

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی

ژئوشیمی زیست‌محیطی و کانی‌شناسی غبارهای جوّی دشت سیستان،

جنوب شرق ایران

نگارنده:

پروانه نوری پناه

استاد راهنما:

دکتر گیتی فرقانی تهرانی

تیر ۱۳۹۷

چکیده

در این مطالعه غلظت عناصر اصلی و جزئی در گرد و غبار محیط‌های شهری دشت سیستان مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ۱۱ نمونه گرد و غبار از محیط‌های خارجی، ۴ نمونه از محیط‌های داخلی، و یک نمونه رسوب معرف از تالاب هامون برداشت شد. ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها (pH و درصد کربنات) با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. کانی‌شناسی ذرات با استفاده از تکنیک پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌های EDX مورد بررسی قرار گرفت. غلظت عناصر اصلی و جزئی، پس از هضم نمونه‌ها توسط تیزاب سلطانی، با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. شدت آلودگی نمونه‌ها با استفاده از محاسبه ضرایب ژئوشیمیایی ارزیابی شد و خطر سلامتی عناصر بالقوه سمی با استفاده از دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که غلظت عناصر سرب، نیکل، کروم، روی و مس از ترکیب پوسسته بالایی، خاک میانگین جهانی، و نمونه رسوب برداشت شده از تالاب هامون بالاتر است. نتایج آنالیز همبستگی و تحلیل خوشه‌ای نشانگر تفکیک عناصر بر مبنای رفتار ژئوشیمیایی و منشأهای متفاوت آنها است. بر اساس این نتایج، منشأ عناصر کروم، نیکل، سرب، مس و روی از فعالیت‌های انسان می‌باشد. محاسبه ضریب غنی‌شدگی نشان می‌دهد که نمونه‌های داخلی نسبت به نمونه‌های خارجی به عنصر روی غنی‌شدگی قابل توجه دارند. همچنین میانگین ضریب غنی‌شدگی برای عنصر سرب در نمونه‌های برداشت شده از محیط خارج در رده فاقد آلودگی قرار می‌گیرد در حالی که نمونه‌های برداشت شده از محیط‌های داخلی نسبت به این عنصر در رده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. محاسبه ضریب آلودگی نشان می‌دهد که نمونه‌ها نسبت به عناصر آلومینیم، آهن، اسکاندیم، تیتانیم، استرانسیم، کبالت، آنتیموان، منگنز و مولیبدن دارای آلودگی پایین، نسبت به سرب، آرسنیک، کروم، کادمیم و مس دارای آلودگی متوسط، و نسبت به نیکل و روی دارای آلودگی قابل توجه می‌باشند. شاخص بار آلودگی همه نمونه‌ها بالاتر از صفر است. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامتی نشان می‌دهد که عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار از نظر اثرات مزمن سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی در محدوده ایمن و فاقد خطر سلامتی قرار دارند. طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌های EDX نشان می‌دهد که بخش عمده ذرات از کلسیت و کوارتز تشکیل یافته است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌های EDX نشان‌دهنده حضور برخی از فلزات سنگین مانند مس و آهن که جذب سطحی کانی‌ها شده‌اند است. با توجه به حجم بالای ذرات گرد و غبار در منطقه و آلودگی نمونه‌ها به عناصر بالقوه سمی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی جهت کاستن اثرات مخرب غبارهای جوّی بر سلامت ساکنین ضروری است.

کلمات کلیدی: عناصر بالقوه سمی، گرد و غبار، ارزیابی خطر سلامتی، دشت سیستان

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه و تعریف مسأله.....
۳	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۴	۳-۱- اهداف پژوهش.....
۴	۴-۱- روش انجام پژوهش.....
۵	۵-۱- جمعیت دشت سیستان.....
۵	۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.....
۵	۷-۱- اقلیم منطقه.....
۶	۱-۷-۱- ویژگی‌های باد ۱۲۰ روزه سیستان.....
۷	۸-۱- خاک‌شناسی منطقه.....
۷	۹-۱- زمین‌شناسی منطقه.....

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

۱۴	۱-۲- مقدمه.....
۱۴	۲-۲- آلودگی هوا.....
۱۵	۳-۲- گرد و غبار.....
۱۶	۴-۲- ذرات معلق و آئروسول‌ها.....
۱۶	۵-۲- منابع تولید کننده گرد و غبار و عوامل فراوانی آن.....
۱۷	۶-۲- اثرات زیست‌محیطی گرد و غبارات اتمسفر.....
۱۸	۱-۶-۲- اثر بر سلامتی انسان.....
۱۹	۲-۶-۲- اثر بر سیستم آب و هوایی.....
۲۰	۳-۶-۲- اثر بر چرخه بیولوژیک.....
۲۰	۷-۲- خواص فیزیکی-شیمیایی ذرات گردوغبار.....
۲۰	۱-۷-۲- ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار.....
۲۱	۲-۷-۲- شکل و اندازه ذرات گرد و غبار.....

۸-۲- مطالعات انجام شده بر روی غلظت فلزات سنگین و کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار.....۲۲

فصل سوم: روش انجام پژوهش

۱-۳- مقدمه.....	۲۹
۲-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های گردوغبار.....	۲۹
۳-۳- ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها.....	۳۱
۱-۳-۳- اندازه‌گیری pH.....	۳۱
۲-۳-۳- اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم.....	۳۲
۴-۳- تعیین غلظت کل کاذب عناصر در نمونه‌های گردوغبار.....	۳۳
۵-۳- ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌ها.....	۳۳
۱-۵-۳- ضریب غنی‌شدگی.....	۳۳
۲-۵-۳- ضریب زمین‌انباشت.....	۳۵
۳-۵-۳- ضریب آلودگی.....	۳۵
۴-۵-۳- شاخص بار آلودگی.....	۳۶
۵-۵-۳- شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی.....	۳۷
۶-۳- ارزیابی ریسک سلامتی.....	۳۸
۷-۳- بررسی کانی‌شناسی ذرات گردوغبار توسط پراش اشعه ایکس (XRD).....	۴۰
۸-۳- بررسی شکل و اندازه ذرات توسط اسکن میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDX).....	۴۰
۹-۳- روش‌های آماری تحلیل داده‌ها.....	۴۱
۱-۹-۳- ضریب همبستگی.....	۴۱
۲-۹-۳- تحلیل خوشه‌ای.....	۴۲

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده‌ها

۱-۴- مقدمه.....	۴۴
۲-۴- بررسی خواص فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها.....	۴۴
۱-۲-۴- بررسی pH نمونه‌های گردوغبار.....	۴۴
۲-۲-۴- بررسی مقدار کربنات کلسیم نمونه‌های گردوغبار.....	۴۵
۳-۴- ارزیابی غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های گرد و غبار.....	۴۶

۵۰	..... مس ۱-۳-۴
۵۰	..... سرب ۲-۳-۴
۵۱	..... روی ۳-۳-۴
۵۲	..... نیکل ۴-۳-۴
۵۳	..... روی ۵-۳-۴
۵۵	..... تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و تعیین منشأ عناصر ۴-۴
۵۵	..... تحلیل همبستگی ۱-۴-۴
۵۷	..... تحلیل خوشه‌ای ۲-۴-۴
۵۸	..... ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌های گرد و غبار ۵-۴
۵۸	..... ضریب غنی‌شدگی ۱-۵-۴
۶۱	..... ضریب زمین انباشت ۲-۵-۴
۶۲	..... ضریب آلودگی ۳-۵-۴
۶۳	..... ضریب بار آلودگی ۴-۵-۴
۶۴	..... شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی ۵-۵-۴
۶۵	..... ارزیابی ریسک سلامتی ۶-۴
۶۸	..... بررسی کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار ۶-۴
۶۹	..... بررسی شکل و اندازه ذرات گرد و غبار بر اساس تصاویر SEM-EDX ۷-۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۷۶	..... مقدمه ۱-۵
۷۶	..... مروری بر نتایج بدست آمده از این مطالعه ۲-۵
۷۹	..... پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ۳-۵

فهرست منابع

۸۱	..... منابع فارسی ۸۱
۸۱	..... منابع انگلیسی ۸۱

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره	صفحه
جدول ۱-۳- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه (UTM).....	۳۰
جدول ۲-۳- طبقه بندی pH.....	۳۲
جدول ۳-۳- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی.....	۳۴
جدول ۴-۳- رده‌بندی مولر بر مبنای ضریب زمین انباشت.....	۳۵
جدول ۵-۳- رده‌بندی ضریب آلودگی.....	۳۶
جدول ۶-۳- مقادیر عامل پاسخ سمیت برای آلاینده‌ها.....	۳۷
جدول ۷-۳- رده‌بندی شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی.....	۳۷
جدول ۸-۳- مقادیر RfD و SF برای خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی عناصر.....	۴۰
جدول ۱-۴- pH نمونه‌های گرد و غبار.....	۴۴
جدول ۲-۴- درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های گردوغبار.....	۴۵
جدول ۳-۴- غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های گرد و غبار.....	۴۸
جدول ۴-۴- مقادیر همبستگی بین عناصر اصلی و جزئی.....	۵۶
جدول ۵-۴- مقایسه میانگین ضرایب غنی‌شدگی در محیط‌های داخلی و خارجی.....	۶۰
جدول ۶-۴- آمار توصیفی ضرایب زمین‌انباشت در نمونه‌های گرد و غبار.....	۶۲
جدول ۷-۴- مقادیر ADD محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه.....	۶۵
جدول ۸-۴- مقادیر HQ برای عناصر مورد مطالعه.....	۶۶
جدول ۹-۴- مقادیر HI، HIIt و HLCR برای عناصر سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا.....	۶۶
جدول ۱۰-۴- نتایج حاصل از آنالیز XRD نمونه‌های گردوغبار در منطقه مورد مطالعه.....	۶۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- نمایی از تالاب هامون در زمان پر آبی و خشکسالی.....	۴
شکل ۲-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۱۰
شکل ۱-۳- نمونه رسوبگیر مورد استفاده در این مطالعه.....	۳۰
شکل ۲-۳- سایت‌های نمونه‌برداری در شهرستان زابل.....	۳۱

- شکل ۳-۳- سایتهای نمونه برداری در شهرستان های نیمروز، زهک، هامون و هیرمند..... ۳۱
- شکل ۴-۱- تغییرات غلظت عناصر Fe, Al, Sc, Sr, Mo, Mn, Cd, Co, As, Ti در نمونه ها..... ۴۹
- شکل ۴-۲- تغییرات غلظت عناصر Pb, Zn, Ni, Cr, Cu در نمونه ها ۵۱
- شکل ۴-۳- نمودار ستونی توزیع عنصر اسکاندیم در نمونه های مورد مطالعه..... ۵۹
- شکل ۴-۴- میانگین ضرایب غنی شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های گرد و غبار..... ۶۳
- شکل ۴-۵- میانگین ضرایب زمین انباشت عناصر مورد مطالعه در نمونه های گرد و غبار..... ۶۴
- شکل ۴-۶- میانگین ضرایب آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های گرد و غبار..... ۶۳
- شکل ۴-۷- ضریب بار آلودگی نمونه های گرد و غبار به عناصر مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۴-۸- شاخص خطر بالقوه زیست محیطی نمونه های گرد و غبار به عناصر مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۴-۹- شاخص خطر عناصر غیر سرطان زا در گرد و غبار..... ۶۷
- شکل ۴-۱۰- خطر سرطان زایی برای عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار..... ۶۸
- شکل ۴-۱۱- تصاویر SEM-EDX کانی کوارتز، دوده و فلدسپار..... ۷۱
- شکل ۴-۱۲- تصاویر SEM-EDX کانی های هالیت و بیوتیت..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳- تصاویر SEM-EDX کانی آل بیت..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴- تصاویر SEM-EDX کانی هماتیت..... ۷۳
- شکل ۴-۱۵- تصاویر SEM-EDX کانی های کلسیت و ژیپس..... ۷۴

فصل اول

کلیّات

یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی مناطق خشک و نیمه خشک جهان، افزایش میزان غبارهای جوّی^۱ است (Lawrence and Neff, 2009). غبارهای جوّی نقش مهمی در فرآیندهای نوری، فیزیکی و شیمیایی جو ایفا می‌کنند (Knippertz et al., 2014) و کیفیت آب و هوا، سلامت انسان و اکوسیستم‌ها را با خطر مواجه می‌سازند (Xi and Sokolik, 2011). غبارهای جوّی از منابع مختلف طبیعی (مانند فرسایش خاک و فورانهای آتشفشانی) و انسانزاد (مانند احتراق سوخته‌های فسیلی و استفاده از وسایل نقلیه موتوری) منشأ می‌گیرند (Kim et al., 2007) و می‌توانند از طریق مسیرهای بلع، استنشاق و تماس پوستی وارد بدن انسان شده و سلامت افراد را به خطر اندازند (Praveen et al., 2016). اثرات سلامتی غبارهای جوّی، توسط عوامل متعددی کنترل می‌شود، که مهم‌ترین این عوامل شامل غلظت عناصر بالقوه سمّی (TPE_s)، ترکیب کانی‌شناسی، توزیع اندازه، شکل و مورفولوژی ذرات غبار است (Bavec et al., 2015). همچنین غلظت عناصر بالقوه سمّی به شدت به توزیع اندازه ذرات غبار و کانی‌شناسی آن‌ها وابسته است. از این‌رو ارزیابی خطرات بالقوه غبارهای جوّی بر سلامتی انسان، مستلزم بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و شیمیایی این ذرات است (Wang et al., 2006).

دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان و در مرز ایران با پاکستان و افغانستان واقع شده است. این دشت به عنوان پر بادترین دشت جهان شناخته شده است و منبع اصلی تولید گرد و غبار در جنوب غرب آسیا می‌باشد (Rashki et al., 2013)، به گونه‌ای که سالیانه حدود ۸۱ طوفان گرد و غبار در منطقه تولید می‌شود (Goudi and Middleton, 2000). هنگام تابستان، منطقه سیستان تحت تأثیر یک سیستم پرفشار ناشی از باران‌های موسمی جنوب آسیا قرار می‌گیرد. این شرایط برای توسعه باد ۱۲۰ روزه مناسب است. باد ۱۲۰ روزه سیستان از اواسط خرداد تا اواسط مهر در منطقه جریان دارد. حداکثر ورزش باد در تیرماه رخ می‌دهد و سرعت آن به صد کیلومتر در ساعت می‌رسد که باعث

^۱ Atmospheric Dusts

جابجایی ریگ‌های روان و ایجاد طوفان‌های شن می‌گردد. همچنین خشک شدن تالاب بین‌المللی هامون در اثر سدسازی‌های بی رویه بر روی منابع تغذیه‌کننده آب تالاب هامون (رودخانه هیرمند)، تغییر اقلیم، کمبود رطوبت خاک و فقدان پوشش گیاهی باعث گردیده است تا رسوبات تالاب هامون در معرض مستقیم وزش باد قرار گرفته و از پتانسیل فرسایش‌پذیری بالایی برخوردار گردد و طوفانهای متعدد گرد و غبار در منطقه رخ دهد (Shahriyari, 2008). تعداد روزهای توفانی در دشت سیستان از سال ۱۹۹۹ به سرعت افزایش یافته و بسیاری از مناطق دریاچه هامون به بیابان تبدیل شده است (Shahriyari, 2008). در شکل ۱-۱ نمایی از تالاب هامون در زمان پرآبی (حدود ۱۰ سال پیش) و خشکسالی (حال حاضر) نشان داده شده است. هدف از این مطالعه، ارزیابی غلظت عناصر اصلی و جزئی در گرد و غبار دشت سیستان، ارزیابی خطر سلامتی عناصر بالقوه سمی و بررسی کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار منطقه است.



شکل ۱-۱: نمایی از تالاب هامون در زمان پرآبی و خشکسالی

۲-۱- ضرورت انجام پژوهش

سازمان بهداشت جهانی در گزارش اخیر خود در سال ۲۰۱۶ به بررسی آلودگی هوا در ۲۹۷۳ شهر از ۱۰۳ کشور جهان که ۲۵ شهر ایران نیز در آن دیده می‌شود، پرداخته است. در این گزارش، شهرستان زابل (یکی از شهرستانهای دشت سیستان) به علت بالا بودن غلظت ریزگردها در جو (۲۷۱ میکروگرم

ذرات معلق در هر مترمکعب هوا) در مقایسه با حداکثر غلظت مجاز ذرات معلق در هوا (۲۵ میکروگرم در هر مترمکعب) به عنوان آلوده‌ترین شهر جهان معرفی شده است، به عبارت دیگر، غلظت گرد و غبار در شهر زابل ۱۱ برابر مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد (Miri et al., 2007). گسترش بیماری‌های ریوی، آسمی و آلرژی‌ها از پیامدهای این پدیده است، به نحوی که شمار مبتلایان به عفونت‌های ریوی در این منطقه در مقایسه با سایر نقاط کشور به مراتب بیشتر است (Shahriyari, 2008). در مطالعه‌ای که توسط میری و همکاران در شهر زابل از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ صورت گرفته است، هزینه اعمال شده توسط بیماری‌های تنفسی بیش از ۷۰ میلیون دلار تخمین زده شده است (Miri et al., 2007). به رغم اهمیت موضوع، تا کنون مطالعه‌ای در مورد ارزیابی غلظت عناصر بالقوه سمی در غبارهای منطقه، و بررسی ریسک سلامتی ناشی از این عناصر صورت نگرفته است، بنابراین انجام مطالعه‌ای در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۱- اهداف پژوهش

اهداف کلی این تحقیق عبارتند از:

- ۱- تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی در گرد و غبار جوئی دشت سیستان
- ۲- بررسی کنای‌شناسی غبارهای جوئی
- ۳- ارزیابی پتانسیل آسیب‌رسانی گرد و غبار جوئی بر سلامت

۴-۱- روش انجام پژوهش

- ۱- انجام مطالعات دفتری و کتابخانه‌ای شامل بررسی زمین‌شناسی منطقه، مطالعه ویژگی‌های آب و هوایی، و مروری بر مطالعات انجام شده گذشته در منطقه مورد مطالعه و در جهان
- ۲- مطالعات میدانی شامل نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها.
- ۳- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های برداشت شده

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از محاسبه شاخص‌های ارزیابی کمی آلودگی و تحلیل‌های آماری

۵- نگارش و تدوین پایان نامه

۱-۵- جمعیت دشت سیستان

دشت سیستان با مساحت حدود ۱۵۲۰۰ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. فاصله مرکز شهرستان زابل تا مرکز استان (زاهدان) ۲۱۳ کیلومتر است. شهرستان زابل دارای ۶ مرکز شهری، ۵ بخش، ۱۷ دهستان و ۸۸۵ آبادی دارای سکنه می‌باشد. بر اساس سرشماری رسمی سال ۱۳۹۰، جمعیت شهرستان زابل ۱۷۱۹۴۰ نفر برآورد شده است.

۱-۶- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه سیستان در جنوب شرقی ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان، در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی در مرز ایران با افغانستان و پاکستان واقع شده است (Rashki et al., 2013). شهرستان زابل از شمال به شهرستان نیمروز، از شرق به شهرستان هیرمند، از جنوب به شهرستان‌های هامون و زهک و از غرب به شهرستان هامون محدود می‌شود (Shahriyari, 2008). عمده درآمد ساکنین این منطقه از کشاورزی و دامپروری می‌باشد.

۱-۷- اقلیم منطقه

دشت سیستان در طبقه بندی اقلیمی، منطقه‌ای با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است (Rashki et al., 2012). با توجه به آمار درجه حرارت ایستگاه سینوپتیک زابل، گرمترین ماه سال تیرماه (۴۸/۴ درجه سانتی گراد)، بیشترین درصد رطوبت هوا در دی ماه (۲۰ درصد) و بیشترین سرعت باد در تیر ماه (۸۱/۹ کیلومتر بر ساعت) می‌باشد. در دشت سیستان میزان بارندگی سالانه حدود ۶۱ میلی‌متر و

متوسط تبخیر سالانه ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. بارش اندک، تبخیر شدید، عدم تغذیه به وسیله رودخانه‌های موجود در منطقه و وزش بادهای گرم و خشک متعدد و شدید و متوالی زمینه را برای ایجاد توفان‌های گرد و غبار در این منطقه فراهم می‌کند (Rashki et al., 2015). عمده بارش منطقه در فصل زمستان صورت می‌گیرد و میزان بارش در فصل تابستان صفر است. همچنین پراکنش فصلی بارش در در سطح منطقه نیز حاکی از آن است که ۷۵ درصد از بارش سالانه در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند صورت می‌گیرد و در سایر ماه‌ها مقدار بارش در منطقه بسیار ناچیز می‌باشد. لذا رژیم بارندگی در این منطقه نیز مانند اکثر نقاط ایران یک رژیم مدیترانه‌ای بوده و در آن عمده بارش در فصل سرد سال صورت می‌گیرد و در فصل تابستان بارندگی در سطح منطقه صورت نمی‌گیرد.

۱-۷-۱- ویژگی‌های باد ۱۲۰ روزه سیستان

باد ۱۲۰ روزه سیستان به علت ویژگی توپوگرافی کوه‌های پالانگهان در غرب و کوه‌های بابایی و هندوکش در شمال تسریع می‌شود. زمانی که یک سیستم پرفشار بر روی کوه‌های هندوکش در شمال افغانستان ایجاد می‌شود و با یک سیستم کم فشار حرارتی در سرزمین‌های بیابانی شرق ایران و غرب افغانستان برخورد می‌کند یک گردبان فشار قوی تولید می‌شود (Rashki et al., 2013). سرعت باد در نزدیکی سطح زمین بالا است و باعث انتشار قابل توجه گرد و غبار از حوضه سیستان و حمل و نقل آن‌ها در مقیاس وسیع می‌شود. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان باعث حرکت ماسه‌های روان در منطقه می‌شود. این باد پس از آنکه سرعتش به هر دلیل از سرعت آستانه فرسایش کمتر شد مجبور به جاگذاری رسوبات خود در پای درختان، بوته‌ها، دیوارها و غیره می‌شود که اگر منشأ آنها شناسایی و کنترل نشود بتدریج کل منطقه را فرا خواهد گرفت. بیش‌ترین میزان وقوع پدیده گرد و غبار در طول فصل تابستان و در محدوده ایران و پاکستان رخ می‌دهد و زمان شروع پدیده گرد و غبار طی ماه‌های اردیبهشت و خرداد و حداکثر میزان وقوع آن‌ها ماه‌های تیر و مرداد می‌باشد (Goudie, 2001).

۸-۱- ویژگی‌های خاک‌شناسی منطقه

احداث سد بزرگ کجکی بر روی رودخانه هیرمند موجب کاهش ورودی آب به منطقه سیستان و در نتیجه کاهش رطوبت خاک در دشت‌های رسوبی سیستان و خشک شدن دریاچه‌های سه‌گانه هامون (هامون سابوری، هامون پوزک و هامون هیرمند) شده است (Rashki et al., 2012). با کاهش میزان رطوبت خاک، از یک سو آستانه فرسایش بادی یعنی حرکت ذرات خاک توسط باد کمتر شده و گرد و غبار با بادهای کم سرعت تر شروع به حرکت می‌کنند و از سوی دیگر با تبخیر شدید شوری خاک افزایش یافته، و املاح و نمک‌ها به صورت پودر در می‌آید و آستانه پایداری آن‌ها کاهش یافته، با وزش باد ذرات رسوب به صورت ریزگردها در هوا منتشر می‌شوند. از طرفی با کاهش رطوبت خاک پوشش گیاهی طبیعی که همانند بادشکن عمل می‌نمایند، نیز کمتر شده و سطح خاک آماده فرسایش می‌شود. در سال‌های اخیر به دنبال خشک شدن کامل دریاچه‌های سه‌گانه هامون زمین‌های خشکیده این دریاچه رسی-نمکی محل مناسبی برای انتشار ریزگردها در اتمسفر منطقه جنوب شرق ایران و گسترش آن در کشورهای افغانستان و پاکستان شده است.

۹-۱- زمین‌شناسی منطقه

دشت سیستان بصورت یک فرورفتگی تکتونیکی در بخش شرقی رشته کوه‌های شرق ایران (سلسله جبال مکران در بلوچستان که از حوالی زابل در سیستان شروع شده تا ناحیه بم پشت در بلوچستان امتداد می‌یابد) واقع شده است و از نظر زمین‌شناسی، ساختمان منطقه تحت تاثیر جنبش‌های کوه‌زایی آلپی قرار داشته است و گسل‌های متعددی در آن دیده می‌شود (Shahriyari et al., 2008). نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۲-۱ آورده شده است.

دشت زابل بخش کوچکی از حوضه رود افغانستان مرکزی است که با گسل هریرود از حوضه فیلیشی خاور ایران جدا شده است. بخش افغانی این فرونشست با رسوب‌های نئوژن - کواترنر پوشیده شده است و تنها در برخی نقاط لایه‌های چین‌خورده‌ی کرتاسه را می‌توان دید. در بخش جنوبی حوضه، دایک‌ها و کربناتیت‌های آتشفشانی با سن کواترنر نیز برونزد دارند. ولی در ایران به جز رخنمون کم ارتفاع کوه خواجه، بقیه دشت زابل با رسوبات دریاچه‌ای - آبرفتی پوشیده شده است و به همین‌رو اطلاعات چندانی از این فرونشست در دست نیست. بررسی‌های ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که روند کلی این دشت شمالی-جنوبی است و حجم قابل توجهی از نهشته‌های نئوژن تا کواترنر در آن انباشته شده‌اند که تنها ردیف‌های کواترنر آن ۲۵۰۰ متر ستبراً دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). در شمال باختری و باختر زابل گستره‌های وسیعی از روانه‌ها و سنگ‌های با سن الیگوسن - میوسن وجود دارد.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زابل واحدهای سنگی دشت سیستان به شرح زیر است:

واحد (Q^{al}): این واحد عمدتاً شامل رسوبات عهد حاضر به شکل مخروط افکنه است که در منطقه وجود دارد.

واحد (Q^s): این واحد در منطقه عمدتاً شامل ماسه بادی است و سن آن کواترنر می‌باشد.

واحد (Qt²): جنس این واحد شامل گراول و رسوبات مخروط افکنه است.

واحد (N_g^b): این واحد سنگی از بازالت و مقداری شیشه آتشفشانی تشکیل شده و سن آن نئوژن می‌باشد.

