۱۴۵۰۰/۰	۶۱۷۰۰/۰	۵/۰	۲۶/۰	۴۱/۰	۵۷/۰	۰/۳

\* نمونه شاهد

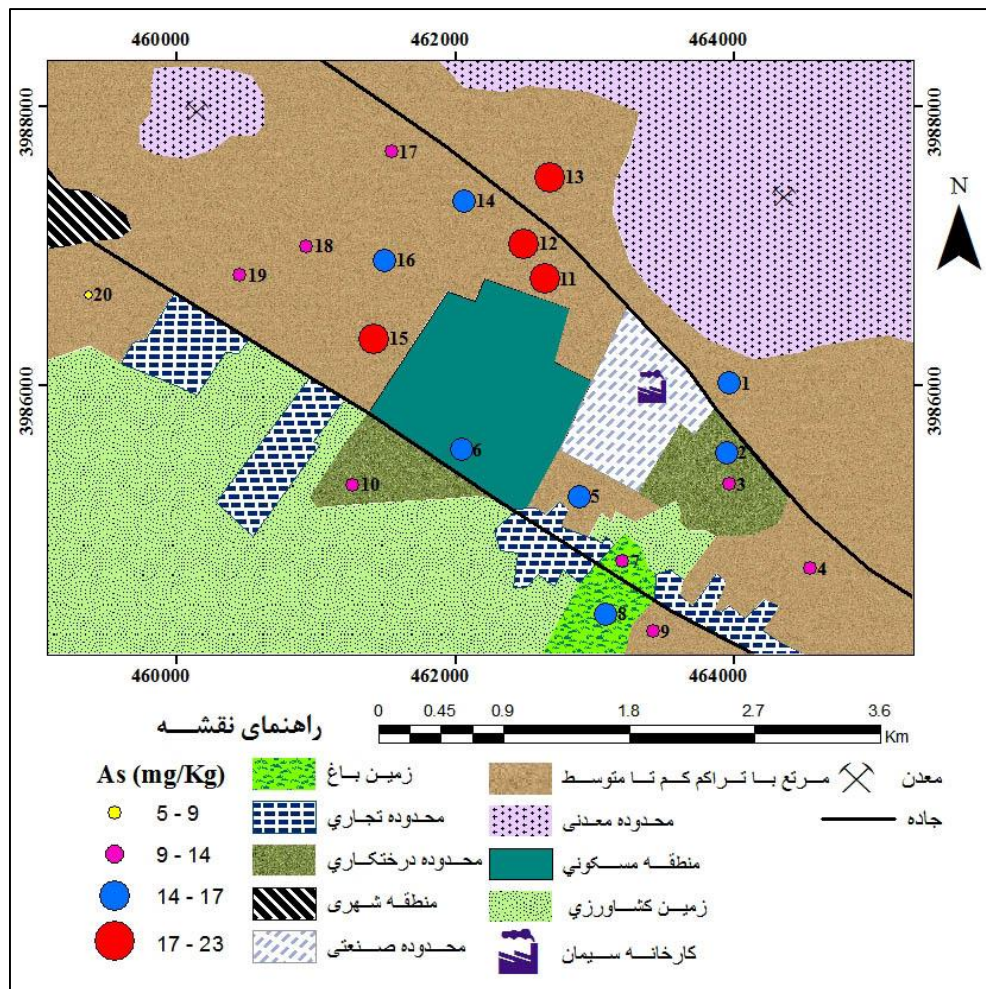
#### ۴-۳-۱- غلظت و روند تغییرات عناصر بالقوه سمّی

##### ۴-۳-۱-۱- آرسنیک

غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک مورد مطالعه از ۹ تا ۲۳ (میانگین ۱۵/۴۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند (شکل ۴-۵). غلظت این عنصر در همه نمونه‌ها بیشتر از نمونه شاهد (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین پوسته‌ای (۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میسون و مر، ۱۳۸۹) و نیز میانگین خاک‌های جهانی (۶/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، Kabata-Pendias, 2011)، است. بر اساس نتایج بدست آمده کمترین غلظت آرسنیک مربوط به نمونه شماره ۲۰ است که دورترین فاصله (۳۹۳۰ متر) را از کارخانه دارد و بیشترین غلظت آرسنیک متعلق به نمونه‌های شماره ۱۱ و ۱۳ است که در مجاورت کارخانه قرار دارند. با توجه به شکل (۴-۶) در تمام جهت‌های نمونه‌برداری نسبت به کارخانه سیمان آبیک، بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های نزدیک به کارخانه مشاهده می‌شود و با دور شدن از آن غلظت این عنصر کاهش می‌یابد. در بخش‌های غرب و شمال غرب کارخانه که در جهت باد غالب قرار دارند، غلظت آرسنیک نمونه‌ها تا فواصل دورتری از کارخانه همچنان بالا است. بالاتر بودن غلظت آرسنیک نسبت به نمونه شاهد و کاهش یافتن غلظت آن با افزایش فاصله از کارخانه، نشان‌دهنده نقش فرآیند تولید سیمان در افزایش غلظت این شبه‌فلز در خاک‌های اطراف است. پژوهشگران زیادی به اثر فعالیت کارخانه‌های سیمان بر افزایش آرسنیک در خاک‌های اطراف اشاره کرده‌اند (برای مثال Al-Omran et al., 2011; Estifanos and Degefa, 2012) با توجه به اینکه آرسنیک در خاک‌های قلیایی تحرک‌پذیری بالاتری دارد و می‌تواند به بخش‌های عمیق‌تر خاک نیز مهاجرت نماید (Gersztyn, 2013)، به احتمال زیاد غلظت بسیار بیشتری از این عنصر از طریق کارخانه وارد خاک شده و در طول زمان به بخش‌های عمیق‌تر خاک مهاجرت کرده است.



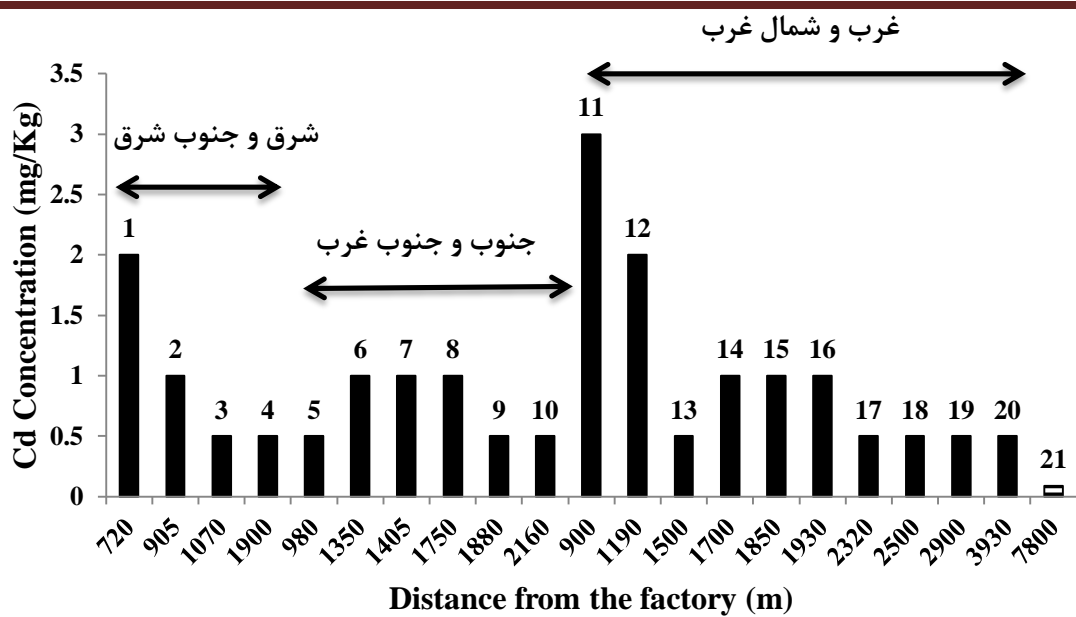
شکل ۴-۵- تغییرات غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک



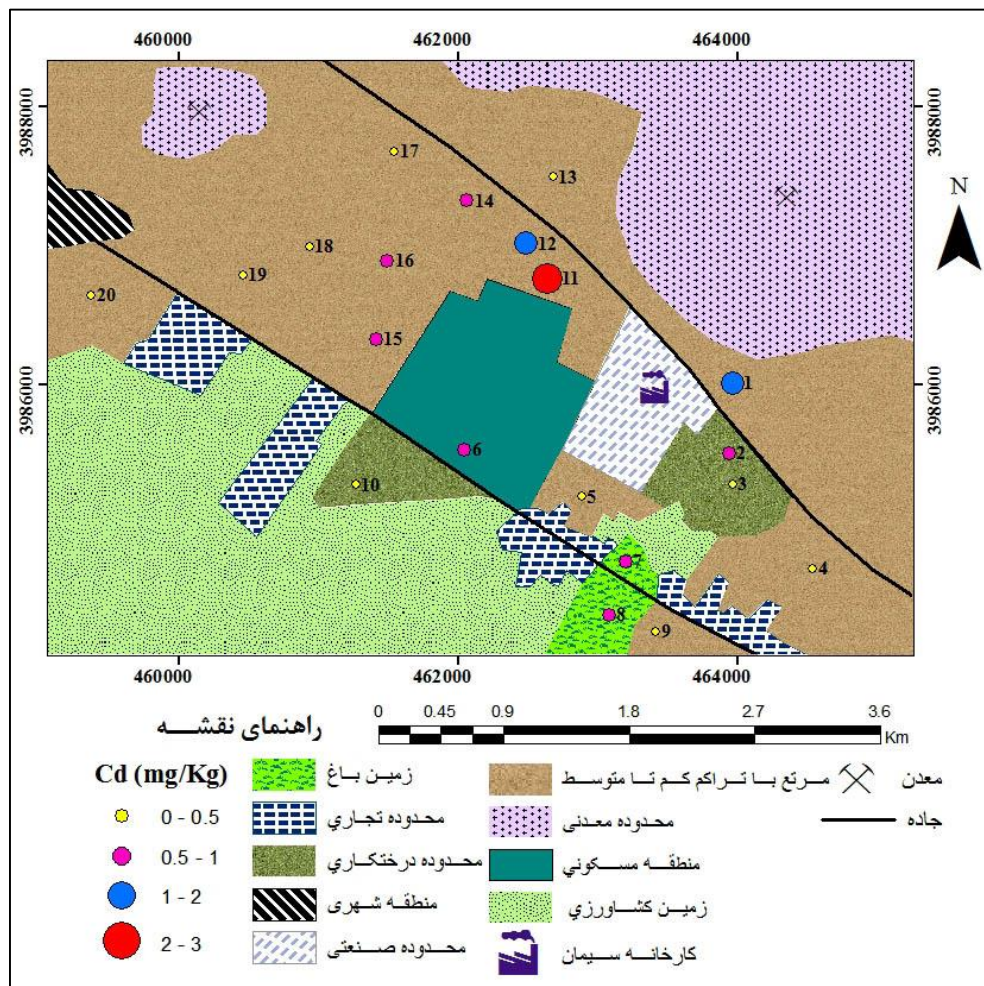
شکل ۴-۶- پراکندگی غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

#### ۴-۳-۱-۲- کادمیم

غلظت کادمیم در نمونه‌های خاک مورد مطالعه در گستره ۰/۵ تا ۳ (میانگین ۰/۹۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار می‌گیرد (شکل ۴-۷). غلظت این فلز در همه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میانگین غلظت آن در پوسته (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و همچنین در ترکیب خاک‌های جهانی (۰/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. با توجه به شکل (۴-۸) در نمونه‌های نزدیک به کارخانه غلظت کادمیم بالا است و با دور شدن از آن به طور نسبی کاهش می‌یابد. بالاترین غلظت کادمیم مربوط به نمونه شماره ۱۱ است که در جهت باد غالب نزدیک‌ترین فاصله (۹۰۰ متر) را با کارخانه دارد، بنابراین می‌توان منشأ اصلی کادمیم در نمونه‌های مورد مطالعه را به احتمال زیاد به فعالیت کارخانه سیمان نسبت داد. در مطالعات مشابه دیگر نیز منشأ کادمیم در خاک‌های اطراف کارخانه‌های سیمان، به گرد و غبار خروجی از این کارخانه‌ها نسبت داده شده است (Mandal and Voutchkov, 2011; Lafta et al., 2013). در جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه غلظت کادمیم تا فواصل دورتری، بالاتر از حد زمینه است و این بیانگر اثر باد غالب در انتقال گرد و غبار حاوی این فلز از دودکش کارخانه است. در نمونه‌هایی که از جنوب و جنوب غرب کارخانه جمع‌آوری شده‌اند، غلظت کادمیم در همه نمونه‌ها به استثنای نمونه‌های مربوط به باغ و منطقه مسکونی اطراف کارخانه، پایین است. بالا بودن غلظت کادمیم در خاک باغ‌ها و محدوده مسکونی احتمالاً به استفاده از کودهای فسفاتی مربوط می‌شود (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).



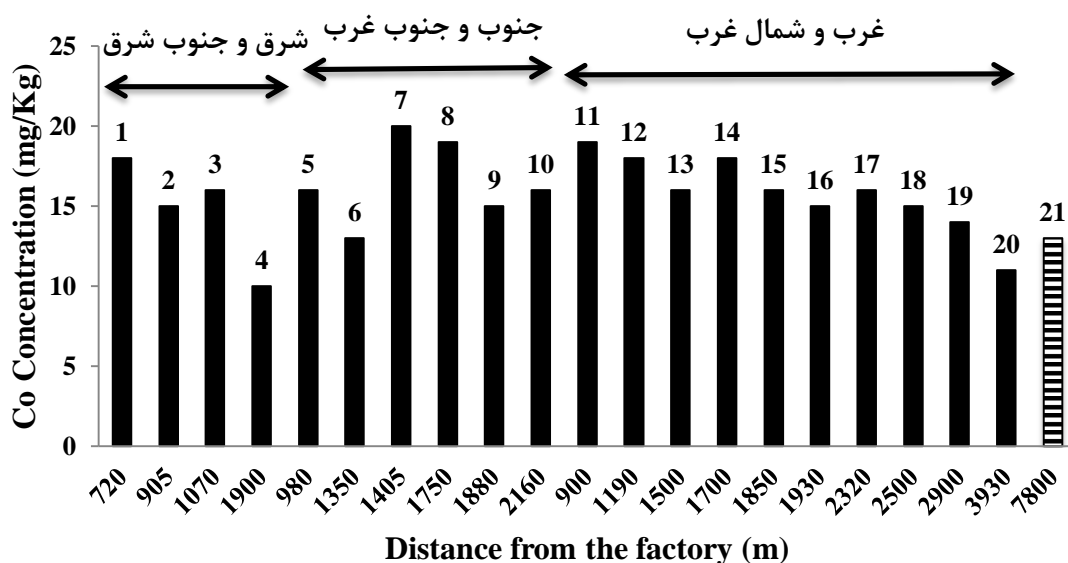
شکل ۴-۷- تغییرات غلظت کادمیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک



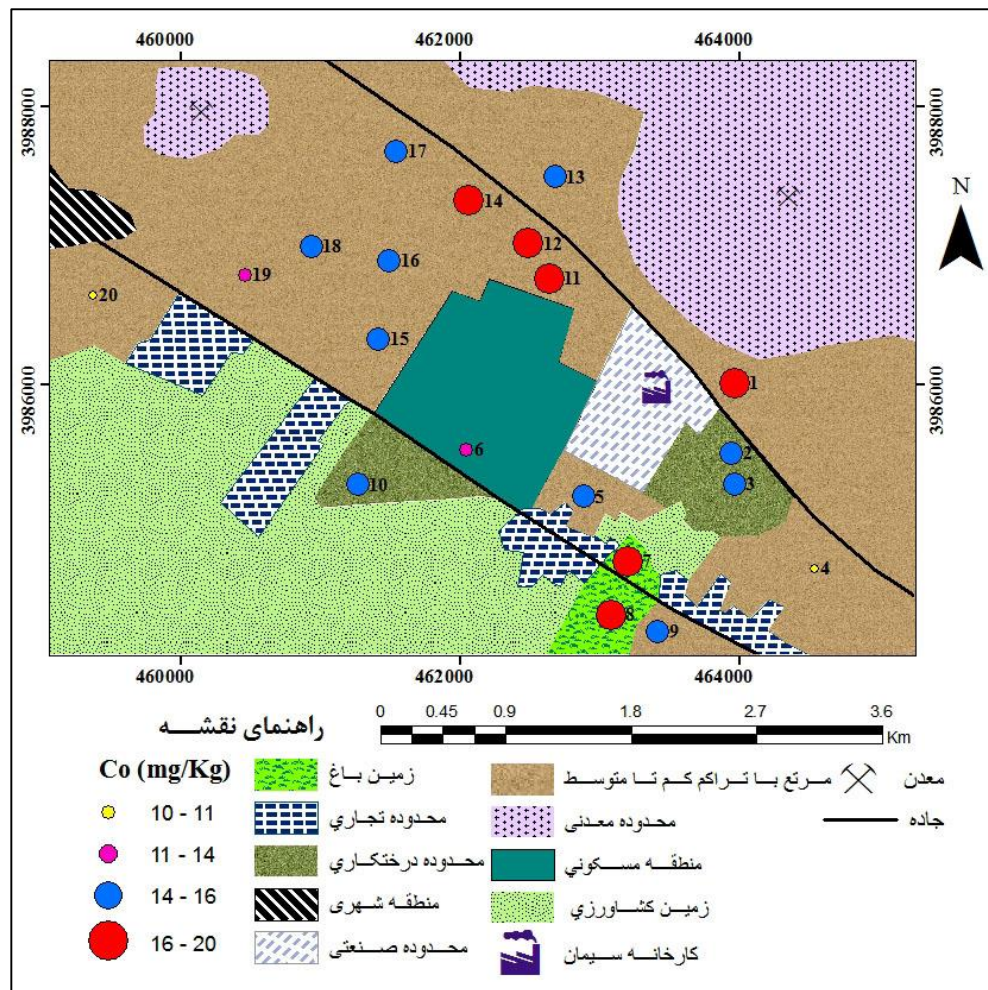
شکل ۴-۸- پراکندگی غلظت کادمیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

۴-۳-۱-۳- کبالت

غلظت کبالت در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱۰ تا ۲۰ (میانگین ۱۵/۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است (شکل ۴-۹). غلظت این فلز در ۸۵ درصد نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و همچنین در ۹۰ درصد نمونه‌ها نسبت به میانگین غلظت آن در ترکیب خاک‌های جهانی (۱۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. با این حال غلظت کبالت در همه نمونه‌ها در مقایسه با میانگین پوسته‌ای آن (۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) پایین‌تر است. همانطور که در شکل (۴-۱۰) مشاهده می‌شود، غلظت این عنصر در نمونه‌های نزدیک به کارخانه بالا است و با فاصله گرفتن از آن، به طور غیریکنواخت کاهش می‌یابد. این بی‌نظمی در کاهش غلظت را می‌توان به تأثیر جاده نسبت داد، زیرا دود خروجی از آگزوز ماشین‌ها نیز حاوی کبالت است (Kabata-Pendias, 2011) و نمونه‌های نزدیک‌تر به جاده غلظت کبالت بیشتری دارند. با توجه به بالاتر بودن غلظت کبالت نسبت به نمونه زمینه (شاهد) و نیز غلظت بالای این فلز در نمونه‌های نزدیک به کارخانه و جاده و روند کاهشی آن با فاصله گرفتن از آن‌ها، به احتمال زیاد این دو عامل (جاده و کارخانه) همواره منشأ اصلی این فلز در خاک‌های مورد مطالعه هستند. بررسی تأثیر گرد و غبار انتشار یافته از کارخانه‌های سیمان در مطالعات دیگر نیز افزایش غلظت کبالت در خاک‌های اطراف آن را تأیید می‌کند (برای مثال Estifanos and Degefa, 2012; Lafta et al., 2013).



شکل ۴-۹- تغییرات غلظت کبالت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک



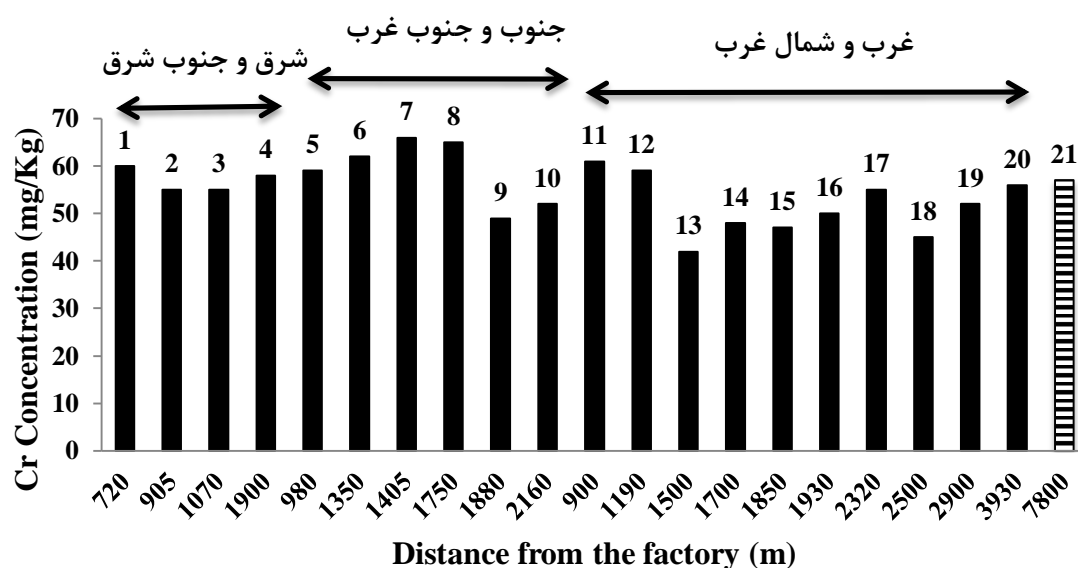
شکل ۴-۱۰- پراکندگی غلظت کبالت (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

#### ۴-۳-۱-۴- کروم

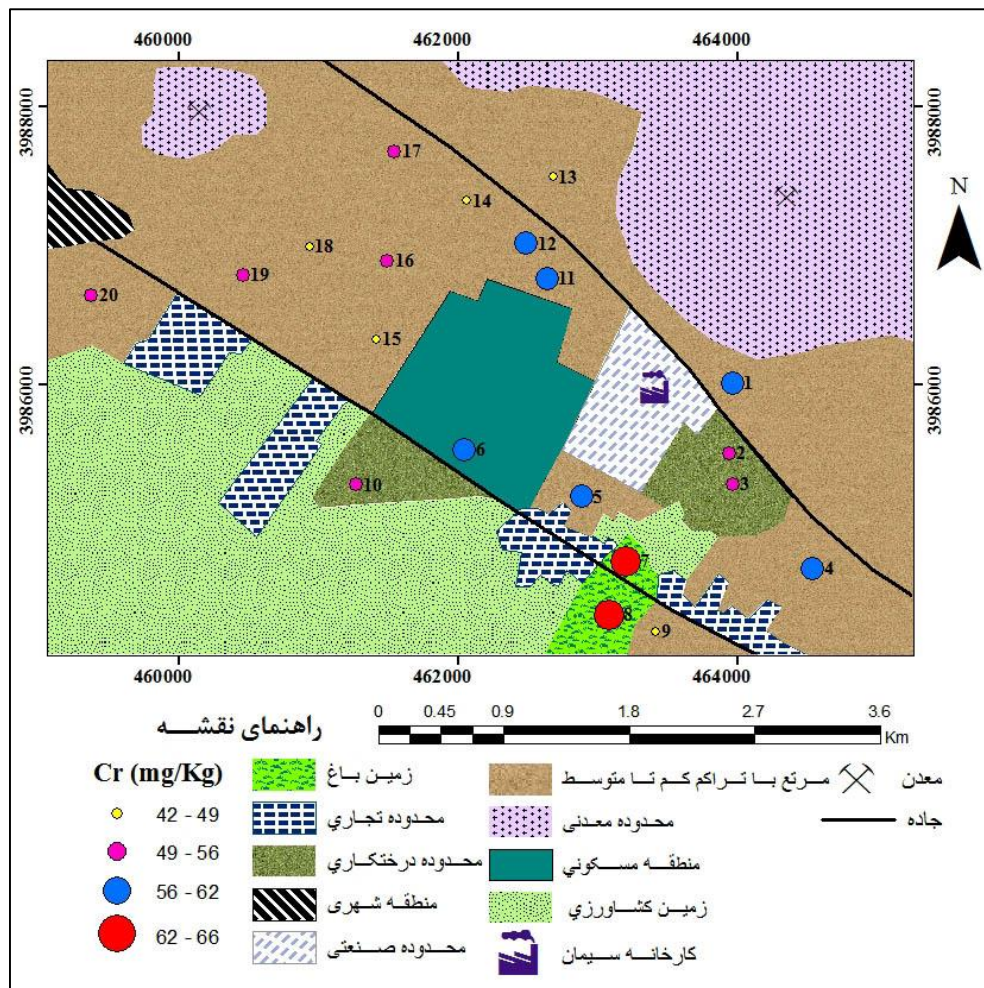
میانگین غلظت کروم در نمونه‌های مورد مطالعه ۵۴/۸ میلی گرم بر کیلوگرم و بازه غلظت آن ۴۲ تا ۶۶ میلی گرم بر کیلوگرم است (شکل ۴-۱۱). غلظت کروم، در ۴۰ درصد نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاتر است و در ۲۵ درصد نمونه‌ها نیز غلظت این فلز نسبت به میانگین غلظت آن در خاک‌های جهانی (۵۹/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاتر است، در حالی که غلظت این عنصر در همه نمونه‌ها نسبت به میانگین غلظت آن در پوسته (۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) پایین تر می‌باشد. با توجه به نقشه پراکنش غلظت کروم در نمونه‌های خاک، غلظت این فلز در نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه اندکی بیشتر از نمونه شاهد است و با دور شدن از آن کمی کاهش و سپس افزایش می‌یابد (شکل ۴-۱۲). احتمالاً نمونه‌های مجاور کارخانه تحت تأثیر گرد و غبار خروجی از آن قرار گرفته‌اند،



زیرا در کوره‌های پخت سیمان از آجرهای نسوز حاوی درصد بالایی کروم استفاده می‌شود و این آجرها منبعی برای انتشار کروم از کارخانه محسوب می‌شوند (کریمی، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه کروم در خاک‌های قلیایی بسیار متحرک است (Hooda, 2010)، به احتمال زیاد در نزدیکی کارخانه که خاک pH بالایی دارد، میزان زیادی کروم از سطح خاک به بخش‌های عمیق‌تر منتقل شده است. نمونه‌های دورتر تحت تأثیر کارخانه نبوده و کروم در این نواحی احتمالاً بیشتر منشأ زمین‌زاد دارد؛ چرا که غلظت آن پایین‌تر از سایر نقاط است. در بخش جنوبی کارخانه بالاترین غلظت کروم در نمونه‌های باغ و منطقه مسکونی مشاهده می‌شود. pH خاک در این نمونه‌ها پایین‌ترین میزان است که به نگرداشت کروم در خاک کمک می‌کند. با توجه به اینکه در بیشتر نمونه‌ها غلظت کروم در حد زمینه است، به احتمال زیاد منشأ اصلی این فلز در خاک‌های منطقه زمین‌زاد است و کارخانه تأثیر زیادی بر پراکندگی آن در خاک‌های اطراف ندارد.



