

رسالة الرجل من الرجل



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین
زمین‌شناسی زیست محیطی
پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی غلظت عناصر بالقوه سمّی در آئروسول‌های ناشی از فرآیند معدنکاری در منطقه‌ی معدنی انگوران

نگارنده: سعیده قدیمی

استاد راهنما:

دکتر گیتی فرقانی تهرانی

استاد مشاور

مهندس علی اسدی

شهریور ۱۳۹۵

حامیان پایان نامه

این پایان نامه با حمایت مالی و معنوی شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران (مجمع انگوران)، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و سازمان حفاظت از محیط زیست استان زنجان انجام شده است.

تقدیم می کردیم:

دو فرشته می مهربان زندگیم؛

پدر و مادرم...

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند، و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم‌آنان که وجودمان وام‌دار وجودشان است.

بدون شک جایگاه و منزلت معلّم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگارم، اما از آنجایی که تجلیل از معلّم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ" است، از پدر و مادر عزیزم — این دو معلّم بزرگوارم — که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ سرکار خانم دکتر گیتی فرقانی تهرانی که در کمال سعه‌ی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را برعهده گرفتند؛ از استاد صبور و با تقوا جناب آقای مهندس علی اسدی، که زحمت مشاوره را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه‌ی مطلوب نمی‌رسید؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. هم‌چنین از اساتید محترم دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود صمیمانه سپاس گزارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب سعیده قدیمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی غلظت عناصر بالقوه سمی در آئروسول های ناشی از فرآیند معدنکاری در منطقه معدنی انگوران تحت راهنمایی سرکار خانم دکتر گیتی فرقانی تهرانی به عنوان استاد راهنما و آقای مهندس علی اسدی به عنوان استاد مشاور متعهد می شوم:

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

معدن سرب و روی انگوران واقع در شمال غرب ایران، بزرگترین معدن سرب و روی خاورمیانه است. هدف از این مطالعه، بررسی تمرکز، ژئوشیمی و کانی‌شناسی آئروسول‌ها در محدوده‌ی معدن و خارج از آن، ارزیابی ریسک سلامت ذرات آئروسول و بررسی ویژگی‌های هیدرووشیمیایی نمونه‌های بارش در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد. به این منظور، تعداد ۳۶ نمونه آئروسول از محدوده‌ی مورد مطالعه در طی یکسال (۱۳۹۳- ۱۳۹۴) در فصل‌های مختلف با استفاده از روش‌های استاندارد برداشت شد. هم‌چنین به منظور بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های بارش تعداد ۱۵ نمونه برف و باران از محدوده‌ی مورد مطالعه جمع‌آوری شد. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین غلظت کل ذرات آئروسول در بخش‌های بالادست معدن (خلاف جهت باد غالب)، کمترین مقدار (میانگین $\mu\text{g}/\text{m}^3$) $11/9$ و در محدوده‌ی معدن (میانگین $\mu\text{g}/\text{m}^3$) $209/2$ بیشتر از سایر مناطق است. میزان مواجهه‌ی افراد در ایستگاه‌های بالادست معدن (خلاف جهت باد غالب) برای هر دو گروه ذرات معلق PM_{10} (میانگین $\mu\text{g}\text{-h}/\text{m}^3$) $290/4$ و $\text{PM}_{2.5}$ (میانگین $\mu\text{g}\text{-h}/\text{m}^3$) $1586/6$ کم‌تر از محدوده‌ی معدن PM_{10} (میانگین $\mu\text{g}\text{-h}/\text{m}^3$) $6313/0$ و $\text{PM}_{2.5}$ (میانگین $\mu\text{g}\text{-h}/\text{m}^3$) $2857/7$ و پایین دست PM_{10} (میانگین $\mu\text{g}\text{-h}/\text{m}^3$) $3210/0$ و $\text{PM}_{2.5}$ (میانگین $\mu\text{g}\text{-h}/\text{m}^3$) $3216/8$ آن است. در محدوده‌ی معدنی میزان مواجهه افراد برای ذرات معلق PM_{10} و در مناطق پائین دست معدن (جهت باد غالب)، میزان مواجهه افراد برای ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ بیشترین مقدار است. بر اساس شاخص کیفیت هوا، هوای بالادست معدن پاک، هوای محدوده‌ی معدنی بسیار ناسالم و هوای پائین دست معدن ناسالم برای گروه‌های حساس می‌باشد. بر اساس نتایج مطالعات SEM و EDX ترکیب کانی‌شناسی غالب ذرات آئروسول در محدوده‌ی معدن انگوران در سه فاز کانیایی کربناتی، سیلیکاتی و سولفیدی جای می‌گیرد که منطبق بر کانی‌شناسی کانسار انگوران است. غلظت عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های آئروسول برداشت شده از محدوده‌ی معدن بیش از نمونه‌های برداشت شده از خارج محدوده‌ی معدن می‌باشد، که نشان دهنده‌ی تاثیر فعالیت معدنکاری بر افزایش غلظت عناصر بالقوه سمّی در هوای منطقه است.

در مقایسه با استانداردهای جهانی، میانگین غلظت کادمیم هوای منطقه (۰/۰۵ میکروگرم بر متر مکعب) بیش از حد استاندارد است. با توجه به ضریب غنی‌شدگی بالاتر از ۱۰ برای بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه، منشأ عناصر بالقوه سمی انسان‌زاد (معدنکاری) می‌باشد. ارزیابی ریسک سلامت برای عناصر بالقوه سمی موجود در آئروسول‌های منطقه نشان می‌دهد عنصر کادمیم از طریق مسیر بلع برای هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان مخاطره آمیز می‌باشد. بررسی هیدروشیمیایی نمونه‌های بارش نشان می‌دهد که pH نمونه‌های بارش در محدوده‌ی خنثی و احتمالاً تحت تاثیر انحلال آئروسول‌های کربناتی و حضور سیلیکات‌های آلومینیم قرار دارد. تیپ نمونه‌های بارش سولفاتی و رخساره‌ی آن‌ها حدواسط Na+K و Ca است که نشانگر تاثیر انحلال آئروسول‌ها بر ترکیب یونی نمونه‌های بارش می‌باشد. غلظت آرسنیک حل شده در نمونه‌های مورد مطالعه بالاتر از متوسط غلظت این عنصر در نمونه‌های بارش غیرآلوده است و با افزایش pH و حجم بارش مقدار آن افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: معدن، انگوران، آئروسول، بارش خشک، بارش تر، عناصر بالقوه سمی.

مقاله‌های برگرفته شده از پایان نامه

۱. شیمی آب باران در منطقه‌ی معدنی انگوران، زنجان، شمال غرب ایران، (اسفند ۱۳۹۴)، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ایران- تهران.
۲. ترکیب کانی‌شناختی و ریخت‌شناختی ذرات تشکیل دهنده‌ی آئروسول‌های ناشی از فرآیند معدنکاری در محدوده‌ی معدنی انگوران، (اردیبهشت ۱۳۹۵)، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، ایران- تبریز.

فهرست مطالب

۱- فصل اول	۱
۱-۱- مقدمه و بیان مسأله	۲
۲-۱- ضرورت انجام تحقیق	۳
۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه	۴
۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه	۵
۵-۱- اقلیم منطقه	۷
۶-۱- پوشش گیاهی منطقه	۸
۷-۱- خاک شناسی منطقه	۹
۸-۱- زمین شناسی منطقه	۱۰
۹-۱- هیدروژئولوژی و هیدرولوژی منطقه	۱۲
۱۰-۱- اهداف تحقیق	۱۴
۱۱-۱- روش انجام تحقیق	۱۴
۲- فصل دوم	۱۵
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- منشأ جو	۱۷
۳-۲- ترکیب جو	۱۸
۴-۲- آلودگی جو	۲۰
۵-۲- آلاینده‌های جو	۲۰
۵-۲-۱- غبار	۲۱
۵-۲-۲- دود	۲۲
۵-۲-۳- فیوم‌ها	۲۲
۵-۲-۴- دود غلیظ	۲۲
۵-۲-۵- مه	۲۲
۵-۲-۶- آئروسول‌ها	۲۲
۶-۲- جدایش ذرات معلق از جو	۲۴
۷-۲- منابع تولید آئروسول‌ها	۲۵

۲۶	۸-۲- کیفیت هوا و سلامت
۲۸	۹-۲- قوانین و مقررات آلودگی هوا
۲۸	۱-۹-۲- استانداردهای جهانی
۲۸	۲-۹-۲- استاندارد هوای پاک ایران
۲۹	۱۰-۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین
۳۵	۳- فصل سوم
۳۶	۱-۳- مقدمه
۳۶	۲-۳- نمونه‌برداری
۳۷	۱-۲-۳- نمونه‌برداری از بارش خشک (ذرات آئروسول)
۳۹	۱-۱-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز برای نمونه‌برداری از بارش خشک
۴۲	۲-۱-۲-۳- ارزیابی غلظت کل ذرات آئروسول
۴۳	۳-۱-۲-۳- آماده‌سازی فیلترها و تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های آئروسول
۴۴	۴-۱-۲-۳- بررسی اندازه و شکل ذرات آئروسول
۴۶	۲-۲-۳- نمونه‌برداری از بارش تر (برف و باران)
۴۸	۱-۲-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز برای نمونه‌برداری از بارش تر
۴۹	۲-۲-۲-۳- تجزیه‌ی شیمیایی بارش‌های تر
۵۷	۴- فصل چهارم
۵۸	۱-۴- مقدمه
۵۸	۲-۴- بارش خشک
۵۸	۱-۲-۴- توزیع غلظت کل ذرات آئروسول در ایستگاه‌های مورد مطالعه
۶۲	۲-۲-۴- بررسی پراکنش PM_{10} و $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های مورد مطالعه
۶۶	۳-۲-۴- میزان مواجهه با ذرات معلق (E_i)
۶۷	۴-۲-۴- شاخص کیفیت هوا (AQI) در ایستگاه‌های مورد مطالعه
۷۰	۵-۲-۴- کانی‌شناسی ذرات آئروسول
۷۳	۶-۲-۴- ریخت‌شناسی ذرات آئروسول
۷۶	۷-۲-۴- بررسی غلظت عناصر بالقوه سمی در ذرات آئروسول
۷۷	۸-۲-۴- غلظت عناصر بالقوه سمی در هوای منطقه

۸۱	۹-۲-۴- تعیین منشاء عناصر بالقوه سمی در ذرات آئروسول.....
۸۱	۱-۹-۲-۴- ضریب غنی‌شدگی (EF).....
۸۴	۲-۹-۲-۴- سهم فعالیت انسان‌زاد.....
۸۶	۱۰-۲-۴- ارزیابی تاثیر آئروسول‌ها بر سلامت در محدوده‌ی مورد مطالعه.....
۸۹	۳-۴- بارش تر.....
۸۹	۱-۳-۴- حجم نمونه‌های بارش.....
۸۹	۲-۳-۴- هیدروشیمی نمونه‌های بارش.....
۹۲	۳-۳-۴- هدایت الکتریکی نمونه‌های بارش.....
۹۵	۴-۳-۴- غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های بارش.....
۹۷	۵-۳-۴- تیپ نمونه‌های بارش.....
۹۸	۶-۳-۴- غلظت اضافی یون‌های اصلی نسبت به آب دریا در نمونه‌های بارش.....
۹۹	۷-۳-۴- بررسی غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های بارش.....
۱۰۳	۵- فصل پنجم.....
۱۰۴	۱-۵- نتیجه‌گیری.....
۱۰۶	۲-۵- پیشنهادهایی برای مطالعات آینده.....
۱۱۰	فهرست منابع.....
۱۱۱	References.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه ۵
- شکل ۲-۱: موقعیت کوه‌های واقع در منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی نقشه‌ی رقومی ۷
- شکل ۳-۱: منحنی میزان بارش سالیانه‌ی استان زنجان و منطقه‌ی مورد مطالعه ۸
- شکل ۴-۱: پوشش گیاهی منطقه‌ی انگوران؛ الف) حاشیه‌ی رودخانه‌ی قزل‌اوزن (قشلاق)، ب) ارتفاعات شمالی معدن (بیلاق) ۹
- شکل ۵-۱: نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی معدنی ۱۰
- شکل ۶-۱: مقطع زمین‌شناسی معدن انگوران و موقعیت ماده‌ی معدنی ۱۱
- شکل ۷-۱: تصویر ماهواره‌ای حوضه‌های زه‌کشی مشرف بر معدن سرب و روی انگوران ۱۳
- شکل ۸-۱: الگوی زه‌کشی منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۳
- شکل ۱-۲: تأثیر گستره‌ی اندازه‌ی ذرات بر سلامت سیستم تنفسی ب) رسوب ذرات در قسمت‌های مختلف دستگاه تنفس ۲۸
- شکل ۱-۳: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از منطقه‌ی معدنی انگوران ۳۸
- شکل ۲-۳: بخش‌های مختلف پمپ مکنده‌ی گاز متر اولتراسونیک ۴۰
- شکل ۳-۳: بخش‌های مختلف مخزن فیلتر ۴۱
- شکل ۴-۳: الف) فیلتر سلولزی MCE ب) تصویر میکروسکوپی فیلتر MCE ۴۲
- شکل ۵-۳: الف) خشک کردن فیلترها پیش از توزین با استفاده از دستگاه دسیکاتور Behdad مدل Oven50، ب) توزین فیلترها با ترازوی Sartorius (دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم) ۴۳
- شکل ۶-۳: مراحل مختلف آماده‌سازی نمونه‌ها و استخراج فلزات سنگین از فیلترها ۴۴
- شکل ۷-۳: نمایشی از دستگاه SEM و EDX آزمایشگاه کانی‌شناسی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران ۴۵
- شکل ۸-۳: مراحل آماده‌سازی نمونه‌های بارش خشک برای مطالعات SEM-EDX ۴۶
- شکل ۹-۳: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از بارش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ۴۷
- شکل ۱۰-۳: اندازه‌گیری pH و دما در محل معدن با استفاده از دستگاه Mettler Toledo ۴۸
- مدل MP 225 ۴۸
- شکل ۱۱-۳: آماده‌سازی نمونه‌های بارندگی ۴۹
- شکل ۱۲-۳: اندازه‌گیری کاتیون‌ها به روش تیتراسیون و نورسنجی شعله‌ای ۴۹
- شکل ۱-۴: میانگین غلظت کل آئروسول‌ها (TPS) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول یکسال نمونه‌برداری الف) نسبت به فصل‌ها ب) نسبت به ایستگاه‌ها ۶۱
- شکل ۲-۴: برازش مدل رگرسیونی بین PM₁₀ با PM_{2.5} و TPS ۶۳
- شکل ۳-۴: برازش مدل رگرسیونی بین PM_{2.5} با TPS ۶۴
- شکل ۴-۴: تغییرات غلظت PM₁₀ و PM_{2.5} در ایستگاه‌های مختلف ۶۴

- شکل ۴-۵: نمودارهای EDX ذرات آئروسول مورد مطالعه ۷۰
- شکل ۴-۶: تصاویر SEM ذرات آئروسول مورد مطالعه ۷۴
- شکل ۴-۷: میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی در ایستگاه‌های مختلف ۷۸
- شکل ۴-۸: میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی در فصل‌های مختلف ۷۹
- شکل ۴-۹: تغییر روند غلظت عناصر بالقوه سمی در آئروسول‌ها در ایستگاه‌های مختلف ۸۰
- شکل ۴-۱۰: روند تغییرات pH در طول یکسال بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، الف) تغییرات pH در فصل‌های مختلف، ب) تغییرات pH در ایستگاه‌های مختلف ۹۱
- شکل ۴-۱۱: روند تغییر EC نسبت به حجم در طول یکسال بارندگی در منطقه معدنی انگوران ۹۲
- شکل ۴-۱۲: روند تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در برابر غلظت کل آئروسول‌ها (TPS) در طول فصول مختلف ۹۳
- شکل ۴-۱۳: نمودار EDX آئروسول‌های منطقه و حضور یون سولفات در غالب نمونه‌ها ۹۵
- شکل ۴-۱۴: نمودار Piper برای تعیین تیپ آب باران منطقه‌ی انگوران ۹۷
- شکل ۴-۱۵: روند تغییر عناصر بالقوه سمی در طول یکسال بارندگی در منطقه معدنی انگوران ۱۰۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲: اجزای تشکیل‌دهنده هوای خشک و پاک در سطح زمین ۱۹
- جدول ۲-۲: تاثیرات آلاینده‌های اصلی بر سلامت ۲۶
- جدول ۳-۲: استاندارد کیفیت هوا در ایران (مقادیر بر حسب میلی‌گرم در مترمکعب) ۲۹
- جدول ۱-۳: مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری ذرات آئروسول ۳۷
- جدول ۲-۳: مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری بارندگی ۴۷
- جدول ۱-۴: پارامترهای اندازه‌گیری شده و مقدار C در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۶۰
- جدول ۲-۴: میانگین درصد و میزان غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری ۶۲
- جدول ۳-۴: میزان مواجهه‌ی فردی در محدوده‌ی مورد مطالعه (بر حسب $\mu\text{g-h/m}^3$) ۶۵
- جدول ۴-۴: نقاط شکست آلاینده‌ی در محاسبه‌ی شاخص کیفیت هوا ۶۸
- جدول ۵-۴: میزان غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} برای تعیین شاخص کیفیت هوا AQI ۶۹
- جدول ۶-۴: نتایج حاصل از آنالیز EDX نمونه‌های آئروسول محدوده‌ی مطالعاتی ۷۱
- جدول ۷-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های آئروسول (بر حسب mg/kg) ۷۵
- جدول ۸-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی در هوا بر حسب ($\mu\text{g/m}^3$) ۷۶
- جدول ۹-۴: غلظت مجاز عناصر بالقوه سمی در هوا ۷۹
- جدول ۱۰-۴: ترکیب عنصری پوسته‌ی قاره‌ای (بر حسب mg/kg) ۸۱
- جدول ۱۱-۴: ضریب غنی‌شدگی عناصر در آئروسول‌ها ۸۲
- جدول ۱۲-۴: درصد غیر پوسته‌ای عناصر در آئروسول‌ها ۸۳
- جدول ۱۳-۴: مقادیر ADD محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day) ۸۶
- جدول ۱۴-۴: مقادیر RfD برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day) ۸۷
- جدول ۱۵-۴: مقادیر HQ محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day) ۸۷
- جدول ۱۶-۴: حجم آب باران در طول یکسال بارندگی (cm^3) ۸۸
- جدول ۱۷-۴: اسیدیته آب باران در طول یکسال بارندگی ۹۰
- جدول ۱۸-۴: هدایت الکتریکی آب باران در طول یکسال بارندگی ($\mu\text{m/cm}$) ۹۲
- جدول ۱۹-۴: میانگین غلظت مجموع آنیون- کاتیون‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول یکسال بارش ۹۳
- جدول ۲۰-۴: غلظت یون‌های اصلی (meq/l) در نمونه‌های بارش ۹۴
- جدول ۲۱-۴: غلظت‌های یون اضافی (درصد) در نمونه‌های بارش محدوده‌ی مورد مطالعه ۹۸
- جدول ۲۲-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های آب باران (mg/l) ۹۹
- جدول ۲۳-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در آب باران- نقاط مختلف جهان ۹۹
- جدول ۲۴-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در آب باران- نقاط مختلف ایران ۱۰۰

فصل اوّل

کلیّات

۱-۱- مقدمه و بیان مسأله

در حال حاضر کره‌ی زمین تنها سیاره‌ی است که به علت شرایط خاص و ویژه‌ی حاکم بر آن، زیست موجودات در آن امکان پذیر می‌باشد. وجود لایه‌ی جو^۱ در اطراف کره‌ی زمین که سبب دفع تشعشع‌های فرابنفش^۲ می‌شود و از تبخیر بیش از حد آب سطح کره‌ی زمین جلوگیری می‌کند، یکی از عواملی است که امکان حیات بر کره‌ی زمین را فراهم می‌سازد. از این رو حفاظت از جو از ارکان اساسی حفظ محیط زیست در هر کشور است. بی‌توجهی به این بخش مهم از محیط زیست، برهم خوردن تعادل بین سیستم‌های کره‌ی زمین را در پی داشته و در نتیجه، حیات کل بشر را به چالش خواهد کشاند.

آئروسول‌ها شامل قطره‌های مایع و ذرات جامد (غبار، دود و ذرات معلق) پراکنده در جو زمین هستند که اندازه آنها حداکثر به ۲۰ میکرون می‌رسد (Griffin, 2007; Eby, 2004). حضور آئروسول‌ها در جو، به‌عنوان یکی از عوامل آلودگی هوا مدنظر قرار می‌گیرد. بخش دانه ریز این ذرات (۵-۰/۰۱ میکرون) قابلیت نفوذ به ریه‌ها و ورود به جریان خون را داشته و بیماری‌های تنفسی و قلبی مختلفی را ایجاد می‌نمایند (Selinus et al. 2005). آئروسول‌ها همچنین از طریق بارش‌های تر بر روی سطح خاک و آب ته‌نشین شده و باعث آلودگی منابع آبی و خاکی می‌شوند. در مناطق معدنی معمولاً آئروسول‌ها طی مراحل مختلف فعالیت‌های معدنکاری (اکتشاف، استخراج، فرآوری) وارد جو می‌شوند. در معادن روباز، عملیات حفاری، انفجار و بارگیری مواد معدنی مقدار قابل توجهی ذرات آئروسول را وارد جو می‌نماید. فرسایش بادی توده‌های سنگ باطله و مواد معدنی، حرکت وسایل نقلیه در جاده‌های آسفالت‌ه و خاکی از دیگر منابع تولید آئروسول در مناطق معدنی می‌باشد. قرار گرفتن در معرض سطوح بالایی از ذرات آئروسول جوّی مخاطراتی را برای سلامت کارکنان معدن و همچنین ساکنان محلی در مناطق معدنی به وجود می‌آورد (Sharma and Singh, 1992). آئروسول‌های معدنی معمولاً حاوی عناصر بالقوه

¹ Atmosphere

² Ultraviolet

سمّی (TPEs³) هستند. با نشست آئروسول‌های حاوی عناصر بالقوه سمّی بر خاک‌های سطحی به ویژه خاک‌های کشاورزی، این آلاینده‌ها وارد محصولات کشاورزی شده و نیز با نشست بر روی گیاهان و از طریق جذب منفذی وارد چرخه غذایی جانوران و انسان‌ها می‌شوند. از سوی دیگر، تنفس و استنشاق این ذرات، سلامت ساکنان محلی و کارکنان مکان‌های معدنی را با چالش جدّی مواجه می‌سازد. بنابراین، مطالعه و بررسی میزان تمرکز آئروسول‌ها در مناطق معدنی و همچنین بررسی غلظت عناصر بالقوه سمّی در این ذرات از اهمیت زیست محیطی بسیار بالایی برخوردار است (Absalon, 2010). هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثرات زیست محیطی معدنکاری در منطقه‌ی معدنی انگوران، از جنبه‌ی تاثیر این فعالیت‌ها بر آلودگی جوّ منطقه می‌باشد.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

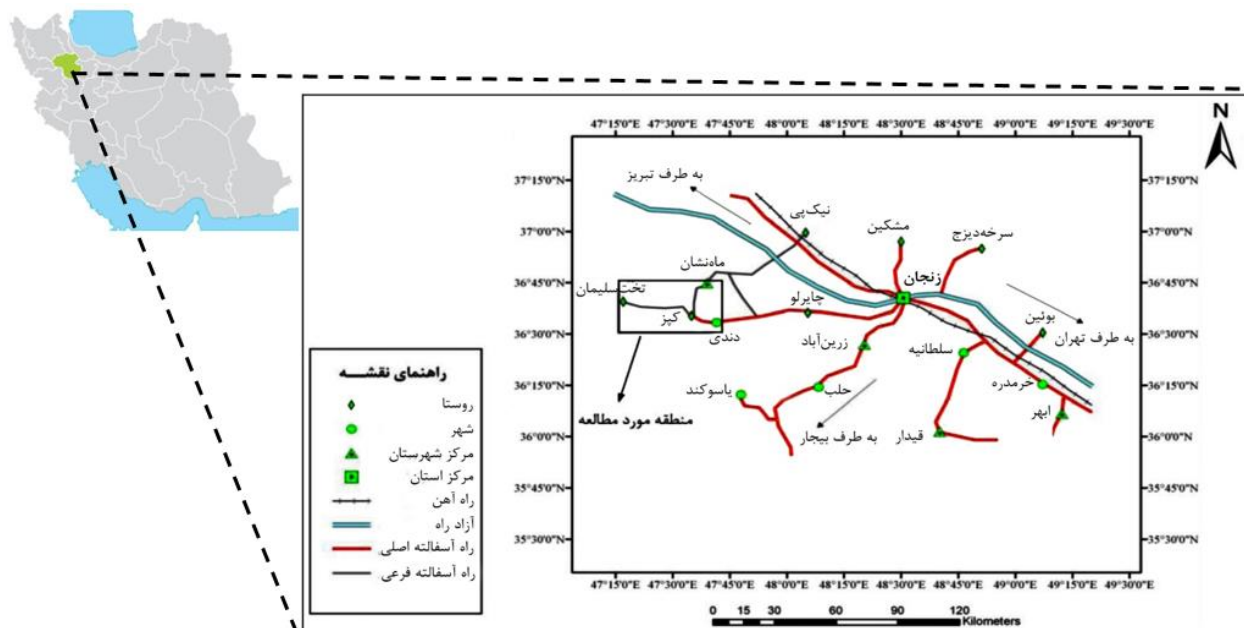
معدن روی- سرب انگوران بزرگترین معدن روی- سرب خاورمیانه می‌باشد. این معدن در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان زنجان واقع گردیده و به روش روباز معدنکاری می‌شود. با توجه به گسترش وسیع عملیات معدنکاری روباز در محدوده‌ی معدنی انگوران، روزانه حجم زیادی از ذرات معلق وارد جوّ منطقه می‌شود، از این رو بررسی میزان پراکنش ذرات آئروسول، مطالعه‌ی کانی‌شناسی و ریخت‌شناسی این ذرات و ارزیابی غلظت عناصر بالقوه سمّی در آن‌ها از اهمیت زیست محیطی بسیار بالایی برخوردار است. ذخیره‌ی کلی معدن انگوران ۱۷ میلیون تن کانسنگ، با عیار ۲۵/۹ درصد روی و ۴/۸ درصد سرب است (کشمیری و همکاران، ۱۳۸۳). سالانه حدود یک میلیون تن ماده‌ی معدنی از این معدن استخراج می‌شود. ماده‌ی معدنی، علاوه بر روی و سرب حاوی سایر عناصر بالقوه سمّی از قبیل کادمیم (۶۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آرسنیک (۱۳۶۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز می‌باشد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۵). این عناصر به دلیل پایداری، سمناکی و متابولیزه نشدن در بدن انسان و سایر جانداران، از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب

³ Potentially Toxic Element

می‌شوند (Al Khashman, 2007). با توجه به گستردگی عملیات استخراج و خردایش کانسنگ احتمال حضور عناصر بالقوه سمی در آئروسول‌های ناشی از فرآیند معدنکاری در محدوده‌ی معدنی انگوران بالا است، بنابراین، ارزیابی غلظت آئروسول‌ها در محدوده‌ی معدنی، بررسی توزیع اندازه‌ی آن‌ها، ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ریخت‌شناسی ذرات آئروسول و همچنین تاثیر آن‌ها بر ویژگی‌های هیدروشمیایی بارش تر اهمیت زیادی دارد.

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

معدن روی-سرب انگوران، در جنوب‌غربی شهرستان ماهنشان و در ۱۳۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان زنجان و چند کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان تکاب واقع شده است. این معدن در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۴۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی، و در ارتفاع حدود ۲۹۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. نزدیک‌ترین شهر به محدوده‌ی معدنی، شهر دندی با جمعیت دو هزار نفر و نزدیک‌ترین روستا به معدن روستای قلعه جوق با جمعیت ۲۰۰ نفر است. راه دسترسی به معدن، جاده‌ی آسفالته‌ی زنجان- بیجار می‌باشد که پس از طی ۵ کیلومتر مسافت در این جاده، جاده‌ی ارتباطی زنجان- دندی واقع گردیده است (شکل ۱-۱). راه اصلی دسترسی به معدن از شهر زنجان حدود ۱۲۰ کیلومتر است. این منطقه بین سه استان زنجان در شرق، آذربایجان غربی در شمال و شمال‌غرب و همچنین استان کردستان در جنوب و جنوب‌غرب واقع گردیده است.

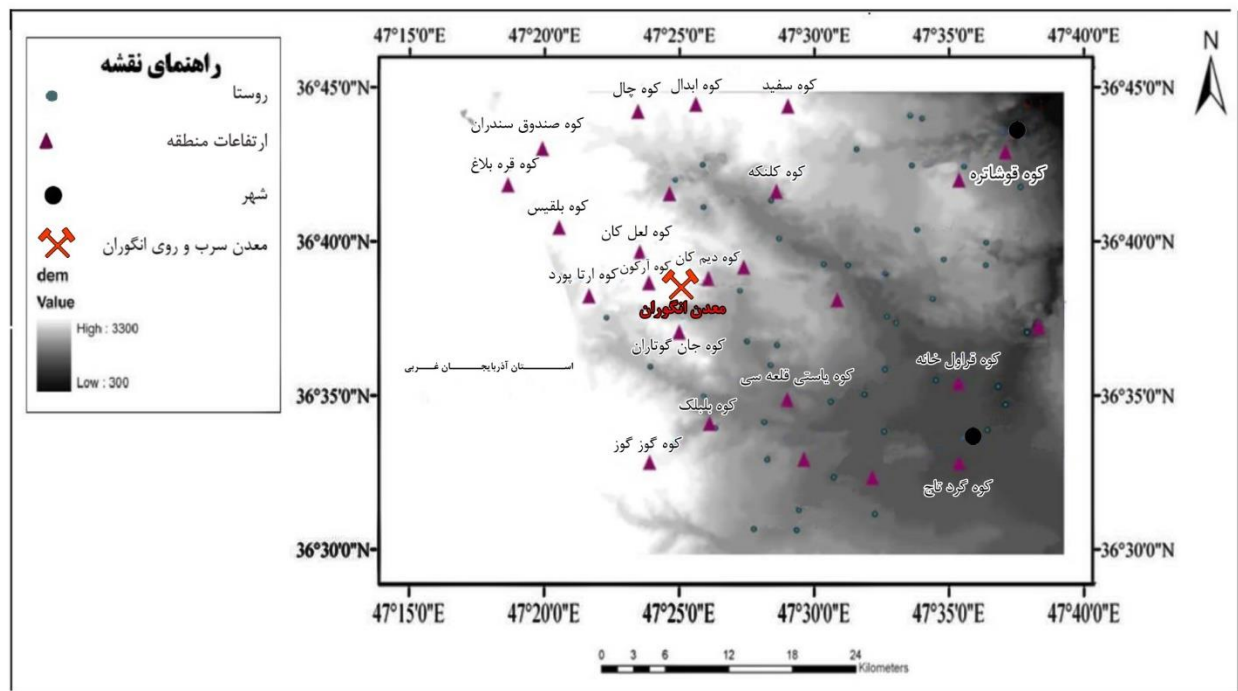


شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه (برگرفته از اطلس راه‌های ایران، ۱۳۹۰).

۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه

معادن انگوران در منطقه‌ای با ارتفاع متوسط ۲۹۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بلندترین ارتفاع منطقه، کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۳۲ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد (شکل ۱-۲). به‌طور کلی، امتداد کوه‌های استان زنجان، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و در بعضی نقاط شرقی- غربی است. منطقه‌ی انگوران تحت فشار صفحات عربستان و توران و در طی دوران سوم زمین‌شناسی (ترشیاری)، دچار چین خوردگی شده است و قسمت‌هایی به سمت بالا حرکت کرده و کوهستان‌ها (تاق‌دیس‌ها) را تشکیل داده‌اند و بخش‌هایی نیز به پایین حرکت نموده و دره‌ها (ناودیس‌ها) را تشکیل داده‌اند که به مرور زمان بر اثر رسوبگذاری و نیروهای فرسایشی دوران چهارم (کواترنری) به شکل دشت‌های هموار در آمده‌اند. کوه‌های موجود در این منطقه عبارتند از:

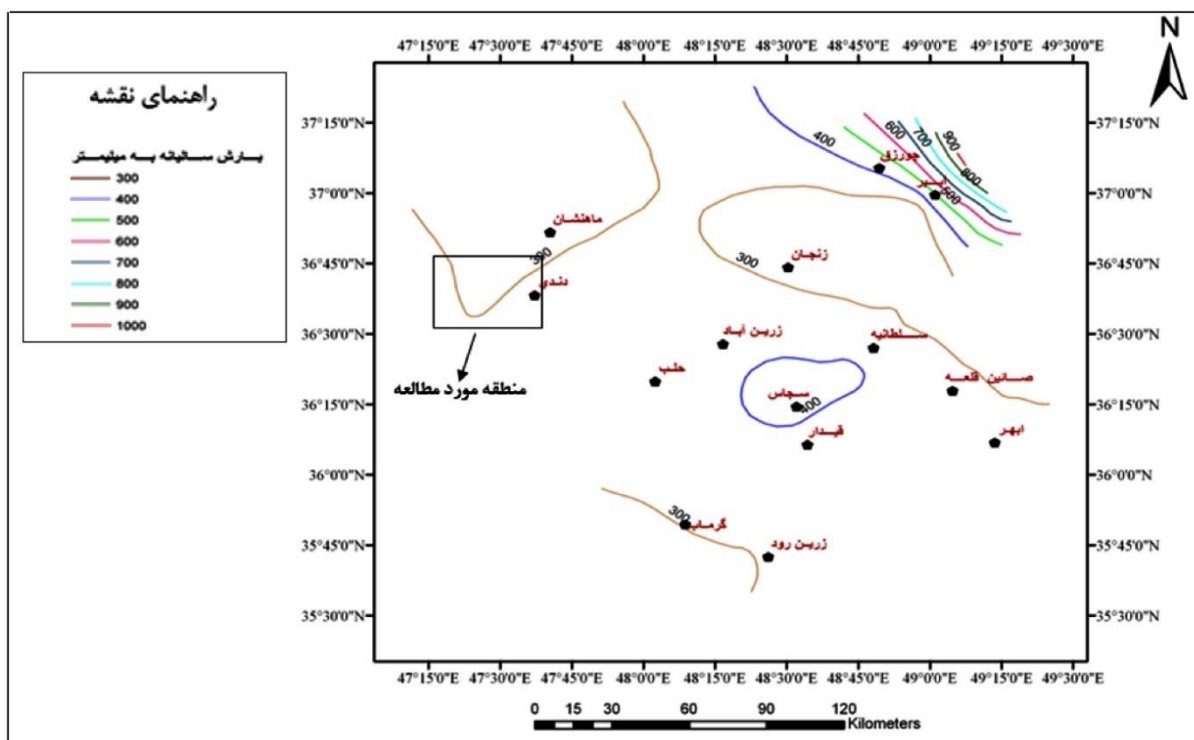
۱. کوه ابدال که از کوه‌های بلند منطقه به شمار می‌رود در شمال روستای خورجهان، از توابع دهستان انگوران واقع شده است و ۳۰۹۹ متر ارتفاع دارد. رودخانه‌های انگوران‌چای، تخته‌یورد و دربند از این کوه سرچشمه می‌گیرند.
۲. کوه باباگیلدر با ارتفاع ۲۸۵۰ متر در غرب روستای حلب از توابع دهستان انگوران واقع شده و سرچشمه اصلی رود حلب است.
۳. کوه بلقیس در ۱۲ کیلومتری روستای یاستی قلعه، از توابع دهستان انگوران قرار گرفته است و ۳۳۳۲ متر ارتفاع دارد. این کوه سرچشمه رودخانه‌های بالاجوجه و انگوران‌چای و بلندترین قله‌ی کوهستان قرخ بلاغ (چهل چشمه) است.
۴. کوه چال در قسمت شمال‌غربی روستای خورجهان، از توابع دهستان انگوران واقع شده است و ۳۰۵۰ متر ارتفاع دارد. این کوه سرچشمه‌ی رودخانه‌های انگوران‌چای و تخته‌یورد است.
۵. کوه صندوق‌سندران با ارتفاع ۳۲۱۴ متر در جنوب روستای علم‌کندی از توابع دهستان اوریاد واقع شده است و سرچشمه‌ی رودخانه‌های انگوران‌چای، قلعه‌چای، تخته‌یورد و بالاجوجه است. این کوه، از نظر ارتفاع دومین قله‌ی مرتفع کوهستان قرخ بلاغ (چهل چشمه) محسوب می‌شود.
۶. کوه قبله‌داغ با ارتفاع ۳۲۰۵ متر در غرب روستای زرین‌آباد از توابع دهستان اوریاد واقع شده است و سرچشمه‌ی رود قلعه‌چای است.
۷. کوه لعل‌کان با ارتفاع ۳۰۵۰ متر در جنوب‌غربی روستای یاستی قلعه از توابع انگوران واقع شده است و سرچشمه‌ی رودخانه‌های کاکا، انگوران‌چای و قره‌قیه است.



شکل ۱-۲: موقعیت کوه‌های واقع در منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی نقشه‌ی توپوگرافی (برگرفته از گزارش سازمان حفاظت محیط زیست استان زنجان با اعمال تغییرات - ۱۳۹۰).

۱-۵- اقلیم منطقه

محدوده‌ی معدنی انگوران به دلیل واقع شدن در منطقه‌ی کوهستانی، دارای زمستان‌های بسیار سخت و طولانی و تابستان‌های معتدل می‌باشد. اختلاف درجه حرارت در شبانه روز و هم‌چنین بین فصول سرد و گرم در محل معدن زیاد است. حداقل درجه حرارت در زمستان (۳۷- درجه‌ی سانتی‌گراد) و حداکثر درجه حرارت در تابستان (۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد) می‌باشد. نزولات جوی به‌طور معمول فراوان بوده و از اوایل آبان تا پایان فروردین، بارش بیشتر به‌صورت برف می‌باشد. میانگین رطوبت در فصل سرد و گرم به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد می‌باشد. میزان متوسط بارش سالانه در منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۰۰ میلیمتر در سال است (شکل ۱-۳). جهت باد غالب در منطقه جنوب‌غربی - شمال شرقی و جهت باد نایب غالب شمالی - جنوبی می‌باشد (گزارش سالانه سازمان هواشناسی ایران، ۱۳۹۴).



شکل ۱-۳: منحنی میزان بارش سالیانه‌ی استان زنجان و منطقه‌ی مورد مطالعه (برگرفته از گزارش سازمان حفاظت محیط زیست استان زنجان، ۱۳۹۰).