واحد (NQ^g): این واحد از رسوبات دریاچه‌ای و تراس‌های آبرفتی تشکیل شده که توسط گراول پوشیده شده است و سن آن میوسن - پلیوسن می‌باشد.

واحد (NQ^{ts}): این واحد شامل رسوبات دریاچه‌ای و تراس‌های آبرفتی می‌باشد و سن آن میوسن -

پلیوسن است.

سازند سفید آبه^f(Ku): این واحد لیتولوژیکی از رسوبات توربیدیتی (فیلیشی) و ترکیبات آتشفشانی تشکیل شده و سن آن کرتاسه بالایی است.

واحد (PI^c): این واحد سنگی از کنگلومرا تشکیل شده است و سن آن پلیوسن می باشد.

واحد (PLs): این واحد شامل تراس‌های ماسه‌ای و گراول است و سن آن پالئوسن می باشد.

واحد (P^e^d): جنس این واحد سنگی عمدتاً از رسوبات فیلیشی توربیدیتی ساب گریوک است و سن آن پلیوسن می باشد.

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

آلودگی هوا را می‌توان به صورت حضور ترکیب‌های موجود در جوّ که سمّی، محرک، و برای بشر مضر هستند، یا باعث وارد آمدن آسیب به گیاهان، جانوران و اموال می‌شوند، توصیف کرد (Eby, 2004). ذرات جامد، آئروسول و گرد و غبار عبارات رایجی هستند که به طور معمول در موضوعات مربوط به آلودگی هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ذرات از منابع طبیعی (افشانه‌های دریایی، هوازگی پوسته و گسیل‌های آتش‌فشانی) و انسانی (احتراق سوخت‌های فسیلی، انتشارات صنعتی، ساخت و ساز و تردد خودروها) منشأ می‌گیرند (D'Almeida et al., 1991). مطالعات نشان می‌دهد که آلاینده‌های جوّی تاثیر قابل توجهی بر سلامت و همچنین میزان پراکندگی و جذب تابش خورشید دارند (Pope, 2000). برآورد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1997) نشان داده است که سالانه ۵ میلیون نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق هوا برد موجود در هوای آزاد دچار مرگ زودرس می‌شوند. همچنین این سازمان برآورد نموده است که هزینه سالانه مصرف شده برای بخش سلامتی و بهداشت ناشی از آلودگی هوا معادل ۶ درصد از کل مرگ و میرها در جهان است. حدود نیمی از این ارقام ناشی از وسایل نقلیه می‌باشد. از سوی دیگر، هوای داخل ساختمان می‌تواند ده برابر بیشتر از هوای آزاد آلوده باشد. از طرفی افراد بیش از ۸۰ درصد از وقت خود را در محیط‌های داخلی، دفاتر و خانه‌ها صرف می‌کنند (Hunt and Johanson., 2000). از این رو بررسی کیفیت هوای در محیط‌های شهری و به ویژه در محیط‌های داخلی ضروری بنظر است (Li et al., 2010).

۲-۲- آلودگی هوا

آلودگی هوا عبارتست از وجود ترکیبات گازی، مایع و یا مخلوطی از آنها در هوا که بسته به منشأ تولید، غلظت و مدت زمان حضور در جوّ بتوانند به طور مستقیم یا غیر مستقیم سلامتی و بهداشت انسان را به خطر انداخته، به جانوران، گیاهان، ساختمان‌ها و اجسام آسیب رسانده و به طور کلی رفاه و آسایش عمومی و تعادل طبیعی محیط‌زیست و جوّ را مختل سازد (Praveen et al., 2016).

۲-۳- گرد و غبار

گرد و غبار یکی از ترکیبات اصلی ذرات معلق تروپوسفر در سراسر جهان است و به منزله یک پارامتر کلیدی در مطالعات کیفیت جو مورد توجه قرار می‌گیرد (Rashki et al., 2013). گرد و غبار به ذرات جامد بزرگی که کمتر از ۷۵ میکرومتر قطر دارند گفته می‌شود. به دلیل منابع متنوع ذرات جوئی، تفاوت‌های زیادی در اندازه، مورفولوژی و ترکیب شیمیایی آن‌ها وجود دارد (Salma et al., 2001). این ذرات در اثر وزن خود ته نشین شده و ممکن است مدت زمانی در هوا معلق بمانند.

به‌طور کلی طوفان‌های گرد و غبار^۲ و یا طوفان‌های شن^۳ از پدیده‌های مهم هواشناسی است که معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک و در مواقعی رخ می‌دهد که تند بادی با سرعت بیش از آستانه فرسایش بوزد. وزش باد در سطح، ذرات خاک را جدا کرده و با خود حمل می‌کند. در این حالت ذرات خاک با اندازه‌های مختلف از بستر خود جدا شده و به‌صورت جهش، خزش و یا تعلیق به‌حرکت درآمده و به نقاط دور دست حمل می‌شود. طوفان‌های شن علاوه بر مشارکت ذرات ریز که دید را کم می‌نماید معمولاً همراه با مقادیر زیادی شن با اندازه‌های درشت‌تری است که در مجاورت سطح زمین حرکت می‌نماید؛ در حالی که ذرات بسیار ریزتر (۱/۰ میکرومتر تا ۰/۰۵ میکرومتر) در ارتفاع بسیار بالاتری از سطح زمین حرکت نموده و مسافت‌های بسیار طولانی را می‌پیماید و می‌تواند تعدادی از شهرهای یک یا چند کشور یا حتی قاره ای را تحت تاثیر قرار دهد (Knippertz et al., 2014). فاصله‌ی حمل ذرات تابع مستقیم اندازه‌ی ذرات است. ذرات کوچک ممکن است تا فواصل بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر را طی کنند. این ذرات غبار، اصطلاحاً زمینه طبیعی ذرات معلق جوئی هستند. اما فعالیت‌های انسان مثل کاربری زمین نیز اثر گذار است (Eby, 2004). ذرات معلق در جو از دو طریق بارش خشک و بارش تر رسوب می‌کنند که روش غالب فرونشست به نوع، گونه شیمیایی و فاکتورهای هواشناسی نظیر شدت و توزیع بارندگی، بستگی دارد. انتشار فلزات سنگین با اتصال به ذرات گرد و غبار در مقیاس وسیعی در محیط روی می‌دهد.

^۲ Dust Storm

^۳ Sand storm

خصوصیات جغرافیایی به عنوان اصلی‌ترین مشخصه منبع گرد و غبار محسوب می‌شود که برخی از آنها شامل شرایط خاک، میزان رطوبت، پوشش گیاهی، بافت خاک، زبری سطح و اشکال توپوگرافی می‌باشد. تثبیت ضعیف ذرات خاک، بارندگی کم، درصد کم پوشش گیاهی و سرعت زیاد باد عواملی هستند که شرایط را در جهت ایجاد گرد و غبار مهیا می‌کند. خشکی و افزایش بیابان زایی توسط فعالیت های بشر می توانند قابلیت نرخ تولید گرد و غبار حمل شده را افزایش دهد (Norouzi and Khademi, 2015). طوفان‌های گرد و غبار در فصول بهار و تابستان دارای فراوانی بیش تر و در فصول پاییز و زمستان دارای فراوانی کم تری هستند (Wang et al., 2006).

۲-۴- ذرات معلق (PM)^۴ و آئروسول‌ها^۵

ذرات معلق موجود در هوا به آن دسته از مواد پراکنده جامد یا مایع اطلاق می‌شود که قطر آیرودینامیکی آن‌ها از $10^{-4} \times 2$ میکرومتر بزرگ‌تر و از ۵۰۰ میکرومتر کوچکتر باشد (Abbasi et al., 2011). این مواد به‌عنوان شاخه‌ای از مواد آلاینده دارای تنوع و پیچیدگی بسیار زیادی در نظر گرفته می‌شوند. ذرات جامد یا مایع معلق در محیط گاز که قطر آنها کمتر از ۲۰ میکرون قطر است آئروسول نامیده می‌شوند (Allen et al., 2001). منشأ این ذرات، فرآیندهای طبیعی و انسانی است (Abbasi et al., 2011). بطور کلی مهمترین منابع تولید آئروسول‌ها و ذرات جوئی شامل خاک‌های رسی مناطق بیابانی، معدنکاری، اقیانوس‌ها که منبع مهمی برای ذرات نمک هستند، آتش‌سوزی جنگل‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی که باعث انتقال خاکستر و گاز به اتمسفر می‌شوند، استفاده از سوخت‌های فسیلی، ترافیک و صنایع می‌باشد.

۲-۵- منابع تولید گرد و غبار و عوامل فراوانی آن

یکی از پدیده‌های مهم جوئی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، افزایش غلظت غبارهای جوئی است، به نحوی که این پدیده از مهمترین مسائل زیست محیطی این مناطق محسوب می‌شود (Clarke et al., 2004).

^۴ Particular Matter

ترکیب معدنی و مورفولوژی ذرات گرد و غبار متغیر است و به مواد معدنی موجود در منطقه منبع بستگی دارد. برای درک طبیعت و منبع گرد و غبارها زمین شناسی، ژئومورفولوژی محل، نوع و جهت باد بسیار ضروری است (Zarasvandi et al., 2009). سهم هریک از منابع به وضعیت اقلیمی منطقه و میزان فعالیت انسانی بستگی دارد. بیش از ۸۰ درصد از ذرات معلق جو بوسیله انسانزاد تولید می‌گردند. بیشترین میزان وقوع پدیده گرد و غبار در طول فصل تابستان و در محدوده ایران و پاکستان رخ می‌دهد و زمان شروع پدیده گرد و غبار طی ماه‌های اردیبهشت و خرداد و حداکثر میزان وقوع آن‌ها ماه‌های تیر و مرداد می‌باشد (Faiz et al., 2009). زمانی که سرعت باد در بیابان‌ها از ۸ متر بر ثانیه بیشتر می‌شود، بسته به عواملی چون زبری سطوح، رطوبت خاک، اندازه ذرات، پوشش گیاهی، چسبندگی ذرات خاک و پستی و بلندی زمین، ذرات ریز وارد جریان اتمسفری شده و گرد و غبار اتمسفری تولید می‌شود (Xue et al., 2007). از طرف دیگر، به علت فقدان پوشش گیاهی در مناطق مستعد گرد و غبار با بارندگی کمتر از ۵۰ میلی‌متر در سال، با گرم شدن هوای این مناطق و حرکت آن به سمت بالا و برخورد آن با بادهای با سرعت زیاد تروپوسفری، جریان چرخشی متمایل به پایین ایجاد می‌شود که در برخورد این بادهای شدید با سطح زمین، طوفان‌های گرد و غبار تولید می‌شوند (Xue et al., 2007). تثبیت ضعیف ذرات خاک، بارندگی ناکافی، درصد پایین پوشش گیاهی و سرعت زیاد باد، عواملی هستند که شرایط را جهت ایجاد گرد و غبار در تابستان مهیا می‌سازد (Miri et al., 2007).

۲-۶- اثرات زیست محیطی گرد و غبار اتمسفر

ذرات موجود در جو، به‌ویژه آنهایی که توسط طوفان‌های گرد و غبار حمل می‌شوند می‌توانند بطور قابل ملاحظه‌ای بر محیط‌زیست در جهان تاثیر بگذارند (Clarke et al., 2004). بیشتر این اثرات به ترکیب شیمیایی مواد معدنی، غلظت توده گرد و غبار، توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی یا شکل ذرات گرد و غبار بستگی دارد (Xue et al., 2007).

۲-۶-۱- اثر بر سلامتی انسان

مطالعات زیادی در رابطه با اثرات ذرات معلق بر سلامت انسان صورت گرفته است. بهداشت عمومی و تعیین غلظت ذرات گرد و غبار به یک موضوع قابل توجه در مطالعات اپیدمیولوژیک تبدیل شده است. بطور کلی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات جوئی تعیین کننده اثرات بهداشتی این ذرات می باشد (Rashki et al., 2013). ذرات از سه مسیر وارد بدن انسان می شوند. استنشاق، بلع و تماس پوستی. استنشاق و بلع راه های اولیه قرار گرفتن در معرض ذرات معلق هستند. ذرات استنشاق شده از مسیر بینی و دهان وارد بدن می شوند و اثری که این ذرات بر بدن می گذارد بستگی به محل رسوب و اندام هدف در بدن انسان دارد (McClellan, 2000). اندازه ذرات گرد غبار معدنی پس از طی مسافت طولانی، نسبتاً کاهش می یابد و بنابراین می تواند سلامت انسان را از طریق استنشاق و ورود به قسمت های عمیق ریه با خطر مواجه سازد. استنشاق ذرات گرد و غبار و انباشت در بافت های ریه به عوامل مختلفی مثل اندازه ذرات، ترکیب ذرات و عملکرد شش ها بستگی دارد. آلودگی هوا دارای اثر سوء بر سیستم قلبی - عروقی و تنفسی است و همچنین باعث کاهش عملکرد ریه، تشدید آسم، افزایش خطر ابتلا به ذات الریه به ویژه در افراد مسن، وزن کم هنگام تولد، افزایش مرگ و میر در نوزادان، افزایش میزان عفونت های سیستم تنفسی و برونشیت می شود (Tager, 2005). در سال های اخیر مطالعاتی صورت گرفته که نشان می دهد سیلیس آزاد در گرد و غبار (کوارتز، تریدیمیت، کریستوبالیت) می تواند سبب مشکلات سلامتی و بطور کلی بیماری های ریوی (سیلیکوزیس) شود. گرد و غبار همچنین وسیله ای برای حمل اجزاء بیولوژیکی مانند باکتری ها، اندوتوکسین ها و قارچ ها می باشد (Pendergras, 1958). برخی از میکروارگانیسم ها مانند عوامل بیماری زا مانند (پاتوژن ها) به عنوان عامل بیماری هایی مثل (منیژیت) عمل می کنند. برخی دیگر مثل آندوتوکسین ها ممکن است به علائم التهاب مرتبط با آسم کمک کند. از طرفی میکروارگانیسم های زنده (از جمله پاتوژن ها) اغلب همراه گرد و غبار معدنی حمل می شوند که ممکن است باعث بیماری های همه گیر شود (Knippertz et al., 2014). ساختار دستگاه تنفسی اولین خط دفاعی در برابر رسوب ذرات استنشاقی می باشد. میزان بازدهی این سیستم به عوامل بسیاری از جمله الگوی تنفسی افراد و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ذرات استنشاقی بستگی دارد (Lehnert, 1993). در طی

ورزش کردن، کار سنگین و یا در محیط‌های با غلظت بالای ذرات گرد و غبار، تنفس از طریق دهان ممکن است صورت گیرد که اجازه می‌دهد تا ذرات بزرگتر وارد سیستم تنفسی شود. ذراتی که از طریق قسمت گلو و حلق دریافت می‌شوند وارد دستگاه هاضمه شده و در مدت کوتاهی هضم می‌شوند، مگر آن‌که وارد خون شوند. ذراتی که وارد نای می‌شوند به وسیله مژک‌ها از جریان هوای تنفسی جدا می‌شوند و در نهایت به دستگاه هاضمه راه می‌یابند (Chow et al., 2003). ذرات می‌توانند در تماس با پوست قرار بگیرند و از طریق عرق کردن بر روی پوست به صورت محلول درآمده و پس از آن جذب شوند (Morman et al., 2009). با این حال عوامل متعددی جذب پوستی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برخی از عوامل خارجی (شامل اندازه، مدت زمان در معرض قرارگیری، pH، حلالیت و واکنش‌پذیری و عوامل داخلی مانند سن و بافت پوست) می‌باشند (Morman et al., 2009). همچنین ذرات رسوب کرده بر روی پوست می‌توانند از طریق فعالیت دست به دهان به صورت خوراکی وارد بدن انسان شوند. طبق نظریه هاولی هر فرد می‌تواند با تماس دست به دهان باعث ورود ذرات به بدن شوند (۲۵ درصد برای کودکان و ۱۴ درصد برای بزرگسالان). ذرات استنشاق شده اثر شدیدتر و سریع‌تری دارند زیرا این ذرات می‌توانند از طریق سیستم تنفسی وارد خون شوند. سطح سیستم تنفسی صدها برابر بزرگتر از کل مساحت پوست انسان است، همچنین اندازه و شکل بخش‌های مختلف سیستم تنفسی برای رسوب ذرات بسیار مناسب است. ذرات ریز سبب کاهش میزان دید می‌شوند. کاهش میدان دید را می‌توان به عنوان یک فشار روانی در نظر گرفت (Abbasi et al, 2011).

۲-۶-۲- اثر بر سیستم آب و هوایی

گرد و غبار یک جز ماندگار در جو زمین است که غلظت آن عمدتاً در مناطق بیابانی افزایش یافته و ممکن است تا صدها و هزاران کیلومتر در سراسر جهان منتقل شود. حمل و نقل و در نهایت رسوب گرد و غبار پیامدهای شدیدی بر آب و هوا و اکوسیستم‌ها دارد (Knippertz et al., 2014). در طول حمل و نقل، گرد و غبار معدنی بصورت اجتناب ناپذیری با سایر اجزاء شامل گازهای جزئی واکنش‌های نشان می‌دهد که به نوبه‌ی خود باعث تغییر تعادل شیمیایی جو می‌شود. کانی‌های تشکیل دهنده ذرات گرد و غبار به شکل

مستقیم (از طریق جذب یا پراکندگی انرژی تابشی خورشید) و غیر مستقیم (اثر بر ابرها) و همچنین از طریق تغییر میزان دریافت انرژی زمین، بر اقلیم تأثیر می‌گذارد. درجه این تأثیرات بوسیله خواص فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار تعیین می‌شود (Knippertz et al., 2014). گرد و غبار غنی از کلسیم میزان اسیدیته جو را کاهش داده و باعث افزایش pH آب باران در مناطق منبع گرد و غبار می‌شود (Ookia and Uematsu, 2005).

۲-۶-۳- اثر بر چرخه بیولوژیک

گرد و غبار معدنی ممکن است دارای مواد مغذی مختلف مانند آهن، فسفر و نیتروژن باشد که اکوسیستم‌های زمینی، دریایی و بیولوژیک را حتی در مناطق دور از منطقه منبع گرد و غبار، تغییر می‌دهند (Knippertz et al., 2014). هنگامی که مواد آلی و معدنی سطح زمین به ذرات گرد و غبار اضافه می‌شوند تأثیر قابل توجهی بر اکوسیستم‌های زمینی و چرخه ژئوشیمیایی دارند (Lawrence and Neef, 2009).

۲-۷- خواص فیزیکی-شیمیایی ذرات گرد و غبار

تعیین خواص فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات جوئی در شناسایی منابع آنها بسیار مهم و ضروری می‌باشد. نوع و شدت پیامدهای حمل و نقل گرد و غبارهای معدنی بطور عمده به خواص فیزیکی و شیمیایی آنها بستگی دارد. خواص فیزیکیوشیمیایی ذرات شامل ترکیب، شکل و اندازه ذرات گرد و غبار می‌باشد.

۲-۷-۱- ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار

ترکیب متوسطی از گرد و غبارات معدنی وجود ندارد و این ذرات معمولاً دارای یک ترکیب ناهمگن هستند. ترکیب ذرات به خواص فیزیکی و شیمیایی یک نمونه گرد و غبار بستگی دارد، با این وجود بسیاری از نمونه‌های گرد و غبار حاوی سیلیکاتها مانند کوارتز، فلدسپات‌ها و نیز مقادیر مختلفی از کربنات‌ها، سولفات‌ها

و مواد آهن‌دار هستند (Knippertz et al., 2014). همچنین فرآیندهای خردایش در طول حمل و نقل و واکنش با سایر آئروسول‌ها و گازهای کمیاب باعث تغییر در ترکیب گرد و غبارات معدنی می‌شود. حضور کوارتز، کربنات‌ها و فلدسپات‌ها در گردوغبار معمولاً نشان‌دهنده منبع قاره‌ای آن‌هاست درحالی‌که حضور کانی‌های آلومینوسیلیکاتی دانه‌ریز و مواد معدنی رسی، نشانگر حمل و نقل در مسافت‌های طولانی‌تر است (Knippertz et al., 2014).

۲-۷-۲- شکل و اندازه ذرات گرد و غبار

اندازه ذرات گرد و غبار تحت تأثیر سه فاکتور مهم قرار می‌گیرد که عبارتند از: توزیع اندازه ذرات در منطقه منبع، فاصله از منبع و فرکانس و زمان ته‌نشست ذرات گرد و غبار. تأثیر توفان‌های گرد و غبار بر سلامتی عمدتاً تحت تأثیر اندازه ذرات قرار می‌گیرد. علاوه بر این، اندازه ذرات به شدت با سمیت آن مرتبط است (Hoang et al., 2014). دستگاه تنفسی مقصد اصلی ذرات استنشاق شده می‌باشد. ذرات بزرگتر معمولاً توسط بینی و گلو به دام می‌افتند اما ذرات استنشاق شده که کوچکتر از ۱۰ میکرون هستند به قسمت آلوئول‌ها می‌رسند و باعث ایجاد بیماری‌های مزمن ریوی شده و خطر ابتلا به برونشیت مزمن را افزایش می‌دهند. ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرون به قسمت‌های عمیق و کیسه‌های هوایی ریه می‌رسند. همچنین ذرات کوچکتر از ۰/۱ میکرون از ریه‌ها عبور کرده و از طریق دستگاه گردش خون به قسمت‌های مختلف بدن دسترسی پیدا می‌کنند (Hoang et al., 2014). هر چه فاصله منبع تولید ذرات گرد و غبار تا منطقه فرونشست بیشتر باشد، اندازه ذرات گرد و غبار ریزتر خواهد بود (Tager, 2005). مورفولوژی ذرات گرد و غبار معمولاً پیچیده است. بطور کلی شکل و مورفولوژی ذرات بر مساحت سطحی تأثیر می‌گذارد و باعث تغییر در واکنش‌های شیمیایی می‌شود (Knippertz et al., 2014). شکل و اندازه ذرات گرد و غبار بر میزان رسوب آن‌ها در اندام‌های بدن تأثیر گذار است (Bavec et al., 2014) و بنابراین نقش مهمی در نوع و میزان اثرگذاری آن‌ها بر سلامت انسان دارد (Bavec et al., 2016). علاوه بر این ترکیب عنصری ذرات به شدت وابسته به اندازه ذرات گرد و غبار است (Wang et al., 2006). توزیع اندازه گرد و غبار یکی از خواص مهم و

به عنوان عامل تأثیرگذار در فرآیندها، بویژه اثر آن بر تابش انرژی خورشید است (Knippertz et al., 2014). ذرات درشت در نزدیک منبع گرد و غبار ته‌نشین می‌شوند و در صورت تنفس بخش اعظم آن توسط خلط از بدن خارج می‌شود. از اثرات منفی این ذرات می‌توان به سوزش چشم و مشکلات پوستی، تخریب محصولات گیاهی، سوزش گلو و مشکلات گوارشی و صدمه به سیستم تنفسی اشاره کرد. ذرات درشت که کمتر از ۱۰۰ میکرومتر قطر دارند در نزدیک منبع گرد و غبار ته‌نشین می‌شوند و در صورت تنفس بخش اعظم آن توسط خلط از بدن خارج می‌شود. از اثرات منفی این ذرات می‌توان به سوزش چشم و مشکلات پوستی، تخریب محصولات گیاهی، سوزش گلو و مشکلات گوارشی و صدمه به سیستم تنفسی اشاره کرد. ذرات ریز که کمتر از ۱۰ میکرومتر قطر دارند مدت طولانی‌تری در جو باقی می‌مانند. بخش بزرگتر از ۱۰-۵ میکرومتر ذرات در قسمت فوقانی دستگاه تنفسی قرار می‌گیرند و بخش کوچکتر از ۵ میکرومتر به بافت‌های عمیق ریه و شش‌ها نفوذ کرده و باعث بیماری‌های ریوی می‌شوند (Pendergrass, 1958).

۲-۸- مطالعات انجام شده بر روی غلظت فلزات سنگین و کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار

مطالعه‌ای توسط سریواستاوا و همکاران (Srivastava et al., 2005) در شهر دهلی با موضوع بررسی اندازه ذرات آئروسول بوسیله تکنیک SEM-EDX صورت گرفت. در این مطالعه نمونه‌ها از دو منطقه غیر آلوده و آلوده در شهر دهلی در اندازه‌های مختلف برداشت شد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه مشخص شد که نمونه‌های مربوط به منطقه آلوده بدون در نظر گرفتن اندازه ذرات منشأ انسانی دارند در حالیکه در منطقه تمیز و غیرآلوده، ذرات درشت دارای منشأ طبیعی و ذرات ریزتر دارای منشأ انسانی هستند که انتقال ذرات از یک منطقه به منطقه دیگر را نشان می‌دهد.

جاهانسون و همکاران (Johanson et al., 2008)، برای ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در گرد و غبار سطحی در شهر بانکوک در تایلند، تأثیر توزیع اندازه ذرات بر روی میزان فلزات سنگین در گرد و غبار ته‌نشین شده بر سطح را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش اندازه ذرات تنها غلظت عنصر روی افزایش می‌یابد و همچنین نمونه‌هایی که از پارکینگ منازل جمع‌آوری

شده بودند دارای غلظت بالاتری از فلزات سنگین بودند.

نتایج مطالعه‌ی دیگری که توسط پاچاری و همکاران (Pachauri, 2013) در آگرا هند با عنوان بررسی خصوصیات ذرات گرد و غبار توسط آنالیز SEM-EDX انجام شده است نشان می‌دهد که غلظت ذرات گرد و غبار در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است که به دلیل رخداد طوفان‌های گرد و غبار در این منطقه می‌باشد. در این مطالعه شکل، اندازه و ترکیب عنصری ذرات توسط آنالیز SEM-EDX مورد بررسی قرار گرفت. قطر ذرات عمدتاً در گستره بین ۲ تا ۷۰ میکرومتر قطر دارد. در این مطالعه ذرات در ۳ گروه بیوژنیک، طبیعی و انسان‌زاد قرار گرفتند که بیشترین درصد ذرات مربوط به ذرات با منشأ طبیعی بود.

تائو و همکاران (Tao et al., 2013) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار ایستگاه‌های اتوبوس پکن و ارزیابی خطر سلامتی برای بزرگسالان پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نمونه‌های گرد و غبار حاوی غلظت بالای فلزات بالقوه سمی بویژه (Cd, Zn, Pb, Co, Cu, Ni, V, Mo, Cr) می‌باشند. همچنین بررسی ارزیابی خطر سلامتی برای شاخص سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات انتخاب شده نشان می‌دهد که عناصر مورد بررسی در محدوده ایمن قرار دارند.

