



## بررسی ویژگی‌های کانی شناختی و شیمیایی غبار مناطق مختلف شهر کرمان

سمیه رضائی\*، احمد عباس نژاد، زینب ذاکرین پور

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت مقاله: ۹۰/۹/۱۵، نسخه نهایی: ۹۱/۳/۷)

**چکیده:** یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی شهر کرمان، مسئله‌ی غبار آلودگی آن است. با توجه به اهمیت کانی‌شناسی در زمینه‌ی بررسی‌های زیست محیطی، غبار مناطق مختلف شهر کرمان از نظر کانی‌شناسی با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی و پراش پرتو X (XRD) و نیز از نظر شیمیایی به روش جذب اتمی (ICP-MS) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های کانی-شناسی در تمام نواحی شهر، کانی‌های کوارتز، کلسیت، فلدسپار، پیروکسن، میکا، زئولیت، سیلیکات‌های کلسیم‌آبدار و کانی‌های رسی بیشترین میزان ذرات غبار را به خود اختصاص می‌دهند. کاهش اندازه و گرد شدگی کانی‌های کوارتز و کلسیت از غرب به شرق، نشان دهنده‌ی خاستگاه این ذرات از ناحیه‌ی غرب است. حضور کانی جافنیت در غبار ناحیه‌ی مرکزی شهر می‌تواند ناشی از راه یافتن غبار کارخانه‌ی سیمان به آسمان شهر و فراوانی گیسومندین (نوعی زئولیت) در غبار ناحیه شمالی، ناشی از سطوح پلایبای شمال شهر است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نیز بیانگر بالا بودن غلظت عناصر As, Cr, Sn, Zn, Cd در غبار ناحیه‌ی غربی شهر بدلیل وجود فعالیت‌های انسانی و صنعتی به ویژه حضور کارخانه‌ی سیمان و ترافیک وسایل نقلیه در این مناطق است.

**واژه‌های کلیدی:** غبار؛ کرمان؛ گیسومندین؛ جافنیت؛ آنیت؛ XRD؛ آلودگی هوا.

### مقدمه

درجه‌ی تاثیرگذاری ذرات گرد و غبار وابسته به مقدار، ویژگی-های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی این ذرات است [۲]. البته تعیین ترکیب عناصر موجود در غبار می‌تواند در شناسایی عوامل ورود این عناصر و نیز تعیین خاستگاه‌های طبیعی و انسان‌زاد آنها نقش مهمی داشته باشد.

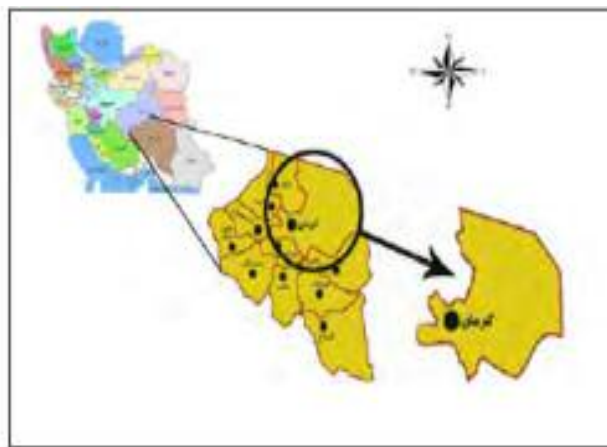
کرمان با مختصات جغرافیایی  $57^{\circ}$  تا  $57^{\circ} 7'$  طول شرقی و  $30^{\circ} 14'$  تا  $30^{\circ} 19'$  عرض شمالی، در گذشته و حال با پدیده‌ی گرد و غبار دست به گریبان بوده است، بطوریکه غبارهای با ترکیب‌های معدنی و آلاینده‌های صنعتی از مهمترین مشکلات زیست محیطی است که همواره کیفیت هوای این شهر را مورد تهدید قرار داده است. دارا بودن اقلیم گرم و خشک، وزش بادهای نسبتاً شدید، قرارگیری در یک کفه‌ی رسی خشک، کمبود یا نبودن پوشش گیاهی مناسب، به

در سال‌های اخیر پدیده‌ی گرد و غبار به عنوان یک مسئله مهم زیست محیطی، بخش‌های گسترده‌ای از ایران را تحت تاثیر قرار داده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بیش از ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی کشورمان تحت تاثیر بیابان‌زایی و ۵۰ میلیون هکتار دستخوش تهدید فرسایش بادی است [۱]. گرد و غبار از جنبه‌های متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد. تا کنون بررسی‌های بسیاری در زمینه‌ی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ذرات غبار صورت گرفته است، ولی بررسی غبار نیز بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی و سرشتی‌های شیمیایی عناصر همزمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است در حالی که، ترکیب کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار می‌تواند در شناسایی خاستگاه ذرات، مؤثرتر از سرشتی‌های شیمیایی آنها باشد.

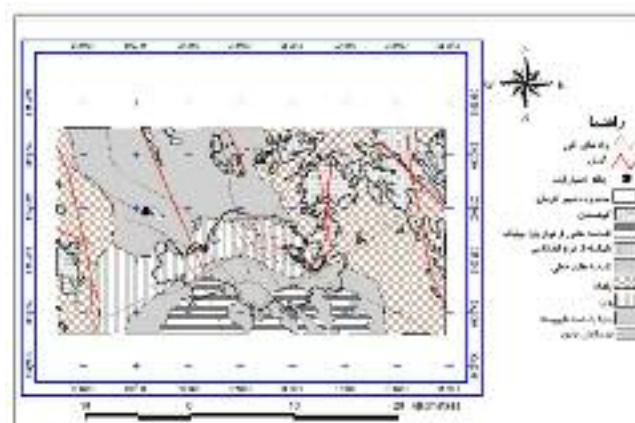
ویژه در جنوب شهر، قرارگیری صنایع مختلف مانند کارخانه سیمان، آزیست و شهرک‌های صنعتی در غرب، تخریب زمین‌های کشاورزی حاشیه شهر در اثر ساخت و ساز و افزایش جمعیت در سال‌های اخیر باعث حضورگرد و غبارهای آلوده و مواد معلق زیادی در هوای شهر کرمان شده است. در سده‌های اخیر، کرمان همواره در معرض تهدید ماسه‌های روان بوده و حرکت ماسه‌ها علاوه بر کاهش درجه‌ی آسایش ساکنین منطقه، عامل تهدید اراضی زراعی، سکونتگاه‌ها و ارتباطات بوده است. به گونه‌ای که در دهه‌ی ۱۳۴۰ کرمان در معرض شدیدترین طوفان‌های ماسه‌ی روان بوده است [۳]. حاشیه‌های غرب، جنوب غربی و جنوب کرمان شامل سطوح پلایایی و مخروط افکنه‌ای (مخروط افکنه‌های چاری و اختیارآباد)، تلماسه‌های بادی، جاده‌های خاکی و نخاله‌های ساختمانی هستند که با وزش بادهای کم سرعت نیز، غبار از آنها بر می‌خیزد. بیابان‌های دور دست غرب و جنوب غربی منطقه از جمله بیابان‌های استان یزد و دشت‌های رفسنجان و باغین نیز در غبار

آلودگی کرمان نقش دارند [۴]. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی کرمان را نشان می‌دهد.

