

بررسی ترکیب شیمیایی و شناسایی منشأ ذرات معلق (PM_{10}) با استفاده از روش فاکتور غنی سازی (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)

- ❖ زینب نظری؛ کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ نعمت الله خراسانی*؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ سادات فیض نیا؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ محمود کرمی؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

یکی از پدیده‌های جوی مناطق خشک و نیمه‌خشک و مناطق هم‌جوار با این گونه نواحی، پدیده گرد و خاک و تولید ذرات معلق (PM_{10}) است که مخاطرات زیست‌محیطی زیادی به همراه دارد. هدف این مطالعه، تعیین ترکیب شیمیایی و شناسایی منشأ عناصر در ذرات معلق در اتمسفر شهر کرمانشاه می‌باشد. برای شناسایی منشأ طبیعی و انسانی این عناصر در ذرات معلق از روش فاکتور غنی‌سازی استفاده شده است. ردیابی جریان‌های هوایی با استفاده از خطوط هم‌ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام گرفته است. نمونه‌های ذرات معلق برای ۲۰ عنصر به وسیله دستگاه ICP-OES مورد آنالیز قرار گرفته است. بر اساس این مطالعه، عناصری همانند آهن، پتاسیم، کلسیم، سلنیوم، آر سنیک، کبالت، فسفر، منیزیم و سدیم دارای میزان فاکتور غنی‌سازی پایین می‌باشند، که نشان دهنده آن است که این عناصر از پوسته سرچشمه گرفته‌اند. این عناصر ۸۴٪ از غلظت کل عناصر را شامل می‌شوند. این امر حاکی از آن است که عناصر پوسته‌ای کمک‌کننده اصلی عناصر در PM_{10} در اتمسفر کرمانشاه هستند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بیشترین فراوانی عبور جریان‌های هوایی به غرب ایران در درجه اول مربوط به غرب تا شرق عراق و پس از آن شمال غرب تا شمال شرق اردن، شرق تا جنوب غرب سوریه و شرق تا غرب دریای مدیترانه می‌باشد. بنابراین، می‌توان بیان کرد که عراق و مناطق هم‌جوار با آن نقش مهمی در ایجاد ذرات معلق (گردوغبار) در منطقه دارا می‌باشند.

کلید واژگان: آلودگی، گردوغبار، عناصر پوسته‌ای، خطوط هم‌ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال.

۱. مقدمه

ذرات معلق در هوا به آن دسته از مواد پراکنده جامد یا مایع اطلاق می‌شود که اندازه آن‌ها از قطر یک مولکول ($0.002 \mu\text{m}$) بزرگتر و از $500 \mu\text{m}$ کوچکتر باشند. اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی آن‌ها مانند غلظت آن‌ها در هوا از ویژگی مهم این مواد به شمار می‌رود [۸]. در تحلیل‌های زیست محیطی، به ویژه زمانی که مقادیر عناصر در محیط مورد بررسی، ترکیبی از عوامل طبیعی زمین شناسی و عوامل انسان زاد باشد، عامل غنی شدگی می‌تواند بیانگر شدت تأثیر عوامل خارجی (عموماً عوامل انسان زاد) باشد [۲۲]. شاخص غنی شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت میانگین یا میانۀ همان عنصر در آن جامعه‌ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است [۱۵]. در تعیین فاکتور غنی شدگی فرض بر این است که عناصر آلومینیوم، آهن، تیتانیم، اسکاندیم، ایتیم منشأ کاملاً زمین شناسی داشته و به دلیل ماهیت ژئوشیمیایی، روند تغییرات آن‌ها در محیط ژئوشیمیایی طبیعی مانند خاک و رسوبات ناچیز است. در تعیین فاکتور غنی شدگی فراوانی نسبی عناصر شیمیایی در خاک یا رسوبات نسبت به مقادیر آن‌ها در محیط مرجع است [۵]. انواع شاخص غنی شدگی بستگی به نحوه محاسبه حد زمینه (با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی منطقه، غلظت میانگین هر عنصر، غلظت نرمالیز شده عناصر بر حسب AL، میانگین جهانی عناصر در پوسته زمین، غلظت فلزات سنگین در استاندارد (EPA ۳۰۵۰) که در مخرج کسر قرار داده می‌شود، به دست خواهد آمد [۲۶]. اگر فاکتور غنی شدگی برای هر یک از عناصر نزدیک یک باشد، نشان می‌دهد که پوسته احتمالاً منبع غالب برای هر یک از آن عناصر است، اگر فاکتور غنی سازی به طور معنی داری بزرگتر از ۱ باشد، نشان می‌دهد که آن عناصر احتمالاً از پوسته ناشی نمی‌شوند [۵]. در تحقیقی [۲۱] به بررسی منشأ و آلودگی عناصر بالقوه سمناک با استفاده از عامل آلودگی و فاکتور غنی شدگی در خاک‌های آلوده