شکل ۴-۱۱ - تغییرات غلظت کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک

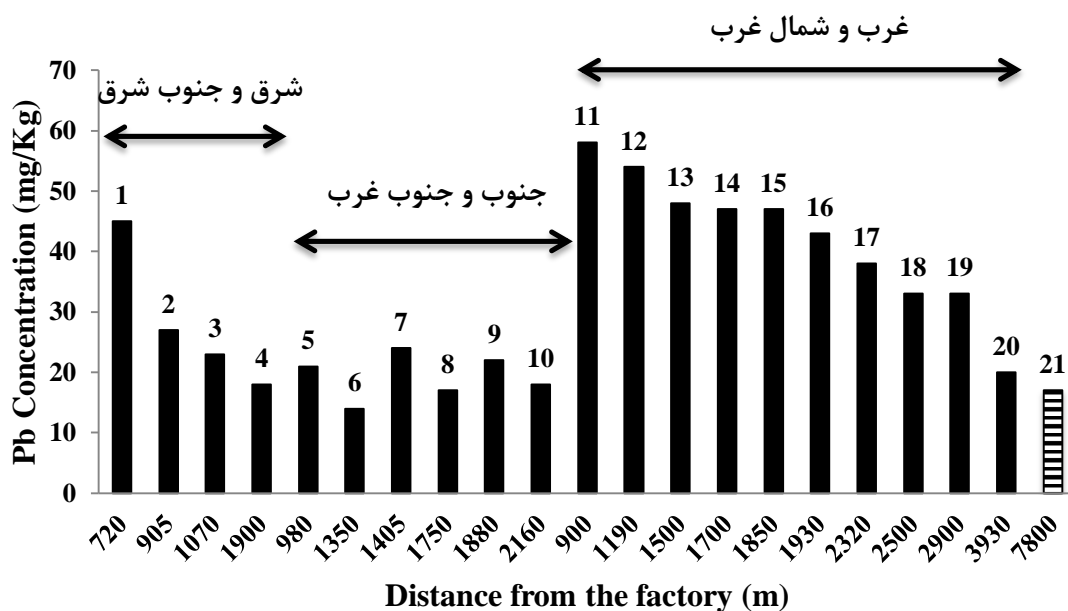


شکل ۴-۱۲- پراکندگی غلظت کروم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

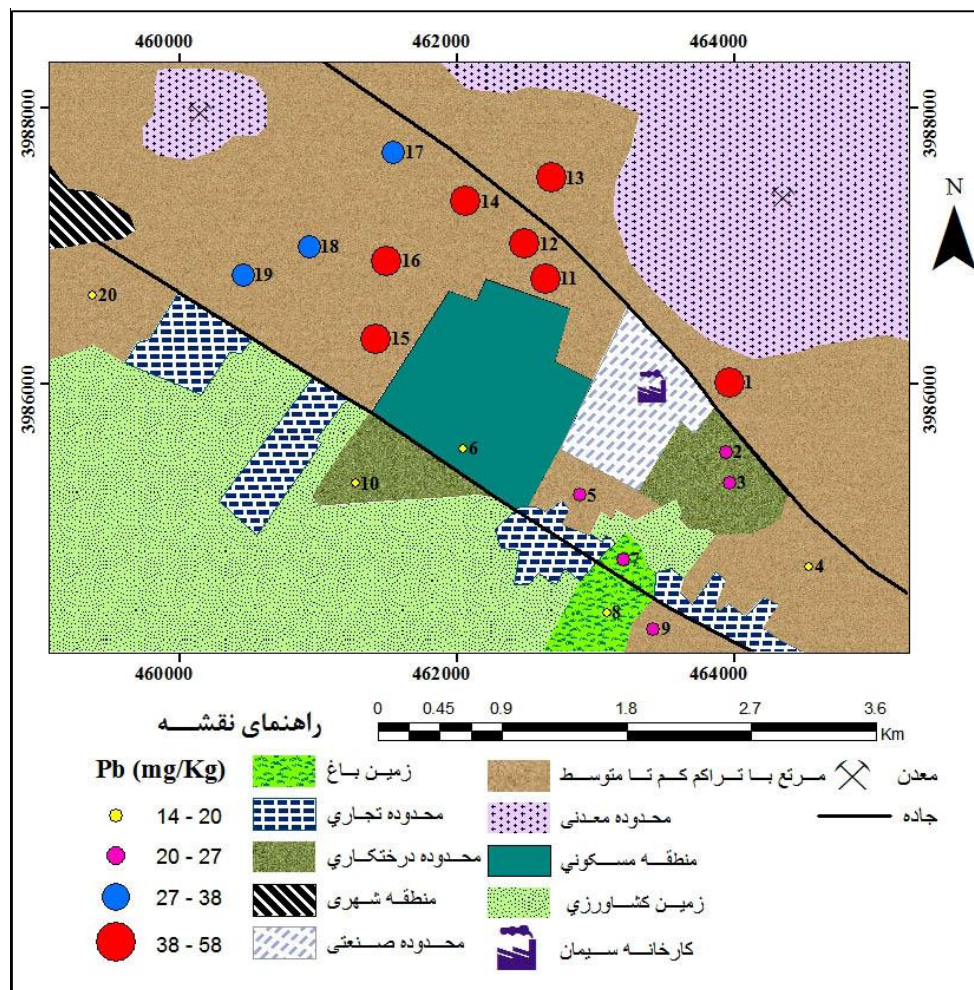
#### ۴-۳-۱-۵- سرب

غلظت سرب در نمونه‌های خاک مورد مطالعه از ۱۴ تا ۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. میانگین غلظت این فلز در نمونه‌ها ۳۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (شکل ۴-۱۳). در بخش‌های شرق و جنوب شرق کارخانه، غلظت این فلز در نمونه‌های نزدیک به کارخانه بالا بوده و با فاصله گرفتن از آن به شدت کاهش می‌یابد تا حدی که نمونه شماره ۴ که دورترین نمونه است (فاصله ۱۹۰۰ متر تا کارخانه)، غلظتی در حد نمونه شاهد دارد (شکل ۴-۱۴). غلظت بالای سرب در این نمونه‌ها به احتمال زیاد مربوط به گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه است. دلیل افت غلظت آن در این بخش، وزن مخصوص بالای سرب بوده و این فلز بیشتر در نزدیکی کارخانه ته‌نشین شده است. در بخش‌های غرب و شمال غرب به وضوح مشاهده می‌شود که در نزدیک‌ترین نمونه‌ها

به کارخانه غلظت سرب بالا است و با دور شدن از آن به طور یکنواخت کاهش می‌یابد. وزش باد غالب در این سمت کارخانه موجب شده تا سرب تا مسافت بیشتری انتقال یابد. پژوهشگران نیز در طی تحقیقاتی بیان کرده‌اند که غلظت سرب در خاک‌های اطراف کارخانه‌های سیمان بالاتر از سایر مناطق است (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006). در نمونه‌هایی که از جنوب و جنوب غربی کارخانه جمع‌آوری شده، غلظت سرب به نسبت پایین‌تر است. کم‌ترین غلظت سرب در نمونه جمع‌آوری شده از منطقه مسکونی اطراف کارخانه مشاهده می‌شود و به احتمال زیاد به علت وجود پوشش گیاهی به ویژه چنارهای بلند در این بخش است. بیشترین غلظت این فلز مربوط به نمونه شماره ۱۱ می‌باشد که از نزدیکی کارخانه و معدن مارن جمع‌آوری شده است. شایان ذکر است که غلظت سرب در ۹۰ درصد نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تمامی نمونه‌ها نسبت به میانگین غلظت آن در پوسته (۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۵۰ درصد نمونه‌ها در مقایسه با میانگین غلظت آن در ترکیب خاک‌های جهانی (۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است.



شکل ۴-۱۳- تغییرات غلظت سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک

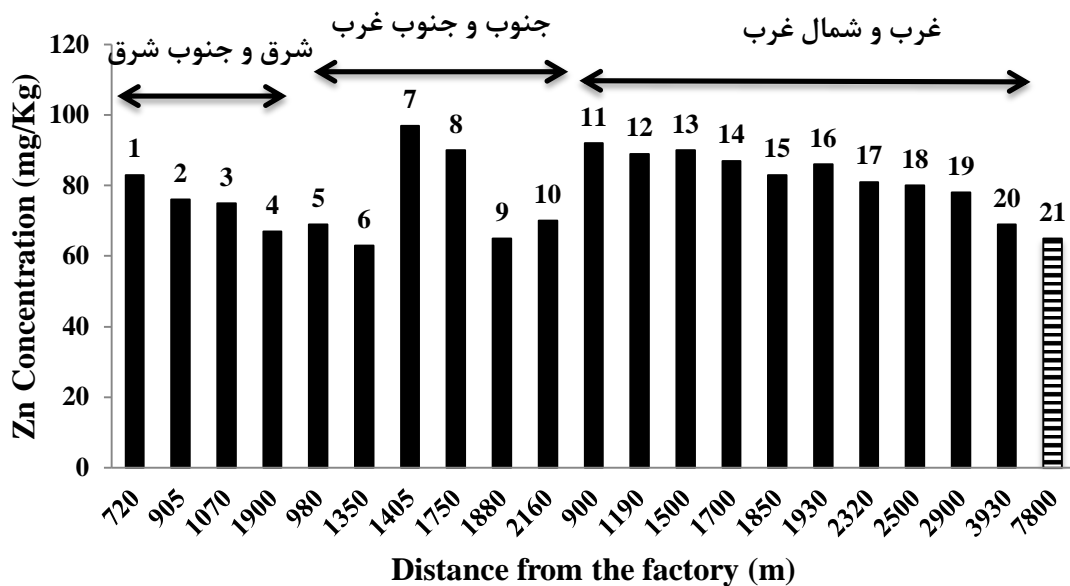


شکل ۴-۱۴- پراکندگی غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

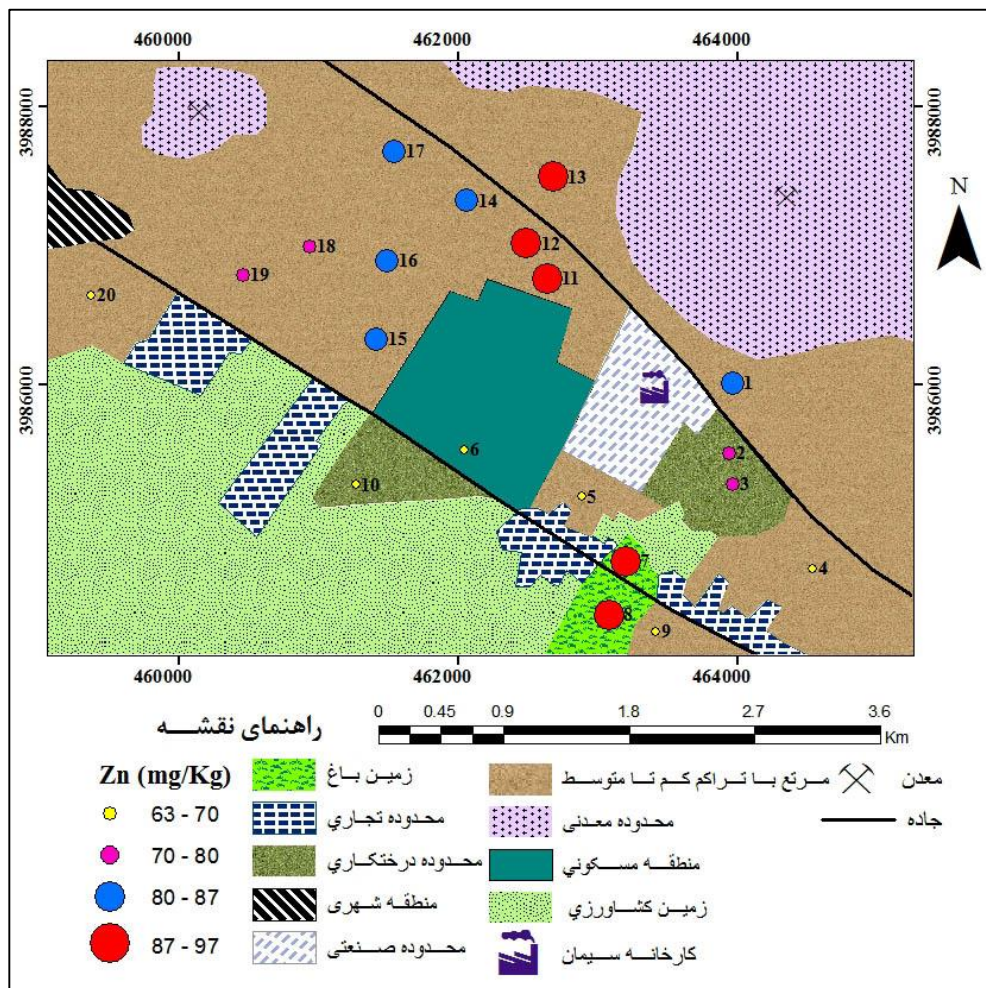
#### ۴-۳-۱-۶- روی

غلظت روی در نمونه‌های مورد مطالعه از ۶۳ تا ۹۷ (به طور میانگین ۷۹/۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند (شکل ۴-۱۵). غلظت این فلز در ۹۰ درصد نمونه‌ها بیشتر از نمونه شاهد (۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و در ۷۰ درصد نمونه‌ها نیز بالاتر از میانگین غلظت آن در پوسته (۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و همچنین ترکیب خاک‌های جهانی (۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. در نمونه‌های مورد مطالعه روند تغییر غلظت روی در اطراف کارخانه تا حد زیادی شبیه سرب است (شکل ۴-۱۶). در جهت‌های شرق و جنوب شرق کارخانه، با فاصله گرفتن از آن، غلظت فلز روی کاهش می‌یابد. همچنین در بخش‌های غرب و شمال غرب نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه بالاترین غلظت روی را دارا هستند و با دور شدن از کارخانه غلظت این فلز به طور محسوسی کاهش می‌یابد. بنابراین منشأ

احتمالی و اصلی روی گرد و غبار خروجی از کارخانه است. در مطالعات زیادی در خصوص آلاینده‌گی کارخانه‌های سیمان، افزایش غلظت روی در خاک‌های اطراف به فعالیت این کارخانه‌ها نسبت داده شده است (Al-Omran et al., 2011; Estifanos and Degefa, 2012). به احتمال زیاد باد غالب در این سمت کارخانه موجب شده عنصر روی در مقایسه با جهت‌های دیگر، تا مسافت بیشتری منتقل شود. با این حال با توجه به اینکه در تاپر اتومبیل‌ها اکسید روی (ZnO) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Addo, et al., 2012)، احتمالاً ترافیک جاده نیز بر افزایش غلظت این فلز در نمونه‌های نزدیک به جاده مؤثر بوده است. غلظت روی در نمونه‌هایی که از جهت‌های جنوب و جنوب غرب کارخانه جمع‌آوری شده‌اند به استثنای نمونه‌های مربوط به باغ (نمونه‌های شماره ۷ و ۸)، پایین است. قرارگیری در خلاف جهت باد غالب و همچنین پایین‌تر بودن pH خاک در این نمونه‌ها می‌تواند پایین بودن غلظت روی در این بخش‌ها را توجیه کند. نمونه‌های باغ بالاترین میزان روی را دارند که می‌توان آن را به استفاده از کود نسبت داد (Amrani et al., 1997). همچنین آفتکش‌ها دارای مقادیر قابل توجهی روی هستند که می‌توانند غلظت این فلز را در خاک بالا ببرند (Mico et al., 2006). کم‌ترین غلظت این عنصر در نمونه‌ای دیده می‌شود که از منطقه مسکونی کارخانه برداشت شده است. به نظر می‌رسد پوشش گیاهی اطراف این مناطق (شامل درختان بلند قامت چنار) مانع از ریزش گرد و غبار کارخانه بر روی خاک شده است.

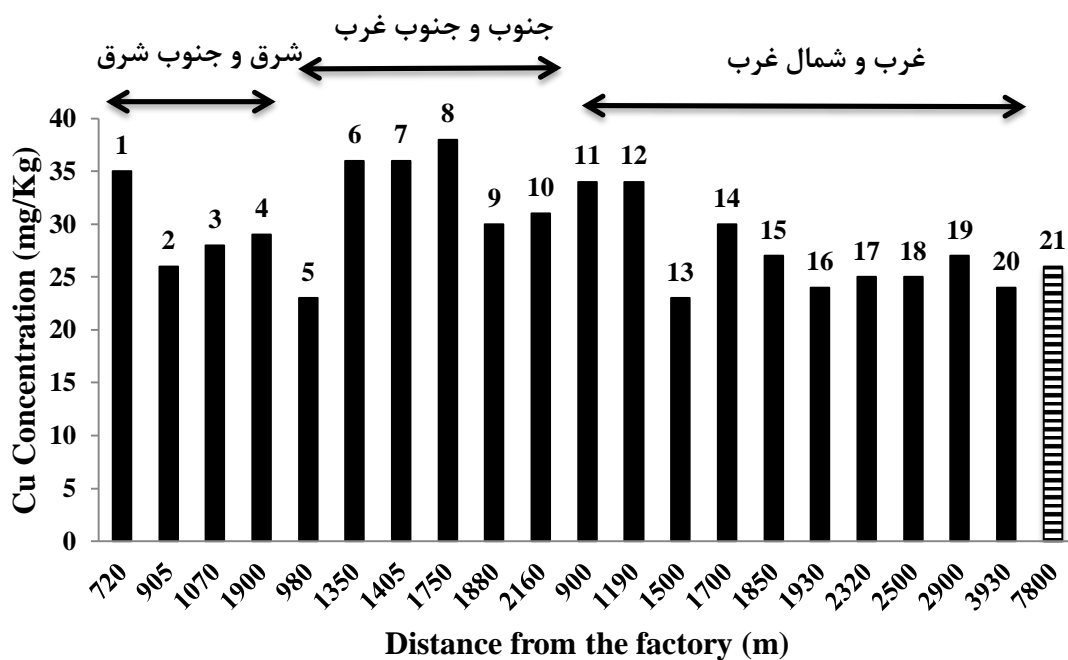


شکل ۴-۱۵- تغییرات غلظت روی (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک

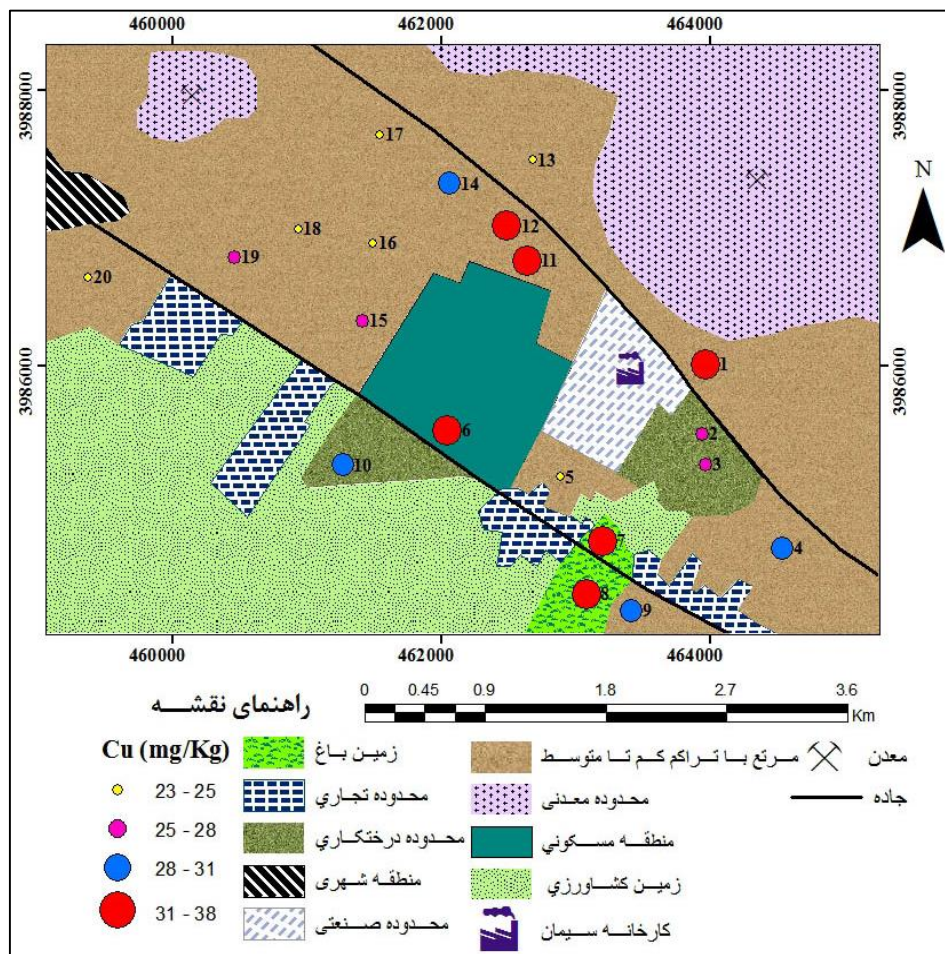


شکل ۴-۱۶- پراکندگی غلظت روی (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

غلظت میانگین مس در نمونه‌های مورد مطالعه ۲۹/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بازه تغییرات آن بین ۲۳ تا ۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (شکل ۴-۱۷). غلظت مس در ۳۰ درصد نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد (۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است، در حالی که غلظت آن در همه نمونه‌ها در مقایسه با میانگین غلظت آن در پوسته (۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در ترکیب خاک‌های جهانی (۳۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) پایین‌تر است. با توجه به پراکندگی غلظت مس در اطراف کارخانه مشاهده می‌شود که غلظت این عنصر در نمونه‌های نزدیک به کارخانه، نمونه‌های خاک باغ و نیز منطقه مسکونی، بیشتر از مناطق دیگر است (شکل ۴-۱۸). بالا بودن غلظت مس در خاک باغ و منطقه مسکونی را می‌توان به استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها در این مناطق نسبت داد (Holmgren et al., 1993). از آنجا که غلظت مس در اکثر نمونه‌ها در حدود غلظت آن در نمونه خاک زمینه است و همچنین روند مشخصی از کاهش غلظت آن با دور شدن از کارخانه مشاهده نمی‌شود، بنابراین منشأ احتمالی مس را می‌توان زمین‌زاد در نظر گرفت.