۱-۶- پوشش گیاهی منطقه

از نظر پوشش گیاهی در منطقه‌ی مورد مطالعه، مراتع بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهند. میزان مراتع شهرستان ماهنشان ۴۱۸۰۰۰ هکتار است (گزارش اداره‌ی منابع طبیعی استان زنجان، ۱۳۸۹)، که با گونه‌های مختلف گیاهی سطح قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند. از مهم‌ترین گونه‌های گیاهی منطقه‌ی انگوران می‌توان به کن، بوته و انواع درختچه‌ها، گندمیان و شبه‌گندمیان، بالشتکی‌ها، فورب‌ها و پهن‌برگ‌ها و شبه‌گرامینه‌ها اشاره کرد. علاوه بر این حدود ۳۰۰ گونه‌ی گیاهی نیز در منطقه‌ی حفاظت شده انگوران شناسایی شده‌اند. مراتع منطقه به دو بخش ییلاقی و قشلاقی تقسیم می‌گردند. مهم‌ترین مراتع ییلاقی در ارتفاعات منطقه و عمده‌ترین مراتع قشلاقی در حاشیه رودخانه‌ی قزل‌اوزن واقع شده‌اند (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴: پوشش گیاهی منطقه‌ی انگوران؛ الف) حاشیه‌ی رودخانه‌ی قزل‌اوزن (قشلاق)، ب) ارتفاعات شمالی معدن (بیلاق).

۱-۷- خاک‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه، منطقه‌ای کوهستانی است، بیشتر نقاط شامل ارتفاعات بلند با شیب تند می‌باشند و به همین علت خاک از گسترش چندانی برخوردار نیست. خاک‌هایی که در مناطق مرتفع وجود دارد از نوع سنگ‌پوش^۴ است که در نبود رسوبگذاری بین سازندهای الیگومیوسن و کواترنری ایجاد شده است (قشلاقی، ۱۳۸۸). به‌طور کلی افق‌های مشخص خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه گسترش نداشته و پوشش خاک در آن تنها یک لایه‌ی سطحی غنی از ماده‌ی آلی است، با این حال مناطقی نیز توسط خاک پوشیده شده است که عمق خاک در برخی نقاط بیش از ۷۰ سانتی‌متر است و به علت مساعد بودن شرایط پایداری و رطوبت خاک، پوشیده از گیاهان است. خاک در مراتع نزدیک به روستای قلعه‌جوق از گسترش بیشتری برخوردار است و مشخصه‌ی آن وجود پوشش گیاهی خودرو در این منطقه است. با دور شدن از مناطق مرتفع و کاهش شیب توپوگرافی بر گسترش خاک‌ها و نیز عمق آنها افزوده می‌شود (قشلاقی، ۱۳۸۸). با این توصیف به‌نظر می‌رسد در منطقه‌ی انگوران نوعی توپوسکانس^۵ از خاک‌ها وجود دارد (عباس‌نژاد، ۱۳۸۴). به‌طور کلی، pH خاک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه خنثی تا قلیایی (میانگین حدود ۷/۸) می‌باشند (قشلاقی، ۱۳۸۸). بافت خاک‌های

^۴ Regolith

^۵ Toposequence

منطقه‌ی انگوران از ماسه آهکی^۶ (برای خاک‌های مرتعی) تا رسی آهکی^۷ (برای خاک‌های کشاورزی) متغییر است. بر اساس رده‌بندی تاکسونومیکی خاک (Soil Survey Staff, 1999)، خاک‌های مرتعی منطقه به‌طور کلی در رده‌ی انتی‌سول‌ها^۸ (یا لیتوسل بر اساس طبقه‌بندی FAO/UNESCO, 1990) و خاک‌های کشاورزی در رده‌ی آریدی‌سول‌ها^۹ قرار می‌گیرند (قشلاقی، ۱۳۸۸).

۱-۸- زمین‌شناسی منطقه

کانسار انگوران در شمال غربی پهنه‌ی سنندج- سیرجان واقع شده است و دارای خصوصیات تکتونوماگمایی و زمین‌شناسی مشابه با این پهنه است (Hirayama, 1968). سنگ میزبان ماده‌ی معدنی در یک کمپلکس دگرگونی به سن نئوپروتروزوئیک تا کامبرین واقع شده است (Daliran and Borg, 2005; Borg and Daliran, 2004). این کمپلکس دگرگونی، طی میوسن زیرین توسط فرآیندهای کششی دچار دگرشکلی شده (Gilg, 1996; Gilg et al. 2003) و باعث تشکیل مجموعه آمفیبولیت، سرپنتینیت، گنیس، میکاشیست و سنگ‌های کلسیک و آهک بلورین (مرمر) شده است (شکل ۱-۵). سنگ‌های مرمر نامبرده، در برخی مناطق به صورت میان لایه‌ای با سنگ‌های آمفیبولیت، گنیس و میکاشیست قرار دارند که در برخی نقاط ضخامت آن‌ها به ۳۰۰ متر می‌رسد. مهم‌ترین افق کانه‌دار کانسار انگوران، در بالاترین واحدهای سنگ آهک بلورین تشکیل شده است، بیشترین طول آن حدود ۷۰۰ متر و بیشترین عرض آن ۶۰۰ متر می‌باشد (Hamdi, 1995; Burnol, 1968; Daliran et al. 2002).

کانسار انگوران شامل هشت نوع کانسنگ می‌باشد که از فرودیاورهای شیستی به سمت فرادیاورهای آهکی به ترتیب شامل: کانسنگ شیستی، کانسنگ سولفیدی، کانسنگ سولفات‌ی و کربناتی، کانسنگ کربناتی سخت، کانسنگ

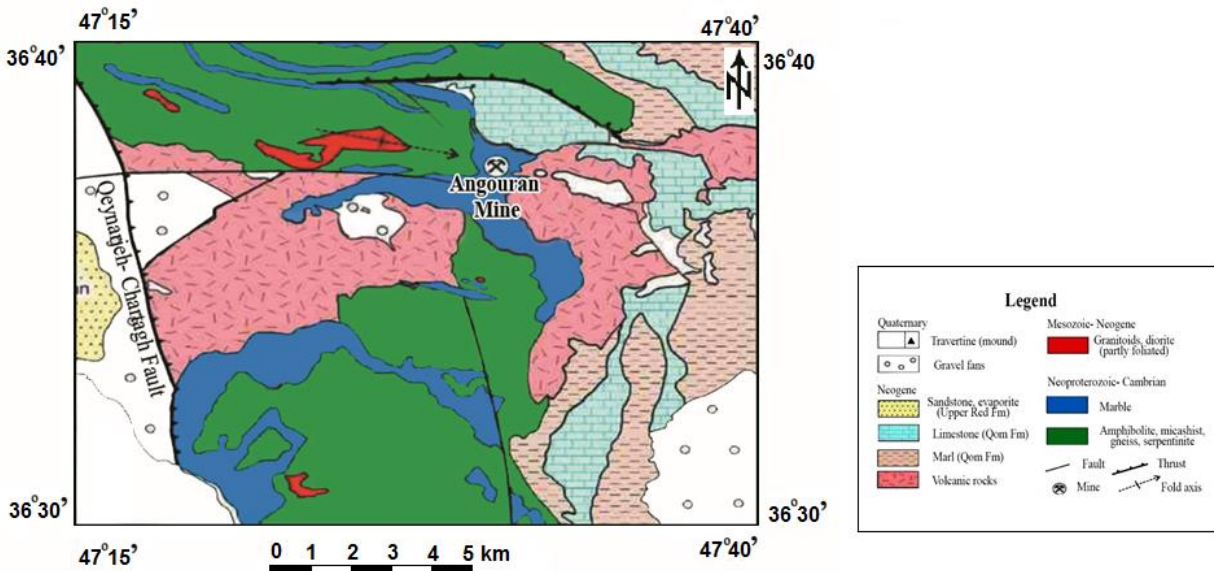
⁶ Sandy Loam

⁷ Clay Loam

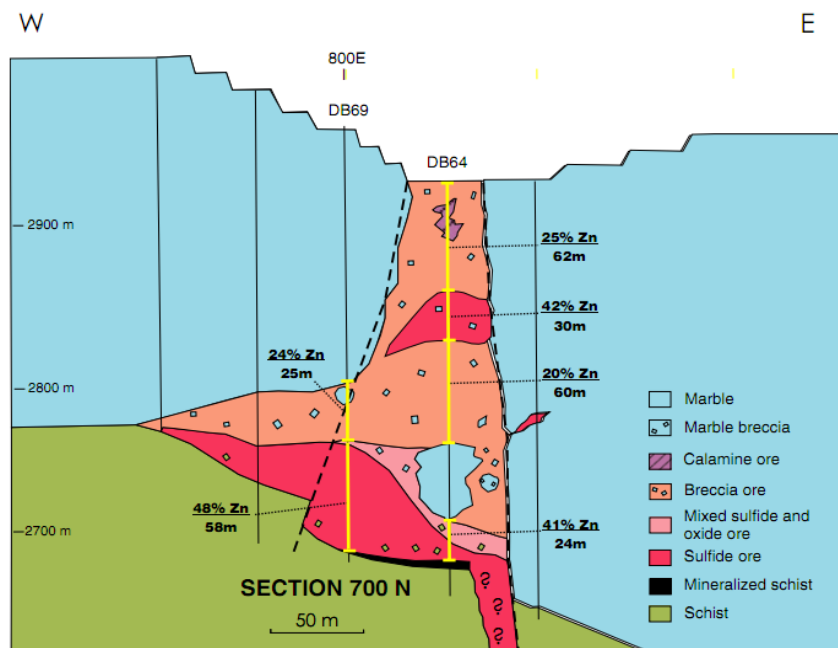
⁸ Enthisols

⁹ Aridisols

کربناتی پرشی، کانسنگ کربناتی نرم آرژیلیتی، کانسنگ کالامین و کانسنگ آهک و کالامین (بسیار کم عیار) است (رضایی، ۱۳۷۸) (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۵: نقشه زمین شناسی ساده شدهی منطقهی معدنی (بر گرفته از Burnol, 1968 با اندکی تغییرات).



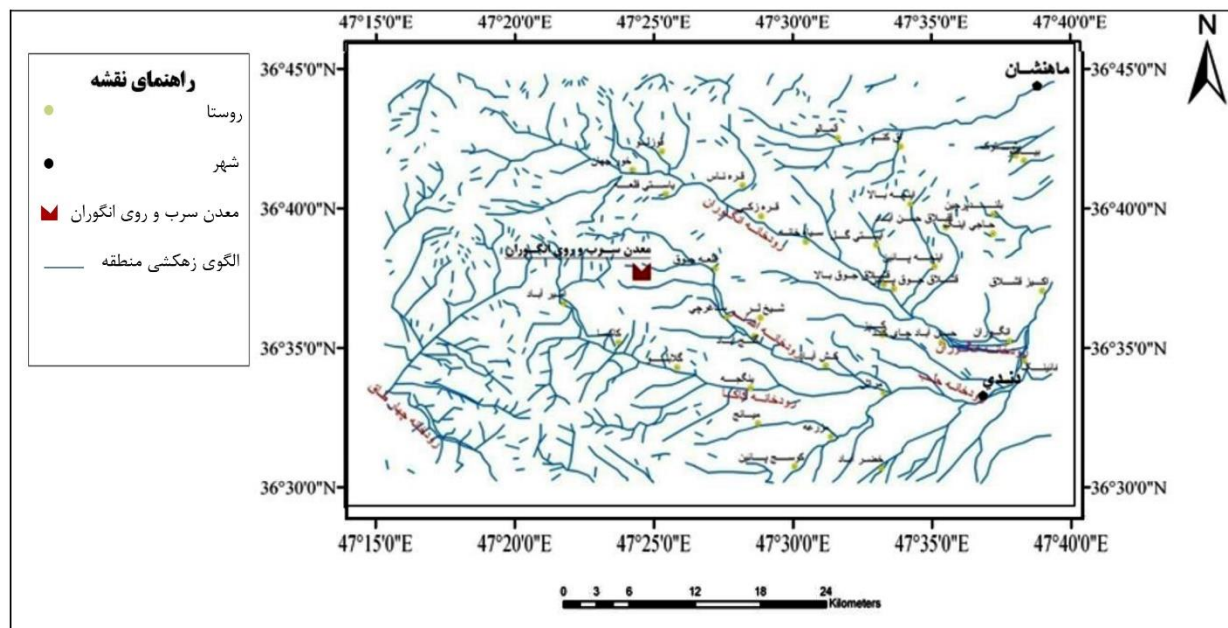
شکل ۱-۶- مقطع زمین شناسی معدن انگوران و موقعیت مادهی معدنی (بر گرفته از Burnol, 1968).

۹-۱- هیدروژئولوژی و هیدرولوژی منطقه

در محدوده‌ی انگوران، استفاده از منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در حیات اقتصادی و اجتماعی نداشته و آب‌های سطحی سهم بسیار قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند. اطلاعات در مورد منابع آب‌های زیرزمینی محدوده‌ی مورد مطالعه بسیار کم بوده و هیدرولوژی منطقه، بیشتر با استفاده از پراکندگی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به همراه تعدادی از چشمه‌های موجود در منطقه بدون پرداختن به جزئیات، مورد بررسی قرار گرفته است (گزارش اداره‌ی محیط زیست استان زنجان، ۱۳۹۵). با این حال با در نظر گرفتن نقشه‌های زمین‌شناسی و محدوده‌ی کوه و دشت و سیستم عمومی نحوه‌ی شکل‌گیری آبخوان‌ها و بر اساس نتایج و تفسیر حاصل از دانه‌سنجی بخشی از رسوبات و خاک منطقه، می‌توان گفت که تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی دشت انگوران، قاعدتاً باید بیشتر توسط بسترهای آبرفتی فعلی رودخانه‌ها و تا حدی از طریق شکستگی‌های موجود در سازندهای سخت مناطق مرتفع صورت گیرد (پیرخراطی و همکاران، ۱۳۹۲). از نظر هیدروژئولوژیکی، حوضه‌های آبریز منطقه‌ی مورد مطالعه در حالت بلوغ می‌باشند و چهار حوضه‌ی آبریز محدوده‌ی مورد مطالعه به شرح زیر است: حوضه‌ی آبریز بیلاق بلقیس مشرف بر آبراهه‌های بالا دست معدن، حوضه‌ی کاکارود مشرف بر سمت چپ معدن، حوضه‌ی رودخانه‌ی الله لو مشرف به خروجی آب‌های زه‌کشی شده از معدن و حوضه‌ی انگوران چای مشرف بر سمت راست معدن (شکل ۱-۷). منابع تغذیه‌ی حوضه‌ی بیلاق در ارتفاعات شمالی معدن انگوران می‌باشد که در نهایت به حوضه‌ی الله‌لو می‌ریزد و جهت جریان در این دو حوضه شمال‌غرب- جنوب شرق می‌باشد. جهت جریان حوضه‌ی آبریز انگوران- چای غرب- جنوب شرق است و این رودخانه به سمت شهرستان ماهنشان می‌رود (شکل ۱-۸). به دلیل موقعیت و شرایط خاص جغرافیایی و کوهستانی بودن، اغلب رودخانه‌های این منطقه تحت تأثیر عوامل طبیعی، کم‌آب و سیلابی می‌باشند. این رودها به دلیل ذوب شدن برف‌ها در بهار، پرآب و در بقیه‌ی سال خشک و کم‌آب هستند. مهم‌ترین رودخانه‌های موجود در منطقه عبارتند از: سفیدرود (قزل‌اوزن)، زنجان‌رود، ابهررود، ایجرود، سجاس‌رود، خراود و بزینه‌رود (شکل ۱-۷) رودخانه‌ی قزل‌اوزن مهم‌ترین این رودخانه‌ها می‌باشد.



شکل ۱-۷: تصویر ماهواره‌ای حوضه‌های زه‌کشی مشرف بر معدن سرب و روی انگوران



شکل ۱-۸: الگوی زه‌کشی منطقه‌ی مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ شاهین دژ با اعمال تغییرات)

۱-۱۰- اهداف تحقیق

اهداف کلی انجام این تحقیق عبارتند از:

- ۱- بررسی تمرکز آئروسول‌های موجود در محدوده‌ی معدن و خارج از آن (خلاف جهت باد و در جهت باد غالب)
- ۲- بررسی توزیع اندازه ذرات، کانی‌شناسی و ریخت‌شناسی ذرات آئروسول
- ۳- اندازه‌گیری غلظت عناصر بالقوه سمی (سرب، روی، کادمیم، آرسنیک) در نمونه‌های آئروسول
- ۴- بررسی تاثیر آئروسول‌ها بر سلامتی افراد منطقه
- ۵- بررسی تاثیر آئروسول‌ها بر ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های بارش

۱-۱۱- روش انجام تحقیق

روش انجام این تحقیق شامل مراحل زیر می‌باشد:

- ۱- مطالعات پایه، شامل بررسی‌های کتابخانه‌ای و مروری بر مطالعات مشابه انجام شده در جهان و ایران
- ۲- جمع‌آوری اطلاعات زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و هواشناسی (اقلیم، جهت و سرعت بادهای غالب)
- ۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری فصلی از آئروسول‌ها و بارش‌های منطقه
- ۴- آماده‌سازی نمونه‌ها و ارسال آن‌ها به آزمایشگاه جهت انجام آنالیزهای مورد نیاز
- ۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها
- ۶- نگارش پایان‌نامه

فصل دوّم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

به جرأت می‌توان گفت هوا با ارزش‌ترین منبعی است که خداوند برای ادامه‌ی زندگی کلیه‌ی موجودات به زمین هدیه کرده است. بنابراین، نگهداری و حفظ سلامت جوّ از مهم‌ترین وظایف بشر بشمار می‌رود. به‌طور کلی آلودگی هوا، تنها به منطقه‌ی بلافصل منبع تولید آلودگی محدود نیست، بلکه بسیاری از آلاینده‌ها تا مسافت‌های طولانی در جو منتشر می‌شوند. فعالیت‌های انسان، مهم‌ترین عامل آلودگی هوا است. در گذشته احتراق زغال‌سنگ، و در حال حاضر احتراق بنزین خودروها مهم‌ترین آلودگی هوا در مناطق شهری بوده است. صنایع، نیروگاه‌ها و منازل مسکونی با انتشار گازهای مختلف باعث تخریب لایه اوزن، تولید باران‌های اسیدی، گرم شدن جهانی و تغییرات محسوس در اقلیم زمین می‌شوند. فعالیت‌های مرتبط با معدنکاری (اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی) نیز سبب ورود گرد و غبار حاوی عناصر بالقوه سمّی به جوّ می‌شوند. انتشار ذرات آئروسول تا کیلومترها دورتر از منبع تولیدکننده‌ی ذرات آئروسول و توسط جریان هوا رخ می‌دهد. همچنین این ذرات بر ویژگی‌های هیدروشمیایی بارش‌های تر اثر گذاشته و ژئوشیمی بارش منطقه را تغییر می‌دهد؛ برای مثال در اثر افزایش ورود ذرات سولفاتی به جو، pH بارش کاهش یافته و باران‌های اسیدی شکل می‌گیرد. این ذرات از طریق بارش وارد سیستم خاک و آب می‌شوند و به‌دلیل حضور عناصر بالقوه سمّی در این ذرات، باعث ورود این عناصر به چرخه‌ی زیستی می‌شوند. از سوی دیگر، استنشاق این ذرات باعث ورود آن‌ها به ریه و جریان خون می‌شود. بسیاری از بیماری‌های قلبی-عروقی و مشکلات تنفسی در اثر مواجهه با این ذرات رخ می‌دهد.

در این فصل ابتدا مفاهیم کلی مرتبط با جوّ زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به تعریف آلودگی هوا و معرفی انواع آلاینده‌های هوا پرداخته می‌شود. در ادامه انواع منابع تولیدکننده‌ی آلاینده‌ها معرفی می‌شود و اثرات آلودگی هوا بر سلامت انسان مورد بررسی قرار می‌گیرد و استانداردهای جهانی و ملی ارائه می‌گردد. در پایان به بررسی مطالعات پیشین پرداخته خواهد شد.

۲-۲- منشأ جو

بیشترین دانش موجود درباره‌ی زمین و جو آن، بیشتر جنبه‌ی نظری دارد. بر اساس نظریات علمی، در حدود ۴۶۰۰ میلیون سال قبل، کره‌ی زمین در اثر شتاب ثقل صخره‌های به نسبت کوچک و غبار پلانت سیمال^{۱۰} که در بین لکه‌های سیاه خورشید وجود داشت، تشکیل شده است. احتمالاً جو اولیه‌ای هم از لکه‌های سیاه باقی مانده وجود داشته که در فضا محو شده است، زیرا سرعت مولکول‌های گاز از سرعت ۱۱/۲ کیلومتر در ثانیه‌ی فرار زمین بیشتر بوده است (Warner, 1998). دو عامل اثر انرژی و فروپاشی مواد رادیواکتیو با نیمه‌ی عمر کوتاه، باعث افزایش دمای کره‌ی زمین شده و در نتیجه عناصر سنگین‌تر مثل آهن در مرکز کره‌ی زمین تجمع یافتند. حرارت موجب تجزیه‌ی مواد معدنی هیدراتی و کربناتی و در نتیجه، خروج گازهای H₂O و CO₂ شده است. هم‌چنان که زمین سرد می‌شد، بخارات H₂O چگالیده شده و اقیانوس‌ها را به وجود آورده‌اند و بخش اعظم CO₂ در آن‌ها حل شده است که پس از رسوب، صخره‌های کربناتی را ایجاد کرده‌اند (دلیجانی، ۱۳۸۷).

احتمالاً غلظت گازهای برخاسته در آن زمان، بیش از صد برابر غلظت گازهایی بوده است که امروزه در جو زمین وجود دارند. اصلی‌ترین گاز موجود در جو آن زمان، نیتروژن بوده است. مقداری اکسیژن هم از تجزیه‌ی نوری مولکول‌های آب وارد فضا شده است. هیدروژن حاصل از این تجزیه با سرعت زیاد از میدان جاذبه‌ی زمین خارج شده است و بنابراین ترکیب مجدد اکسیژن و هیدروژن امکان‌پذیر نبوده است. به دلیل تفاوت جرم مولکولی هیدروژن و اکسیژن، احتمال فرار آن‌ها از زمین مشابه نیست. احتمال فرار اتم‌های هیدروژن از زمین در دمای ۶۰۰ درجه‌ی کلوین (دمای معمولی در بالای جو زمین) 10^{-6} است در حالی که این احتمال برای مولکول‌های اکسیژن 10^{-84} می‌باشد (Stern et al. 1984). اولین شاهد حیات، که از بررسی فسیل‌ها به دست آمده یک موجود تک سلولی بوده که مربوط به ۳۰۰ میلیون سال قبل است. بدیهی است برای پیدایش چنین سلولی به اکسیژن نیاز بوده است. بعدها فرآیند تنفس به افزایش غلظت اکسیژن منجر شده است و این منشأ تشکیل اوزن (O₂)

¹⁰ Planetesimal

بوده است که مانند سپر، زمین را در برابر اشعه‌ی فرابنفش محافظت می‌کند. سپس تحولات جوّی با غالب شدن توازن بین تولید و مصرف CO₂ و O₂ ادامه یافته است (Stern et al. 1984).

۲-۳- ترکیب جوّ

شناخت ترکیب و ساختار جوّ، نخستین گام ضروری برای درک مسأله آلودگی هوا و کنترل آن می‌باشد (افیونی و عرفان‌منش، ۱۳۸۱). هوا مخلوطی از گازهای مختلف است، گرچه جوّ زمین به‌ظاهر به‌علت ماهیت گازی شکل خود بی‌وزن به نظر می‌رسد، اما در واقع دارای جرمی معادل $10^{14} \times 5/6$ تن می‌باشد. به استثنای بخار آب، نسبت اختلاط گازهای تشکیل دهنده جوّ تا ارتفاع ۶۰ کیلومتری به نسبت ثابت است. حدود ۹۹ درصد حجم هوای اطراف زمین را دو گاز نیتروژن و اکسیژن تشکیل می‌دهد. نیتروژن با ۷۸ درصد، پیکره‌ی اصلی جوّ زمین را تشکیل می‌دهد و پس از آن اکسیژن قرار دارد. سایر گازها فقط یک درصد را شامل می‌شوند (نوری و فردوسی، ۱۳۷۹). جدول ۱-۲ گازهای تشکیل دهنده‌ی جوّ را در یک هوای خشک (بدون بخار و آلاینده‌ها) به‌صورت درصد حجمی نشان می‌دهد. اگر سهم بخار آب در این تقسیم‌بندی دخالت داده شود، این نسبت‌ها ثابت نخواهد بود زیرا دمای طبقات پایین جوّ همیشه در حال تغییر است و با رسیدن دما به نقطه‌ی میعان و تبدیل بخار آب به مایع، درصد حجمی بخار آب در جوّ تغییر خواهد کرد. در مقیاس جهانی، به‌طور متوسط یک درصد حجم جوّ را بخار آب تشکیل می‌دهد، اما ممکن است در یک مکان، هوا فاقد بخار آب بوده و یا در نقطه‌ی دیگر تا ۴ درصد حجمی بخار آب وجود داشته باشد. بیشترین مقدار بخار آب در لایه‌ی مجاور سطح زمین است و با افزایش ارتفاع، از مقدار آن کاسته می‌شود. وجود بخار آب در سطح زمین در ابتدا به دلیل وجود اقیانوس‌ها است که منبع اصلی آن می‌باشد و دوم لایه‌های فوقانی جوّ است که مانع از نفوذ بخار آب به این لایه‌ها می‌شوند (کیان‌پور راد، ۱۳۷۱).

جدول ۲-۱: اجزای تشکیل دهنده هوای خشک و پاک در سطح زمین (نوری و فردوسی، ۱۳۷۹).

اجزاء	درصد حجمی
اجزاء اصلی	
نیتروژن	۷۸/۰۸
اکسیژن	۲۰/۹۵
اجزاء فرعی	
آرگون	$۹/۳۴ \times ۱۰^{-۱}$
دی اکسید کربن	$۳/۱۴ \times ۱۰^{-۲}$
اجزاء ناچیز	
نئون	$۱/۸۱۸ \times ۱۰^{-۳}$
هلیوم	$۵/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$
متان	۲×۱۰^{-۴}
کریپتون	$۱/۱۴ \times ۱۰^{-۵}$
اکسید نیترو	$۲/۵ \times ۱۰^{-۵}$
هیدروژن	۵×۱۰^{-۵}
گزنون	$۸/۷ \times ۱۰^{-۶}$
دی اکسید گوگرد	$\sim ۲ \times ۱۰^{-۸}$
اوزن	فاقد اوزن تا مقادیر جزئی
دی اکسید نیتروژن	$\sim ۱ \times ۱۰^{-۵}$
آمونیاک	$\sim ۱/۲ \times ۱۰^{-۵}$
ید	فاقد ید تا مقادیر جزئی

علاوه بر ترکیبات دائمی موجود در جو که به آن اشاره شد، جو زمین حاوی آلاینده‌ها و مواد معلق گوناگون، مانند ذرات نمک، گرد و غبار و عناصر بالقوه سمی و نیز قطرات بسیار کوچک آب می‌باشد که نمی‌توان آن‌ها را به‌عنوان بخش ثابت جو به شمار آورد، اما نقش این مواد، به ویژه آئروسول‌های حاوی عناصر بالقوه سمی را نمی‌توان نادیده گرفت. به‌طور مثال بخار هوا از حالت بخار به مایع و جامد تبدیل می‌شود، این ذرات به‌شکل‌های مختلفی مانند ابر، باران و برف ظاهر می‌شوند که می‌تواند عناصر بالقوه سمی را در خود حل کرده و به‌صورت بارش تر آن‌ها را به زمین منتقل کنند (Colls, 2002).

۲-۴- آلودگی جو

آلودگی هوا عبارتست از وجود ترکیبات گازی، مایع، جامد و یا مخلوطی از آنها در هوا که بسته به منشاء تولید، ماهیت، غلظت و مدت زمان حضور در جو، بتوانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، سلامتی و بهداشت انسان را به خطر انداخته، به جانوران، گیاهان، ساختمان‌ها و اجسام آسیب رسانده و به‌طور کلی رفاه و آسایش عمومی و تعادل طبیعی محیط زیست و جو را مختل سازند (Wei and Yang, 2010). در تعریف کوتاه دیگری آلودگی هوا را چنین بیان کرده‌اند: تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هوا در اثر ورود مواد و ترکیبات مختلف با منشاء طبیعی یا انسانی (Dung and Lee, 2011). عوامل طبیعی آلودگی هوا عبارتند از: فوران شدید آتشفشان‌ها، طوفان و بادهای شدید. فعالیت صنایع، کارخانجات، نیروگاه‌ها، وسایل نقلیه موتوری و فعالیت معادن از مهم‌ترین عوامل انسان‌زاد آلودگی هوا می‌باشد (Zheng *et al.* 201). آلاینده‌ها در طیف وسیعی به شکل ذرات جامد، قطره‌های مایع، گازها یا مخلوطی از مواد حضور دارند (Reynolds and Goldstein, 2010). آلودگی هوا معمولاً توأم با افزایش قابل توجه آئروسول‌ها، گرده‌های گیاهی و مواد آلی می‌باشد که موجب کاهش میدان دید می‌گردد (سپهرنیا و فراهانی، ۱۳۹۱).

۲-۵- آلاینده‌های جو

آلاینده‌های جو را می‌توان به سه گروه اصلی رده‌بندی کرد: گازهای غیرآلی^{۱۱}، گازهای آلی^{۱۲} و ذرات معلق. آلاینده‌های گازی که سیال‌های بی‌شکل هستند، کاملاً فضای آزاد شده در آنرا اشغال می‌کنند و بسیار شبیه به هوا عمل نموده، از جو جدا نمی‌شوند. آلاینده‌های گازی آلی حاوی کربن، هیدروژن و بسیاری از آنها دارای عناصری مانند اکسیژن، نیتروژن، گوگرد و فسفر می‌باشند. آلاینده‌های گازی غیرآلی شامل منوکسید کربن، دی‌اکسید کربن، کربنات‌ها، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، اوزن، فلورید هیدروژن و کلرید

¹¹ Inorganic gases

¹² Organic gases

هیدروژن می‌باشند. به‌طور کلی اصطلاح ذرات معلق^{۱۳} به تمام مواد موجود در جوّ که گاز نمی‌باشند اطلاق می‌شود. این ذرات می‌توانند مایع یا جامد یا مخلوط آن دو باشند. ذرات معلق دارای منشأهای مختلف (طبیعی و انسان‌زاد) هستند. این ذرات اغلب به تروپوسفر محدود می‌شوند، هرچند ذرات غبار و آئروسول‌های بسیار ریز گاه تا استراتوسفر حمل می‌شوند (Eby, 2004). هم‌چنین ترکیب ذرات معلق می‌توانند از مواد خنثی یا بی‌نهایت واکنش‌زا تشکیل شوند. مواد خنثی به آسانی با محیط واکنش نمی‌دهند و در نتیجه احتراق یا هر واکنش دیگر، هیچ تغییرات مورفولوژیکی از خود نشان نمی‌دهند، در حالی که مواد واکنش‌زا به احتمال بیشتر اکسید می‌شوند یا ممکن است با ترکیبات موجود در محیط واکنش شیمیایی دهند. انواع ذرات معلق عبارتند از غبار^{۱۴}، دود، فیوم‌ها، دوده‌های غلیظ^{۱۵}، مه^{۱۶} و آئروسول‌ها (سپهرنیا و همکاران، ۱۳۹۱).

۲-۵-۱- غبار

غبار شامل ذراتی است که اندازه آن‌ها در دامنه ۱ تا ۲۰ میکرون قرار گرفته و در اثر فروپاشی (از هم‌پاشیدگی یا خردشدگی) طبیعی تخته سنگ، خاک و یا به وسیله فرآیندهای مکانیکی خرد شدن، سایش و اسپری شدن تشکیل می‌شوند. سرعت‌های ته‌نشینی ذرات غبار زیاد بوده و به وسیله نیروی جاذبه زمین و سایر فرآیندهای اینرسی از جوّ خارج می‌شوند. ذرات غبار ریز به عنوان مراکز کاتالیزور بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که در جوّ رخ می‌دهند عمل می‌کنند.

¹³ Particulate Matter

¹⁴ Dust

¹⁵ Mist

¹⁶ Fog

۲-۵-۲- دود

دود شامل ذرات معلق ریزی است که دامنه‌ی اندازه آن‌ها از ۰/۰۱ تا ۱ میکرون است. ذرات دود می‌تواند مایع یا جامد باشند و در اثر احتراق یا سایر فرآیندهای شیمیایی حاصل می‌شوند. دود ممکن است بسته به ماهیت ماده سوخته شده، رنگ‌های متفاوتی داشته باشد.

۲-۵-۳- فیوم‌ها

فیوم‌ها ذرات جامدی هستند که اندازه آن‌ها از ۰/۱ تا ۱ میکرون است و حاصل فرآیندهای شیمیایی یا متالوژی می‌باشند.

۲-۵-۴- دود غلیظ

دود غلیظ از قطرات مایع که اغلب اندازه‌ی آن‌ها کوچک‌تر از ۱۰ میکرون می‌باشند تشکیل شده و در اثر احتراق و فعالیت‌های صنعتی در جو تشکیل می‌شوند.

۲-۵-۵- مه

مه، آب مایع بسیار متراکمی است که موجب تضعیف دید می‌گردد.

۲-۵-۶- آئروسول‌ها

بر اساس تعریف (EPA- NSCEP, 1981) آئروسول یا هواویز واژه‌ای علمی است که شامل گاز، مایع و ذرات معلق در هوا می‌باشد که اندازه‌ی آن‌ها در محدوده‌ی ۰/۰۰۲ تا ۱۰۰ میکرون می‌باشد.

آئروسول‌های جامد شامل غبار معدنی، نمک دریا و ذراتی هستند که جوّ زمین تشکیل می‌شوند (مانند سولفات). ذرات آئروسول می‌توانند از رسوبات، خاک و سنگ‌های هوازده جدا شده و به هوا وارد شوند (Selinus, 2005). اندازه و شکل ذرات آئروسول ویژگی بسیار مهمی است، چرا که بر میزان انتقال ذرات آئروسول در جو و نیز ورود به سیستم تنفسی و سیستم گردش خون موثر است (Leung *et al.* 2008). بنابر تعریف سازمان محیط زیست آمریکا (US- EPA, 2009) به ذراتی که قطر کمتر از ۱۰ میکرون داشته باشند ذرات قابل تنفس^{۱۷} می‌گویند. در حالی که ACGIH^{۱۸} ذرات کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون را ذرات قابل تنفس می‌داند. به‌طور کلی، ذرات قابل تنفس شامل ذرات منفرد، تجمع ذرات خوش‌شکل به‌خصوص سیلیس و کانی‌های فیبری (شامل گروه آزبست) و مواد آلی فیبری می‌باشند (Selinus, 2005). اثر مهم دیگر حضور ذرات آئروسول در جوّ، کاهش قابلیت دید می‌باشد (Griffin, 2007).

جدا شدن ذرات آئروسول از سطح زمین و انتقال آن به جو تابع شرایط متنوعی می‌باشد که شامل سرعت باد (سرعت آستانه، جهت باد و سرعت بحرانی)، درجه‌ی پایداری جو، سختی و رطوبت موجود در سطح زمین و درجه‌ی رخنمونی ذرات می‌باشد (Selinus, 2005). به‌طور کلی میزان تمرکز ذرات آئروسول در جو با فاصله گرفتن از مبدا کمتر می‌شود، اما میزان آئروسول‌های قابل تنفس (ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون) در مقایسه با کل ذرات آئروسول، با فاصله گرفتن از مبدا افزایش می‌یابد. البته با نزدیک‌تر شدن به منبع، تمرکز غبارهای قابل تنفس بیشتر می‌شود. در بعضی نقاط کره‌ی زمین ابرهای غبار جزء جدایی ناپذیر آن منطقه شده است. به‌طور مثال باران‌های قهوه‌ای تا قرمز در در چین به باران لسی و در اروپا و بخش‌های شمالی آن به باران خون شهرت دارند. غلظت غبار معدنی در جو تابع تغییرات اقلیمی به‌عنوان برهم‌کنشی بین جو، خشکی و اقیانوس می‌باشد (Selinus, 2005). رفتار آئروپنمیک ذرات تحت تاثیر ویژگی‌های ذرات و خصوصیات محیط پیرامون قرار دارد.

¹⁷ Inhalable

¹⁸ American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.

از ویژگی‌های محیط می‌توان به دما، فشار، میانگین فضای عبوری بین مولکول‌ها، ویسکوزیته و سرانجام دیفیوژن یا نفوذ اشاره کرد (Kulkarni *et al.* 2011).

۲-۶- جدایش ذرات معلق از جو

ذرات معلق در اثر فرآیندهای مختلف، در هوا منتشر می‌شوند و یا آن‌که در هوا تشکیل می‌گردند و قبل از آن‌که به‌طور طبیعی یا مصنوعی رسوب کنند، مدت زمانی را در هوا سپری می‌نمایند. به‌طور کلی ذرات معلق توسط دو فرآیند بارش خشک و بارش تر از جو زمین خارج می‌شوند (Eby, 2004). فرونشست ذرات در اثر برخورد یا ته‌نشینی را بارش خشک می‌نامند. برخورد هنگامی رخ می‌دهد که یک ذره با یک سطح مانند برگ یا تنه درخت مواجه شود. ته‌نشینی وقتی رخ می‌دهد که یک ذره به یک سطح مانند برگ یا تنه درخت بچسبد و سرعت فرونشینی ذره از سرعت بالا رفتن آن بیشتر شود. سرعت فرونشینی یک ذره‌ی کروی توسط قانون استوکس تعیین می‌شود (رابطه‌ی ۱-۲).

$$V_s = \frac{g(\rho_s - \rho_f)d^2}{18\eta} \quad \text{(رابطه‌ی ۱-۲)}$$

که در این رابطه، V_s : سرعت سقوط ذرات بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، g : شتاب ثقل (بر حسب cm/cm^3 و برابر با 980)، ρ_s : چگالی ذرات (بر حسب gr/cm^3 و برابر با 1)، ρ_f : چگالی ذرات (بر حسب gr/cm^3 و برابر با $2/65$)، d : قطر ذرات (بر حسب cm)، μ : ویسکوزیته‌ی آب جوی (بر حسب $\text{gr}/\text{cm}\cdot\text{s}$ و برابر با $0/008$) می‌باشد.