مناطق نفتی پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان داد که عناصر آرسنیک، کادمیم، مولیبدن، سرب، مس و روی ضریب غنی شدگی بیشتر از ۲ دارند که نشان دهنده نقش فعالیت‌های انسان زاد در غنی شدگی این عناصر است. مطالعه [۲۳] براساس نتایج فاکتور غنی شدگی نشان داد خاک‌های صنعتی زنجان از نظر عناصری همانند کادمیم، سرب، روی و مس در حال غنی شدن است. در تحقیقی دیگر [۲۴] به بررسی منبع اصلی ذرات معلق هوا (PM_{10}) و $\text{PM}_{2.5}$ با استفاده از روش خوشه جرمی اجزای شیمیایی در مناطق شهری و مناطق غیر شهری ایرلند پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که سهم منبع برای PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ در نقاط مختلف متفاوت است. در مناطق شهری، اجزای اصلی کمک کننده جرم $\text{PM}_{2.5}$ (۷۹-۸۴٪ از جرم $\text{PM}_{2.5}$)، به ترتیب، ترکیبات آلی، کربن عنصری، سولفات آمونیوم و نترات آمونیوم بود، در حالی که در بخش PM_{10} ذرات معلق ثانویه و نمک دریا (۵۶-۶۶٪) غالب بودند. $\text{PM}_{2.5}$ در ایستگاه‌های ساحلی و روستایی عمدتاً شامل سولفات آمونیوم و نترات آمونیوم و مواد آلی (۶۵٪) است، در حالی که نمک دریا عمده ترین کمک کننده به PM_{10} (۳۹٪) در ایستگاه روستایی، ۵۶٪ در ایستگاه ساحلی) بود. [۲۷] ترکیب عنصری و منشأ گرد و غبار معدنی در پکن را بررسی کرده‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که عناصر معدنی در مجموعه بار کل عنصری هم در روزهای گرد و غبار و هم بدون گرد و غبار غالب بود و روی و گوگرد عمدتاً در ذرات ریز فراوان بودند، در حالی که کلر در ذرات متوسط (۸-۲/۵ میکرومتر) فراوان بودند، اما بیشتر عناصر معدنی و مس در ذرات درشت فراوان بودند. عناصر معدنی توسط مواد پوسته در روزهای گرد و خاکی و حتی بدون گرد و خاکی غالب بود، اما عناصر آلوده کننده ناشی از مواد غیر پوسته‌ای شامل منابع محلی و غیر محلی بود. تحلیل خط سیر توده هوای معکوس نشان داد که ذرات گرد و غبار در پکن عمدتاً از گبی و مناطق صحرایی مغولستان و شمال چین منشأ می‌گیرند. منابع بالقوه عناصر کمیاب موجود در $\text{PM}_{2.5}$

هورالعظیم می‌باشد [۳].

طوفان‌های گرد و غبار در کرمانشاه نیز توسط پژوهشگرانی مورد بررسی قرار گرفته است [۹، ۱۱]. محققان ایرانی در زمینه ذرات معلق مطالعاتی انجام داده‌اند که از جمله آن‌ها، مطالعه [۱۳، ۱۴ و ۱۷] می‌باشد که در این مطالعات به بررسی روند تغییرات غلظت ذرات معلق در فصول مختلف پرداخته شده است.

به طور کلی به ازای هر ده میکروگرم بر متر مکعب افزایش در غلظت^۴ PM₁₀، مرگ و میر کل روزانه تقریباً تا یک درصد افزایش می‌یابد [۵]. عناصر کمیاب و اصلی اجزاء اصلی PM₁₀ نیستند. اما اندازه‌گیری این عناصر موجود در PM₁₀ مفید می‌باشد، این امر به دلیل توان آن‌ها برای نفوذ عمیق به داخل سیستم تنفسی و ایجاد اثرات زیان‌آور بهداشتی است [۲۰]. بنابراین، با توجه به نقش ذرات معلق در تغییرات آب‌وهوایی جهانی و خطرات بهداشتی آن در این مقاله سعی شده است ترکیب شیمیایی و منشأ آن‌ها با استفاده از فاکتور غنی‌سازی و تحلیل خطوط هم‌ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی شود.