شکل ۴-۱۷- تغییرات غلظت مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک



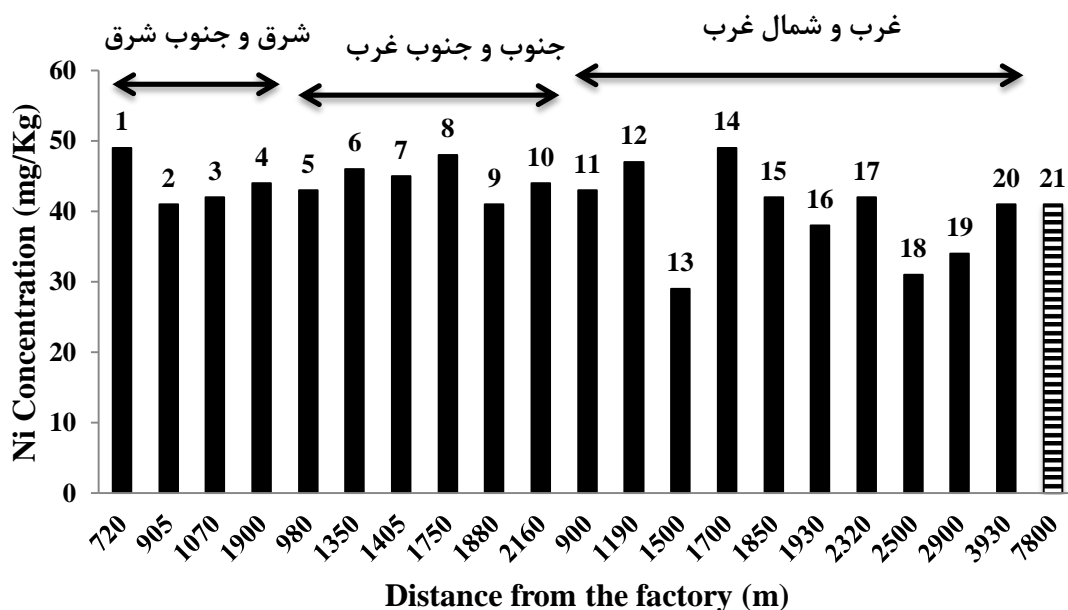
شکل ۴-۱۸- پراکندگی غلظت مس (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

#### ۴-۳-۱-۸- نیکل

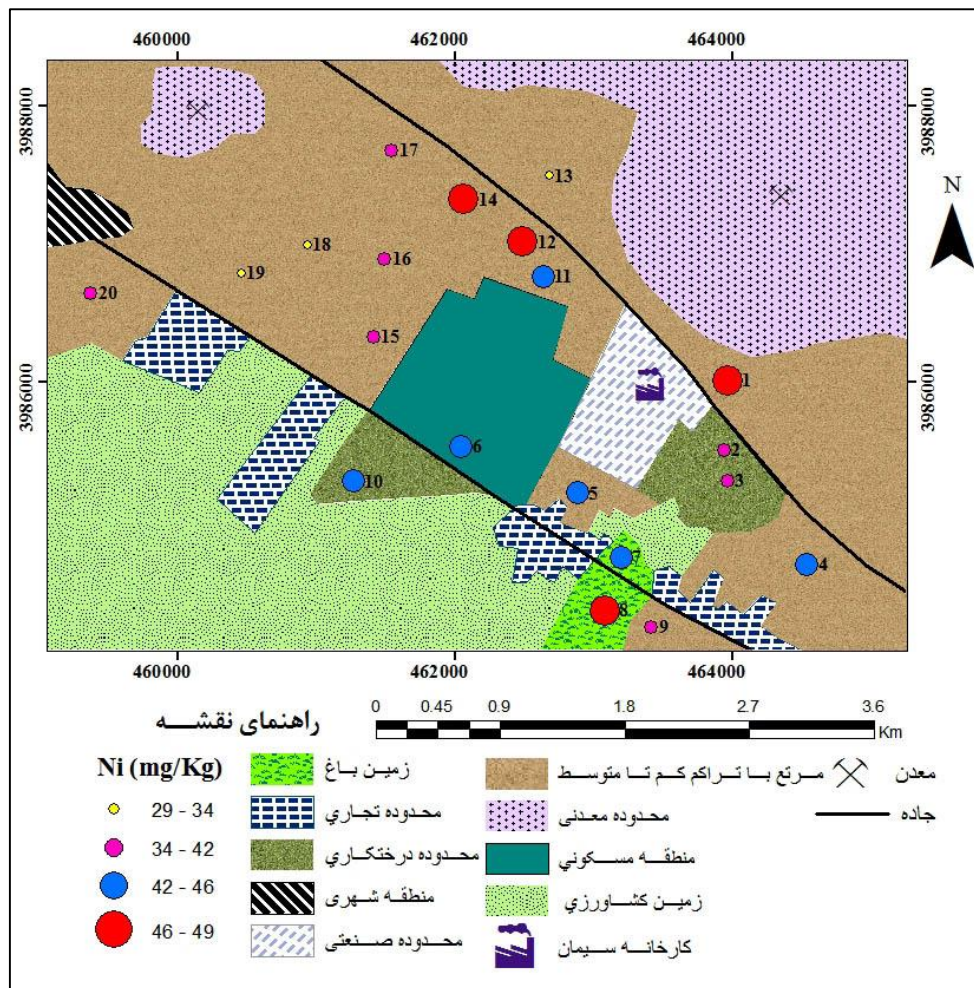
غلظت نیکل در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۲۹ تا ۴۹ (میانگین ۴۱/۹۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است (شکل ۴-۱۹). با توجه به پراکندگی غلظت نیکل در اطراف کارخانه مشاهده می‌شود که این فلز در نمونه‌های نزدیک به جاده، نمونه‌های برداشت شده از باغ و نیز منطقه مسکونی غلظتی بیشتر از مناطق دیگر دارد (شکل ۴-۲۰). غلظت نیکل در ۶۵ درصد نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و در ۹۵ درصد نمونه‌ها نسبت به میانگین غلظت آن در ترکیب خاک‌های جهانی (۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است در حالی که غلظت این فلز در همه نمونه‌ها نسبت به میانگین غلظت آن در پوسته (۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است. با این حال با توجه به اینکه غلظت نیکل در بسیاری از نمونه‌ها در حد غلظت آن در نمونه خاک زمینه است و همچنین روند



مشخصی از کاهش غلظت آن با دور شدن از کارخانه وجود ندارد، به نظر می‌رسد اندکی تحت تأثیر ترافیک جاده و نیز کودها قرار گرفته و کارخانه نقش مهمی در افزایش غلظت آن ندارد؛ چرا که بنزین و کودهای فسفاتی و حیوانی می‌توانند موجب بالا رفتن غلظت این فلز در خاک شوند (Arslan and Gizir, 2004; Franco et al., 2006)؛ با این حال با توجه به اینکه کانی‌های رسی موجود در خاک می‌توانند فلز نیکل را در شبکه بلوری خود به دام اندازند و از آنجا که این کانی‌ها در حین تشکیل خاک ایجاد می‌شوند، می‌توان منشأ نیکل را طبیعی در نظر گرفت (Alloway, 2013).



شکل ۴-۱۹ - تغییرات غلظت نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک



شکل ۴-۲۰- پراکندگی غلظت نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

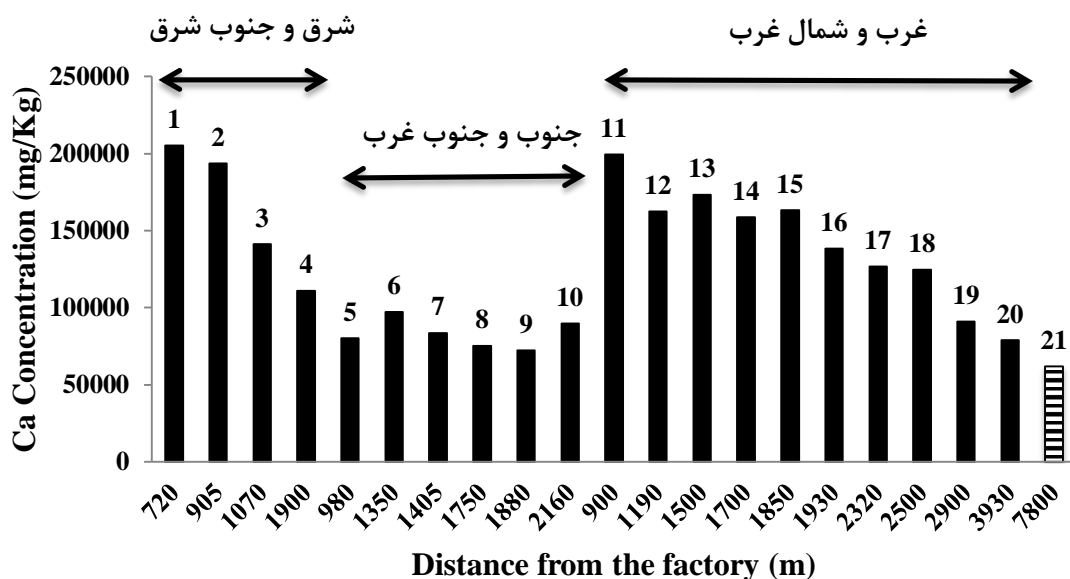
#### ۴-۳-۲- ارزیابی تغییرات عناصر کلسیم و منیزیم موجود در ترکیب سیمان

در ترکیب سیمان علاوه بر عناصر بالقوه سمی، غلظت بالایی از عناصری چون کلسیم، منیزیم، آلومینیم، آهن و سیلیس وجود دارد. از آنجایی که کلسیم و منیزیم درصد بیشتری از ترکیب سیمان را به خود اختصاص می‌دهند (Taylor, 1997)، معمولاً در مطالعات مربوط به کارخانه‌های سیمان تغییرات غلظت این فلزات ارزیابی می‌شود.

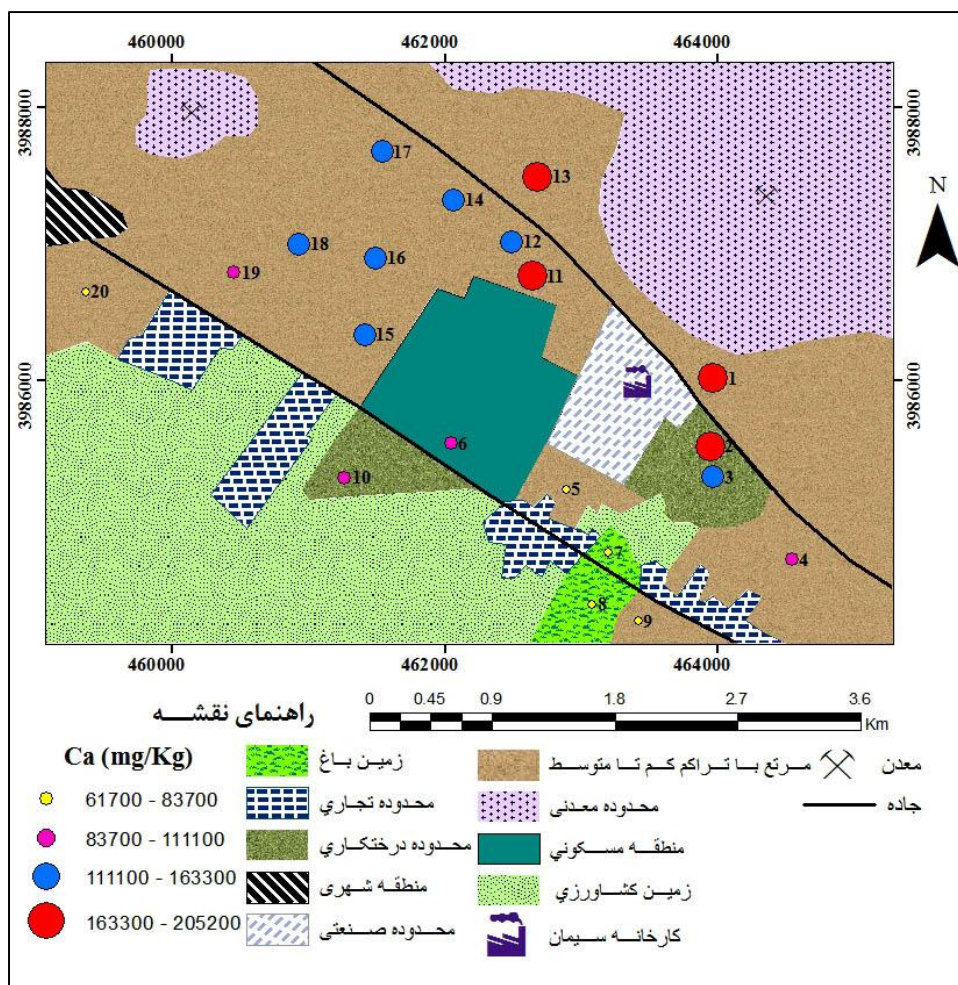
#### ۴-۳-۱- کلسیم

غلظت کلسیم در نمونه‌های مورد مطالعه از ۷۲۲۰۰ تا ۲۰۵۲۰۰ (میانگین ۱۲۸۳۲۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۱). غلظت این عنصر در همه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۶۱۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. در بخش‌های شرق و جنوب شرق کارخانه که در خلاف

جهت باد غالب است، در نمونه‌های نزدیک به کارخانه و معدن غلظت کلسیم بالا است و با فاصله گرفتن از آن از غلظت کلسیم به طور چشمگیری کاسته می‌شود (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۱- تغییرات غلظت کلسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک

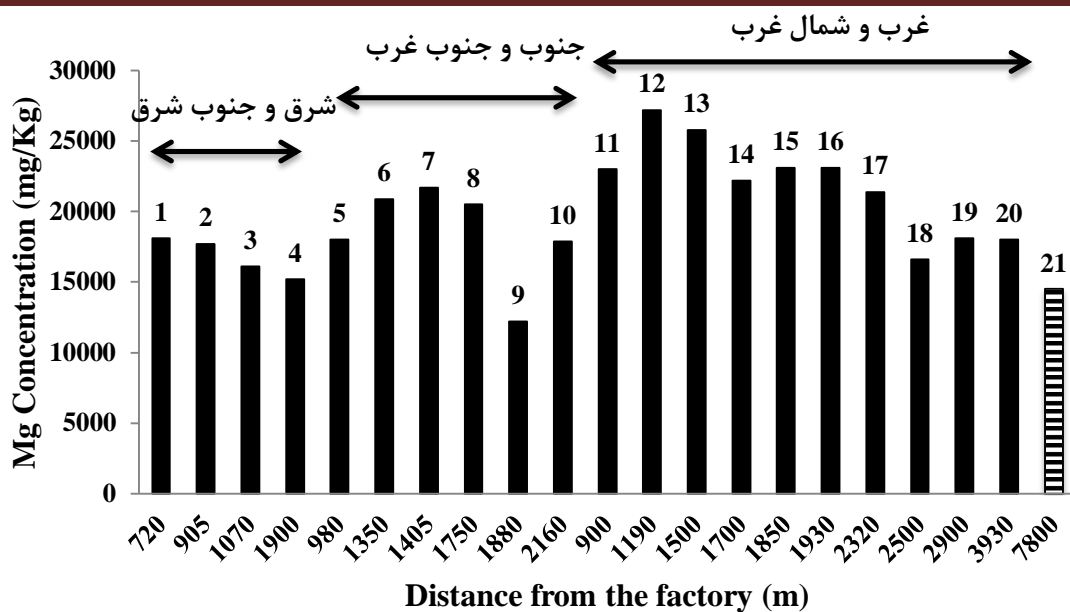


شکل ۴-۲۲- پراکندگی غلظت کلسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

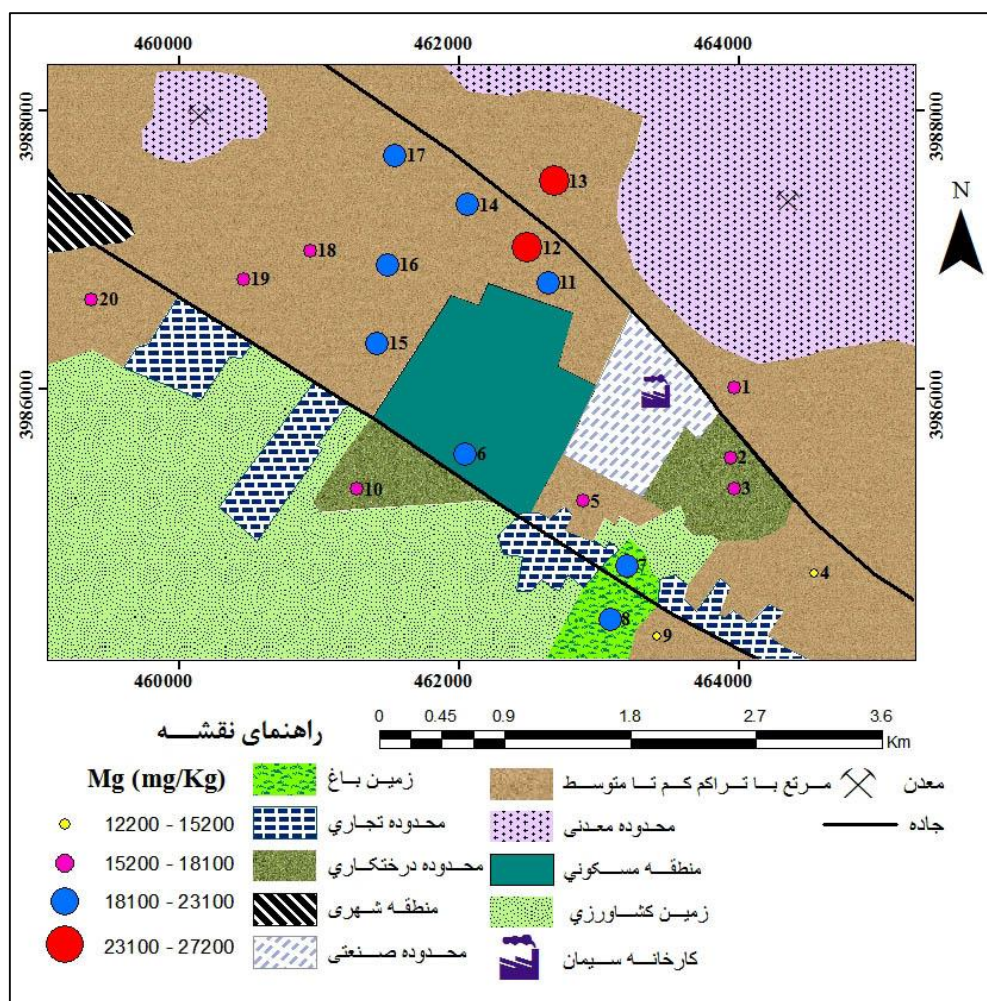
با توجه به اینکه درصد بالایی از کلسیم در ترکیب سیمان وجود دارد و غلظت کلسیم در غبار جمع‌آوری شده از الکتروفیلتر و مواد خام خوراک کوره کارخانه سیمان آبیک بالا است (صادقی‌روش و خراسانی، ۱۳۸۸)، بنابراین می‌توان منشأ این عنصر را به فعالیت کارخانه نسبت داد. همچنین در بخش‌های غرب و شمال غرب مشاهده می‌شود که در نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه و معدن، غلظت کلسیم بسیار بالاتر است و با دور شدن از کارخانه به طور یکنواخت در جهت باد غالب کاهش می‌یابد. به احتمال زیاد ذرات گرد و غبار حاوی کلسیم به وسیله جریان باد غالب تا مسافت‌های طولانی طی شده‌اند. شایان ذکر است که در نمونه‌های بخش جنوبی کارخانه غلظت کلسیم پایین است.

#### ۴-۳-۲- منیزیم

منیزیم یکی دیگر از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ماده اولیه سیمان است. غلظت این عنصر در نمونه‌های خاک مورد مطالعه از ۱۲۲۰۰ تا ۲۷۲۰۰ (میانگین ۱۹۸۴۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است (شکل ۴-۲۳). غلظت منیزیم در ۹۵ درصد نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (۱۴۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) غنی‌شدگی نشان می‌دهد. در بخش‌های شرق و جنوب شرق در نمونه‌های نزدیک به کارخانه، غلظت منیزیم بالاتر از غلظت آن در نمونه زمینه است و با فاصله گرفتن از کارخانه به تدریج از غلظت آن کاسته می‌شود و در دورترین نمونه غلظت آن به غلظت نمونه شاهد نزدیک می‌شود (شکل ۴-۲۴). همچنین در بخش‌های غرب و شمال غرب با فاصله گرفتن از کارخانه ابتدا غلظت منیزیم افزایش می‌یابد تا جایی که در نمونه شماره ۱۲ بالاترین میزان این عنصر (۲۷۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده می‌شود و سپس به طور غیریکنواخت از غلظت آن در جهت وزش باد غالب کاسته می‌شود. نمونه‌های مربوط به بخش‌های جنوب و جنوب غرب کارخانه به استثنای نمونه‌های مربوط به باغ و منطقه مسکونی، منیزیم کمتری نسبت به دیگر نمونه‌ها دارند که نشان‌دهنده نقش باد در پراکنده کردن گرد و غبار در اطراف کارخانه است.



شکل ۴-۲۳- تغییرات غلظت منیزیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک



شکل ۴-۲۴- پراکندگی غلظت منیزیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان

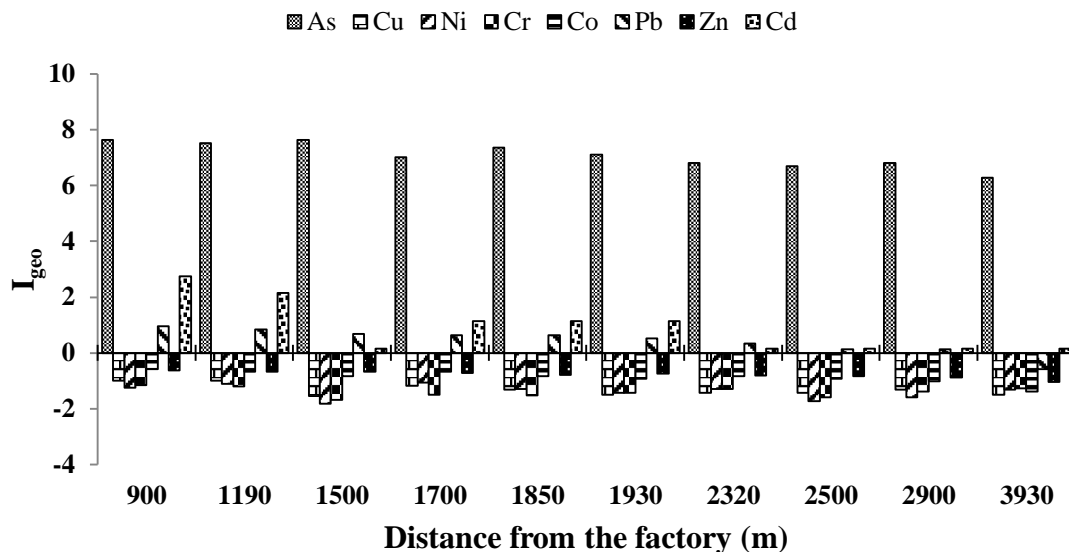
#### ۴-۴- ارزیابی کمی شدت آلودگی در نمونه‌های خاک

برای ارزیابی شدت آلودگی نمونه‌های خاک، به طور معمول علاوه بر مقایسه غلظت‌های بدست آمده با استانداردهای جهانی (ترکیب خاک میانگین و پوسته)، از شاخص‌های ژئوشیمیایی مانند شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی نیز استفاده می‌شود. این شاخص‌ها بر اساس نسبت غلظت میانگین فلزات در نمونه‌های مورد مطالعه به یک مقدار مرجع جهانی محاسبه می‌شوند. برای ارزیابی دقیق‌تر شدت آلودگی و نیز در نظر گرفتن تغییرپذیری محلی فلزات، علاوه بر محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی، غلظت فلزات در نمونه شاهد نیز به عنوان مبنا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی برای عناصر بالقوه سمی مورد بررسی، در دو بخش جهت‌های غرب و شمال غرب (جهت باد غالب) و نیز سایر جهت‌ها ارائه می‌شود.