جدایش ذره توسط بارندگی یا فرآیند شستشو را بارش تر می‌گویند. وقتی که جو از بخار آب فوق اشباع باشد (رطوبت 100 درصد)، میعان رخ می‌دهد. در میعان ناهمگن، یک ذره به عنوان هسته‌ی میعان عمل می‌کند. آئروسول‌ها مناسب‌ترین گزینه‌ی هسته‌های میعان هستند. بعضی از آئروسول‌ها بخار آب را به خود جذب می‌کنند، این آئروسول‌ها به‌عنوان هسته‌های بسیار کارآمدی برای میعان ابر عمل می‌کنند. با توجه به شیمی جو، ممکن است بین آئروسول‌ها و قطره‌های آب پیرامون آن، واکنش‌هایی رخ دهد. این امر، شیمی آئروسول‌ها را تغییر

می‌دهد. هنگامی که قطر قطره‌های ابر به حد قابل ملاحظه‌ای می‌رسد (معمولاً بزرگتر از ۲۰۰ میکرون)، از راه ته‌نشینی از جو خارج می‌شوند، که این فرآیند بارش تر نام دارد (Eby, 2004). ممکن است که قطره‌های در حال بارش با ذرات آئروسول دیگر روبه‌رو شده و آن‌ها را به خود جذب کنند. این مولفه بارش تر، شستشو نامیده می‌شود (ایبای، ۱۳۹۰).

۲-۷- منابع تولید آئروسول‌ها

آئروسول‌ها از منابع طبیعی و انسان‌زاد مختلف وارد جو می‌شوند. به‌طور کلی، مهم‌ترین منابع تولید آئروسول‌ها عبارتند از:

- فعالیت موجودات زنده و گرده افشانی، تخم میکروب‌ها و قارچ‌ها و باقیمانده‌های گیاهان
 - معدنکاری و فرآوری مواد معدنی
 - فعالیت آتشفشان‌ها که باعث پراکنده شدن گازها و خاکسترها به جو می‌شود
 - اقیانوس‌ها که منبع مهمی برای ذرات نمک هستند
 - خاک‌های رسی مناطق بیابانی
 - آتش‌سوزی جنگل‌ها و گیاهان
 - مناطق پوشیده از برف و یخ (آئروسول‌های بلوری)
- تعیین منشا آئروسول‌های مختلف جوی، (طبیعی و انسان‌زاد)، از موارد بسیار مهم و اساسی است. تعیین ماهیت و اهمیت نسبی منشاهای گوناگون عناصر بالقوه سمی و دیگر گونه‌های مورد توجه در محیط زیست، به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. رایج‌ترین روش‌ها برای مشخص کردن منشا عناصر، تعیین ویژگی‌های عنصری، مولکولی و ایزوتوپی آن‌ها است (Eby, 2004).

۲-۸- کیفیت هوا و سلامت

تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در ارتباط با اثرات آلودگی هوا بر سلامت افراد انجام شده است. برخی از اثرات آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان در جدول ۲-۲ به‌طور خلاصه نشان داده شده است. به‌طور کلی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات آئروسول تعیین‌کننده‌ی اثرات بهداشتی مختلف این ذرات می‌باشد (Sharma and Maloo, 2005). اندازه و شکل ذرات آئروسول نقش به‌سزائی در نوع و میزان اثرگذاری آن‌ها بر سلامت انسان دارند (Cadum, 2009). از سوی دیگر غلظت ذرات و مدتی که شخص در معرض آن‌ها قرار می‌گیرد، سن، جنس و بیماری‌های زمینه‌نیز در بروز و شدت بیماری مؤثر است (MECA^{۱۹} report, 2014 ; Bavec et al. 2016).

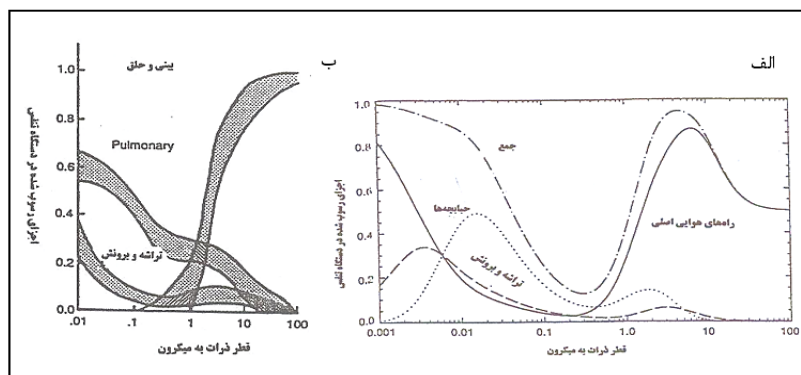
جدول ۲-۲: تاثیرات آلاینده‌های اصلی بر سلامت (Seinfeld and Pandis, 1998)

آلاینده	اثرات
مونوکسید کربن	مسموم شدن سیستم اعصاب مرکزی و قلب، سردرد، سرگیجه، تاثیر بر جنین، محدود شدن اکسیژن مصرفی، مرگ
دی‌اکسید گوگرد	تحریکات چشم، بینی و گلو، آسم و برونشیت
دی‌اکسید نیتروژن	تجمع مایعات زیاد در ریه‌ها، مشکلات تنفسی
اوزون	مشکلات تنفسی، سرفه، درد قفسه سینه، سوزش چشم
ذرات معلق	آسم، سرطان ریه، مشکلات قلبی- عروقی
هیدروکربن‌ها	آسیب به دستگاه تنفسی، تاثیر بر جنین
سرب	تاثیر مستقیم بر سیستم اعصاب مرکزی، تغییرات رفتاری، از دست دادن کنترل ماهیچه‌ها، اختلالات یادگیری، کم‌خونی مزمن، صدمه به کلیه، کبد، قلب، اعضای تولید مثل

آسیب‌پذیری برخی افراد در برابر آلودگی هوا بسیار بیشتر از سایرین است. کودکان، سالمندان و بیماران قلبی و ریوی بیشتر از دیگران از آلودگی هوا آسیب می‌بینند (MECA Report, 2014). از جمله اثرات حاد بهداشتی در غلظت‌های بالای ذرات ریز، افزایش میزان مرگ و میر، افزایش شیوع آسم و برونشیت و افزایش میزان عفونت‌های

¹⁹ Manufacturers of Emission Controls Association

سیستم تنفسی می‌باشد (Boulevard *et al.* 2014). این ذرات علاوه بر این به‌طور مستقیم در لوله‌ی تنفسی سایش ایجاد کرده، مسیرهای عبور هوا را مسدود می‌کنند و به مسیرهای موکوسی در ریه آسیب وارد می‌کنند. از جمله اثرات مزمن ذرات ریز شامل از بین رفتن ظرفیت ریه و صدمه به ریه می‌باشد که در نتیجه‌ی عبور ذرات ریز مسیرهای عبور هوا در ریه یا کیسه‌های هوایی، رخ می‌دهد. علاوه بر این، ذرات ریز به‌عنوان حامل آلاینده‌های سمّی به‌ویژه عناصر بالقوه سمّی عمل می‌کنند. این مساله زمانی رخ می‌دهد که آلاینده‌ها به حالت فیوم یا بخار وجود دارند و بر روی ذرات ریز متراکم می‌شوند. در محل کیسه‌های هوایی عناصر بالقوه سمّی ممکن است جذب شده و در میان سایر بخش‌های بدن به گردش درآیند (Berntsen, 2013). علاوه بر این، ذرات ریز مسئول کاهش میدان دید می‌باشند. کاهش میدان دید را می‌توان به‌عنوان یک فشار روانی در نظر گرفت (Berntsen, 2013). ذراتی که در قسمت گلو و حلق گرفته می‌شوند، وارد دستگاه هاضمه شده و در مدت کوتاهی دفع می‌گردند، مگر آنکه وارد خون شوند. ذراتی که وارد نای می‌شوند به وسیله موی ماندها و مخاط از جریان هوای تنفسی جدا می‌شوند و در نهایت به دستگاه هاضمه راه می‌یابند. ذراتی که به برونش‌ها می‌رسند خیلی کندتر حذف می‌شوند. این‌که چه ذراتی در چه جاهایی از سیستم تنفسی رسوب می‌کنند، تابع قطر ذره، سرعت تنفس و حجم تنفس است (Kulkarni *et al.* 2011) (شکل ۲-۱). بنابراین کسانی که در یک منطقه معدنی یا صنعتی پر از گرد و خاک ساکن هستند یا کار سنگین انجام می‌دهند، ذرات بیشتری را نسبت به کسانی که در حال استراحت هستند وارد ریه‌های خود می‌کنند (Kulkarni *et al.* 2011).



شکل ۲-۱: الف) تأثیر گستره‌ی اندازه‌ی ذرات بر سلامت سیستم تنفسی (Colls, 1997). ب) رسوب ذرات در قسمت‌های مختلف دستگاه تنفس (Colls, 2002).

۲-۹-۹- قوانین و مقررات آلودگی هوا

۲-۹-۱- استانداردهای جهانی

همانطور که پیش از این اشاره شد، تاثیر هر آلاینده به غلظت و مدت زمان تماس با آن بستگی دارد. به همین دلیل استانداردهای آلودگی هوا به منظور مشخص ساختن حد بالای مواجهه، به طوری که آسیب جدی به بدن نرسد به دو صورت "استاندارد اولیه" و "استاندارد ثانویه" تقسیم‌بندی می‌شود (بیات، ۱۳۸۳).

الف- استانداردهای اولیه: غلظتی از آلاینده است که باعث محافظت حساس‌ترین افراد جامعه (برای مثال افراد مسن و افراد دارای نارسایی‌های تنفسی) می‌شوند.

ب- استانداردهای ثانویه: این استانداردها به گونه‌ای وضع می‌شوند که علاوه بر سلامتی افراد جامعه، باعث حفاظت ساختمان‌ها، مزارع و حیوانات شوند. در شرایطی که دست یافتن به استانداردهای اولیه مشکل است، استانداردهای ثانویه هیچ نقشی در سیاست‌گذاری‌های کنترل آلودگی هوا ایفا نمی‌کنند.

۲-۹-۲- استاندارد هوای پاک ایران

در سال ۱۳۷۴، قانون جلوگیری از آلودگی هوا و کنترل آلودگی هوا در مجلس شورای اسلامی به تصویب رسید. این قانون شامل ۳۶ ماده بوده و منابع آلاینده را در سه گروه دسته‌بندی کرده است:

۱- وسایل نقلیه موتوری ۲- کارخانجات، نیروگاه‌ها و کارگاه‌ها ۳- منابع تجاری، خانگی و منابع متفرقه.

مقررات مربوط به استانداردهای نشر یا غلظت مجاز بعدها به وسیله سازمان حفاظت محیط زیست کشور و با همکاری سازمان‌های مربوطه (شهرداری تهران، وزارت صنایع و وزارت نفت) ارائه شده است.

استانداردهای ملی کیفیت هوا در ایران به طور عمده بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و به صورت جدول ۲-۳ می‌باشد.

جدول ۲-۳: استاندارد کیفیت هوا در ایران (مقادیر بر حسب میلی‌گرم در مترمکعب)

آلاینده‌های هوا	میانگین و دوره ارزیابی	اولیه	ثانویه
CO	حداکثر ۸ ساعته	۹	۹
SO ₂	۲۴ ساعته	۰/۱۴	۰/۱
هیدروکربن‌های بدون متان ^{۲۰}	۳ ساعته (۹-۶ صبح)	۰/۲۴	۰/۲۴
NO ₂	سالانه	۰/۰۵	۰/۰۵
SPM ^{۲۱}	۲۴ ساعته	۲۶۰	۱۵۰

۲-۱۰- مروری بر پژوهش‌های پیشین

از میان مهم‌ترین تحقیقاتی که در زمینه بررسی آلاینده‌های هوا در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

در پژوهش داگلاس و والر (Douglas and Waller, 1966)، کودکان تازه متولد شده را تا ۱۵ سالگی مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که ذرات در غلظت حدود ۱۳۰ میکروگرم در متر مکعب ذرات آئروسول، با عفونت دستگاه تحتانی تنفسی رابطه دارد.

در یک بررسی اپیدمیولوژی که توسط وینکلشتاین و همکاران (Winkelstein *et al.* 1968) در شهر بافالو واریه از ایالت نیویورک آمریکا صورت گرفته میانگین دو ساله ذرات در چهار سطح آلودگی به شرح زیر بوده است: سطح ۱ کمتر از ۸۰، سطح ۲ بین ۸۰ تا ۱۰۰، سطح ۳ از ۱۰۰ تا ۱۳۵ و سطح ۴ بیش از ۱۳۵ میکروگرم در متر مکعب. هر یک از این مناطق آلوده به پنج طبقه اقتصادی-اجتماعی تقسیم شدند. میزان مرگ و میر به سبب تمام علل کشنده مثل بیماری‌های تنفسی و سرطان معده با افزایش غلظت ذرات افزایش یافته و نتیجه، مستقل از وضعیت اقتصادی جامعه تحت مطالعه بوده است. طبق بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی هر ۱۰ میکروگرم افزایش ذرات معلق موجب ۱ تا ۳ درصد افزایش مرگ و میر خواهد شد. به‌طور کلی سهم ذرات در افزایش بیماری‌های مزمن ریوی ۳/۳ درصد، بیماری‌های قلبی ۲/۱ درصد و ذات‌الریه ۴ درصد گزارش شده است

²⁰ HydroCarbon (NMHC)

²¹ Suspended Particulate Matter

(Schwartz and Andreae, 1996). ذرات بسته به جنس شیمیایی عوارض ریوی متفاوتی از جمله فیروز و سیلیکوز به وجود می‌آورند.

گوس و بارنجی (Ghose and Banerjee, 1995)، به بررسی آلودگی هوا ناشی از پروژه‌های زغال‌شویی در هند پرداختند. در این مطالعه با تعبیه ایستگاه‌های پایش در این واحدهای صنعتی و نیز در مناطق مسکونی و حساس، به جمع‌آوری نمونه پرداخته شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشانگر بالا بودن غلظت ذرات جامد معلق SPM^{22} بیشتر از حد مجاز در تمامی نقاط نمونه‌برداری است و نیز غلظت SO_2 و NO_x در مناطق مسکونی و مناطق حساس بیشتر از حد مجاز می‌باشد.

پژوهش دیگری توسط گوس و بارنجی (Ghose and Marjee, 2000)، با عنوان بررسی آلودگی ناشی از معادن و اقدامات کاهش‌ی آن در هند انجام گرفت. در این پژوهش از اطلاعات مربوط به گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های استخراج معادن مختلف برای محاسبه میزان گرد و غبار تولید شده در هر یک از این معادن بهره گرفتند. نتیجه حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که میزان آلودگی هوا به ذرات جامد معلق در منطقه بیش از حد استاندارد است و اثرات سوئی بر سلامت ساکنین منطقه دارد.

در سال ۱۹۹۹، کمپتر و فرنزل (Kempter and Frenzel, 1999) پژوهشی تحت عنوان "تأثیر استخراج و ذوب اولیه بر آئروسول‌های تروپوسفر محلی شناسایی شده در معدن زغالسنگ هارز، آلمان" را انجام داده‌اند. نتایج نشانگر آن است که غلظت سرب و مس در آئروسول‌ها با تغییر فعالیت‌های انسانی تغییر کرده و غلظت عناصر با فاصله از معدن رابطه عکس دارد. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که سرب نسبت به مس تحرک بیشتری دارد و می‌تواند در مسافت‌های دور نیز تاثیرگذار باشد. مطالعه آئروسول‌های تروپوسفر نشان می‌دهد آلودگی معدنکاری مدرن نسبت به آلودگی معدنکاری قرون وسطی بیشتر است و حضور عنصر سرب و مس موجود در آئروسول تروپوسفر محلی، مربوط به زغال‌سنگ نارس می‌باشد.

²² Suspended Particulate matter

در سال ۲۰۰۸ پژوهش دیگری توسط ما و همکاران (Ma *et al.* 2008) تحت عنوان "پایش آلودگی هوا و معدنکاری بر اساس حسگرهای گرید^{۲۳} در لندن" انجام شد. در این پروژه جهت نظارت بر آلودگی هوا در معادن از شبکه حسگرهای بی سیم و فن آوری محاسبات لگاریتمی استفاده شد و با استفاده از این شبکه، محل انباشت و تجمع آلودگی تعیین گردید. لازم به ذکر است که این روش تنها برای سنجش آلودگی ناشی از گازهای گلخانه‌ای کاربرد دارد و برای پایش آلودگی هوا به آئروسول‌ها چندان مفید عمل نمی‌کند.

در مطالعه‌ی انجام شده توسط کادوم و همکاران (Cadum *et al.* 2009) تحت نظارت EpiAir (نظارت اپیدمیولوژیک ایتالیا در آلودگی و سلامت)، که به بررسی اثرات ذرات آئروسول بر سلامت پرداخته است، مشخص گردید آسیرسانی PM₁₀ نسبت به دیگر آلاینده‌ها بیشتر است.

مطالعه دیگری به روش کتابخانه‌ای با مروری بر وضعیّت آلودگی سرب و سمّیت آن در ایران توسط کریمی و همکاران (Karimi *et al.* 2012) انجام گرفت. این پژوهش با بررسی مطالعات مربوطه بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ انجام گرفته و در آن از شهر زنجان به‌عنوان شهری آلوده به سرب یاد شده و این به فعالیت معادن و صنایع وابسته به سرب نسبت داده شده است.

مطالعه‌ای توسط ترکیان و همکاران (Torkian *et al.* 2013) تحت عنوان "مدل توزیع آلودگی هوا از معدن روباز مس" صورت گرفته است. نتایج حاکی از این مطالعه نشان می‌دهد که شعاع تاثیر ذرات آئروسول معدنی تا ۲۵ کیلومتری معدن بوده و بیشترین نقطه تاثیر آن در روستای میدوک با فاصله ۴ کیلومتری از معدن می‌باشد که در جهت باد غالب منطقه (جنوب‌غربی به شمال‌شرقی) می‌باشد، حال آن‌که کم‌ترین نقطه تاثیر بر روستای گاریک با فاصله ۳/۵ کیلومتری از معدن است که در خلاف جهت باد غالب محلی (جنوب شرق مجتمع) واقع گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که ۵۰ درصد ذرات به علت اثر نهفتگی در داخل مجتمع باقی می‌مانند که روش‌هایی مانند آب‌پاشی محوطه و جاده‌ها می‌تواند بر میزان آن بیافزاید.

²³ Grid sensors

در پژوهشی که توسط یاناگیتا و همکاران (Yanagita *et al.* 2013) در ژاپن انجام شد به بررسی اختلال در عملکرد ریه در اثر آلودگی هوا پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد عملکرد طبیعی ریه در افرادی که ریه آن‌ها در ارتباط با آلودگی هوا آسیب دیده بود، پس از بهبود آلودگی هوا ترمیم نشده است.

همچنین مطابق با بررسی‌های انجام شده توسط MECA (2014)، با افزایش میزان مواجهه فردی با ذرات آئروسول احتمال بروز بیماری‌های مغز و اعصاب، آلزایمر و بیماری‌های پارکینسون در کودکان، تغییرات فیزیکی مغز، تشدید ابتلا به اوتیسم و اسکیزوفرنی، وجود دارد. همچنین وجود نانو ذرات سرب در $PM_{2.5}$ سبب سقط جنین، افزایش ابتلا به بیماری‌های تنفسی و آسم، سرطان ریه، بیماری‌های خونی، ضخیم شدن شریان‌ها و ایجاد مشکلات قلب و عروق و در نتیجه مرگ زود رس می‌شود.

مطالعه‌ای توسط پروین و همکاران (Parveen *et al.* 2016)، با عنوان بررسی خصوصیات شیمیایی و ارزیابی خطر سلامت خاک و ذرات معلق آلوده به فلز و شبه فلز در جمعیت نیمه خشک آگرا (هند) انجام شد. مطابق با این پژوهش، قرارگیری در معرض ذرات معلق حاوی عناصر بالقوه سمی، ریسک ابتلا سرطان را از طریق تماس پوستی، استنشاق و بلع در گروه سنی کودکان و بزرگسالان افزایش می‌دهد. مطابق با نتایج این تحقیق مهم‌ترین مسیر قرار گرفتن در معرض این ذرات استنشاق می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد خطر بالقوه سلامت در کودکان بیش از بزرگسالان است.

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 نمونه‌برداری شده از ایدرجا (اسلوونی) را در معرض اسید معده شبیه‌سازی شده قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بخش در دسترس برای واکنش در معده بسیار محدود است و در حقیقت عناصر بالقوه سمی غیر قابل متابولیزه شدن هستند.

ترکیان و همکاران در سال ۱۳۹۲ مطالعه‌ای با عنوان "مدلسازی انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از فعالیت‌های معدنی و ارائه راه‌کارهای کنترلی جهت کاهش آلودگی" را با هدف بررسی انتشار آلاینده‌های هوا و نیز تعیین

نحوه توزیع آلاینده ذره‌ای ناشی از فعالیت‌های معدنی انجام دادند. بدین منظور میزان آلودگی هوا طی سه مرحله پایش در فصول مختلف سال، در نقاط داخل و اطراف مجتمع سونگون به مدت ۸ ساعت و در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شد. در این پایش‌ها، اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق (PM_{10})، فلزات سنگین موجود در هوا (مس، سرب، مولیبدن، آرسنیک و آلومینیوم)، آلاینده‌های گازی دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد مدنظر بود. نتایج حاصل از این مدلسازی نشان داد که با فاصله گرفتن از معدن، غلظت ذرات به سرعت کاهش می‌یابد و بیشترین آلودگی در پایه‌های معدن و محل احداث ساختمان شماره ۲ در حد ۶۲-۹۲ میکروگرم بر مترمکعب مشاهده می‌شود. هم‌چنین مقایسه نتایج مدلسازی در نقاط پایش با مقادیر اندازه‌گیری میدانی نشان داد که ضریب همبستگی بالایی ($R^2 > 0.7$) بین مقادیر واقعی و مدلسازی وجود دارد. تحلیل حساسیت مدل به پارامترهای ورودی، نشان‌دهنده میزان انتشار ذرات از منابع مختلف به عنوان مهم‌ترین پارامتر موثر بر مدل بود. مقایسه داده‌های نمونه‌برداری با آخرین استاندارد زیست‌محیطی ایران نیز نشانگر بالا بودن میزان ذرات در داخل مجتمع (۲-۳ برابر میزان استاندارد) بود (ترکیان و همکاران، ۱۳۹۲).

فصل سوّم

روش انجام تحقیق

۳-۱- مقدمه

اهداف این پژوهش عبارتند از ارزیابی غلظت عناصر بالقوه سمی در آئروسول‌های محدوده‌ی معدنی انگوران، بررسی تاثیر فرآیند معدنکاری بر تولید و نشر این ذرات و نیز بررسی تاثیر آئروسول‌ها بر شیمی بارش منطقه. به منظور دستیابی به اهداف فوق، ابتدا داده‌های موجود شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و هواشناسی مورد بررسی قرار گرفتند و مطالعات پیشین مرتبط با موضوع، بررسی شدند. پس از بازدید مقدماتی از منطقه، نمونه‌برداری از ذرات آئروسول و بارش‌های منطقه انجام شد. نمونه‌برداری از ایستگاه‌ها به صورت فصلی در طول یکسال انجام گرفت. برخی خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های بارش (شامل pH و EC)، در صحرا تعیین گردید. سپس مطالعات آزمایشگاهی مفصل بر روی نمونه‌ها انجام پذیرفت و در انتها داده‌ها تفسیر شدند.

۳-۲- نمونه‌برداری

به منظور انجام این مطالعه، نمونه‌های آئروسول در طول یکسال (پائیز ۱۳۹۳ تا پائیز ۱۳۹۴) از ۹ ایستگاه برداشت شد (شکل ۳-۱). در جدول ۳-۱، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و توصیف آن‌ها ارائه شده است. در این پژوهش، در طی نمونه‌برداری فصل تابستان، در هر ایستگاه ۲ نمونه آئروسول برداشت شد، هدف از برداشت نمونه‌ی دوم، تعیین درصد توزیع اندازه‌ی ذرات معلق، بررسی ریخت‌شناسی و تعیین ترکیب کانی‌شناسی آئروسول‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM و سیستم EDX بوده است. در نظر داشتن جهت باد غالب در منطقه، از عوامل مؤثر در انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری بوده است.

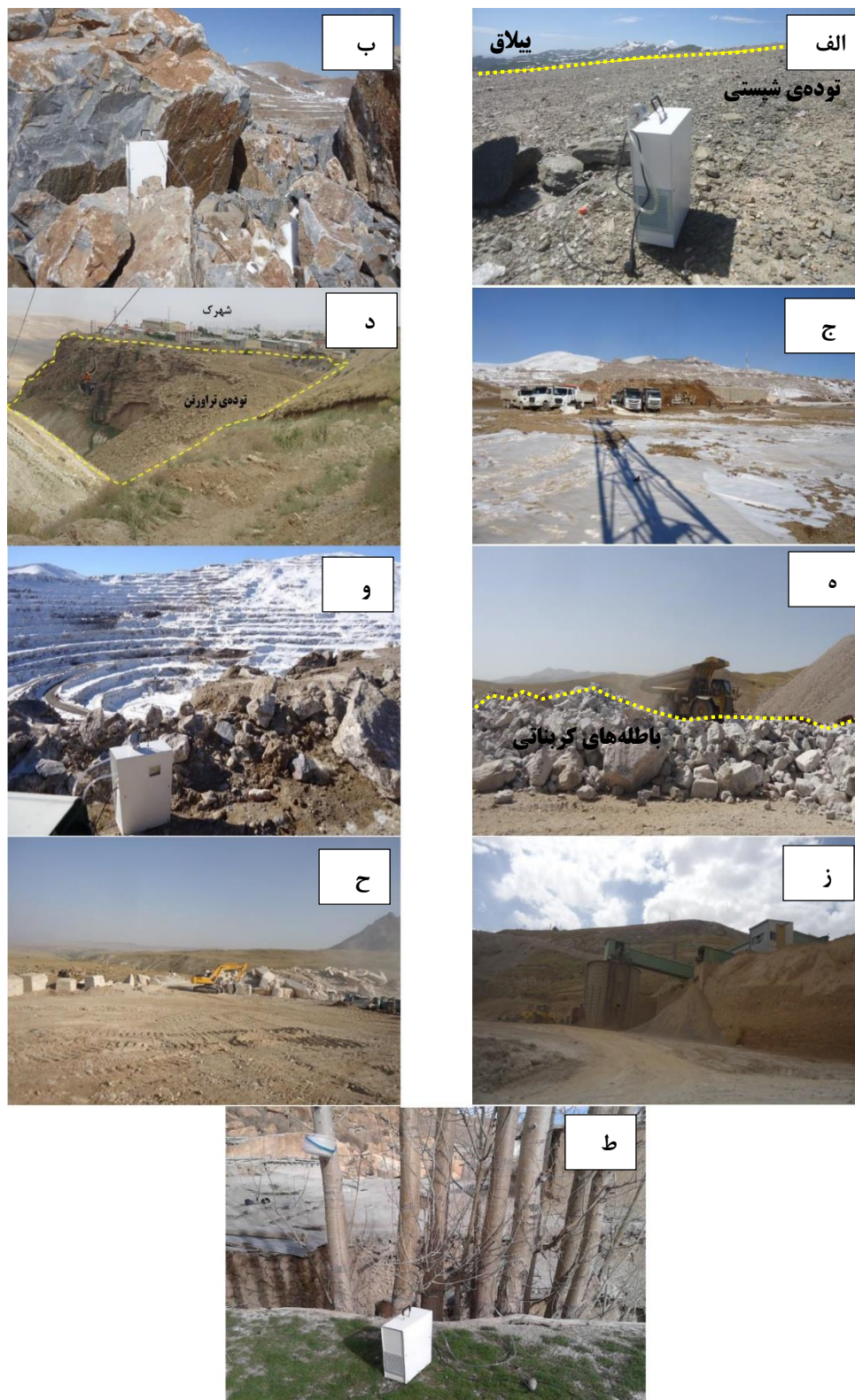
۳-۲-۱- نمونه برداری از بارش خشک (ذرات آئروسول)

نمونه برداری از آئروسولها مطابق با روش ASTM- D4096 انجام گرفت. بر این اساس، ذرات آئروسول بر روی فیلترهای ۰/۴۵ میکرون نصب شده بر پمپ مکنده‌ی گازمتر اولتراسونیک^{۲۴} و در طول ۲۴ ساعت برداشت شد. در هر ایستگاه سعی شد که پمپ مکنده در ارتفاع بیش از ۱/۵ متر از سطح زمین (سطح تنفس) نصب شود. یک سمت فیلترهای MCE صاف و سمت دیگر آنها مات و زبر است. برای نمونه برداری، سطح صاف این فیلترها روبروی جریان هوا قرار می‌گیرد.

جدول ۳-۱: مشخصات ایستگاه‌های نمونه برداری ذرات آئروسول

ایستگاه	موقعیت مکانی	موقعیت جغرافیایی (UTM)	ارتفاع از سطح دریا (m)	توصیف ایستگاه
۱	خلاف جهت	38S 0717049	۲۵۸۴	۷۶۰ متری شمال معدن
۲	باد غالب	38S 0714662	۲۶۴۶	۹۳۰ متری شمال غرب معدن
۳	محدوده‌ی معدنی	39S 0550897	۱۶۰۸	محل انباشت ماده‌ی معدنی پر عیار
۴	شهرک اداری- مسکونی معدن	38S 0717149	۲۳۸۹	محل قرارگیری ساختمان اداری و اقامتگاه کارکنان معدن
۵	محل انباشت سنگ‌های باطله	38S 0715521	۲۵۴۸	محل تجمع باطله‌های معدنی کربناتی
۶	گودال روباز معدن	38S 0715540	۲۶۳۱	گودال روباز معدن
۷	واحد خردایش	38S 0715395	۲۳۱۲	محل خردایش و بارگیری کانسنگ
۸	در جهت باد غالب	38S 0718400	۲۱۳۰	۲ کیلومتری جنوب شرقی معدن
۹	روستای قلعه جوق	38S 0719364	۲۰۸۳	۴ کیلومتری شرق معدن

²⁴ Ultrasonic gasmeter air sampler



شکل ۳-۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از منطقه‌ی معدنی انگوران، خلاف جهت باد غالب (الف: بیلاق، ب: 3060)، محدوده‌ی معدن (ج: محل انباشت ماده‌ی معدنی، د: شهرک اداری- مسکونی معدن، ه: محل انباشت سنگ‌های باطله، و: گودال روباز معدن، ز: واحد خردایش)، جهت باد غالب (ح: ۲ کیلومتری جنوب‌شرقی معدن، ط: روستای قلعه جوق).

دستگاه‌های نمونه‌برداری در محل ایستگاه‌ها هم‌زمان (با اختلاف چند ساعت) مستقر شدند. نمونه‌برداری با جریان ۱۴-۱۵ مترمکعب در دقیقه (به مدت ۲۴ ساعت) انجام گرفت و تایمر دستگاه به‌صورتی تنظیم گردید که هر ۵۵ دقیقه نمونه‌برداری ۵ دقیقه پمپ دستگاه خاموش گردد تا پمپ دستگاه نسوزد و در نمونه‌برداری اختلال پیش نیاید. با توجه به جریان بالا و مدت زمان طولانی نمونه‌برداری، از برق ۲۲۰ ولت استفاده می‌گردد.

۳-۲-۱-۱- تجهیزات مورد نیاز برای نمونه‌برداری از بارش خشک

جهت نمونه‌برداری از آئروسول‌ها تجهیزات زیر مورد استفاده قرار گرفت:

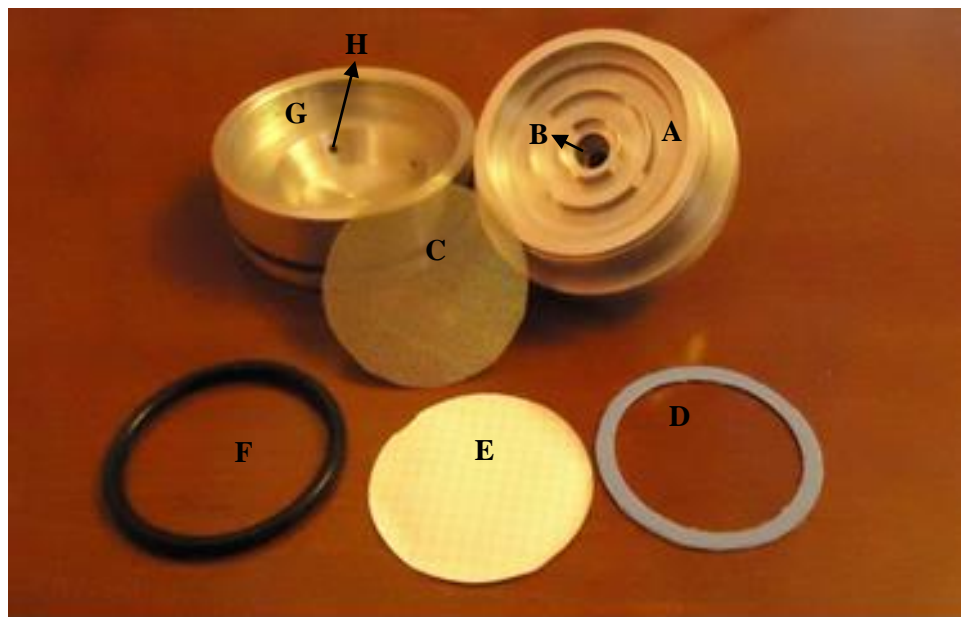
- ۱- پمپ مکندوی گازمتر اولتراسونیک (دستگاه نمونه‌برداری هوا) (شکل ۳-۲).
 - ۲- فیلترهای MCE (۰/۴۵ میکرون):
 - ۳- موتور برق (جهت تامین برق در مناطق فاقد برق)
 - ۴- آون جهت خشک کردن فیلترها قبل و بعد از نمونه‌برداری
 - ۵- ترازو با دقت ۵ رقم اعشار جهت وزن کردن فیلترهای MCE و فیلترهای شاهد قبل و بعد از نمونه‌برداری
 - ۶- ظروف مخصوص جهت نگهداری فیلترها بعد از نمونه‌برداری
- دستگاه نمونه‌برداری از هوا (پمپ مکندوی گازمتر اولتراسونیک) شامل اجزای زیر است:
- پمپ نمونه‌برداری با حداکثر فلوی نمونه‌برداری ۱۶ مترمکعب در دقیقه (LPM). موتور پمپ با قدرت ۷۵۰ وات و با ولتاژ ۲۲۰ تک فاز با برق ۲۲۰ ولت تک فاز کار می‌کند.
- گازمتر اولتراسونیک که دارای سنسور دما، نمایشگر حجم هوا و دبی می‌باشد. حداکثر فلوی این گازمتر ۴ متر مکعب در ساعت و حداقل فلوی آن ۰/۰۲۵ متر مکعب در ساعت می‌باشد. حجم هوای نمونه‌برداری شده، توسط گازمتر ثبت می‌گردد.
 - فن جهت خنک کردن دستگاه

- پیچ تنظیم فلوی نمونه‌برداری که دستگاه را قادر می‌سازد تا برای هدف‌های مختلف از فلوی ۴ تا ۱۶ مترمکعب در دقیقه نمونه برداری نمود.
- تایمر: با استفاده از تایمر می‌توان برنامه‌ی نمونه‌برداری (زمان شروع و پایان نمونه‌برداری) برای دستگاه را تعریف نمود یا برای نمونه‌برداری طولانی مدت از دستگاه برنامه استراحت برای دستگاه را مشخص کرد.
- مخزن فیلتر (Filter holder 47 mm): جنس این مخزن از آلومینیوم بوده و مجهز به توری فولادی (استیل) ضد زنگ به‌عنوان پشتیبانی کننده فیلتر می‌باشد. به‌منظور درزبندی کامل مخزن فیلتر، از واشرهای PVC و حلقه‌های نگه‌دارنده‌ی مناسب استفاده می‌گردد. این نگهدارنده^{۲۵} مجهز به در پوش جهت حفاظت نمونه‌ها از باران و وزش باد می‌باشد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۲: بخش‌های مختلف پمپ مکندگی گاز متر اولتراسونیک. A، بدنه‌ی آلومینیومی، B کنترل، C بخش تنظیم کننده‌ی زمان، D حفره‌ی مکندگی دستگاه و E مخزن فیلتر می‌باشد.

²⁵ Holder



شکل ۳-۳: بخش‌های مختلف مخزن فیلتر. A، بخش پایینی مخزن، B حفره‌ی مکند، C توری نگهدارنده‌ی فیلتر، D حلقه‌ی نگهدارنده‌ی توری، E فیلتر سلولزی، F حلقه‌ی نگهدارنده‌ی فیلتر، G بخش بالایی مخزن و H روزنه‌های ورود ذرات می‌باشد.

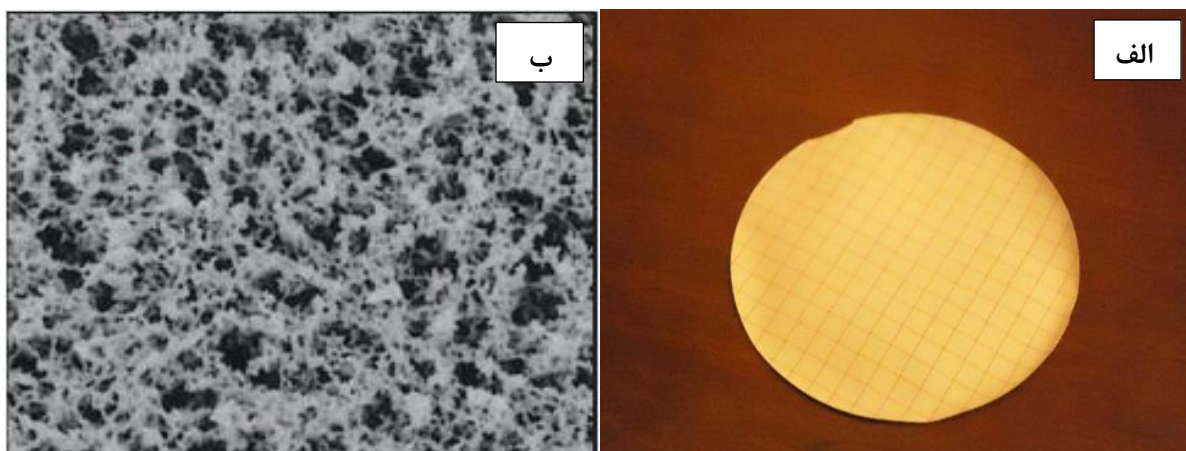
مزایای فیلترهای MCE (شکل ۳-۴) به شرح ذیل می‌باشد (www.advantecmfs):

- قطر کم منافذ (۰/۴۵ میکرون)، موجب می‌شود ذرات کوچک بر روی فیلترها به دام بیافتند.
- با توجه به قطر فیلترها (۴۷ mm) نمونه‌برداری با فلوی بالا (۱ متر مکعب در ساعت) امکان‌پذیر می‌باشد.
- این فیلترها در اسید مناسب قابل حل هستند و در نتیجه، آنالیز شیمیایی نمونه‌ها و تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی توسط آن‌ها امکان‌پذیر است.
- این فیلترها برای نمونه‌برداری فیوم‌ها بسیار مناسب است زیرا به سهولت توسط اسید حل می‌شوند.
- فیلترهای MCE به منظور مطالعات میکروسکوپی، به راحتی شفاف می‌شوند.
- آلودگی زمینه‌ای این فیلترها به عناصر بالقوه سمی بسیار اندک است و در نتیجه، برای نمونه‌برداری‌های زیست‌محیطی مناسب هستند.