۲. روش شناسی

۲.۱. نمونه‌برداری از ذرات معلق

در این تحقیق، به منظور نمونه‌برداری از ذرات معلق، دستگاه نمونه‌بردار ذرات معلق مدل اوریبازاپنی واقع در ایستگاه ثابت اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی به طول ۴۹° ۰۶' ۴۷" و عرض ۳۳° ۲۱' ۳۴" استفاده شد. فیلتر حاوی ذرات معلق (PM₁₀) در بازه زمانی اسفند ماه ۱۳۸۸ تا پایان شهریور ۱۳۸۹ طی دو دوره زمانی (از یک اسفند ماه ۱۳۸۸ تا ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۹ و از ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۹ تا ۳۰ شهریور

اتمسفر میرا لوما^۲ در جنوب کالیفرنیا، با استفاده از تحلیل عاملی، تحلیل خط سیر توده هوای معکوس و محاسبه فاکتور غنی‌سازی و نسبت آلومینیوم به روی شناسایی شد [۱۶]. ترکیب شیمیایی و غلظت عنصری ذرات معلق اتمسفری در ایستگاه مونت گانگا^۱ در چین تعیین شد، سپس با محاسبه فاکتور غنی‌سازی و تحلیل خط سیر توده هوای معکوس (بادهای محلی) به بررسی منشأ ذرات معلق پرداخته شد [۲۵].

در مطالعه‌ای به تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که خرداد ماه در دوره مورد مطالعه بیشترین و آذر ماه کمترین فراوانی وقوع گرد و غبار را داشته‌اند. همچنین، فراوانی وقوع گرد و غبار در اواخر بهار و اوایل تابستان بیشتر از سایر فصول می‌باشد و نیز با توجه به مسیر حرکت سیستم‌ها در سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و نحوه قرارگیری فرودها و کم‌فشارها در روزهای مختلف، مهم‌ترین منبع گرد و غبارهای وارد شده به غرب ایران، صحرای سوریه، صحرای نفوذ در شمال شبه جزیره عربستان و شمال صحرای کبیر آفریقا می‌باشد [۲۹].

وضعیت گردوغبار استان خوزستان در پنج ایستگاه سینوپتیک آبادان، اهواز، بستان، دزفول و مسجد سلیمان از نظر آماری و الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین در دوره (۲۰۰۵-۲۰۰۱) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در فصل سرد سال شکل‌گیری هسته کم‌ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و دریای مدیترانه و در فصل گرم سال کم‌فشارهای حرارتی عوامل ایجادکننده گردوغبار در منطقه می‌باشند. هم‌چنین، بررسی‌های به عمل آمده جهت تعیین منشأ گردوغبار براساس تصاویر ماهواره‌ای و الگوهای گردشی نشان می‌دهد که پدیده گردوغبار دارای دو کانون اصلی، منطقه غرب بغداد و موصل تا بحرالمح و

^۴Particulate Matter <10µm

^۱Particulate Matter < 2.5µm

^۲Mira Loma

^۳Mout Gongga

در این تحقیق، غلظت PM_{10} به صورت ۲۴ ساعته از فروردین ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹ در ایستگاه کنترل کیفی هوا در شهرستان کرمانشاه با عرض جغرافیایی $34^{\circ} 21' 23''$ و طول جغرافیایی $47^{\circ} 06' 49''$ نمونه بردار ذرات معلق اندازه گیری شده است. میانگین پارامترهای هواشناسی از جمله سرعت و در صد باد غالب از فروردین ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹ از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه با عرض جغرافیایی $34^{\circ} 09'$ و طول جغرافیایی $47^{\circ} 21'$ به دست آمده است. به منظور تعیین ارتباط منطقی بین متغیر غلظت PM_{10} با سرعت و جهت باد غالب از تحلیل رگرسیون و همبستگی استفاده شده است [۱۳]. در این تحقیق، داده ها دارای مقیاس فاصله ای و نسبتی با توزیع نرمال می باشند، بنابراین، برای تعیین همبستگی از ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم افزار SPSS استفاده گردیده است. با رسم نمودار پراکنش، شکل پراکنش متغیرها به صورت خطی بود، بنابراین، از رگرسیون خطی می توان برای برازش رابطه مناسب استفاده کرد [۴].