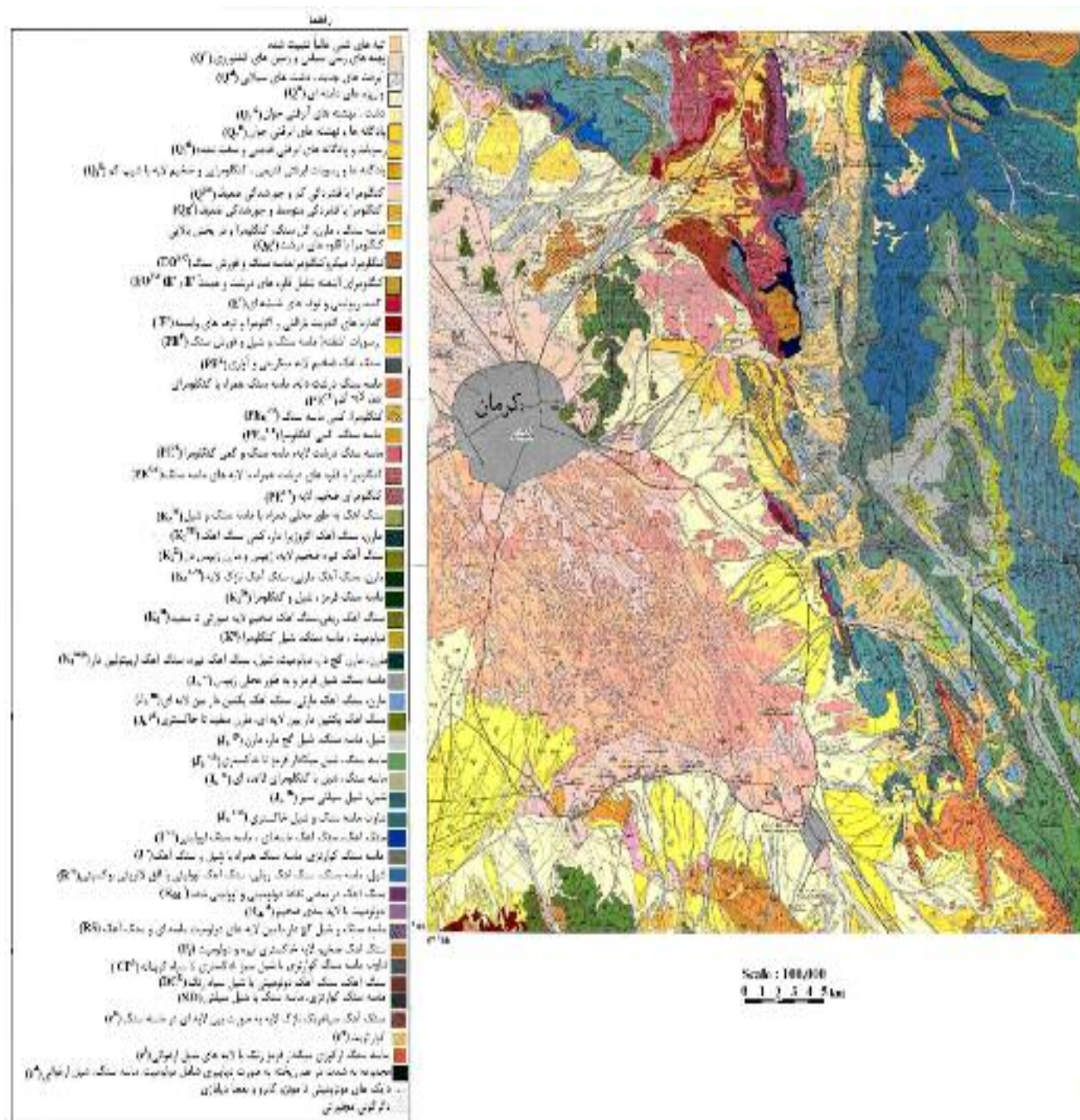
سازندهای زمین‌شناسی مختلف و چگونگی زمین‌ریخت‌شناسی شهر، بویژه رسوب‌های ناشی از فرسایش واحدهای آهکی کرتاسه در حاشیه‌ی شرق و شمال شرقی، باهادا در شمال غربی، مخروط افکنه‌های شمال شرقی، مخروط افکنه اختیار آباد در شمال غربی، پلایای متشکل از رسوب‌های ریز دانه رسی جنوب غربی، کفه رسی در غرب و جنوب‌غربی و تلماسه‌های جنوب و جنوب‌غربی شهر، نقش مؤثری در ورود ذرات گرد و غبار به کرمان دارند. شکل (۲) نقشه زمین‌ریخت‌شناسی و شکل (۳) نقشه‌ی زمین‌شناسی کرمان را نشان می‌دهد. تاکنون هیچگونه بررسی در زمینه ترکیب کانیایی و شیمیایی ذرات گرد و غبار کرمان صورت نگرفته است. از این رو در این پژوهش به شناسایی کانی‌ها و برخی عناصر در گرد و غبار کرمان پرداخته می‌شود.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر کرمان



شکل ۲ نقشه زمین‌ریخت‌شناسی شهر کرمان



شکل ۳ نقشه زمین شناسی شهر کرمان و حومه

### روش بررسی

غبار شهر کرمان به منظور تعیین نوع، ویژگی و روند تغییر کانی های تشکیل دهنده آن در مناطق مختلف شهر و نیز بر اساس نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی برخی عناصر به روش ICP-MS مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین از غبار مناطق مختلف در سطح شهر کرمان شامل: مناطقی در گستره ای میدان آزادی در مرکز شهر، شهرک مسکونی هوانیروز و شهرک صنعتی غرب شهر، شهرک شهید باهنر و انتهای بلوار شیراز در

شمال شهر، میدان ابوذر و دانشگاه شهید باهنر در جنوب شهر و گستره ای خیابان مدیریت و شهدا (زریسف) در شرق کرمان، در انتهای یک دوره ای یک ساله (۱۳۸۸-۱۳۸۹) نمونه برداری صورت گرفت. نمونه ها از ساختمان های مسکونی یک طبقه که بیشتر از مصالحی مانند بتن، آهن و آجر ساخته شده اند، جمع-آوری شدند. برای جمع آوری نمونه ها از ظروف شیشه ای مسطح که در ارتفاع بیش از یک متر در بخش های مختلفی مانند روی پشت بامها، دیوارها، پنجره ها و حیاط گذاشته شده

کلسیت، فلدسپارها، پیروکسن، میکا، ژئولیت، سیلیکات‌های کلسیم آبدار و کانی‌های رسی بیشترین میزان ذرات غبار را به خود اختصاص می‌دهند. تنها، در حضور کانی‌های خاص در برخی نواحی و تغییر در اندازه و سرشتی‌های ریخت‌شناسی کانی‌های یکسان در نواحی مختلف، تفاوت‌هایی دیده می‌شوند بنابراین نخست به بررسی ویژگی‌های کانی‌شناختی غبار هر ناحیه و سپس ترکیب شیمیایی غبار در آنها را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