مطالعه‌ای توسط کلارا و فتحی (Clare and Fathi, 2014) با استفاده از مایع شبیه سازی شده ریه روی زیست دسترس‌پذیری فلزات موجود در ذرات معلق (PM₁₀ و PM_{2.5}) در هوای شهر فرانکفورت آلمان صورت گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بسیاری از فلزات و شبه فلزات در مایعات شبیه سازی شده ریه قابل حل هستند. انحلال‌پذیری به شدت وابسته به pH است. همچنین با توجه به انحلال‌پذیری برخی عناصر تعدادی از فلزات مورد مطالعه در این پژوهش ممکن است دارای پتانسیل آسیب زدن به ریه از طریق استنشاق باشند.

در مطالعه‌ای که توسط کمانی و همکاران (Kamani et al., 2014) در زاهدان انجام شده است، میزان آلودگی توسط فلزات سنگین در کاربری‌های اراضی مختلف مود تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل از ضرایب غنی‌شدگی نشان می‌دهد که تقریباً در همه نمونه‌های شهری، فلزات سنگین نسبت به نمونه زمینه غنی‌شدگی دارند و آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار در مرکز شهر از منابع انسانی ناشی

می‌شود.

باوک و همکاران (Bavec et al., 2014) با مطالعه غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خانگی شهر ایدریجا در اسلوونی، نشان دادند که گرد و غبار مناطق شهری و روستایی اسلوونی، حاوی غلظت بالای جیوه و آرسنیک هستند. آلودگی جیوه در نمونه‌ها، به فعالیت معدنکاری نسبت داده شده است. همچنین این پژوهشگران نمونه‌ها را با مایع شبیه سازی شده اسید معده هضم کرده و دریافتند که فازهای اکسید جیوه هیچ نشانه‌ای از انحلال نشان نمی‌دادند در حالیکه دیگر فازهای حمل کننده عناصر بالقوه سمی، بطور قابل ملاحظه‌ای هضم شدند.

نتایج مطالعه‌ای که توسط لین و همکاران (Lin, et al., 2015)، در منطقه‌ای روستایی در چین بر روی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خانگی صورت گرفت نشان می‌دهد که مهمترین مسیر در معرض قرار گیری روزانه برای تمام عناصر بالقوه سمی، مخصوصاً برای کودکان، مسیر بلع است و خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در گرد و غبار خانگی، هر دو پایین‌تر از مقادیر مجاز است. همچنین میانگین غلظت فلزات سنگین بالاتر از مقادیر زمینه در خاک منطقه می‌باشد. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که بالاترین غلظت فلزات مربوط به عناصر سرب، روی، نیکل، کروم و مس می‌باشد. منشأ این عناصر عمدتاً از رنگ‌های بکار رفته در داخل خانه‌ها، اشیاء و مصالح ساختمانی می‌باشد.

باوک و همکاران (Bavec et al., 2016) به منظور تعیین زیست دسترس پذیری عناصر بالقوه سمی موجود در آئروسول‌ها، اسید معده‌ی انسان را شبیه‌سازی نموده و ذرات آئروسول نمونه برداری شده از ایدریجا (اسلوونی) را در معرض اسید معده شبیه‌سازی شده قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بخش در دسترس‌پذیر عناصر مورد مطالعه بسیار محدود است و در حقیقت عناصر بالقوه سمی غیر قابل متابولیزه شدن هستند.

مطالعه‌ای توسط پراوین و همکاران (Praveen et al., 2016)، با عنوان بررسی خصوصیات شیمیایی و ارزیابی خطر سلامتی خاک و ذرات آلوده به فلز و شبه فلزات در منطقه نیمه خشک آگرا (هند) انجام شد. طی این

پژوهش، قرارگیری در معرض ذرات معلق حاوی عناصر بالقوه سمی، خطر ابتلا به سرطان از طریق تماس پوستی، استنشاق و بلع را در گروه‌های سنی بزرگسال و کودکان افزایش می‌دهد. طبق نتایج این تحقیق مهم‌ترین مسیر در معرض قرارگیری این ذرات استنشاق می‌باشد. همچنین این نتایج نشان می‌دهد خطر بالقوه سلامت در کودکان بیشتر از بزرگسالان است.

سیلویان و همکاران مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۶ (Silvian et al., 2016)، به بررسی غلظت فلزات بالقوه سمی و زیست دسترس پذیری آن‌ها در اندازه‌های مختلف ذرات گرد و غبار منطقه معدنی و همچنین ارزیابی خطر سلامتی کودکان در شهر اروروی بولیوی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کودکان ارورو که در منطقه معدنی زندگی می‌کنند به شدت در معرض فلزات سنگین از طریق استنشاق ذرات گرد و غبار هستند. هانت و همکاران (Hunt et al., 2016) به منظور ارزیابی خطر بهداشتی عناصر بالقوه سمی در گرد و غبار شهری پکن مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که عناصر سرب و روی بیشتر از منابع انسانی در محیط شهری ایجاد می‌شوند. قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین موجود در گرد و غبار، خطرات غیرسرطان‌زایی قابل توجهی برای کودکان به همراه دارد اما برای بزرگسالان ناچیز است. خطر ابتلا به سرطان در کودکان به‌طور عمده توسط عناصر سرب، آرسنیک و آنتیموان و بطور عمده از مسیر بلع ایجاد می‌شود.

فصل سوم

روش انجام پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی غلظت عناصر جزئی در گرد و غبار دشت سیستان و همچنین بررسی کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار است. به این منظور، پس از انجام مطالعات پایه شامل بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، مطالعات اقلیمی (سرعت و جهت باد غالب منطقه)، نمونه‌برداری در مرداد ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار شامل pH و مقدار کربنات کلسیم اندازه‌گیری شد. غلظت کل کاذب عناصر اصلی و جزئی، پس از هضم نمونه‌ها با تیزاب سلطانی توسط دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیفهای (EDX) مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های به دست آمده با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این فصل نحوه نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و تحلیل داده‌ها به تفصیل بیان می‌شود.

۳-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های گرد و غبار

نمونه‌های گرد و غبار در طول یک ماه (تیر ۱۳۹۶) از ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری از پنج شهرستان واقع در دشت سیستان شامل هیرمند، زهک، هامون، زابل و نیمروز برداشت شد. نمونه‌های گرد و غبار خارجی با استفاده از رسوبگیر سیفونی (شکل ۳-۱) و نمونه گرد و غبار داخلی با استفاده از ایستگاه مکنده با کیسه‌های سلولزی برداشت شدند. همچنین از ۱۰ نقطه بستر تالاب هامون نمونه‌برداری شد سپس با هم مخلوط شد تا یک نمونه معرف بدست آید. در جدول ۳-۱ و شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و توصیف آن‌ها ارائه شده است.

پس از انتقال نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه، سنگریزه‌ها و ضایعات توسط پنس خارج شد و سپس نمونه‌ها از الک ۱۰ مش عبور داده شدند.

جدول ۳-۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه (UTM)

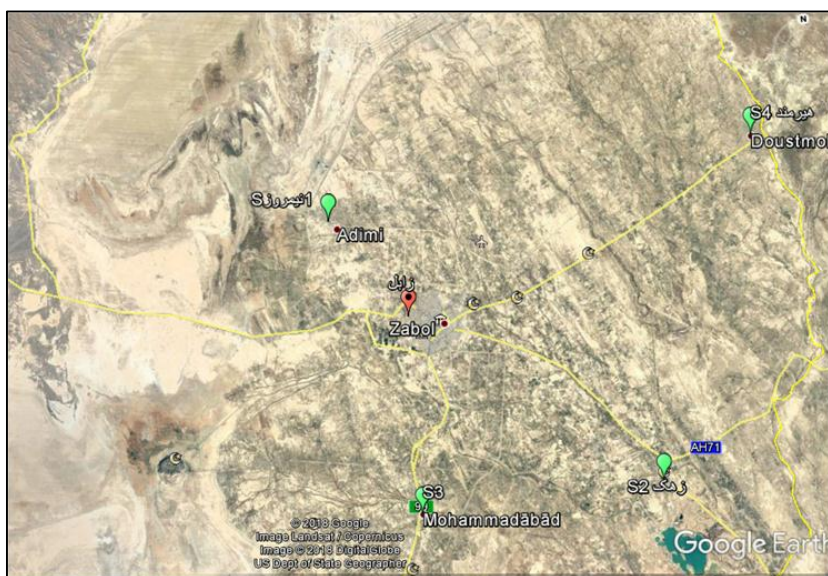
ایستگاه	Y	X
نیمروز (S1)	۳۴۳۲۲۷۸	۳۵۵۵۳۸
زهک (S2)	۳۴۳۵۵۲۴	۳۵۴۵۷۹
هامون (S3)	۳۴۱۷۹۳۰	۳۵۳۰۶۴
هیرمند (S4)	۳۵۱۸۰۰۹	۳۸۵۶۳۱
زابل (S5)	۳۴۳۵۹۸۵	۳۴۸۰۸۹
زابل (S6)	۳۴۳۴۲۷۷	۳۵۷۹۸۳
زابل (S7)	۳۴۳۲۲۷۸	۳۵۵۵۳۸
زابل (S8)	۳۴۳۲۵۶۲	۳۵۷۲۷۰
زابل (S9)	۳۴۳۲۳۵۹	۳۵۴۰۵۸
زابل (S10)	۳۴۳۳۵۳۱	۳۵۶۲۲۳
زابل (S11)	۳۴۳۳۷۷۴	۳۵۶۴۴۳۸
غبار خانگی (W1)	۳۴۳۱۵۶۹	۳۵۵۵۸۶
غبار خانگی (W2)	۳۴۳۲۷۹۴	۳۵۸۳۳۴
غبار خانگی (W3)	۳۴۳۲۷۸۸	۳۵۶۴۷۸
غبار خانگی (W4)	۳۴۳۳۷۷۹	۳۵۴۸۳۹



شکل ۳-۱: نمونه رسوبگیر مورد استفاده در این مطالعه



شکل ۳-۲: سایت‌های نمونه‌برداری در شهرستان زابل



شکل ۳-۳: سایت‌های نمونه‌برداری در شهرستان‌های هیرمند، نیمروز، هامون و زهک

۳-۳- ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها

خواص فیزیکی-شیمیایی مورد بررسی در این پژوهش شامل pH و درصد کربنات می‌باشد. pH و درصد کربنات در آزمایشگاه آب شناسی و زیست‌محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شد.

۳-۳-۱- اندازه‌گیری pH

pH نمونه‌ها با استفاده از روش استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (US EPA Test Method,

(1998, Method 9045) و پس از تهیه مخلوط ۱ به ۱ آب - جامد اندازه‌گیری شد. بر طبق این روش، ۲۰ گرم از نمونه عبور داده شده از الک ۰/۵ میلی‌متر در بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. سپس نمونه به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن قرار داده شد و مخلوط گردید. پس از این مرحله نمونه به مدت یک ساعت در حالت ساکن قرار گرفت و بعد از شفاف و زلال شدن محلول، pH توسط دستگاه pH متر کالیبره شده مدل YK- 2001 CT تعیین شد. در جدول ۲-۳، رده‌بندی سازمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA, 2003) برای مقادیر pH خاک ارائه شده است.

جدول ۲-۳: طبقه‌بندی pH (USDA, 2003)

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

۳-۲-۳- اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم

کلسیت فراوان‌ترین و متحرک‌ترین گونه کربنات‌های کلسیم در خاک است که بر روی pH خاک و ذرات گرد و غبار اثر می‌گذارد. برای اندازه‌گیری کربنات کلسیم از روش تیتراسیون برگشتی استفاده شد. در این روش ابتدا ۱ گرم از نمونه غبار ابتدا وزن شد و سپس به یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد و ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۱ نرمال به آن اضافه گردید. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه روی شیکر (همزن) قرار گرفت و سپس به مدت یک شب در آزمایشگاه قرار داده شد. سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و

سپس ۲ تا ۳ قطره فنل فتالئین به محلول هر ارلن اضافه شد. در نهایت توسط محلول هیدروکسید سدیم ۱ نرمال تیترا گردید تا رنگ صورتی ظاهر شود. با استفاده از حجم هیدروکسید سدیم مصرفی درصد کربنات از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\%CaCO_3 = [(10 \times NHCl) - (R \times N NaOH)] \times 0.05 \times \frac{100}{W_t} \quad (\text{رابطه ۳-۱})$$

در این رابطه، N_{HCl} نرمالیت هیدروکلریک اسید، N_{NaOH} نرمالیت هیدروکسید سدیم، R حجم هیدروکسید سدیم مصرف شده (بر حسب میلی‌لیتر)، و W_t وزن ماده جامد (غبار) مصرف شده (بر حسب گرم) می‌باشد.

۳-۴- تعیین غلظت کل کاذب عناصر در نمونه‌های گرد و غبار

غلظت کل کاذب عناصر در نمونه‌های گرد و غبار پس از هضم هر نمونه با تیزاب سلطانی ($HCl: HNO_3$, 3:1) توسط دستگاه ICP-OES آزمایشگاه شرکت زرآما اندازه‌گیری شد. تیزاب سلطانی همه اجزا به جز سیلیکات‌ها را هضم می‌کند و نشان‌دهنده حداکثر غلظتی است که زیست‌دسترس‌پذیر می‌باشد (Rao et al., 2008).

۳-۵- ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌ها

به منظور ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌ها از شاخص‌های ژئوشیمیایی مختلف مانند ضریب غنی‌شدگی، ضریب زمین‌انباشت، ضریب آلودگی، درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی و شاخص خطر بالقوه زیست محیطی استفاده شد.

۳-۵-۱- ضریب غنی‌شدگی^۶

یکی از روش‌های مناسب برای تفکیک منشأ عناصر در مواد جامد (طبیعی یا انسان‌زاد) محاسبه ضریب

^۶ Enrichment factor

غنی‌شدگی (EF) است. این ضریب نشان دهنده میزان افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است (Eby, 2004). ضریب غنی‌شدگی شاخصی مناسب برای تعیین منشأ طبیعی یا انسان‌زاد فلزات است. ضریب غنی‌شدگی از محاسبه نسبت غلظت عنصر مورد نظر در نمونه مورد مطالعه به غلظت همان عنصر در ماده مرجع به دست می‌آید که غلظت عنصر مورد نظر باید با یک عنصر مبناء که در محیط تغییرات اندک و غلظت یکنواختی داشته و متأثر از فعالیت‌های انسان‌زاد نیست بهنجار شود:

(رابطه ۳-۲)

$$EF = (C/C_{ref})_{Sample} / (C/C_{ref})_{Background}$$

در این رابطه EF ضریب غنی‌شدگی، C غلظت عنصر مورد بررسی و C_{ref} غلظت عنصر مرجع در پوسته قاره‌ای بالایی است. معمولاً از عناصری مانند Fe, Ti, Sc, Al و Si به عنوان عنصر مرجع استفاده می‌شود. در این پژوهش، عنصر اسکاندیم به دلیل تغییرات کمتر و غلظت یکنواخت آن در محیط به عنوان عنصر مرجع انتخاب شده است. همچنین از ترکیب پوسته فوقانی نیز به عنوان ماده مرجع استفاده گردید. در جدول (۳-۳) رده بندی ساترلند (Sutherland, 2000) برای توصیف درجه غنی‌شدگی ارائه شده است. رده بندی ضریب غنی‌شدگی در جدول (۳-۲) آورده شده است.

جدول ۳-۳: رده بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Eby, 2004)

EF	شدت غنی‌شدگی
$EF < 2$	فاقد غنی‌شدگی
$2 < EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط
$5 < EF < 20$	غنی‌شدگی قابل توجه
$20 < EF < 40$	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
$EF > 40$	غنی‌شدگی شدید

۳-۵-۲- ضریب زمین انباشت^۷

شاخص زمین انباشت اولین بار توسط مولر (Muller, 1969) معرفی شد از این ضریب برای ارزیابی آلودگی فلزی در محیط استفاده می‌شود. این ضریب توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(رابطه ۳-۳)

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

در این رابطه I_{geo} ضریب زمین انباشت، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه و B_n غلظت زمینه عنصر مورد مطالعه (ترکیب شیل میانگین) است. ضریب ۱/۵ برای تصحیح نوسانات طبیعی در آنالیز عناصر و تأثیرات ناچیز انسان‌زاد در مقایسه با زمینه به کار می‌رود. بر اساس ضریب زمین انباشت، ۷ رده آلودگی بر مبنای ضریب زمین انباشت تعریف می‌شود (جدول ۳-۳)

جدول ۳-۴: رده‌بندی مولر بر مبنای ضریب زمین انباشت (Muller, 1969).

رده آلودگی	شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})	شدت آلودگی
۱	کمتر یا مساوی صفر	غیر آلوده
۲	۰-۱	غیر آلوده تا کمی آلوده
۳	۱-۲	کمی آلوده
۴	۲-۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۵	۳-۴	خیلی آلوده
۶	۴-۵	خیلی آلوده تا به شدت آلوده
۷	بزرگتر از ۵	به شدت آلوده

۳-۵-۳- ضریب آلودگی^۸

ضریب آلودگی یک شاخص تک عاملی است که برای اولین بار توسط هاکنسون (Hakanson, 1980) استفاده

^۷ Geoaccumulation Index

^۸ Contamination Factor

شد و برای بیان وضعیت آلودگی یک محیط (گرد و غبار) نسبت به یک عنصر خاص استفاده می‌شود. ضریب آلودگی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_f = C_0/C_n$$

(رابطه ۳-۳)

در این رابطه C_f ، ضریب آلودگی، C_0 غلظت فلز در نمونه مورد مطالعه و C_n غلظت فلز در ماده مرجع می‌باشد که در این مطالعه از ترکیب پوسته بالایی به عنوان ماده مرجع استفاده شد. جدول ۳-۴ رده‌بندی ضریب آلودگی را نشان می‌دهد.

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

ضریب آلودگی	مقدار C_f
ضریب آلودگی پایین	$C_f < 1$
ضریب آلودگی متوسط	$C_f < 3$
ضریب آلودگی قابل توجه	$3 < C_f < 6$
ضریب آلودگی بسیار بالا	$C_f > 6$

۳-۵-۴- شاخص بار آلودگی

شاخص بار آلودگی برای ارزیابی اثرات آلودگی کل ناشی از فلزات مختلف محاسبه می‌شود و توسط رابطه زیر تعیین می‌شود:

(رابطه ۳-۴)

$$PLI = \sqrt[n]{CF1 \times CF2 \times CF3 \times \dots \times CFn}$$

در این رابطه PLI شاخص بار آلودگی و CF ضریب آلودگی عناصر مختلف است. اگر مقدار PLI کمتر از یک باشد، غلظت طبیعی و غیر آلوده را نشان می‌دهد و اگر این شاخص بزرگتر از یک باشد، نشان‌دهنده آلودگی فلزی است (Thomilson et al., 1980).

۳-۵-۵- شاخص خطر بالقوه زیست محیطی

شاخص خطر بالقوه زیست محیطی (RI) توسط هاکنسون (Hakanson., 1980) معرفی شده است. این شاخص برای بیان کمی خطرات بالقوه زیست محیطی آلاینده‌های مختلف استفاده می‌شود و شدت آسیب‌های زیست محیطی از آلاینده‌های فلزی مختلف بر روی یک بوم سامانه را نشان می‌دهد. این شاخص توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(رابطه ۳-۵)

$$RI = \sum_{i=1}^n Ei = \sum_{i=1}^n Ti \times Ci$$

در این رابطه RI شاخص خطر بالقوه زیست محیطی برای نمونه مورد مطالعه، Ei خطر بالقوه زیست محیطی برای آلاینده i و Ti عامل پاسخ سمیت برای آلاینده‌های مختلف است که مقدار آن توسط هاکنسون محاسبه شده است (جدول ۳-۵). Ci نیز ضریب آلودگی فلزات مدنظر است. در جدول (۳-۶) رده‌بندی هاکنسون برای توصیف شدت خطرات بالقوه زیست محیطی ارائه شده است.

جدول ۳-۶: مقادیر عامل پاسخ سمیت (Ti) برای آلاینده‌ها (Hakanson, 1980)

فلز	کادمیم	آرسنیک	مس	روی	سرب	کروم
Ti	۳۰	۱۰	۵	۱	۵	۲

جدول ۳-۷: رده‌بندی شاخص خطر بالقوه زیست محیطی (Hakanson, 1980)

مقدار RI	شدت خطر بالقوه زیست محیطی
RI < 150	خطر زیست محیطی پایین
150 < RI < 300	خطر زیست محیطی متوسط
300 < RI < 600	خطر زیست محیطی قابل توجه
RI > 600	خطر زیست محیطی بسیار بالا

۳-۶- ارزیابی ریسک سلامتی

یکی از روش‌های استاندارد جهت ارزیابی ریسک سلامتی استفاده از مدل ریاضی ارزیابی سلامت می‌باشد که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده امریکا ارائه شده است (USEPA, 1996; USPA, 1998). به منظور بررسی خطر سلامتی، ابتدا متوسط دریافت روزانه مسیر بلع (ADD_{ing})، تنفس (ADD_{inh}) و تماس پوستی (ADD_{derm}) از طریق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$ADD_{ing} = \frac{C \times R_{ing} \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

$$ADD_{inh} = \frac{C \times R_{inh} \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (\text{رابطه ۳-۷})$$

$$ADD_{derm} = \frac{C \times SA \times CF \times SL \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (\text{رابطه ۳-۸})$$

در این روابط، C، غلظت آلاینده در نمونه غبار (برحسب mg/kg)، R_{ing} ، نرخ بلع (برحسب mg/kg) برای کودکان ۲۰۰ و برای بزرگسالان ۱۰۰، CF، ضریب تبدیل (برحسب kg/mg) برای هر دو گروه سنی $10^{-6} \times 1$ ، EF، فراوانی در معرض قرارگیری (برحسب day/year) برای هر دو گروه سنی ۳۵۰، ED، مدت زمان در معرض قرارگیری (برحسب year) برای کودکان ۶ و برای بزرگسالان ۲۴، BW، وزن شخص (برحسب kg) برای کودکان ۱۵ و برای بزرگسالان ۵۵/۹، AT، زمان میانگین (برحسب day) $365 \times ED$ ، R_{inh} ، نرخ استنشاق (برحسب m^3/day) برای کودکان ۵ و برای بزرگسالان ۲۰، PEF، ضریب گسیل ذرات (برحسب m^3/kg) برای هر دو گروه سنی $10^9 \times 1/23$ ، SA، مساحت سطح پوست که در تماس با غبار است (برحسب Cm^2) برای کودکان ۱۸۰۰ و برای بزرگسالان ۵۰۰۰، SL، ضریب چسبندگی ذرات بر پوست (برحسب mg/Cm^2) برای هر دو گروه سنی ۱، ABS، ضریب جذب سطحی پوستی (بسته به ماده‌ی شیمیایی) برای هر دو گروه سنی ۰/۰۰۱ می‌باشد.

به منظور ارزیابی پتانسیل اثرات مزمن (غیرسرطان‌زایی) هر عنصر بالقوه سمی در نمونه‌های مورد مطالعه، ضریب خطر ($hazard\ quotient; HQ_i$) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

(رابطه ۳-۹)

$$HQ_i = \frac{ADD}{RfD_i}$$

در این رابطه، HQ ضریب خطر، ADD متوسط غلظت دریافت روزانه و RfD_i دوز مرجع (جدول ۳-۳) می-باشد و به مقداری اشاره دارد که باعث بروز هیچ گونه اثر منفی بر سلامت نمی‌شود. اگر مقدار ADD کمتر از دوز مرجع باشد (به بیان دیگر در صورتی که $HQ < 1$ باشد) در این صورت هیچ اثر منفی بوجود نخواهد آمد و در صورتی که مقدار ADD بیشتر از دوز مرجع باشد (به عبارت دیگر $HQ > 1$ باشد)، احتمال بروز اثرات منفی بر سلامت وجود دارد (USEPA, 1993).

به منظور ارزیابی پتانسیل کلی اثرات مزمن ناشی از قرار گرفتن در معرض بیش از یک آلاینده، شاخص خطر (HI, Hazard Index) از طریق رابطه زیر محاسبه شد (USEPA, 1989):

$$HI = \sum HQ \quad (\text{رابطه ۳-۱۰})$$

به منظور بررسی خطر غیرسرطانزایی از طریق مسیرهای مختلف بلع، استنشاق و تماس پوستی، ضریب خطر در معرض قرار گیری کلی (total exposure hazard index) از طریق رابطه زیر محاسبه گردید.

(رابطه ۳-۱۱)

$$HI_t = \sum HI_{inh} + HI_{ing} + HI_{derm}$$

همچنین پتانسیل اثرات مزمن (سرطان‌زایی) هر عنصر بالقوه سمی در نمونه‌های مورد مطالعه، از طریق رابطه زیر بدست آمد:

$$CR = ADD \times SF \quad (\text{رابطه ۳-۱۲})$$

در این رابطه، SF فاکتور شیب (Slope Factor) عنصر سرطان‌زا می‌باشد که مقادیر آن در جدول ۳-۸ ارائه شده است. مقدار قابل قبول CR در محدوده $1 \times 10^{-4} < CR \leq 1 \times 10^{-6}$ قرار دارد (Ma et al., 2018).

جدول ۳-۸: مقادیر RfD و SF برای خطر غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی (بر حسب mg/kg/day)

عناصر	Rfd _{Dermal}	Rfd _{Ing}	Rfd _{Inh}	SF _{ing}	SF _{inh}
As	$1/9 \times 10^{-3}$	3×10^{-4}		۱/۵	۱۵/۱
Cd	1×10^{-5}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	۶/۳	
Pb	$5/2 \times 10^{-4}$	$3/5 \times 10^{-3}$	$3/5 \times 10^{-3}$		
Zn	6×10^{-2}	3×10^{-1}	3×10^{-1}		
Ni					$8/4 \times 10^{-1}$
Cr					$4/1 \times 10^{-1}$

۳-۷- بررسی کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار توسط پراش اشعه ایکس (XRD)

با استفاده از تکنیک پراش پرتو ایکس، می‌توان فازهای بلورین موجود در نمونه‌های جامد را مشخص نمود. برای این منظور تعداد ۷ نمونه به آزمایشگاه کانی‌شناسی (XRD) دامغان جهت بررسی کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار فرستاده شد. مدل دستگاه XRD استفاده شده در این مطالعه PW1800 و ساخت کارخانه PHILIPS می‌باشد.