معایب فیلترهای MCE عبارتند از (www.advantecmfs):

- ضخامت بسیار کم که باعث مسدود شدن منافذ آن‌ها توسط قطرات مایع می‌شود.

- این فیلترها هیدروفیل بوده و رطوبت‌گیر می‌باشند و در زمان توزین ممکن است خطا ایجاد نماید.



شکل ۳-۴: الف) فیلتر سلولزی MCE (ب) تصویر میکروسکوپی فیلتر MCE

۳-۲-۱-۲-۳- ارزیابی غلظت کل ذرات آئروسول

به‌منظور ارزیابی غلظت کل ذرات آئروسول (C_{air}) از روش وزن سنجی^{۲۶} فیلترهای شاهد و فیلترهای MCE، قبل و بعد از نمونه‌برداری استفاده شد. با توجه به هیدروفیل بودن فیلتر MCE قبل و بعد از نمونه‌برداری فیلترها باید رطوبت‌گیری گردد. با توجه به اینکه حداکثر دمای کاری فیلترها ۷۵ درجه می‌باشد فیلترها در دمای ۵۰ درجه (در آون) به مدت دو ساعت خشک و پس از یک ساعت قرارگیری در دسیکاتور با ترازوی سارتوریوس (دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم) وزن شدند. وزن اولیه و وزن ثانویه هر کدام دو بار توزین و میانگین‌گیری می‌گردد. در مواردی که اختلاف زیاد باشد توزین دوباره انجام می‌گیرد. برای اصلاح خطای توزین مربوط به شرایط آزمایشگاهی قبل و بعد از نمونه‌برداری از جمله اختلاف رطوبت و دما به ازاء هر ۱۰ فیلتر دو فیلتر شاهد در نظر گرفته می‌شود و هم‌زمان با فیلترها وزن می‌گردند (شکل ۳-۵). حجم هوای نمونه‌برداری شده توسط گازمتر ثبت شد. برای محاسبه میزان تمرکز (غلظت) ذرات معلق باید وزن ذرات را بر حجم هوا تقسیم کرد.

²⁶ Gravimetry



شکل ۳-۵: الف) خشک کردن فیلترها پیش از توزین با استفاده از دستگاه دسیکاتور Behdad مدل Oven50، ب) توزین فیلترها با ترازوی Sartorius (دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم)

۳-۱-۲-۳- آماده‌سازی فیلترها و تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های آئروسول

جهت تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی نمونه‌های آئروسول از روش استخراج اسیدی (NIOSH Method 7300) استفاده گردید (شکل ۳-۶). در این روش، ابتدا کلیه ظروف آزمایشگاهی با اسیدنیتریک ۴ درصد حجمی به مدت ۳ ساعت اسیدشوئی شده و پس از شست‌وشو با آب مقطر خالص مورد استفاده قرار گرفتند. سپس مقدار ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک با ۴ میلی‌لیتر اسیدنیتریک خالص ترکیب شد. پس از آن فیلتر حاوی ذرات آئروسول درون بشر قرار داده شد و ۵ میلی‌لیتر از محلول اسیدی فوق به نمونه اضافه گردید. درب بشر توسط شیشه ساعت پوشانیده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق به حالت ساکن قرار گرفت تا فیلتر در درون اسید حل شود. سپس محلول به دست آمده در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد بر روی هیتر تا حدی حرارت داده شد که خشک نشود و حجم آن به ۰/۵ میلی‌لیتر برسد. حجم محلول باقی‌مانده، توسط ترکیب اسید نیتریک ۴ درصد حجمی و اسید پرکلریک ۱ درصد حجمی به ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد. غلظت عناصر بالقوه سمی در این محلول توسط دستگاه دستگاه جذب اتمی (مدل LBCO- CS230) تعیین شد.



شکل ۳-۶: مراحل مختلف آماده‌سازی نمونه‌ها و استخراج فلزات سنگین از فیلترها؛ الف) تهیه‌ی مخلوط ۱:۴ اسیدپرکلریک و اسید نیتریک، ب) قراردادن فیلترها به مدت ۳۰ دقیقه در ترکیب اسیدی، ج) حرارت دادن محلول حاصل از مرحله قبل در حرارت ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد

۳-۲-۱-۴- بررسی اندازه و شکل ذرات آئروسول

به منظور بررسی اندازه و شکل ذرات از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM^{27}) استفاده شد. مطالعات SEM، روشی است که برای مشاهده مستقیم ریز ساختارها تا اندازه اتمی به کار می‌رود. مطالعه ذرات آئروسول توسط میکروسکوپ الکترونی اطلاعات مفیدی را در رابطه با درصد و میزان پراکنش ذرات، انبوه‌های مختلف موجود در ذرات و در نهایت منشاء ذرات به دست می‌دهد (Rodriguez, 2009). آنالیز کیفی مناسب نانو ذرات نیازمند بهینه‌سازی روش‌های مختلف تصویربرداری، انتخاب بزرگ‌نمایی مناسب و روش آنالیز دستی یا اتوماتیک می‌باشد و هدف آن بهینه‌سازی وضوح تصویر و کنتراست بین ذرات نمونه و تعداد مناسب ذرات در هر تصویر می‌باشد به نحوی که کم‌ترین آسیب به نمونه برسد. در بزرگ‌نمایی‌های پایین تصویر، امکان مطالعه توزیع ذرات وجود دارد، حال آنکه در بزرگ‌نمایی بالا تعداد زیادی از ذرات مشاهده نمی‌شود و فقط اطلاعاتی در زمینه جهت‌گیری صفحات و ساختار در اختیار قرار می‌گیرد. با استفاده از سیستم EDX^{28} ، غلظت عناصر موجود بر روی فیلتر بر حسب ppb محاسبه می‌شود. با استفاده از اطلاعات حاصل از مطالعات نانومیکروسکوپی و EDX، می‌توان نحوه

²⁷ Scanning Electronic Microscopy

²⁸ Energy- Dispersive X-ray spectroscopy

انتشار و تاثیر این ذرات بر سلامت ساکنین را توصیف نمود. شکل ۳-۷ نمایی از دستگاه SEM و EDX مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: نمایی از دستگاه SEM-EDX آزمایشگاه کانی‌شناسی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران.

به‌منظور آماده سازی نمونه‌ها جهت مطالعات نانو میکروسکوپی مراحل زیر انجام گردید (شکل ۳-۸):

- ۱- ابتدا بخشی از فیلترها جهت برش انتخاب شد (در مطالعه‌ی حاضر بخش مرکزی فیلترها که توزیع یکسان داشتند انتخاب شد).
- ۲- بخش برش خورده بر روی مقاطع نصب شد.
- ۳- مقاطع در دستگاه پوشش کربن (BAL-TEC (SCD050 Suptter Coater قرار داده شد.
- ۴- مقاطع کربن‌دار شده با استفاده از چسب نقره ثابت شد.
- ۵- مقاطع وارد مخزن دستگاه SEM-EDX گردید و مورد پردازش قرار گرفت.



شکل ۳-۸: مراحل آماده‌سازی نمونه‌های بارش خشک برای مطالعات SEM-EDX، الف) برش بخش مرکزی فیلترها که تجمع آئروسول‌ها در آن یکسان بود، ب) چسباندن فیلترهای برش خورده بر روی مقاطع، ج) قرار دادن مقاطع در دستگاه پوشش کربن، د) محکم کردن فیلترهای کربن‌دار بر روی مقاطع توسط چسب نقره

۳-۲-۲- نمونه‌برداری از بارش تر (برف و باران)

به‌منظور بررسی کیفیت بارندگی در منطقه و میزان اثرگذاری آئروسول‌های معدنی بر ترکیب هیدروشیمیایی بارش و نیز تاثیر بارندگی بر میزان رسوب آئروسول‌ها، از بارش‌های منطقه نیز به‌صورت فصلی (از پاییز ۱۳۹۳ تا بهار ۱۳۹۴) در ۵ ایستگاه نمونه‌برداری شد (شکل ۳-۹). در جدول ۳-۲، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و توصیف آن‌ها ارائه شده است. نمونه‌های بارش در فصل‌های پائیز و زمستان به‌صورت برف و در فصل بهار به‌صورت باران بود. نمونه‌های بارش از شروع تا خاتمه یک دوره بارندگی برداشت شد.



شکل ۳-۹: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از بارش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه؛ الف: محل انباشت توده‌ی معدنی، ب: محل انباشت سنگ‌های باطله، ج: گودال روباز معدن، د: شهرک اداری- مسکونی، ه: روستای قلعه‌جوق.

جدول ۳-۲: مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از بارندگی

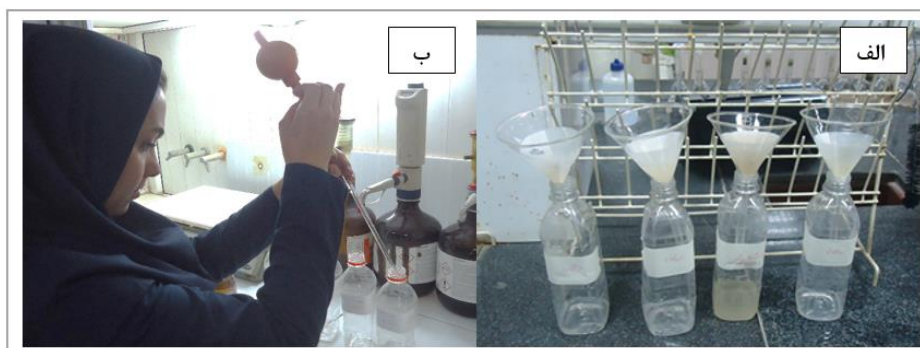
ایستگاه	موقعیت مکانی	موقعیت جغرافیایی UTM	ارتفاع از سطح دریا (m)	توصیف ایستگاه
۱	محدوده‌ی معدنی	39S0550897 3601953	۱۶۰۸	محل انباشت ماده‌ی معدنی پر عیار
۲	معدنی	38S0715521 4054623	۲۵۴۸	محل انباشت باطله‌های معدنی کربناتی
۳	معدن روباز	38S0715540 4055945	۲۶۳۱	معدن روباز
۴	در جهت باد غالب	38S0717149 4055461	۲۳۸۹	محل قرارگیری ساختمان اداری و اقامتگاه کارکنان
۵	روستای قلعه جوق	38S0719364 4056414	۲۰۸۳	۴ کیلومتری شرق معدن

۳-۲-۱- تجهیزات مورد نیاز برای نمونه‌برداری از بارش تر

نمونه‌های بارش در ظروف پلی‌اتیلن (قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر) جمع‌آوری شدند. ظروف نمونه‌برداری جهت جلوگیری از نشست گرد و غبار در ارتفاع حداقل ۱/۵ متری از سطح زمین نصب شدند. پس از اتمام بارندگی، حجم هر نمونه بارش توسط استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری شد. هم‌چنین پارامترهای pH و EC نمونه‌های برداشت شده، بلافاصله توسط دستگاه pH متر (Mettler Toledo مدل MP 225) اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۱۰). بخشی از هر نمونه جهت تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی با استفاده از کاغذ واتمن ۰/۴۵ میکرون فیلتر شد و با اضافه کردن اسید نیتریک، pH آن به حدود ۱ رسانده شد (شکل ۳-۱۱). بخش دیگر نمونه جهت اندازه‌گیری یون‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفت. تمامی نمونه‌ها در شرایط استاندارد (دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد) به آزمایشگاه آب و خاک دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه زنجان منتقل شدند. غلظت عناصر بالقوه سمی سرب، روی، کادمیم و آرسنیک توسط دستگاه جذب اتمی (مدل SpectrAA-20) اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۱۰: اندازه‌گیری pH و دما در محل معدن با استفاده از دستگاه Mettler Toledo مدل MP 225



شکل ۳-۱۱- آماده‌سازی نمونه‌های بارندگی؛ الف) فیلتر کردن نمونه‌های بارش با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۰/۴۵، ب) اضافه نمودن اسید به نمونه‌های فیلتر شده (pH=1).

۳-۲-۲- تجزیه‌ی شیمیایی بارش‌های تر

غلظت آنیون‌های کلر، کربنات و بی‌کربنات و کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون، کاتیون‌های سدیم و پتاسیم با استفاده از روش نورسنجی شعله‌ای (Flame photometer)، آنیون‌های فسفات و نترات با استفاده از روش طیف‌سنجی (اسپکتروفوتومتر) و آنیون سولفات با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۱۲). هم‌چنین به منظور تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در نمونه‌های بارش منطقه، نمونه‌های بارش در آزمایشگاه خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان توسط دستگاه جذب اتمی (مدل SpectrAA-20) اندازه‌گیری شدند.



شکل ۳-۱۲: اندازه‌گیری کاتیون‌ها به روش تیتراسیون و نورسنجی شعله‌ای

اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی تا دقت ۱ ppm انجام می‌گیرد و روش کار برای به‌دست آوردن مقادیر هر یک به شرح زیر می‌باشد:

الف - کلورها

روش اندازه‌گیری موهر^{۲۹} برای کلورها بر پایه‌ی ترکیب کلور با یون نقره و حصول نمک کلور نقره می‌باشد. این نمک به‌دلیل غیر محلول بودن در آب رسوب داده شده از محیط فعل و انفعال خارج می‌گردد. پس

²⁹ Mohr

از اینکه تمام یون کلر به وسیله یون نقره از محیط خارج گردید، اولین قطره یون نقره اضافی با شناساگر کرومات پتاسیم ترکیب شده و تولید رسوب کرومات نقره که دارای رنگ قرمز آجری است، می نماید.

روش کار:

توجه شود چنانچه EC نمونه‌ی آب کمتر از $4000 \mu\text{c}/\text{cm}$ باشد، برای انجام آزمایش ۲۵ میلی لیتر آب لازم است، اما در صورتیکه EC نمونه از این مقدار بیشتر باشد ۵ میلی لیتر از نمونه‌ی آب کافی بوده و حجم مصرفی از AgNO_3 ۵ برابر می گردد (علوی، ۱۳۴۹).

پس از برداشت حجم مورد نظر از آب، چند قطره کرومات پتاسیم به آن اضافه شد. از بورت قطره قطره محلول نیترات نقره $\text{N}/40$ به آن افزون و مرتب به هم زده شد تا اولین رنگ قرمز آجری ظاهر گردد. میزان نیترات نقره مصرفی یادداشت شد.

(توجه شود اگر ۵ میلی لیتر از نمونه‌ی آب برداشت شده باشد، حجم مصرفی نیترات نقره را ۵ برابر کرده و یادداشت می شود).

$$\text{حجم } \text{AgNO}_3 \text{ N}/40 \text{ مصرفی (ml)} = \text{meq/lit Cl}^- \quad (\text{رابطه‌ی ۱-۳})$$

ب- کربنات و بی کربنات

به طور کلی میزان کربنات و بی کربنات آب‌ها با درجه‌ی حرارت و pH آب رابطه‌ی مستقیم دارد و از این جهت برای اندازه‌گیری کربنات و بی کربنات باید از رقیق نمودن و یا حرارت دادن یا صاف کردن نمونه خودداری نمود و آزمایش به طور مستقیم روی آب انجام گردید. همچنین به علت احتمال جذب CO_2 توسط آب باید در ظروف نمونه محکم باشد و اندازه‌گیری در کمترین زمان ممکن پس از برداشت انجام شود. معمولاً آب‌هایی که pH آن‌ها از $8/2$ کمتر باشد فاقد کربنات بوده و بی کربنات در pH کمتر از $4/5$ وجود نخواهد داشت.

روش کار:

از آنجا که فنل فتالین در pH بیشتر از ۸/۱ قرمز رنگ و در کمتر از آن بی‌رنگ است و نیز متیل اورانژ در بیش از ۴/۵ زرد رنگ است و در pH کمتر از آن نارنجی رنگ است، از این خاصیت برای اندازه‌گیری کربنات و بی‌کربنات می‌توان استفاده کرد. به این منظور، در ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه‌ی آب چند قطره فنل فتالین اضافه شد. اگر رنگ صورتی پوست پیازی ظاهر گردد محلول با اسید سولفوریک $N/40$ تا بی‌رنگ شدن محلول تیتراسیون می‌شود و مقدار مصرف شده اسید یادداشت می‌گردد. این مقدار اسید مصرف شده برای اندازه‌گیری کربنات (بی‌رنگ شدن فنل فتالین) است.

$$\text{حجم اسید مصرفی } N/40 \text{ CO}_3^{--} \text{ meq/lit} \quad (\text{رابطه‌ی ۲-۳})$$

پس از اندازه‌گیری میزان کربنات برای اندازه‌گیری میزان بی‌کربنات با محلول بی‌رنگ شده و یا محلول اولی که تغییر رنگ ندارد (صورتی نشده است)، یک یا دو قطره متیل اورانژ اضافه کرده و دوباره تیتراسیون انجام می‌شود تا رنگ متیل اورانژ از زرد به قرمز تبدیل شود (نارنجی). میزان اسیدی که برای تیتراسیون دوم مصرف شده یادداشت می‌شود. در این حالت:

$$\text{حجم اسید مصرفی } N/40 \text{ HCO}_3^{-} \text{ meq/lit} \quad (\text{رابطه‌ی ۳-۳})$$

در مواقعی که pH آب کمتر از ۸/۲ می‌باشد و در اثر اضافه کردن فنل فتالین رنگ صورتی چرک در محلول ظاهر می‌شود، که پس از اضافه نمودن اسید بی‌رنگ شده و مجدداً صورتی می‌گردد. این رنگ صورتی در اثر وجود CO_2 محلول در آب و مقداری هم به علت وجود سیلیکات‌ها و فسفات‌ها می‌باشد. بنابراین باید سعی کرد که درب شیشه همیشه بسته باشد و نیز اندازه‌گیری کربنات چنانچه pH کمتر از ۸/۲ بود حذف و فقط بی‌کربنات اندازه‌گیری شود (ASTM, 1947).

ج - کلسیم و منیزیم

مهم‌ترین کاربرد تیتراسیون با EDTA تعیین سختی آب می‌باشد. برای تعیین سختی کل مجموع مقادیر Ca و Mg را اندازه گرفته و اغلب نتیجه را بر حسب مقدار کلسیم گزارش می‌کنند، که شامل تیتراسیون محلولی

است که به کمک آمونیاک و آمونیوم کلرید در $\text{pH}=10$ بافر شده است و از شناساگر اریوکرم بلاک T استفاده می شود. برای اندازه گیری مقدار Ca و Mg دو قسمت نمونه ی آب را انتخاب کرده و برای یک قسمت مجموع Ca و Mg اندازه گیری می شود و برای قسمت دوم، فقط Ca تعیین گردد. از اختلاف این دو می توان مقدار Mg را نیز تعیین کرد. برای تعیین Ca و در حضور Mg, pH باید بالاتر از ۱۲ باشد که تحت چنین شرایطی Mg به صورت $\text{Mg}(\text{OH})_2$ رسوب می کند و شناساگر مروکسید به عنوان شناساگر نقطه پایان به کار برده می شود. چنانچه EC آب از $4000 \mu\text{c}/\text{cm}$ کمتر باشد باید ۲۵ میلی لیتر از نمونه ی آب، مورد آزمایش قرار گیرد، اما چنانچه EC آب از مقدار فوق بیشتر باشد، ۵ میلی لیتر نمونه ی آب کافی می باشد. حجم EDTA تیترا شده در این حال باید ۵ برابر شود. ۲۵ یا ۵ میلی لیتر از نمونه ی آب را برداشته و به آن ۲ میلی لیتر بافر تامپون $\text{pH}=10$ و ۵ تا ۶ قطره شناساگر اریوکرم بلاک T اضافه می شود و سپس به وسیله EDTA تیترا می گردد تا رنگ محلول از قرمز به آبی تبدیل شود.

$$\text{حجم EDTA } N/40 \text{ مصرفی} = \text{meq/lit (Ca + Mg)} \quad (\text{رابطه ی ۳-۴})$$

برای اندازه گیری غلظت Ca، مقدار ۲۵ میلی لیتر (اگر EC آب بیشتر از $4000 \mu\text{c}/\text{cm}$ باشد ۵ میلی لیتر کافی است) از نمونه ی آب را برداشته و به آن به اندازه ی یک قاشقک (اسپاتول) شناساگر مورکسید اضافه می نمائیم تا رنگ قرمز ظاهر شود. به نمونه ی حدود ۵ میلی لیتر محلول KOH, 2N, نرمال اضافه کرده و با EDTA تیترا می شود تا رنگ محلول از قرمز به بنفش تغییر کند.

$$\text{حجم EDTA } N/40 \text{ مصرفی} = \text{meq/lit Ca}^{++} \quad (\text{رابطه ی ۳-۵})$$

د- سدیم و پتاسیم

به منظور اندازه گیری سدیم و پتاسیم با استفاده از روش نورسنجی شعله ای، ابتدا باید محلول های استاندارد را از مواد شیمیایی با خلوص مشخص تهیه نمود. برای یک لیتر از محلول ۵۰۰ ppm استاندارد ۱/۲۷۰۸ گرم از NaCl, ۰/۹۵۵۵ گرم از KCl یا ۱/۲۱۸۶ از CaCO_3 برداشت نموده و ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر

و ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ به آن اضافه می شود تا زمانی که خوب حل شود به هم زده می شود. سپس محلول را تا یک لیتر به حجم رسانده و از تماس محلول ساخته شده با CO₂ جلوگیری می شود.

برای تعیین غلظت سدیم (Na)، محلول Radiation Buffer با یک محلول Reagent Grade از MgCl, KCl, CaCl₂ اشباع می شود. و برای تعیین پتاسیم (K)، محلول Radiation Buffer با یک محلول Reagent Grade از MgCl₂, CaCl₂, NaCl اشباع می شود.

جهت تهیهی نمودار کارکرد دستگاهها ۵ میلی لیتر از محلول Rad. Buffer را به نمونهی موجود در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری اضافه می نمایند. محلولهای استاندارد را بین محدودهی ۰ تا ۱۰۰ ppm مادهی لازم تهیه کرده و آنها را به حجم ۱۰۰ میلی لیتر می رسانند و به وسیلهی دستگاه شدت نوری این نمونهها را به دست می آورند. در این رابطه از آب مقطر به عنوان نمونهی استاندارد ۰ ppm و نمونهی حداکثر ۱۰۰ ppm استفاده می شود ابتدا دستگاه را بین این دو مد تنظیم کرده، سپس نمونههای حد واسط قرائت می شود. برای هر نمونه حداقل سه بار قرائت لازم است و بین دو سری قرائت می باید برای واسنجی^{۳۰}، دستگاه آب مقطر را قرائت نمود. ارقام قرائت شده برای هر نمونه را میانگین گیری نموده و منحنی کارکرد دستگاه را تهیه می نمایند.

نمونههای مورد مطالعه نیز به روش ارائه شده تهیه می شود و سپس شدت نشر برای نمونههای مجهول اندازه گیری می شود. پس از برداشت اطلاعات، غلظتها از طریق مقایسه با منحنی کارکرد به دست می آیند (Hayes hufty, 1974; Skook and West, 1988).

بهرتر است تهیهی محلولهای استاندارد بر اساس دستور کار^{۳۱} ارائه شده به وسیله کارخانه سازنده انجام گیرد.

ه - فسفات

³⁰ Calibration

³¹ Cata laque

به‌منظور اندازه‌گیری یون فسفات، ابتدا مقدار $129/5$ میلی‌گرم KH_2PO_4 بدون آب را در آب مقطر حل نموده و در یک بالن ژوژه یک لیتری به حجم رسانده می‌شود. این محلول، محلول استاندارد فسفات 50 میلی‌گرم در لیتر بر حسب P خواهد بود. در ادامه 100 میلی‌لیتر از نمونه‌ی آب را با مقدار 4 میلی‌لیتر محلول مولیبدات آمونیوم ترکیب کرده و به خوبی هم‌زده می‌شود. سپس مقدار $0/5$ میلی‌لیتر یا 10 قطره کلرور استانو به آن اضافه می‌شود و خوب هم‌زده می‌شود. پس از مدت 10 دقیقه مقدار جذب یا درصد عبور نمونه، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 690 nm به‌دست می‌آید. محلول‌های استاندارد $1/0$ ، $0/3$ ، $0/5$ ، $0/7$ ، $0/9$ و 1 میلی‌گرم در لیتر فسفر را تهیه نموده و طبق روش فوق مقدار جذب یا درصد عبور هر یک را به‌دست آورده و منحنی استاندارد آن رسم می‌شود. با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت فسفر نمونه را (بر حسب میلی‌گرم در لیتر) محاسبه می‌شود.

و- نیترات

سه روش رنگ سنجی بروسین، رنگ سنجی فنل دی سولفوریک اسید و روش اسپکتوفتومتر برای تعیین مقدار نیترات به صورت معمول استفاده می‌شود. روش استفاده شده در اینجا روش رنگ سنجی بروسین می‌باشد.

روش کار:

ماده‌ی بروسین^{۳۲} با یون‌های نیترات در محلول اسید سولفوریک ترکیب شده تا یک ترکیب Amber-Colored Complex ایجاد نماید. شدت رنگ بستگی به غلظت محلول دارد. غلظت نیترات از طریق مقایسه‌ی شدت رنگ نمونه با رنگ محلول استاندارد به‌دست می‌آید.

³² Brucine

برای اندازه‌گیری ۵ میلی‌لیتر از نمونه را به داخل یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و ۱۰ قطره از Brucine Rouyent را به آن اضافه نموده و خوب مخلوط می‌شود. ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به بشر اضافه شده و ترکیب می‌شود تا به‌طور کامل مخلوط شود. محلول بر اثر اسید سولفوریک اضافی گرم خواهد شد. در ادامه محلول را برای ۴ تا ۶ دقیقه در دمای اتاق به حالت سکون قرار داده تا به‌صورت پایدار در آید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر بدون نیترات به آن اضافه نموده، هم زده و محلول تا زمان سرد شدن، کنار گذاشته می‌شود. مقدار جذب در ۴۱۰ nm با یک سلول ۱ cm اندازه‌گیری می‌شود. تمام این مراحل برای نمونه‌ی استاندارد نیز انجام می‌شود. یک محلول تهی در ۱۵ ml آب مقطر و ۱۰ ml اسید سولفوریک غلیظ تشکیل شده که برای صفر کردن فتومتر (نورسنج) به کار گرفته می‌شود.

یک منحنی واسنجی برای محدوده ۰ تا ۳۰ ppm نیترات با رقیق کردن محلول استاندارد تهیه می‌شود. غلظت نمونه‌های مجهول را از طریق مراجعه به منحنی واسنجی^{۳۳} به دست می‌آید (Maguire, 1980).

ز- سولفات:

غلظت یون سولفات بر اساس روش کدرسنجی و به کمک دستگاه کدورت‌سنج^{۳۴} تعیین می‌شود. برای کالیبره کردن دستگاه ابتدا باید محلول‌هایی با غلظت مشخص از یون سولفات تهیه نمود. برای ساختن محلول ۱۰۰ epm سولفات، ۰/۸۷۱۲۵ گرم سولفات پتاسیم را در یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و پس از حل شدن، محلول به حجم رسانیده می‌شود. از محلول ۱۰۰ epm سولفات، محلول‌های ۰/۱، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۲ epm تهیه می‌شود. بدین ترتیب که درون ۵ عدد بالن ژوژه‌ی ۱۰۰ میلی‌لیتری به ترتیب ۰/۱، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۲ میلی‌لیتر از محلول ۱۰۰ epm را ریخته و سپس یک گرم $BaCl_2$ و چند قطره HCl رقیق اضافه نموده تا

³³ Calibration Curve

³⁴ Turbidimeter

کلوئیدهای بهتری تشکیل گردد و سپس محلول ها به حجم رسانیده می شود. در مورد نمونه های آب نیز ۲۵ میلی لیتر از آب را درون بالن ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و یک گرم $BaCl_2$ و چند قطره HCl رقیق اضافه کرده و خوب تکان داده و سپس به حجم رسانیده می شود (باید توجه داشت که نمونه آب ۴ برابر رقیق شده است). در ادامه محلول های استاندارد را به ترتیب دقت به دستگاه داده و عدد مربوطه ثبت می گردد و پس از آن نمونه های مجهول وارد دستگاه می شود و ارقام مربوط به آنها نیز ثبت می شود. پس از رسم منحنی واسنجی حاصل از نمونه های استاندارد، غلظت مجهول را برحسب epm به دست می آید (America Water Work Association, 1972).

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، بهره‌برداری از معادن روباز کشور در کنار سودآوری اقتصادی، سبب ایجاد تاثیرات منفی بر محیط زیست از جمله آلودگی هوا شده است. لذا بررسی تاثیر فعالیتهای معدنی بر میزان آلودگی هوا در محیط اطراف و ارائه راهکارهای کاهش آلاینده‌ها ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش بررسی غلظت آئروسول‌ها و تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی در آئروسول‌های ناشی از فرآیند معدنکاری در منطقه‌ی معدنی روی- سرب انگوران می‌باشد. در مطالعات زیست‌محیطی، علاوه بر تعیین ویژگی‌های شیمیایی ذرات آئروسول، بررسی ویژگی‌های فیزیکی نیز اهمیت دارد، به عبارت دیگر بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در کنار یکدیگر را می‌توان مبنای مطالعات اثرات زیست محیطی ذرات آئروسول در نظر گرفت. لازم به ذکر است که نقش ویژگی‌های شیمیایی ذرات آئروسول، پررنگ‌تر از تاثیر خصوصیات فیزیکی آنها است (Sharma and Maloo, 2005). با توجه به اینکه اثرات ذرات آئروسول بر سلامت، به ترکیب کانی‌شناسی و ریخت شناسی آنها نیز بستگی دارد، لزوم بررسی این ذرات از نظر اندازه، ریخت‌شناسی و کانی‌شناسی نیز ضروری است (Sharma and Maloo, 2005). در این فصل به بررسی نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی و هیدرووشیمیایی بارش‌های خشک و تر منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

۴-۲- بارش خشک

۴-۲-۱- توزیع غلظت کل ذرات آئروسول در ایستگاه‌های مورد مطالعه

به منظور به دست آوردن غلظت کل ذرات آئروسول در هر ایستگاه از رابطه‌ی (۴-۱) استفاده

شد (Garyc et al. 1993):

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V_s} \times 1000 \quad (\text{رابطه‌ی ۴-۱})$$

که در این رابطه، C غلظت کل ذرات آئروسول (بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب)، W_1-W_2 تفاوت وزن ثانویه و اولیه فیلتر (بر حسب میلی‌گرم)، B_2-B_1 تفاوت وزن اولیه و ثانویه فیلتر شاهد (بر حسب میلی‌گرم) و V_s حجم هوا در شرایط استاندارد (بر حسب متر مکعب) می‌باشد. V_s از رابطه‌ی (۲-۴) محاسبه می‌شود:

$$V_s = \frac{V \times P_a}{1013 \left(1 + \left(\frac{t}{273}\right)\right)} \quad (\text{رابطه‌ی ۲-۴})$$

که در این رابطه، P_a فشار هوا در محل نمونه‌برداری (بر حسب میلی‌بار)، V حجم هوای نمونه‌برداری شده (بر حسب لیتر) در شرایط کاری و t دمای هوا در محل نمونه‌برداری (بر حسب درجه سانتیگراد) می‌باشد. غلظت کل ذرات آئروسول در ایستگاه‌های مختلف و در فصول مختلف نمونه‌برداری در هر ایستگاه در جدول (۱-۴) ارائه شده است.

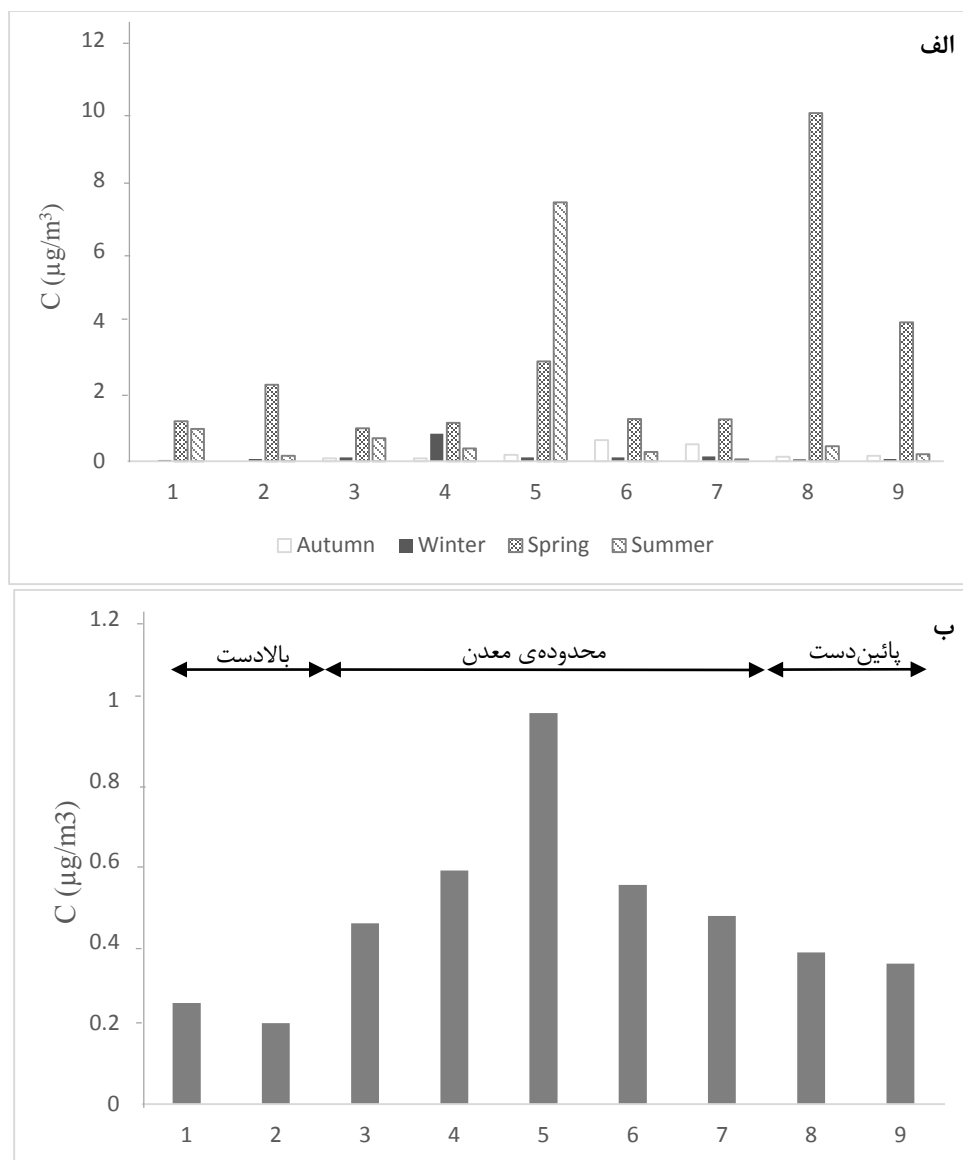
بر اساس نتایج محاسبه‌ی غلظت کل آئروسول‌ها در فصل‌های مختلف نمونه‌برداری (شکل ۱-۴-الف)، میانگین غلظت کل آئروسول‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه، در فصل‌های بهار ($2/72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و تابستان ($1/15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) بیشتر از فصل‌های پاییز ($0/16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و زمستان ($0/24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) می‌باشد که ناشی از توقف نسبی فعالیت معدنکاری در فصول سرد سال است. هم‌چنین در اثر رخداد بارش تر در فصل‌های پاییز و زمستان، ذرات آئروسول به‌صورت بارش تر از جو خارج شده است. بر اساس شکل ۱-۴-ب، با دور شدن از محدوده‌ی معدنی از میزان غلظت کل آئروسول‌ها کاسته می‌شود. این مشاهدات نشانگر تاثیر فعالیت معدنکاری بر میزان تولید آئروسول‌های جو می‌باشد. از سوی دیگر، غلظت کل آئروسول‌ها در دو ایستگاه ۱ و ۲ (خلاف جهت باد غالب) به نسبت ایستگاه‌های ۹ و ۸ (در جهت بادهای غالب) کم‌تر است (میانگین به ترتیب $0/74$ و $1/86 \mu\text{g}/\text{m}^3$). این امر نشانگر تاثیر جهت وزش بادهای غالب بر انتقال و انتشار آئروسول‌های جو می‌باشد.