### بررسی‌های کانی‌شناسی غبار شهر کرمان

#### کانی‌شناسی غبار در غرب شهر

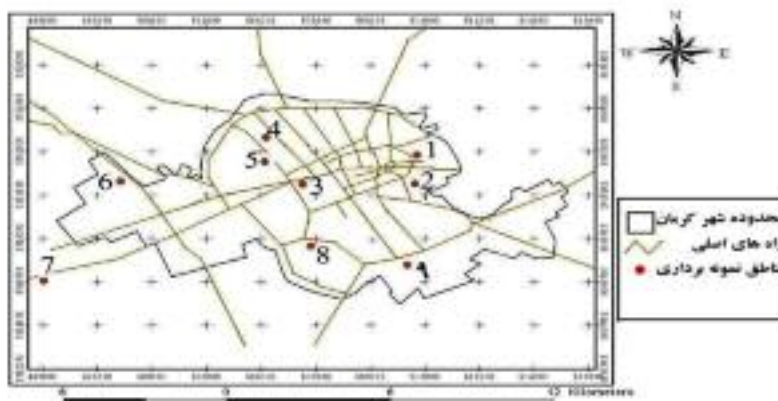
نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی غبار مناطق غربی کرمان (بر اساس مقاطع نازک میکروسکوپی) نشان می‌دهد که بیشتر ذرات کوارتز در این ناحیه زاویه دارند (شکل ۵). ذرات کلسیت نیز دارای گردشگی کم، بیشتر زاویه‌دار و دارای روکشی از اکسید آهن هستند، که احتمالاً بیانگر فاصله‌ی کمی است که نسبت به خاستگاه تولیدشان پیموده‌اند (شکل ۶). در واقع جذب آهن در سطح رسوب‌ها باعث توزیع اکسیدهای آهن به صورت پوشش‌هایی روی کانی‌ها به ویژه در خاک‌های سطحی می‌شود. تشکیل این کانی‌های ثانویه، قطعاً سطوح فعالی برای جذب و تثبیت عناصر مختلف به ویژه فلزات سنگین ایجاد می‌کند [۵]. جدول (۱) منابع احتمالی ورود ذرات کوارتز و جدول (۲) منابع احتمالی ورود ذرات کلسیت را به غبار ناحیه غربی شهر کرمان نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز XRD نیز ذرات کوارتز، کلسیت، ژئولیت (گیسموندین) و میکا (آنیت) به فراوانی در غبار این ناحیه از شهر وجود دارند.

بودند، برای نمونه‌برداری استفاده شد. شکل (۴) موقعیت مناطق نمونه‌برداری را در مناطق مختلف شهر نشان می‌دهد. سپس برای شناسایی کانی‌های تشکیل دهنده و چگونگی تغییر ویژگی‌های آنها، از نمونه‌های جمع‌آوری شده غبار، (۵ نمونه در هر ناحیه و در مجموع ۲۵ نمونه)، مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شد، بدین صورت که لام حاوی غبارهای موجود به مدت دو هفته در چسب اپکسی قرار گرفت و پس از ثابت شدن ذرات در جای خود، مقطع نازک تا رسیدن به ضخامت مورد نظر (۰.۳mm) با پارافین و زغال نرم صیقل داده شد.

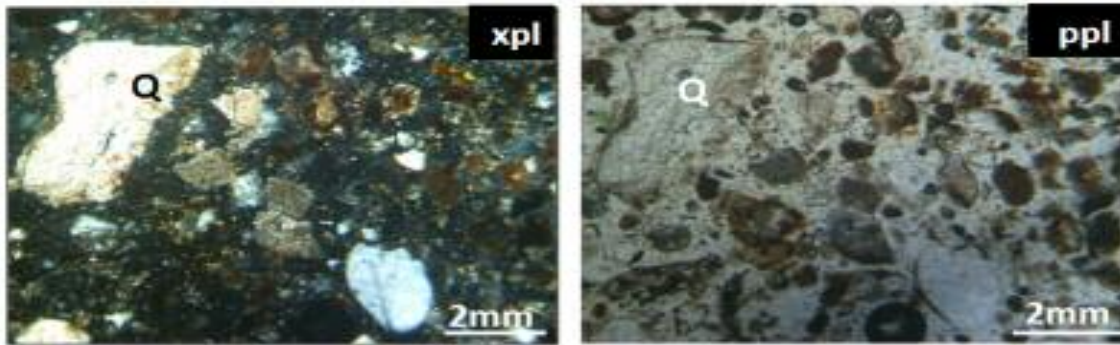
با توجه به اینکه جهت وزش بادهای غالب در کرمان، شمال، غرب و جنوب غربی هستند [۴] و نیز تمرکز بسیاری از قطب‌های صنعتی و کارخانه‌ها در ناحیه‌ی غربی کرمان قرار گرفته‌اند، نمونه‌های غبار وابسته به نواحی غرب، مرکز و شرق کرمان در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ماهان به روش پراش پرتو X (XRD) آنالیز شدند تا نقش این عوامل به ویژه صنایع مختلف در ورود کانی‌های مختلف به گرد و غبار کرمان نیز مشخص شود. در نهایت به منظور شناسایی ترکیب شیمیایی برخی عناصر موجود در غبار، از سوی شرکت زرآزما، به روش ICP-MS آنالیز شیمیایی شدند.

### بحث و بررسی

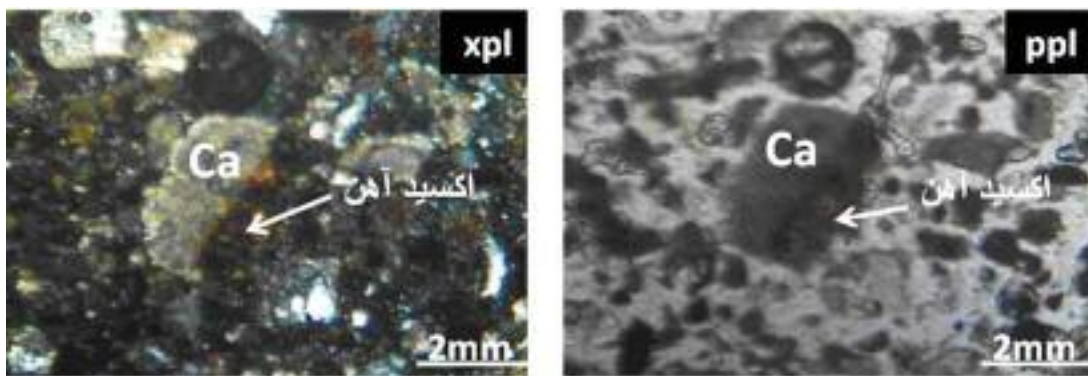
بررسی شیمی غبارشهر کرمان نشان می‌دهد که بسیاری از عناصر موجود در غبار ناشی از حضورکانی‌هایی هستند که در زمینه‌ی طبیعی منطقه به فراوانی دیده می‌شوند؛ به طوریکه تقریباً در غبار تمام مناطق شهر، کانی‌هایی مانند کوارتز،



شکل ۴ موقعیت نقاط نمونه برداری غبار در شهر کرمان: (محدوده‌ی زیرسب) (۱)، مدیریت (۲)، میدان آزادی (۳)، شهرک شهید باهنر (۴)، انتهای بلوار شیراز (۵)، شهرک هوانیروز (۶)، شهرک صنعتی (۷)، میدان ابوذر (۸)، دانشگاه شهید باهنر (۹).



شکل ۵ ذرات زاویه دار کوارتز (Q) و تفاوت اندازه‌ی آنها با کلسیت (Ca) در غبار غرب کرمان.



شکل ۶ جانشینی ذرات کلسیت (Ca) با اکسیدهای آهن در غبار غرب کرمان.

جدول ۱ منابع ورود ذرات کوارتز به غبار شهر کرمان.

موقعیت نسبت به شهر کرمان	نوع ذرات و خاستگاه
شمالغرب، غرب و جنوب غرب	ذرات ماسه ای ناشی از تلماسه های بادی و سطوح پلایایی
جنوب غرب - فاصله میان ارتفاعات و مرکز دشت	ذرات ماسه ای ناشی از مخروط افکنه های دشت های جوان
شمال (بیدو) - جنوب غرب (مراد)	ذرات ماسه ناشی از ماسه سنگ های سازند بیدو و مراد
شمال غرب (بادامو) - غرب (تیزی و عنبلوئیه)	ذرات ماسه ای ناشی از کنگلومرا، دولومیت های ماسه ای، ماسه سنگ های آهکی، آهک های ماسه ای سازند بادامو و ماسه سنگ های کوه های تیزی و عنبلوئیه
جنوب و جنوب غرب (جوپار و درمانو) - انتها و جنوب دشت کبوترخان - باغین در غرب (کنگلومرا)	ذرات ماسه ای ناشی از ماسه سنگ های قهوه ای، آهکی و کوارتزیت دار کوه های جوپار و درمانو- ماسه سنگ های موجود در کنگلومرای کرتاسه بالایی

جدول ۲ منابع ورود ذرات کلسیت به غبار شهر کرمان.