۳-۸- بررسی شکل و اندازه ذرات توسط اسکن میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDX)

به منظور بررسی شکل ذرات گرد و غبار از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۹ (SEM) ساخت شرکت TESCAN و مدل VEGA TS 1450 VP استفاده شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی یک روش مناسب برای مطالعه شکل و توزیع اندازه ذرات است (Li et al., 2010) و نتایج حاصل از طیفهای انرژی پراکنش

^۹ Scanning Electron Microscopy

پرتو ایکس (EDX) میتواند تأییدی بر آن باشد (Bavec et al., 2016). به این منظور، ۲۰ گرم از نمونه از الک ۶۰ مش عبور داده شد و به آزمایشگاه علوم بنیاد کاربردی رازی در تهران فرستاده شد.

۳-۹- روش‌های آماری تحلیل داده‌ها

در بسیاری از مطالعات ژئوشیمی زیست‌محیطی، برای بدست آوردن اطلاعات مربوط به منشأ آلاینده‌ها از روش‌های آماری چند متغیره استفاده می‌شود. ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای رایج‌ترین روش‌های آماری مورد استفاده در تحقیقات زیست‌محیطی هستند که در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS (version 19) بکار گرفته شده‌اند.

۳-۹-۱- ضریب همبستگی (Correlation Coefficient)

ضریب همبستگی رابطه خطی بین دو متغیر، شدت خطی بودن و معنی‌دار بودن آن را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی با استفاده از روش‌های مختلفی محاسبه می‌شود، به طور مثال ضریب همبستگی پیرسون برای متغیرهای پیوسته که دارای توزیع نرمال هستند به کار می‌رود و اگر داده‌ها دارای توزیع غیرنرمال باشند در این صورت از ضریب همبستگی اسپیرمن و کندال که روش‌های آماری غیرپارامتریک هستند استفاده می‌شود. تحلیل همبستگی یا ضریب همبستگی دو متغیر برای توصیف ارتباط بین جفت متغیرها در دو سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب همبستگی (r) همواره بین +۱ تا -۱ تغییر می‌کند. اگر بین دو متغیر (به طور مثال X و y) یک رابطه خطی قوی و مثبت وجود داشته باشد در این صورت r نزدیک به +۱ و یا خود +۱ است و اگر بین دو متغیر یک رابطه خطی قوی و منفی وجود داشته باشد، r نزدیک به -۱ و یا خود -۱ خواهد بود، و اگر بین دو متغیر رابطه خطی ضعیفی وجود داشته باشد و یا این رابطه معنی‌دار نباشد در این صورت r نزدیک به صفر و یا خود صفر می‌باشد (Monazemi et al., 2016).

۳-۹-۲-تحلیل خوشه‌ای (Clustral Analysis)

آنالیز خوشه‌ای (CA) یکی از انواع تکنیک‌های آماری چند متغیره است، که هدف اصلی آن طبقه‌بندی متغیرها بر اساس ویژگی مشابه آنها است. در آنالیز خوشه‌ای طبقه‌بندی خوشه‌ها به گونه‌ای است که متغیرهایی که در داخل یک خوشه جای می‌گیرند بیشترین همگنی و تشابه را با یکدیگر داشته و بین خوشه‌ها حداکثر تفاوت و یا عدم شباهت وجود دارد. در مطالعات ژئوشیمیایی، آنالیز خوشه‌ای برای تفکیک عناصر بر حسب منشا یا خواص شیمیایی استفاده می‌شود و در نهایت یک نمودار خوشه‌ای ایجاد می‌شود که همبستگی میان عناصر و همچنین تفاوت‌های قابل توجه آنها را به آسانی نشان می‌دهد (Praveen et al., 2016).

فصل چهارم

ژئوشیمی زیست محیطی و کانی شناسی

ذرات گرد و غبار

در این فصل ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها، غلظت عناصر اصلی و جزئی، کانی‌شناسی، شکل و اندازه ذرات گرد و غبار دشت سیستان مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، با استفاده از شاخصهای ارزیابی ریسک سلامتی، اثرات بالقوه حضور عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های گرد و غبار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و با استفاده از ضرایب ژئوشیمیایی، شدت آلودگی نمونه‌ها ارزیابی شده است.

۲-۴- بررسی خواص فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها

۱-۲-۴- بررسی pH نمونه‌های گرد و غبار

بر اساس جدول ۱-۴ مقادیر pH نمونه‌های مورد مطالعه بین ۷/۵ و ۱۰/۵ متغیر است. بر اساس رده‌بندی سازمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA, 2003، جدول ۲-۳) نمونه‌های مورد مطالعه در رده کمی قلیایی تا به شدت قلیایی قرار دارند. pH قلیایی نمونه‌ها با زمین‌شناسی منطقه و نیز درصد بالای کربنات نمونه‌ها (بخش ۲-۲-۴) قابل توجیه است.

جدول ۱-۴: pH نمونه‌های گرد و غبار

pH	ایستگاه نمونه‌برداری
۹/۴	S1
۹/۳	S2
۹/۶	S3
۸/۳	S4
۹/۸	S5
۸/۲	S6
۹/۵	S7

ادامه جدول ۴-۱: pH نمونه‌های گرد و غبار

ایستگاه نمونه برداری	pH
S8	۹/۴
S9	۹/۵
S10	۹/۸
S11	۹/۵
W1	۸/۸
W2	۹/۲
W3	۹/۷
W4	۸/۵
تالاب	۱۰/۵

۴-۲-۲-۲-۴- بررسی مقدار کربنات کلسیم نمونه‌های گرد و غبار

بر اساس جدول ۴-۲، مقدار کربنات کلسیم نمونه‌های گرد و غبار بین ۲۴ تا ۳۵ درصد متغیر است. مقدار بالای کربنات در نمونه‌های برداشت شده با زمین‌شناسی منطقه مطابقت دارد. بطور کلی بیشترین میزان کربنات کلسیم، در نمونه برداشت شده از تالاب مشاهده می‌شود. در بین نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه نیز نمونه S1 که از شهرستان هامون برداشت شده است و کمترین فاصله را با تالاب هامون دارد، دارای بیشترین مقدار کربنات است. بالا بودن درصد کربنات نمونه‌ها، pH قلیایی آنها را توجیه می‌کند.

جدول ۴-۲: درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های گرد و غبار

نقاط نمونه برداری	درصد کربنات کلسیم
S1	۲۸
S2	۲۸
S3	۲۷

ادامه جدول ۴-۲: درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های گرد و غبار

۲۶/۵	S4
۲۸	S5
۲۵	S6
۲۹	S7
۳۱	S8
۲۸/۹	S9
۲۷/۷	S10
۲۹	S11
۲۸	W1
۲۴	W2
۲۵	W3
۲۸	W4
۳۵/۶	تالاب

۴-۳- ارزیابی غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های گرد و غبار

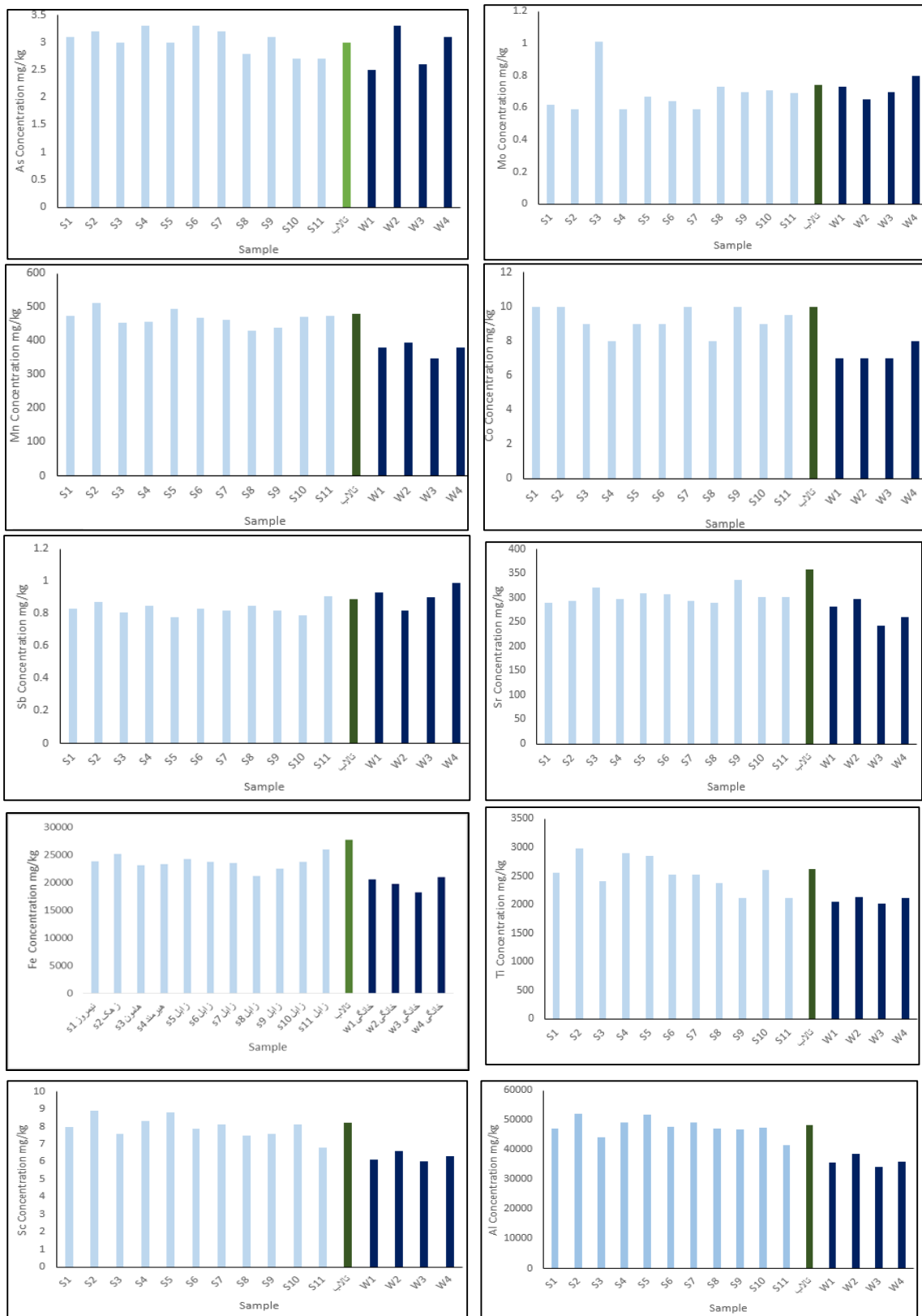
در جدول ۴-۳ غلظت کل کاذب عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های گرد و غبار، در مقایسه با استانداردهای جهانی (ترکیب پوسته بالایی، ترکیب خاک جهانی میانگین) و نمونه معرف برداشت شده از تالاب هامون ارائه شده است. با توجه به داده‌های جدول ۴-۳، غلظت عناصر آلومینیم، تیتانیوم، استرانسیم، اسکاندیم، آهن، منگنز، آنتیموان، مولیبدن، کبالت، کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه، قابل مقایسه با غلظت این عناصر در استانداردهای جهانی می‌باشد. همچنین غلظت این عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از نمونه معرف برداشت شده از تالاب هامون است. در شکل ۴-۱، غلظت عناصر اصلی و جزئی مورد مطالعه، در نمونه‌های گرد و غبار برداشت شده از محیط داخلی و خارجی با یکدیگر مقایسه شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، غلظت عناصر آلومینیم، تیتانیم، استرانسیم، آهن، منگنز، آنتیموان، مولیبدن، کبالت، کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده از محیط داخلی و خارجی تفاوت شاخصی با یکدیگر نشان نمی‌دهد. با توجه به شواهد مذکور، می‌توان استنباط نمود که این عناصر احتمالاً دارای منشأ طبیعی می‌باشند.

با توجه به جدول ۳-۴، میانگین غلظت عناصر بالقوه سمّی نیکل، مس، کروم، روی و سرب در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه، در مقایسه با ترکیب خاک میانگین جهانی، ترکیب پوسته بالایی و نیز نمونه برداشت شده از تالاب هامون بالاتر است. در ادامه به بررسی دقیق‌تر تغییرات غلظت عناصر بالقوه سمّی نیکل، مس، کروم، روی و سرب در نمونه‌های گرد و غبار و مقایسه مقادیر غلظت در نمونه‌های برداشت شده از محیط داخلی و خارجی پرداخته می‌شود.

جدول ۴-۲: غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه های گردوغبار (ppm) و مقایسه با استاندارد خاک جهانی (Kabata-Pendias, 2003) و پوسته بالایی میانگین (Taylor and Mc Lenan, 1985)

Sc	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sr	Ti	Zn	
۸	۴۷۱/۰۳	۳/۱	۰/۲۳	۱۰	۲۲۳	۲۲	۲۳۸۲۵	۴۷۴	۰/۶۲	۷۸	۶	۰/۸۳	۲۸۹	۲۵۵۹	۲۲۰	s1
۹/۸	۵۲۲۲۶	۳/۲	۰/۲	۱۰	۹۲	۲۴	۲۵۱۳۲	۵۱۱	۰/۵۹	۴۳	۱۶	۰/۸۷	۲۹۴	۲۹۸۲	۷۲۴	s2
۷/۶	۴۴۱۸۵	۳	۰/۲۴	۹	۱۵۵	۶۲	۲۳۱۳۶	۴۵۴	۱/۰۱	۶۷	۹۹	۰/۸۱	۳۲۱	۲۴۰۶	۳۹۵	s3
۸/۳	۴۹۳۱۳	۳/۳	۰/۲۱	۸	۷۲	۳۳	۲۳۲۸۲	۴۵۸	۰/۵۹	۳۵	۱۱	۰/۸۵	۲۹۷	۲۸۹۹	۳۰۷	s4
۸/۸	۵۱۷۸۵	۳	۰/۲۲	۹	۱۰۱	۲۶	۲۴۲۵۵	۴۹۶	۰/۶۷	۵۴	۱۳	۰/۷۸	۳۰۹	۲۸۴۴	۸۷	s5
۷/۹	۴۷۸۱۷	۳/۳	۰/۲۱	۹	۱۷۷	۲۸	۲۳۷۵۴	۴۶۷	۰/۶۴	۷۱	۲۵	۰/۸۳	۳۰۸	۲۵۲۱	۲۹۷	s6
۸/۱	۴۹۲۰۲	۳/۲	۰/۲۴	۱۰	۱۶۶	۲۵	۲۳۴۹۴	۴۶۳	۰/۵۹	۶۹	۱۴	۰/۸۲	۲۹۴	۲۵۳۰	۱۰۲	s7
۷/۵	۴۷۰۹۵	۲/۸	۰/۲۳	۸	۱۴۰	۲۳	۲۱۱۷۱	۴۲۹	۰/۷۳	۵۶	۱۶	۰/۸۵	۲۸۹	۲۳۷۳	۹۷	s8
۷/۶	۴۶۸۱۹	۳/۱	۰/۲۲	۱۰	۱۸۷	۲۱	۲۲۵۱۰	۴۳۸	۰/۷	۷۹	۸	۰/۸۲	۳۳۶	۲۱۱۶	۶۳	s9
۸/۱	۴۷۴۹۱	۲/۷	۰/۲۲	۹	۱۸۹	۳۰	۲۳۷۲۳	۴۷۱	۰/۷۱	۷۱	۲۵	۰/۷۹	۳۰۱	۲۶۰۶	۴۳۰	s10
۶/۸	۴۱۵۴۸	۲/۷	۰/۲۳	۱۱	۳۶۷	۶۱	۲۵۹۸۵	۴۷۴	۰/۶۹	۱۲۷	۴۴	۰/۹۱	۳۰۱	۲۱۱۲	۱۴۶	s11
۶/۱	۳۵۶۵۰	۲/۵	۰/۲۶	۷	۱۱۲	۴۹	۲۰۵۴۸	۳۷۹	۰/۷۳	۷۵	۲۱	۰/۹۳	۲۸۱	۲۰۵۰	۵۱۶	w1
۶/۶	۳۸۷۲۰	۳/۳	۰/۲۵	۷	۱۳۳	۲۷۸	۱۹۷۴۷	۳۹۶	۰/۶۵	۶۳	۴۷	۰/۸۲	۲۹۸	۲۱۲۶	۳۰۸	w2
۶	۳۴۱۹۶	۲/۶	۰/۲۶	۷	۱۲۵	۵۳	۱۸۲۳۹	۳۴۸	۰/۷	۵۶	۲۶	۰/۹	۲۴۲	۲۰۱۱	۴۲۱	w3
۶/۳	۳۵۹۹۲	۳/۱	۰/۳	۸	۹۴	۷۳	۲۰۹۴۳	۳۷۹	۱/۱۲	۵۳	۱۲۸	۰/۹۹	۲۶۰	۲۱۰۸	۳۲۴	w4
۸/۲	۴۸۲۸۸	۷	۰/۲	۱۰	۱۰۰	۲۶	۲۷۷۱۰	۴۸۱	۰/۷	۴۵	۱۶	۰/۸	۳۵۹	۲۶۲۰	۸۵	تالاب
۷	۴۴۶۱۰/۱	۳	۰/۲	۸/۸	۱۵۵/۵	۵۳	۲۲۶۵۱/۴	۴۴۲/۵	۰/۷	۶۶/۵	۳۳/۵	۰/۹	۲۹۴	۲۴۱۶	۲۹۵/۸	میانگین
۶	۳۴۱۹۶	۲/۵	۰/۲	۷	۷۲	۲۱	۱۸۲۳۹	۳۴۸	۰/۶	۳۵	۶	۰/۸	۲۴۲	۲۰۱۱	۶۳	حداقل
۸/۹	۵۲۲۲۶	۳/۳	۰/۳	۱۱	۳۶۷	۲۷۸	۲۵۹۸۵	۵۱۱	۱/۱	۱۲۷	۱۲۸	۱	۳۳۶	۲۹۸۲	۷۲۴	حداکثر
۱۶	۸۰۴۰۰	۱/۵	۰/۰۹۸	۱۰	۳۵	۲۵	۳۵۰۰۰	۶۰۰	۱/۵	۲۰	۲۰	۰/۲	۳۷۵	۳۰۰۰	۷۱	پوسته‌فاره‌ای بالایی
۱۰	۷۲۰۰۰	۶/۸۳	۰/۴۱	۱۱/۳	۵۹/۵	۳۸	۳۵۰۰۰	۴۸۸	۱/۱	۲۹	۲۷	۰/۶۷	۱۷۵	۷۰۳۸	۷۰	خاک جهانی میانگین



شکل ۴-۱: تغییرات غلظت عناصر تیتانیوم، آرسنیک، اسکاندیم، آلومینیوم، آهن، استرانسیم، آنتیموان، منگنز، مولیبدن در نمونه‌های گرد و غبار

غلظت مس در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۲۲ تا ۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۳۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است که نسبت به میانگین غلظت آن در ترکیب خاک‌های جهانی ۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) پایین‌تر و نسبت به نمونه تالاب (۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ترکیب پوسته بالایی (۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. بطور کلی غلظت مس در نمونه‌های برداشت شده از فضای خانه‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها بالاتر است (شکل ۴-۲ الف)، به ویژه در نمونه W2 غلظت مس بسیار بالاست که احتمالاً به دلیل رنگ‌های قدیمی بکار رفته در دیوار ساختمان می‌باشد. مس در مغز، کبد، کلیه و قرنیه چشم تجمع یافته و با ماکرومولکول‌های حیاتی از جمله گروه‌های تیول و کربوکسیل اتصال کووالانته پیدا کرده و موجب اختلال در فعالیت بیولوژیکی سلول‌ها می‌شود. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض مس، باعث آبریزش بینی، دهان، چشم، سردرد، دل درد، سرگیجه و اسهال و استفراغ می‌شود. جذب مقدار زیادی مس باعث آسیب به کبد و کلیه و حتی مرگ می‌شود، اما سرطان‌زایی مس هنوز اثبات نشده است (Duong and Lee., 2010). غلظت بالاتر مس در برخی نمونه‌های خارجی (به ویژه نمونه‌های S3 و S11 که از شهرستان‌های هامون و زابل برداشت شده‌اند) نسبت به نمونه تالاب، منشأ انسان‌زاد این عنصر (عمدتاً ترافیک) را تایید می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد که بخش عمده مس از فرسایش لنت ترمز و نشر از آگزوز خودروها به جو وارد می‌شود (Duong and Lee., 2010). مس در روغن اتومبیل‌ها نیز استفاده می‌شود. باید توجه کرد که در مناطق گرم و خشک به علت دمای بالا، فرسایش و فرسودگی لاستیک اتومبیل‌ها بیش از مناطق دیگر است، و قاعدتاً میزان مس در غبار خیابان این مناطق نیز بیشتر است (Moller et al., 1969).

غلظت سرب در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۶ تا ۱۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۹/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است که نسبت به میانگین غلظت آن در ترکیب خاک‌های جهانی (۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، پوسته بالایی (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نمونه تالاب (۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. با توجه به

شکل ۲-۴ ب، غلظت سرب در نمونه غبار خانگی W4 بسیار بالا (۱۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم) است که نشان‌دهنده ورود سرب از منابع انسان‌زاد است. منشأ سرب در این نمونه، احتمالاً به دلیل رنگ‌های بکار رفته در دیوارهای ساختمان (با توجه به قدمت بنا) می‌باشد. به طور کلی بالا بودن غلظت سرب در گرد و غبار خانگی، باعث افزایش غلظت سرب در خون کودکان می‌شود (Xiaoxia et al., 2015). سرب در بافت‌های بدن جذب پروتئین‌ها می‌شود و بیشترین اثر سمی خود را بر مغز و اعصاب بر جای می‌گذارد. سرب در سلول‌ها، جانشین کلسیم شده، و فعالیت سلول‌های بدن که کلسیم در آنها نقش اصلی دارد، را مختل می‌کند. آلودگی سرب در این مرحله سنی، سلول‌های مغزی را که در اوج رشد هستند را مهار کرده، و آنها را به کند ذهنی و دیرآموزی می‌کشاند. جذب سرب در سطوح پایین برای زنان باردار و کودکان زیر ۶ سال مضر می‌باشد (Jeffrey et al., 2005). سطح بالای سرب در خون باعث کاهش هوش و اختلالات شنوایی در کودکان می‌شود.

بالا بودن غلظت سرب در برخی نمونه‌های خارجی (S3 و S11 که از شهرستان‌های هامون و زابل برداشت شده‌اند) احتمالاً به دلیل نشر سرب توسط ترافیک است، چرا که معمولاً به بنزین، ترکیب تترااتیل سرب اضافه می‌شود تا درجه اکتان سوخت افزایش یابد و فرسایش لنت ترمزها و نیز فرسایش وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) نیز باعث نشر سرب به محیط زیست می‌شود (Root, 2000; Smichowski et al., 2008).

۴-۳-۳- روی

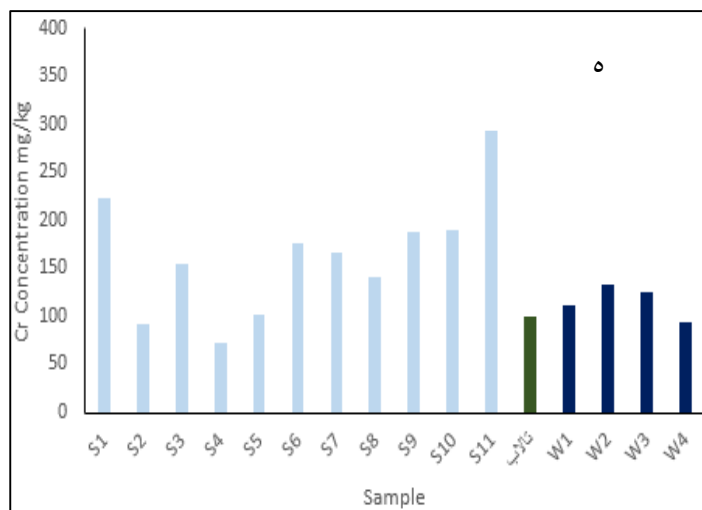
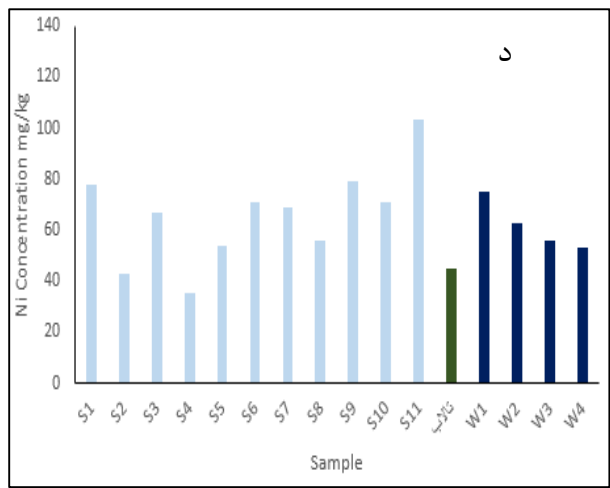
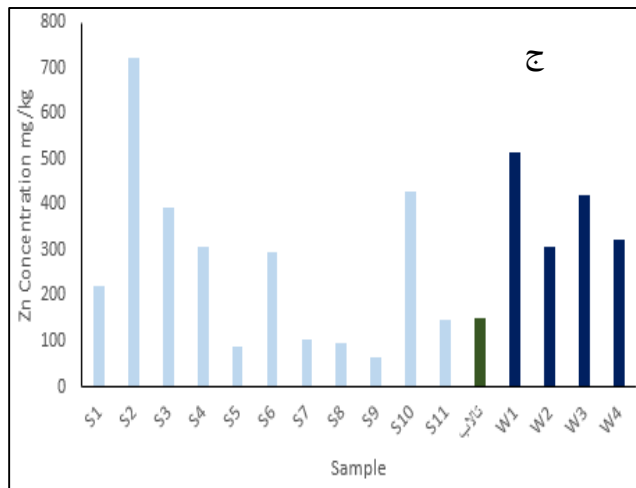
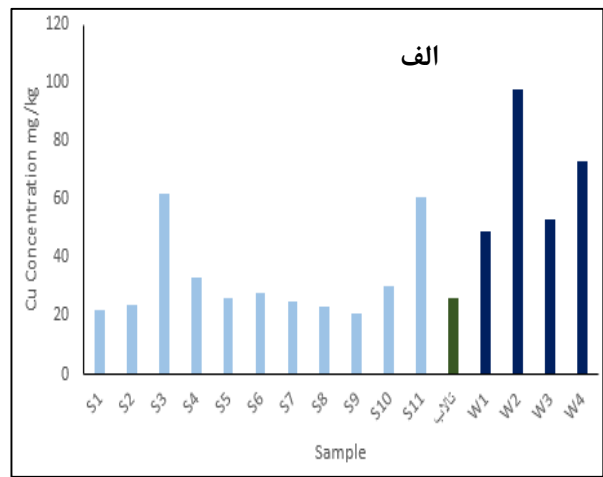
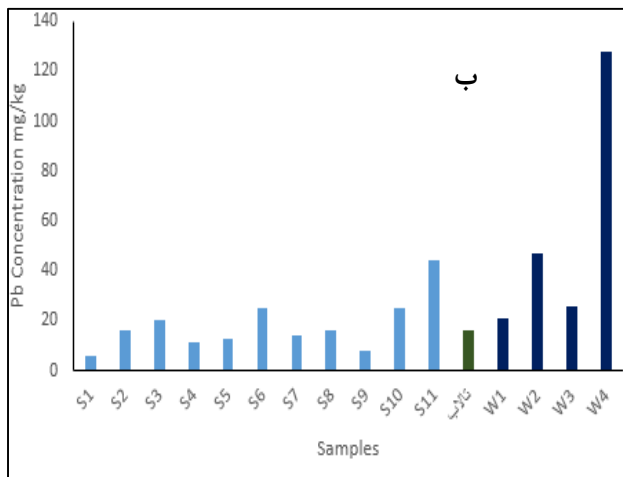
غلظت روی در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۶۳ تا ۷۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۵۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تغییر می‌کند که نسبت به میانگین خاک جهانی (۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ترکیب پوسته بالایی (۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نمونه برداشت شده از تالاب هامون (۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. این امر نشان‌دهنده منشأ انسان‌زاد این عنصر است. غلظت روی در نمونه خانگی W1 (۵۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به سایر نمونه‌های خانگی بسیار بالاتر است (شکل ۲-۴ ج) که احتمالاً به دلیل استفاده این

عنصر در حشره‌کش‌ها و همچنین رنگ‌های بکار رفته در ساختمان است. حداکثر غلظت این عنصر در نمونه برداشت شده از شهرستان زهک (S2) مشاهده می‌شود. این نمونه از مرکز شهر زهک و قسمت پر ترافیک این شهرستان برداشت شده است. مقدار روی بالا از منابع ترافیکی بویژه از تایر وسایل نقلیه ناشی می‌شود. پس از معدنکاری و سوزاندن زباله، سایش لاستیک خودروها، سومین منبع ورود روی به محیط است. علاوه بر سایش و فرسایش لاستیک خودروها، از دیگر منابع بالقوه این عنصر می‌توان به ترمز خودروها، شستشوی خودروها و سنگفرش خیابان اشاره کرد که این سه مورد نیز در زمره آلودگی‌های مرتبط با حمل و نقل قرار می‌گیرند (Addo et al., 2012). مواجهه طولانی مدت با غلظت‌های بالای روی می‌تواند تأثیرات مضرى همچون کم‌خونی، کاهش کلسترول خوب، ایجاد بیماری‌های پوستی، اختلال در جذب مس و آهن و اختلال در گیرنده‌های عصب بویایی داشته باشد (Allen et al., 2001).