#### ۴-۴-۱- شاخص زمین‌انباشت

#### ۴-۴-۱-۱- جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

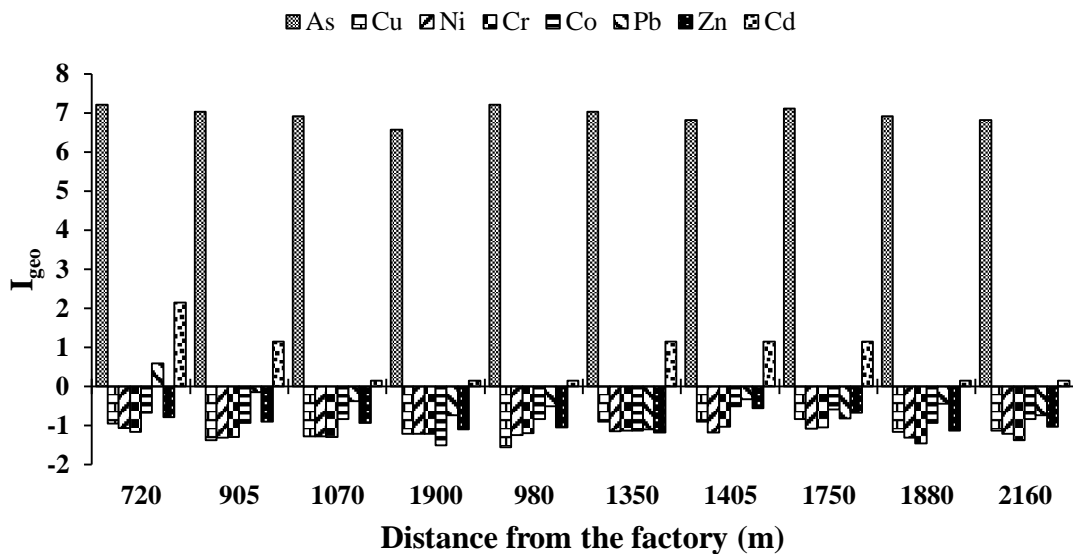
بر اساس نتایج بدست آمده از محاسبه شاخص زمین‌انباشت بر طبق رده‌بندی مولر (جدول ۳-۳)، مشخص شد که در جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه (جهت وزش باد غالب)، عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب و روی در نمونه‌های نزدیک به کارخانه، مقادیر بیشتری از این شاخص را نشان می‌دهند (۴-۲۵). آرسنیک در تمامی نمونه‌ها در رده ۶ قرار گرفته و موجب آلودگی بی‌نهایت در خاک شده است. نمونه‌های نزدیک‌تر به کارخانه، از نظر کادمیم دارای آلودگی متوسط تا شدید (رده ۳) هستند و با دور شدن از آن، در رده ۲ (آلودگی متوسط) و رده ۱ (بدون آلودگی تا دارای آلودگی متوسط) قرار می‌گیرند. سرب نیز در اکثر نمونه‌ها در رده ۱ آلودگی جای گرفته است. عناصر دیگر در نمونه‌های مورد مطالعه از نظر شاخص زمین‌انباشت فاقد آلودگی هستند.



شکل ۴-۲۵- مقادیر شاخص زمین‌انباشت فلزات مورد مطالعه برای نمونه‌های برداشت شده از جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

#### ۴-۴-۱-۲- سایر جهت‌های اطراف کارخانه

مقادیر شاخص زمین‌انباشت عناصر در سایر جهت‌ها نیز محاسبه گردید (شکل ۴-۲۶). آرسنیک در تمامی نمونه‌ها موجب آلودگی بی‌نهایت در خاک شده است. کادمیم در نزدیک‌ترین نمونه آلودگی متوسط تا شدید، در نمونه کمی دورتر و نیز در محوطه درختکاری و باغ آلودگی متوسط ایجاد کرده و سایر نمونه‌ها نسبت به این فلز بدون آلودگی تا آلودگی متوسط هستند. سرب در نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه، در رده آلودگی ۱ (بدون آلودگی تا آلودگی متوسط) و در سایر نمونه‌ها در رده ۰ (بدون آلودگی) قرار می‌گیرد. مس، نیکل، کروم، کبالت و روی در هیچ یک از نمونه‌ها آلودگی ایجاد نکرده و در این رده‌بندی در رده ۰ قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۲۶- مقادیر شاخص زمین‌انباشت فلزات مورد مطالعه برای نمونه‌های برداشت شده از سایر جهت‌های اطراف کارخانه

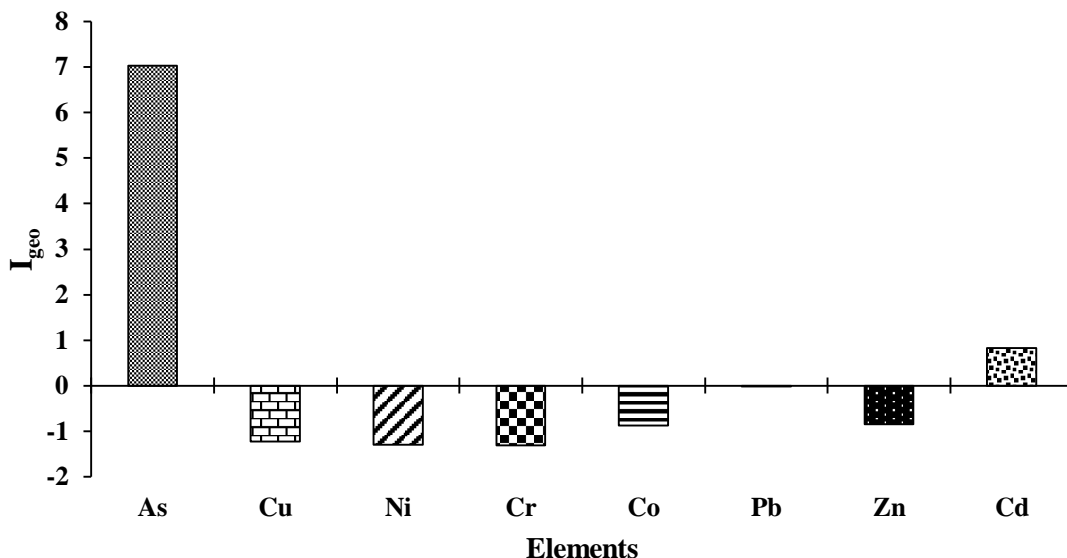
بر اساس جدول (۴-۴) و شکل (۴-۲۷) میانگین شاخص زمین‌انباشت برای عناصر مورد مطالعه نشان‌دهنده آلودگی بی‌نهایت آرسنیک و آلودگی متوسط کادمیم در خاک‌های منطقه است. با توجه به این شاخص سایر فلزات در خاک‌های منطقه آلودگی ایجاد نکرده‌اند. بر اساس نتایج بدست آمده، روند کلی تغییرات شاخص زمین‌انباشت را می‌توان در نمونه‌های اطراف کارخانه به صورت زیر در نظر گرفت:

**As > Cd > Pb > Zn > Co > Cu > Ni > Cr**

جدول ۴-۴- آمار توصیفی شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های خاک

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین
As	۶/۲۸	۷/۶۳	۷/۰۲
Cd	۰/۱۵	۲/۷۳	۰/۸۳
Pb	-۱/۰۹	۰/۹۵	-۰/۰۱
Zn	-۱/۱۷	-۰/۵۵	-۰/۸۵
Co	-۱/۵۱	-۰/۵۱	-۰/۸۷
Cu	-۱/۵۵	-۰/۸۲	-۱/۲۲
Ni	-۱/۸۱	-۱/۰۵	-۱/۲۹
Cr	-۱/۶۸	-۱/۰۳	-۱/۳۱

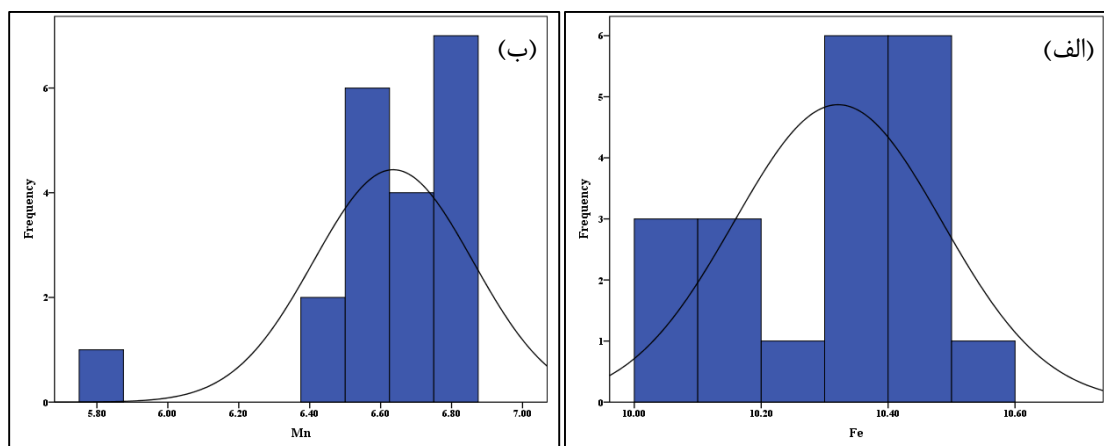




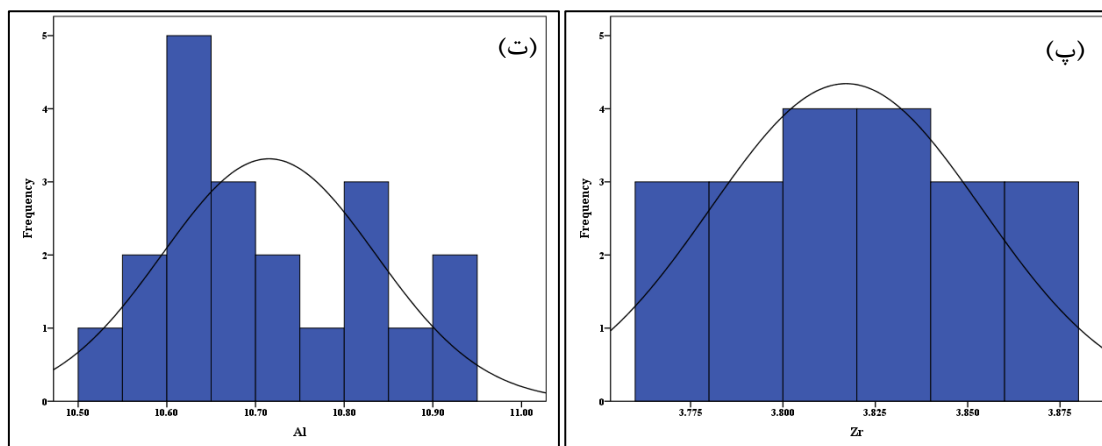
شکل ۴-۲۷- مقادیر متوسط شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های خاک

#### ۴-۲-۴- ضریب غنی‌شدگی

در این پژوهش از عنصر زیرکن به عنوان عنصر بهنجارکننده در محاسبه ضرایب غنی‌شدگی فلزات استفاده شده است؛ چرا که سایر عناصر بهنجار کننده مانند آلومینیم، آهن و منگنز در نمونه‌ها دامنه تغییرات زیادی داشته و توزیع آن‌ها غیرنرمال است (شکل ۴-۲۸ الف، ب و ت). هیستوگرام مربوط به زیرکونیم نشان‌دهنده توزیع به نسبت یکنواخت این فلز در نمونه‌های مورد مطالعه است (شکل ۴-۲۸ پ).



شکل ۴-۲۸- هیستوگرام توزیع عنصر زیرکونیم در مقایسه با منگنز، آهن و آلومینیم در نمونه‌های خاک



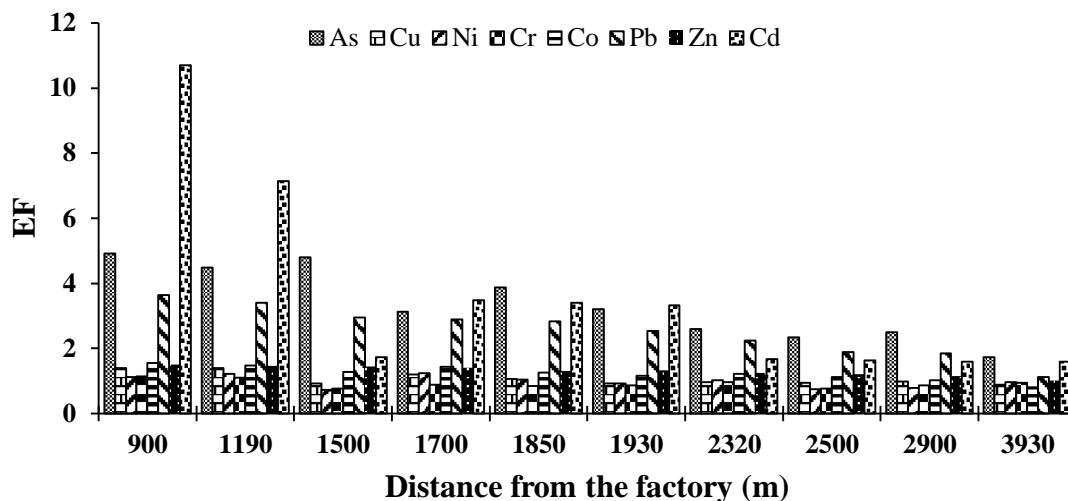
ادامه شکل ۴-۲۸

#### ۴-۴-۲-۱- ضریب غنی‌شدگی نسبت به نمونه شاهد

به منظور بررسی دقیق‌تر غنی‌شدگی فلزات و در نظر گرفتن تغییرات محلی در غلظت آن‌ها در خاک‌های منطقه مورد مطالعه، ضریب غنی‌شدگی نسبت به نمونه شاهد محاسبه گردید و با مقایسه مقادیر بدست آمده با طبقه‌بندی ساترلند (جدول ۳-۴)، رده عناصر در هر نمونه مشخص شد که برای جهت‌های مختلف در اطراف کارخانه مورد بحث قرار می‌گیرد.

#### الف- جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

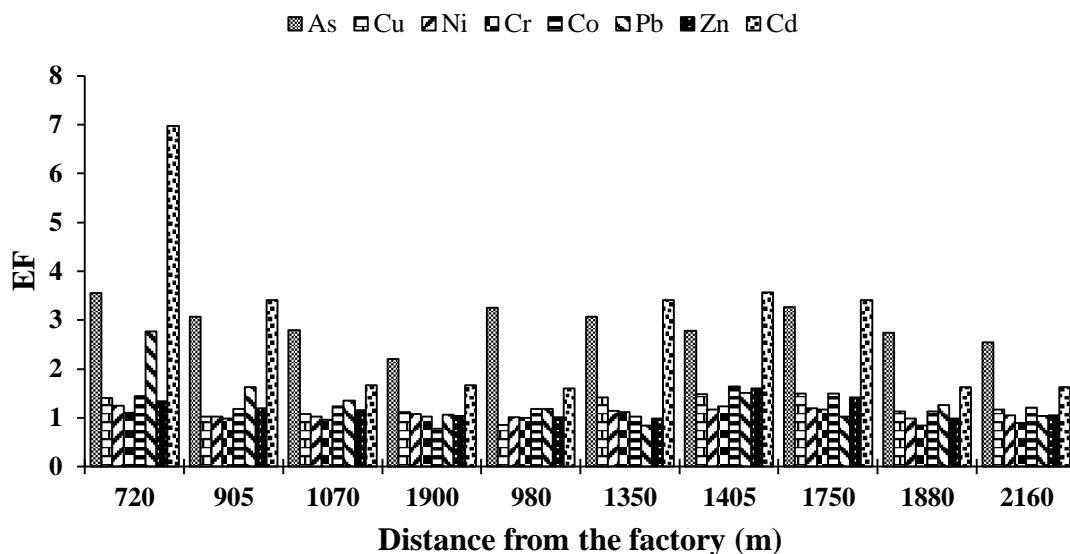
به طور کلی مشاهده می‌شود که بیشتر فلزات در نمونه‌های نزدیک به کارخانه در جهت‌های غرب و شمال غرب آن غنی‌شدگی بالاتری نشان می‌دهند (شکل ۴-۲۹). کادمیم در نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه غنی‌شدگی قابل توجه ( $20 < EF < 5$ ) و در نمونه‌های دورتر غنی‌شدگی متوسط ( $2 < EF < 5$ ) و اندک ( $EF < 2$ ) دارد. آرسنیک و سرب در نمونه‌های نزدیک به کارخانه دارای ضریب غنی‌شدگی متوسط هستند. این عناصر با فاصله گرفتن از کارخانه در رده کمتر از ۲ (فاقد غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک) جای می‌گیرند. ضریب غنی‌شدگی برای سایر عناصر نیز اندک است.



شکل ۴-۲۹- مقادیر ضرایب غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه (نسبت به نمونه شاهد) برای نمونه‌های برداشت شده از جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

#### ب- سایر جهت‌های اطراف کارخانه

کادمیم در نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه غنی‌شدگی قابل توجه و در سایر نمونه‌ها نزدیک به کارخانه، غنی‌شدگی متوسط دارد (شکل ۴-۳۰). نمونه‌های دورتر از کارخانه نسبت به این فلز دارای ضریب غنی‌شدگی اندک هستند. همه نمونه‌ها نسبت به آرسنیک غنی‌شدگی متوسط نشان می‌دهند. سرب در نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه غنی‌شدگی متوسط و در نمونه‌های دیگر غنی‌شدگی اندک دارد. محاسبه ضریب غنی‌شدگی برای روی، مس، نیکل، کروم و کبالت نشان‌دهنده غنی‌شدگی اندک تا عدم غنی‌شدگی همه نمونه‌ها نسبت به این عناصر است.

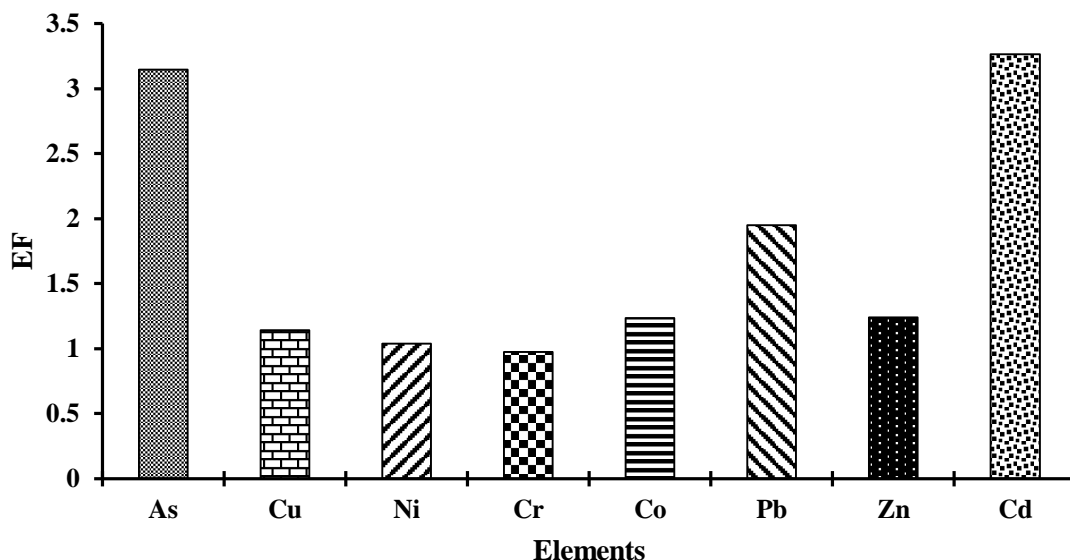


شکل ۴-۳۰- مقادیر ضرایب غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه (نسبت به نمونه شاهد) برای نمونه‌های برداشت شده از سایر جهت‌های اطراف کارخانه بر اساس میانگین ضرایب غنی‌شدگی برای فلزات در تمام جهت‌های کارخانه (جدول ۴-۵) و شکل ۴-۳۱)) عنصرهای کادمیم و آرسنیک دارای غنی‌شدگی متوسط نسبت به نمونه شاهد هستند. خاک‌های منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر عناصر دارای غنی‌شدگی اندک تا فاقد غنی‌شدگی هستند. روند کلی تغییرات ضرایب غنی‌شدگی در نمونه‌های اطراف کارخانه به صورت زیر است:

$$Cd > As > Pb > Zn > Co > Cu > Ni > Cr$$

جدول ۴-۵- آمار توصیفی ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به نمونه شاهد) در نمونه‌های خاک

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین
As	۱/۷۲	۴/۸۰	۳/۱۴
Cd	۱/۵۹	۱۰/۶۹	۳/۲۶
Pb	۰/۷۸	۳/۵۶	۱/۹۵
Zn	۰/۹۵	۱/۵۶	۱/۲۴
Co	۰/۷۳	۱/۶۰	۱/۲۳
Cu	۰/۸۴	۱/۵۲	۱/۱۴
Ni	۰/۶۷	۱/۲۴	۱/۰۳
Cr	۰/۷۰	۱/۲۱	۰/۹۷



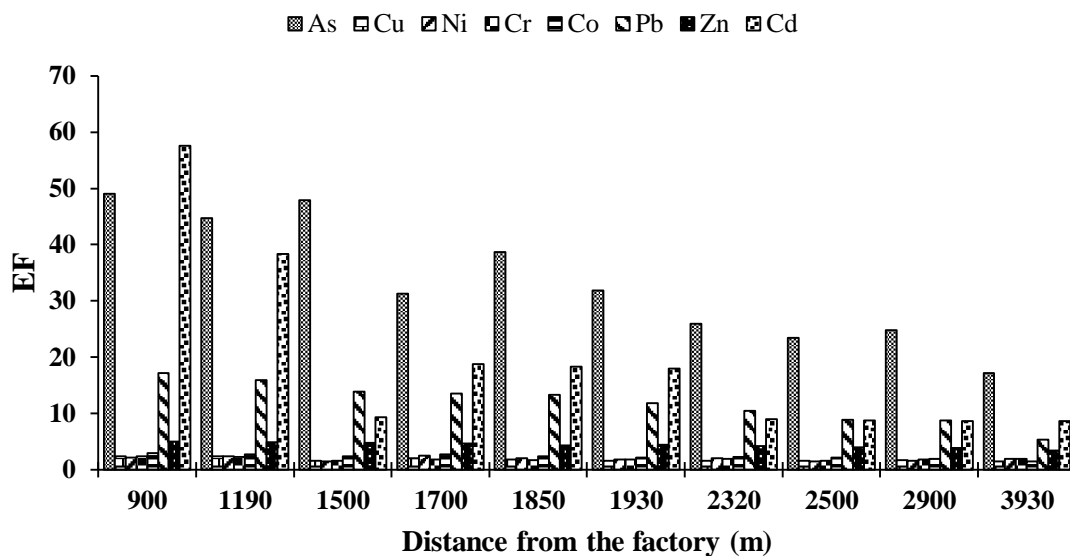
شکل ۴-۳۱- مقادیر متوسط ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به نمونه شاهد)

#### ۴-۲-۲- ضریب غنی‌شدگی نسبت به پوسته

برای دستیابی به دید کلی‌تر در مورد غنی‌شدگی فلزات در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان، این ضریب نسبت به پوسته نیز محاسبه گردید.