موقعیت نسبت به شهر کرمان	نوع ذرات و منشأ
غرب	رسوب های آهکی کوه های تیزی و آهک های کرتاسه عنبلوئیه
شمال غرب	آهک های ماسه ای آهن دار قهوه ای رنگ و ماسه سنگ های آهکی کوه های بادامو
جنوب و جنوب غرب	آهک های ماسه ای آهن دار قهوه ای رنگ و ماسه سنگ های آهکی کوه های بادامو
غرب	آهک های کوه های منفرد دشت کرمان و آهک های اربیتولین دار و نازک لایه کوه های بادامو و بیدو
شمال و غرب	رسوب های آهکی موجود در تلماسه ها و سطوح پلایایی
غرب	ذرات آهکی ناشی از غبار کارخانه سیمان و کارخانجات سنگبری

### کانی‌شناسی غبار در مرکز کرمان

نتایج پراش پرتو X غبار نهشته در مرکز کرمان، نشان می‌دهد که به ترتیب کانی‌های کوارتز، کلسیت، آنورتیت و جافنیت بیشترین فراوانی را در غبار این ناحیه به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۹). براساس بررسی‌های میکروسکوپی نیز اندازه‌ی کانی‌ها در مرکز نسبت به شمال و غرب شهر کمتر شده است. به جز کانی کوارتز که مقاومت بیشتری در برابر فرسایش دارد کانی‌های دیگر در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نیستند کانی‌های کوارتز و کلسیت احتمالاً از منابعی مشابه با منابع این ذرات در غرب و شمال شهر ریشه می‌گیرند، تنها حضور کانی جافنیت<sup>۳</sup> در غبار این ناحیه چشمگیر است که در نواحی شمال و غرب شهر دیده نشده است. جافنیت نوعی سیلیکات هیدراته‌ی کلسیم‌دار است که نخستین بار در معدن کامبات نامبیا در یک زون دگرگون در دمای پایین همراه با کانی‌های هیلبراندیت، بروکیت، وزوویانیت، آپاتیت، گالن و مس طبیعی مشاهده شد. امروزه جافنیت یکی از ترکیبات اصلی سیمان به شمار می‌رود. روی و هارکر [۱۰] نشان دادند که این کانی در دمای تقریبی ۳۵۰ درجه‌ی سانتیگراد از ترکیبات حاوی کربنات کلسیم نیز تشکیل می‌شود البته این کانی در دمای ۱۷۵ تا ۲۳۵ درجه‌ی سانتیگراد، و در فشار بالای آب نیز تشکیل می‌شود. با توجه به اینکه بیشتر خیابان‌های کرمان در راستای غربی شرقی قرار گرفته‌اند، و نیز جهت وزش بادهای غالب به سمت شهر نیز در این راستاست و از طرف دیگر بر اساس بررسی‌های جعفری [۱۱] که نشان داد میزان کربنات کلسیم در خاک‌های سطحی نسبت به افق‌های زیرین خاک از گستره‌ی پایین دست کارخانه سیمان تا نزدیکی شهر کرمان رو به افزایش است، بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که حضور جافنیت در غبارهای کرمان می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم ناشی از غبارهای کارخانه‌ی سیمان در غرب کرمان باشد. البته تا حدودی فعالیت‌های ساخت و ساز و استفاده از سیمان نیز می‌تواند موجب حضور این کانی در غبارهای کرمان باشد.

حضور ژئولیت‌ها در غبار ناحیه‌ی غربی کرمان موجب شده تا ترکیب کانیایی غبارهای این ناحیه نسبت به مناطق دیگر کرمان، تفاوت‌های چشمگیری داشته باشد (شکل ۷). گیسمون‌دین<sup>۱</sup> نوعی ژئولیت است که بیشتر در حفره‌ی کانی-هایی مانند نفلین، الیون بازالت و تفریت‌های لوسیت‌دار قرار می‌گیرد و با کانی‌هایی مانند انواع ژئولیت، کلسیت، کلریت و کوارتز همراه می‌شود. فلزات سنگین به راحتی در ساختار ژئولیت‌ها جانشین می‌شوند [۶]. شکل (۸) حضور گیسمون‌دین را در الگوی پراش پرتو X غبار ناحیه غربی کرمان نشان می‌دهد. در محیط‌های خشک و نیمه خشک به دلیل تبخیر زیاد، کربنات و بی‌کربنات سدیم در افق سطحی خاک افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش pH محیط مناسبی برای تشکیل ژئولیت ایجاد می‌شود [۷]. احتمالاً ژئولیت‌های موجود در غبار این ناحیه در سطوح پلایاها (در مواردی که pH محیط بالاست) تشکیل شده‌اند، به این دلیل که واقع شدن ناحیه‌ی غرب و شمال غربی شهر روی سطوح پلایا و کفه رسی و نیز نزدیکی با تلماسه‌های غنی از کانی رسی مونت موریلونیت [۸] موجب تشکیل ژئولیت از این رسوب‌ها شده و زمینه‌ی ورود آن را به محیط غبار فراهم کرده است. براساس الگوی پراش پرتو X، کانی آنیت<sup>۲</sup> نیز یکی دیگر از کانی‌های موجود در غبار غرب شهر است. آنیت نوعی میکا (بیوتیت غنی از آهن) است که در سنگ‌های آذرین و دگرگون که دارای منیزیم کم و آهن زیادی هستند تشکیل می‌شود. همچنین این کانی در مقیاس محلی همراه با فلوتوریت و زیرکن دیده شده است [۹].

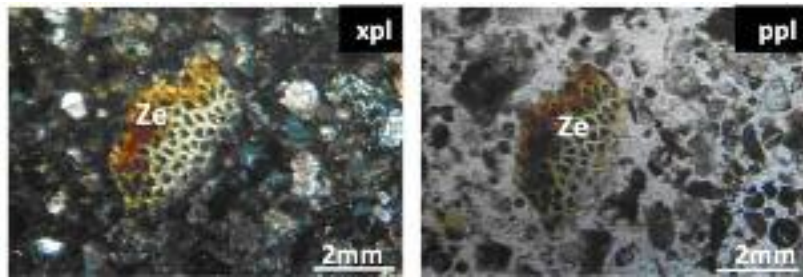
### کانی‌شناسی غبار در شمال شهر

در گرد و غبار مناطق شمالی کرمان، کانی‌های کوارتز و کلسیت نیز مانند ناحیه‌ی غربی شهر دیده می‌شوند، ولی ذرات آنها نسبت به ناحیه‌ی غربی ریزتر شده و دارای گرد شدگی بیشتری (براساس بررسی مقاطع میکروسکوپی) هستند. ریزتر شدن ذرات بیانگر فاصله‌ی بیشتری است که غبارهای این ناحیه، نسبت به چشمه‌ی تولیدشان پیموده‌اند و احتمالاً دارای خاستگاه‌های مشابه با ذرات ناحیه‌ی غربی شهرند.