۴-۳-۴- نیکل

محدوده غلظت نیکل در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه بین ۳۵ تا ۱۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۶۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است (شکل ۴-۲ د) که در مقایسه با میانگین غلظت آن در ترکیب خاک‌های جهانی (۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ترکیب پوسته بالایی (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نمونه برداشت شده از تالاب (۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. این امر نشان‌دهنده منشأ انسان‌زاد این عنصر می‌باشد. بالاترین غلظت این عنصر مربوط به نمونه S11 است که از قسمت پر ترافیک و مرکزی شهرستان زابل برداشت شده است. نیکل نیز از جمله فلزاتی است که منشأ آن در غبار خیابان بیشتر به فعالیت‌های انسان‌زاد شامل گسیل‌های ترافیکی، ذرات خارج شده از اگزوز اتومبیل‌ها، ذرات ناشی از ساییدگی قطعات مختلف وسایل نقلیه و سوختن روغن‌های روان‌کننده وارد محیط می‌شود (Abbasi et al., 2011). قرار گیری در معرض فلز نیکل باعث افزایش احتمال ابتلا به سرطان‌های ریه، بینی، حنجره، پروستات، و همچنین سرگیجه، نارسایی تنفسی، آسم، برونشیت مزمن، واکنش‌های حساسیتی مانند التهاب پوستی و اختلالات قلبی می‌شود (Abbasi et al., 2011).

غلظت کروم در نمونه‌های گرد و غبار مورد بررسی بین ۷۲ تا ۳۶۷ میانگین (۱۵۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است. بر اساس غلظت میانگین، نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به میانگین خاک‌های جهانی (۵۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ترکیب پوسته بالایی (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نمونه برداشت شده از تالاب هامون (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کروم بالاتری دارد. با توجه به (شکل ۴-۲) بیشترین غلظت کروم در نمونه S11 مشاهده می‌شود که از قسمت مرکزی و پر ترافیک شهرستان زابل برداشت شده است. فرسایش لاستیک خودروها و سنگفرش خیابان دو منبع اصلی و شناخته شده گسیل این عنصر در اتمسفر و حضور آن در غبار خیابان است. از سوی دیگر، پوشش بام و نمای ساختمان‌ها و فولاد ضدزنگ به کار رفته در مکان‌های مختلف، می‌تواند در اثر فرسایش و سایش، مقداری کروم در محیط رها کند. از میان منابع خانگی ورود این عنصر به محیط، می‌توان به کروم بکار رفته در لوازم آشپزخانه مانند قاشق و چنگال و سینک ظرفشویی اشاره کرد (Cong et al., 2009). کروم بیشتر از طریق سموم ضد آفات، برخی از رنگ‌ها و صنایع آبکاری وارد محیط زیست می‌شود. تنفس مقادیر بالای کروم سبب بروز مشکلات تنفسی نظیر آسم، سرفه و تنگی نفس می‌شود (Cao et al., 2005).



شکل ۴-۲: تغییرات غلظت عناصر مس (الف)، سرب (ب)، روی (ج)، نیکل (د) و کروم (ه) در نمونه‌های گرد و غبار داخلی

و خارجی

۴-۴- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و تعیین منشأ عناصر

۴-۴-۱- تحلیل همبستگی

به منظور بررسی ارتباط میان عناصر، منابع ورودی و رفتار ژئوشیمیایی آن‌ها از ضرایب همبستگی استفاده می‌شود (Kamani et al., 2014). در این مطالعه پس از نرمال سازی داده‌ها با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی، از ضرایب همبستگی پیرسون در دو سطح اطمینان آماری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ استفاده شد. با توجه به ماتریس ضرایب همبستگی جدول ۴-۴، عناصر آلومینیم، اسکاندیم، تیتانیم، آهن، کبالت، منگنز و استرانسیم دارای همبستگی مثبت در سطح اطمینان ۰/۰۱ هستند که نشان‌دهنده منشأ مشترک این عناصر است. با توجه به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که بیشتر از رسوبات دریاچه‌ای، رودخانه‌ای، رس و ماسه‌سنگ تشکیل شده است و همچنین با توجه به مقادیر کمتر یا مساوی این عناصر در مقایسه با ترکیب پوسته بالایی قاره‌ای و خاک جهانی، احتمالاً این عناصر از منشأ طبیعی حاصل شده‌اند. همچنین عناصر آرسنیک، کادمیم و آنتیموان دارای همبستگی منفی با این عناصر می‌باشند. همبستگی منفی این عناصر با عناصر زمین‌زاد آلومینیم، آهن، تیتانیم، اسکاندیم، منگنز و استرانسیم ناشی از ویژگی ژئوشیمیایی متفاوت آنها است، چرا که آرسنیک، کادمیم و آنتیموان دارای خاصیت کالکوفیل و سایر عناصر مذکور خاصیت لیتوفیل دارند (Selinus, 2013). کادمیم همبستگی معناداری با مس در سطح اطمینان ۰/۰۵ دارد که مؤید رفتار ژئوشیمیایی (کالکوفیل) آنها است. عناصر مولیبدن، سرب، روی، کروم، کادمیم، مس و کبالت نیز دارای همبستگی مثبت و معناداری در سطح اطمینان ۰/۰۱ می‌باشند که نشان‌دهنده منشأ مشترک این عناصر یا رفتار ژئوشیمیایی مشابه آنها می‌باشد. بالاتر بودن میانگین غلظت عناصر سرب، روی، کروم و مس در مقایسه با غلظت آنها در ترکیب پوسته بالایی و خاک میانگین (جدول ۴-۳) از یک سو و همبستگی مثبت این

جدول ۴-۴: مقادير همبستگی بين عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sr	Ti	Zn
Al	1														
As	.485	1													
Cd	-.839**	-.289	1												
Co	.595*	.206	-.504	1											
Cr	-.022	-.252	-.150	.642**	1										
Cu	-.466	.210	.356	-.451	-.057	1									
Fe	.734**	.257	-.660**	.868**	.454	-.442	1								
Mn	.902**	.375	-.803**	.778**	.264	-.403	.935**	1							
Mo	-.481	-.168	.692**	-.214	-.120	.086	-.268	-.403	1						
Ni	-.207	-.377	.021	.512	.942**	.017	.330	.098	-.022	1					
Pb	-.500	.028	.680**	-.179	-.059	.327	-.196	-.348	.918**	.011	1				
Sb	-.686**	-.314	.668**	-.266	-.047	.027	-.327	-.570*	.448	.080	.467	1			
Sr	.612*	.363	-.627*	.529*	.269	-.072	.576*	.629*	-.168	.249	-.196	-.671**	1		
Ti	.866**	.464	-.707**	.331	-.302	-.389	.624*	.796**	-.412	-.481	-.370	-.503	.296	1	
Zn	-.198	-.129	.025	-.284	-.377	.079	-.109	-.100	.078	-.335	.162	.296	-.329	.155	1

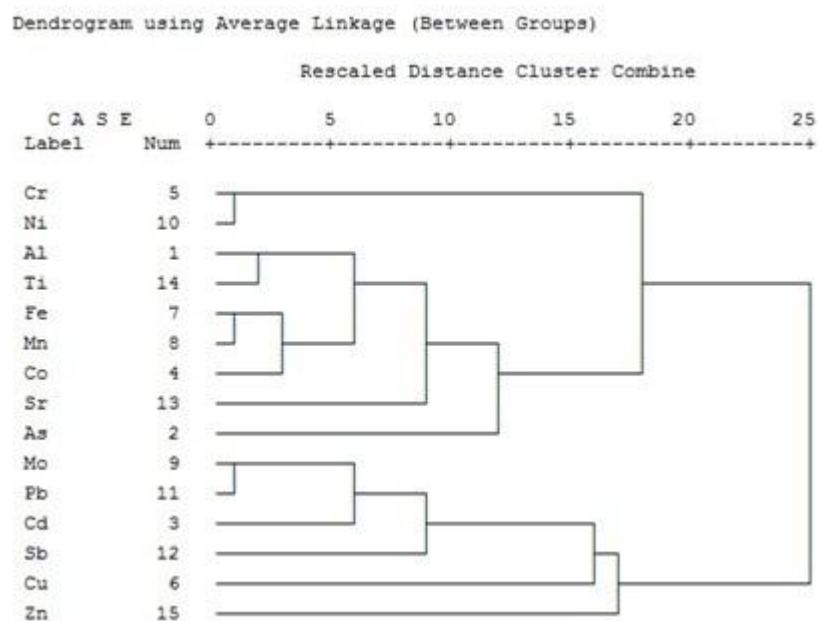
**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

عناصر از سوی دیگر، آنها عمدتاً از منشأ انسانزاد حاصل شده‌اند. نیکل همبستگی مثبت و معناداری با کروم در سطح اطمینان ۰/۰۱ دارد که به دلیل منشأ عمدتاً انسانزاد آنها است. آرسنیک تقریباً با هیچ یک از فلزات مورد مطالعه رابطه آماری نشان نمی‌دهد. این عدم همبستگی نشان‌دهنده منشأ متفاوت یا رفتار متفاوت این عنصر در محیط است. آرسنیک به دلیل شبه‌فلز بودن، در بسیاری از موارد رفتاری متفاوت از سایر فلزات نشان می‌دهد.

۴-۲-۴- تحلیل خوشه‌ای

روش تحلیل خوشه‌ای، متغیرها را براساس حداکثر شباهت در یک گروه و بیشترین تفاوت بین گروه‌های مختلف به خوشه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند و متغیرهایی که دارای رفتار ژئوشیمیایی یکسان و یا خاستگاه مشابه هستند، در یک خوشه قرار می‌گیرند (Qishlaqi, 2007). در این مطالعه گروه‌بندی عناصر با استفاده از روش سلسله مراتبی وارد (Wards Method Amalgamation) انجام گردید و نتایج به صورت نمودار خوشه‌ای نمایش داده شد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: نمودار خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار

با توجه به نمودار خوشه‌ای می‌توان سه گروه اصلی عناصر را تشخیص داد. گروه اول شامل عناصر کروم و نیکل می‌باشد. گروه دوم شامل فلزات آلومینیم، تیتانیم، آهن، منگنز، کبالت، استرانسیم و آرسنیک می‌باشد. در این گروه آهن، منگنز و کبالت با بیشترین شباهت تشکیل یک خوشه را دادند و سایر فلزات بصورت سلسله مراتبی به این خوشه متصل شده‌اند. گروه سوم شامل عناصر مولیبدنیم، سرب، کادمیم، آنتیموان، مس و روی می‌باشد. مولیبدن و سرب با بیشترین شباهت در یک خوشه قرار دارند و سایر فلزات بصورت سلسله مراتبی به این خوشه اولیه متصل هستند. این نتایج وجود منشأهای متفاوت برای عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار منطقه را نشان می‌دهد، به عبارتی عناصری که در گروه اول قرار دارند (نیکل و کروم) با توجه به تغییرپذیری زیاد آن‌ها رفتار متفاوتی از سایر فلزات نشان می‌دهند و احتمالاً در اثر فعالیت‌های انسان‌زاد وارد محیط شده‌اند. گروه دوم (آلومینیم، تیتانیم، آهن، منگنز، کبالت، استرانسیم و آرسنیک) با توجه به زمین‌شناسی منطقه که بیشتر از رسوبات رسی و دریاچه‌ای عهد حاضر تشکیل شده است، قابل توجیه می‌باشد و احتمالاً منشأ زمین‌زاد دارند. منشأ عناصر گروه سوم (به جز مولیبدن) انسان‌زاد است و این عناصر در اثر تردد خودروها، توسعه شهری، ساخت و ساز، احتراق سوخت‌های فسیلی و استفاده از وسایل نقلیه موتوری وارد جو شده‌اند (Abbasi et al., 2011). قرارگیری مولیبدن در کنار سرب، به رغم منشأ احتمالاً متفاوت آنها، ناشی از رفتار ژئوشیمیایی مشابه این دو عنصر (خاصیت کالکوفیلی) است.

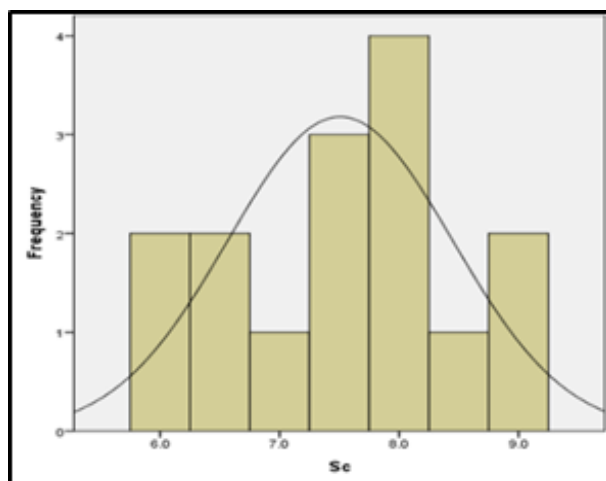
۴-۵- ارزیابی کمی شدت آلودگی نمونه‌های گرد و غبار

در این بخش با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی متداول (شامل ضریب غنی‌شدگی، ضریب زمین‌انباشت، ضریب آلودگی، شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی) شدت آلودگی نمونه‌های گرد و غبار به عناصر مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۵-۱- ضریب غنی‌شدگی

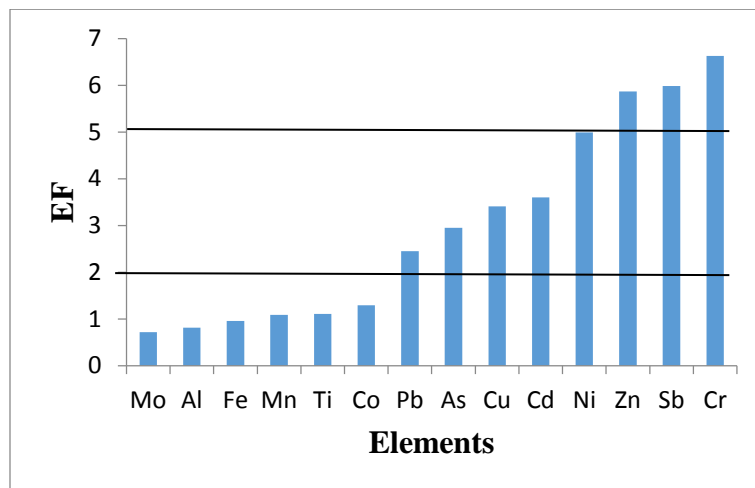
ضریب غنی‌شدگی (EF) نشان‌دهنده مقدار یک عنصر خاص افزون بر غلظت مورد انتظار آن از یک منشأ

طبیعی (سنگ یا خاک) است (Eby, 2004). ضریب غنی‌شدگی یکی از شاخص‌های استفاده شده برای ارزیابی درجه غنی‌شدگی عناصر در بخش‌های مختلف محیط زیست می‌باشد. برای ارزیابی غنی‌شدگی عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های گرد و غبار، غلظت آن‌ها به وسیله عناصری مانند آلومینیم، اسکاندیم، منگنز و زیرکنیم (عناصری که اجزای پوسته هستند و تغییرات و تحرک اندک در خاک دارند) نرمال و بهنجار می‌شود. در این مطالعه، عنصر اسکاندیم به عنوان عنصر بهنجارکننده انتخاب گردید زیرا غلظت این عنصر کمترین تغییرات را در مقایسه با سایر عناصر دارا بوده و توزیع آن به حالت نرمال نزدیک‌تر می‌باشد شکل ۴-۴. همچنین از ترکیب پوسته بالایی به عنوان ماده مرجع استفاده شده است، زیرا گرد و غبار برخاسته از خاک و بخشی از پوسته زمین است (Bourennane et al., 2010).



شکل ۴-۴: نمودار ستونی توزیع عنصر اسکاندیم در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه

در شکل ۴-۵، میانگین ضرایب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌ها ارائه شده است. بر اساس این شکل، عناصر آلومینیم، تیتانیم، کبالت، منگنز، مولیبدن در نمونه‌ها دارای ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۲ می‌باشند و بر طبق رده‌بندی ساترلند جدول ۳-۳ فاقد غنی‌شدگی هستند. عناصر سرب، مس، آرسنیک، کادمیم و نیکل در رده ۲-۵ قرار دارند که نشان دهنده آلودگی متوسط و عناصر کروم، روی و آنتیموان در رده ۵-۲۰ قرار دارند که نشان دهنده آلودگی قابل توجه می‌باشد.



شکل ۴-۵: میانگین ضرایب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار

در جدول ۴-۵ میانگین ضرایب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه، در نمونه‌های گرد و غبار برداشت شده از محیط‌های داخلی و خارجی مقایسه شده است. میانگین ضرایب غنی‌شدگی عنصر روی، در نمونه‌های محیط خارجی در رده ۲-۵ قرار دارد در حالی که میانگین ضرایب غنی‌شدگی عناصر آنتیموان، مس و روی در نمونه‌های برداشت شده از محیط داخلی در رده ۵-۲۰ قرار دارند، بنابراین نمونه‌های برداشت شده از محیط خارجی نسبت به عنصر روی دارای غنی‌شدگی متوسط می‌باشند و نمونه‌های برداشت شده از محیط‌های داخلی نسبت به عناصر آنتیموان، مس و روی دارای غنی‌شدگی قابل توجه هستند. همچنین میانگین ضرایب غنی‌شدگی برای عنصر سرب در نمونه‌های برداشت شده از محیط خارج در رده فاقد آلودگی قرار می‌گیرد در حالی که نمونه‌های برداشت شده از محیط‌های داخلی نسبت به این عنصر در رده آلودگی متوسط (رده ۲-۵) قرار می‌گیرند.

جدول ۴-۵: مقایسه میانگین مقادیر ضرایب غنی‌شدگی در نمونه‌های گرد و غبار برداشت شده از محیط‌های داخلی و خارجی

میانگین ضریب	میانگین ضریب	عناصر
غنی‌شدگی (محیط داخلی)	غنی‌شدگی (محیط خارجی)	
۲/۶	۲/۵	As
۰/۶	۰/۷	Al

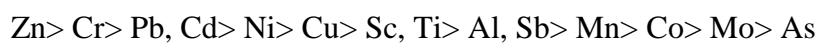
ادامه جدول ۴-۵: مقایسه میانگین مقادیر ضریب غنی‌شدگی در نمونه‌های گرد و غبار برداشت شده از محیط‌های داخلی و خارجی

عناصر	میانگین ضریب غنی‌شدگی (محیط خارجی)	میانگین ضریب غنی‌شدگی (محیط داخلی)
Pb	۱/۶	۳/۸
Co	۱/۱	۱
Cr	۱/۱	۴/۶
Cd	۲/۸	۳/۸
Cu	۱/۶	۶
Mn	۰/۹	۰/۸
Mo	۰/۵	۰/۷
Ni	۴/۴	۴/۳
Zn	۴/۵	۷/۸
Sb	۵/۳	۶/۴
Ti	۲	۰/۹
Fe	۰/۸	۰/۷

۴-۵-۲- ضریب زمین‌انباشت (I_{geo})

در جدول ۴-۶ آمار توصیفی ضرایب زمین‌انباشت برای هر عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

روند کلی تغییرات ضرایب زمین‌انباشت در نمونه‌ها به صورت زیر است:



براساس رده بندی مولر (جدول ۳-۴)، به جز عنصر روی، همه عناصر در رده اول (غیرآلوده) قرار دارند و فاقد

آلودگی هستند. عنصر روی در رده دوم (غیرآلوده تا کمی آلوده) قرار گرفته است.

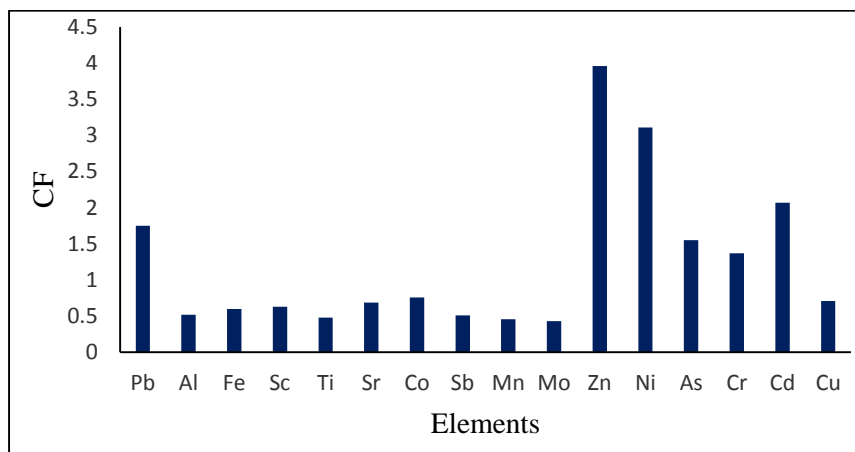
جدول ۴-۶: آمار توصیفی ضرایب زمین انباشت در نمونه‌های گرد و غبار

عناصر	حداقل	حداکثر	میانگین
Al	-۱/۸	-۱/۱	-۱/۴
Pb	-۲/۳	۲/۰۹	-۰/۴
Mo	-۲/۷	-۱/۷	-۲/۴
Cd	-۰/۷	-۰/۱	-۰/۴
Sb	-۱/۵	-۱/۱	-۱/۴
Sc	-۱/۷	-۱/۱	-۱/۳
Ti	-۱/۸	-۱/۳	-۱/۳
Co	-۲	-۱/۳	-۱/۷
Mn	-۱/۸	-۱/۳	-۱/۵
Zn	-۱/۱	۲/۳	۰/۷
Ni	-۱/۵	۰/۳	-۰/۶
As	-۲/۹	-۲/۵	-۲/۷
Cr	-۰/۹	۱/۴	۰/۰۸
Cu	-۱/۶	۲	-۰/۷
Fe	-۱/۹	-۱/۴	-۱/۶

۴-۵-۳- ضریب آلودگی (CF)

به منظور ارزیابی آلودگی مواد جامد نسبت به یک عنصر خاص از ضریب آلودگی استفاده می‌شود (Varol et al., 2011). در این تحقیق برای محاسبه این ضریب از میانگین غلظت عناصر در پوسته بالایی به عنوان ماده مرجع استفاده شد. در شکل ۴-۶، میانگین ضرایب آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار آورده شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته و بر اساس رده‌بندی هاکنسون، عناصر، آلومینیم، آهن،

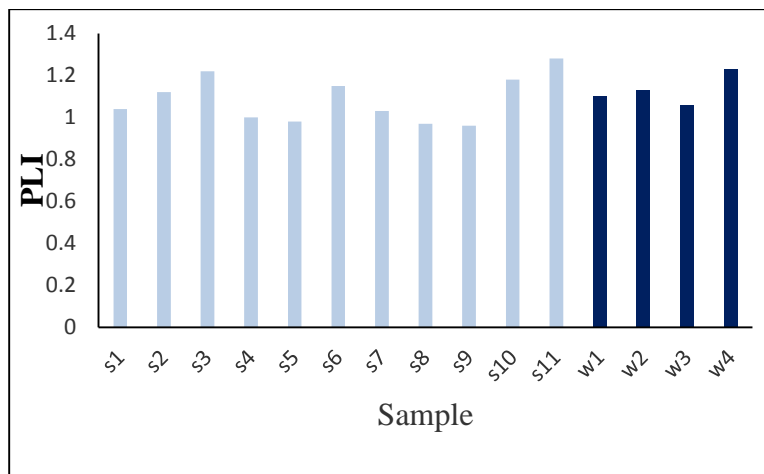
اسکاندیم، تیتانیوم، استرانسیم، کبالت، آنتیموان، منگنز و مولیبدن دارای ضریب آلودگی پایین هستند، در حالی که عناصر، سرب، آرسنیک، کروم، کادمیم و مس دارای ضریب آلودگی متوسط و عناصر، نیکل و روی دارای ضریب آلودگی قابل توجه می‌باشند.