#### الف- جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

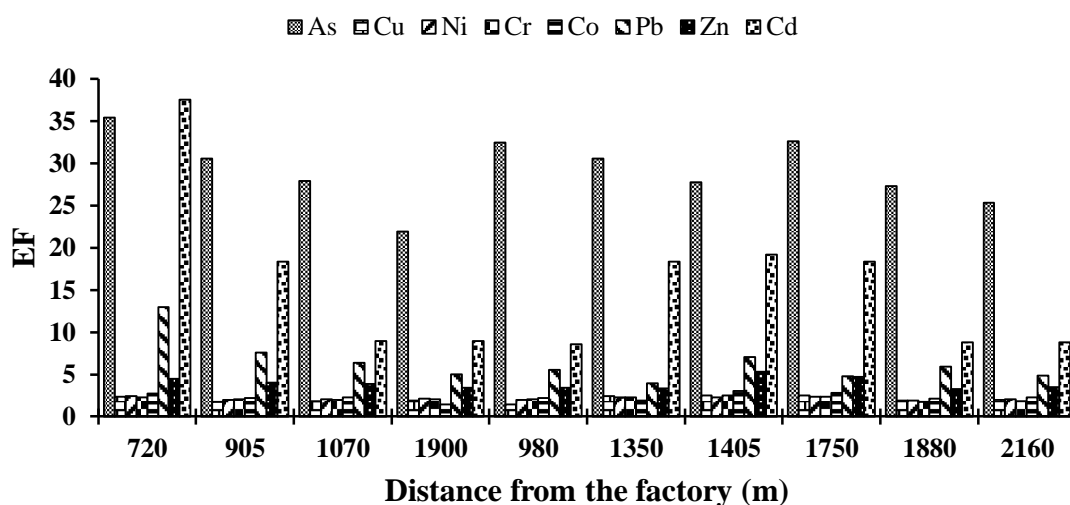
برای نمونه‌های خاک برداشت شده از این جهت‌ها، آرسنیک در نمونه‌های نزدیک به کارخانه غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا و در نمونه‌های دورتر غنی‌شدگی بسیار بالا نشان می‌دهد (شکل ۴-۳۲). کادمیم نیز در نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا و بسیار بالا و در سایر نمونه‌ها غنی‌شدگی قابل توجه دارد، در حالی که سرب و سایر فلزات به ترتیب دارای غنی‌شدگی قابل توجه و اندک هستند.



شکل ۴-۳۲- مقادیر ضرایب غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه (نسبت به پوسته) در نمونه‌های برداشت شده از جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

#### ب- سایر جهت‌های اطراف کارخانه

در سایر جهت‌های اطراف کارخانه، همه نمونه‌ها نسبت به آرسنیک غنی‌شدگی بسیار بالا و بیشتر نمونه‌ها نیز نسبت به فلز کادمیم و سرب غنی‌شدگی قابل توجه نشان می‌دهند. (شکل ۴-۳۳). روی، کبالت، نیکل و کروم تقریباً در همه نمونه‌ها غنی‌شدگی متوسط دارند؛ در حالی که مس در نمونه‌های برداشت شده از این بخش‌ها دارای غنی‌شدگی اندک است.



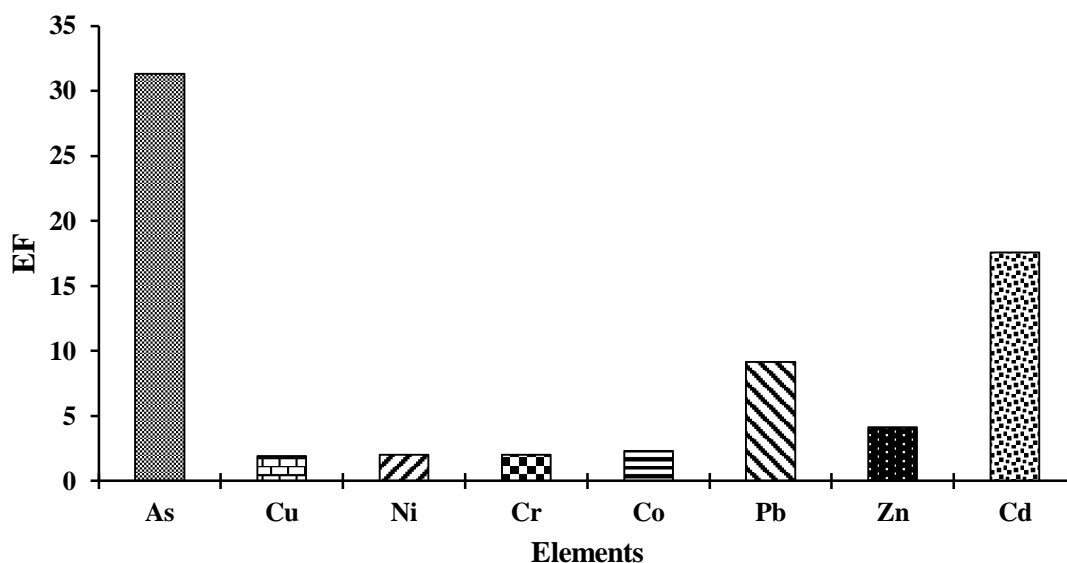
شکل ۴-۳۳- مقادیر ضرایب غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه (نسبت به پوسته) در نمونه‌های برداشت شده از سایر جهت‌های اطراف کارخانه

آمار توصیفی ضرایب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه نسبت به پوسته در جدول (۴-۶) و میانگین ضرایب غنی‌شدگی برای هر عنصر در شکل (۴-۳۴) آورده شده است. به طور کلی میانگین ضرایب غنی‌شدگی برای فلزات در تمام جهت‌های کارخانه نشان‌دهنده غنی‌شدگی بسیار بالای آرسنیک و غنی‌شدگی قابل توجه کادمیم و سرب نسبت به پوسته زمین است. همچنین خاک‌های منطقه مورد مطالعه نسبت به فلزات کبالت، روی و نیکل دارای غنی‌شدگی متوسط هستند؛ در حالی که مس و کروم ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۲ را نشان می‌دهند (غنی‌شدگی اندک تا فاقد غنی‌شدگی).

**As > Cd > Pb > Zn > Co > Ni > Cr > Cu**

جدول ۴-۶- آمار توصیفی ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به پوسته) در نمونه‌های خاک

عنصر	حدافل	حداکثر	میانگین
As	۱۷/۱۸	۴۷/۹۱	۳۱/۳۳
Cd	۸/۵۹	۵۷/۵۵	۱۷/۵۵
Pb	۳/۷۰	۱۶/۷۳	۹/۱۵
Zn	۳/۱۹	۵/۱۹	۴/۱۳
Co	۱/۳۷	۳	۲/۳۰
Cu	۱/۴۳	۲/۵۹	۱/۹۳
Ni	۱/۳۲	۲/۴۵	۲/۰۳
Cr	۱/۴۴	۲/۴۷	۱/۹۹



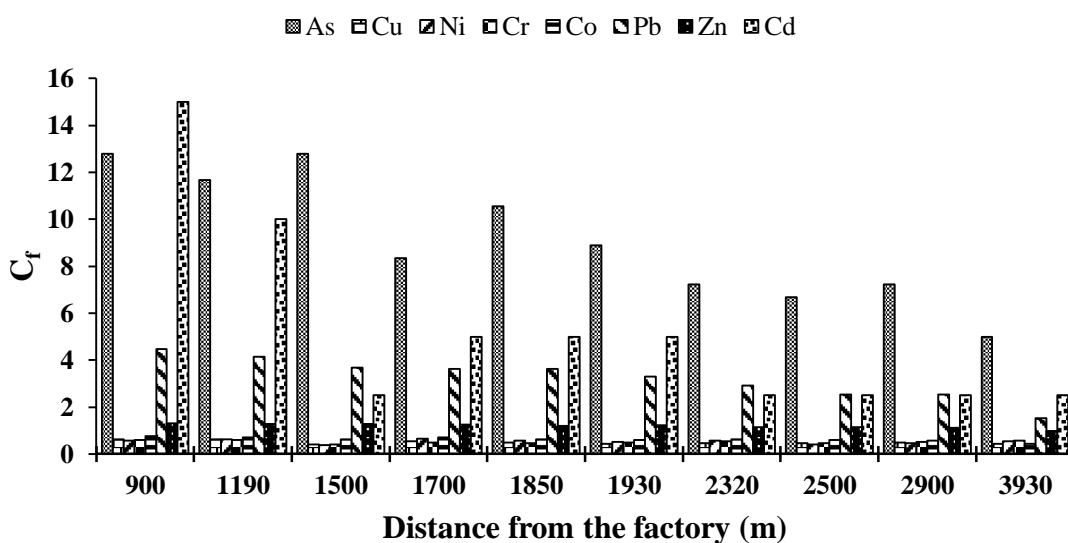
شکل ۴-۳۴- مقادیر متوسط ضرایب غنی‌شدگی (نسبت به پوسته)

#### ۴-۴-۳- ضریب آلودگی و درجه آلودگی

در این پژوهش از میانگین غلظت عناصر در پوسته به عنوان ماده مرجع برای محاسبه ضریب آلودگی، استفاده شد. نتایج بدست آمده از محاسبه ضریب آلودگی برای عناصر مورد بررسی و بر اساس رده‌بندی هاکنسون (جدول ۳-۴) در ادامه ارائه می‌شود:

#### ۴-۴-۳-۱- جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه

با توجه به شکل (۴-۳۵) که تغییرات مقادیر ضریب آلودگی را در جهت‌های غرب و شمال غرب نمایش می‌دهد، آرسنیک تقریباً در همه نمونه‌ها آلودگی بسیار بالا ( $C_f \geq 6$ ) نشان می‌دهد. ضریب آلودگی مربوط به کادمیم در نمونه‌های نزدیک به کارخانه سیمان بسیار بالا بوده و با افزایش فاصله از آن، به آلودگی قابل توجه ( $3 \leq C_f \leq 6$ ) و متوسط ( $1 \leq C_f \leq 3$ ) کاهش می‌یابد. سرب نیز در نمونه‌های نزدیک‌تر به کارخانه آلودگی قابل توجه ایجاد کرده است؛ در حالی که در نمونه‌های دورتر، موجب آلودگی متوسط در خاک شده است. ضرایب آلودگی برای همه نمونه‌ها (به استثنای دورترین نمونه از کارخانه) نشان‌دهنده آلودگی متوسط برای فلز روی است. سایر فلزات در تمام نمونه‌ها درجه آلودگی کمتر از ۱ داشته و آلودگی اندک ایجاد کرده‌اند.

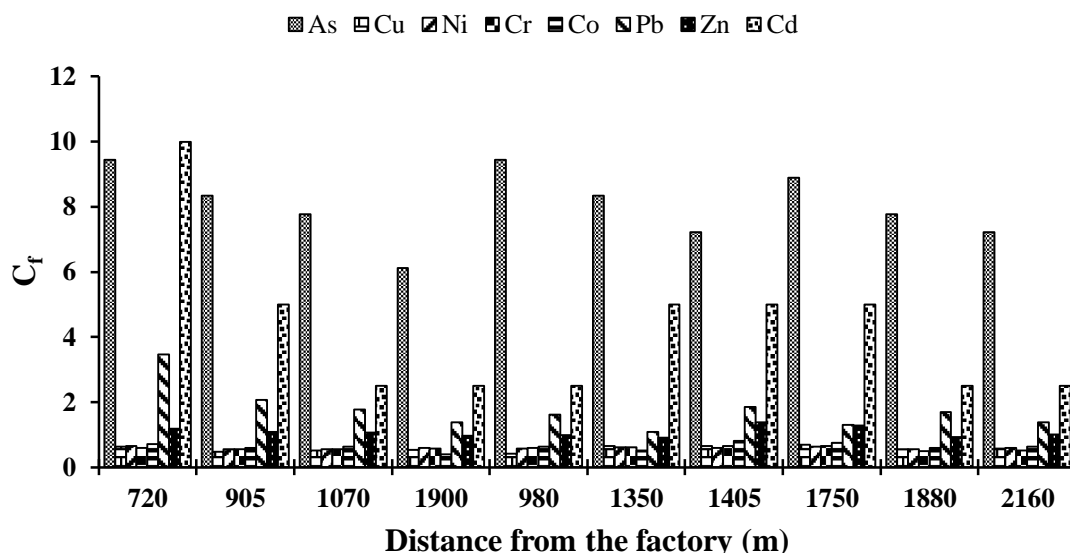


شکل ۴-۳۵- مقادیر ضرایب آلودگی فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های خاک برداشت شده از جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه



#### ۴-۳-۲- سایر جهت‌های اطراف کارخانه

محاسبه ضریب آلودگی برای نمونه‌های خاک در سایر جهت‌ها، نشان‌دهنده ضریب آلودگی بسیار بالای آرسنیک در تمامی نمونه‌ها است (شکل ۴-۳۶). نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه نسبت به کادمیم، آلودگی بسیار بالا دارد. این فلز در نمونه‌های نزدیک‌تر به کارخانه آلودگی قابل توجه و در نمونه‌های دورتر آلودگی متوسط نشان می‌دهد. همچنین سرب در نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه سیمان، آلودگی قابل توجه و در سایر نمونه‌ها آلودگی متوسط دارد. روی نیز در اکثر نمونه‌ها ضریب آلودگی متوسط ایجاد کرده است؛ در حالی که سایر فلزات در نمونه‌های خاک مورد مطالعه، آلودگی اندکی را موجب شده‌اند.



شکل ۴-۳۶- مقادیر ضرایب آلودگی فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های خاک برداشت شده از سایر جهت‌های اطراف کارخانه

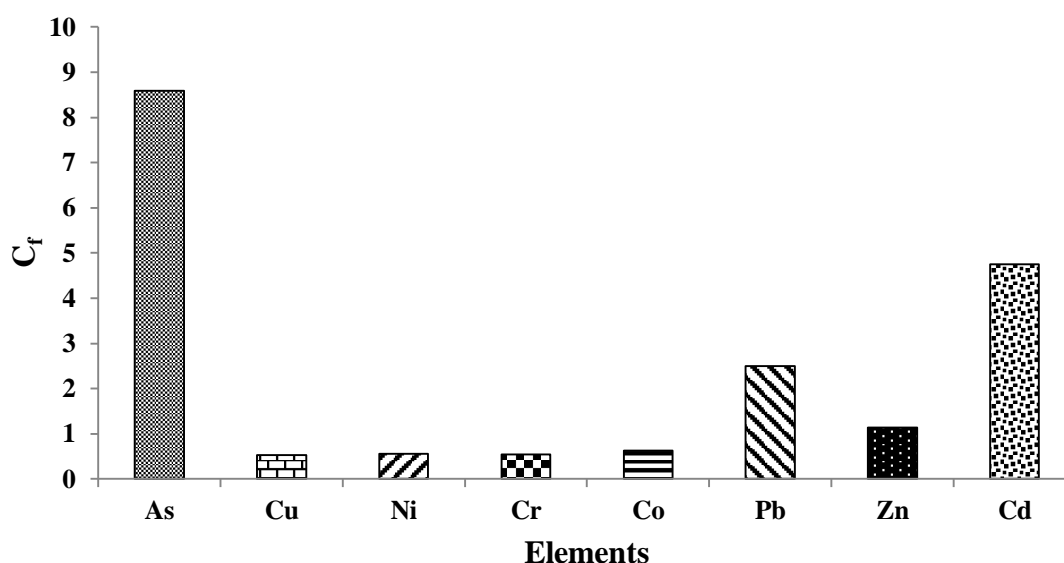
آمار توصیفی ضرایب آلودگی برای عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک در جدول (۴-۷) و مقادیر متوسط ضرایب آلودگی آن‌ها در شکل (۴-۳۷) آورده شده است. به طور کلی بر اساس ضرایب آلودگی محاسبه شده، در نمونه‌های خاک مورد مطالعه، آرسنیک و کادمیم به ترتیب ضریب آلودگی بسیار بالا و قابل توجه را به خود اختصاص داده‌اند؛ در حالی که سرب و روی آلودگی متوسط ایجاد کرده‌اند.

سایر عناصر آلودگی پایینی از خود نشان می‌دهند. روند کلی تغییرات مقادیر ضرایب آلودگی در نمونه‌ها به قرار زیر است:

**As > Cd > Pb > Zn > Co > Ni > Cr > Cu**

جدول ۴-۷- آمار توصیفی ضرایب آلودگی در نمونه‌های خاک

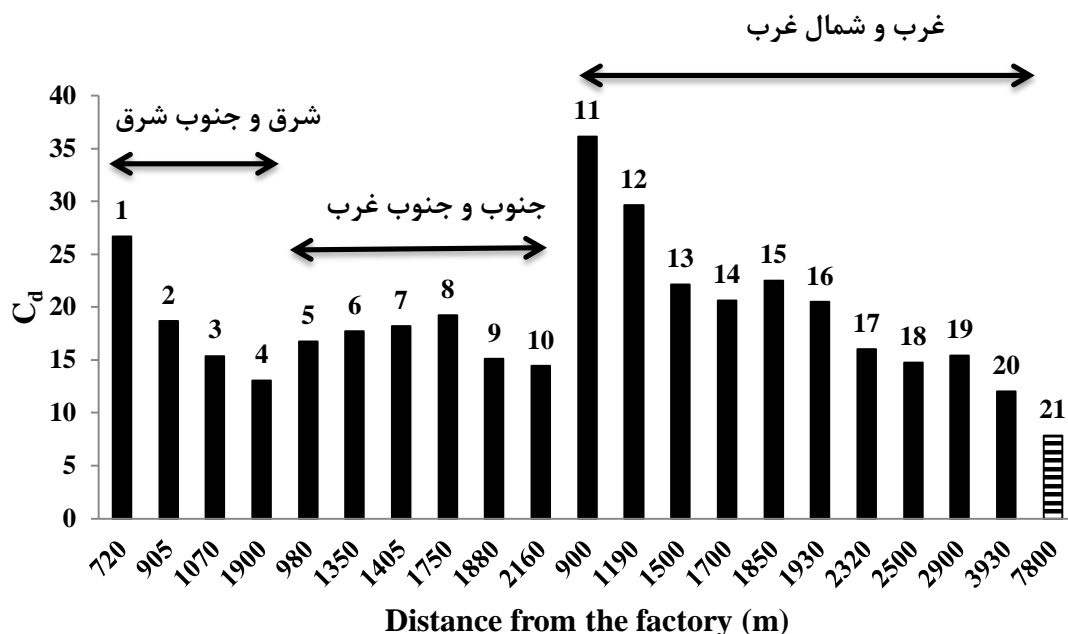
عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین
As	۵	۱۲/۷۷	۸/۵۸
Cd	۲/۵	۱۵	۴/۷۵
Pb	۱/۰۷	۴/۴۶	۲/۵
Zn	۰/۹	۱/۳۸	۱/۱۳
Co	۰/۴	۰/۸	۰/۶۳
Cu	۰/۴۱	۰/۶۹	۰/۵۳
Ni	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۵۵
Cr	۰/۴۲	۰/۶۶	۰/۵۴



شکل ۴-۳۷- متوسط ضرایب آلودگی در نمونه‌های خاک

در این پژوهش درجه آلودگی نیز برای نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. با توجه به شکل (۴-۳۸) نمونه شماره ۱۱ که در جهت باد غالب، نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه بوده، بیشترین آلودگی را نشان می‌دهد و بر اساس رده‌بندی هاکنسون (جدول ۳-۶) درجه آلودگی آن بسیار بالا است ( $C_d \geq 32$ ).

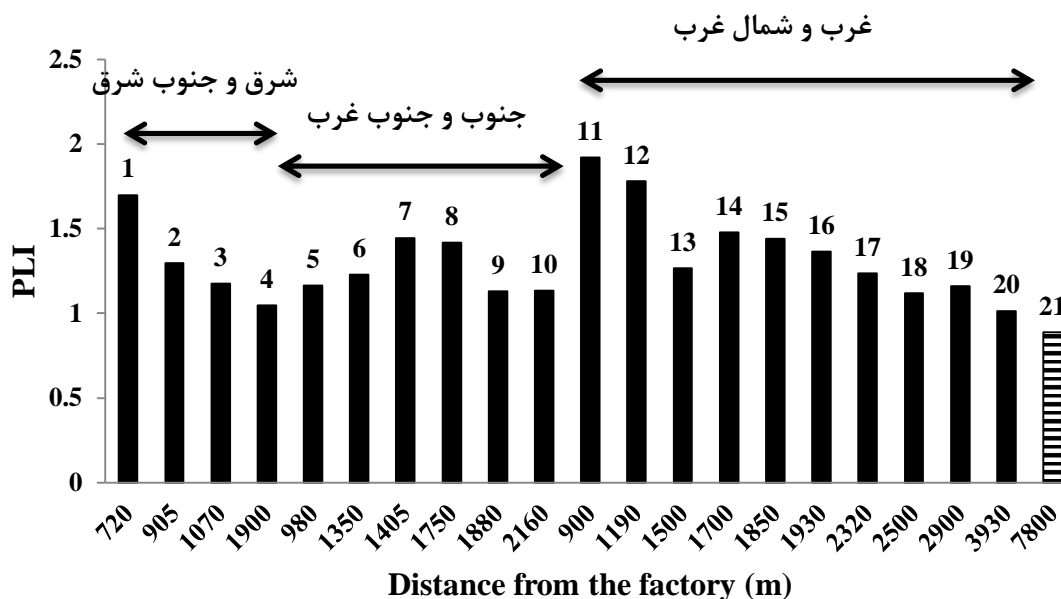
همچنین نمونه‌های دیگری که نسبت به سایر نمونه‌ها در فاصله کم‌تری از کارخانه برداشت شده‌اند، درجه آلودگی قابل توجه ( $16 \leq C_d < 32$ ) نشان می‌دهند. در نمونه‌های دیگر که مربوط به مناطق دورتری از کارخانه هستند، درجه آلودگی متوسط ( $8 \leq C_d < 16$ ) است. نمونه شاهد پایین‌ترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده و درجه آلودگی پایینی دارد ( $C_d < 8$ ).



شکل ۴-۳۸- مقادیر درجه آلودگی عناصر برای نمونه‌های خاک

#### ۴-۴-۴- شاخص بار آلودگی

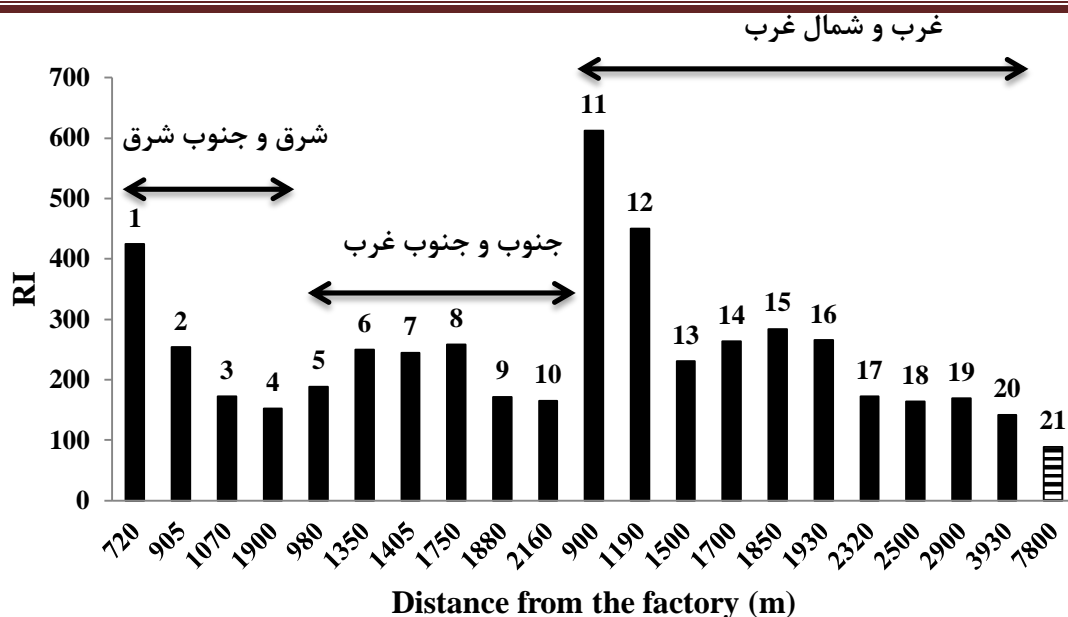
بر اساس نتایج بدست آمده از محاسبه شاخص بار آلودگی برای نمونه‌های مورد مطالعه (شکل ۴-۳۹)، مشخص شد که همه نمونه‌ها به جز نمونه شاهد، دارای شاخص بار آلودگی بیشتر از یک هستند که نشان‌دهنده یک منشأ انسان‌زاد برای افزایش بار فلزی در این نمونه‌ها است. شاخص بار آلودگی نمونه زمینه کمتر از یک است و غلظت طبیعی عناصر در این نمونه را تأیید می‌کند.