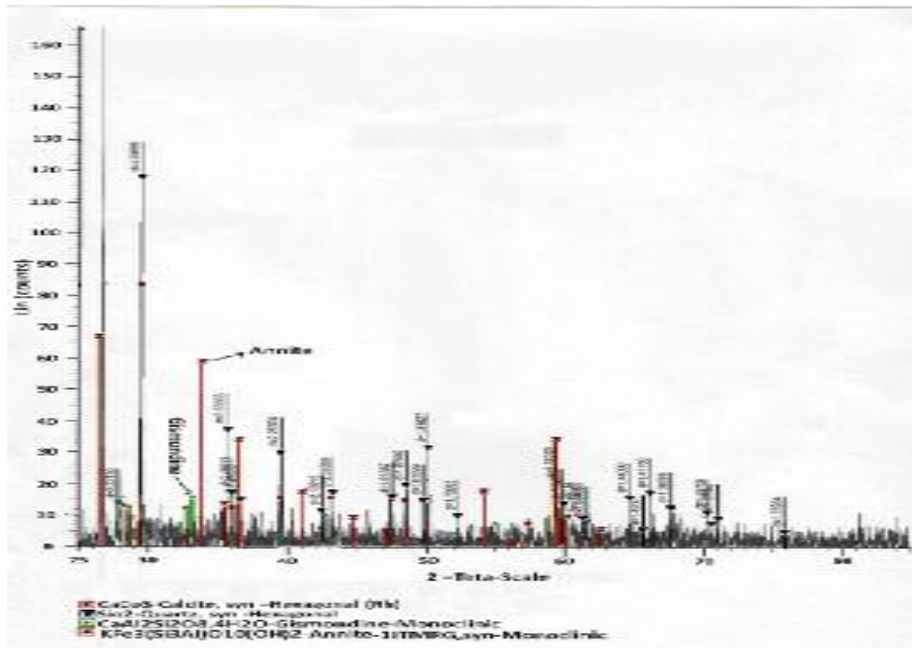
1 - Gismondin (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>4H<sub>2</sub>O)

2 - Annite(KFe<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>)

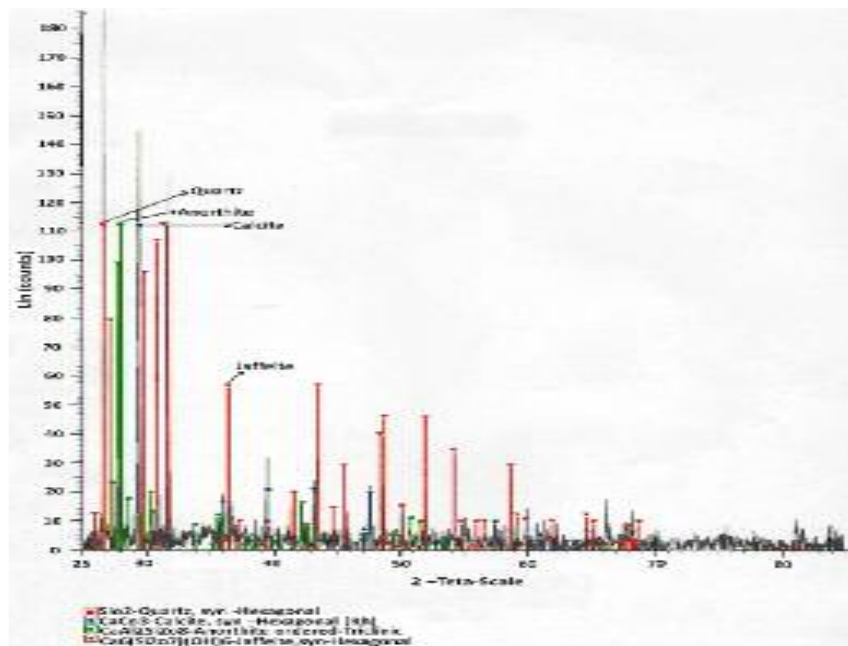
3- Jaffeite (Ca<sub>6</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(OH)<sub>6</sub>)



شکل ۷ کانی زئولیت در غبار غرب شهر کرمان



شکل ۸ الگوی پراش پرتو X غبار ناحیه غربی شهر کرمان



شکل ۹ الگوی پراش پرتو X غبار ناحیه مرکزی شهر کرمان

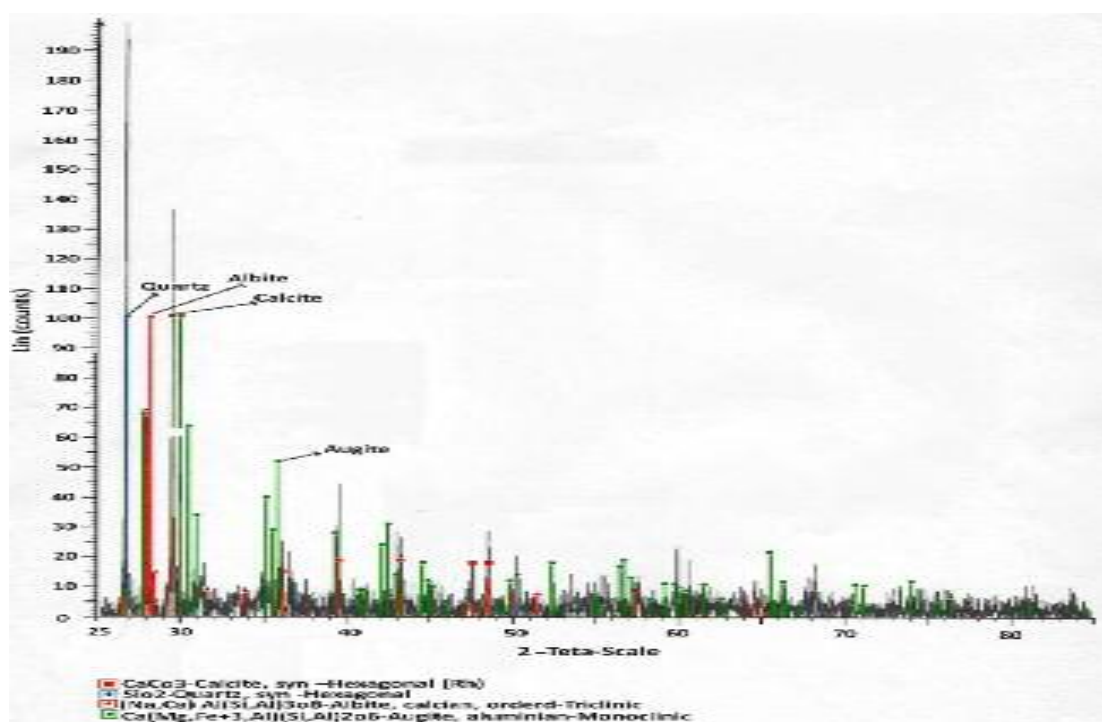
## کانی‌شناسی غبار در شرق شهر

الگوی پراش پرتو X نشان می‌دهد که در ناحیه‌ی شرقی کرمان، به ترتیب کانی‌های کلسیت، کوارتز، آلبیت کلسیم‌دار ( $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$ )، اوژیت آلومینیوم‌دار ( $(\text{Ca}(\text{Mg, Fe}^{+3}, \text{Al})(\text{Si, Al})_2\text{O}_6)$ )، بیشترین فراوانی را دارند (شکل ۱۰). بررسی مقاطع نازک نیز بیانگر ریزش‌دگی ذرات در این ناحیه نسبت به مرکز شهر است، به طوری که شناسایی کانی‌ها از این طریق امکان پذیر نیست.