شکل ۴-۶: میانگین ضرایب آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار

۴-۵-۴- ضریب بار آلودگی

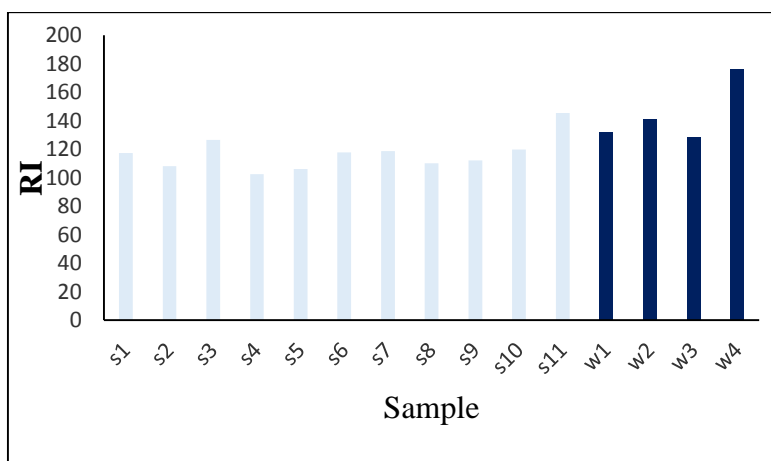
شاخص بار آلودگی معیار دیگری برای ارزیابی شدت آلودگی عناصر بالقوه سمی در خاک و گرد و غبار است. در شکل ۴-۷، مقادیر محاسبه شده این شاخص آورده شده است. شاخص بار آلودگی همه نمونه‌ها بالاتر از صفر است که نشان‌دهنده تأثیر عوامل انسان‌زاد بر افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های مورد مطالعه است. در نمونه‌های برداشت شده از محیط خارجی، احتمالاً تردد خودروها و وسایل نقلیه، ساییدگی لنت ترمز، اصطکاک لاستیک‌ها با جاده، استفاده از بنزین سرب‌دار باعث افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی شده است. شاخص بار آلودگی به دست آمده برای نمونه S11 که از مناطق پرتراфик شهرستان زابل برداشت شده است، بالاتر از سایر نمونه‌هاست. در نمونه‌های برداشت شده از محیط‌های داخلی، احتمالاً عواملی نظیر فرسایش رنگ دیوارها، استفاده از حشره‌کشها و احتراق سوخت در خانه‌ها در افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی نقش داشته‌اند.



شکل ۴-۷: ضریب بار آلودگی نمونه‌های گرد و غبار به عناصر مورد مطالعه

۴-۵-۵- شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی

به منظور بیان کمی خطر زیست‌محیطی فلزات سنگین از شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی استفاده می‌شود. شکل ۴-۸، مقادیر محاسبه شده این شاخص در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس رده‌بندی هاکنسون، نمونه W4 دارای خطر زیست‌محیطی متوسط و سایر نمونه‌ها دارای خطر زیست‌محیطی پایین هستند.



شکل ۴-۸: شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی نمونه‌های گرد و غبار به عناصر مورد مطالعه

۴-۶- ارزیابی ریسک سلامتی

عناصر بالقوه سمی به طور مستقیم بر سلامت عمومی تأثیر می‌گذارند. میزان تأثیر عناصر سمی بر سلامت، تابع ماهیت مواد، مقدار، مدت زمان در معرض قرار گیری و مسیر مواجهه (تماس پوستی، بلع، استنشاق) است (Madrid and Biasioli, 2002). در این مطالعه برای محاسبه مقدار در معرض قرار گیری انسان به عناصر بالقوه سمی موجود در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه، از روش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA, 1989) استفاده شد. با استفاده از این روش می‌توان در صورت بالا بودن حد خطر اقدامات اصلاحی را انجام داده و سطح آلودگی را کاهش. طبق این دستور العمل، میانگین مقدار مصرف روزانه هر آلاینده (ADD، بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)، که از سه مسیر اصلی مصرف، تماس پوستی و استنشاق وارد بدن انسان می‌شوند، محاسبه می‌شود (روابط ۳-۶، ۳-۷، و ۳-۸). در جدول ۴-۷ مقادیر دوز مصرف روزانه عناصر مورد مطالعه از طریق سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی ارائه شده است. به منظور ارزیابی پتانسیل اثرات مزمن (غیرسرطانزایی) هر عنصر بالقوه سمی در نمونه‌های مورد مطالعه، ضریب خطر (hazard quotient; HQi)، شاخص خطر (HI, Hazard Index) و خطر سرطانزایی عناصر بالقوه سمی (CR, Carcinogenic Risk) از طریق روابط (۳-۹، ۳-۱۰ و ۳-۱۱) محاسبه شد و نتایج حاصل از آن در جدول‌های ۴-۸ و ۴-۹ ارائه شده است.

جدول ۴-۷: مقادیر ADD محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day)

عناصر	ADD _{ing}		ADD _{inh}		ADD _{derm}
	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان
As	$4/9 \times 10^{-6}$	$0/5 \times 10^{-5}$	$1/2 \times 10^{-8}$	$4/1 \times 10^{-8}$	$2/4 \times 10^{-7}$
Cd	$9/8 \times 10^{-8}$	$9/1 \times 10^{-10}$	$9/8 \times 10^{-13}$	$9/1 \times 10^{-13}$	3×10^{-12}
Pb	$1/3 \times 10^{-7}$	$1/2 \times 10^{-7}$	$3/9 \times 10^{-11}$	$3/7 \times 10^{-11}$	$3/1 \times 10^{-5}$
Zn	$1/2 \times 10^{-6}$	$1/8 \times 10^{-6}$	$4/1 \times 10^{-8}$	$3/8 \times 10^{-8}$	$3/8 \times 10^{-4}$

جدول ۴-۸: مقادیر HQ برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day)

عناصر	HQ _{ing}	HQ _{inh}	HQ _{derm}
	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان
	کودکان	بزرگسالان	کودکان
As	$3/8 \times 10^{-13}$	4×10^{-13}	$2/4 \times 10^{-14}$
Cd	$9/1 \times 10^{-13}$	$9/8 \times 10^{-13}$	$3/1 \times 10^{-17}$
Pb	$3/7 \times 10^{-11}$	$3/9 \times 10^{-11}$	2×10^{-10}
Zn	$6/2 \times 10^{-8}$	3×10^{-9}	$2/4 \times 10^{-9}$

اگر مقدار ADD کمتر از دوز مرجع باشد (به بیان دیگر در صورتی که $HQ < 1$ باشد) در این صورت هیچ اثر منفی بوجود نخواهد آمد و در صورتی که مقدار ADD بیشتر از دوز مرجع باشد (به عبارت دیگر $HQ > 1$ باشد)، احتمال بروز اثرات منفی بر سلامت وجود دارد (USEPA, 1993). بر اساس مقادیر HQ بدست آمده برای عناصر بالقوه سمّی در مسیره‌های بلع، استنشاق و تماس پوستی کمتر از ۱ بوده و در محدوده ایمن قرار دارد.

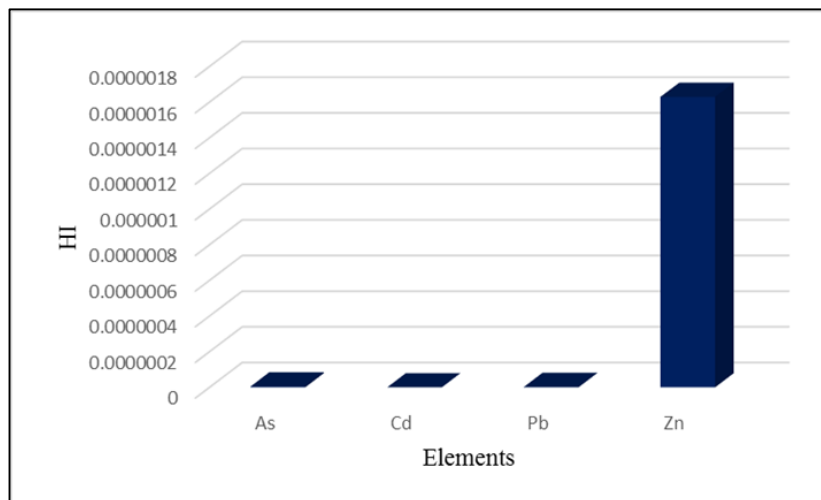
جدول ۴-۹: مقادیر HI، HIT و CR برای خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی

عناصر	HI _{ing}	HI _{inh}	HI _{derm}	HIT	CR _{ing}	CR _{inh}
As	8×10^{-13}	$1/8 \times 10^{-12}$	$4/7 \times 10^{-9}$	$4/7 \times 10^{-9}$	$2/9 \times 10^{-9}$	$3/6 \times 10^{-7}$
Cd	$1/8 \times 10^{-12}$	$1/8 \times 10^{-12}$	3×10^{-12}	$6/8 \times 10^{-12}$		$1/1 \times 10^{-8}$
Pb	$7/6 \times 10^{-11}$	$7/6 \times 10^{-11}$	$1/7 \times 10^{-9}$	$1/8 \times 10^{-9}$		
Zn	$6/4 \times 10^{-8}$	$7/9 \times 10^{-8}$	$1/4 \times 10^{-6}$	$1/6 \times 10^{-6}$		
Ni						$4/4 \times 10^{-7}$
Cr						$5/1 \times 10^{-5}$

$HI > 1$ نشان می‌دهد که احتمال بروز اثرات سلامتی منفی وجود دارد. به منظور بررسی خطر غیرسرطان‌زایی از طریق مسیره‌های مختلف بلع، استنشاق و تماس پوستی، ضریب خطر در معرض قرار گیری (HI) محاسبه

شد. بر اساس جدول ۹-۴، HI تمام عناصر در هر سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی کمتر از ۱ و در محدوده ایمن و فاقد خطر قرار دارد. مقادیر HI عناصر مورد مطالعه به شکل زیر تغییر می‌کند (شکل ۹-۴):

$$\text{Zn} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Cd}$$

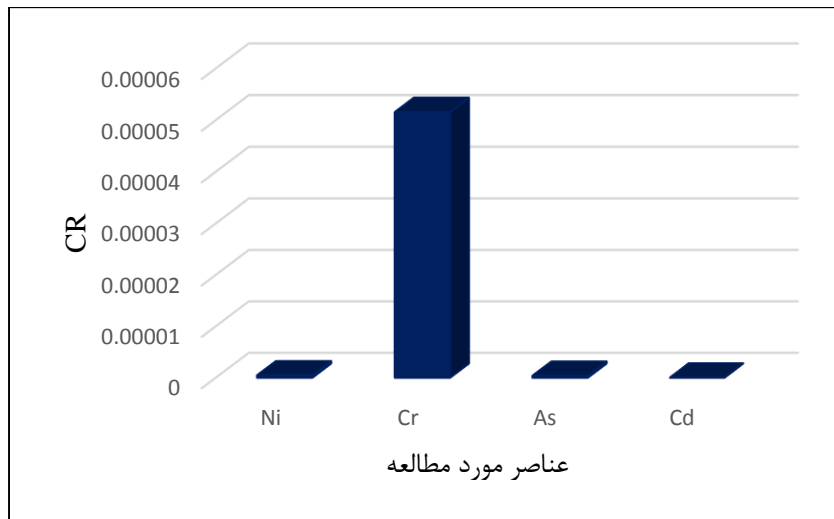


شکل ۹-۴: شاخص خطر عناصر غیرسرطانزا در گرد و غبار

سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده امریکا، آرسنیک، کادمیم، کروم و نیکل را در رده I ترکیبات سرطانزا قرار داده است. در این مطالعه، خطر سرطانزایی (CR، Carcinogenic Risk) آرسنیک از طریق مسیر بلع و استنشاق و خطر سرطانزایی کادمیم، کروم و نیکل از طریق مسیر بلع محاسبه شد (Cao et al., 2014). بررسی ریسک سرطانزایی عناصر سرطانزا نیز در محدوده ایمن و بدون خطر وجود دارد. روند کاهش خطر سرطانزایی عناصر مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد (شکل ۹-۴):

$$\text{Cr} (5 \times 10^{-5}) > \text{Ni} (4.4 \times 10^{-7}) > \text{As} (3.6 \times 10^{-7}) > \text{Cd} (1.1 \times 10^{-8})$$

بنابراین خطر سرطانزایی کروم در مقایسه با سایر عناصر مورد مطالعه، بالاتر می‌باشد. با توجه به مقدار قابل قبول CR ($1 \times 10^{-6} \leq \text{CR} < 1 \times 10^{-4}$)، خطر سرطانزایی عناصر مورد مطالعه در محدوده قابل قبول قرار دارد.



شکل ۴-۱۰: خطر سرطان‌زایی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار دشت سیستان

۴-۷- کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار

بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی و کانی‌شناسی نمونه‌های گرد و غبار مناطق شهری، برای توسعه و حفظ یک محیط سالم و پایدار ضروری می‌باشد (Johnson et al., 2008). بر اساس جدول ۴-۱۰ و پیوست ۱، فازهای کانیایی موجود در ذرات گرد و غبار مورد مطالعه شامل کانی‌های سیلیکاتی (عمدتاً کوارتز و کانی‌های رسی)، کانیهای کربناتی (کلسیت و دولومیت)، کانیهای سولفاتی (ژیپس) و ترکیبات کلریدی (هالیت) و اکسیدی (هماتیت) می‌باشد. با توجه به ترکیب کانی‌شناسی نمونه برداشت شده از تالاب (جدول ۴-۱۰)، منشأ محلی (تالاب هامون) ذرات گرد و غبار مورد تأیید قرار می‌گیرد. قرارگیری طولانی مدت افراد در معرض توفان‌های گرد و غبار که حاوی مقدار قابل توجهی کوارتز در ابعاد $0/004$ تا $0/06$ میلی‌متر باشد، باعث بروز بیماری سیلیکوزیس می‌شود. ماکروفاژها سیلیکا را مصرف کرده و سپس یک واکنش التهابی ایجاد می‌کنند که سبب ایجاد بیماری فیبروز ریه می‌شود (Faiz et al., 2009). همچنین تنفس ذرات کوارتز باعث صدمه به کلیه و کبد نیز می‌گردد (Knippertz et al., 2014). تنفس غلظت بالای کلسیت (کربنات کلسیم) موجود در ذرات گرد و غبار نیز به عطسه و سرفه منجر می‌گردد. همچنین در معرض قرار گرفتن طولانی مدت کلسیت و ورود آن به بدن از طریق بلعیدن باعث بیماری آلکلوزیس می‌شود (Knippertz et al., 2014).

جدول ۴-۱۰: نتایج حاصل از آنالیز XRD نمونه‌های گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه

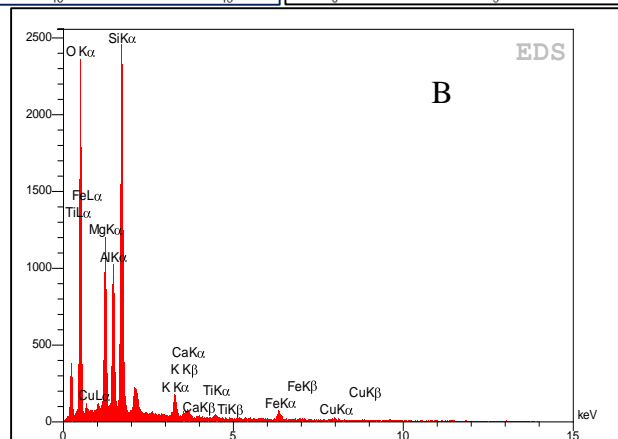
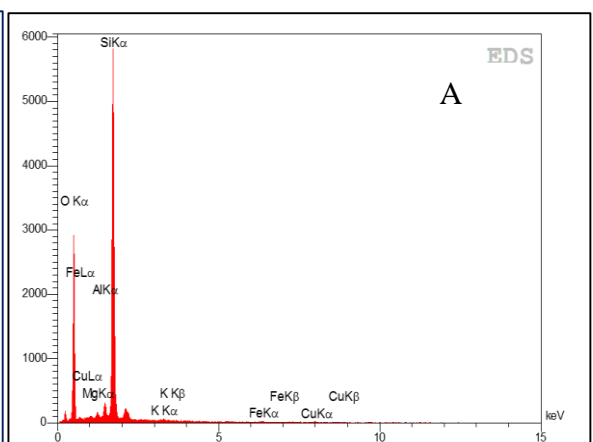
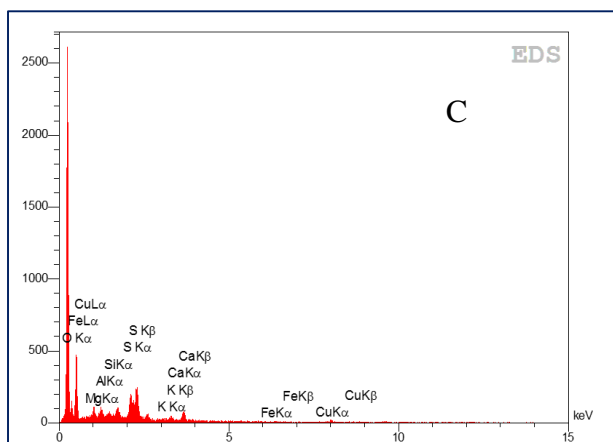
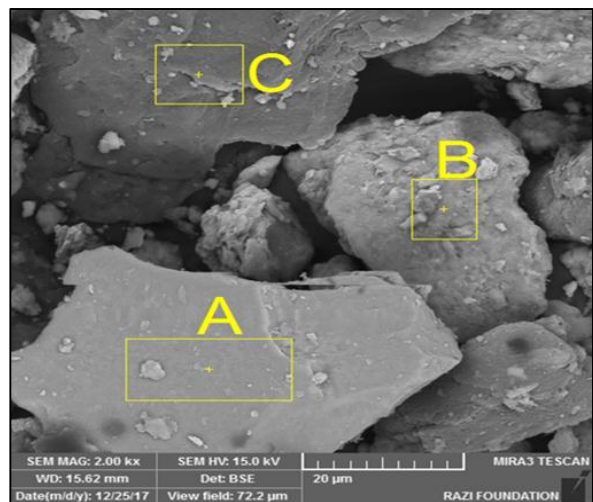
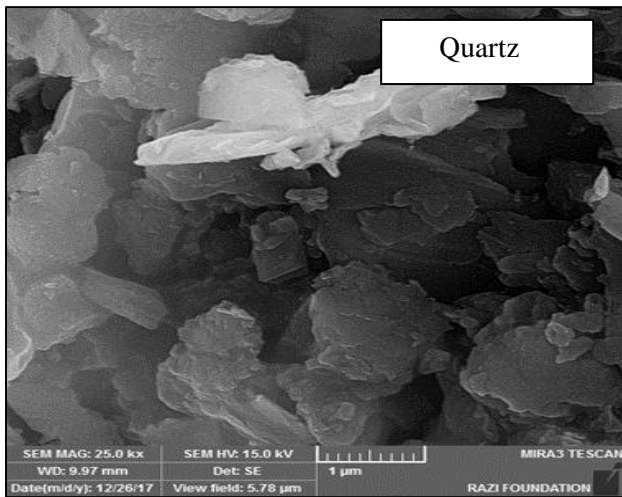
نمونه	کانی‌شناسی
تالاب	کوارتز، کلسیت، هالیت، ژیپس، مسکوویت، مونت‌موریلونیت
S1	کوارتز، کلسیت، هالیت، ژیپس، مسکوویت، ایلیت، مونت‌موریلونیت
S2	کلسیت، هالیت، آلبیت، ژیپس، مونت‌موریلونیت
S3	دولومیت، کوارتز، آلبیت، مسکوویت، ژیپس، کلسیت، هماتیت، هالیت
S4	کوارتز، آلبیت، کلسیت، مسکوویت، هماتیت، کلریت
S5	کلسیت، سولفات، کوارتز، هالیت، مسکوویت، پیروکسن، کلریت، ایلیت، آنوریت، ژیپس
W4	کوارتز، آلبیت، کلسیت، مسکوویت، هماتیت، هالیت

۴-۸- بررسی کانی‌شناسی، شکل و اندازه ذرات گرد و غبار بر اساس تصاویر SEM

بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌های EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) نشان می‌دهد که ذرات گرد و غبار مورد مطالعه شامل سیلیکات‌ها (کوارتز)، آلومینوسیلیکات‌ها، کلریدها و سولفات‌ها می‌باشد. اندازه کانی‌ها در محدوده کمتر از ۵ تا ۴۰ میکرومتر قرار دارد. در نمونه مورد مطالعه به شکل‌های نامنظم (بی‌شکل)، مسطح (لایه‌ای)، کشیده، شاخه شاخه، سوزنی و منشوری حضور دارند. به طور کلی، ذرات درشت و زاویه دار که کمتر از ۱/۰ میلی‌متر قطر دارند، به وسیله فرآیندهای رسوبگذاری خشک و تر در نزدیک منبع گرد و غبار ته‌نشین می‌شوند در حالی که ذراتی با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر، مدت طولانی‌تری در جو باقی می‌مانند و منبع آن‌ها از فواصل دورتر است. همچنین تیز و زاویه‌دار بودن ذرات نشان‌دهنده منشأ نزدیک ذرات، و گرد و کروی بودن آنها نشانه منشأ دورتر آنها

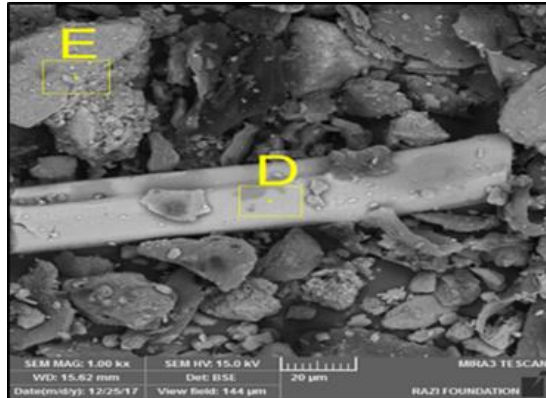
است (Kim et al., 2007).

ذرات دارای شکل نامنظم (زاویه‌دار)، بلورهای کوارتزی هستند که در اندازه ۱۰ میکرومتر دیده می‌شوند (شکل ۴-۱۱، A). نامنظم بودن شکل ذرات کوارتز، تایید کننده منشأ محلی آن می‌باشد. حضور دوده در شکل که بصورت اشکال کروی مشاهده می‌شود در اندازه ۲۰ میکرومتر حضور دارد که با توجه به نتایج حاصل از EDX بیش از ۹۰ درصد آن از کربن تشکیل یافته است (شکل ۴-۱۱، C). این نمونه از شهرستان زابل و قسمت پر ترافیک برداشت شده است. می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً حضور دوده ناشی فعالیت‌های انسان‌زاد نظیر ترافیک باشد. بلورهای هالیت بصورت کشیده و در اندازه ۲۰ میکرومتر قرار دارند (شکل ۴-۱۲، D). وجود هالیت نشان دهنده منشأ محلی ذرات است زیرا رسوبات بستر تالاب هامون بیشتر از رسوبات نمک که در اثر تبخیر به جای مانده‌اند تشکیل یافته است. کانی بیوتیت که بصورت بی‌شکل و نامنظم در اندازه ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر وجود دارد (شکل ۴-۱۲، E) ذرات مسطح با قطر کمتر از ۵ میکرومتر بیشتر کانی‌های رسی هستند که انبوهه‌های خوشه‌ای را ایجاد می‌کنند (شکل ۴-۱۳). بلورهای درشت با اندازه ۲۰ تا ۴۰ میکرومتر با ساختار منشوری، از کانی‌های آلبیت تشکیل یافته‌اند (شکل ۴-۱۴). کانی هماتیت که بصورت نامنظم و بی‌شکل در اندازه ۲۰ میکرومتر قرار دارد (شکل ۴-۱۵). ساختارهای بلوری منظم در اندازه ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر، شامل بلورهای کلسیت می‌باشند (شکل ۴-۱۶). ذرات ژپیس به صورت منظم و شاخه شاخه و در اندازه ۱۰ میکرومتر حضور دارند (شکل ۴-۱۶). تصاویر SEM و طیف‌های EDX، نشان‌دهنده حضور عناصر بالقوه سمی فلزی در نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه است. بر اساس شکل ۴-۱۶ ذرات گرد و غبار حاوی عنصر نقره، مس و آهن می‌باشند. این عناصر احتمالاً روی سطح کانی‌ها به شکل جذب سطحی حضور دارند.