شکل ۴-۳۹- مقادیر ضرایب بار آلودگی برای نمونه‌های خاک

#### ۴-۴-۵- شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی

با توجه به شکل (۴-۴۰) بر اساس رده‌بندی هاکنسون (جدول ۳-۸) نمونه شماره ۱۱ (نزدیک‌ترین نمونه به کارخانه در جهت باد غالب)، در رده چهارم ( $RI \geq 600$ ) قرار دارد و دارای خطر بوم‌شناختی بسیار بالا است. همچنین نمونه‌های شماره ۱ و ۱۲ که نسبت به سایر نمونه‌ها در فاصله کمتری از کارخانه برداشت شده‌اند، خطر بوم‌شناختی قابل توجه ( $300 \leq RI < 600$ ) نشان می‌دهند. در نمونه‌های دیگر که مربوط به مناطق دورتری از کارخانه هستند، خطر بوم‌شناختی متوسط ( $150 \leq RI < 300$ ) است. نمونه شاهد و دورترین نمونه از کارخانه در منطقه مورد مطالعه (نمونه شماره ۲۰)، پایین‌ترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده و خطر بوم‌شناختی پایینی دارند ( $IR < 150$ ).



شکل ۴-۴- مقادیر شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی برای نمونه‌های خاک

#### ۴-۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مورد مطالعه

##### ۴-۵-۱- تحلیل همبستگی

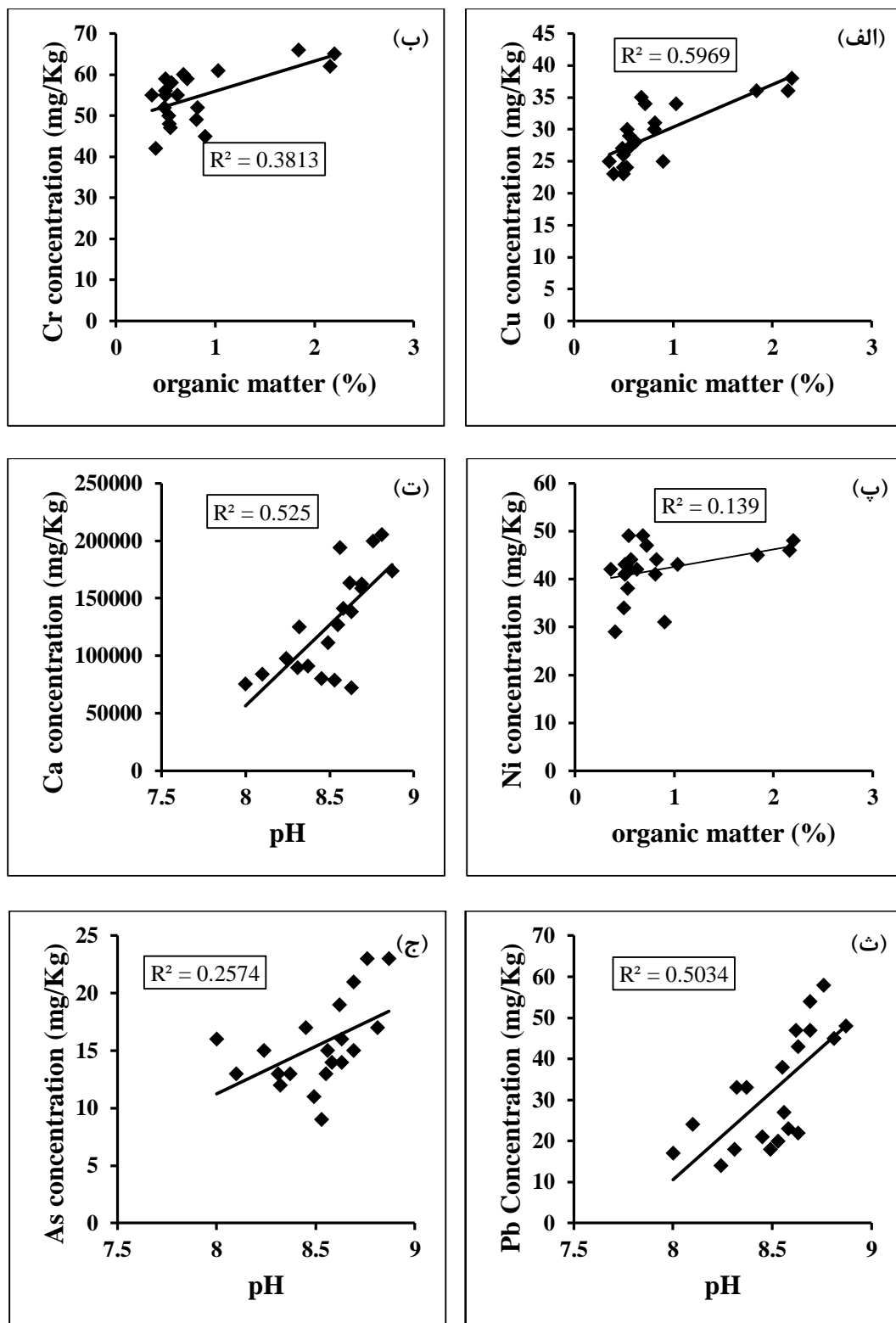
در این مطالعه جهت بررسی ارتباط میان عناصر و نیز منشأ احتمالی آن‌ها، از ضریب همبستگی اسپیرمن (روش آماری غیرپارامتریک، بدون نیاز به نرمال‌سازی داده‌ها) در دو سطح اهمیت آماری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ استفاده شد. جدول (۴-۸) همبستگی عناصر با یکدیگر و با خواص فیزیکوشیمیایی خاک را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، همبستگی قوی مثبت و معناداری بین فلز روی با سرب ( $r=0/66$ )، کبالت ( $r=0/78$ )، کادمیم ( $r=0/56$ ) و منیزیم ( $r=0/73$ )، همچنین بین عنصر منیزیم با کادمیم ( $r=0/57$ )، آرسنیک ( $r=0/64$ ) و سرب ( $r=0/65$ ) و نیز سرب با آرسنیک ( $r=0/57$ ) و کلسیم ( $r=0/76$ ) در سطح اطمینان ۰/۰۱ مشاهده می‌شود؛ به عبارت دیگر در واقع می‌توان نتیجه گرفت که کلسیم، سرب، روی، کبالت، کادمیم، منیزیم و آرسنیک در نمونه‌های خاک منشأ مشترک دارند. همچنین همبستگی قوی مثبت و معنادار نیکل با کروم ( $r=0/63$ ) و مس ( $r=0/76$ ) و همچنین مس با کروم ( $r=0/62$ ) در سطح اطمینان ۰/۰۱ نشان‌دهنده منشأ مشترک این سه فلز است. این فلزات در منطقه آلودگی کمی ایجاد کرده‌اند و غلظت‌شان در حدود غلظت نمونه زمینه است. این عناصر به احتمال زیاد منشأ زمین‌زاد دارند و به طور ناچیزی تحت تأثیر منابع انسان‌زاد (از جمله کارخانه

سیمان) قرار گرفته‌اند. کارخانه نقش چندانی در افزایش غلظت این فلزات ایفا نکرده است. به منظور بررسی همبستگی و ارتباط بین خواص فیزیکوشیمیایی خاک و غلظت فلزات مورد مطالعه علاوه بر جدول همبستگی، از نمودارهای پراکندگی نیز استفاده شد (شکل ۴-۴۱). با توجه به جدول (۴-۸) و شکل‌های (۴-۴۱ الف، ب و پ) ماده آلی همبستگی مثبت و معناداری با مس ( $r=0/81$ ) در سطح اطمینان ۰/۰۱ و با کروم ( $r=0/48$ ) و نیکل ( $r=0/50$ ) در سطح اهمیت ۰/۰۵ نشان می‌دهد. این همبستگی بالا نشان‌دهنده نقش ماده آلی در جذب و نگهداشت این فلزات در خاک است (Vytopilova et al., 2015). همچنین pH همبستگی مثبت و معناداری با کلسیم ( $r=0/71$ )، سرب ( $r=0/78$ ) و آرسنیک ( $r=0/58$ ) در سطح اطمینان ۰/۰۱ دارد (جدول ۴-۸ و شکل ۴-۴۱ ت، ث و ج). به عبارتی pH بالا نقش بسیار مهمی در تجمع و نگهداشت کاتیون‌های فلزی در خاک داشته و به همین دلیل این عناصر در خاک‌های قلیایی اطراف کارخانه غلظت بالایی نشان می‌دهند (Kabata-Pendias, 2011). از آنجا که کربنات کلسیم بخش اعظم مواد خام مورد استفاده در صنعت سیمان را تشکیل می‌دهد، در اطراف کارخانه محتوای کربنات کلسیم خاک و در نتیجه pH خاک افزایش می‌یابد. درصد رس نیز در نمونه‌ها در سطح اهمیت ۰/۰۵ با سرب ( $r=0/48$ ) همبستگی مثبت و معناداری دارد (جدول ۴-۸ و شکل ۴-۴۱ چ) و این رابطه اهمیت میزان رس را در نگهداشت سرب در خاک نشان می‌دهد (Hooda, 2010).

ارزیابی آلودگی خاک اطراف کارخانه سیمان آبیگ به فلزات

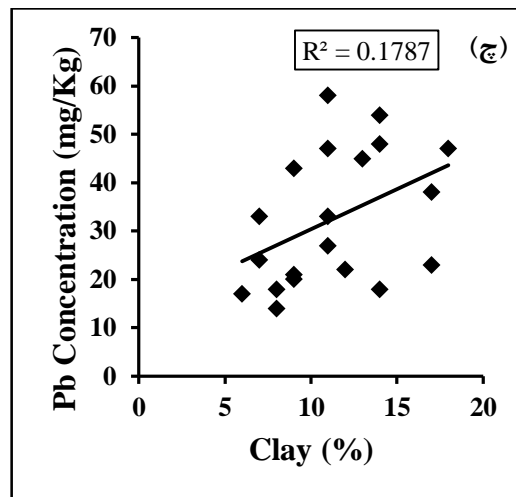
جدول ۴-۸- ضرایب همبستگی میان عناصر مورد مطالعه و خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک

	OM	pH	Clay	Co	Cr	Cd	Ca	Zn	Mg	As	Pb	Cu	Ni
OM	۱												
pH	-۰/۳۵۴	۱											
Clay	-۰/۳۵۷	۰/۶۹۵**	۱										
Co	۰/۳۴۴	۰/۱۹۸	۰/۰۶۲	۱									
Cr	۰/۴۸۲*	-۰/۳۴۷	-۰/۳۷۱	۰/۳۲۶	۱								
Cd	۰/۴۱۷	۰/۳۱۵	-۰/۰۵۳	۰/۵۵۶*	۰/۴۵۱*	۱							
Ca	-۰/۲۰۶	۰/۷۱۵**	۰/۵۴۲*	۰/۲۶۳	-۰/۱۷۵	۰/۵۲۴*	۱						
Zn	۰/۱۱۸	۰/۲۹۷	۰/۰۲۳	۰/۷۸۴**	۰/۰۹۱	۰/۵۶۷**	۰/۴۲۲	۱					
Mg	-۰/۰۸۸	۰/۳۷۶	۰/۰۲۷	۰/۴۸۴*	۰/۰۲۲	۰/۵۷۳**	۰/۴۳۱	۰/۷۳۰**	۱				
As	۰/۰۳۳	۰/۵۸۸**	۰/۱۳۶	۰/۵۲۹*	۰/۰۶	۰/۶۱۳**	۰/۵۵۹*	۰/۵۰۰*	۰/۶۴۶**	۱			
Pb	-۰/۲۹	۰/۷۸۲**	۰/۴۸۶*	۰/۴۲۴	-۰/۳۳۶	۰/۴۴۳	۰/۷۶۳**	۰/۶۶۳**	۰/۶۵۸**	۰/۵۷۶**	۱		
Cu	۰/۸۱۰**	-۰/۲۱	-۰/۲۱۸	۰/۴۷۰*	۰/۶۲۰**	۰/۵۷۷**	-۰/۰۵۴	۰/۲۱۱	۰/۰۵۵	۰/۰۹۳	-۰/۱۷۲	۱	
Ni	۰/۵۰۶*	-۰/۰۸۹	۰/۰۲۸	۰/۵۳۷*	۰/۶۳۷**	۰/۵۵۴*	۰/۰۲۶	۰/۱۶۳	۰/۱۵	۰/۱۸۴	-۰/۱۳	۰/۷۶۶**	۱



شکل ۴-۴۱- نمودار پراکنش برخی از فلزات مورد مطالعه در ارتباط با خواص فیزیکوشیمیایی خاک

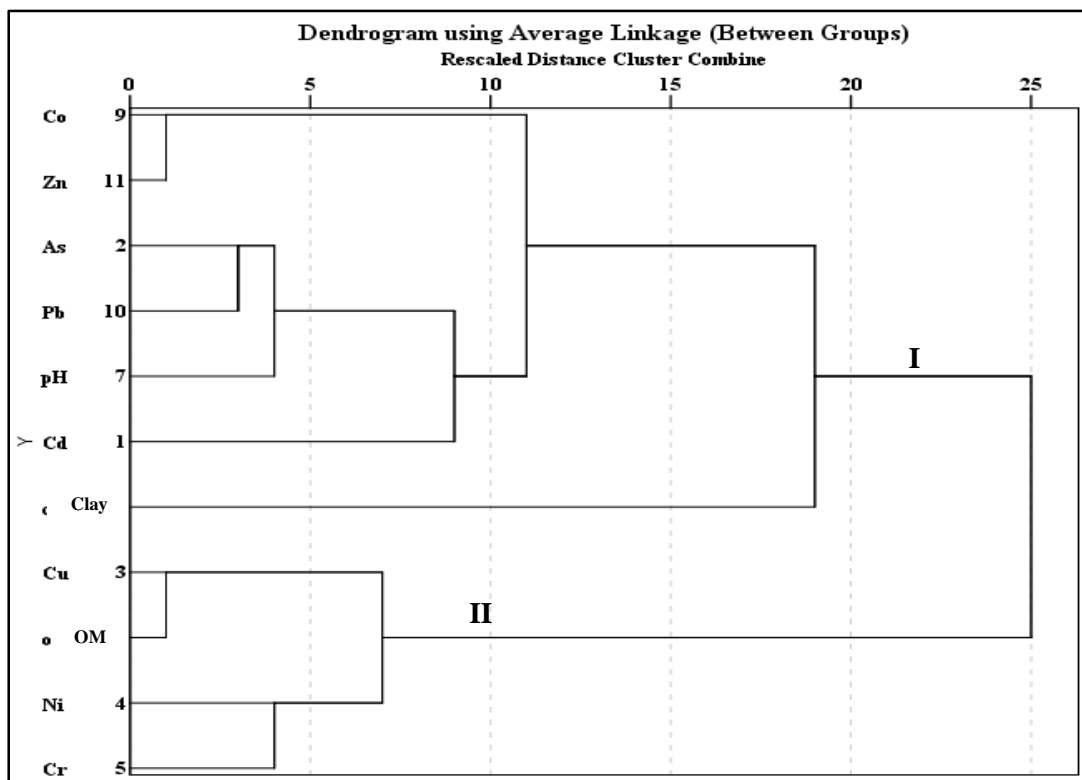




ادامه شکل ۴-۴۱

#### ۴-۵-۲- تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای از دیگر روش‌های آماری چند متغیره است که در آن متغیرهای مورد بررسی بر اساس میزان شباهت‌ها و یا تفاوت‌ها خوشه‌بندی می‌شوند (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). نمودار شاخه درختی بدست آمده در شکل (۴-۴۲) نمایش داده شده است. با توجه به این نمودار می‌توان دو خوشه اصلی را در نمونه‌ها تشخیص داد. خوشه اول شامل روی، کبالت، آرسنیک، سرب، pH، کادمیم و درصد رس است. در این گروه روی و کبالت دارای بیشترین شباهت و کمترین فاصله هستند و اولین خوشه را تشکیل داده‌اند. همچنین آرسنیک و سرب با فاصله بیش‌تری تشکیل یک خوشه داده که در فاصله دورتر، pH به آن متصل شده است. کادمیم نیز با فاصله بیش‌تری به این خوشه پیوند می‌خورد. در نهایت این خوشه به خوشه اولیه (کبالت-روی) متصل شده و در فاصله دورتر با میزان تشابه کمتری با درصد رس در یک گروه قرار می‌گیرد. گروه دوم شامل مس، درصد ماده آلی، نیکل و کروم است. در این گروه، مس و درصد ماده آلی نیز در یک خوشه اولیه با کمترین فاصله خویشاوندی قرار گرفته‌اند. همچنین نیکل و کروم با فاصله بیشتری با یکدیگر تشکیل خوشه داده‌اند و با خوشه اولیه (مس و درصد ماده آلی) پیوند برقرار کرده‌اند. در نهایت این دو گروه تشکیل یک خوشه بزرگ را داده‌اند که بیشترین فاصله خویشاوندی و کمترین درجه تشابه را دارا هستند.



شکل ۴-۴- نمودار خوشه‌ای فلزات و پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک

نتایج بدست آمده وجود دو منشأ متفاوت را برای عناصر مورد مطالعه در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان تأیید می‌کنند. به عبارتی قرار گرفتن عناصر در خوشه (گروه) های مجزا، دلالت بر منشأ مشترک آن‌ها دارد. عناصر گروه اول (کبالت، روی، آرسنیک، سرب و کادمیم) عمدتاً دارای منشأ انسان‌زاد هستند و در نتیجه فعالیت کارخانه سیمان آبیگ وارد خاک‌های اطراف آن شده‌اند. همچنین پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک (pH و درصد رس) که در این گروه قرار گرفته‌اند با این عناصر در ارتباط هستند. منشأ فلزات مربوط به گروه دوم (مس، نیکل و کروم) نیز عمدتاً زمین‌زاد است. همچنین ارتباط بسیار نزدیک مس با درصد ماده آلی را در این خوشه می‌توان به توانایی نگاه‌داشت مس در خاک توسط مواد آلی آن نسبت داد (Vytopilova et al., 2015). نتایج بدست آمده از تحلیل خوشه‌ای داده‌ها، نتایج حاصل از تحلیل همبستگی داده‌ها را تأیید می‌کند.

#### ۴-۵-۳- تحلیل مؤلفه اصلی

تحلیل مؤلفه اصلی نیز از جمله دیگر روش‌های آماری بوده که با مشخص نمودن گروه‌ها یا مؤلفه‌های مختلف فلزات مرتبط با هم، رفتار مشابه و منشأ مشترک آن‌ها را تأیید می‌کند (Tahri et al., 2005).

در جدول (۴-۹) نتایج بدست آمده از انجام تحلیل مؤلفه اصلی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک آورده شده است. در ابتدا ۱۱ مؤلفه از ساختار اولیه داده‌ها استخراج شده است. با توجه به شکل (۴-۴۳) مؤلفه‌هایی که دارای بیشترین واریانس از واریانس کل هستند و به عبارتی مقادیر ویژه<sup>۱</sup> آن‌ها بیشتر از یک است به عنوان مؤلفه‌های اصلی انتخاب می‌شوند. سپس داده‌ها حول محور مختصات به روش واریماکس<sup>۲</sup> چرخش یافته و واریانس میان مؤلفه‌های اصلی به حداکثر می‌رسد. در این حالت مؤلفه‌ها کاملاً نسبت به یکدیگر ناهمبسته<sup>۳</sup> می‌شوند. سه مؤلفه اصلی چرخش یافته در جدول (۴-۱۰) و همچنین موقعیت آن‌ها در حالت سه بعدی در شکل (۴-۴۴) آورده شده است.

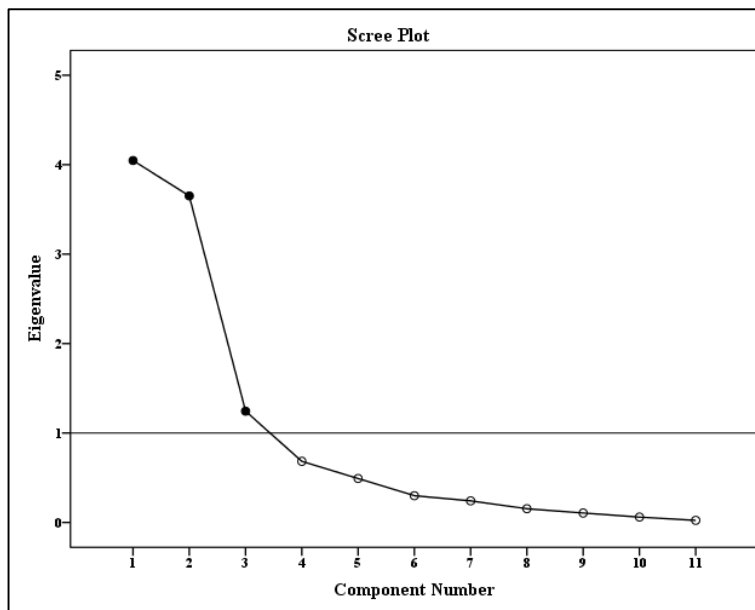
جدول ۴-۹- نتایج روش تحلیل مؤلفه اصلی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک

مؤلفه	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۴/۰۴۶	۳۶/۷۸۴	۳۶/۷۸۴	۴/۰۴۶	۳۶/۷۸۴	۳۶/۷۸۴	۳/۶۰۸	۳۲/۷۹۶	۳۲/۷۹۶
۲	۳/۶۵۱	۳۳/۱۸۹	۶۹/۹۷۲	۳/۶۵۱	۳۳/۱۸۹	۶۹/۹۷۲	۲/۸۷۷	۲۶/۱۵۳	۵۸/۹۸۴
۳	۱/۲۴۴	۱۱/۳۱۱	۸۱/۲۸۴	۱/۲۴۴	۱۱/۳۱۱	۸۱/۲۸۴	۲/۴۵۷	۲۲/۳۳۵	۸۱/۲۸۴
۴	۰/۶۸۴	۶/۲۱۶	۸۷/۵۰۰						
۵	۰/۴۹۱	۴/۴۶۷	۹۱/۹۶۶						
۶	۰/۲۹۹	۲/۷۲۲	۹۴/۶۸۸						
۷	۰/۲۴۱	۲/۱۹۳	۹۶/۸۸۱						
۸	۰/۱۵۴	۱/۳۹۷	۹۸/۲۷۸						
۹	۰/۱۰۶	۰/۹۵۹	۹۹/۲۳۸						
۱۰	۰/۰۶۰	۰/۵۴۶	۹۹/۷۸۴						
۱۱	۰/۰۲۴	۰/۲۱۶	۱۰۰/۰۰۰						

<sup>۱</sup> Eigenvalue

<sup>۲</sup> Varimax

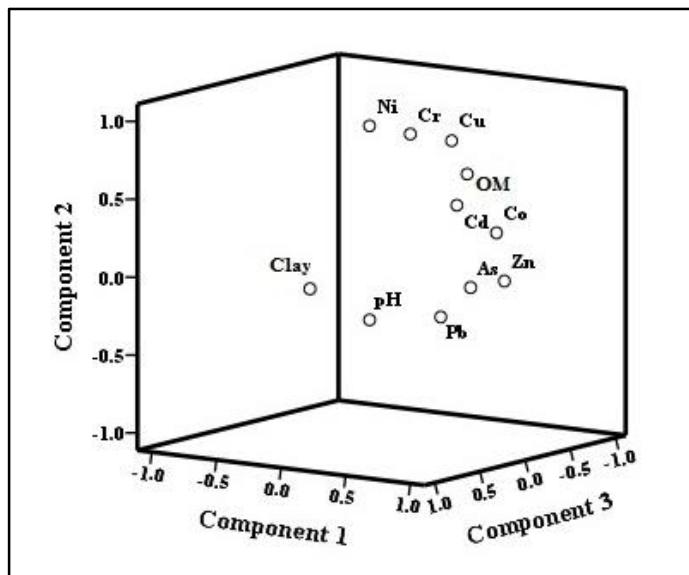
<sup>۳</sup> Uncorrelated



شکل ۴-۴۳- مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها

جدول ۴-۱۰- سه مؤلفه اصلی استخراج شده پس از چرخش متغیرها به روش واریماکس

	مؤلفه		
	۱	۲	۳
<b>Cd</b>	۰/۶۹۶	۰/۵۰۷	۰/۱۶۳
<b>As</b>	۰/۸۴۳	۰/۰۰۲	۰/۲۲
<b>Cu</b>	۰/۳۲	۰/۸۱۴	-۰/۳۱۸
<b>Ni</b>	-۰/۰۱۷	۰/۹۳۷	۰/۱۰۹
<b>Cr</b>	-۰/۰۳۱	۰/۸۱۵	-۰/۳۶۳
<b>OM</b>	۰/۱۵۳	۰/۵۲۴	-۰/۷۲۹
<b>pH</b>	۰/۴۴۹	-۰/۱۶۵	۰/۷۷۴
<b>Clay</b>	۰/۰۴۹	۰/۶۰۰	۰/۸۶۲
<b>Co</b>	۰/۸۰۱	۰/۲۹۹	-۰/۱۲۶
<b>Pb</b>	۰/۸۰۱	-۰/۱۵۲	۰/۴۹۱
<b>Zn</b>	۰/۸۹۳	۰/۰۰۵	-۰/۰۸۲