جدول ۴-۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده و مقدار C در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vs (Litr)	Pa (mbr)	T ($^{\circ}\text{C}$)	V (Litr)	B2 (mg)	B1 (mg)	W2 (mg)	W1 (mg)	ایستگاه ه	موقعیت	فصل
۰/۰۸	۶۰۲۳۲/۵	۵۷۵/۸	۸/۹	۲۰۱۸۴	۶۱/۴	۶۲/۴	۶۳/۴۶	۶۳/۳	۳		
۰/۰۸	۱۳۹۴۵/۹	۵۷۵/۸	۸/۰	۲۵۲۵۳	۶۱/۴	۶۲/۴	۶۳/۴	۶۳/۱	۴	محدوده‌ی	
۰/۱۸	۸۶۹۳/۷	۵۷۵/۸	۱۲/۴	۱۵۹۸۹	۶۱/۴	۶۲/۴	۷۲/۳	۷۱/۶	۵	معدنی	
۰/۶۰	۱۲۵۴۳/۲	۵۷۵/۸	۱۲/۷	۲۳۰۹۳	۶۱/۴	۶۲/۴	۷۰/۵	۶۳/۸	۶		پاییز
۰/۴۸	۹۹۰۹/۵	۵۷۵/۸	۸/۰	۱۷۹۴۴	۶۱/۴	۶۲/۴	۶۳/۷	۵۹/۹	۷		
۰/۱۳	۹۶۰۰/۵	۵۷۵/۸	۱۲/۰	۱۷۶۳۲	۶۱/۴	۶۲/۴	۶۱/۰	۶۰/۶	۸	جهت باد	
۰/۱۵	۹۸۷۰/۷	۵۷۵/۸	۱۵/۰	۱۸۳۱۹	۶۱/۴	۶۲/۴	۶۳/۴	۶۲/۹	۹	غالب	
۰/۲۴										میانگین	
۰/۰۴	۱۲۴۱۹/۹	۵۷۵/۸	۱۱/۹	۲۲۸۰۲	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۳/۱	۶۳/۰	۱	خلاف	
۰/۰۶	۹۳۴۹/۷	۵۷۵/۸	۱۰/۸	۱۷۰۹۹	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۵/۱	۶۵/۰	۲	جهت باد غالب	
۰/۱۱	۱۲۹۲۶/۴	۵۷۵/۸	۸/۹	۲۳۴۸۲	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۹/۲	۶۸/۲	۳	محدوده‌ی	
۰/۷۸	۱۰۸/۲	۵۷۵/۸	۲۰/۰	۲۲۷۷۱	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۲/۹	۶۲/۶	۴	معدنی	زمستان
۰/۱۱	۸۴۰۹/۲	۵۷۵/۸	۱۲/۰	۱۵۴۴۴	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۸/۱	۶۷/۶	۵		
۰/۱۱	۱۳۲۰۹/۱	۵۷۵/۸	۱۲/۷	۲۴۳۱۹	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۰/۴	۵۹/۴	۶		
۰/۱۴	۱۲۱۲۷/۳	۵۷۵/۸	۶/۹	۲۱۸۷۴	۵۸/۲	۵۸/۴	۵۹/۷	۵۸/۵	۷		
۰/۰۵	۱۱۸۹۹/۴	۵۷۵/۸	۱۲/۰	۲۱۸۵۴	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۱/۰	۶۰/۸	۸	پایین	
۰/۰۶	۱۲۲۶۴/۹	۵۷۵/۸	۱۵/۵	۲۲۳۱۵	۵۸/۲	۵۸/۴	۶۲/۴	۶۲/۲	۹	دست	
۰/۱۶										میانگین	

ادامه‌ی جدول ۴-۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده و مقدار C در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

فصل	موقعیت	ایستگاه	W ₁ (mg)	W ₂ (mg)	B ₁ (mg)	B ₂ (mg)	V (Litr)	T (°C)	P _a (mbr)	V _s (Litr)	C (µg/m ³)
چهار	بالا دست	۱	۶۱/۰	۶۲/۲	۷۷/۸	۶۷/۸	۱۶۸۱۲	۱۶/۶	۵۷۵/۸	۹۰۰۸/۶	۱/۱۴
		۲	۶۱/۸	۶۲/۷	۷۷/۸	۶۷/۸	۱۵۷۸۲	۱۵/۵	۵۷۵/۸	۸۴۸۸/۹	۲/۱۸
	محدوده‌ی معدنی	۳	۷۳/۰	۷۴/۰	۷۷/۸	۶۷/۸	۲۱۰۷۶	۸/۹	۵۷۵/۸	۱۱۶۰۲/۰	۰/۹۴
		۴	۶۹/۷	۷۱/۹	۷۷/۸	۶۷/۸	۲۰۴۵۴	۱۲/۰	۵۷۵/۸	۱۱۱۳۷/۱	۱/۰۹
		۵	۶۴/۲	۷۲/۵	۷۷/۸	۶۷/۸	۱۱۷۲۳	۱۰/۸	۵۷۵/۸	۶۴۱۰/۱	۲/۸۵
		۶	۶۹/۸	۷۱/۴	۷۷/۸	۶۷/۸	۱۷۶۳۴	۱۰/۰	۵۷۵/۸	۹۶۶۹/۵	۱/۲۰
		۷	۷۴/۹	۷۸/۰	۷۷/۸	۶۷/۸	۱۹۹۶۰	۱۲/۰	۵۷۵/۸	۱۰۸۶۸/۱	۱/۱۹
	پایین دست	۸	۶۴/۹	۶۵/۹	۷۷/۸	۶۷/۸	۲۰۲۶۹	۱۲/۵	۵۷۵/۸	۱۱۰۱۷/۰	۹/۹۳
		۹	۷۴/۹	۷۵/۶	۷۷/۸	۶۷/۸	۴۹۰۹	۱۱/۳	۵۷۵/۸	۲۶۷۹/۵	۳/۹۶
میانگین											
تاسستان	بالا دست	۱	۶۱/۶	۶۲/۰	۶۰/۳	۵۹/۸	۲۰۷۱۲	۳۴/۸	۵۷۵/۸	۱۰۱۲/۲	۰/۹۲
		۲	۶۶/۲	۶۷/۷	۶۰/۳	۵۹/۸	۲۶۱۸۶	۳۵/۴	۵۷۵/۸	۱۳۱۷۶/۳	۰/۱۵
	محدوده‌ی معدنی	۳	۷۰/۹	۷۷/۶	۶۰/۳	۵۹/۸	۲۱۳۵۵	۳۳/۳	۵۷۵/۸	۱۰۸۱۷/۰	۰/۶۶
		۴	۷۱/۸	۷۴/۹	۶۰/۳	۵۹/۸	۲۰۰۵۶	۳۶/۵	۵۷۵/۸	۱۰۰۷۰/۶	۰/۳۶
		۵	۶۴/۶	۷۰/۶	۶۰/۳	۵۹/۸	۱۹۸۱۹	۳۲/۶	۵۷۵/۸	۸۸۱/۴	۷/۳۸
		۶	۶۳/۸	۶۵/۶	۶۰/۳	۵۹/۸	۲۱۰۰۰	۳۳/۶	۵۷۵/۸	۸۸۹۰/۲	۰/۲۶
		۷	۷۴/۹	۷۵/۰	۶۰/۳	۵۹/۸	۱۷۵۶۵	۲۹/۶	۵۷۵/۸	۱۰۷۶۹/۳	۰/۰۵
	پایین دست	۸	۶۲/۹	۶۶/۳	۶۰/۳	۵۹/۸	۱۷۹۲۱	۳۲/۸	۵۷۵/۸	۹۰۹۴/۲	۰/۴۳
		۹	۶۶/۸	۶۸/۲	۶۰/۳	۵۹/۸	۱۷۹۳۲	۳۲/۰	۵۷۵/۸	۹۱۲۳/۶	۰/۲۰
میانگین											
۱/۱۵											



شکل ۴-۱: میانگین غلظت کل آئروسول‌ها (TPS^{35}) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول یکسال نمونه‌برداری (الف) نسبت به فصل‌ها (ب) نسبت به ایستگاه‌ها

۴-۲-۲- بررسی پراکنش $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه‌های مورد مطالعه

به منظور تعیین درصد و میزان پراکنش ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} در هر ایستگاه، فیلترها پس از

توزین، مورد مطالعات SEM قرار گرفتند.

در جدول ۴-۲، درصد غلظت $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} و میزان کل آئروسول‌ها در هر ایستگاه ارائه شده است.

³⁵ Total Particulate Solids

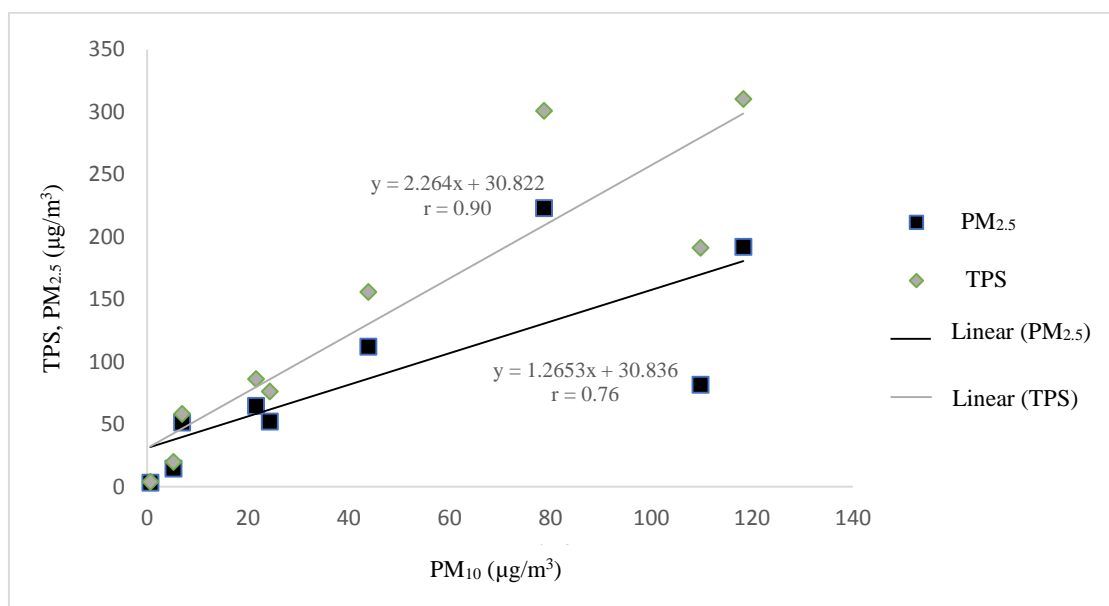
جدول ۴-۲: میانگین درصد و میزان غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری

موقعیت	نام ایستگاه	$PM_{2.5}$ (%)	PM_{10} (%)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	TPS ($\mu g/m^3$)
بالادست	۱	۷۳/۶۵	۲۶/۳۵	۱۴/۵۷	۵/۲۲	۱۹/۷۹
	۲	۸۳/۹۳	۱۶/۰۷	۳/۳۴	۰/۶۴	۳/۹۸
	میانگین	۷۸/۷۹	۲۱/۲۱	۸/۹۵	۲/۹۳	۱۱/۸۸
محدوده‌ی معدنی	۳	۶۱/۹۰	۳۸/۱۰	۱۹۲/۱۷	۱۱۸/۲۹	۳۱۰/۴۶
	۴	۷۱/۹۲	۲۸/۰۸	۱۱۲/۲۳	۴۳/۸۳	۱۵۶/۰۶
	۵	۷۳/۹۱	۲۶/۰۹	۲۲۳/۰۰	۷۸/۷۳	۳۰۱/۷۳
	۶	۷۵/۰۰	۲۵/۰۰	۶۴/۶۴	۲۱/۵۵	۸۶/۱۹
	۷	۴۲/۶۷	۵۷/۳۳	۸۱/۶۶	۱۰۹/۷۳	۱۹۱/۳۹
	میانگین	۶۵/۰۸	۳۴/۹۲	۱۳۴/۷۴	۷۴/۴۲	۲۰۹/۱۶
	۸	۶۸/۱۹	۳۱/۸۱	۵۲/۰۹	۲۴/۳۰	۷۶/۳۹
پایین دست	۹	۸۸/۲۳	۱۱/۷۷	۵۱/۵۴	۶/۸۸	۵۸/۴۲
	میانگین	۷۸/۲۱	۲۱/۷۹	۵۱/۸۱	۱۵/۵۹	۶۷/۴۰

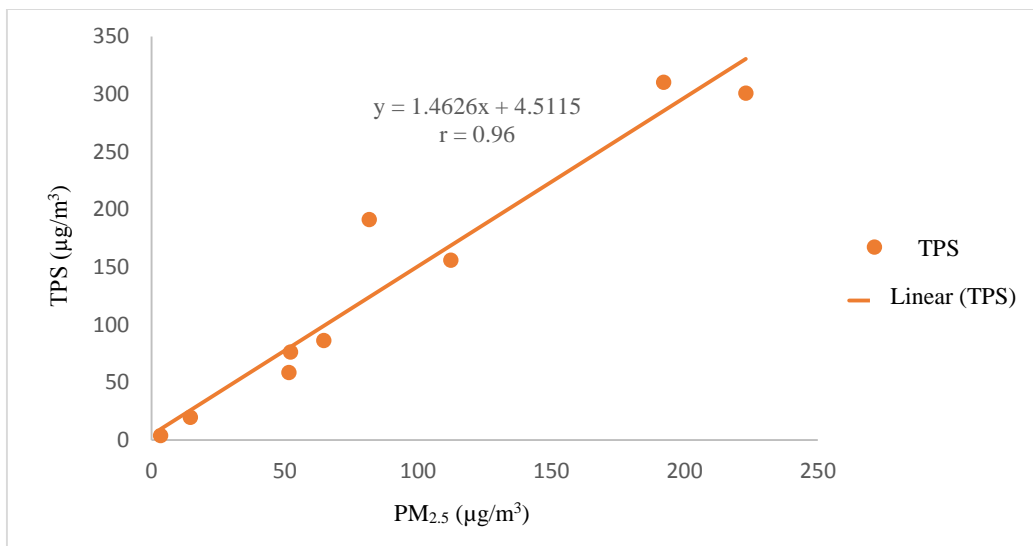
با توجه به جدول ۴-۲، میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در بخش‌های بالادست معدن، به ترتیب ۸/۹۵ و $۲/۹۳$ ($\mu g/m^3$)، در محدوده‌ی معدنی $۱۳۴/۷۴$ و $۷۴/۴۲$ ($\mu g/m^3$) و در پایین‌دست معدن $۵۱/۸۱$ و $۱۵/۵۹$ ($\mu g/m^3$) می‌باشد. کمترین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در مناطق بالادستی و بیشترین آن در محدوده‌ی معدنی اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که میانگین غلظت ذرات معلق در بخش پائین دست معدن، نسبت به محدوده‌ی معدنی کم‌تر و نسبت به بخش بالادست معدن بیشتر است. این امر مؤید تاثیر فرآیند معدنکاری بر تولید و انتشار ذرات معلق می‌باشد.

در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO. 2005) (میانگین غلظت مجاز $PM_{2.5}$ در طول ۲۴ ساعت، $۲۵ \mu g/m^3$)، غلظت این ذرات در پایین دست معدن (جهت باد غالب) ۲ برابر و در محدوده‌ی معدن ۵ برابر بیشتر از حد مجاز است. هم‌چنین در مقایسه با استاندارد اعلام شده از سوی سازمان بین‌المللی استانداردهای کیفیت هوای محیطی (NAAQS 2009) برای ذرات $PM_{2.5}$ در مدت ۲۴ ساعت ($۶۰ \mu g/m^3$)، غلظت ذرات معلق در محدوده‌ی معدنی $۲/۲$ برابر بیشتر از حد مجاز است.

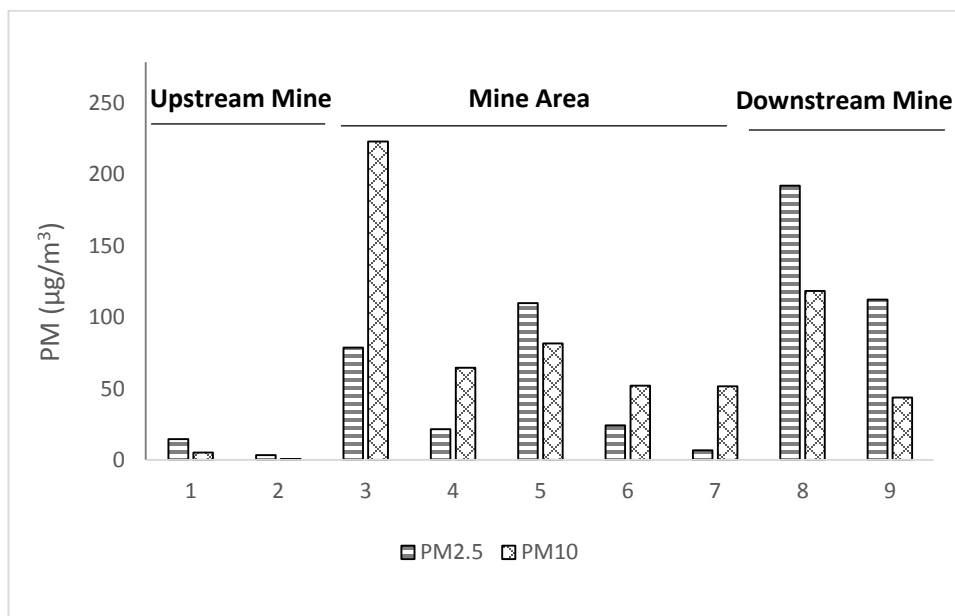
در شکل ۴-۲ رابطه بین $PM_{10} - TPS$ و $PM_{10} - PM_{2.5}$ نشان داده شده است. با توجه به شکل، بین PM_{10} و $PM_{2.5}$ همبستگی معنادار ($r=0.76$) و بین PM_{10} با TPS همبستگی قابل توجه ($r=0.90$) مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ۴-۳ قابل مشاهده است، میزان $PM_{2.5}$ با ذرات معلق کل دارای همبستگی معنادار ($r=0.96$) است. این روابط نشان می‌دهد ذرات $PM_{2.5}$ سهم بیشتری از TPS را به خود اختصاص داده‌اند و می‌تواند به همان نسبت میزان مواجهه و خطر سازی بیشتری داشته باشد. هم‌چنین وجود رابطه معنادار بین PM_{10} و $PM_{2.5}$ نشانگر منشاء یکسان برای این ذرات است، که با فرآیند معدنکاری رابطه مستقیم دارد. افزایش PM_{10} و $PM_{2.5}$ در محدوده‌ی معدن نسبت به پایین دست و بالادست معدن موید این نتیجه‌گیری است (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۲: برازش مدل رگرسیونی بین PM_{10} با $PM_{2.5}$ و TPS



شکل ۴-۳: برازش مدل رگرسیونی بین $PM_{2.5}$ با TPS



شکل ۴-۴: تغییرات غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های مختلف

۴-۲-۳- میزان مواجهه با ذرات معلق ($E_i^{۳۶}$)

میزان مواجهه‌ی افراد با ذرات معلق $E_i^{۳۶}$ قابل استنشاق از رابطه‌ی (۳-۴) محاسبه

می‌شود (Giri et al, 2007):

$$E_i = \sum_{K=1} \sum_{K=1}^m C_{ik} T_{ik} \quad (\text{رابطه‌ی ۳-۴})$$

در این رابطه، E_i : میزان مواجهه‌ی فردی بر حسب $(\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3)$ ، C_{ik} : غلظت ذرات قابل استنشاق اندازه‌گیری شده در محیط مورد نظر و T_{ik} : مدت زمانی است که فرد در محیط سپری می‌کند. میزان مواجهه‌ی فردی برای کارمندان شاغل در معدن (کارکنان با ساعت کار قانونی، کارکنان مقیم معدن) و نیز ساکنین منطقه در سه بخش بالادست، محدوده‌ی معدنی و در بخش پائین‌دست در جدول ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۳-۴: میزان مواجهه‌ی فردی در محدوده‌ی مورد مطالعه (بر حسب $\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)

بخش	کارکنان معدن		ساکنین	
	۲۴ ساعت		۲۴ ساعت	
	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀
بالادست	۵۲۸/۹	۲۹۰/۴	۱۵۸۶/۶	۲۹۰/۴
محدوده‌ی معدنی	۹۵۲/۶	۲۱۰۴/۳	۲۸۵۷/۷	۶۳۱۳/۰
پائین دست	۱۰۷۲/۲	۱۰۷۰/۰	۳۲۱۶/۸	۳۲۱۰/۰
میانگین	۸۵۱/۲	۱۰۹۰/۳	۲۵۵۳/۷	۳۲۷۱/۱

بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان مواجهه‌ی افراد در ایستگاه‌های بالادست (ایستگاه‌های ۱ و ۲، خلاف جهت باد غالب) برای هر دو نوع ذرات معلق PM_{2.5} و PM₁₀ کم‌تر از سایر بخش‌ها است (به ترتیب ۹۶/۸ و ۵۲۸/۹ برای ۸ ساعت و ۲۹۰/۴ و ۱۵۸۶/۶ برای ۲۴ ساعت). همچنین در محدوده‌ی معدنی میزان مواجهه‌ی افراد برای ذرات معلق PM₁₀ بیشترین مقدار می‌باشد (۲۱۰۴/۳ برای ۸ ساعت و ۶۳۱۳/۰ برای ۲۴ ساعت) و در مناطق پائین دست (ایستگاه‌های ۸ و ۹، جهت باد غالب)، میزان مواجهه‌ی افراد برای ذرات معلق PM_{2.5} بیشترین مقدار است

³⁶ Exposure index

(۱۰۷۲/۲ برای ۸ ساعت و ۳۲۱۶/۷ برای ۲۴ ساعت). به‌طور کلی، ذرات بزرگتر آئروسول معمولاً منشاء محلی دارند، در حالیکه منشاء ذرات کوچکتر، دورتر است و بیشتر توسط بادهای غالب حمل شده‌اند (Eby, 2004). هم‌چنین میزان مواجهه با ذرات معلق، با افزایش زمان سپری شده در محل افزایش می‌یابد. این مساله می‌تواند برای کارکنان مستقر در معدن از نظر ابتلا به بیماری‌های ریوی و قلبی-عروقی و نیز تشدید این بیماری‌ها در افراد مبتلا مهم باشد، چرا که میزان مواجهه با ذرات معلق برای افراد شاغل در معدن بسیار بیشتر از سایر افراد می‌باشد.

۴-۲-۴- شاخص کیفیت هوا (AQI^{۳۸}) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شاخص کیفیت هوا شاخصی جهت پیش‌بینی روزانه کیفیت هوا است. این شاخص اطلاعاتی درمورد کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن) و میزان ارتباط آن با سطوح سلامت را ارائه می‌کند، به‌عبارت دیگر میزان تاثیر هوای آلوده بر سلامت انسان را نشان می‌دهد (Araujo, 2014). تقسیم‌بندی هوای پاک ایران، کیفیت هوا را در شش رده قرار می‌دهد و هر رده، با سطوح مختلف سلامت انسان ارتباط دارد (جدول ۴-۴). این رده‌بندی را می‌توان به شکل زیر توصیف کرد:

خوب: میزان AQI در این حالت بین ۰ و ۵۰ است. کیفیت هوا رضایت‌بخش است و آلودگی هوا بی‌خطر یا کم‌خطر است. این حالت را با رنگ سبز نشان می‌دهند. بر اساس تقسیم‌بندی هوای پاک ایران به این حالت وضعیت "پاک" اطلاق می‌شود.

متوسط: میزان AQI در این حالت بین ۵۱ تا ۱۰۰ است. کیفیت هوا قابل قبول است اگرچه بعضی از آلاینده‌ها ممکن است برای تعداد بسیار کمی از افراد با ملاحظات بهداشتی خاص همراه باشد به عنوان مثال کسانی که

³⁸ Air Quality Index

نسبت به ازون حساسیت ویژه‌ای دارند ممکن است علائم تنفسی از خود بروز دهند. این حالت را با رنگ زرد نشان می‌دهند. بر اساس تقسیم‌بندی هوای پاک ایران به این حالت وضعیت "سالم" اطلاق می‌شود.

ناسالم برای گروه‌های حساس: میزان AQI در این حالت بین ۱۰۱ و ۱۵۰ است. بعضی از افراد گروه‌های حساس ممکن است اثرات بهداشتی خاصی را تجربه کنند. برای مثال مردمی که دارای بیماری ریه هستند نسبت به عموم مردم خطرات بیشتری را از مواجهه با ازون متحمل می‌شوند اما مردمی که بیماری ریوی یا قلبی دارند خطر بیشتری را از مواجهه با ذرات معلق متحمل می‌شوند. ولی وقتی آلودگی هوا در این سطح قرار دارد عموم مردم تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند. این حالت را با رنگ نارنجی نشان می‌دهند.

ناسالم: هر فردی ممکن است اثرات بهداشتی AQI بالا را زمانی که مقدار آن بین ۱۵۱ و ۲۰۰ است، تجربه کند. اعضای گروه‌های حساس بیش از سایرین اثرات جدی را بر سلامت خود تجربه می‌کنند. این حالت را با رنگ قرمز نشان می‌دهند.

بسیار ناسالم: در این حالت AQI بین ۲۰۱ تا ۳۰۰ قرار دارد و هشدار برای سلامتی به‌شمار می‌آید و بدین معنی است که هر کسی ممکن است اثرات جدی‌تری را بر سلامت خود تجربه کند این حالت را به رنگ بنفش نشان می‌دهند.

خطرناک: AQI در این وضعیت از ۳۰۰ بالاتر است و خطاری جدی برای سلامت انسان و اعلام وضع اضطراری است. در این وضعیت تمام افراد جامعه تحت تاثیر قرار می‌گیرند. این حالت را با رنگ خرمایی نشان می‌دهند. برای محاسبه شاخص کیفیت هوا از رابطه‌ی (۴-۴) استفاده می‌شود (قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط زیست، ۱۳۹۱).

$$AQI = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (\text{رابطه‌ی ۴-۴})$$

در این رابطه، AQI: شاخص کیفیت هوا برای آلاینده‌ی P، I_{Hi} : مقدار AQI منطبق با BP_{Hi} ، I_{Lo} : مقدار AQI منطبق با BP_{Lo} ، BP_{Hi} ، BP_{Lo} : نقطه‌ی شکستی که بزرگتر یا مساوی C_p است، BP_{Lo} : نقطه‌ی شکستی که کوچکتر یا مساوی C_p باشد و $C_p =$ غلظت اندازه‌گیری شده‌ی آلاینده‌ی P می‌باشد.

جدول ۴-۴: نقاط شکست آلاینده‌ی شاخص کیفیت هوا (سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۹۱).

نقاط شکست		AQI	رنگ‌ها	طبقه‌بندی کیفیت هوا
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ۲۴ ساعته	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ۲۴ ساعته			
۰-۵۴	۰-۱۵/۴	۰-۵۰	سبز	پاک
۵۵-۱۵۴	۱۵/۵-۳۵/۰	۵۱-۱۰۰	زرد	سالم
۱۵۵-۲۵۴	۳۵/۱-۶۵/۴	۱۰۱-۱۵۰	نارنجی	ناسالم برای گروه‌های حساس
۲۵۵-۳۵۴	۶۵/۵-۱۵۰/۴	۱۵۱-۲۰۰	قرمز	ناسالم
۳۵۵-۴۲۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۲۰۱-۳۰۰	بنفش	بسیار ناسالم
۴۲۵-۵۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴	۳۰۱-۴۰۰	خرمایی	خطرناک
۵۰۵-۶۰۴	۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۴۰۱-۵۰۰		

در جدول ۴-۵ میانگین شاخص کیفیت هوا برای ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} ۲۴ ساعته برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. بر اساس داده‌های به‌دست آمده، شاخص کیفیت هوا برای PM_{10} در محدوده‌ی پاک تا سالم قرار دارد و بیشترین غلظت مربوط به ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۵ می‌باشد (به ترتیب ۸۲/۰۱، ۶۲/۶۲ و ۵۱/۸۰). هم‌چنین شاخص کیفیت هوا برای $PM_{2.5}$ در محدوده‌ی ناسالم برای گروه‌های حساس تا بسیار ناسالم قرار دارد. با توجه مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص کیفیت هوا (AQI)، هوای بخش بالادست معدن (خلاف جهت باد غالب) نسبت به هر دو گروه ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} پاک می‌باشد. مقادیر این شاخص در محدوده‌ی معدنی و برای ذرات PM_{10} نشانگر هوای پاک تا سالم و برای ذرات $PM_{2.5}$ نشانگر هوای ناسالم برای گروه حساس و هوای بسیار ناسالم می‌باشد. در بخش‌های پائین دست معدن (در جهت باد غالب) مقدار شاخص کیفیت هوا برای ذرات PM_{10} نشانگر هوای پاک و برای ذرات $PM_{2.5}$ نشانگر هوای ناسالم برای گروه حساس می‌باشد. بالابودن غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به PM_{10} نشان می‌دهد که فعالیت معدنکاری موجب تولید و انتشار ذرات $PM_{2.5}$ می‌گردد و وزش باد غالب

در محدوده‌ی مورد مطالعه، عاملی برای انتشار این ذرات است. با توجه به گسترش ذرات PM_{2.5} در بخش پایین دست (جهت باد غالب) و قابلیت نفوذ ذرات PM_{2.5} به خون و بخش‌های تحتانی ریه و نیز بالا بودن مقادیر مواجهه‌ی فردی برای این ذرات در ایستگاه ۷ (روستای قلعه‌جوق)، احتمال ابتلا به انواع بیماری‌های قلبی و ریوی برای ساکنین روستا بالا می‌باشد.

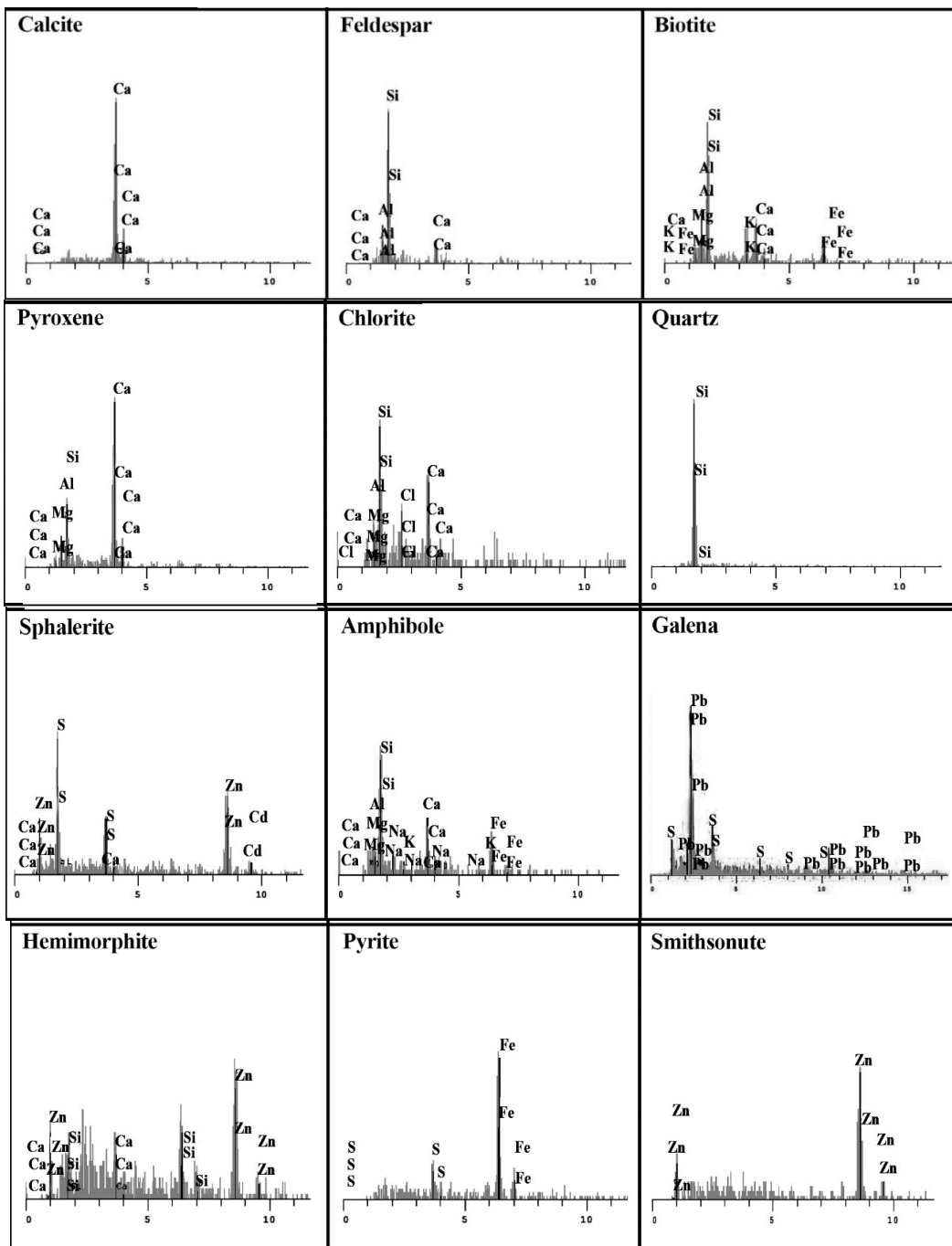
جدول ۴-۵: میزان غلظت ذرات معلق PM_{2.5} و PM₁₀ برای تعیین شاخص کیفیت هوا AQI

AQI	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	نام ایستگاه	موقعیت
پاک	۴/۸	پاک	۴۷/۲	۱	بالادست
پاک	۰/۶	پاک	۱۰/۸	۲	
سالم	۸۲/۰	بسیار ناسالم	۲۴۲/۳	۳	
پاک	۴۰/۳	ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۱۷/۶	۴	محدوده‌ی معدنی
سالم	۶۲/۶	بسیار ناسالم	۲۷۲/۸	۵	
پاک	۱۹/۸	ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۴۸/۶	۶	
سالم	۵۱/۸	ناسالم	۱۶۰/۲	۷	
پاک	۲۲/۴	ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۲۸/۴	۸	پایین دست
پاک	۶/۳	ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۲۷/۵	۹	

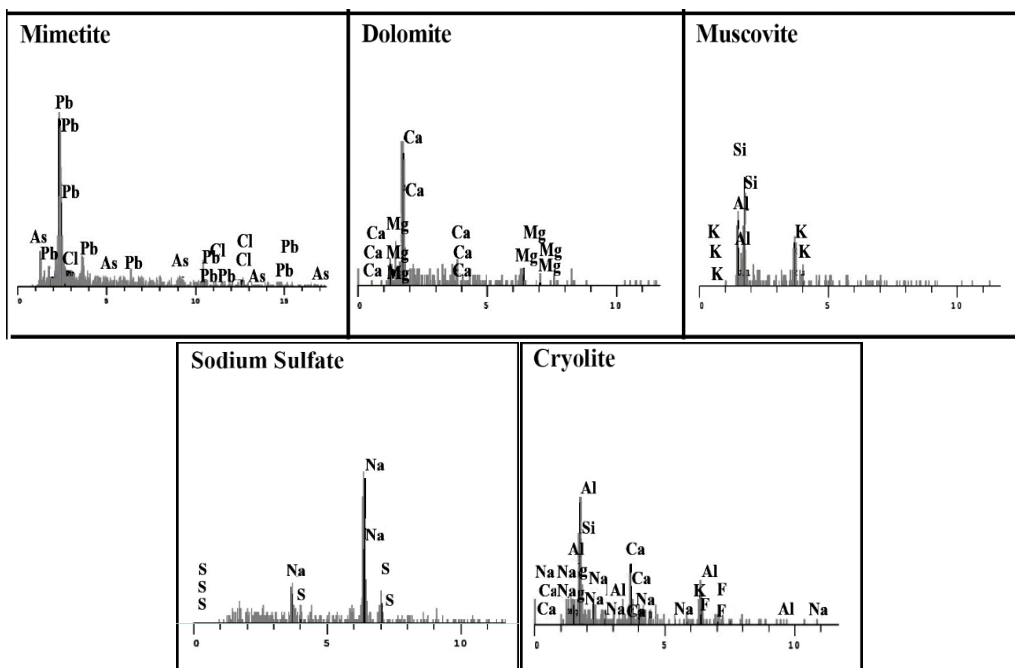
۴-۲-۵- کانی‌شناسی ذرات آئروسول

نتایج حاصل از مطالعات EDX (شکل ۴-۵، جدول ۴-۶) نشان می‌دهد که ترکیب کانی‌شناسی ذرات آئروسول در ایستگاه‌های مورد مطالعه را می‌توان در سه فاز کانیایی اصلی کربناتی، سیلیکاتی و سولفیدی قرار داد. بیشتر ذرات دارای ترکیب کربناتی (کلسیت) می‌باشند. فازهای کانیایی سیلیکاتی، شامل کانی کوارتز و فاز کانیایی سولفیدی، شامل کانی اسفالریت می‌باشد. تنوع کانیایی در نمونه‌های PM_{2.5} بیشتر از PM₁₀ و شامل کانی‌های کلسیت، آمفیبول، فلدسپات و کانی‌های سولفیدی می‌باشد. نمونه‌های PM₁₀ شامل کانی‌های کلسیت و کوارتز هستند. کانی‌های حاوی عناصر بالقوه سمی تنها در PM_{2.5} حضور دارند، که می‌توان علت آن را به وزن مخصوص کانی‌ها نسبت داد. کانی‌های حاوی عناصر بالقوه سمی با چگالی بیش‌تر از $3 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ نسبت به سایر کانی‌ها با چگالی کم‌تر از $3 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ، زمان ماندگاری کمتری در محیط جو دارند و در اثر نیروی ثقل به سطح خاک سقوط می‌کنند. تنها اندازه‌های کمتر از ۱ میکرون این کانی‌ها می‌توانند در جو باقی بمانند. TSP (که

شامل کل ذرات می‌باشند)، بیشتر شامل کانی‌های کربناتی به ویژه کلسیت می‌باشند. کانی‌های رسی به صورت محدود و فرعی در ذرات آئروسول حضور دارند. فراوانی کانی‌های کربناتی (کلسیت) در تمامی نمونه‌ها نشان‌دهنده‌ی خاستگاه محلی ذرات آئروسول می‌باشد چرا که سنگ میزبان کانسار انگوران، کربناتی است.