## کانی‌شناسی غبار در جنوب کرمان

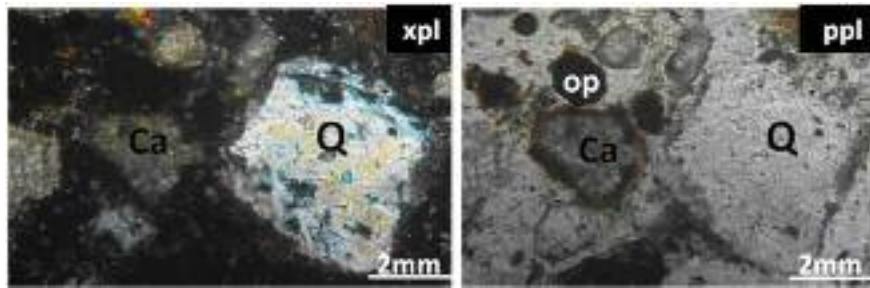
در غبار جنوب شهر کانی‌های کوارتز، کلسیت با پوشش اکسیدهای آهن، پلاژیوکلاز و پیروکسن، بیشترین فراوانی را دارند. ذرات کلسیت نسبت به کوارتز ریزتراند و بیشتر دارای حاشیه‌ی پوشیده از اکسید آهن هستند. این ذرات همراه با کانی‌های کدر بیشتر دارای حاشیه‌های تیز و زاویه دارند (شکل ۱۱). پیروکسن که در غبار بیشتر نواحی کرمان به چشم می‌خورد، در ناحیه‌ی جنوبی بسیار درشت‌تر است (شکل ۱۲). از آنجا که رسوب‌ها و کوه‌های اطراف کرمان بیشتر از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده‌اند، بنابراین تعیین خاستگاه کانی‌های ملند پیروکسن، میکا و پلاژیوکلاز دشوار است، اما گدازه‌های بازالتی، سنگ‌های آذر آواری، توف و آگلومراهای کوه‌های غرب و جنوب

کوهپایه می‌توانند در انتقال این ذرات به شهر کرمان نقش داشته باشند و نیز گرانیات و ریولیت پورفیری کوه‌های بادامو، در شمال غرب اختیار آباد (شمال غرب کرمان) و رسوب‌های مخروط افکنه‌ای حاشیه شهر به ویژه رسوب‌های مخروط افکنه چاری نیز ممکن است در انتقال آنها به کرمان نقش داشته باشند. درشت بودن کانی‌ها در ناحیه‌ی جنوبی شهر نسبت به نواحی دیگر، نشان می‌دهد که ذرات گرد و غبار این ناحیه دارای خاستگاه متفاوتی نسبت به ذرات نواحی دیگر هستند. از آنجا که یکی از جهات غالب وزش باد از جنوب غربی شهر است، و نیز تلماسه‌های بادی فراوان در حاشیه‌ی جنوبی شهر (جاده‌ی هفت باغ - جوپار) وجود دارند، بنابراین ذرات موجود در این ناحیه بیشتر از رسوب‌های تلماسه‌های بادی و مخروط افکنه‌ای (مانند مخروط افکنه‌ی چاری) نواحی جنوب و جنوب غرب شهر ریشه گرفته‌اند. در نهایت بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که به طور نسبی اندازه‌ی ذرات موجود در غبار از سمت غرب به شرق (به جز ناحیه‌ی جنوبی) کاهش یافته است که احتمالاً ریشه این ذرات در غرب کرمان است. شکل ۱۳ تغییر اندازه‌ی کانی‌های کلسیت و کوارتز را در غبار مناطق مختلف کرمان نشان می‌دهد.

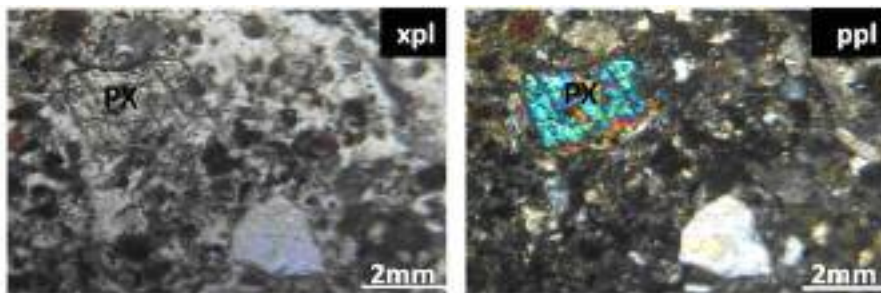


شکل ۱۰ الگوی پراش پرتو X غبار ناحیه شرقی شهر کرمان





شکل ۱۱ ذرات کوارتز (Q)، کلسیت (Ca) و کدر (op) در غبار ناحیه جنوبی شهر کرمان.



شکل ۱۲ کانی پیروکسن در غبار ناحیه جنوبی شهر کرمان.



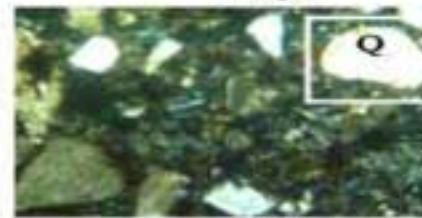
(غرب)



(غرب)



(شمال)



(شمال)



(مرکز)



(مرکز)



(شرق)



(شرق)

شکل ۱۳ روند تغییر در اندازه های کانی های کلسیت و کوارتز در غبار مناطق مختلف شهر کرمان.

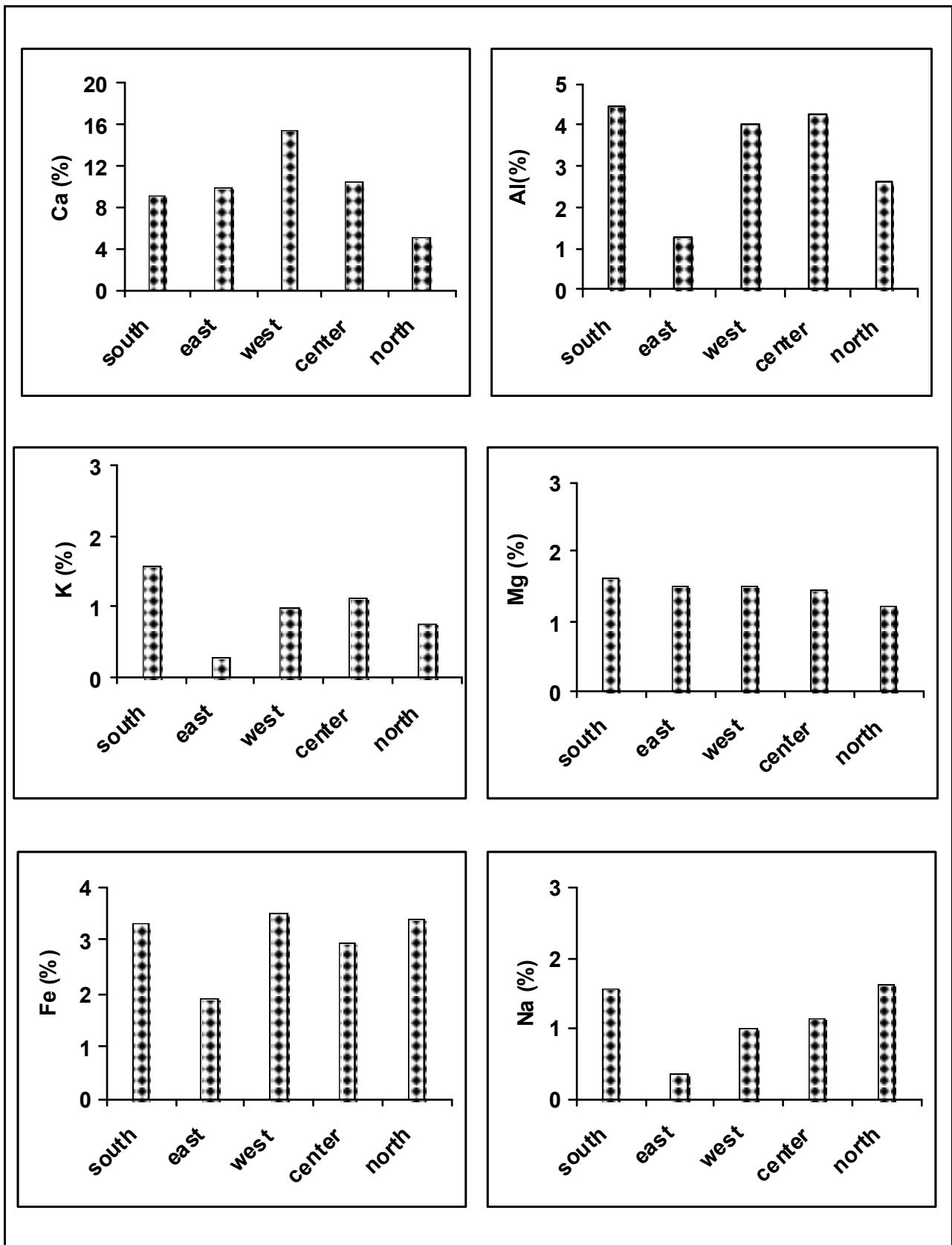
## بررسی ترکیب شیمیایی غبار مناطق مختلف کرمان