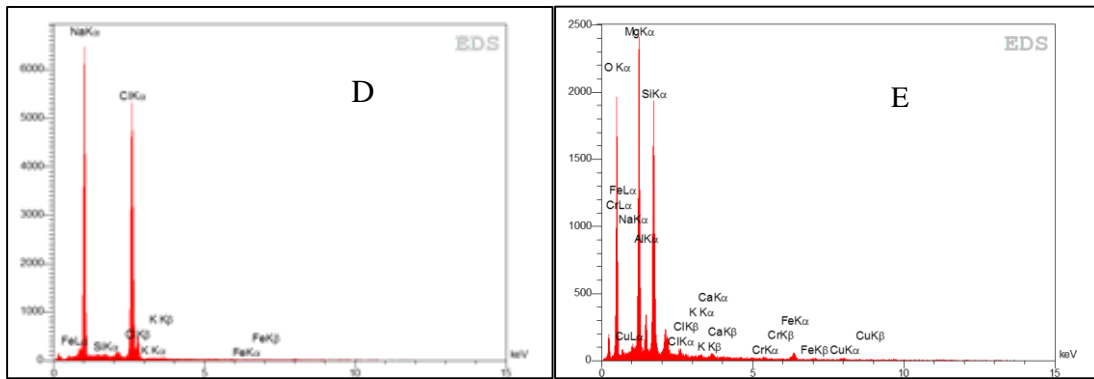


شکل ۴-۱۱: تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه. A (کوارتز بی‌شکل) B (فلدسپات) C (دوده، مورفولوژی

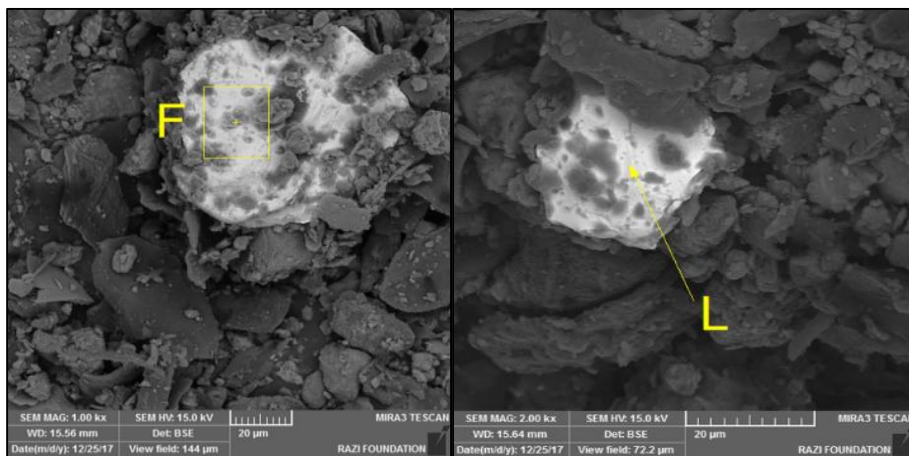
متغیر) ب: کوارتز

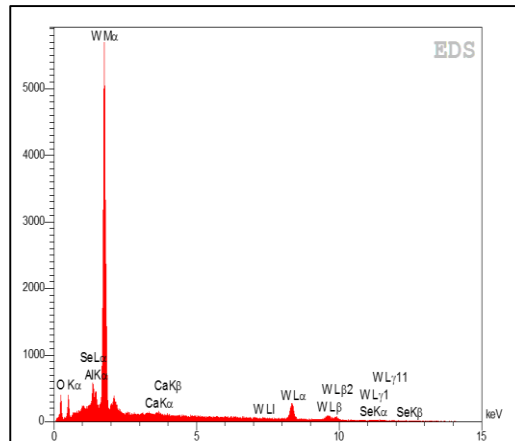


شکل ۴-۱۲: تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه. D (هالیت) E (بیوتیت)



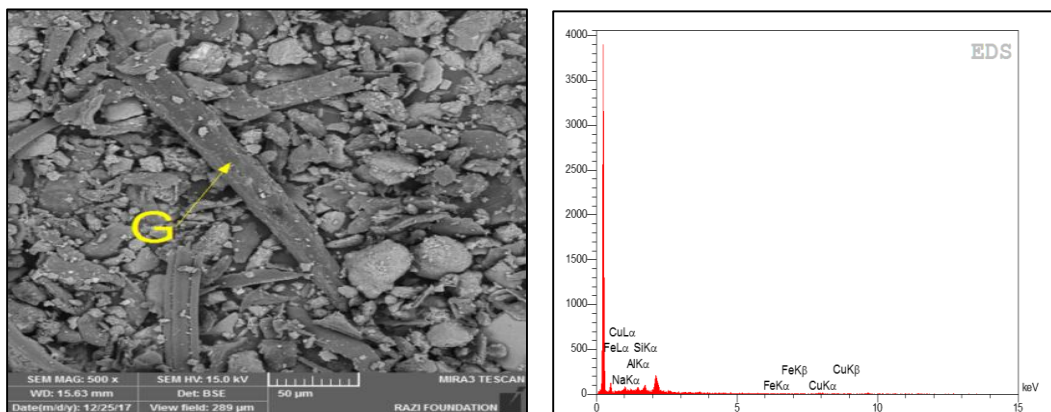
ادامه شکل ۴-۱۲: D تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه (هالیت) E (بیوتیت)





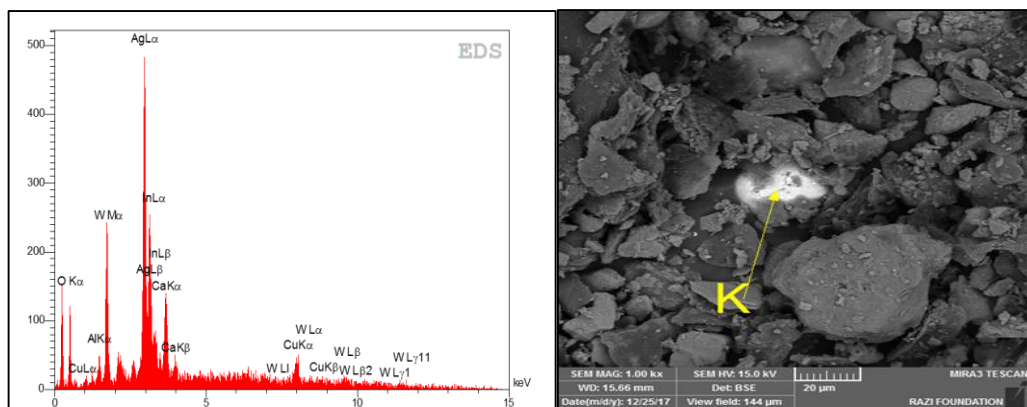
شکل ۴-۱۳: تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه

کانی‌های رسی که به صورت انبوه‌های خوشه‌ای در شکل وجود دارند و فلز سنگین مس که بصورت درخشان‌تر نسبت به سایر کانی‌های حضور دارد و جذب سطحی رسها شده است.

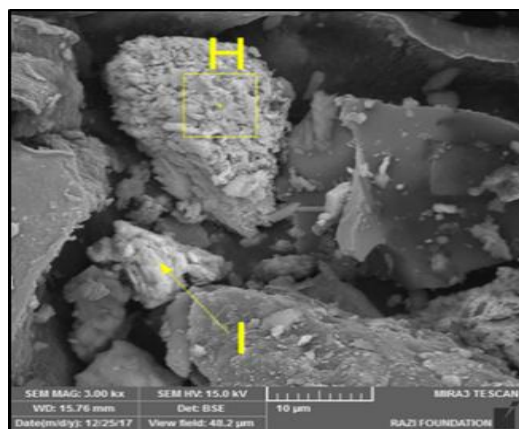
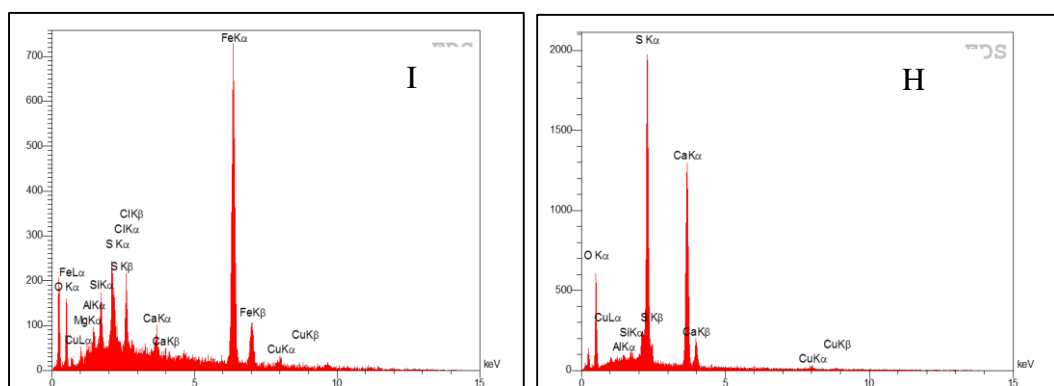


شکل ۴-۱۴: تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه. G کانی آلبیت که فلزات مس و آهن را

جذب سطحی نموده است.



شکل ۴-۱۵ تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه فلزات سنگین نسبت به سایر عناصر دارای درخشندگی بیشتر هستند این ذره حاوی فلز نقره و مس است که به صورت سطحی جذب کانی‌های هماتیت شده است.



شکل ۴-۱۶: تصویر میکروسکوپی الکترونی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه. H ذرات ژئیس که مس را جذب سطحی کرده‌اند. ذره I حاوی فلز آهن است که به صورت سطحی جذب کانی‌های کلسیت شده است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این مطالعه غلظت عناصر بالقوه سمی و کانی شناسی، اندازه و شکل ذرات در نمونه‌های گرد و غبار پنج شهرستان دشت سیستان مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از شاخص‌های ضریب آلودگی، ضریب زمین انباشت، درجه آلودگی، شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی و بار آلودگی، شدت آلودگی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین خطر سلامتی فلزات از نظر بررسی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات در محیط مورد بررسی قرار گرفت.

۵-۲- مروری بر نتایج بدست آمده از این مطالعه

نتایج کلی بدست آمده از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- از نظر مقدار pH، نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه در بازه کمی قلیایی تا بسیار قلیایی قرار می‌گیرند که با توجه به زمین‌شناسی منطقه که بیشتر از رسوبات دریاچه‌ای و رودخانه‌ای و خاک‌های رسی و ماسه‌سنگ‌ها تشکیل شده است قابل توجیه می‌باشد.
- ۲- درصد کربنات کلسیم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گرد و غبار در بازه ۲۴ تا ۳۲ درصد قرار دارد. بیشترین درصد کربنات کلسیم مربوط به نمونه تالاب است که با توجه به زمین‌شناسی این منطقه قابل توجیه می‌باشد.

۳- غلظت کل عناصر Pb, Cu, Zn, Ni, Cr در نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با غلظت آن‌ها در نمونه معرف برداشت شده از تالاب هامون بالاتر است. منشأ این عناصر احتمالاً فعالیت‌های انسان نظیر ترافیک می‌باشد.

۴- غلظت کل عناصر Cd, As, Co, Mo, Mn, Sb, Sr, Sc, Ti, Fe, Al در نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با غلظت کل آن‌ها در نمونه معرف برداشت شده از تالاب هامون، میانگین خاک جهانی و میانگین پوسته بالایی تقریباً برابر یا کمتر می‌باشد. این عناصر عمدتاً منشأ زمین‌زاد داشته و فرآیندهای طبیعی غلظت این عناصر در گرد و غبار منطقه را کنترل می‌کند.

۵- بر اساس میانگین مقادیر ضریب غنی‌شدگی، نمونه‌ها نسبت به عناصر آلومینیم، تیتانیوم، کبالت، منگنز، مولیبدن فاقد غنی‌شدگی، نسبت به عناصر سرب، مس، آرسنیک، کادمیم و نیکل در رده آلودگی متوسط، و نسبت به عناصر کروم، روی و آنتیموان در رده آلودگی قابل توجه قرار دارند.

۶- براساس مقادیر ضریب زمین‌انباشت، نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به تمام عناصر، به جز عنصر روی، در رده غیرآلوده قرار داشته و فاقد آلودگی هستند. نمونه‌ها نسبت به عنصر روی در رده غیرآلوده تا کمی آلوده قرار دارند.

۷- نتایج حاصل از محاسبه ضریب آلودگی نشان می‌دهد که عناصر آلومینیم، آهن، اسکاندیم، تیتانیوم، استرانسیم، کبالت، آنتیموان، منگنز و مولیبدن دارای ضریب آلودگی پایین هستند. این عناصر احتمالاً زمین‌زاد و در ارتباط با زمین‌شناسی منطقه می‌باشند. عناصر سرب، آرسنیک، کروم، کادمیم و مس دارای ضریب آلودگی متوسط و عناصر نیکل و روی دارای ضریب آلودگی قابل توجه می‌باشند. این عناصر احتمالاً منشأ انسان‌زاد دارند.

۸- شاخص بار آلودگی نشان‌دهنده بالاتر بودن بار فلزی نمونه S11 (برداشت شده از شهرستان زابل) را نشان می‌دهد. همچنین شاخص بار آلودگی همه نمونه‌ها بالاتر از صفر است که نشان‌دهنده یک منشأ انسان‌زاد برای افزایش بار فلزی نمونه‌های مورد مطالعه است.

۹- بر مبنای مقادیر شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی، نمونه‌های مورد مطالعه دارای خطر

زیست‌محیطی پایین هستند، به جز نمونه W4 که (نمونه خانگی شهرستان زابل) که دارای خطر زیست‌محیطی متوسط است.

۱۰- به طور کلی نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده آلودگی فلزی نمونه‌های مورد مطالعه است و عناصری که در این منطقه از نظر زیست‌محیطی دارای اهمیت بیشتری هستند شامل عناصر سرب، روی، مس، نیکل و کروم می‌باشد.

۱۱- نتایج حاصل از بررسی خطر سلامتی نشان می‌دهد که HI تمام عناصر در هر سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی کمتر از ۱ می‌باشد و در محدوده ایمن قرار دارند. همچنین خطر سلامتی برای عناصر سرطان‌زا نیز در محدوده ایمن قرار دارد.

۱۲- نتایج حاصل از بررسی کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ذرات گرد و غبار بیشتر از کانی‌های کوارتز، کلسیت، هالیت، مسکوویت، پیروکسن و ژیپس می‌باشد که با توجه به مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه با زمین‌شناسی منطقه مطابقت دارد.

۱۳- حضور میزان قابل توجه سیلیس در نمونه‌ها می‌تواند سبب بروز مشکلات سلامتی به خصوص بیماری‌های ریوی شود. بیماری‌های ناشی از در معرض قرارگیری سیلیس شامل سیلیکوزیس، سیلیکوتوبرکولوسیس (سل سیلیسی)، تخریب عملکرد ماکروفاژها و عفونت‌های تنفسی، رماتیسم، بیماری‌های مزمن کلیوی و سرطان است (WHO, 1997). استنشاق ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون کوارتز باعث زخم شدن بافت ریه و کاهش ظرفیت تنفسی می‌شود. بنابراین در نظر گرفتن تمهیدات زیست‌محیطی مناسب در منطقه، به منظور کاهش خطرات سلامتی طوفان‌های گرد و غبار، ضروری است.

۱۴- حضور کانی‌های کلسیت در تمامی نمونه‌ها، به ویژه حضور ذراتی با اندازه آن‌ها کمتر از ۱ میکرون، می‌تواند باعث بروز بیماری‌های قلبی-ریوی شود. از این رو، کنترل و پایش طوفان‌های گرد و غبار در منطقه ضرورت دارد.

۱۵- بررسی شکل و اندازه ذرات گرد و غبار توسط تکنیک SEM-EDX نشان می‌دهد که

کانی‌ها از نظر شکل، نامنظم، کشیده، زاویه‌دار هستند که نشان‌دهنده منشأ محلی ذرات گرد و غبار است.

۱۶- اندازه ذرات در محدوده ۴۰-۵ میکرومتر قرار دارند. بخش بزرگتر از ۱۰-۵ میکرومتر ذرات در قسمت فوقانی دستگاه تنفسی قرار می‌گیرند و بخش کوچکتر از ۵ میکرومتر به بافت‌های عمیق ریه و شش‌ها نفوذ کرده و باعث بیماری سیلیکوزیس و سایر بیماری‌های ریوی می‌شوند (Pendergrass, 1985). از این رو تعیین کانی‌شناسی، شکل و اندازه ذرات بسیار مهم است

۱۷- تصاویر SEM نشان‌دهنده حضور عناصر مس و نقره بر روی سطح برخی کانی‌ها می‌باشد که بیان‌کننده تأثیر فعالیت‌های انسان بر بار فلزی نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه می‌باشد.

۵-۳- پیشنهادهایی برای مطالعات آینده

- به منظور تکمیل پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود موارد زیر مورد بررسی و توجه قرار گیرد:
- تعیین زیست‌دسترس‌پذیری عناصر موجود در گرد و غبار خارجی و داخلی با استفاده از هضم نمونه‌ها در محلول‌های شبیه‌سازی شده معده و ریه.
- انجام آنالیز استخراج ترتیبی به منظور بررسی جزء به جزء‌شدگی ژئوشیمیایی عناصر بالقوه سمی
- اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق و آئروسول‌ها در هوای منطقه و بررسی ژئوشیمیایی این ذرات
- انجام مطالعات زمین پزشکی تفصیلی در منطقه
- زون بندی مناطق شهری و بررسی غبار در هر یک از مناطق.

آقائباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران ۷۰۷ص.

References

- Abbasi, M.N., Tufail M., and Chaudhry, M.M. 2011. Assessment of heavy elements in suspended dust along the Murree highway near capital city of Pakistan. *World Applied Sciences Journal* 93, 372-377.
- Addo, M. A., Darko, E. O., Gordon, C., Nyarko, B. J. B. and Gbada go, J. K. 2012. Heavy Metal Concentrations in Road Deposited Dust at Ketu-South District, Ghana. *International Journal of Science and Technology*, 2, 28-39.
- Allen, A. G., Nemitz, E., Shi, J. P., Harrison, R. M., & Greenwood, J. C. 2001. Size distribution of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, 35, 4581–4591.
- Bavec, S., Biester, H., Gosar, M., & Grčman, H. 2014. Geochemical investigation of mercury and other elements in urban soil of Idrija (Slovenia). *Journal of Geochemical Exploration*, 154, 213–223.
- Bavec, Š., Biester, H., Gosar, M. 2016. Urban sediment contamination in a former Hg mining district, Idrija, Slovenia. *Environmental Geochemistry and Health* 36, 427–439.
- Bourennane, H., Douay, F., Sterckeman, T., Villanneau, E., Ciesielski, H., King, D., Baize, D. 2010. Mapping of anthropogenic trace elements inputs in agricultural topsoil from northern France using enrichment factor. *Geoderma*, 175, 165-174.
- Cao, J.J., Lee, S.C., Zhang, X.Y., Chow, J.C., An, Z.S., Ho, K.F. 2005. Characterization of airborne carbonate over a site near Asian dust source regions during spring 2002 and its climatic and environmental significance. 110, 231-242.
- Cao, S., Duan, X., Zhao, X., Ma, J., Dong, T., Huang, N., Sun, C., He, B., Wei, F. 2014. Health risks from the exposure of children to As, Se, Pb and other heavy metals near the largest coking plant in China. *Science of the Total Environment* 472, 1001–1009.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Ashbaugh, L.L., Magliano, K.L. 2003. Similarities and differences in PM10 chemical source profiles for geological dust from the San Joaquin Valley, California. *Atmospheric Environment* 37, 1317–1340.
- Clarke, A.D., Shinozuka, Y., Kapustin, V.N., Howell, S., Huebert, B., Doherty, S. 2004. Size distributions and mixtures of dust and black carbon aerosol in Asian outflow: physiochemistry and optical properties. 109, 678-698.
- Cong, Z., Kang, S., Dong, S. and Zhang, Y. 2009. Individual Particle Analysis of

- Atmospheric Aerosols at Nam Co, Tibetan Plateau. *Aerosol and Air Quality Research* 9, 323–331.
- D'Almeida, G.A., Koepke, P. and Shettle, E.P. 1991. *Atmospheric Aerosols: Global Climatology and Radiative Characteristics*. Science of the Total Environment, Va.,USA.
- Duong, T.T.T., Lee, B.K. 2010. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*. 92, 554-62
- Eby, N.G. 2004. *Principles of Environmental Geochemistry*. Brooks Cole, New York., pp. 528.
- Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M. T., Chaudhry, M. M. and Siddique, N. 2009. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 92, 186–192.
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2000. Dust Storms in South West Asia. *Acta Universitatis Carolinae, Supplement 7*, 73–83.
- Goudie, A.S., Middleton, N.J. 2009. Saharan dust storms: nature and consequences- *Journal of Environmental Quality*. 56, 179–204.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research* 14, 975-1001.
- Hunt, A., & Johnson, D. L. 2000. Differential individual particle analysis (DIPA): Applications in particulate matter characterization. *Journal of Environmental Quality*, 40, 742–750.
- Johanson, C., Norman, M., Bourman, L. 2008. Road traffic emission factors for heavy metals. *Atmospheric Environment* 31, 8-4681.
- Jeffrey, N., Brown, Barrie M. 2005. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff, *Science of the Total Environment* 26, 145–155.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. 2007. *Trace elements from soil to Human*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Pub., 550.
- Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*, Fourth Edition, p. 505.
- Kamani, H., Hoseyni, M., Nazmara, Sh. 2014. A study Heavy Metal Contamination in Street Dusts with Various Land Uses in Zahedan, Iran. *Bull Environ Contam Toxicol*. 32, 45-78.
- Kim, W., Doh, S.J., Park, Y.H., Yun, S.T. 2007. Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul,

- Korea. *Atmospheric Environmental*. 41, 7627-7641.
- Knippertz, P., Stuut, J.B.W., (eds). *Mineral dust: a key player in the earth system*. Springer, London.
- Lawrence, C.R., Neff, J.C. 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: a synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chemical Geology* 267, 46-63.
- Lehnert, B.E., 1993. Defense mechanisms against inhaled particles and associated particle-cell interactions. *Environmental Monitoring and Assessment* 70, 425–469.
- Li, H.B., Cui, X.Y., Li, K., Li, J., Juhasz, A.L., Ma, L.Q. 2010. Assessment of in vitro lead bioaccessibility in house dust and its relationship to in vivo lead relative bioavailability”. *Environmental Science and Technology* 48, 8548–8555.
- Lin, Y., Fang, F., Wang, F., Xu M. 2015. A study Pollution distribution and health risk assessment of heavy metals in indoor dust in Anhui rural, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 27,187_ 565 .
- Ma, W., Tai, L., Qiao, Zh., Zhong, L., Wang, Zh., Fu, K., Chen, G., 2018. Contamination source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil around municipal solid waste incinerator: A case study in North China. *Science of the Total Environment*. 29, 348-357.
- Madrid, M., Biasioli, F. 2002. Availability and bioaccessibility of metals in fine particles of some urban soils. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55, 21–32.
- McClellan, R.O. 2000. Particle interactions with the respiratory tract. In: Gehr P, Heyder J (eds) *Particle-lung interactions. Lung biology in health and disease*. Marcel Dekker, Inc., New York, 143, 3–56.
- Morman, S.A., Garrison, V.H., Plumlee, G.S., Lowers, H.A., Bunnell, J.E. 2009. Assessing concentration and bioaccessibility of potentially toxic elements in African dust. *Proceedings of Geological Society of America, Portland, OR, USA*, 41,544
- Monazami Tehrani, G.H., Sany, S.B.T., Hashim, R. and Salleh, A. 2016. Predictive environmental impact assessment of total petroleum hydrocarbons in petrochemical wastewater effluent and surface sediment. *Environmental Earth Sciences* 75, 1-13.
- Middleton, N.J., Goudie, A.S., 2001. Saharan dust: sources and trajectories. *Trans. Inst.Br. Environmental Earth Science* 26, 165–181.
- Miri, A., Ahmadi, H., Ghanbari, A., Moghaddamnia, A. 2007. Dust storms impacts on air pollution and public health under hot and dry climate. *Int. J. Energy Environmental*. 2,114-120.
- Muller, G. 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2,108-118.

- Norouzi, S., Khademi, H. 2015. Source identification of heavy metals in atmospheric dust using *Platanus orientalis*. leaves as bioindicator. *Eurasian J. Soil Sci.* 4, 144-219.
- Ooki, A., Uematsu, M. 2005. Chemical interactions between mineral dust particles and acid gases during Asian dust events. *J Geophys Res* 45, 23-54
- Pachauri, H. 2013. Studies on the potential ecological risk and homology correlation of heavy metals in the surface soil. *Journal of Agricultural Science*, 2, 194–201.
- Pendergrass, E.P. 1958. Silicosis and a few other pneumoconioses: observations on certain aspects of the problems with emphasis on the role of the radiologist. *Environmental Earth Sciences*.108, 80-141.
- Pope, C. A., 2000. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: Biologic mechanisms and who's at risk? *Environmental Health Perspectives*” *Environmental Earth Sciences.*, 108, 713–723
- Praveen, R., Renuka, S., Ajay, T., 2016. Chemical characterization and health risk assessment of soil and airborne particulates metals and metalloid in populated semiarid region, Agra, India”. *Environ Geochem Health*, 50, 343-349.
- Qishlaqi, A., Moor, F., Forghani, G. 2008. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental. Monit. Assess.*, 141, 257-273.
- Rao, C.R.M., Sahuquillo, A., López Sanchez, J.F., 2008. A review of the different methods applied in environmental geochemistry for single and sequential extraction of trace elements in soils and related materials. *Water, Air, & Soil Pollution* 189, 291–333.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C.J.W., Eriksson, P.G., Qiang, M., Gupta, P. 2012. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran, *Aeolian Research*, 20, 51-62.
- Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.J., Kaskaoutis, D.G., Grote, W., Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*. 90, 227–236.
- Root, R. A. 2000. Lead Loading of Urban Streets by Motor Vehicle Wheel Weights,*Environmental Health Perspectives*. 108, 57-68.
- Salma, I., Maenhaut, W., Zemplén-Papp, E. and Záray, G. 2001. Comprehensive Characterization of Atmospheric Aerosols in Budapest, Hungary. *Physicochemical Properties of Inorganic Species. Atmos. Environ.* 35: 4367–4378.
- Shahryari, A. 2008. Dust storm prediction using ANNs technique (A case study: Zabol city). *Proceeding of World Academy of Science, Engineering and Technology*. 33, 529-537.
- Smichowski, P., Gómez, D. R., Frazzoli, C. and Caroli, S. 2008. Traffic-related elements in airborne particulate matter,*Appl.* 43, 23-49.