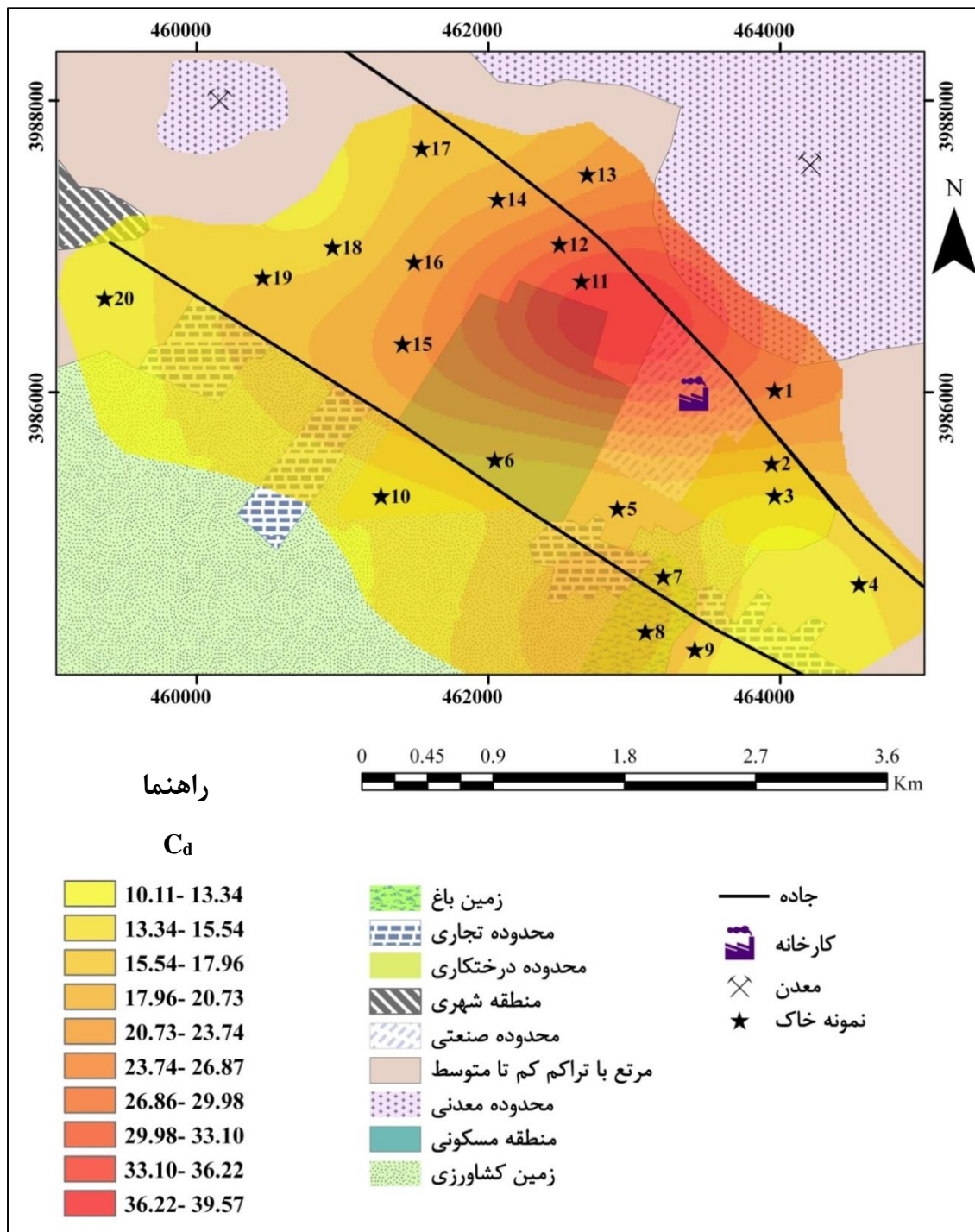
شکل ۴-۴- نمودار سه بعدی بار چرخش یافته سه مؤلفه اصلی استخراج شده

با توجه به جدول‌های (۴-۹ و ۴-۱۰) در مؤلفه اول با بیشترین درصد واریانس از واریانس کل (۳۲/۷۹٪) عناصر کادمیم، آرسنیک، کبالت، سرب و روی بارگذاری<sup>۱</sup> بالایی دارند که نشان‌دهنده منشأ مشترک این عناصر است. این عناصر توسط فعالیت کارخانه سیمان وارد خاک‌های منطقه شده و منشأ انسان‌زاد دارند. در مؤلفه دوم که ۳۳/۱۸٪ از واریانس کل را در بر می‌گیرد، عناصر نیکل، کروم، مس بیشترین اهمیت را نشان می‌دهند و عمدتاً دارای منشأ زمین‌زاد هستند. همچنین درصد ماده آلی نیز در این گروه از اهمیت بالایی برخوردار بوده، که نشان‌دهنده اهمیت مواد آلی در افزایش تجمع این عناصر در سطح خاک است. در مؤلفه سوم که ۱۱/۳۱٪ از واریانس کل را به خود اختصاص داده است، pH، درصد رس و درصد ماده آلی قرار گرفته‌اند. در این گروه عامل بارگذاری درصد ماده آلی مخالف با pH، درصد رس است، زیرا با افزایش ماده آلی، pH خاک کاهش می‌یابد. همچنین عامل بارگذاری pH و درصد رس مثبت است که نشان‌دهنده رابطه این دو پارامتر با یکدیگر است. درصد رس بالای خاک موجب نگه‌داشتن بیشتر گرد و غبار حاوی ترکیبات قلیایی خارج شده از دودکش کارخانه می‌شود و pH خاک در این نواحی بالاتر می‌رود. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی با تحلیل خوشه‌ای و تحلیل همبستگی سازگار است.

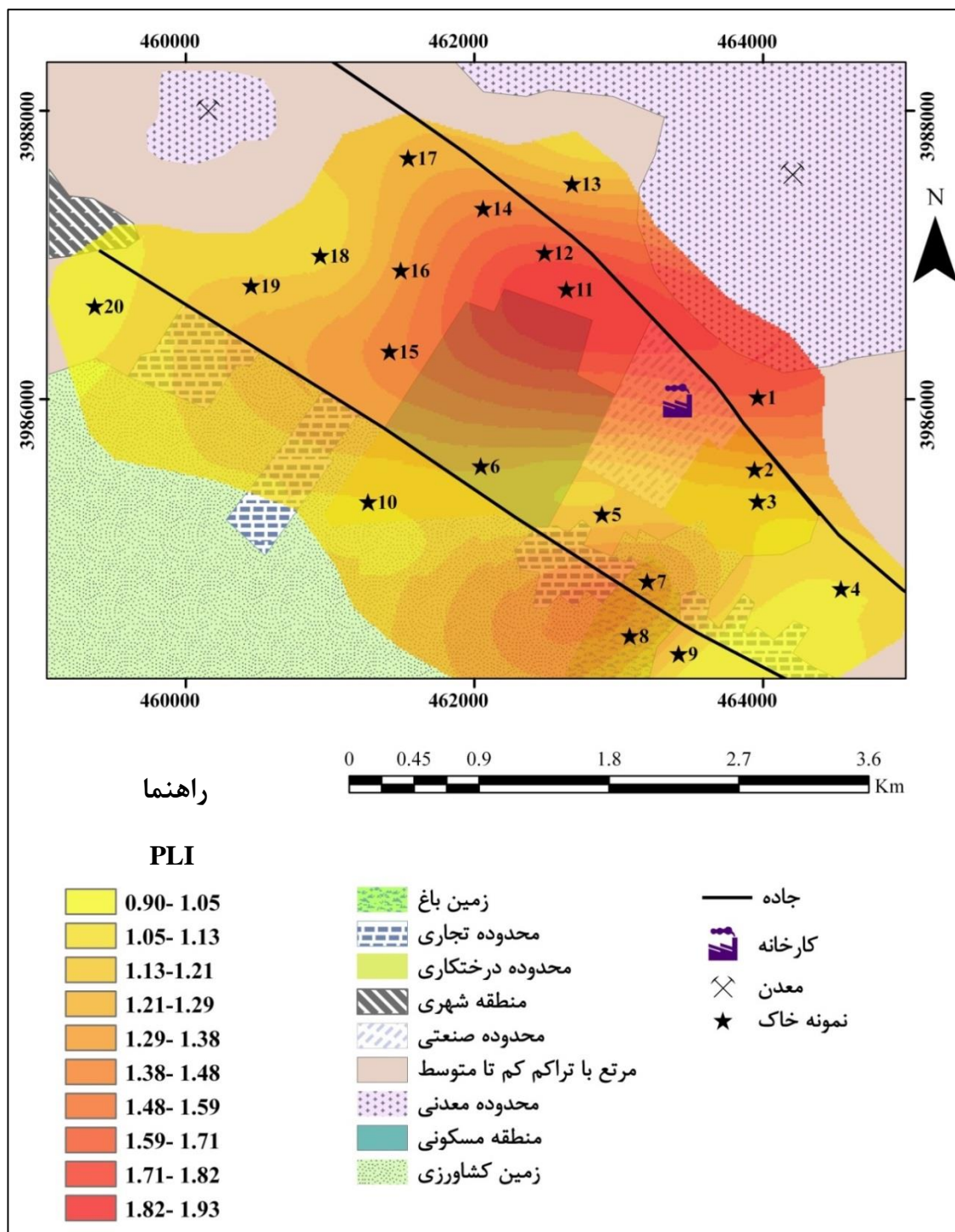
<sup>۱</sup> Loading

#### ۴-۶- پهنه‌بندی آلودگی فلزی در خاک‌های منطقه

در این بخش انتشار آلودگی خاک توسط عناصر بالقوه سمی خارج شده از دودکش کارخانه سیمان توسط نرم افزار Arc GIS و ارتباط آن با کاربری اراضی منطقه بر روی نقشه‌های پهنه‌بندی نمایش داده شده است (شکل‌های ۴-۴۵، ۴-۴۶ و ۴-۴۷). شایان ذکر است که این نقشه‌ها بر اساس درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی ترسیم شدند. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده، بالاتر بودن آلودگی و خطر بوم‌شناختی در خاک‌های محدوده نزدیک به کارخانه مورد تأیید قرار می‌گیرند. این آلودگی در جهت باد غالب منطقه و به سمت شهر آبیک بیشتر از نواحی دیگر است و به طور کلی با فاصله گرفتن از کارخانه از میزان آلودگی خاک کاسته می‌شود. همچنین محدوده‌ای در جنوب کارخانه نیز آلودگی به نسبت بالایی را نشان می‌دهد و با توجه به قرارگیری آن در محدوده باغ، می‌توان دلیل آن را به آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها نسبت داد.

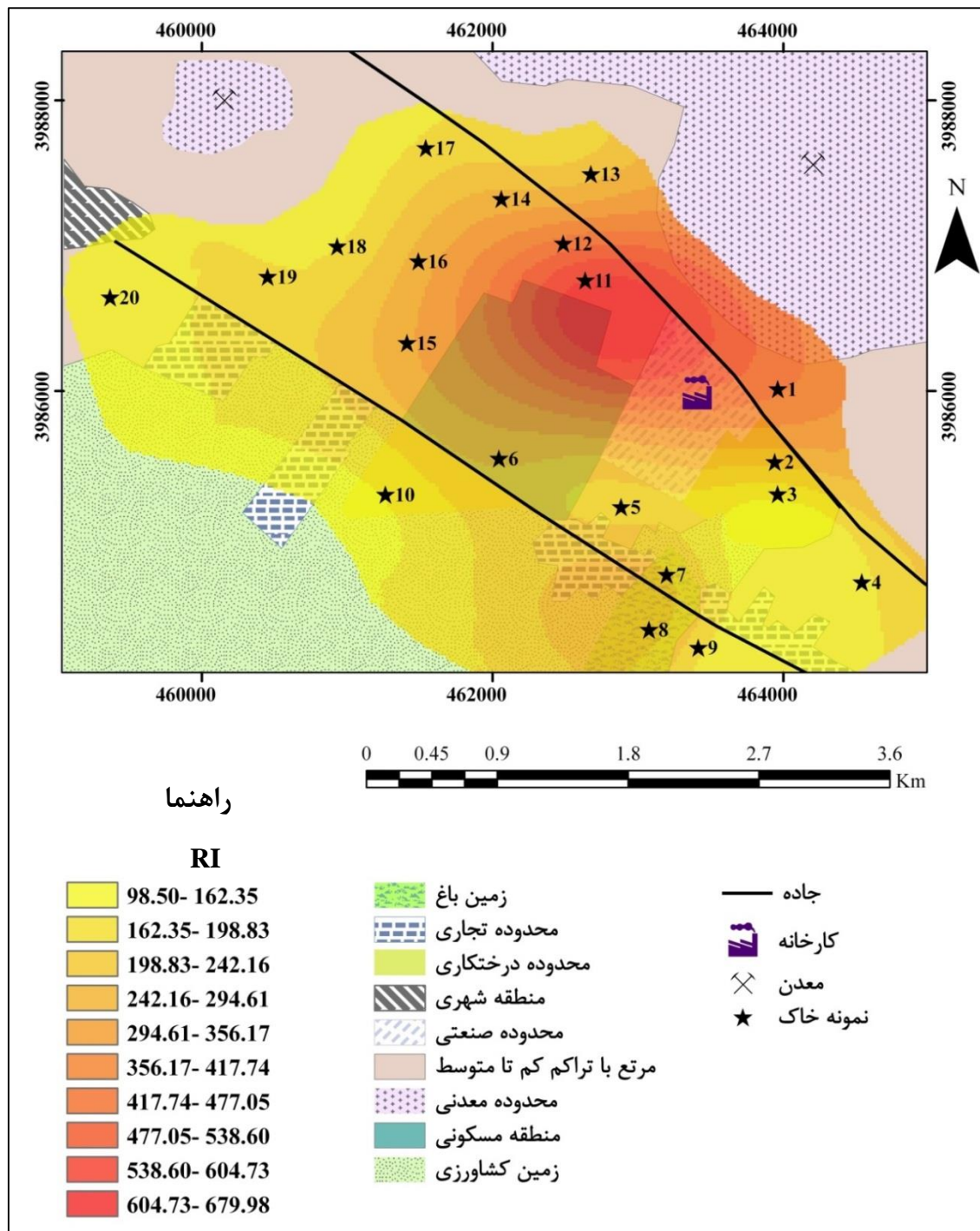


شکل ۴-۴۵- پهنه‌بندی درجه آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۴- پهنه‌بندی شاخص بار آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه





شکل ۴-۴۷- پهنه‌بندی شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی خاک منطقه مورد مطالعه



فصل پنجم:

نتیجہ گیری و پیشہ ادا

## ۵-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی خاک توسط کارخانه‌های سیمان در بسیاری از مطالعات مورد تأکید قرار گرفته است و عمده اثرات اصلی آن‌ها نیز بر محیط زیست به انتشار گرد و غبار از این کارخانه‌ها مربوط می‌شود. این گرد و غبار حاوی عناصری هستند که پس از مدتی به طور طبیعی، از طریق ریزش ذرات و یا همراه برف و باران از جو خارج شده و بر روی سطح خاک ته‌نشین می‌شوند و آن را آلوده می‌کنند. هدف این پژوهش ارزیابی آلودگی فلزی خاک ناشی از فعالیت کارخانه سیمان آبیگ است. به این منظور تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک (شامل pH، درصد ماده آلی و بافت) و همچنین غلظت عناصر بالقوه سمی (آرسنیک، کادمیم، سرب، روی، کبالت، نیکل، مس و کروم) و فلزات اصلی ترکیب سیمان در نمونه‌های خاک مجاور کارخانه سیمان تعیین گردیده و نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این فصل به مهم‌ترین نتایج بدست آمده در این پژوهش اشاره می‌شود و بر اساس آن‌ها نتیجه‌گیری خواهد شد. در نهایت پیشنهادهایی در جهت کاهش میزان آلودگی ناشی از کارخانه و همچنین مطالعات آینده در منطقه آورده می‌شود.

## ۵-۲- نتایج بدست آمده در این پژوهش

نتایج بدست آمده در این مطالعه را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- pH نمونه‌های خاک مورد مطالعه در محدوده نسبتاً قلیایی تا قلیایی خیلی زیاد (۸/۷-۸) قرار می‌گیرد که می‌توان دلیل آن را به فعالیت کارخانه سیمان نسبت داد، زیرا کارخانه‌های سیمان منبعی برای آلاینده‌های ذره‌ای و گازی قلیایی هستند که می‌توانند با ته‌نشین شدن بر روی خاک، باعث بالا رفتن pH آن‌ها شوند، بالا بودن نسبی pH خاک در نزدیکی کارخانه مؤید این مسأله است.

۲- میزان ماده آلی در نمونه‌های مورد مطالعه از ۰/۳۶ تا ۲/۲ درصد وزنی تغییر می‌کند. به طور کلی بالاترین درصد ماده آلی در نمونه‌های مربوط به باغ و محدوده مسکونی مربوط به کارکنان کارخانه سیمان (دارای درخت‌های میوه و چنار به طور انبوه) اندازه‌گیری شد. به احتمال زیاد دلیل بالا بودن

مقدار ماده آلی در این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های دیگر و نمونه شاهد، استفاده از کودهای حیوانی و کمپوست و نیز بالا بودن هوموس این خاک‌ها است.

۳- بافت خاک در نمونه‌های مورد مطالعه در رده متوسط (لومی) و سبک (لوم ماسه‌ای) قرار می‌گیرد. در نمونه‌هایی که درصد رس بالاتر بوده، ظرفیت جذب برای فلزات، از نظر بافتی بیشتر است.

۴- در نمونه‌های مورد مطالعه، غلظت کل عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب، روی، کلسیم و منیزیم بالاتر از غلظت آن‌ها در نمونه زمینه است. همچنین غلظت کل مس و نیکل در حد غلظت این عناصر در نمونه زمینه و غلظت کروم پایین‌تر از آن است. غلظت کل عناصر آرسنیک، کادمیم، سرب، روی در نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با استانداردهای جهانی (ترکیب خاک‌های جهانی و پوسته) بالاتر است؛ در حالی که غلظت کل کروم و مس در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به میانگین غلظت آن‌ها در پوسته و ترکیب خاک‌های جهانی پایین‌تر است. همچنین غلظت کبالت و نیکل در نمونه‌های مورد بررسی نسبت به ترکیب خاک‌های جهانی بالاتر و در مقایسه با ترکیب پوسته پایین‌تر است.

۵- عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب، روی، کلسیم و منیزیم در نزدیک‌ترین نقاط به کارخانه سیمان و همچنین در جهت رو به باد غالب (جهت‌های غرب و شمال غرب کارخانه) بالاترین غلظت را دارا هستند و غلظت آن‌ها با دور شدن از کارخانه به طور چشمگیری کاهش می‌یابد؛ در حالی که غلظت فلزات کروم، نیکل و مس تغییرات مشخصی با فاصله از کارخانه نشان نمی‌دهند.

۶- با توجه به موارد ذکر شده عناصر مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی کرد:

گروه اول شامل عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب، روی، کلسیم و منیزیم که بیش‌تر در نتیجه فعالیت کارخانه سیمان (منشأ انسان‌زاد) در خاک غنی شده‌اند. در واقع این عناصر در گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه حضور داشته و همراه آن‌ها بر روی خاک ته‌نشین شده‌اند.

گروه دوم شامل فلزات کروم، نیکل و مس است که در تعداد محدودی از نمونه‌های مورد مطالعه (نمونه‌های مربوط به باغ و منطقه مسکونی)، متأثر از فعالیت‌های کشاورزی غلظت آن‌ها افزایش یافته و در سایر نمونه‌ها عمدتاً منشأ زمین‌زاد و طبیعی دارند.

۷- بر اساس تغییرات غلظت کل فلزات در نمونه‌های خاک مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که باد غالب نقش مهمی در انتقال گرد و غبار حاوی عناصر بالقوه سمی خارج شده از دودکش کارخانه ایفا کرده و آن‌ها را تا مسافت‌های طولانی بر روی خاک ته‌نشین نموده است.

۸- بر اساس نتایج بدست آمده از محاسبه شاخص زمین‌انباشت و رده‌بندی مولر مشخص شد که به طور کلی، خاک‌ها نسبت به آرسنیک آلودگی بی‌نهایت و نسبت به کادمیم آلودگی متوسط دارند در حالی که سایر فلزات فاقد آلودگی هستند. شایان ذکر است که مقادیر شاخص زمین‌انباشت برای آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب و روی در نمونه‌های نزدیک‌تر به کارخانه، به خصوص در جهت وزش باد غالب بالاتر است.

۹- نتایج حاصل از محاسبه ضرایب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه نسبت به نمونه شاهد و بر اساس رده‌بندی ساترلند نشان‌دهنده غنی‌شدگی متوسط آرسنیک و کادمیم است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر عناصر دارای غنی‌شدگی اندک تا فاقد غنی‌شدگی هستند. همچنین آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب و روی در نمونه‌های نزدیک به کارخانه و در جهت باد غالب منطقه، غنی‌شدگی بالاتری دارند.

۱۰- نتایج بدست آمده از بررسی میانگین ضرایب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه نسبت به پوسته حاکی از غنی‌شدگی بسیار بالای آرسنیک و غنی‌شدگی قابل توجه کادمیم و سرب نسبت به پوسته زمین است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه نسبت به عناصر کبالت، روی و نیکل دارای غنی‌شدگی متوسط و نسبت به مس و کروم، دارای غنی‌شدگی اندک تا فاقد غنی‌شدگی هستند. بیشتر عناصر در نمونه‌هایی که فاصله کمتری با کارخانه دارند، غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند.

۱۱- بر اساس مقادیر متوسط ضریب آلودگی و رده‌بندی هاکنسون، آرسنیک و کادمیم به ترتیب ضریب آلودگی بسیار بالا و قابل توجه را به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که سرب و روی آلودگی متوسط ایجاد کرده‌اند. سایر فلزات آلودگی پایینی از خود نشان می‌دهند. عناصر ذکر شده در نمونه‌های نزدیک‌تر به کارخانه ضریب آلودگی بالاتری دارند. همچنین بر مبنای درجه آلودگی بدست

آمده می‌توان نتیجه گرفت که نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه، درجه آلودگی بسیار بالا و قابل توجه نشان می‌دهند و در نمونه‌های دیگر که مربوط به مناطق دورتری از کارخانه هستند، درجه آلودگی متوسط است. نمونه شاهد پایین‌ترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده و درجه آلودگی پایینی دارد.

۱۲- محاسبه شاخص بار آلودگی نشان داد که همه نمونه‌ها (به استثنای نمونه شاهد)، دارای ضرایب بار آلودگی بیشتر از یک هستند که نشان‌دهنده یک منشأ انسان‌زاد برای افزایش بار فلزی در این نمونه‌ها است.

۱۳- بر مبنای شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی محاسبه شده و رده‌بندی هاکنسون، نزدیک‌ترین نمونه‌ها به کارخانه دارای خطر بوم‌شناختی بسیار بالا و قابل توجه هستند. در نمونه‌های دیگر که مربوط به مناطق دورتری از دودکش کارخانه‌اند، خطر بوم‌شناختی متوسط است. نمونه شاهد و دورترین نمونه از کارخانه در منطقه مورد مطالعه، خطر بوم‌شناختی پایینی دارند.