امروزه از روش‌های مختلفی برای بررسی و آنالیز غبار استفاده می‌شود. جذب اتمی از حساس‌ترین روش‌هایی است که می‌تواند غلظت را در حد  $0.1 \text{ ppt}$  اندازه‌گیری کند. بنابراین یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین غلظت عناصر در نمونه‌های غبار، استفاده از این روش است [۱۲]. به منظور شناسایی نوع و ترکیب شیمیایی ذرات غبار و ارتباط میان شیمی و کانی‌شناسی آن، نمونه‌های غبار به روش جذب اتمی (ICP-MS) آنالیز شدند. جدول (۳) مقایسه‌ی غبار مناطق مختلف کرمان با غبار منطقه‌ی نالوده و شاهد در خارج از شهر و غبارهای مناطق طبیعی و دور از مراکز صنعتی دنیا را نشان می‌دهد. بر این اساس تنها عناصر  $\text{Fe, Al, Na}$  دارای غلظت کمتری نسبت به منطقه‌ی شاهدند و غلظت بسیاری از عناصر به ویژه فلزات سنگین در غبارهای کرمان نسبت به غبار منطقه‌ی شاهد (دور از مراکز صنعتی) و غبارهای طبیعی دنیا بالاتر است. شکل (۱۴) و (۱۵) نمودار تغییرات غلظت عناصر مختلف را در مناطق مختلف کرمان نشان می‌دهد. بر این اساس بالاترین

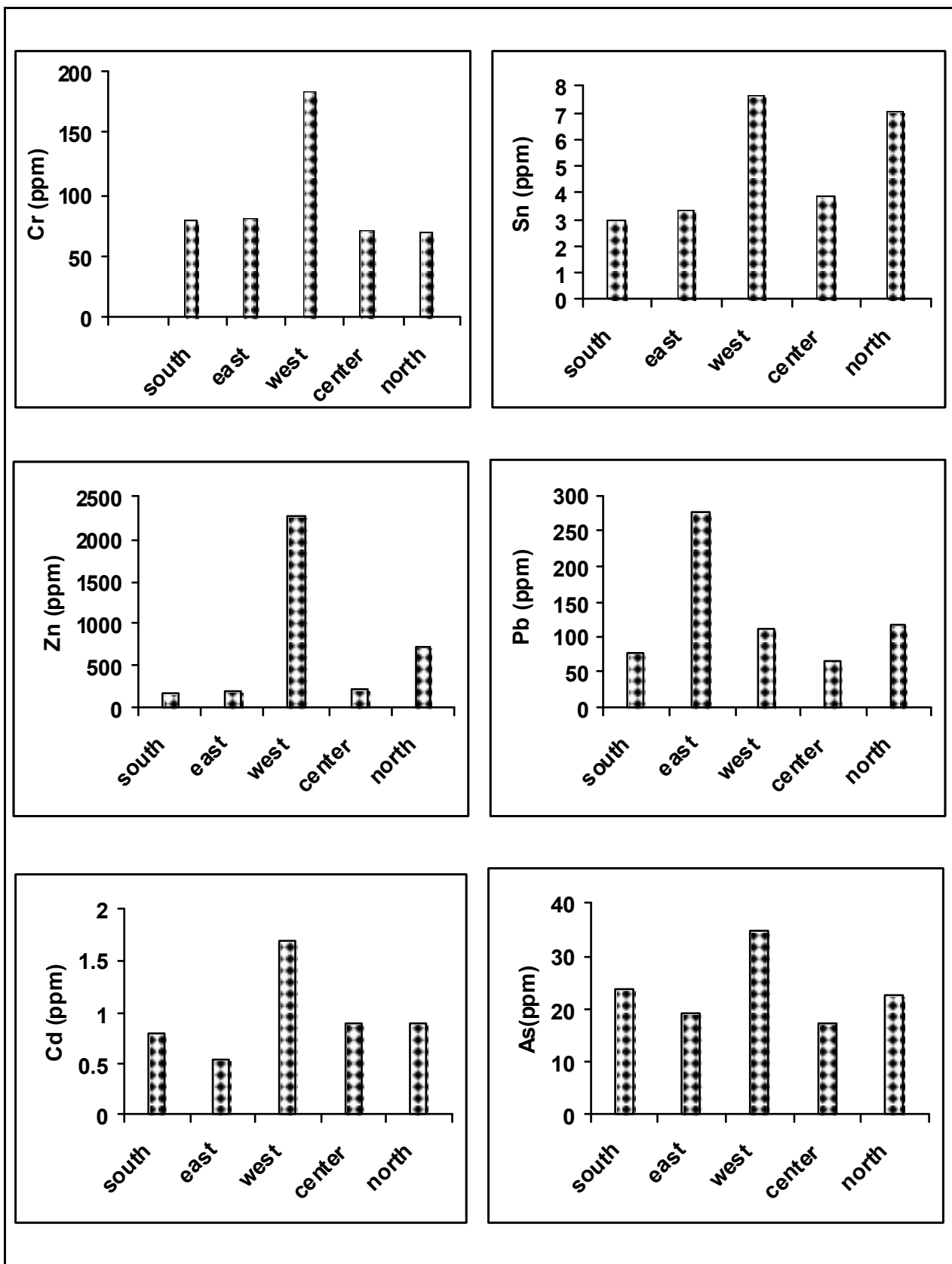
غلظت عناصر  $\text{As, Cd, Fe, Ca, Zn, Sn, Cr}$  در ناحیه‌ی غربی شهر دیده می‌شوند. با توجه به تمرکز صنایع مختلف، شهرک‌های صنعتی و نیز ترافیک نسبتاً زیاد در این ناحیه، می‌توان غلظت بالای بسیاری از عناصر به ویژه فلزات سنگین را ناشی از این عوامل دانست. البته حضور بالای کانی‌هایی مانند کلسیت، زئولیت‌ها و ذرات کدر نیز می‌تواند در انتقال این عناصر به محیط غبار نقش داشته باشند. بالاترین غلظت  $\text{Al}$  و  $\text{Mg, K}$  در ناحیه‌ی جنوبی دیده می‌شود (شکل ۱۴). به نظر می‌رسد غلظت بالای عناصر در این ناحیه ناشی از زمینه‌ی طبیعی منطقه (رسوب‌های بادی و مخروط افکنه‌ای حاوی کانی‌های رسی و فرو منیزین) باشد. غلظت بالای  $\text{Na}$  در ناحیه‌ی شمالی شهر (شکل ۱۴) نیز ناشی از رسوب‌های تخییری (گچ و نمک) و سطوح پلاستیکی در این ناحیه است.  $\text{Pb}$  نیز بالاترین غلظت را در ناحیه‌ی شرقی شهر به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۱۵). تمرکز بافت قدیم و فرسوده و نیز ترافیک وسایل نقلیه در ناحیه‌ی شرقی کرمان منجر به افزایش غلظت سرب در غبار این ناحیه شده است.

جدول ۳ مقایسه‌ی غبار مناطق مختلف شهر کرمان با غبارهای منطقه‌ی نالوده‌ی خارج از شهر و مناطق طبیعی دنیا [۱۳].