- Srivastav, A., & Jain, V. K. 2005. characterize the influence of outdoor SPM and associated metals on indoor environment in Delhi. *Journal of Environmental Science & Engineering*, 47, 222–231.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 396, 611-627.
- Tager I. B., 2005. 24 Health effects of aerosols: mechanisms and epidemiology, Eds Ruzer L. S., *Aerosols Handbook: Measurement, Dosimetry and Health Effects*, CRC
- Tao, C., Jia, S., Cheng, Y., Cheng, F.,&Xin, R. 2013. geochemical baseline value and environmental background value of soils in the Chuzhou area. *Geology of Anhui*, Measurement, Dosimetry and Health Effects. 23, 286–291.
- Taylor, S. R., and McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust: Its Com position and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- US EPA. 1989. Risk assessment guidance for superfund (volumeI) human health evaluation manual.Washington. Office of Soild Waste and Emergency Response, US Environmental Protection Agency 1–89.
- USEPA, 1998. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 9045D. EPA, Washington, D.C.
- USEPA, 1993. Reference dose (RfD): Description and use in health risk assessments. Background Document 1A, Integrated Risk Information System (IRIS).
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1997. *Exposure Factors Handbook e-General Factors*.
- Varol, I., Harrison, A.W., Kim, V., Moss-Hayes, B.P., Vickers, K. and Hong, b. 2011. Organic and metal contamination in surface mangrove sediments of South China. *Marine Pollution Bulletin.*, 58, 134–144.
- Wang, Y., Guoshun, Z., Xingying, Z., Kan, H., Chang, X., Aohan, J.C., Zhisheng, A. 2006. The ion chemistry, seasonal cycle, and sources of PM_{2.5} and TSP aerosol in Shanghai. *Atmos. Environ.* 40, 2935–2952.
- Wei, X., Gao, B., Wang, P., Zhou, H., & Lu, J. 2010. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 186–192.
- World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality*. 2nd ed. , vol 3. WHO, Geneva. 1997.
- Xiaoxia, Z., Wenji, Z., Xing, Y., Tongtong, S., Qiulin, X., and Fantao C. 2015. Pollution Characteristics and Health Risk Assessment Of Airborne Heavy Metals Collected from Beijing Bus Stations. *Environ. Res. Public Health*. 12, 9658-9671.
- Xi, X., Sokolik, I.N. 2011. Impact of Asian dust aerosol and surface albedo on

photosynthetically active radiation and surface radiative balance in dryland ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 67, 453-567.

Xue, J., Zartarian, V., Moya, J., Freeman, N., Beamer, P., Black, K., Tulve, N., Shalat S., 2007. A meta-analysis of children's hand-to-mouth frequency data for estimating nondietary ingestion exposure. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* .272, 411-20.

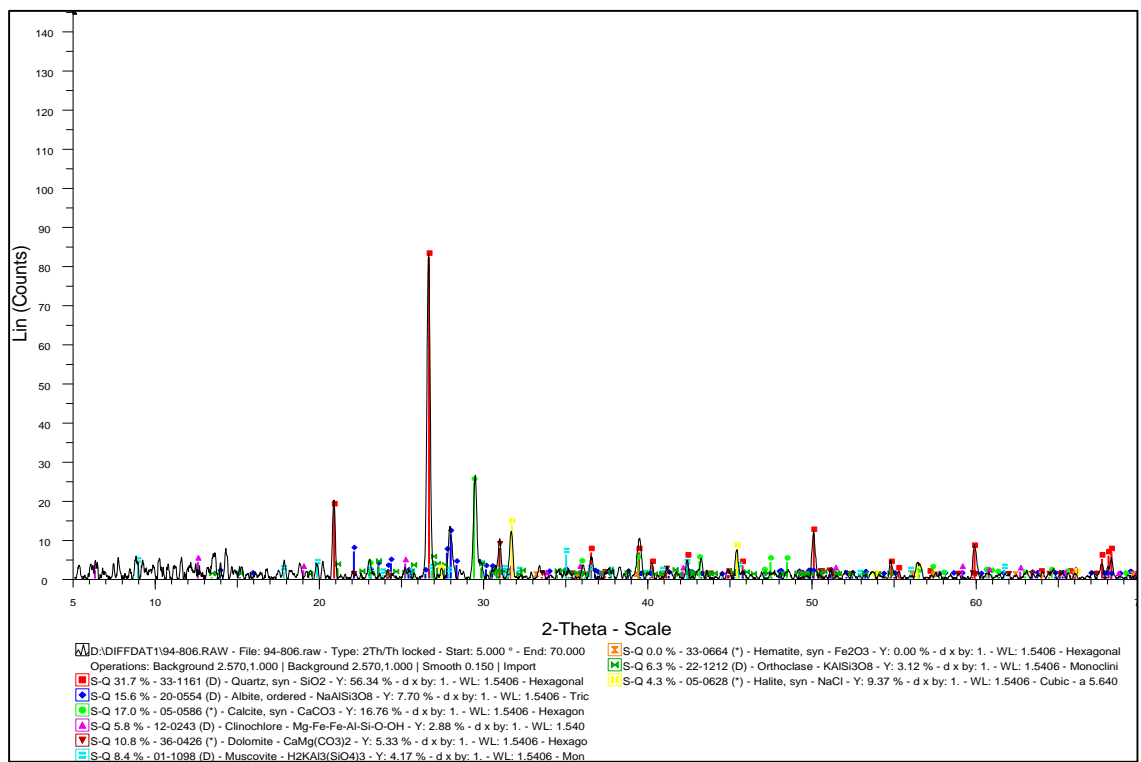
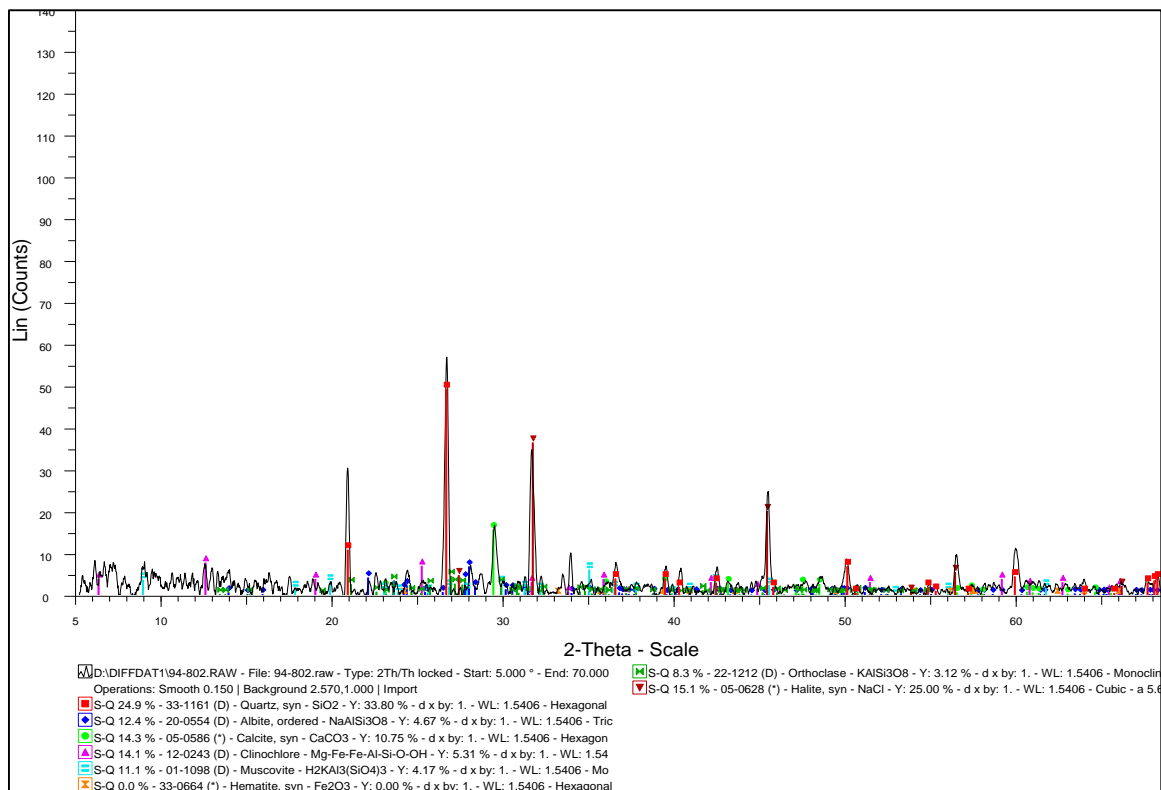
Yang, Q., Chen, H., & Li, B. 2015. Source Identification and health risk assessment of metals in indoor dust in the vicinity of phosphorus mining, Guizhou. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68, 20–30.

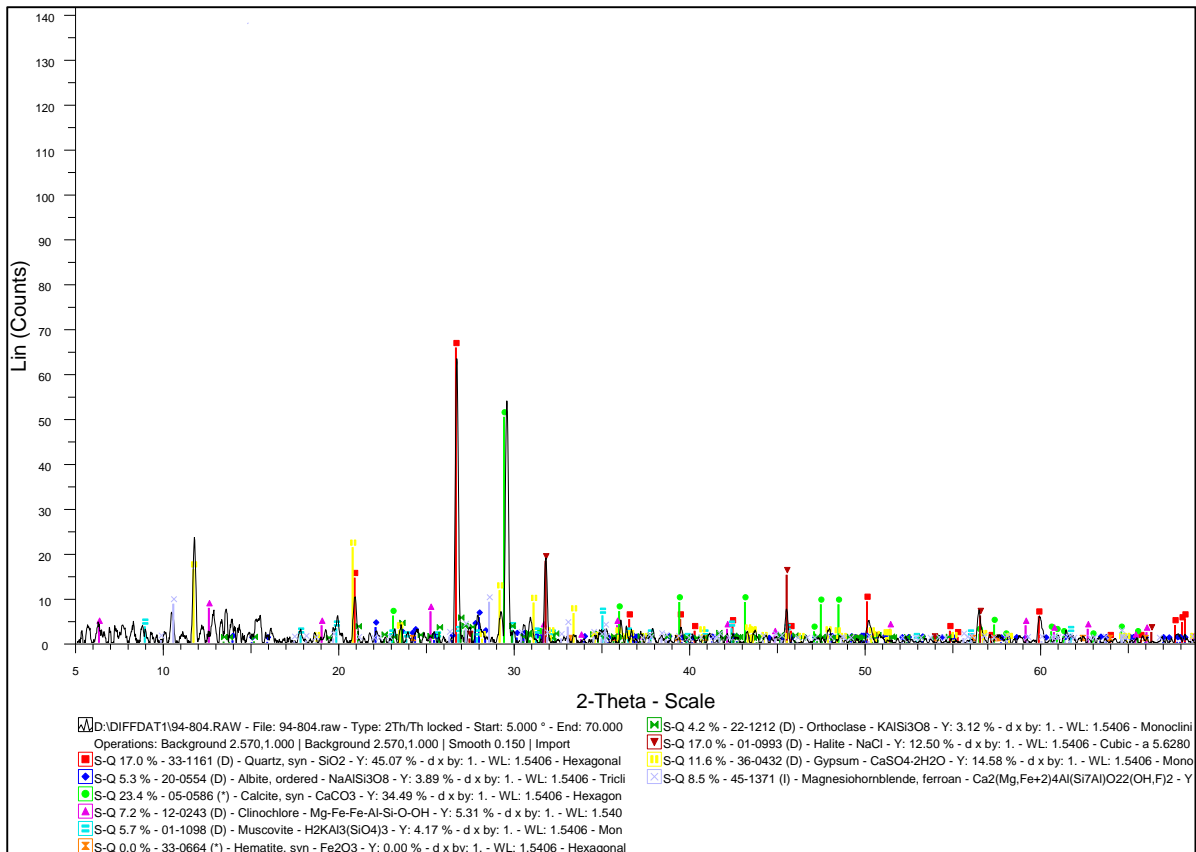
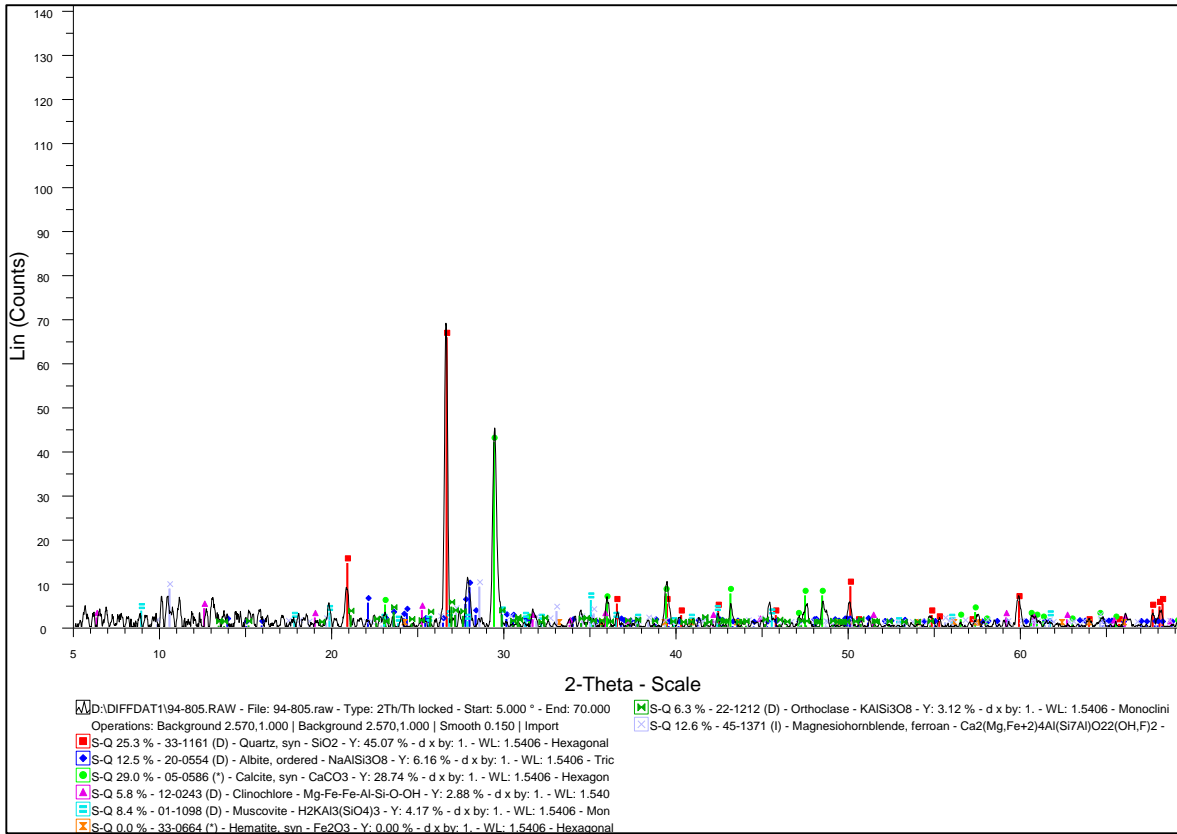
Zarasvandi, A., Carranza, E.J.M., Moore, F., Rastmanesh, F. 2009. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Geochem. Explor.* 111, 138–151.

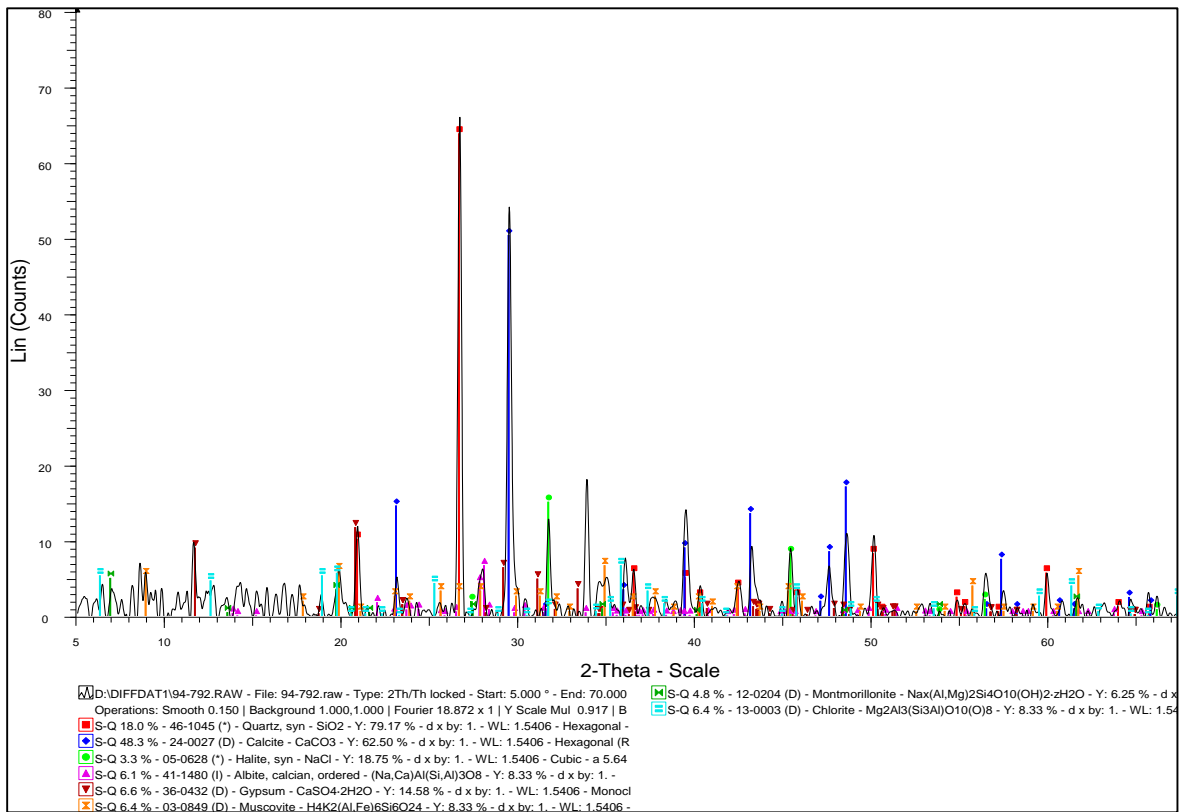
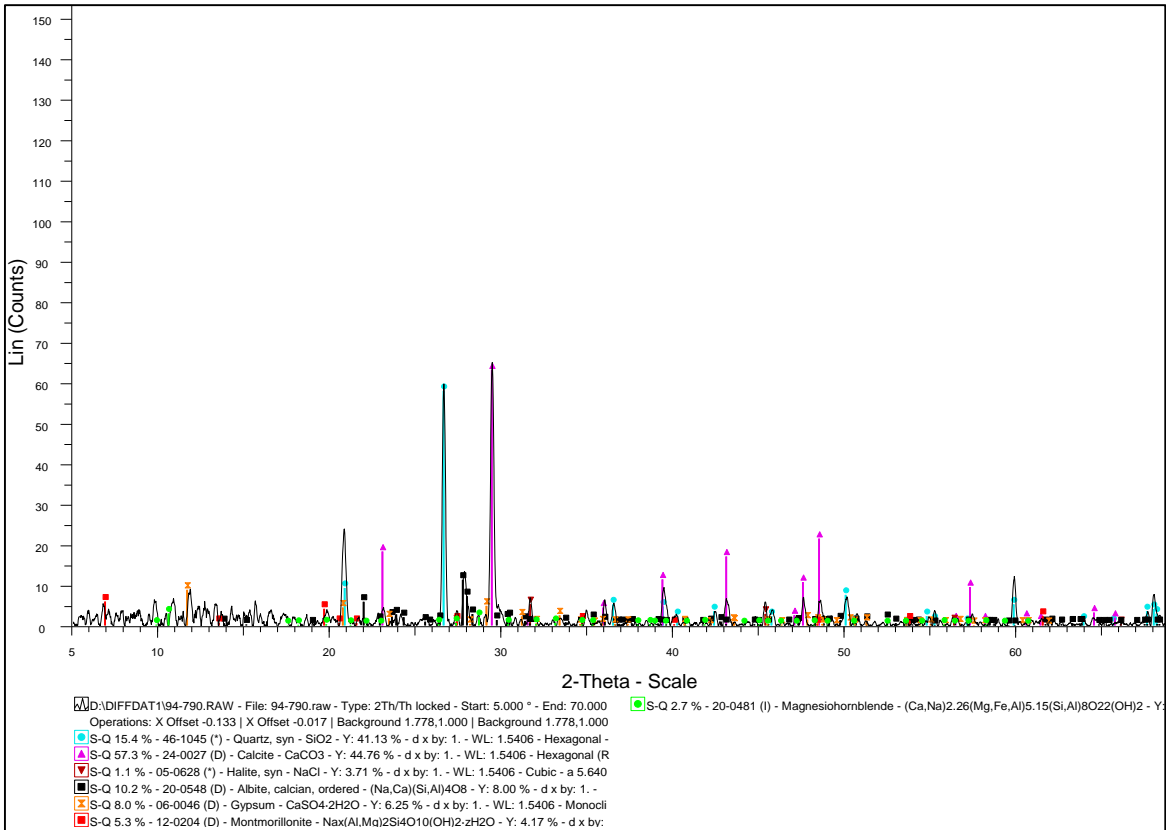
Zhang, C.M., Lv, S.C., Song, Z.H., Wang, Q. 2003. Study on motor-vehicle amount under PM_{2.5} controlling in cities. *Highw. Automot.* 164, 30–33.

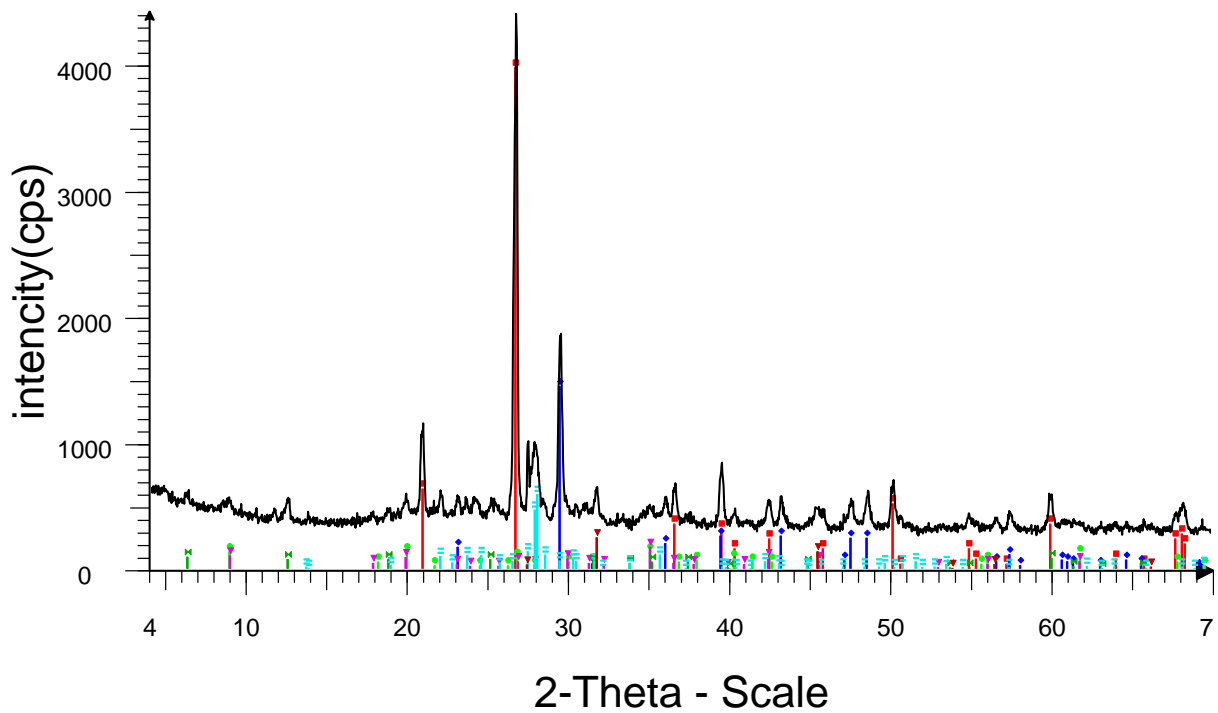
پیوست ۱

تصاویر XRD نمونه‌های گرد و غبار







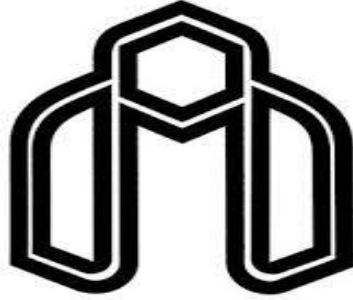


parvaneh Noorpanah - File: W4 961102.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: Operations: Import
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 90.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - H
 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 32.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
 02-0050 (D) - Illite - 2K₂O·3MgO·Al₂O₃·24SiO₂·12H₂O - Y: 3.10 % - d x b
 01-1098 (D) - Muscovite - H₂KAl₃(SiO₄)₃ - Y: 3.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5
 02-0028 (D) - Chlorite - (Mg,Fe)₅(Al,Si)₅O₁₀(OH)₈ - Y: 2.15 % - d x by: 1.
 41-1481 (I) - Anorthite, sodian, disordered - (Ca,Na)(Si,Al)₄O₈ - Y: 13.50
 05-0628 (*) - Halite, syn - NaCl - Y: 5.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubi

Abstract

In this study, the concentration of major and trace elements in the dust of urban environments of Sistan plain has been investigated. For this purpose, eleven outdoor samples, four indoor samples, and one representative sediment sample from Hamoon wetland were collected. Physico-chemical properties of the samples (including pH and carbonate content) were measured using standard methods. Particle mineralogy was studied using X-ray diffraction technique, scanning electron microscopy and EDX spectra. The concentrations of the major and trace elements were measured by the ICP-OES device after digestion of the samples by aqua regia. The intensity of the contamination was evaluated using geochemical indices. The health risk assessment of potentially toxic elements was conducted using the USEPA protocol. The obtained results show that the concentrations of lead, nickel, chromium, zinc and copper are higher than their values in upper continental crust, world soil average, and the representative sediment sample of Hamoon wetland. The results of correlation and cluster analyses indicate the classification of elements based on their geochemical behavior as well as their different origins. Based on these results, the origin of chromium, nickel, lead, copper and zinc is human activity. On the basis of enrichment factor values the indoor samples are more polluted than outdoor ones. Average values of enrichment factor indicate that the outdoor samples are not polluted with respect to lead. However, the indoor samples are moderately polluted with respect to this element. Calculation of the contamination factor index shows that the samples are not polluted to aluminum, iron, scandium, titanium, strontium, cobalt, antimony, manganese and molybdenum; whereas they are moderately polluted to lead, arsenic, chromium, cadmium and copper, and significantly polluted to nickel and zinc. The contamination degree index of all samples is higher than zero. The results of health risk assessment show that there are no carcinogenic and non-carcinogenic effects. X-ray diffraction, scanning electron microscopy and EDX spectra show that most of the particles are composed of calcite and quartz. The scanning electron microscope images and the EDX spectra confirm the presence of some heavy metals such as copper and iron as adsorbed particles on the surface of minerals. Regarding the high volume of dust particles produced in the area as well as the high concentration of potentially toxic elements in the studied samples, management strategies is necessary to reduce the hazardous effects of atmospheric dust on residents' health.

Keywords: Potential Toxic Elements, Dust, Health Risk Assessment, Sistan Plain



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Environmental Geology Group

M. Sc. Thesis

**Environmental Geochemistry and Mineralogy of Atmospheric Dusts of
Sistan Plain, SE Iran**

Parvane Nooripanah

Supervisor

Dr. G. Forghani

June 2018