شکل ۴-۵: نمودارهای SEM-EDX ذرات آئروسول مورد مطالعه



ادامه‌ی شکل ۴-۵: نمودارهای EDX ذرات آئروسول مورد مطالعه

جدول ۴-۶: نتایج حاصل از آنالیز EDX نمونه‌های آئروسول محدودده‌ی مطالعاتی

محدوده‌ی نمونه‌برداری	اندازه ذرات	فاز اصلی	فاز فرعی	فاز جزئی
بالادست معدن	PM _{0-2.5}	کلسیت، کلریت، آلومینوسیلیکات	بیوتیت، مسکوویت، آمفیبول	-
	PM _{2.5-10}	کلسیت، کوارتز	بیوتیت، مسکوویت، پیروکسن، دولومیت، آمفیبول، فلدسپات	-
محدوده‌ی معدن	PM _{0-2.5}	کلریت، اسفالریت، گالن، میمتیت، همی‌مورفیت، اسمیت زونیت	پیریت، بیوتیت، مسکوویت	-
	PM _{2.5-10}	فلدسپات، آمفیبول، پیروکسن، اسفالریت، پیریت	کوارتز، بیوتیت، مسکوویت، دولومیت، آمفیبول، پیروکسن، اسفالریت	-
پائین دست معدن	PM _{0-2.5}	کلسیت، کوارتز، فلدسپات	کلریت، پیریت، اسفالریت، همی‌مورفیت، آلومینوسیلیکات	ژپس
	PM _{2.5-10}	کلسیت، پیروکسن، ولاستونیت، آمفیبول، فلدسپات	بیوتیت، دولومیت	ژپس

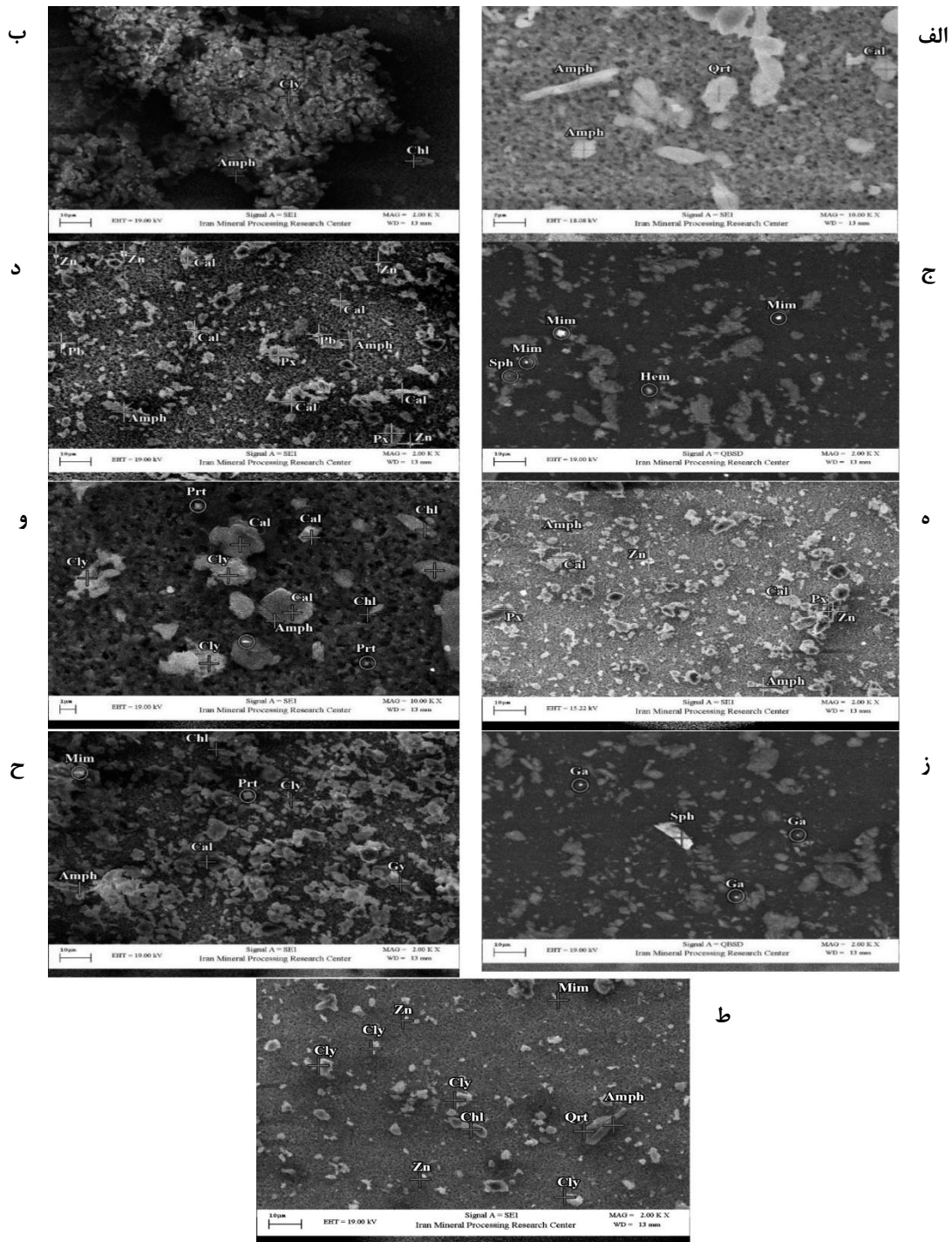
۴-۲-۶- ریخت‌شناسی ذرات آئروسول

با بررسی‌های SEM می‌توان رابطه‌ی میان ریخت‌شناسی و ترکیب کانیایی ذرات را مورد بررسی قرار داد (Rodriguez, 2009) و نتایج حاصل از میکرو آنالیزر ($EDX^{۳۹}$) ذرات می‌تواند تائیدی بر آن باشد. به‌طور کلی فرم ذرات در نمونه‌های مورد مطالعه به‌صورت نامنظم (بی‌شکل)، گرد شده (کروی، بیضوی)، کشیده (سوزنی، بادامی) و گوشه‌دار منظم (منشوری، لوزی، مربع) می‌باشند. تصاویر SEM و آنالیز شیمیایی EDX (شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶) نشان می‌دهد که نمونه‌ها از نظر ریخت‌شناسی و کانی‌شناسی از یکنواختی خاصی برخوردارند. کانی‌های کوارتز، فلدسپات و پیروکسن به‌صورت نامنظم و بی‌شکل، کلریت به‌صورت بادامی شکل، آمفیبول و ژیپس به‌صورت کشیده و منشوری، کانی‌های رسی به‌صورت بیضوی و کروی با انبوهی خوشه‌ای، کلسیت به‌شکل لوزی و پیریت به‌شکل مربع حضور دارند. ذرات مضرس با درخشش بالاتر نسبت به سایر ذرات، حاوی فلزات سنگین می‌باشد (شکل ۴-۶).

ذرات کروی با اندازه‌های زیر ۵ میکرون بیشتر از کانی‌های رسی (آلومینوسیلیکات) تشکیل شده‌اند که انبوهه‌های خوشه‌ای را ایجاد می‌کنند (Wiederkehr and Yoon, 1998) (شکل ۴-۶ ب). ساختارهای بلوری منظم در اندازه‌های ۲۰-۱۰ میکرون بیشتر بلورهای کلسیت هستند که با ذرات معلق PM_{10} انطباق دارند. بلورهای با اندازه ۱۰ میکرون به بالا که ماکل منشوری دارند، آمفیبول و بلورهای با اندازه‌های کمتر از ۱۰ میکرون ژیپس هستند که در نمونه‌های مورد مطالعه، فراوانی کمتری دارند. کانی کوارتز بیشتر به‌صورت تک کانی و با فرم نامنظم حضور دارد و فراوانی آن در ذرات PM_{10} بیشتر است. اندازه ذرات در نمونه‌های مورد مطالعه از ۰/۲۵ میکرون تا ۲۱/۸۷ میکرون متغیر است. این مشاهدات نشان می‌دهد ترکیب کانی‌شناسی، ریخت‌شناسی و اندازه ذرات آئروسول، در محدوده‌ی مورد مطالعه متأثر از زمین‌شناسی منطقه و جهت جریان باد غالب و نیز فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد.

با توجه به حضور کانی‌های همی مورفیت، میمیتیت، گالن و پیریت در ذرات آئروسول، حضور بیشتر این کانی‌ها در $PM_{2.5}$ ، بیشتر بودن غلظت $PM_{2.5}$ در محدوده‌ی معدنی نسبت به سایر بخش‌ها و نیز بیشتر بودن این ذرات در مناطق پائین دستی معدن نسبت به مناطق بالادستی آن، استنباط می‌شود حضور این ذرات مرتبط با فعالیت‌های معدنکاری (انسان‌زاد) بوده و جریان باد غالب آن‌ها را به نقاط پائین دستی منتشر کرده است.

تاثیر آئروسول‌ها بر سلامت انسان و تاثیر بیشتر $PM_{2.5}$ بر بیماری‌های قلبی-ریوی آشکار است. بین اندازه‌ی ذرات و شدت تاثیر آن‌ها بر سلامت رابطه‌ی معناداری وجود دارد. ذرات ریز و زاویه‌دار با اتصال به مژک‌های مجاری تنفسی به بخش‌های آلوئول نفوذ می‌کند و سبب کاهش عملکرد شش‌ها می‌شود که خطر ابتلا به برونشیت مزمن را افزایش می‌دهند (Pope and Dockery, 2006). آئروسول‌های $PM_{2.5}$ حاوی ترکیبات سولفاتی باعث افزایش ۲۶ درصدی نرخ مرگ و میر می‌شوند که بیشترین عامل آن ابتلا به بیماری‌های قلبی و ریوی می‌باشد (Dockery et al. 1989 ; Schwartz, 1993).



شکل ۴-۶: تصاویر SEM ذرات آئروسول مورد مطالعه؛ الف- ایستگاه ۱: فرم کشیده و منشوری (آمفیبول)، بی شکل (کوارتز)، لوزی (کلسیت)؛ ب- ایستگاه ۲: خوشه‌ای (کانی‌های رسی)، بادامی (کلریت)، کشیده (آمفیبول)؛ ج- ایستگاه ۳: ذرات درخشان (حاوی عناصر بالقوه سمی)، د- ایستگاه ۴: فرم کشیده دارای خطوط سایه‌روشن (آمفیبول)؛ ه- ایستگاه ۵: فرم کشیده دارای خطوط سایه روشن (آمفیبول)، بادامی (کلریت)، لوزی (کلسیت)، مربع (پیریت)، ذرات درخشان (حاوی عناصر بالقوه سمی (میمتیت))؛ و- ایستگاه ۶: فرم کشیده دارای خطوط سایه روشن (آمفیبول)، بادامی (کلریت)، لوزی (کلسیت)، مربع (پیریت)، ذرات درخشان (حاوی عناصر بالقوه سمی)؛ ز- ایستگاه ۷: ذرات درخشان (حاوی عناصر بالقوه سمی)؛ ح- ایستگاه ۸: گرد شده خوشه‌ای (کانی‌های رسی)، بادامی (کلریت)، فرم کشیده دارای خطوط سایه روشن (آمفیبول)، لوزی (کلسیت)، مربع (پیریت)، ذرات درخشان نسبت به سایر ذرات (عناصر بالقوه سمی). ط- ایستگاه ۹: بی شکل (کوارتز)، کشیده با خطوط سایه روشن (آمفیبول)، خوشه‌ای (کانی‌های رسی).

۷-۲-۴- بررسی غلظت عناصر بالقوه سمی در ذرات آئروسول

در جدول ۷-۴ غلظت آلومینیم و عناصر بالقوه سمی در نمونه های آئروسول مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۷-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه های آئروسول (برحسب mg/kg)

فصل	موقعیت	ایستگاه	Pb	Zn	Cd	As	Al	
میان	محدوده ی معدنی	۳	۱۳	۸۷	۳	۱۹	۱۱۵۷/۹	
		۴	۴	۲۰	۱	۱۴	۹۹۷/۰	
		۵	۶	۸۳	۲	۱۶	۸۷۹/۵	
	پایین دست	۶	۱۱	۶۰	۳	۱۹	۱۰۷۹/۷	
		۷	۱۱	۹۹	۵	۲۱	۱۵۷۶/۹	
		۸	۳	۲۰	۱	۱۲	۷۳۱/۳	
		۹	۲	۱۸	۰/۵	۷	۳۸۲/۳	
		بالا دست	۱	۰/۲	۱۰	۰/۲	۱	۷۴/۴
			۲	۰/۲	۵	۰/۵	۰/۵	۳۷/۹
۳	۸		۹۵	۳	۱۷	۱۳۴۸/۸		
زیمستان	محدوده ی معدنی	۴	۴	۳۴	۱	۱۰	۵۰۰/۶	
		۵	۵	۹۵	۱	۱۴	۸۹۲/۰	
		۶	۹	۶۷	۳	۱۴	۱۱۴۳/۱	
	پایین دست	۷	۸	۱۰۵	۴	۱۷	۱۲۴۳/۲	
		۸	۳	۲۲	۱	۹	۴۵۶/۰	
		۹	۳	۱۸	۰/۵	۳	۱۳۴/۹	
		بالا دست	۱	۳	۱۵	۵	۲	۱۱۳/۷
			۲	۰/۱	۵	۰/۵	۲	۱۴۵/۰
			۳	۱۳	۹۸	۶	۲۵	۱۴۰۱/۷
بهار	محدوده ی معدنی	۴	۸	۴۲	۲	۱۷	۸۵۱/۰	
		۵	۱۱	۱۹۵	۴	۲۰	۱۳۶۷/۵	
		۶	۱۳	۱۳۳	۷	۲۳	۱۳۰۷/۰	
	پایین دست	۷	۱۵	۱۰۸	۳	۲۷	۱۲۴۵/۹	
		۸	۶	۲۵	۲	۱۷	۷۷۲/۸	
		۹	۵	۲۱	۱	۹	۴۰۴/۸	
		بالا دست	۱	۲	۱۵	۰/۵	۲	۱۲۶/۵
			۲	۱	۵	۰/۵	۲	۱۴۱/۳
			۳	۱۳	۱۰۴	۶	۲۱	۱۵۰۹/۵
تابستان	محدوده ی معدنی	۴	۶	۵۴	۲	۱۸	۷۷۲/۳	
		۵	۸	۱۲۸	۳	۱۸	۱۳۳۹/۶	
		۶	۱۳	۸۹	۳	۲۰	۱۲۱۸/۸	
	پایین دست	۷	۱۴	۱۲۰	۲	۲۳	۱۱۶۵/۲	
		۸	۵	۳۸	۱	۱۶	۱۱۳۰/۸	
		۹	۵	۲۱	۰/۵	۹	۵۶۰/۷	
		نمونه شاهد						
		۰/۲						
		۰/۵						

۴-۲-۸- غلظت عناصر بالقوه سمی در هوای منطقه

برای بدست آوردن غلظت فلز مورد نظر (بر حسب میکروگرم بر مترمکعب) از رابطه‌ی (۴-۵) استفاده

می‌شود (Peter, 1991):

$$C_{air} = \frac{C_s V_s - C_b V_b}{V} \quad \text{(رابطه‌ی ۴-۵)}$$

که در این رابطه، C_s : غلظت عنصر در نمونه (بر حسب mg/l)، V_s : حجم محلول نمونه (بر حسب میلی لیتر)، C_b : میانگین غلظت در نمونه‌ی تهی (بر حسب میلی گرم بر لیتر)، V_b : حجم محلول تهی (بر حسب میلی لیتر) و V : حجم هوای نمونه برداری شده در شرایط استاندارد (بر حسب مترمکعب) می‌باشد.

جدول ۴-۸: غلظت عناصر بالقوه سمی در هوا بر حسب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Al	As	Cd	Zn	Pb	ایستگاه	موقعیت	فصل
۲۸۹۴۷/۲۵	۰/۴۷	۰/۰۷	۲/۱۷	۰/۳۲	۱		بایر
۲۴۹۲۵/۰۰	۰/۳۴	۰/۰۲	۰/۴۹	۰/۰۹	۴		
۲۱۹۸۶/۷۵	۰/۳۹	۰/۰۴	۲/۰۷	۰/۱۴	۵	محدوده‌ی	
۲۶۹۹۱/۵۰	۰/۴۷	۰/۰۷	۱/۴۹	۰/۲۷	۶	معدنی	
۳۹۴۲۱/۷۵	۰/۵۲	۰/۱۲	۲/۴۷	۰/۲۷	۷		
۱۸۲۸۲/۵۰	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۴۹	۰/۰۷	۸	پایین دست	
۹۵۵۶/۷۵	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۰۴	۹		
۱۸۶۰/۵۰	۰/۰۲	۰	۰/۲۴	۰	۱	بالا دست	
۹۴۷/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۲	۰	۲		
۳۳۷۱۹/۲۵	۰/۴۲	۰/۰۷	۲/۳۷	۰/۱۹	۳		
۱۲۵۱۴/۷۵	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۸۴	۰/۰۹	۴		روستای
۲۲۲۹۹/۰۰	۰/۳۴	۰/۰۲	۲/۳۷	۰/۱۲	۵	محدوده‌ی	
۲۸۵۷۷/۵۰	۰/۳۴	۰/۰۷	۱/۶۷	۰/۲۲	۶	معدنی	
۳۱۰۸۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۰۹	۲/۶۲	۰/۱۹	۷		
۱۱۳۹۹/۰۰	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۵۴	۰/۰۷	۸	پایین دست	
۳۳۷۲/۷۵	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۰۷	۹		
۲۸۴۱/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۰۷	۱	بالا دست	
۳۶۲۵/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱۲	۰	۲		
۳۵۰۴۱/۵۰	۰/۶۲	۰/۱۴	۲/۴۴	۰/۰۳	۳		بایر
۲۱۲۷۵/۲۵	۰/۴۲	۰/۰۴	۱/۰۴	۰/۱۹	۴		
۳۴۱۸۶/۷۵	۰/۴۹	۰/۰۹	۴/۸۷	۰/۰۲	۵	محدوده‌ی	
۳۲۶۷۳/۷۵	۰/۵۷	۰/۱۷	۳/۲۳	۰/۰۳	۶	معدنی	
۳۱۱۴۸/۰۰	۰/۶۷	۰/۰۷	۲/۶۹	۰/۳۷	۷		
۱۹۳۲۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۶۲	۰/۱۴		پایین دست	

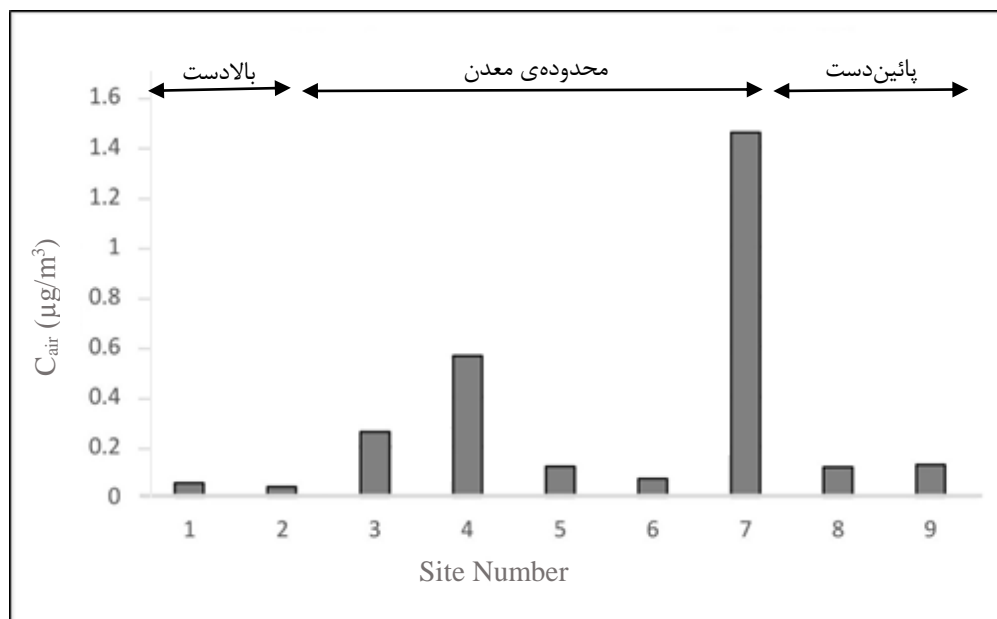
ادامه‌ی جدول ۴-۸: غلظت عناصر بالقوه سمّی در هوا بر حسب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

۱۰۱۱۸/۷۵	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۵۲	۰/۱۲		
۳۱۶۱/۵۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۰۴	۱	بالا دست
۳۵۳۳/۵۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۲	۲	
۳۷۷۳۷/۰۰	۰/۵۲	۰/۱۴	۲/۵۹	۰/۳۲	۳	
۱۹۳۰۸/۵۰	۰/۴۴	۰/۰۴	۱/۳۴	۰/۱۴	۴	
۳۳۴۹۱/۰۰	۰/۴۴	۰/۰۷	۳/۱۹	۰/۱۹	۵	محدوده‌ی معدنی
۳۰۴۷۱/۰۰	۰/۴۹	۰/۰۷	۲/۲۲	۰/۳۲	۶	
۲۹۱۳۱/۰۰	۰/۵۷	۰/۰۴	۲/۹۹	۰/۳۴	۷	
۲۸۲۶۸/۷۵	۰/۳۹	۰/۰۲	۲/۹۴	۰/۱۲	۸	پایین دست
۱۴۰۱۶/۵۰	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۱۲	۹	

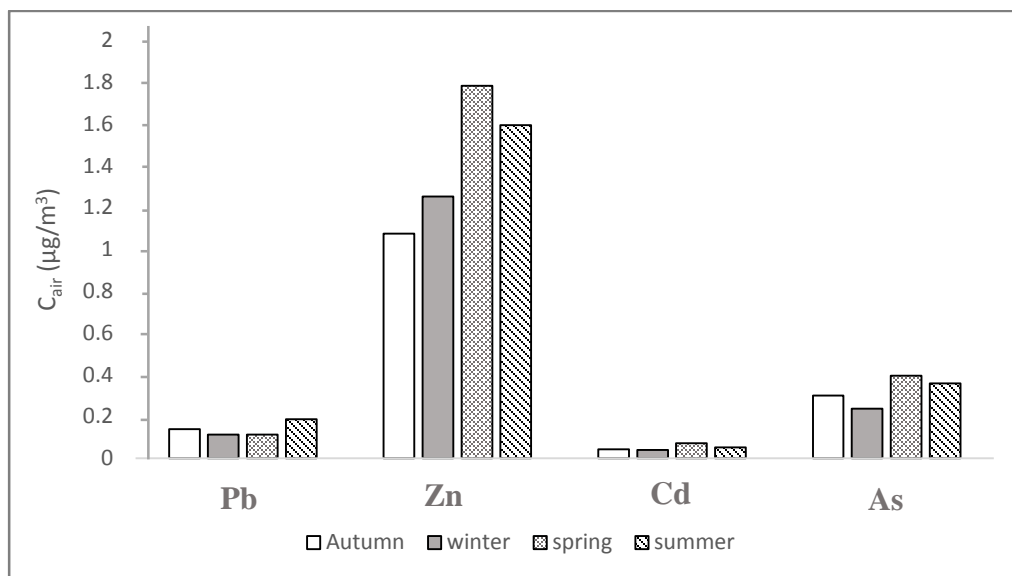
غلظت عناصر بالقوه سمّی سرب، روی، کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده از محدوده‌ی معدن بیش از خارج محدوده‌ی معدن می‌باشد، که نشان دهنده‌ی تاثیر فعالیت معدنکاری بر افزایش غلظت عناصر بالقوه سمّی در هوای منطقه است. از سوی دیگر غلظت عناصر در نمونه‌های بالا دست معدن (ایستگاه‌های ۱، ۲) که در خلاف جهت باد غالب منطقه‌ی نمونه‌برداری شده است کمتر از غلظت عناصر در نمونه‌های پایین دست معدن (ایستگاه‌های ۸، ۹) می‌باشد، که نشانگر تاثیر جریان باد غالب بر نشر ذرات آئروسول حاوی عناصر بالقوه سمّی می‌باشد.

بیشینه‌ی غلظت عناصر (روی، سرب، کادمیم و آرسنیک) در تمام فصل‌ها در ایستگاه ۷ مشاهده می‌شود. این ایستگاه در مجاورت واحد خردایش ماده‌ی معدنی واقع شده است.

با توجه به شکل ۴-۸، مشاهده می‌شود که غلظت عناصر بالقوه سمّی به ترتیب در فصل بهار < تابستان < پاییز < زمستان است. این روند با روند تغییر غلظت کل آئروسول‌ها همخوانی دارد (شکل ۴-۱) و تابع شدت یافتن فعالیت معدنکاری در فصل‌های بهار و تابستان است.



شکل ۴-۷: میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی هوا در ایستگاه‌های مختلف

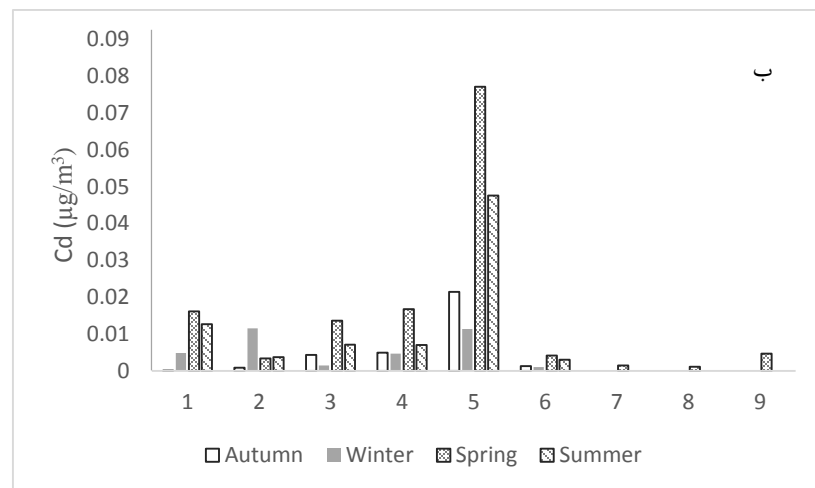
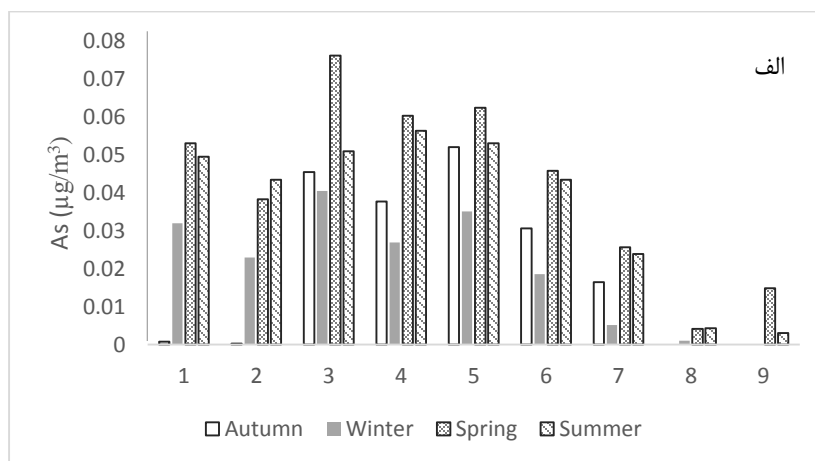


شکل ۴-۸: میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی هوا در فصل‌های مختلف

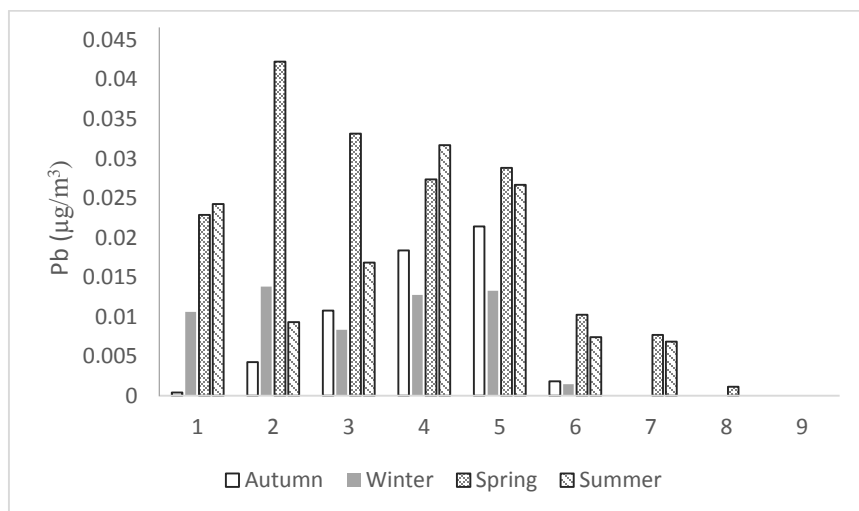
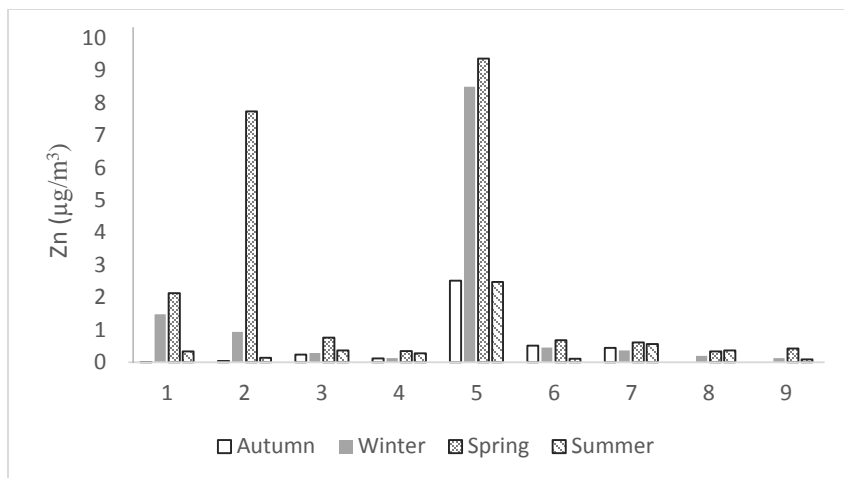
میانگین غلظت عناصر As ، Cd ، Pb و Zn در محدوده‌ی مورد مطالعه به ترتیب $0/33$ ، $0/05$ ، $0/14$ و $1/4$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) می‌باشد که در مقایسه با استانداردهای جهانی (جدول ۴-۸) غلظت کادمیم بیش از حد استاندارد می‌باشد. تغییرات روند عناصر بالقوه سمی مطابق شکل ۴-۹ در طول یکسال تغییر می‌نماید.

جدول ۴-۹: غلظت مجاز عناصر بالقوه سمی در هوا

مرجع	استاندارد ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	عنصر
ACGIH, 2004	۱	As
EPA, 2000b	۰/۰۰۵	Cd
WHO, 2000	۰/۵	Pb
NIOSH, 2003a, 2003b	۵	Zn



شکل ۴-۹: تغییر روند غلظت عناصر بالقوه سمی در آئروسول‌ها در ایستگاه‌های مختلف؛ الف: آرسنیک، ب: کادمیم



ادامه‌ی شکل ۴-۹: تغییر روند غلظت عناصر بالقوه سمّی در آئروسول‌ها در ایستگاه‌های مختلف؛ ج: روی،

د: سرب

۹-۲-۴- تعیین منشاء عناصر بالقوه سمّی در ذرات آئروسول

۹-۲-۴-۱- ضریب غنی‌شدگی (EF)

تعیین منشاء عناصر بالقوه سمّی در آئروسول‌های مختلف جوّی به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. یکی از روش‌های رایج محاسبه‌ی ضریب غنی‌شدگی^{۴۰} است. به‌طور کلی، ضریب غنی‌شدگی نشان دهنده‌ی

⁴⁰ Enrichment factor

مقدار یک عنصر خاص افزون بر غلظت مورد انتظار آن از یک منشاء طبیعی (سنگ یا خاک) است. اغلب چنین فرض می‌شود که غلظت آلومینیم یک ذره معلق، تنها به منشاء پوسته‌ای مربوط است، بنابراین غلظت سایر عناصر نسبت به آلومینیم (یا آهن) بهنجار می‌شود (Eby, 2004):

$$EF = \frac{\left(\frac{X}{RE}\right)_{\text{ذره معلق}}}{\left(\frac{X}{RE}\right)_{\text{پوسته}}} \quad (\text{رابطه‌ی ۴-۶})$$

که در این رابطه، EF ضریب غنی‌شدگی عنصر مورد نظر، RE غلظت عنصر مرجع (Al)، و X غلظت عنصر مورد نظر می‌باشد. در جدول ۴-۱۰، غلظت عناصر مورد مطالعه در پوسته ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰: ترکیب عنصری پوسته‌ی قاره‌ای (بر حسب mg/kg)

عنصر	کل پوسته
Al	۸۴۱۰۰
Zn	۸۰
Pb	۸
Cd	۰/۰۹۸
As	۱

ضرایب غنی‌شدگی نزدیک به ۱، نشان می‌دهد که منشاء عنصر، مربوط به پوسته است (Eby, 2004). غلظت‌های کمتر از ۱۰ نشان می‌دهد خاستگاه عنصر، زمین‌زاد است و غلظت‌های بالاتر از ۱۰ نشانگر منشاء انسان‌زاد و آلودگی می‌باشد (Hidemori et al. 2014; Harrison et al. 2003). در جدول ۴-۱۱، ضرایب غنی‌شدگی محاسبه شده برای آئروسول‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در محدوده‌ی مورد مطالعه منشأ بیشتر نمونه‌ها از منابع انسان‌زاد است و تنها نمونه‌های مشخص شده در جدول ۴-۱۱ از منابع طبیعی (زمین‌زاد) حاصل شده است، که غالب آنها مربوط به مناطق بالادست (خلاف جهت باد غالب) می‌باشد. هم‌چنین با توجه به داده‌های ضریب غنی‌شدگی منشأ عنصر روی در تمام نمونه‌های مورد مطالعه از منابع انسان‌زاد می‌باشد.

جدول ۴-۱۱: ضریب غنی شدگی عناصر در آئروسول‌ها

فصل	موقعیت	ایستگاه	Pb	Zn	Cd	As
پاییز	محدوده‌ی معدنی	۳	۱۲/۸	۸۵/۹	۳/۰	۱۹/۰
		۴	۳/۸	۱۹/۱	۱/۰	۱۴/۰
		۵	۵/۸	۸۲/۲	۲/۰	۱۶/۰
		۶	۱۰/۸	۵۹/۰	۳/۰	۱۹/۰
		۷	۱۰/۷	۹۷/۶	۵/۰	۲۱/۰
		۸	۲/۹	۱۹/۳	۱/۰	۱۲/۰
		۹	۱/۹	۱۷/۷	۰/۵	۷/۰
زمستان	بالا دست	۱	۰/۲	۹/۹	۰/۲	۱/۰
		۲	۰/۲	۵/۰	۰/۲	۰/۵
		۳	۷/۸	۹۳/۸	۳/۰	۱۷/۰
	محدوده‌ی معدنی	۴	۳/۹	۳۳/۵۴	۱/۰	۱۰/۰
		۵	۴/۸	۹۴/۲	۱/۰	۱۴/۰
		۶	۸/۸	۶۶/۰	۳/۰	۱۴/۰
	پایین دست	۷	۷/۸	۱۰۳/۹	۴/۰	۱۷/۰
		۸	۲/۹	۲۱/۶	۱/۰	۹/۰
		۹	۳/۰	۱۷/۹	۰/۵	۳/۰
بهار	بالا دست	۱	۳/۰	۱۴/۹	۰/۵	۲/۰
		۲	۱/۰	۴/۹	۰/۵	۲/۰
		۳	۱/۱	۹۶/۷	۶/۰	۲۵/۰
	محدوده‌ی معدنی	۴	۷/۹	۴۱/۲	۲/۰	۱۷/۰
		۵	۰/۹	۱۹۳/۷	۴/۰	۲۰/۰
		۶	۱/۱	۱۳۱/۸	۷/۰	۲۳/۰
	پایین دست	۷	۱۴/۸	۱۰۶/۹	۳/۰	۲۷/۰
		۸	۵/۹	۲۴/۳	۲/۰	۱۷/۰
		۹	۴/۹	۲۰/۶	۱/۰	۹/۰
تابستان	بالا دست	۱	۲/۰	۱۴/۹	۰/۵	۲/۰
		۲	۱/۰	۴/۹	۰/۵	۲/۰
		۳	۱۲/۷	۱۰۲/۶	۶/۰	۲۱/۰
	محدوده‌ی معدنی	۴	۵/۹	۵۳/۳	۲/۰	۱۸/۰
		۵	۷/۸	۱۲۶/۸	۳/۰	۱۸/۰
		۶	۱۲/۸	۸۷/۹	۳/۰	۲۰/۰
	پایین دست	۷	۱۳/۸	۱۱/۰	۲/۰	۲۳/۰
		۸	۴/۸	۳۷/۰	۱/۰	۱۶/۰
		۹	۴/۹	۲۰/۵	۰/۵	۹/۰

در طبقه‌بندی کیفی شدت آلودگی که توسط Sutherland (2000) ارائه شده، چنانچه $EF < 2$: نشانگر عدم غنی‌شدگی، $2 < EF < 5$: نشانگر غنی‌شدگی در حد متوسط، $5 < EF < 20$: نشان دهنده‌ی غنی‌سازی قابل توجه، $20 < EF < 40$: نشان دهنده‌ی غنی‌شدگی بسیار بالا و $EF > 40$ نشانگر غنی‌شدگی به شدت بالا است. با توجه به این طبقه‌بندی ذرات آئروسول از عناصر Zn, Pb, As و Cd به شدت غنی هستند.

۴-۲-۹-۲- سهم فعالیت انسان‌زاد

غلظت عناصر بالقوه سمی در آئروسول‌های جوئی، تابع منشاء این عناصر است. هر نمونه‌ی خاص آئروسول ممکن است از یک یا چند منشاء حاصل شده باشد. سهم فعالیت انسان‌زاد از رابطه‌ی (۴-۷) محاسبه می‌شود (Eby, 2004).

$$\text{سهم فعالیت انسان‌زاد} = \frac{\left\{ \left([C]_{\text{کل}} - \left([Al]_{\text{نمونه}} \left(\frac{[C]}{[Al]} \right)_{\text{مرجع}} \right) \right) \right\}}{[C]_{\text{کل}}} \times 100 \quad (\text{رابطه‌ی ۴-۷})$$

در این رابطه C غلظت عنصر مورد نظر در آئروسول، Al غلظت عنصر مرجع (آلومینیم) در آئروسول، C غلظت عنصر C در پوسته (یا خاک) و Al غلظت عنصر مرجع (آلومینیم) در پوسته (یا خاک) است. در جدول ۴-۱۲ غلظت غیر پوسته‌ای عناصر مورد مطالعه در هر ایستگاه ارائه شده است.

جدول ۴-۱۲: سهم فعالیت انسان‌زاد عناصر در آئروسول‌ها

As	Cd	Zn	Pb	ایستگاه	موقعیت	فصل
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۸	۹۸/۵	۳		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۵/۴	۹۵/۷	۴		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۰	۹۷/۵	۵	محدوده‌ی معدنی	
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۳	۹۸/۳	۶		بهار
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۵	۹۷/۶	۷		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۶/۷	۹۵/۸	۸	پایین دست	

ادامه‌ی جدول ۴-۱۲: سهم فعالیت انسان‌زاد عناصر در آئروسل‌ها

۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۱	۹۶/۷	۹		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۳	۹۳/۶	۱	بالا دست	زمنستان
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۳	۹۶/۸	۲		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۷	۹۷/۱	۳		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۷	۹۷/۹	۴		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۱	۹۷/۰	۵	محدوده‌ی معدنی	
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۴	۹۷/۸	۶		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۹	۹۷/۳	۷		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۱	۹۷/۴	۸	پایین دست	
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۳	۹۹/۲	۹		بهار
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۳	۹۹/۴	۱	بالا دست	
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۷/۳	۹۷/۵	۲		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۷	۸۱/۶	۳		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۱	۹۸/۲	۴		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۳	۷۸/۷	۵	محدوده‌ی معدنی	
۹۹/۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۱	۸۲/۸	۶		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۹	۹۸/۶	۷		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۷/۲	۹۷/۸	۸	پایین دست	تایبستان
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۲	۹۸/۶	۹		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۲	۹۸/۹	۱	بالا دست	
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۷/۴	۹۷/۶	۲		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۷	۹۸/۰	۳		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۷	۹۷/۸	۴		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۰	۹۷/۱	۵	محدوده‌ی معدنی	
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۸/۷	۹۸/۴	۶		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۱/۱	۹۸/۶	۷		پایین دست
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۷/۳	۹۶/۱	۸		
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۷/۶	۹۸/۰	۹		

درصد به‌دست آمده برای عناصر مورد مطالعه، Cd و As با ۹۹/۹ درصد، Zn با ۹۸/۲ درصد و Pb با ۹۶/۱ درصد نشان می‌دهد فعالیت‌های انسان‌زاد (معدنکاری) سهم بیشتری در تولید و انتشار عناصر بالقوه سمی در محدوده‌ی مورد مطالعه دارند.