میانگین غلظت در غبارهای طبیعی و دور از مراکز صنعتی (ppm $10 \times - 9 \times$ )	غلظت در غبار مناطق مختلف شهر کرمان						عناصر
	منطقه خارج از شهر (منطقه غیرآلوده)	شمال	مرکز	غرب	شرق	جنوب	
۳۳-۱۰۰۰	۱۴	۲۲٫۵	۱۷	۳۵	۱۹	۲۴	As(ppm)
۱۰٫۸	۰٫۳	۰٫۹	۰٫۹	۱٫۷	۰٫۵	۰٫۸	Cd(ppm)
۲۰-۱۰۰۰	۶۸	۶۸٫۵	۷۱	۱۸۴	۸۰٫۶	۷۸	Cr(ppm)
۵۰-۱۳۳۰۰	۲۱٫۴	۱۱۷٫۶	۶۷٫۹	۱۰۹٫۹	۲۷۶٫۱	۷۶٫۲	Pb(ppm)
۱۷-۱۰۰۰۰	۶۷	۷۳۴٫۷	۲۱۶	۲۲۸۲	۲۱۱٫۲	۱۸۷	Zn(ppm)
-	۱٫۵	۷	۳٫۹	۷٫۶	۳٫۴	۳	Sn (ppm)
-	۵٫۸۴	۵٫۲	۱۰٫۵	۱۵٫۴	۹٫۹	۹٫۲	Ca (%)
-	۷٫۳۲	۲٫۶	۴٫۲	۳٫۹	۱٫۳	۴٫۵	Al (%)
-	۲٫۱۵	۱٫۶	۱٫۱	۱	۰٫۳	۱٫۵	Na (%)
-	۱٫۱۴	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۵	۱٫۶	Mg (%)
-	۱٫۳۲	۰٫۷	۱٫۱	۰٫۹	۰٫۳	۱٫۵	K (%)
-	۴٫۴۵	۳٫۴	۲٫۹	۳٫۵	۱٫۹	۳٫۳	Fe (%)



شکل ۱۴ تغییرات غلظت عناصر Ca و Fe, Al, Mg, Na, K در غبار مناطق مختلف شهر کرمان.



شکل ۱۵ تغییرات غلظت عناصر Cr, As, Cd, Pb, Zn, Sn در غبار مناطق مختلف شهر کرمان.

## برداشت

بررسی‌ها نشان می‌دهد که گرد و غبار و نیز نوع ذرات موجود در، آن می‌تواند اثرهای مخربی بر انسان و محیط زیست وارد کند. با توجه به بالا بودن حضور کانی‌ها و ذراتی مانند کلسیت کوارتز و نیز غلظت بالای فلزات سنگین در غبارهای بیشتر مناطق کرمان، توجه به آثار و مشکلات ناشی از این ذرات بر محیط اهمیت خاصی می‌یابد. کانی‌هایی مانند کلسیت، کوارتز، انواع پلاژیوکلازها، زئولیت (گیسموندین) و غیره، می‌توانند عناصر سنگین و خطرناک را در خود جای دهند. غبارهای حاوی کلسیت و کوارتز با قرار گرفتن روی درختان و محصولات کشاورزی باعث ساییدگی سطح برگ‌ها، تغییر در تعادل انرژی برگ‌ها، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش [نورساخت‌ها] می‌شوند و ممکن است با تغییر در ویژگی‌های قلیائیت گیاهان، منجر به آسیب رساندن به گیاه شوند [۱۴].

بالا بودن غلظت عناصری مانند سرب در بیشتر مناطق شهر، بویژه ناحیه‌ی شرقی آن، می‌تواند موجب کم خونی و ناراحتی‌های شود. روی در غلظت‌های بالا منجر به سر درد، تهوع، از کارافتادن کلیه‌ها، آرسنیک به عنوان یک ماده‌ی سمی و کشنده موجب آسیب رساندن به مجاری بینی و کادمیوم نیز موجب بیماری‌های ریوی کشنده می‌شوند [۱۵]. بنابراین با توجه به غلظت بالای بسیاری از عناصر به ویژه فلزات سنگین، جهت وزش بادهای غالب، ماهیت زمین‌شناسی منطقه، گسترش جانبی شهر کرمان به سمت غرب و نیز تمرکز صنایع مختلف مانند کارخانه‌ی سیمان و آزیست (به عنوان یک خطر بالقوه) در این ناحیه، بایستی در زمینه‌ی کاهش اثرهای ناشی از غبار در این ناحیه و نواحی دیگر شهر برنامه‌ریزی کرد. جبهه-جایی تدریجی صنایع از ناحیه‌ی غربی شهر به محلی دور از مسیر بادهای غالب، جلوگیری از احداث واحدهای صنعتی جدید و گسترش جانبی شهر و نیز عدم تخریب زمین‌های کشاورزی در اثر ساخت و ساز در این ناحیه، از جمله اقدامات مؤثر در کاهش انتقال غبارهای آلوده به فلزات سنگین به شهر کرمان‌اند.

## قدردانی

از یاری و راهنمایی‌های آقای دکتر مهدی عباس نژاد در به انجام رساندن این پژوهش، بی نهایت سپاسگزاریم.

## مراجع

- [۱] خسروی م، "بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS مورد سیستان ایران"، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۸۹).
- [2] Pay K., "Aeolian dust deposition", Academic Press, London, (1987).
- [۳] احمدی ح، جعفریان جلودار ز، "تأثیر عملیات بیابان زدایی در وضعیت اجتماعی و اقتصادی شهر کرمان"، مجله بیابان، شماره ۲ (۱۳۸۳) ص ۲۲۵-۲۰۷.
- [۴] حسن زاده ر، "بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی شهری کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۵)، ۲۲۱ ص.
- [5] Hadgson J., "chemistry of micronutrient elements in soils", Advances in Agronomy. Vol, 15 (1963) 119-159.
- [6] Nawaz R., "Morphology, twinning, and optical orientation of gismondine", Mineral. Mag., 43 (1980) 841-844.
- [۷] خلقی م. ح، "زئولیت‌ها و رخنمون‌هایی از آنها در ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۶۹).
- [۸] حمزه م. ع، "بررسی نشانگرهای ژئوشیمیایی در محدوده شهر کرمان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۵)، ۲۴۵ ص.
- [9] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "Rock-forming minerals", v. 3, sheet silicates, p.55-84 (1963)..
- [10] Roy D. M., Johnson A. M., "Investigations of stabilities of Calcium silicate hydrates at elevated temperatures and pressures in Autoclaved calcium silicate building products", symposium proceedings, p. I 14-120. Society of Chemical Industry, London (1967).

- [13] Adriaenssens E., "Comprehensive industry document of iron ore minning", Ministry of environment and forest", Govt, of India, 4:86-159,(2007).
- [14] Grantz D. A., Garner J. H. B., Johnson D.W., "Ecological effects of particulate matter", Environment International 29, 213- 239,(2003).
- [۱۵] بلوردی م، "الگوی ژئوشیمیایی و تعادل جرمی عناصر مسمومیت زای سنگین در چرخه ژئوشیمیایی سنگ، کانسنگ، خاک، رسوب، آب و باطله معدن گل‌گهر سیرجان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۰۷ ص، (۱۳۸۹).
- [۱۱] جعفری م، "مکان‌یابی صنایع معدن سیمان و زغال سنگ در استان کرمان با نگرشی ویژه بر مسائل زیست‌محیطی با استفاده از دور‌سنجی و GIS". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۵۹ ص.
- [12] Yang K.X., Swami K., Husain L., "Determination of trace metals in atmospheric aerosols with a heavy matrix of cellulose by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectroscopy", SpectrochimicaActa (PartB), 57 (2002) 73-84. .