۱۴- نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین عناصر، نشان داد که در خاک‌های منطقه مورد مطالعه، عناصر کادمیم، آرسنیک، سرب، روی، کبالت، کلسیم و منیزیم به طور عمده از منابع انسان‌زاد (فعالیت کارخانه سیمان) منشأ گرفته‌اند؛ در حالی که نیکل، کروم و مس بیشتر با فرآیندهای طبیعی در ارتباط بوده و منشأ زمین‌زاد دارند. بررسی ارتباط بین خواص فیزیکوشیمیایی خاک منطقه با عناصر مورد مطالعه نمایانگر همبستگی مثبت و معنادار ماده آلی با مس، کروم و نیکل است. این همبستگی بالا نشان‌دهنده نقش ماده آلی در نگه‌داشت این فلزات در خاک است. همچنین pH همبستگی مثبت و معناداری با کلسیم، آرسنیک و سرب دارد. به عبارتی pH بالا نقش بسیار مهمی در تجمع و نگهداری کاتیون‌های فلزی در خاک دارد و به همین دلیل این عناصر در خاک‌های قلیایی اطراف کارخانه غلظت بالایی دارند. درصد رس نیز در نمونه‌ها با سرب همبستگی مثبت و معناداری دارد که اهمیت میزان رس را در نگه‌داشت سرب در خاک نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای با تحلیل همبستگی کاملاً سازگار بوده و یکسان است.

۱۵- بررسی پهنه‌بندی آلودگی خاک و کاربری اراضی منطقه نمایانگر بالاتر بودن آلودگی و خطر بوم‌شناختی خاک‌های محدوده نزدیک به کارخانه است. این آلودگی در جهت باد غالب منطقه و به سمت شهر آبیک بیشتر از نواحی دیگر است و به طور کلی با فاصله گرفتن از کارخانه از میزان آلودگی خاک کاسته می‌شود. همچنین محدوده‌ای در جنوب کارخانه نیز آلودگی به نسبت بالایی را نشان می‌دهد و با توجه به قرارگیری آن در محدوده باغ، می‌توان آن را به فعالیت‌های کشاورزی (شامل استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها) نسبت داد.

### ۵-۳- پیشنهادهایی برای کاهش آلودگی کارخانه سیمان آبیک

- ۱- بازدید مستمر و زمان‌بندی شده وسایل کنترل‌کننده خروج گرد و غبار و اندازه‌گیری میزان آلاینده‌های انتشار یافته از دودکش کارخانه
- ۲- نصب دستگاه سنجش ذرات به طور مداوم در کارخانه
- ۳- جلوگیری از انتقال ذرات گرد و غبار از باطله‌ها و مواد خام سیمان به خاک‌های اطراف توسط سرپوشیده کردن محل نگهداری آن‌ها
- ۴- استفاده از مواد خام با کم‌ترین غلظت از عناصر بالقوه سمی
- ۵- بهینه‌سازی و تجهیز فیلترهای کیسه‌ای و الکتروفیلترهای مورد استفاده در کارخانه
- ۶- درختکاری انبوه در اطراف کارخانه به خصوص در جهت باد غالب منطقه

### ۵-۴- پیشنهادهایی برای مطالعات آتی

- ۱- نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تجزیه نمونه‌های گرد و غبار خروجی از کارخانه سیمان
- ۲- بررسی غلظت عناصر در عمق‌های مختلف خاک
- ۳- انجام مطالعات زمین‌پزشکی به جهت بررسی اثرات آلودگی هوا، آب و خاک بر کارکنان کارخانه، ساکنین مجتمع مسکونی آن و همچنین افراد ساکن در شهرهای اطراف به خصوص شهرستان آبیک به دلیل قرارگیری در جهت باد غالب منطقه



۴- ارزیابی میزان تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری عناصر در خاک منطقه به کمک تعیین گونه‌سازی فلزات با به کار گرفتن روش‌های استخراج ترتیبی

۵- بررسی تأثیر گرد و غبار خروجی از دودکش‌های کارخانه بر محصولات کشت شده در باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی اطراف



## منابع فارسی

- اطلس راه‌های ایران، (۱۳۸۹). سازمان نقشه‌برداری کشور.
- آسیابان‌ها، عباس. (۱۳۸۶). *راهنمای ترسیم و تفسیر نمودارهای پترولوژی و ژئوشیمی*. قزوین: انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.
- بی‌چلی، محمدحسن. (۱۳۷۹). *بررسی و ارائه شیوه مناسب مدیریتی کاهش اثرات آلاینده‌های (ذره‌ای) کارخانه سیمان آبیگ بر روی منابع خاک و پوشش گیاهی منطقه*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- حسینی‌پاک، علی اصغر. شرف‌الدین، محمد. (۱۳۸۰). *تحلیل داده‌های اکتشافی*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- حسینی‌نکو، اکبر، کریمی، علیرضا، حق‌نیا، غلامحسین. و محمودی‌قرایی، محمدحسین. (۱۳۹۳). تاثیر مواد مادری و فرآیندهای خاک سازی بر توزیع عناصر سرب، روی، مس و نیکل در خاک‌های درج‌ای پهنه بینالود، غرب مشهد. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۶۷، ۱۳۴-۱۲۳.
- رحیم‌پور، فاطمه. و عباسپور، رحیم‌علی. (۱۳۹۳). *پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از روش‌های کریجینگ و توابع پایه شعاعی (مطالعه موردی: شهرستان هریس)*، فصلنامه علمی-پژوهشی *اطلاعات جغرافیایی*، ۹۱، ۶۷-۵۵.
- رفیعی، بهروز، آلیانی، فرهاد. و فرش‌باف، معصومه. (۱۳۹۰). *بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه‌های سیمان و ذوب فلزات، جنوب شرق تهران و ارتباط آن با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک*. یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، ۹.
- شایسته‌فر، محمدرضا. و رضایی، علی. (۱۳۹۰). *ارزیابی میزان آلودگی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات معدن مس سرچشمه با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری*. نشریه علمی-پژوهشی *مهندسی معدن*، ۱۱، ۳۴-۲۵.

- صادقی‌روش، محمدحسن. و خراسانی، نعمت‌الله. (۱۳۸۸). بررسی آثار گرد و غبار ناشی از صنایع سیمان بر تنوع و تراکم پوشش گیاهی، مطالعه موردی: کارخانه سیمان آبیک. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱، ۱۱۹-۱۰۷.
- کریمی، سعید. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی غلظت فلزهای سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- موسوی، میرحسن، پورنیا، محسن. و امیری، فاطمه. (۱۳۹۲). توزیع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی اطراف کارخانه سیمان کارون، جنوب شرق مسجد سلیمان. ژئوشیمی، ۳، ۲۲۶-۲۱۵.
- میسون، برایان. و مر، کارلتون ب. (۱۳۸۹). اصول ژئوشیمی، ترجمه مر، فرید. و شرفی، علی‌اصغر. (ویراسته ناهیدپور محمد قنواتی)، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه شیراز.
- نبوی، محمدحسن. (۱۳۵۵). *دیپاچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران*. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ندایی طوسی، سحر. (۱۳۸۸). *ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ناشی از استقرار کارخانه‌ها در اطراف شهرها و برنامه‌ریزی کاهش آثار سوء نمونه موردی: کارخانه سیمان آبیک در جوار شهر آبیک قزوین*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

**Reference**

- Acosta, J. A., Faz, A. and Martinez-Martinez, S. (2010). "Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain)." *Environ. Monit. Assess.*, Vol. 169, pp. 519–530.
- Addo, M. A., Darko, E. O., Gordon, C., Nyarko, B. J. B., Gbadago, J. K., Nyarko, E., Affum, H. A. and Botwe, B. O. (2012). "Evaluation of heavy metals contamination of soil and vegetation in the vicinity of a cement factory in the volta region, Ghana." *Int. J. Sci. Technol.*, Vol. 2, pp. 40-50.
- Adejumo, J. A., Obioh, I. B., Ogunsola, O. J., Akeredolu, F. A., Olaniyi, H. B., Asubiojo, O. I., Oluwole, A. F., Akanle, O. A. and Spyrou, N. M., (1994). "The atmospheric deposition of major, minor and trace elements within and around three cement factories." *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol. 179, pp. 195–204.
- Al-Khashman, O. A. (2004). "Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan." *Atmos. Environ.*, Vol. 38, pp. 6803-6812.
- Al-Khashman, O. A. and Shawabkeh, R. A. (2006). "Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan." *Environ. Pollut.*, Vol. 140, pp. 387-394.
- Alkorta, I., Hernandez-Allica, J., Becerril, J. M., Amezaga, I., Albizu, I. and Garbisu, C. (2004). "Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic." *Environmental Science and Bio/Technology*, Vol. 3, pp. 71-90.
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. 3th ed. Springer Dordrecht Heidelberg, New York, London, p. 613.
- Al-Omran, A. M., El-Maghraby, S. E., Nadeem, M. E. A., El-Eter, A. M. and Al-Qahtani, S. M. I. (2011). "Impact of Cement Dust on Some Soil Properties Around the Cement Factory in Al-Hasa Oasis, Saudi Arabia." *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, Vol. 11, pp. 840-846.
- Amrani, M., Westfall, D. G. and Petersen, G. A. (1997). *Zinc plant availability as influenced by zinc fertilizer sources and zinc water-solubility*. department of

- soil and crop science agricultural experiment station, Colorado State University, p. 17.
- Annells, R. N., Arthurton, R. S., Bazley, R. A. and Davies, R. G. (1975). *Explanatory text of the Qazvin and Rasht quadrangles map 1:250000*, Geological survey of Iran, Tehran, p. 94.
- Annells, R. N., Arthurton, R. S., Bazley, R. A. and Davies, R. G. Hamed, M. A. R. and Rahimzadeh, F. (1977), *Geological map of Iran, Shakran sheet 6162*, scale: 1:100000, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Arslan, H. and Gizir, A. M. (2004). "Monitoring of heavy metal pollution of traffic origin in Adana." *Fresen. Environ. Bull.*, Vol. 13, pp. 361-365.
- Ashworth, D. J. and Alloway, B. J. (2004). "Soil mobility of sewage sludge-derived dissolved organic matter, copper, nickel and zinc." *Environmental Pollution*, Vol. 127, pp. 137-144.
- Ashworth, D. J. and Alloway, B. J. (2008). "Influence of dissolved organic matter on the solubility of heavy metals in sewage-sludge-amended soils." *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 39, pp. 538-550.
- Banfalvi, G. (2011). *Cellular Effects of Heavy Metals*. Institute of Biology and Ecology, University of Debrecen, Springer, p. 348.
- Benedetti, M. F., Riemsdijk, W. H. V., Koopal, L. K., Kinniburgh, D. G. Gooddy, D.C. and Milne, C. J. (1996). "Metal ion binding by natural organic matter: From the model to the field." *Geochim. Cosmochim. Acta.*, Vol. 60, pp. 2503-2513.
- Bilen, S. (2010). "Effect of cement dust pollution on microbial properties and enzyme activities in cultivated and no-till soils." *Afr J Microbiol Res*, Vol. 4, pp. 2418-2425.
- Boruvka, L., Vacek, O., Jehlicka, J. (2005). "Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils." *Geoderma*, Vol. 128, pp. 289-300.
- Bratlett, R. J. (1999). *Characterizing soil redox behavior*, In: Spark, D. L. (ed.), *soil physical chemistry*, 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL, p. 371-397.
- Caravaca, F. and Roldan, A. (2003). "Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions." *Geoderma*, Vol. 117, pp. 53-61.

- Carlosena, A., Andrade, J. M. and Prada, D. (1998) "Searching for heavy metals grouping roadside soil as a function of motorized traffic influence." *Talanta*, Vol. 47, pp. 753-767.
- Chopin, E. I. B., Alloway, B. J. (2007). "Distribution and mobility of trace elements in soils and vegetation around the mining and smelting areas of tharsis, riotinto and huelva, Iberian pyrite belt, SW Spain." *Water, Air, and Soil Pollution.*, Vol. 182, pp. 245-261.
- Chuan, M. C., Shu, G. Y., Liu, J. C. (1996). "Solubility of heavy metals in a contaminated soil: Effects of redox potential and pH." *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 90, pp. 543-556.
- Dąbkowska-Naskręt, H., Jaworska, H. and Długosz, J. (2014). "Assessment of the total nickel content and its available forms in the soils around cement plant Lafarge Poland" *Int. J. Environ. Res.*, Vol. 8, pp. 231-236.
- Dan, T. V. (2001). *Phytoremediation of metal contaminated soils: metal tolerance and metal accumulation in pelargonium sp.* Thesis, The Faculty of Graduate Studies of University of Guelph, Canada, p. 189.
- Estifanos, s. and Degefa, A. (2012). "Assessing the effect of cement dust emission on the physicochemical nature of soil around Messebo area, Tigray, north Ethiopia." *Int. J. Econ. Env. Geol.*, Vol. 3, pp. 12-20.
- Facchinelli, A., Sacchi, E. and Mallen, L. (2001). "Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils." *Environ. Pollut.*, Vol. 114, pp. 313-324.
- Fijalkowski, K., Kacprzak, M., Grobelak, A. and Placek, A. (2012). "The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soils." *Inzynieria i Ochrona Srodowiska*, Vol. 15, pp. 81-92.
- Franco, A., Schuhmacher, M., Roca, E., Domingo, J. L. (2006). "Application of cattle manura as fertilizer in pastureland: estimating the incremental risk due to metal accumulation employing a multicompartiment model." *Environmental International.*, Vol. 32, pp. 724-732.
- Gersztyn, L., Karczewska, A. and Gałka, B. (2013). "Influence of pH on the solubility of arsenic in heavily contaminated soils." *Environmental protection and natural resources*, Vol. 24, pp. 7-11.

- Hakanson, L. (1980). "An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach." *Water Research*, Vol. 14, pp. 975-1001.
- Holmgren, G. G. S., Meyer, M. W., Chaney, R. L. and Daniels, R. B. (1993). "Cadmium, Lead, Zinc, Copper, and Nickel in Agricultural Soils of the United States of America." *Environ. Qual.*, Vol. 22, pp. 335-348.
- Hooda, P. S. (2010). *Trace elements in soil*. Blackwell Publishing Ltd, London, p. 596.
- Hu, H., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y. and Cheng, H. (2013). "Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization." *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 20, pp. 6150-6159.
- in resuspended particles of urban street dust from an industrial city in China." *Current Science*, Vol. 108, pp. 72-79.
- Jenny, H. (1994). *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Dover Publications, New York, p. 281.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants*. 4th ed. CRC Press, Boca Raton, London, New York, p. 505.
- Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A. B. (2007). *Trace elements from soil to human*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 550.
- Kaiser, H. F. (1960). "The application of electronic computers to factor analysis." *Educational and Psychological Measurement*, Vol. 20, pp. 141-151.
- Khamparia, A., Chatterjee, S. K. and Sharma, G. D. (2012). "Assessment on effect of cement dust pollution on soil health." *J. Environ. Res. Develop.*, Vol. 7, pp. 368-374.
- Khomo, L. (2008). *Weathering and soil properties on old granitic catenas along climo-topographic gradients in Kruger National Park*. PhD thesis, University of Witwatersrand, Johannesburg, p. 224.
- Krupadam, R. J., Smita, P. and Wate, S. R. (2006). "Geochemical fractionation of heavy metals in sediments of the Tapi estuary." *Geochemical Journal*, Vol. 40, pp. 513-522.
- Lafta, J. G., Fadhil, H. S. and Hussein, A. A. (2013). "Heavy Metals Distribution and the Variation of Soil Properties around Alqaim Cement Factory in Anbar Governorate." *Int. J. Eng. Adv. Tech.*, Vol. 3, pp. 289-291.



- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D. and Kwapulinski, J. (1995). "Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland". *Water, Air and Soil pollution*, Vol. 93, pp. 347-365.
- Mandal, A. and Voutchkov, M. (2011). "Heavy Metals in Soils around the Cement Factory in Rockfort, Kingston, Jamaica." *International Journal of Geosciences*, Vol. 2, pp. 48-54.
- Mclean, J. E. and Bledsoe, B. E. (1992). *Behavior of Metals in Soils: Ground Water Issue*, EPA/540/S-92/018. US EPA, Washington, D.C.
- Mico, C., Recatala, L., Peris, M. and Sanchez, J. (2006). "Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis." *Chemosphere*, Vol. 65, pp. 863-872.
- Mirsal, I. A. (2004). *Soil pollution: origin, monitoring and remediation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 252.
- Mishra, S. and Siddiqui, N. A. (2014). "A Review On Environmental and Health Impacts Of Cement Manufacturing Emissions." *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, Vol. 2, pp. 26-31.
- Mlitan, A. B., Alajtal, A. I. and Alsadawy, A. M. (2013). "Toxicity of Heavy Metals and Microbial Analysis of Soil Samples Collected from the Area around Zliten Cement Factory." *Open Journal of Air Pollution*, Vol. 2, pp. 25-28.
- Moslempour, M. E. and Shahdadi, Sara. (2013). "Assessment of heavy metal contamination in soils around of khash cement plant, SE iran." *Iranian Journal of Earth Sciences.*, Vol. 5, pp. 111-118.
- Muller, G. (1969). "Index of geoaccumulation Mullett sediments of the Rhine river". *Geology.*, Vol. 2, pp. 108-118.
- Nriagu, J. O. (1989). "A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals." *Nature*, Vol. 338, pp. 47-49.
- Ogunkunle, C. O. and Fatoba, P. O. (2013). "Pollution loads and the ecological risk assessment of soil heavy metals around a mega cement factory in southeast nigeria." *Pol. J. Environ. Stud.*, Vol. 22, pp. 487-493.
- Praveena, S. M., Ahmed, A., Radojevic, M., Abdullah, M. H., Aris, A. Z. (2007). "Factor-Cluster Analysis and enrichment study of Mangrove sediments-an

- example from Mengkabong, Sabah." *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, Vol. 11, pp. 421-430.
- Rajabi, P., Safizadeh, M. and Noroozpour, H. (2013). "Environmental impact assessment of doroud cement plant on regional soils." *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences.*, Vol. 1, pp. 108-113.
- Schatz, A., Schalscha, E. B., Schatz, V. (1961). "Soil organic matter as a natural chelating material." *compost science*, Vol. 5, pp. 26-30.
- selim, H. M. and Iskandar, I. K. (1999). *Fate and Transport of Heavy Metals in the Vadose Zone*. in: Madrid, L. (ed.), *Metal Retention and Mobility as Influenced by Some Organic Residues Added to Soils: A Case Study*, CRC Press LLC, Lewis, Boca Raton, p. 328.
- Seshan, B. R. R., Natesan, U. and Deepthi, K. (2010). "Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India." *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 7 (2), pp. 291-306.
- Sherene, T. (2010). "Mobility and transport of heavy metals in polluted soil environment." *Biological Forum-An International Journal*, Vol. 2, pp. 112-121.
- Skrbic, B. and Durisic-Mladenovic, N. (2010). "Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide." *Chemosphere*, Vol. 80, pp. 1360–1369.
- Soil Science Society of America, (1997). *Glossary of soil science terms*. Madison, WI, p. 138.
- Soil Survey Staff, (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA Agri. Handbook No: 436. Washington, D.C., p. 870.
- Su, C., Jiang, L. and Zhang, W. (2014). "A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques." *Environmental Skeptics and Critics*, Vol. 3, pp. 24-38.
- Sulphey, M. M. and Safeer, M. M. (2015). *Introduction to Environment Management*, 3th ed, PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, p. 428.
- Sutherland, R. A. (2000). "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii." *Environmental Geology.*, Vol. 39, pp. 611-627.
- Tahri, M., Benyaich, F., Bounakhla, M., Bilal, E., Gruffat, J.J., Moutte, J. and Garcia, D. (2005). "Multivariate Analysis of Heavy Metal contents in soils,

- sediments and water in the region of Meknes (Central Morocco)." *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 102, pp. 405–417.
- Taylor., H. F. W. (1997). *Cement Chemistry*. 2th ed. Technology and Engineering, University of Aberdeen, p. 459.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., Jeffrey, D. W. (1980). "Problems in the assessments of heavy metal levels in estuaries and formation of a pollution index." *Helgol. Mar. Res.*, Vol. 33, pp. 566-575.
- Uduma, A. U. and Jimoh, W.L.O. (2013). "Evaluation of zinc enrichment and depletion of selected arable soils in Nigeria, using calcium as a crustal reference element." *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, Vol. 3, pp. 310-316.
- USEPA (2004). Test methods for evaluating solid waste. In: Method 9045D, Washington, D.C.
- Vytopilova, M., Tejnecky, V., Boruvka, L. and Ondrej, D. (2015). "Sorption of heavy metals in organic horizons of acid forest soils at low added concentrations." *Soil and Water Res.*, Vol. 1, pp. 1-9.
- Wang, J., Liu, W., Yang, R., Zhang, L. and Ma, J. (2013). "Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine." *Disaster Advances*, Vol. 6, pp. 366-377.
- Wei, B. and Yang, L. (2010). "A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China." *Microchem. J.*, Vol. 94, pp. 99-107.
- Wufem, B. M., Ibrahim, A. Q., Maina, H. M., Gungsat, N. J. and Barnabas, N. J. (2014). "The Impacts of Cement Dust Deposits on Soil Available Micronutrients." *International Journal of Science and Engineering Applications*, Vol. 3, pp. 53-62.
- Xu, X., Lu, X., Han, X. and Zhao, N. (2015). "Ecological and health risk assessment of metal
- Yalcin, M. G., Battaloglu, R. and Ilhan, S. (2007). "Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey." *Environ. Geol.*, Vol. 53, pp. 399-415.

- Yisa, J., Jacob, J. O. and Onoyima, C. C. (2012). "Assessment of toxic levels of some heavy metals in road deposited sediments in Suleja, Nigeria." *American Journal of Chemistry*, Vol. 2 (2), pp. 34-37.
- Zamani, A. A., Yaftian, M. R. and Parizanganeh, A. (2012). "Multivariate statistical assessment of heavy metal pollution sources of groundwater around a lead and zinc plant." *Iranian Journal of Environmental Health Sciences and Engineering*, Vol. 9, pp. 1-10.
- Zerrouqi, z., Saba, M., Oujidi, M., Elkharmouz, M., Bengamra, S. and Zerrouqi, A. (2008). "Assessment of cement's dust impact on the soil using principal component analysis and GIS." *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 5, pp. 125-134.
- Zhang, X. Y., Lin, F. F., Wong, M. T. F., Feng, X. L. and Wang, K. (2009). "Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assessment of Fuyang County, China." *Environ. Monit. Assess.*, Vol. 154, pp. 439-449.

## **Abstract**

Abyek cement plant as one of the largest cement factories in Iran is located in the Alborz province. This study is conducted with the aim of evaluating the metal pollution of topsoil around the cement plant. For this purpose, 20 topsoil samples (0 to 15 cm depth) were collected randomly from the study area. Also one soil sample was taken as local background sample far away from the plant (7800 m). The main soil physicochemical properties, including soil texture, organic matter content and pH of collected samples were determined by standard methods. Also, total concentration of elements in soil samples were measured by ICP-OES instrument. The obtained data were compared with permissible values and geochemical indices (EF,  $I_{geo}$ ,  $C_f$ ,  $C_d$ , PLI, RI) were also calculated. The obtained data were statistically analyzed using multivariate methods (correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis) and finally the zoning map of soil contamination were drawn. The results generally showed that in the studied soil samples, the average concentration of total As (15.45 mg/Kg), Cd (0.95 mg/Kg), Co (15.8 mg/Kg), Pb (32.5 mg/Kg), Zn (79.5 mg/Kg), Ca (128325 mg/Kg) and Mg (19840 mg/Kg) are higher than local background sample; while the average of total concentrations of Cu (29.25 mg/Kg) and Ni (41.95 mg/Kg) are close to local background level and the concentration of Cr (54.8 mg/Kg) is lower than its corresponding local level. Also pH of the studied soil samples is moderately alkaline to very alkaline (8-8.87) and higher than those control soil sample. The calculated geochemical indices indicated that the studied soil samples were substantially contaminated by metals particularly in the direction of prevailing wind. Based on the results of statistical analysis, the elements Cd, As, Pb, Zn, Co, Mg and Ca are mainly from anthropogenic sources (activity of the cement factory) in soils of the studied area, while Ni, Cr and Cu have probably natural source. In general, this study concludes that activity of Abyek cement plant is possible source of metal contamination in neighboring soils.

**Keywords:** Abyek cement factory, metal contamination, dust, geochemical indices.



Shahrood University of Technology  
Faculty of Earth Sciences

# **Investigation on soil metal contamination in the vicinity of Abyek cement plant (Alborz Province)**

**Samane Moosavi**

Supervisor

**Dr. A. Qishlaqi**

February 2016