۴-۲-۱۰- ارزیابی تاثیر آئروسول‌ها بر سلامت در محدوده‌ی مورد مطالعه

ارزیابی ریسک سلامتی^{۴۱} مواجهه با هوای آلوده به عناصر بالقوه سمی، در طول یک دوره‌ی زمانی معین تعیین می‌شود. بنابراین، ارزیابی ریسک سلامتی یک پارامتر کمی و کیفی از مقدار، فرکانس، مدت زمان و مسیر مواجهه با آلودگی است (Dumitrescu *et al.* 2012). آلودگی جوّی از سه مسیر دهانی و بلع، تماس پوستی و استنشاق می‌تواند برای افراد ساکن در محدوده‌ی آلودگی ایجاد خطر نماید (Zhao *et al.* 2014). اندازه و تراکم ذرات آئروسول نقش به‌سزائی را در نوع و شدت اثرات بهداشتی این ذرات ایفا می‌نمایند (Abbasi and Tufail, 2013). در نتیجه ارزیابی ریسک سلامت از تمام مسیرهای تاثیرگذار بر سلامت (بلع، تماس پوستی و استنشاق) الزامی می‌باشد.

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 (www.EPA/540/P-002F):

$$ADD_{ing} = \frac{C \times R_{ing} \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (\text{رابطه‌ی ۸-۴})$$

$$ADD_{inh} = \frac{C \times R_{inh} \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (\text{رابطه‌ی ۹-۴})$$

$$ADD_{derm} = \frac{C \times SA \times CF \times SL \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (\text{رابطه‌ی ۱۰-۴})$$

در این روابط، ADD_{ing} : ارزیابی ریسک سلامت از طریق بلع، ADD_{inh} : ارزیابی ریسک سلامت از طریق استنشاق، ADD_{derm} : ارزیابی ریسک سلامت از طریق تماس پوستی، C : غلظت آلاینده در هوا (برحسب mg/kg)، R_{ing} : نرخ بلع (برحسب mg/kg) برای کودکان ۲۰۰ و برای بزرگسالان ۱۰۰، CF : ضریب تبدیل

⁴¹Health Risk Assessment

(برحسب kg/mg) برای هر دو گروه سنی 1×10^{-6} ، EF: فراوانی در معرض قرارگیری (برحسب day/year) برای هر دو گروه سنی ۳۵۰، ED: مدت زمان در معرض قرارگیری (برحسب سال) برای کودکان ۶ و برای بزرگسالان ۲۴، BW: وزن شخص (برحسب kg) برای کودکان ۱۵ و برای بزرگسالان ۵۵/۹، AT: زمان میانگین (برحسب روز) $365 \times ED$ ، 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 $1 \times 10^9 \times 1/23$ ، 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.

در جدول ۴-۱۳ مقادیر به‌دست آمده برای ارزیابی ریسک سلامت عناصر مورد مطالعه از سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی ارائه شده است.

جدول ۴-۱۳: مقادیر ADD محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day)

عنصر	ADD _{ing}		ADD _{inh}		ADD _{derm}	
	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان
As	$2/18 \times 10^{-5}$	$1/75 \times 10^{-4}$	$3/31 \times 10^{-9}$	$3/30 \times 10^{-9}$	$1/09 \times 10^{-6}$	$1/57 \times 10^{-6}$
Cd	$3/44 \times 10^{-6}$	$2/77 \times 10^{-5}$	$5/27 \times 10^{-10}$	$5/26 \times 10^{-10}$	$1/73 \times 10^{-7}$	$2/50 \times 10^{-7}$
Pb	$9/35 \times 10^{-6}$	$7/48 \times 10^{-5}$	$1/42 \times 10^{-9}$	$1/44 \times 10^{-9}$	$4/68 \times 10^{-7}$	$6/73 \times 10^{-7}$
Zn	$9/16 \times 10^{-5}$	$7/32 \times 10^{-4}$	$1/38 \times 10^{-8}$	$1/38 \times 10^{-8}$	$4/58 \times 10^{-6}$	$6/58 \times 10^{-6}$

این روش به‌منظور تعیین دامنه‌ی ریسک سلامت یک آلاینده در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد که نتایج حاصل از آن با استفاده از رابطه‌ی (۴-۱۱)، بزرگی و علل اصلی خطر را تعیین می‌نماید. با استفاده از نتایج آن می‌توان در صورت بالا بودن حد خطر اقدامات اصلاحی و کاهش سطح آلودگی را پیش‌بینی نمود (USEPA, 1989).

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (\text{رابطه ی ۴-۱۱})$$

در این رابطه؛ HQ: بزرگی خطر سلامتی، ADD: ریسک سلامت، RfD: دوز مرجع برای هر عنصر. مقادیر RfD در جدول ۴-۱۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از محاسبات در جدول ۴-۱۵ آورده شده است.

جدول ۴-۱۴: مقادیر RfD برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day)

عنصر	RfD	مرجع
As	3×10^{-4}	EPA/IRIS, 2007
Cd	$1/8 \times 10^{-6}$	EPA/IRIS, 2012
Pb	4×10^{-1}	NAAQS, 1991
Zn	3×10^{-1}	EPA/IRIS, 2003

جدول ۴-۱۵: مقادیر HQ محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه (بر حسب mg/kg/day)

عنصر	HQ _{ing}		HQ _{inh}		HQ _{derm}	
	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان
As	$7/2 \times 10^{-2}$	$5/8 \times 10^{-1}$	$1/1 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-5}$	$3/6 \times 10^{-3}$	$5/2 \times 10^{-3}$
Cd	۱/۹	۱۵	$2/9 \times 10^{-4}$	$2/9 \times 10^{-4}$	$9/6 \times 10^{-2}$	$1/3 \times 10^{-1}$
Pb	3×10^{-4}	$2/4 \times 10^{-2}$	$4/6 \times 10^{-8}$	$4/6 \times 10^{-8}$	$1/1 \times 10^{-5}$	$2/1 \times 10^{-5}$
Zn	$9/16 \times 10^{-5}$	$7/32 \times 10^{-4}$	$1/38 \times 10^{-8}$	$1/38 \times 10^{-8}$	$4/58 \times 10^{-6}$	$6/58 \times 10^{-6}$

مطابق با استاندارد USEPA 1986، مقادیر HQ کمتر از ۱ از نظر ریسک سلامتی قابل قبول بوده و تنها مقادیر بالاتر از ۱ می‌تواند مخاطره آمیز برای سلامت ساکنان منطقه باشد. با توجه به مقادیر به دست آمده برای HQ، تمام عناصر در هر سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی کمتر از ۱ می‌باشد و تنها عنصر Cd برای بلع در هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان مخاطره آمیز می‌باشد. عنصر آلومینیم برای کودکان ۲۶ برابر و برای بزرگسالان ۳/۳ برابر حد مجاز است. همچنین عنصر کادمیم برای کودکان ۱۵ برابر و برای بزرگسالان ۱/۹ برابر حد استاندارد است.

۴-۳- بارش تر

۴-۳-۱- حجم نمونه‌های بارش

بر اساس داده‌های به دست آمده (جدول ۴-۱۶)، حداقل میزان بارش (۲۳/۸ سانتی متر مکعب) در فصل زمستان و در ایستگاه ۱ و حداکثر آن (۳۱۴/۷ سانتی متر مکعب) در فصل بهار و در ایستگاه ۳ رخ داده است. میانگین حجم بارش در فصل پاییز ۱۸۰/۹ سانتی متر مکعب، در فصل زمستان ۸۸/۱ سانتی متر مکعب و در فصل بهار ۲۴۵/۲۲ سانتی متر مکعب و در مقیاس سالانه ۱۷۱/۴ سانتی متر مکعب می‌باشد. بنابراین میانگین بارندگی در طول فصل‌های مختلف از روند بهار < پاییز < زمستان پیروی می‌کند.

جدول ۴-۱۶: حجم آب باران در طول یکسال بارندگی (cm³)

ایستگاه	فصل		
	پاییز	زمستان	بهار
۱	۲۱۸/۵	۲۳/۸	۱۵۸/۲
۲	۱۳۲/۴	۳۴/۲	۳۰۱/۲
۳	۱۱۱/۰	۱۷۵/۷	۳۱۴/۷
۴	۱۶۷/۶	۱۶۸/۵	۲۸۰/۳
۵	۲۷۴/۹	۳۸/۲	۱۷۱/۵
میانگین	۱۸۰/۹	۸۸/۱	۲۴۵/۲

۴-۳-۲- هیدروشیمی نمونه‌های بارش

در جدول ۴-۱۷، پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. pH، عبارت است از منفی لگاریتم غلظت یون هیدروژن. این پارامتر یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکوشیمیایی آب است که می‌تواند بر روی انحلال مواد و فعالیت بیولوژیکی اثر بگذارد. pH آب غیرآلوده، معمولاً بیانگر تعادل بین دی‌اکسیدکربن حل شده با مقدار کربنات و بی‌کربنات در آب است (Jang et al. 2010). به‌طور کلی کاهش pH، انحلال‌پذیری و

تحرك پذیری عناصر را در آب افزایش می‌دهد. از سوی دیگر افزایش pH، معمولاً سبب کاهش غلظت کمپلکس‌های هیدراته و افزایش غلظت کمپلکس‌های کربناتی در آب می‌شود (Bott, 1995).
 pH نمونه‌های بارش مورد مطالعه از ۷/۲ تا ۸/۲ تغییر می‌کند. به‌طور معمول pH باران در مناطق قاره‌ای به علت انحلال گاز CO₂ موجود در جو، در بازه‌ی اسیدی (۴-۶) قرار دارد (Eby, 2004; Langmuir, 1997). بین غلظت‌های SO₄ و NO₃ آب باران و pH آن رابطه‌ی معکوس وجود دارد (Eby, 2004). pH بارش را می‌توان توسط روابط زیر محاسبه کرد (Berner and Berner, 1996):

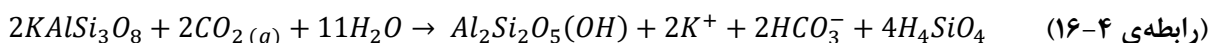
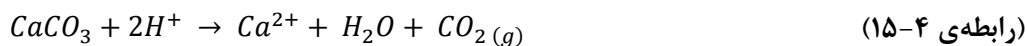
$$\text{سولفات (mol/L)} = \frac{\text{اندازه‌گیری شده (g/l) } SO_4}{\text{مول } SO_4 \text{ (g/mol)}} \quad \text{(رابطه‌ی ۴-۱۲)}$$

$$\text{مول نیترات (mol/L)} = \frac{\text{اندازه‌گیری شده (g/l) } NO_3}{\text{مول } NO_3 \text{ (g/mol)}} \quad \text{(رابطه‌ی ۴-۱۳)}$$

به ازای هر مولکول سولفات، دو یون هیدروژن و به ازای هر مولکول نیترات، یک یون هیدروژن وجود دارد. بنابراین:

$$\text{مول یون هیدروژن (mol/L)} = ۲ \text{ (سولفات مول)} + ۱ \text{ (نیترات مول)} \quad \text{(رابطه‌ی ۴-۱۴)}$$

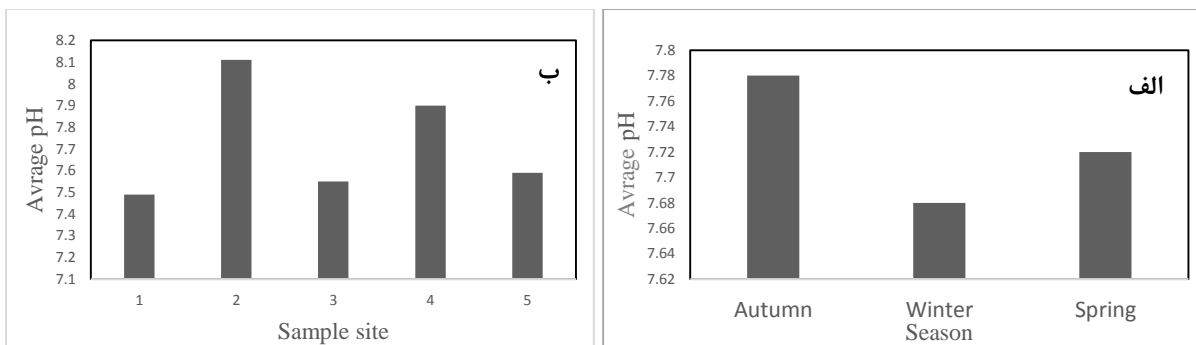
با توجه به رابطه‌ی (۴-۱۲) و (۴-۱۳)، pH نمونه‌های بارش مورد مطالعه باید ۳/۹ به‌دست می‌آید در حالی که میانگین pH اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌های بارش مورد مطالعه ۷/۷ می‌باشد. عدم همخوانی pH محاسبه شده و pH اندازه‌گیری شده در صحرا نشان می‌دهد که غلظت گونه‌های سولفات و نیترات، تعیین کننده pH بارش‌های منطقه نمی‌باشد. علت احتمالی قلیائی بودن pH نمونه‌های بارش در منطقه‌ی معدنی انگوران مربوط به برهم‌کنش بارش با آئروسول‌های کربناتی و سیلیکاتی (کانی‌های رسی) می‌باشد:



مطابق شکل ۴-۱۰-الف، pH نمونه‌های برداشت شده در فصل پاییز (۷/۸) بیش از نمونه‌های برداشت شده در سایر فصل‌ها است، که می‌توان آن را به افزایش تمرکز ذرات آئروسول پس از آخرین بارندگی (بهار ۱۳۹۴) نسبت داد. بالاتر بودن pH در ایستگاه شماره ۲ (محل انباشت سنگ‌های باطله کربناتی) و ایستگاه شماره ۴ (گودال روباز معدن) نشانگر واکنش آئروسول‌های کربناتی با بارش و تاثیر آن بر pH می‌باشد (جدول ۴-۱۷). مطالعات SEM (شکل ۴-۷-ج و ه)، نشانگر فراوانی حضور کانی‌های کربناتی در آئروسول‌های این دو ایستگاه می‌باشد، بنابراین این ذرات در واکنش با بارش، مقدار pH را به محدوده‌ی قلیایی تغییر داده‌اند.

جدول ۴-۱۷: اسیدیته آب باران در طول یکسال بارندگی

pH	ایستگاه	فصل
۷/۵	۱	پاییز
۸/۱	۲	
۷/۴	۳	
۸/۲	۴	
۷/۹	۵	
۷/۸		میانگین
۷/۲	۱	زمستان
۸/۲	۲	
۷/۷	۳	
۸/۱	۴	
۷/۳	۵	
۷/۷		میانگین
۷/۹	۱	بهار
۸/۱	۲	
۷/۶	۳	
۷/۴	۴	
۷/۲	۵	
۷/۶		میانگین
۷/۷		میانگین کل



شکل ۴-۱۰: روند تغییرات pH در طول یکسال بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، الف) تغییرات pH در فصل‌های مختلف،

ب) تغییرات pH در ایستگاه‌های مختلف

۴-۳-۳- هدایت الکتریکی نمونه‌های بارش

قابلیت هدایت الکتریکی^{۴۲}، شاخص کلی برای اندازه‌گیری کیفیت آب است که در ارتباط مستقیم با مقدار مواد حل شده‌ی کل (TDS^{۴۳}) در آب می‌باشد (Hounslow, 1995). هدایت الکتریکی معیاری است جهت سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریسیته. از آنجا که این توانایی تابعی از حضور یون‌های موجود در یک محلول می‌باشد، اندازه‌گیری این پارامتر نشانگر خوبی برای مقدار مواد حل شده‌ی کل (TDS) در آب به‌شمار می‌آید (Todd, 1980). هر چه مقدار یون‌های موجود در آب بیشتر باشد، قابلیت آن برای هدایت الکتریسیته بیشتر می‌شود و مقدار هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. خصوصیات زمین‌شناسی و میزان بارش جوی سالانه بر تغییرات هدایت الکتریکی تاثیر گذار است.

جدول ۴-۱۸، مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های بارش را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. حداقل هدایت الکتریکی مربوط به نمونه‌ی برداشت شده از ایستگاه ۳ در فصل بهار (۸۶/۵ میکروموس بر سانتیمتر) و حداکثر آن مربوط به نمونه‌ی برداشت شده از ایستگاه ۱ در فصل زمستان (۲۷۸/۰ میکروموس بر سانتیمتر) می‌باشد. در نمونه‌های برداشت شده، هدایت الکتریکی رابطه‌ی معناداری با حجم بارش نشان

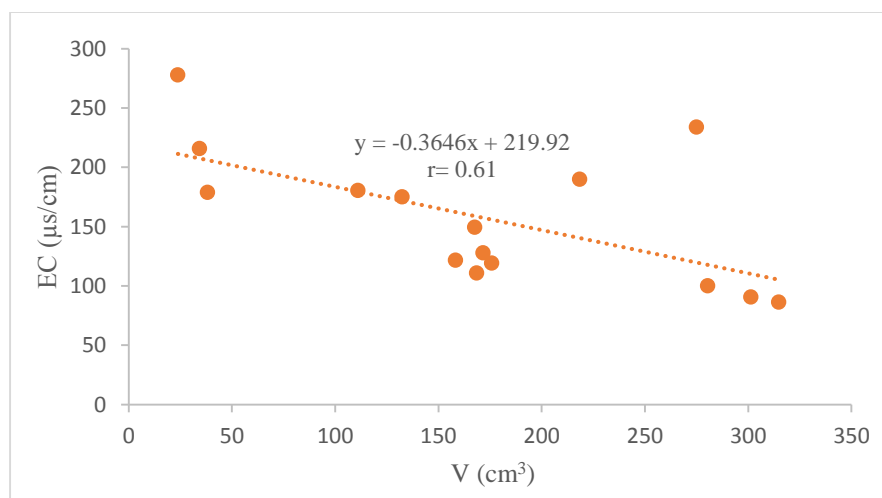
⁴² Electrical Conductivity

⁴³ Total dissolved solids

می‌دهند ($r = 0/61$). پایین‌تر بودن مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌های بهار در تمام ایستگاه‌ها در مقایسه با مقدار آن در سایر نمونه‌ها به دلیل بالا بودن حجم باران در این فصل نسبت به سایر فصل‌ها می‌باشد که سبب رقیق‌شدگی و در نتیجه کاهش مقدار هدایت الکتریکی در نمونه‌های بارش شده است (شکل ۴-۱۱). با توجه به متوسط هدایت الکتریکی هر ایستگاه در طول یک‌سال بارش، ایستگاه ۱ بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۱۹۶/۷ میکروموس بر سانتیمتر) را داشته و به دنبال آن ایستگاه‌های ۵، ۲، ۳ و ۴ قرار دارند. هم‌چنین بین هدایت الکتریکی و غلظت کل ذرات آئروسول (TPS) رابطه‌ی معناداری ($r = 0/97$) دارد (شکل ۴-۱۲).

جدول ۴-۱۸: هدایت الکتریکی آب باران در طول یکسال بارندگی ($\mu\text{m/cm}$)

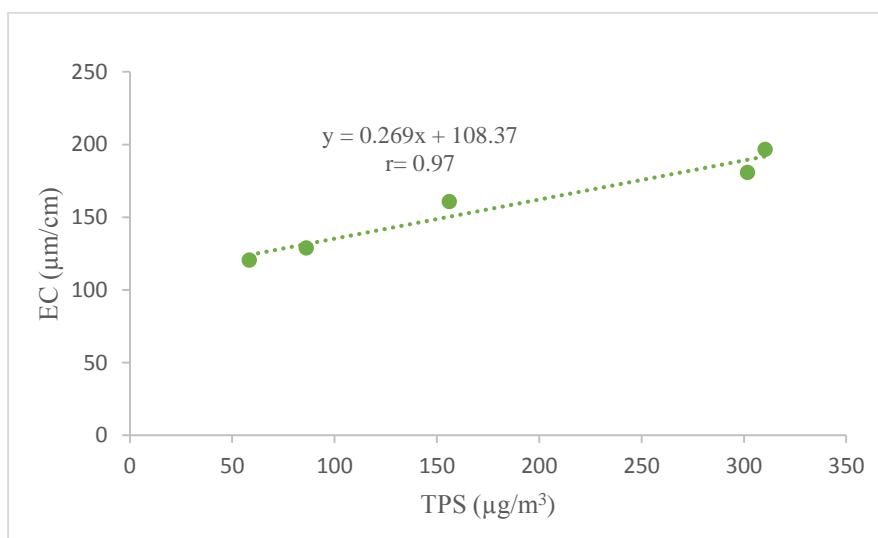
ایستگاه	فصل	پاییز	زمستان	بهار	میانگین
۱	۱۹۰/۱	۲۷۸/۰	۱۲۲/۰	۱۹۶/۷	
۲	۱۷۵/۳	۲۱۵/۸	۹۰/۹	۱۶۰/۷	
۳	۱۸۰/۸	۱۱۹/۶	۸۶/۵	۱۲۸/۹	
۴	۱۴۹/۸	۱۱۱/۰	۱۰۰/۳	۱۲۰/۴	
۵	۲۳۴/۱	۱۷۹/۱	۱۲۸/۰	۱۸۰/۷	
میانگین	۱۸۶/۰	۱۸۰/۷	۱۰۵/۵	۱۵۷/۵	



شکل ۴-۱۱: روند تغییر EC نسبت به حجم در طول یکسال بارندگی در منطقه معدنی انگوران

جدول ۴-۱۹: میانگین غلظت مجموع آنیون- کاتیون‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول یک‌سال بارش

ایستگاه	$\sum \text{Cation (meq/l)}$	$\sum \text{Anion (meq/l)}$
۱	۶/۵	۷/۲
۲	۴/۹	۵/۱
۳	۴/۱	۳/۹
۴	۳/۹	۳/۷
۵	۶/۵	۶/۰



شکل ۴-۱۲: روند تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در برابر غلظت کل آئروسول‌ها (TPS) در طول فصول مختلف

مطابق با استاندارد SRM 2694 (استاندارد اداره ملی استانداردهای ایالت متحده آمریکا برای آماده‌سازی، تجزیه و تحلیل آب باران و توصیه‌های استفاده از آن)، مقدار هدایت الکتریکی برای آب باران ۱۳۰-۲۵ میکروموس بر سانتیمتر (Koch and *et al.* 1986) و مطابق با میانگین جهانی، مقدار هدایت الکتریکی ۱۰۵ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد (Langmuir, 1997). میانگین هدایت الکتریکی در نمونه‌های برداشت شده از محدوده‌ی مورد مطالعه در طول یکسال بارندگی ۱۵۷/۵ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد که در مقایسه با استاندارد SRM 2694 و متوسط جهانی در نمونه‌های بارش بالاتر است. علت این امر، احتمالاً افزایش تمرکز ذرات آئروسول در اثر فرآیند معدنکاری می‌باشد، به عبارت دیگر، در نتیجه‌ی واکنش این ذرات با بارش‌های منطقه مقدار هدایت الکتریکی بارش‌ها افزایش یافته است.

۴-۳-۴- غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های بارش

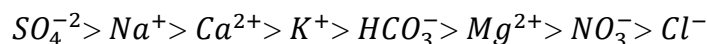
نتایج اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های بارش، در جدول ۴-۲۰ ارائه شده است.

برای محاسبه‌ی درصد خطا، از رابطه‌ی (۴-۱۷) استفاده می‌شود (Hounslow, 1995).

$$\text{Error \%} = \frac{(\Sigma A - \Sigma C)}{(\Sigma A + \Sigma C)/2} \times 100 \quad (\text{رابطه‌ی ۴-۱۷})$$

که در این رابطه ΣA مجموع غلظت آنیون‌ها و ΣC مجموع غلظت کاتیون‌ها می‌باشد. درصد خطا برای نمونه‌های مورد مطالعه کمتر از ۴/۷ درصد می‌باشد، با توجه به اینکه خطای کمتر از ۵ درصد قابل قبول می‌باشد، داده‌ها قابل اطمینان هستند.

در نمونه‌های مورد مطالعه، میانگین غلظت یون‌های اصلی (meq/l) به شکل زیر تغییر می‌کنند:



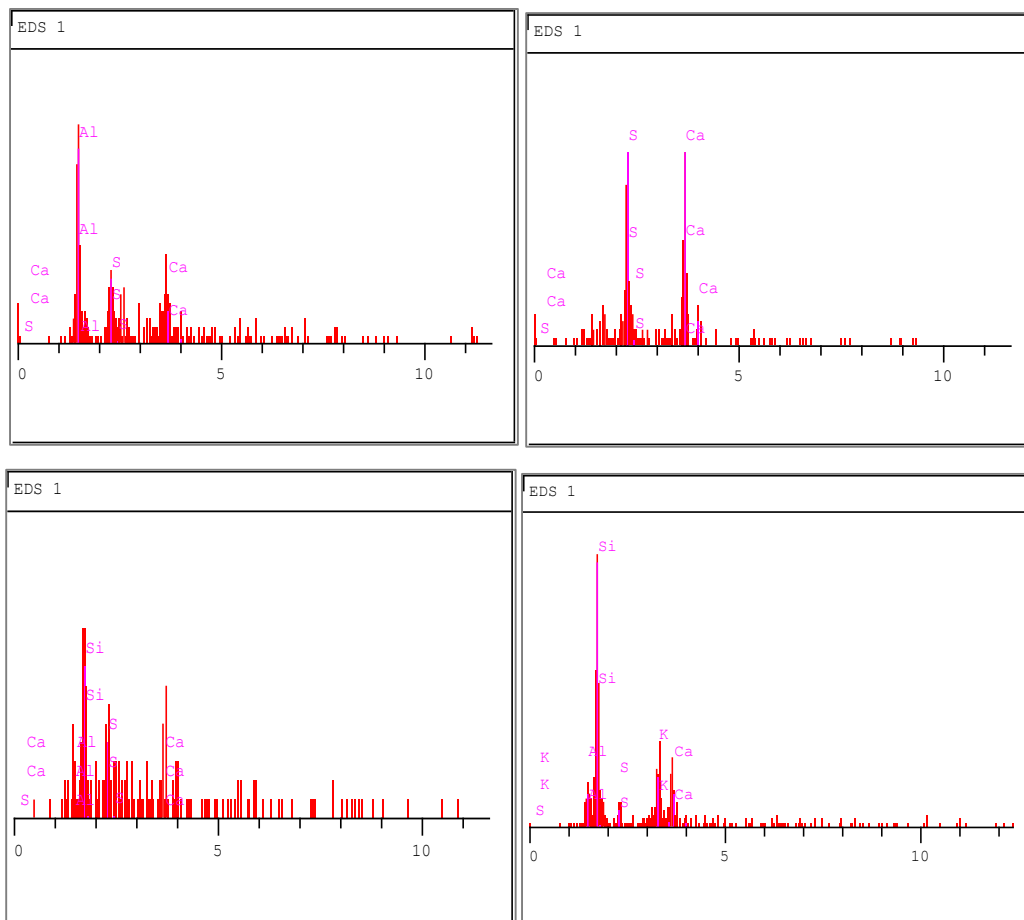
جدول ۴-۲۰: غلظت یون‌های اصلی (meq/l) در نمونه‌های بارش

Ca	Mg	Na	K	Σ Cation	SO ₄	Cl	HCO ₃	NO ₃	Σ Anion	%Error	ایستگاه	فصل
۱/۵	۰/۴	۳/۷	۰/۴	۵/۹	۴/۱	۰/۲	۱/۱	۰/۴	۵/۸	۱/۲	۱	پاییز
۱/۴	۰/۶	۳/۰	۰/۳	۵/۳	۳/۷	۰/۱	۱/۲	۰/۲	۵/۲	۱/۴	۲	
۱/۴	۰/۴	۳/۲	۰/۴	۵/۴	۳/۳	۰/۱	۱/۳	۰/۳	۵/۱	۳/۳	۳	
۱/۰	۰/۳	۱/۴	۱/۵	۴/۲	۳/۲	۰/۱	۰/۹	۰/۲	۴/۴	-۲/۵	۴	
۱/۹	۰/۷	۳/۴	۲/۶	۸/۷	۸/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۸/۹	-۱/۸	۵	
۲/۳	۰/۹	۳/۰	۳/۲	۹/۴	۷/۵	۰/۱	۱/۰	۰/۳	۹/۰	۲/۶	۱	زمستان
۱/۰	۰/۶	۲/۳	۲/۳	۶/۲	۵/۴	۰/۱	۱/۰	۰/۳	۶/۸	-۴/۴	۲	
۱/۰	۰/۱	۱/۲	۱/۱	۳/۵	۲/۶	۰/۱	۰/۷	۰/۲	۳/۶	-۱/۸	۳	
۱/۶	۰/۷	۰/۵	۱/۰	۳/۸	۲/۶	۰/۱	۰/۵	۰/۳	۳/۴	۴/۷	۴	
۱/۶	۰/۵	۲/۸	۱/۰	۵/۹	۴/۰	۰/۱	۰/۹	۰/۵	۵/۵	۳/۹	۵	
۱/۴	۰/۶	۱/۴	۰/۶	۴/۰	۳/۰	۰/۵	۰/۶	۰/۲	۴/۳	-۴/۲	۱	بهار
۱/۵	۰/۵	۱/۹	۰/۳	۴/۱	۳/۵	۰/۱	۰/۴	۰/۲	۴/۲	-۱/۰	۲	
۱/۲	۰/۶	۱/۵	۰/۲	۳/۵	۲/۶	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۳/۲	۳/۸	۳	
۱/۱	۰/۸	۱/۰	۰/۳	۳/۱	۲/۵	۰/۱	۰/۶	۰/۱۷	۳/۳	-۲/۳	۴	
۱/۷	۰/۴	۱/۰	۰/۸	۳/۸	۲/۶	۰/۱	۰/۹	۰/۱۵	۳/۷	۲/۰	۵	
۱/۵	۰/۵	۲/۰	۱/۰	۵/۱	۳/۹	۰/۱	۰/۸	۲۴/۰	۵/۱	۰/۳	میانگین	

بنابراین، آنیون غالب در نمونه‌های مورد مطالعه سولفات است که با توجه به نتایج حاصل از EDX نمونه‌های

آئروسول منطقه قابل توجهیه است. بر اساس نتایج EDX (شکل ۴-۱۳)، در آئروسول‌های محدوده‌ی مورد مطالعه،

فازهای سولفیدی در آئروسول‌ها حضور دارند، به عبارتی فعالیت‌های معدنکاری در منطقه باعث افزایش غبارهای حاوی سولفید در محدوده‌ی مورد مطالعه و افزایش غلظت یون سولفات در نمونه‌های بارش شده است.



شکل ۴-۱۳: نمودار EDX آئروسول‌های منطقه و حضور یون سولفات در غالب نمونه‌ها

با توجه به جدول ۴-۲۰، متوسط غلظت سولفات در نمونه‌های برداشت شده‌ی فصل پاییز ($4/6 \text{ meq/l}$) بیشتر از مقدار متوسط این یون در نمونه‌های برداشت شده در فصل زمستان ($4/4 \text{ meq/l}$) و بهار ($2/6 \text{ meq/l}$) است. همچنین متوسط غلظت یون سولفات در ایستگاه ۱ نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر است ($4/9 \text{ meq/l}$). منشاء احتمالی سولفات در نمونه‌های بارش، انحلال و تجزیه‌ی کانی‌های سولفیدی موجود در آئروسول‌ها می‌باشد. بر اساس مطالعات SEM-EDX آئروسول‌های مورد مطالعه، در بر دارنده‌ی کانی‌های سولفیدی

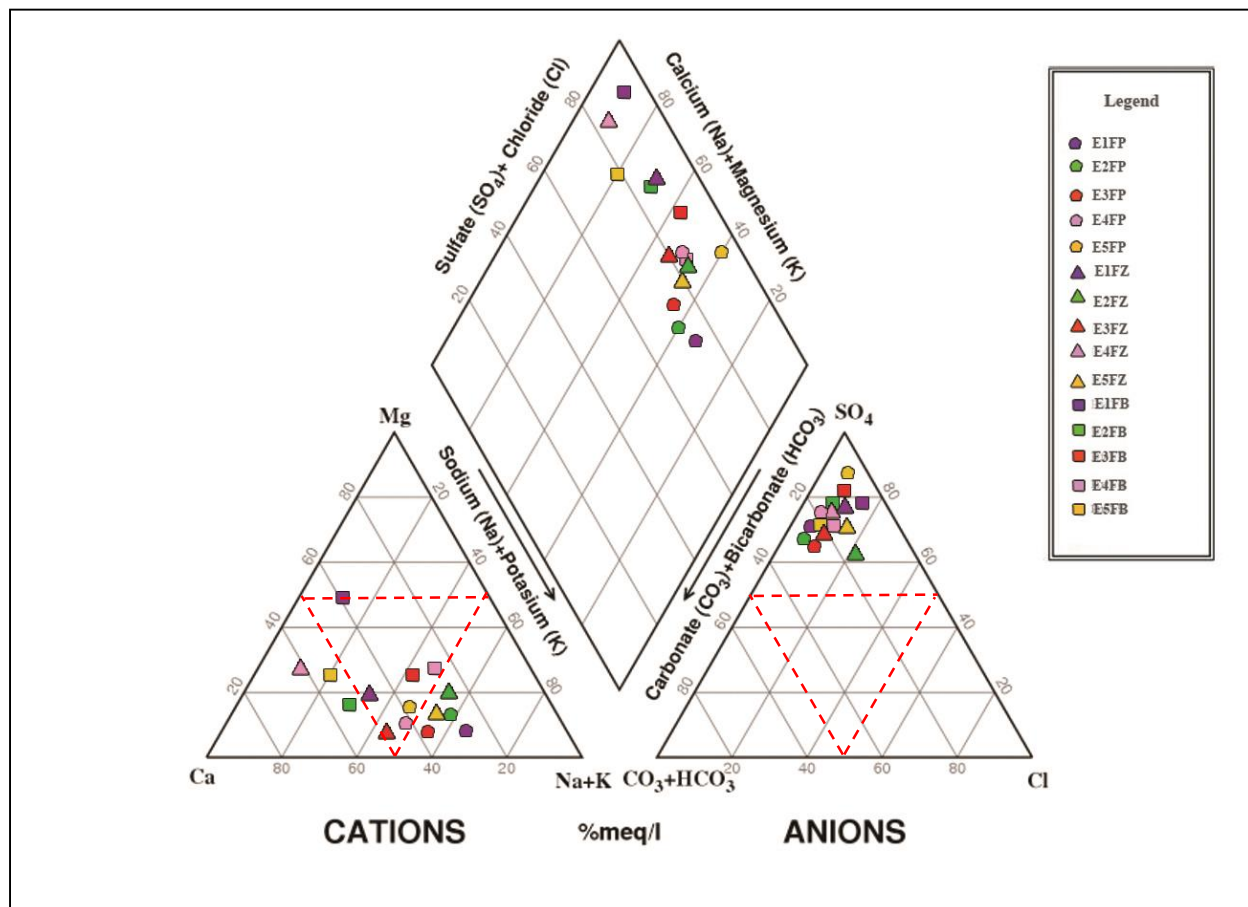
اسفالریت (ZnS)، گالن (PbS)، پیریت (FeS_2)، آرسنوپیریت ($FeAsS$) می‌باشد که مؤید نتیجه‌گیری فوق است (شکل ۴-۶ و شکل ۴-۷).

کاتیون غالب در نمونه‌های مورد مطالعه سدیم است. غلظت یون سدیم در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۵ تا ۳/۷ (meq/l) تغییر می‌کند و میانگین آن ۲ meq/l می‌باشد. هم‌چنین غلظت یون کلسیم در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱/۰ تا ۲/۳ (meq/l) تغییر می‌کند و میانگین آن ۱/۵ meq/l است. بالاتر بودن غلظت سدیم و کلسیم در مقایسه با سایر کاتیون‌ها را می‌توان به حضور آئروسول‌های ناشی از سازندهای تبخیری منطقه نسبت داد، چرا که آمفیبولیت و گنیس و سنگ‌های کربناتی در این منطقه رخنمون گسترده‌ای دارند. هم‌چنین بالا بودن غلظت سدیم نسبت به کلسیم به علت انحلال‌پذیری بیشتر آئروسول‌ها با ترکیبات هالیت در مقایسه با ترکیبات کربنات می‌باشد. سنگ‌های تبخیری و کربناتی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه در اثر فرآیند معدنکاری خرد شده و این امر باعث افزایش غلظت سدیم در آئروسول‌ها می‌شود. مطالعات SEM و EDX نمونه‌های مورد مطالعه حضور کانی‌های سدیم‌دار مانند آمفیبول $(Na_3AlF_6)(OH,F)_2$ (Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Li) $_5 Al_2(Si_6, Al_2, O_{27})$ ، سولفات سدیم (Na_2SO_4)، نیترات سدیم ($NaNO_3$) و کریولیت (Na_3AlF_6) را تأیید می‌نماید (شکل ۴-۶) و (شکل ۴-۷). بر اساس نتایج حاصل از مطالعات EDX حضور سایر یون‌ها نیز وابسته به زمین‌شناسی منطقه می‌باشد.

۴-۳-۵- تیپ نمونه‌های بارش

رسم نمودار پایپر برای نمونه‌های مورد مطالعه (شکل ۴-۱۴) نشان می‌دهد که یون‌های سولفات، سدیم و کلسیم گونه‌های یونی غالب هستند. بیشتر نمونه‌ها نزدیک به رأس سولفات قرار می‌گیرند، از این‌رو تیپ نمونه‌های مورد مطالعه سولفاتی است. هم‌چنین رخساره‌ی غالب نمونه‌ها حدواسط $Na+K$ و Ca است که نشانگر تأثیر زمین‌شناسی منطقه بر ترکیب یونی نمونه‌های بارش می‌باشد. به استثناء نمونه‌ی بارش ایستگاه ۱ فصل پائیز که غلظت $Na+K$ آن ۴/۱ meq/l و به‌طور مشخص سدیم می‌باشد و نیز نمونه‌ی بارش ایستگاه ۴ فصل

زمستان که غلظت Ca آن ۱/۶ meq/l و به‌طور مشخص کربناته می‌باشد، سایر نمونه‌ها در مثلث حدواسط یا نزدیک به آن قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۱۴: نمودار Piper برای تعیین تیپ آب باران منطقه‌ی انگوران

۴-۳-۶- غلظت اضافی یون‌های اصلی نسبت به آب دریا در نمونه‌های بارش

بر اساس نتایج تجزیه‌ی یون‌های اصلی در نمونه‌های بارش، می‌توان غلظت یون اضافی را نسبت به ترکیب آب دریا محاسبه نمود. غلظت‌های یون اضافی نمونه‌های بارش منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به آب دریا بر اساس رابطه‌ی (۴-۱۸) قابل محاسبه است (جدول ۴-۲۱) (Berner and Bwrner, 1996):

$$\text{غلظت } \text{Cl}^- \times (\text{نسبت یون } X \text{ در آب دریا به } \text{Cl}^-) - \text{مقدار کل یون } X = \text{یون اضافی } X \quad (\text{رابطه‌ی } 4-18)$$

در جدول ۴-۹، غلظت اضافی یون‌های اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه، نسبت به ترکیب آب دریا ارائه شده است.

جدول ۴-۲۱: غلظت‌های یون اضافی (درصد) در نمونه‌های بارش محدوده‌ی مورد مطالعه

موقعیت	ایستگاه	SO ₄	K	Na	Mg	Ca
محدوده‌ی معدنی	۱	۹۷/۶	۹۷/۶	۹۷/۳	۹۴/۳	۹۹/۳
	۲	۹۹/۶	۹۹/۳	۹۹/۳	۹۶/۴	۹۹/۰
	۳	۹۹/۵	۹۶/۹	۹۷/۳	۹۸/۴	۹۹/۳
پایین دست	۴	۹۹/۴	۹۷/۶	۹۸/۱	۹۷/۶	۹۲/۹
	۵	۹۹/۶	۹۹/۶	۹۷/۳	۹۷/۳	۹۹/۵
محدوده‌ی معدنی	۱	۹۸/۷	۹۹/۷	۹۷/۴	۹۸/۸	۹۹/۵
	۲	۹۹/۶	۹۹/۶	۹۷/۳	۹۸/۴	۹۹/۰
	۳	۹۹/۲	۹۹/۰	۹۵/۹	۹۲/۹	۹۹/۰
پایین دست	۴	۹۹/۶	۹۶/۱	۹۷/۸	۹۸/۶	۹۹/۴
	۵	۹۹/۵	۹۹/۰	۹۷/۲	۹۷/۸	۹۹/۴
محدوده‌ی معدنی	۱	۹۷/۶	۹۸/۴	۷۹/۴	۹۳/۸	۹۹/۳
	۲	۹۷/۱	۹۶/۷	۹۶/۸	۹۷/۸	۹۹/۳
	۳	۹۸/۹	۹۵/۲	۹۱/۷	۹۶/۹	۹۹/۱
پایین دست	۴	۹۹/۶	۹۶/۳	۹۶/۸	۹۸/۷	۹۹/۱
	۵	۹۹/۶	۹۸/۷	۹۵/۸	۹۷/۵	۹۹/۴

بر اساس نتایج به‌دست آمده در تمام ایستگاه‌ها، بیش از ۹۰ درصد غلظت یون‌ها منشاء غیر دریایی (آلودگی یا قاره‌ای) دارند. بنابراین فعالیت‌های معدنکاری سبب افزایش غلظت آئروسول‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه و در نتیجه، افزایش غلظت یون‌های اصلی شده است.

۴-۳-۷- بررسی غلظت عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های بارش

میانگین غلظت عناصر بالقوه سمّی (Zn, Pb, As, Cd) در نمونه‌های مورد مطالعه در

جدول ۴-۲۲ آورده شده است. مقایسه‌ی میانگین غلظت عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های مورد مطالعه با مطالعات

سایر نقاط جهان و ایران نشان می‌دهد که غلظت آرسنیک حل شده در نمونه‌های بارش محدوده‌ی معدنی انگوران بیشتر می‌باشد (جدول ۴-۲۳) و (جدول ۴-۲۴).

جدول ۴-۲۲: غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های آب باران (mg/l)

فصل	ایستگاه	As	Cd	Pb	Zn
پائیز	۱	۲/۳۳	۰/۰۲	۱/۳۶	۲/۱۵
	۲	۱۲/۱۷	۰/۰۱	۱/۲۴	۱/۱۵
	۳	۹/۴۰	۰/۰۶	۱/۹۶	۱/۹۳
	۴	۱۵/۳۱	۰/۰۱	۱/۹۷	۰/۳۲
	۵	۸/۳۳	۰/۰۰	۱/۸۶	۰/۹۳
زمستان	۱	۴/۴۹	۰/۰۱	۲/۵۶	۲/۴۰
	۲	۶/۴۸	۰/۰۳	۱/۵۲	۱/۲۴
	۳	۲/۲۰	۰/۰۲	۰/۵۳	۰/۷۸
	۴	۲/۸۸	۰/۰۱	۰/۹۴	۰/۲۷
	۵	۴/۷۴	۰/۰۰	۱/۶۴	۱/۳۶
بهار	۱	۱۷/۰۶	۰/۰۳	۰/۷۲	۰/۹۵
	۲	۲۱/۳۲	۰/۰۲	۱/۵۰	۰/۱۲
	۳	۱۵/۷۴	۰/۰۰	۱/۴۷	۰/۶۷
	۴	۲۴/۰۷	۰/۰۰	۰/۶۰	۰/۷۷
	۵	۱/۲۱	۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۵۸
میانگین	۹/۸۴	۰/۰۱	۱/۳۸	۱/۰۴	

جدول ۴-۲۳: غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در آب باران - نقاط مختلف جهان

As (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	مناطق مختلف جهان
۰/۲۷	۰/۱۵	۳/۰۵	۲۰/۶۶	انگلستان ^(I)
-	-	۲۹/۸۱	۱۸/۸۱	عراق ^(II)
-	۰/۸	۰/۱۹	۹/۴۲	برزیل ^(III)
-	۵۲	۶۶	۲۱۰	اردن ^(IV)
۰/۴۵	۸/۱۲	۰/۲۵	-	هند ^(V)

UK- air standard^(I), Al-Adili and Maatooq (2008)^(II), Teixeira and *et al* (2008)^(III), Al-Khashman (2009)^(IV), Vediya and Patel (2011)^(V)

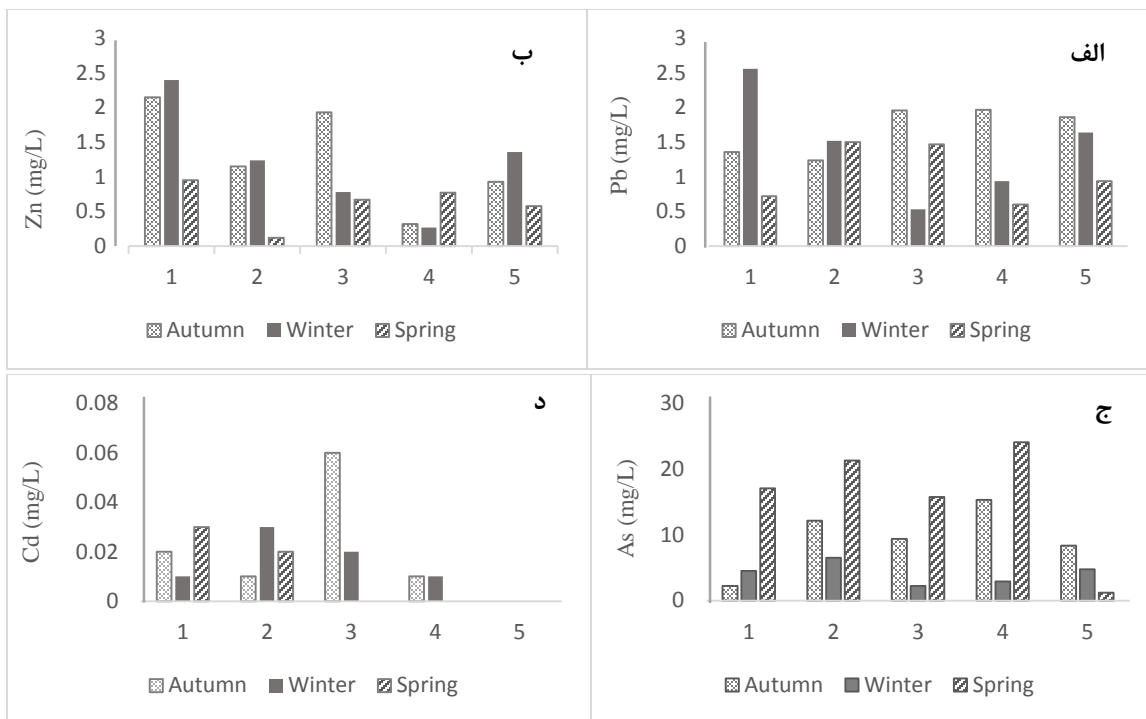
جدول ۴-۲۴: غلظت عناصر بالقوه سمّی موجود در آب باران - نقاط مختلف ایران

As (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	مناطق مختلف ایران
-	-	۱۳/۹۷	۱۸/۲۵	شیراز ^(I)
۰/۲۶	-	۰/۱۸	۰/۱۸	اراک ^(II)
۳/۹۱	۰/۵۸	۱۰/۸	۴۷/۴۹	زنجان ^(III)

Moore and Attar (2011)^(I)[۱۳]، Ghadimi (2014)^(II)[۲۹]، Farrahmandkia and *et al* (2010)^(III)[۲۰]

غلظت بالای آرسنیک را می‌توان به وزن مخصوص آن ($1/79 \text{ gr/cm}^3$) در مقایسه با وزن مخصوص سرب و روی به ترتیب $11/3 \text{ gr/cm}^3$ و $7/14 \text{ gr/cm}^3$ نسبت داد. با توجه به مقادیر وزن مخصوص عناصر مورد مطالعه، آرسنیک توانایی اوج‌گیری بیشتری دارد، که سبب افزایش زمان ماندگاری و قابلیت انتشار آن می‌شود (Lerman, 1979; Smedley and Kinniburgh, 2005). هم‌چنین قابلیت انحلال آرسنیک بر خلاف سرب، روی و کادمیم در مقادیر pH قلیایی افزایش می‌یابد (Panettiere *et al.* 2000).

از سوی دیگر، غلظت عناصر روی، سرب، کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده از محدوده‌ی معدنی بیش از غلظت این عناصر در نمونه‌های برداشت شده از خارج محدوده‌ی معدنی می‌باشد. به‌طور کلی غلظت عناصر به ترتیب در فصل زمستان < پاییز < بهار است. با توجه به حجم بارش در فصل زمستان (۸۸/۱ سانتی‌متر مکعب)، بهار (۲۴۵/۲ سانتی‌متر مکعب) و پاییز (۱۸۰/۹ سانتی‌متر مکعب) مشاهده می‌گردد که بین حجم بارش و غلظت عناصر رابطه‌ی عکس وجود دارد. بیشترین غلظت عنصر روی در تمام فصل‌ها در ایستگاه ۱ (توده‌ی ماده‌ی معدنی) مشاهده می‌شود، که می‌توان دلیل آن را به حضور آئروسول‌های حاوی روی در این ایستگاه و واکنش آئروسول‌ها با بارش جوّی نسبت داد. میانگین غلظت آرسنیک در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار به ترتیب ۹/۵، ۴/۲ و ۱۵/۹ میلی‌اکی والان بر لیتر می‌باشد. با افزایش حجم بارندگی، غلظت آرسنیک نیز افزایش می‌یابد. روند تغییرات غلظت آرسنیک در فصل‌های مختلف به شکل بهار < پاییز < زمستان می‌باشد (شکل ۴-۱۵) که علت آن را می‌توان به انحلال‌پذیری بالاتر آرسنیک در محیط‌های قلیایی‌تر نسبت داد (Panettiere *et al.* 2000).



شکل ۴-۱۵: روند تغییر عناصر بالقوه سمی در طول یکسال بارندگی در منطقه معدنی انگوران

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده بالاترین غلظت کل ذرات آئروسول (TPS) در محدوده‌ی معدنی مشاهده می‌شود. همچنین غلظت کل ذرات آئروسول در بالادست معدن نسبت به پائین دست آن کمتر است، که نشانگر تاثیر جریان باد بر انتشار ذرات معلق می‌باشد. میزان PM_{10} نسبت به $PM_{2.5}$ در محدوده معدنی بیشتر از سایر بخش‌هاست، همچنین شکل ذرات در بخش معدنی بیشتر زاویه‌دار می‌باشد که نشانگر منشاء محلی این ذرات می‌باشد. با دور شدن از محل معدن و به طرف پائین دست و در جهت باد غالب، نسبت PM_{10} به $PM_{2.5}$ کاهش یافته و ذرات دانه‌ریزتر و خوش فرم‌تر می‌شوند که بیان‌کننده منشاء دورتر ذرات و انتقال آن‌ها توسط بادهای غالب می‌باشد. گسترش ذرات $PM_{2.5}$ در بخش پایین دست (جهت باد غالب) و قابلیت نفوذ ذرات $PM_{2.5}$ به خون و بخش‌های تحتانی ریه و نیز بالا بودن مقادیر مواجهه‌ی فردی برای این ذرات در ایستگاه ۹ (روستای قلعه‌جوق)، احتمال ابتلا به انواع بیماری‌های قلبی و ریوی برای ساکنین روستا را افزایش می‌دهد. به‌طور کلی، بین اندازه‌ی ذرات و شدت تاثیر آن‌ها بر سلامت رابطه‌ی معناداری وجود دارد. ذرات ریز و زاویه‌دار با اتصال به مژک‌های مجاری تنفسی به بخش‌های آلوئول نفوذ می‌کند و سبب کاهش عملکرد شش‌ها می‌شوند. حضور عناصر بالقوه سمی در ذرات $PM_{2.5}$ با اندازه کمتر از ۱ میکرون، جذب این عناصر را از طریق بافت‌های بدن تسریع می‌بخشد و می‌تواند غلظت سرب خون را در اثر تماس و استنشاق افزایش دهد. کارکنان ۲۴ ساعته معدن و ساکنین منطقه به دلیل بالا بودن میزان مواجهه با این ذرات بیشتر در معرض تهدید سلامت قرار دارند.

بر اساس مقادیر محاسبه شده، شاخص کیفیت هوا (AQI)، هوای ایستگاه‌های بالادست معدن (۱ و ۲)، برای هر دو گروه ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در محدوده‌ی پاک می‌باشد. مقادیر این شاخص در محدوده‌ی معدنی برای ذرات PM_{10} نشانگر پاک تا سالم بودن هوا و برای ذرات $PM_{2.5}$ نشانگر ناسالم بودن هوا برای گروه حساس و هوای بسیار ناسالم می‌باشد. در ایستگاه‌های پائین دست معدن (۸ و ۹)، شاخص کیفیت هوا برای ذرات PM_{10} نشانگر هوای پاک و برای ذرات $PM_{2.5}$ نشانگر هوای ناسالم برای گروه حساس می‌باشد. ایستگاه‌های ۳ (محل انباشت باطله‌ها) و ۵ (محل انباشت مواد معدنی) از جمله آلوده‌ترین ایستگاه‌ها از نظر شاخص کیفیت هوا می‌باشند.

غلظت عناصر بالقوه سمّی (روی، سرب، کادمیم، آرسنیک) در نمونه‌های برداشت شده از محدوده‌ی معدن (ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) بیش از خارج محدوده‌ی معدن (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۸ و ۹) می‌باشد، که نشان دهنده تاثیر فعالیت معدنکاری بر افزایش غلظت عناصر بالقوه سمّی در آئروسول‌ها است. غلظت عناصر در نمونه‌های بالا دست معدن (ایستگاه‌های ۱ و ۲)، که در خلاف جهت باد غالب منطقه برداشت شده‌اند، کمتر از غلظت عناصر در نمونه‌های پایین دست معدن (ایستگاه‌های ۸ و ۹) می‌باشد، که علت آن تاثیر باد بر نشر ذرات آئروسول حاوی عناصر بالقوه سمّی است. بیشینه‌ی غلظت عناصر روی، سرب، کادمیم و آرسنیک در تمام فصل‌ها در ایستگاه ۷ (مجاور واحد خردایش) مشاهده می‌شود.

ترکیب کانی‌شناسی غالب ذرات آئروسول محدوده‌ی مورد مطالعه را می‌توان در سه فاز کانیاپی کربناتی، سیلیکاتی و سولفیدی جای داد که منطبق بر کانی‌شناسی کانسار انگوران می‌باشد. اندازه‌ی متوسط ذرات آئروسول بین ۰/۲۵ تا ۲۱/۸۷ میکرومتر متغیر است. به لحاظ کانی‌شناسی، آئروسول‌های کربناتی بیشترین اندازه و آئروسول‌های سولفیدی و حاوی عناصر بالقوه سمّی کمترین اندازه را دارند. با استناد به بررسی‌های SEM، ذرات آئروسول به شکل‌های نامنظم و گوشه‌دار، کروی و بیضوی، سوزنی و لوزی حضور دارند. با مبنا قرار دادن جهت باد غالب، با دور شدن از منشأ تولید ذرات آئروسول (معدنکاری)، اندازه‌ی این ذرات ریزتر و شکل آن‌ها منظم‌تر شده است که نشان از حمل این ذرات توسط باد است، در حالیکه ذرات با منشأ محلی درشت‌تر و فرم شکلی آن‌ها اولیه (نامنظم و گوشه‌دار) هستند.

شیمی آب باران هر منطقه به شرایط محیطی آن منطقه بستگی دارد. در منطقه‌ی معدنی انگوران به علت رخنمون وسیع توالی‌های کربناتی و هم‌چنین شرایط اقلیمی و نوع بارش منطقه که بیشتر به صورت برف می‌باشد و نیز به دلیل برف پوش بودن بستر زمین در طول فصل‌های بارندگی، غلظت یون‌های اصلی کم‌تر از محدوده استاندارد جهانی قرار دارد. غلظت یون‌های اصلی و عناصر بالقوه سمّی به ترتیب در فصل بهار > فصل پاییز > فصل زمستان می‌باشد که این امر ناشی از افزایش حجم بارش در فصل‌های بهار و پاییز است. آرسنیک رفتار متفاوتی را در مقایسه با سایر عناصر مورد مطالعه نشان می‌دهد. غلظت عنصر آرسنیک در نمونه‌های بارش به

دلیل پایین بودن وزن مخصوص آن (در مقایسه با سرب و روی) و همچنین توان واکنش‌پذیری بالای آن با آب و نیز افزایش انحلال آرسنیک در محیط قلیایی بیشتر از سایر نقاط جهان و ایران است. همچنین غلظت کم عناصر سرب و روی را می‌توان به بالا بودن وزن مخصوص آن‌ها نسبت داد که توان اوج‌گیری و زمان ماندگاری این عناصر را در جو کاهش می‌دهد.

غالب بودن سولفات در گروه کاتیون‌ها و سدیم در گروه آنیون‌ها منعکس‌کننده‌ی تیپ سولفاتی و رخساره‌ی حدواسط سدیک-کلسیک در بارش‌های منطقه می‌باشد. منشاء یون‌های اصلی و نیز عناصر بالقوه سمی را می‌توان به زمین‌شناسی منطقه نسبت داد. یون‌های اصلی و عناصر بالقوه سمی، در اثر فعالیت‌های معدنکاری (شامل استخراج، انتقال، دیپوی ماده‌ی معدنی و باطله، بارگیری در محل انباشت معدنی و خردایش در ایستگاه کالسیمین) منتشر می‌شوند. با استناد به نتایج حاصل از این مطالعه، بارش جوئی منطقه متأثر از خصوصیات فیزیکوشیمیایی منطقه می‌باشد و از نظر غلظت یون‌های اصلی و عناصر بالقوه سمی در محدوده‌ی قابل قبول قرار دارد.

۵-۲- پیشنهادها

۵-۲-۱- پیشنهادهای مدیریتی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اقدامات مدیریتی زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- با توجه به بیشینه‌ی آلودگی برای شاخص کیفیت هوا (AQI) در ایستگاه‌های دیپوی باطله و ماده‌ی معدنی، پیشنهاد می‌گردد باطله‌های معدن به صورت مهندسی شده دفن و تثبیت گردد و مواد معدنی در محل‌های سرپوشیده نگهداری شود.

۲- به منظور جلوگیری از تاثیر وزش باد بر توده‌های معدنی و باطله و نیز پیشگیری از تولید و انتشار ذرات معلق، کاشت گیاهان محلی (به ویژه گیاهان فرا انباشتگر) محدوده‌ی معدنی توصیه می‌شود.

- به منظور کاهش ضریب تاثیر آئروسول‌ها بر سلامت کارکنان، توصیه می‌گردد در محدوده‌ی معدن از ماسک‌های مرطوب استفاده شود.

۵-۲-۲- پیشنهادهایی برای مطالعات آینده

به منظور تکمیل مطالعه‌ی حاضر پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- ۱- انجام مطالعات مشابه در اطراف کارخانه‌های فرآوری منطقه به منظور تعیین سهم معدنکاری و فرآوری ماده‌ی معدنی در تولید و انتشار آئروسول‌های محدوده‌ی معدنی انگوران.
- ۲- بررسی غظت عناصر بالقوه سمّی موجود در آئروسول‌ها در خون و ریه‌ی کارکنان معدن و ساکنان محلی.

فهرست منابع

فهرست منابع

- ابراهیمی، م.ح.، آفتابی، ع.، محمدی‌نیایی، ر. (۱۳۹۰)، "ویژگی‌های ساختی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و الگوی تشکیل کانسار انگوران در مثلث کانسارهای نوع متصاعدی- رسوبی (Sedex)، سولفید توده‌ای (VMS) و دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، **مجله پترولوژی**، ۱، ۳، ۱-۱۰.
- اطلس راه‌های ایران، ۱۳۹۰.
- افیونی، م.، عرفان‌منش، م. (۱۳۸۱)، "آلودگی محیط زیست؛ آب، خاک و هوا." چاپ اول، نشر ارکان اصفهان، اصفهان.
- باباخانی، ع.، قلمقاش، ج. (۱۳۸۰)، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بیات، ر. (۱۳۸۳)، پایان‌نامه ارشد: "سهم‌بندی منابع تولید آلودگی هوای شهر تهران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- ترکیان، ا.، نعمت‌پور، ک. (۱۳۸۰)، "مهندسی کنترل آلودگی هوا." جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران، تهران.
- ترکیان، ا.، ده‌آبادی، م.، قادری‌نژاد، ف. (۱۳۹۲)، "مدلسازی انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از فعالیت‌های معدنی و ارائه راهکارهای کنترلی جهت کاهش آلودگی"، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، تبریز، ایران.
- دلجانی، ف. (۱۳۸۷)، پایان‌نامه ارشد: "بررسی و ارائه مدل پایش آلاینده‌های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی در هوا و تاثیر آن‌ها روی نزولات جوی و خاک منطقه"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- رضایی، ع. (۱۳۷۸)، "زمین‌شناسی کانسار سرب و روی انگوران"، گزارش زمین‌شناسی معدن سرب و روی انگوران. ۱۰۱۲ ص.
- سپهرنیا، ش.، فراهانی، ا. (۱۳۹۱)، "فن‌آوری‌های کاربردی در پایش کیفی هوای محیط". چاپ اول، انتشارات اندیشمند، تهران.
- عباس‌نژاد، ا. (۱۳۸۴)، "خاک‌شناسی برای زمین‌شناسان". چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید باهنر، کرمان.
- غیاث‌الدین، منصور. (۱۳۸۵)، "آلودگی هوا؛ منابع، اثرات و کنترل". چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- قشلاقی، افشین. (۱۳۸۸)، پایان‌نامه دکترا: "اثرات زیست محیطی ناشی از معدنکاری و استحصال کانسنگ در منطقه معدنی انگوران"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.
- قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط زیست. (۱۳۹۱)، چاپ اول، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران، تهران.
- کشمیری، ب.، خدایاری، ع. ا.، جعفری، ا. (۱۳۸۳)، "کاربرد نرم‌افزار DATAMINE در برآورد ذخیره کانسار انگوران". کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران.
- کیان‌پور راد، م. (۱۳۷۱)، "آلودگی هوا". (د. ج. اسپدینگ). چاپ اول، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران. (ترجمه)
- گزارش سالانه سازمان کل حفاظت محیط زیست استان زنجان، (۱۳۹۰).
- گزارش سالیانه سازمان هواشناسی ایران، (۱۳۹۴).
- گزارش اداره منابع طبیعی استان زنجان، (۱۳۸۹).
- لطفی، م. (۱۳۸۰)، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ نقشه ماهنشان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نوری، ج.، فردوسی، س. (۱۳۷۹)، "شیمی محیط زیست". چاپ اول، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

References

- Absalon D, Slesak B., 2010. The effects of changes in cadmium and lead air pollution on cancer incidence in children. *Sci Total Environ* 408:4420–4428
- Al-Adili, A.S. and Maatooq, J.S., 2008. Hydrochemical study of rainwater in Baghdad city-Iraq. *Engineering and Technology*, 26(4), 408–425.
- Al-Khashman, O. A. 2007. The Investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba city, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health*. 29, 197-207.
- Al-Khashman, O.A., 2009. Chemical characteristics of rainwater collected at a western site of Jordan. *Atmospheric Research*, 91, 53–61.
- Araujo, I. P. S., Costa, D. B., Rita, J. B., Moraes, D., 2014. Identification and characterization of particulate matter concentration at construction jobsites. *Sustainability: Sci. Pract. Policy*. 6, 7666-7688.
- Arden Pope,c., W. Dockery,D.2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect.*Journal of Air & Waste Management Association*,56:709-742.
- Bavec. Spela., Gosar. Mateja., Miler. Milos., 2016. Geochemical investigation of potentially harmful elements in household dust from a mercury-contaminated site, the town of Idrija (Slovenia). *Environ Geochem Health*, DOI 10.1007/s10653-016-9819-z.
- Berner. E. K., Berner. R. A., 1996. *Global environment: water, air, and geochemical cycles*. Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall. Inc.
- Berntsen, Sveinung., 2013. Indoor air pollution in rural China; associated with lung function?. University of AGDER. Department of public health, sport and nutrition, 91pp.
- Borg. G., Daliran. F., 2004. Hypogene and supergene formation of sulphides and non-sulphides at the Angouran high-grade zinc deposit, NW-Iran, In: Abstract volume of Geoscience Africa 2004. University of the Witwatersrand, Johannesburg, P: 69–70.
- Boulevard. Wilson., Arlington. V. A. Suite., 2014. Health effects of particulate air pollution. MECA report, (202) 296-4797.
- Burnol. L., 1968. Contribution a l'étude des gisements de plomb et zinc de l'Iran. Essais de classification paragenetique, Geological Survey of Iran Report, No:11, P: 1–113.
- Cadum E., Berti G., Biggeri A., et al., 2009. The results of EpiAir and the national and international literature. *Epidemiol Prev*;33:113-9;123-43.
- Colls. J., 1997. *Air pollution An Introduction* E & EN Spon PP 184& 309.
- Colls. J., 2002. *Air pollution 2nd*. Spon press, London, PP28.
- Daliran. F., Hofstra, A., Walther, J., Stüben, D., 2002. Agdarreh & Zarshuran SRHDG deposits, Takab region, NW-Iran, Annual meeting of the Geological Society of America, Denver, P: 63–681

- Daliran, F., Borg, G., 2005. Characterisation of the nonsulfide zinc ore at Angouran, northwestern Iran, and its genetic aspects, In: Jingwen M., Bierlein F.P., (eds) Mineral deposit research: meeting the global change, vol 2. Springer, Berlin Heidelberg New York, P: 913–916.
- Dockery, D. W., Sperizer, F. E., Stram, D. O., Ware, J. H., Spengler, J. D., Ferris, B. G., 1989. Effects of inhalable particles on respiratory health of children. *Am. Rev. Respir. Dis.* 139:587-594.
- Douglas, J.W.B., Waller, R.E., 1966. Air pollution and Respiratory Infection in Children., *British Journal of Preventive and Social Medicine.*, Vol. 20, No. 1 (Jan., 1966), pp 1-8.
- Duong, T. T. T., Lee, B. K. 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristic. *J. Environ, Manag.* 92: 554-562.
- Eby, G. N., 2004. Principles of Environmental Geochemistry. University of Massachusetts, Lowell, THOMSON, p. 511.
- EEA., 2012. Air quality in Europe. DOI 10.2800/55823.
- EEA., 2014. Air quality in Europe. DOI 10.2800/22775.
- Eller Peter. M., 1991. NIOSH Manual of analytical method. NIOSH Cincinnati Ohio, Vol 102.
- EpiAir., 2009. Air pollution and health edipemiological surveillance and prevention. *Epidemiol Prev*; 33 (6), Novembre- December.
- Farahmandkia, Z., Mehrasbi, M. R., Sekhavatjou, M. S., 2010. Relationship between concentrations of heavy metals in wet precipitation and atmospheric PM10 particles in Zanjan, Iran. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng*, Vol: 8(1), 49-56pp.
- Franklin, M., Zeka, A., Schwartz, J., 2007. Association between PM2.5 and all-cause and specific-cause mortality in 27 US communities. *J Expo Sci Environ Epidemiol*;17:279-87.
- Garrels, R. M., F. T. Mackenzie., 1971. *Evolution of sedimentary rocks*. New York: W. W. Norton & Co. Inc.
- Garyc, A., Samimi, B., Ziskind, M., 1993. Weill H. X-ray diffraction determination of alpha-quartz in respirable and total dust sample from sand -blasting operation. *Am Ind Hyg Assoc J*.
- Ghadimi, F., 2014. A statistical and support vector machine approach for assessing heavy metal contamination in soil, dust and rainwater from the Arak city, Iran. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, Vol: 8(10), 1539-1556pp.
- Ghose, M. K., Majee, S. R., 2000. "Sources of air pollution due to coal mining and their impacts in Jharia coalfield." *Environment international*, Vol. 26, pp. 81-85.
- Ghose, M. K., Banerjee, S. K., 1995. "Status of air pollution caused by coal washery projects in India." *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 38, pp. 97-105.
- Gilg, H.A., 1996. Fluid inclusion and isotope constraints on the genesis of high-temperature carbonate-hosted Pb–Zn–Ag deposits, *Society of Economic Geologists Special Publication*, No:4 , P:501–514

- Gilg. H.A., Allen. C., Balassone. G., Boni. M., Moore. F., 2003. The 3- stage evolution of the Angouran Zn “oxide”-sulfide deposit, Iran, In: Eliopoulos D et al (eds) Mineral exploration and sustainable development. Millpress, Rotterdam P: 77–80.
- Giri. D., Mirthy. K., Adhikary. P.R., Khanal. S.N., 2007. Estimation of number of deaths as sociated with exposure to excess ambient PM10 air pollution, International Journal Environmental Sience, Vol: 4(2): 183-188 pp. ISSN: 1735-1472.
- Griffin, R. D., 2007. Principles of air quality management. Second edition, CRC Press, p. 334.
- Hamdi. B., 1995. Precambrian–Cambrian deposits in Iran, In: Hushmandzadeh A., (ed) Treatise of the geology of Iran, vol 20. Geological Survey of Iran, Tehran, P: 1–535.
- Hemmiki,k., 1994. cancer risk of air pollution, Epidemical evidence., Environmental health perspectives Vol. 102 sup. October 4.
- Hirayama. K., 1968. Geological study on the Anguran Mine, northwestern part of Iran, Geological Survey of Japan Report, Vol: 36, No: 226, P: 1–26.
- Hounslow, A., 1995. “Water quality data: Analysis and interpretation.” CRC-Press, 1st edition, pp.416.
- Irene Rodriguez E., Salvador Galí E., Marcos C., 2009. "Atmospheric inorganic aerosol of a nonindustrial city in the centre of an industrial region of the North of Spain, and its possible influence on the climate on a regional scale", Environmental Geology, 56 (2009) 1551-1561.
- Jafari. A., Keshmiri. B., Khodayari. A. A., 2006. Mine ore reserve estimation using three-dimensional modeling. International Journal of Industrial Engineering and Production Management, Vol: 17(4), 97-104pp.
- Karimi. P., Mehrpour. O., Abdollahi. M., 2012. A Systematic review on Status of lead pollution and toxicity in Iran; Guidance for preventive measures, DARU Journal of pharmaceutical Sciences, Vol: 20:2, 17pp.
- Koch. W. F, Marinenko. G and Paule. R. C; 1986. Development of a standard reference material for rainwater analysis, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 91, 33-41pp, Feb 1986.
- Kulkarni. P., Baron. P.A, and Willeke. K (Eds)., 2011. Aerosol Measurement. Principles, Techniques, and Applications, Wiley and Sons.Inc., Hoboken, New Jersey.
- Langmuir. D; 1997. Aqueous Environmental Geochemistry, . Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall. Inc, 618p.
- Lerman. A., 1979. Geochemical processes. Water and sediment environments. Viii. 481pp. numerous figs. New York: wiley. ISBN 0 471 03263 8.
- Leung,A.O.W., et al., 2008. Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and human health implications in Southeast China. Environ. Sci. Technol. 42: 2674-2680.

- Ma, Y et al., 2008. " Monitoring of air pollution and mining based on grid sensors London." *Sensors.*, Vol. 8(6), pp. 3601-3623.
- Mintz. David., 2014. Guideline for reporting of daily air quality- Air Quality Index (AQI). EPA- 454/B-06001 May 2014.
- Moore. F and Attar. A., 2011. Rainwater and the resulting runoff chemistry in Shiraz city, southwest Iran, *International Journal of Environmental Studies*, Doi: 10.1080/00207233.2011.591898, 1-15pp.
- Parveen. Rahat., Saini. Renuka., Taneja. Ajay., 2016. Chemical characterization and health risk assessment of soil and airborne particulates metals and metalloids in populated semiarid region, Agra, India. *Environmental geochemistry and health*, DOI 10.1007/s10653-016-9822-4. 1-15pp, 13 April 2016.
- Panettiere. P., Cortecci. G., Dinelli. E., Bencini. A., Guidi. M., 2000. Chemistry and sulfur isotopic composition of precipitation at Bologna, Italy. *Applied Geochemistry* 15, 1455-1467pp.
- Reynols, R. L., Goldstein, H.L., 2010. Atmospheric mineral dust in dryland ecosystems: Applications of environmental magnetism. *Geochem, Geophys. Geosystems*. 11: 1-20.
- Schwartz S. E., and M. O. Andreae, 1996. Uncertainty in climate change caused by anthropogenic aerosols. *Science*, 272, 1121-1122.
- Seinfeld. J.H., Pandis. S.N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Wiley Interscience.
- Selinus, O et al., 2005. *Essentials of medical geology (Impacts of the natural environment on public health)*. Elsevier Academic press, p. 829.
- Sharma, M. & Maloo, S., 2005. "Assessment of ambient air PM10 and PM2.5 and characterization of PM10 in the city of Kanpur, India", *Atmospheric Environment*, 39, no.33, pp. 6015-6026.
- Smedley, P. L., and Kinniburgh, D. G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17, 517-568.
- Stern, A.C et al., 1984. *Fundamental of air pollution*. Second edition, Academic press, Inc. Orlando.
- Teixeira, E.C., Migliavacca, D., Filho, S., Mchado, A.C.M. and Dallarosa, J.B., 2008. Study of wet precipitation and its chemical composition in South of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 80(2), 381–395.
- The report compiles and summarizes recent studies and research programs that have been conducted on the effects of air pollution particulate matter on human health. *Health effects of particulate air pollution*. 2014. MECA. 202, 296-4797
- Todd. D.K., 1980. *Ground water Hydrology*. 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 539p.
- Torkian, A et al., 2013. "Dispersion modeling of air pollution from open pit copper mine." 23rd world mining congress "international symposium on automation and robotics in the construction and mining industries". Montreal.

- Vediya. S. D., Patel. S. S., 2011. Contamination of toxic metals in Vastral lake, Ahmadabad, Gujarat, India. International Journal of Pharmacy & Life Sciences, Vol: 2(10), Oct 2011, 1174-1176pp.
- Wei,B. , L.,Yang., 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Microchem. J. 94: 99-107.
- WHO., 2005. Air quality guidelines, Global update (Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide). ISBN 92 890 2192 6.
- Wiederkehr P., Yoon S.J., 1998. "Air quality indicators. In: Fenger J, Hertel O, Palmgren F (eds) Urban air pollution European aspects. Kluwer", Dordrecht.
- Winkelstein. W Jr., Kantor. S., Davis. EW., Maneri. Cs., Mosher. WE., 1968. the relationship of air pollution and economic status to total mortality and selected respiratory system mortality in men. II. Oxides of sulfur. Arch. Environ. Health, Vol. 16 (3): 401- 405pp.
- Www.UK-air.defra.gov
- Yanagita Y, Senjyu H, Asai M, et al., 2013. Air pollution irreversibly impairs lung function: a twenty-year follow-up of officially acknowledged victims in Japan. Tohoku J Exp Med;230:177-84.
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E.S., 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of xi'an central China. The Science of the Total Environment 355, 176-186.
- Zheng,N., et al., 2010. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, northeast of China. Sci. Total Environ. 408: 726-733.

Abstract:

Angouran lead and zinc mine located on northwest Iran, is the largest lead and zinc mine in the Middle East. The aim of this study is to evaluate concentration, geochemistry and mineralogy of aerosols in the mine area and beyond, to assess the health risk of aerosol particles and to study the hydro-chemical properties of precipitation samples in the study area. For this purpose, 36 aerosol samples were taken from the study area during one year (2014 -2015) in different seasons using standard methods. In addition, 15 samples of snow and rain were collected from the study area in order to study the Hydrogeochemical features of precipitation samples. According the results, the average concentration of total aerosol particles was the lowest (mean = 11.9 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)) upstream the mine (contrary to the prevailing wind direction), while, in the mining area was more than other areas (mean = 209.2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)). The exposure of people in sites upstream the mining area (contrary to the prevailing wind direction) for both particulate matter PM_{10} (mean = 290.4 ($\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)) and $\text{PM}_{2.5}$ (mean = 1586.6 ($\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)) is less than mine area with PM_{10} (mean = 6313.0 ($\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)) and $\text{PM}_{2.5}$ (mean = 2857.7 ($\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)), and downstream with PM_{10} (mean = 3210.0 ($\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)) and $\text{PM}_{2.5}$ (mean = 3216.8 ($\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)). The highest level of people exposure to the PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ was reported in the mine area and the areas downstream the mine (in the prevailing wind direction), respectively. Based on the air quality index, the air upstream the mine is clean, while, it is very unhealthy in mining areas and is unhealthy for sensitive groups downstream the mine. Based on the results of SEM and EDX, the dominant mineralogical composition of aerosol particles in the Angouran mine areas falls in the three mineral phases, carbonate, silicate and sulfide which matches the mineralogy of Angouran the ore deposit. Concentrations of potentially toxic elements in the aerosol samples taken from the mine areas are higher than samples taken from outside the mine area which represent the impact of mining activities on increased concentrations of potentially toxic elements in the air of the region. Compared to the international standards, the average concentration of cadmium in the area atmosphere (0.05 micrograms per cubic meter) is more than the standard. Regarding the enrichment factor more than 10 for most of the study samples, potentially toxic elements origin is anthropogenic (mining). Health risk assessments for potentially toxic elements in aerosols of the area shows that cadmium intake through ingestion route is risky for both children and adults. Hydro-chemical study of the rainfall samples reveals that the pH of precipitation samples is in the neutral range and possibly is influenced by dissolution of carbonate aerosols and existence of aluminum silicates. The type of precipitation samples is

sulfate and their facies is Ca and Na+K interface which indicates the aerosols dissolution effect on the ionic composition of precipitation samples. The concentration of dissolved arsenic in study samples is higher than mean concentration of the element in the uncontaminated precipitation samples and it increases with pH and rainfall volume.

Key words: *Mine, Angouran, Aerosol, Dry deposition, Wet deposition, Potentially toxic elements.*



دانشگاه صنعتی شاهرود

Shahrood University of Technology
Faculty of Geosciences
MSc Thesis in Environmental Geology

**Assesment of potentially toxic elements concentration in aerosols resulted
from mining operation in Anguran mine area**

By: Saeedeh Ghadimi

Supervisor:

Dr. Giti Forghani Tehrani

Advisore:

Ali Asadi

Septamber 2016