۲.۴. روش بررسی ردیابی فرودهای در سطح

۵۰۰ هکتوپاسکال

در این تحقیق، اطلاعات خطوط هم ارتفاع در سطح فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال در سطوح میانی جو طی دوره آماری اسفند ماه ۱۳۸۸ تا شهریور ماه ۱۳۸۹ از سازمان نوا (سازمان ملی جوی و اقیانوسی آمریکا) به دست آمده است که از این اطلاعات برای تعیین جهت حرکت جریان های هوایی و بادها در روزهای گرد و غباری استفاده شده است. این خطوط دارای خطوط منحنی ارتفاعی هستند که فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال در آنها حاکم است. فرازها در این نقشه ها دارای مرکزی با بیشترین ارتفاع می باشند که نشان دهنده پایداری هوا است و فرودها دارای مرکزی با کمترین ارتفاع می باشند که نشان دهنده ناپایداری هوا است. در این نقشه ها فلش ها جهت وزش باد

برداشت شد. در مرحله بعد، فیلتر به قطعات مساوی تقسیم گردید، طوری که در هر قطعه حدود ۲۴ دایره حاوی ذرات معلق با قطر ۱۳ میلی متر وجود داشت، سپس، از بین این قطعات، ۵۵ نمونه (قطعه) از طریق روش نمونه برداری تصادفی سیستماتیک انتخاب شد. سپس، در آزمایشگاه خاکشناسی، با استفاده از روش هضم اسیدی از نمونه ها عصاره تهیه شد. در مرحله بعد عصاره به وسیله دستگاه ICP-OES برای تعیین غلظت ۲۰ عنصر شامل پتاسیم، سدیم، مولیبدن، وانادیم، آلومینیوم، منگنز، کلسیم، فسفر، مس، نیکل، سرب، کادمیم، سلنیوم، روی، آهن، منیزیم، بور، کروم، کبالت، آرسنیک آنالیز شد.

۲.۲. نمونه برداری از واحدهای ژئومورفولوژی

با استفاده از روی هم گذاری نقشه و واحدهای ژئومورفولوژی با نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ دو برگه قصر شیرین و کرمانشاه مشخص شد که هر یک از واحدها در چه موقعیتی از منطقه واقع شده اند و با توجه به آن، نمونه برداری از خاک واحدهای مورد نظر (عمق صفر تا ده سانتی متر) به میزان $1\text{kg} - 800\text{g}$ به وسیله یک بیلچه استیل انجام شد. برای جلوگیری از مخلوط شدن نمونه ها بعد از هر بار نمونه برداری بیلچه استیل تمیز شده است. به طور کلی جمعاً ۵۵ نمونه برداشت شد. بعد از انتقال نمونه ها به انبار خاک، نمونه ها در هوای آزاد خشک شده، سپس بخش کوچکتر از ۶۴ میکرون آنها با استفاده از الک ۶۳ میکرون و آب جدا گردید. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه خاکشناسی و تهیه عصاره از آنها، عصاره به وسیله دستگاه ICP برای اندازه گیری غلظت ۱۸ عنصر اصلی و کمیاب (پتاسیم، سدیم، کلسیم، فسفر، مس، نیکل، سرب، کادمیم، سلنیوم، روی، آهن، منیزیم، بور، کروم، کبالت، آرسنیک، مولیبدن، وانادیم) آنالیز شد.

۳.۲. بررسی رابطه غلظت PM_{10} با درصد باد

غالب و سرعت باد غالب

صنعتی شدن در رسوبات محاسبه می‌گردد [۱۸]. در این مطالعه، فاکتور غنی شدگی مواد پوسته برای شناسایی منابع احتمالی عناصر موجود در ذرات معلق با منشأ غیرپوسته‌ای به کار می‌رود که فرمول فاکتور غنی شدگی مواد پوسته به شرح زیر می‌باشد [۵]:

$$EF_{crust} = \frac{\left(\frac{C_{element}}{C_{reference}} \right)_{air}}{\left(\frac{C_{element}}{C_{reference}} \right)_{crust}}$$

که در این فرمول، $C_{element}$: غلظت هر کدام از عناصر است، $C_{reference}$: غلظت عنصر مرجع است. معمولاً در تحقیقات مختلف، آلومینیوم، سیلیسیوم، آهن یا تیتانیوم به عنوان عناصر مرجع انتخاب شده‌اند. غلظت هر کدام از عناصر و عنصر مرجع هم در هوا (نمونه ذرات معلق در هوا) و هم در پوسته (نمونه خاک منطقه) در فرمول قرار داده می‌شود. در تحقیق حاضر، عنصر مرجع آهن است [۵]. جدول فاکتور غنی شدگی در زیر نشان داده شده است [۶].

را نشان می‌دهد. در این تحقیق در ابتدا روزهایی که غلظت ذرات معلق از حد مجاز بالاتر بوده است، با استفاده از اطلاعات آماری روزانه گردوغبار در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و میزان غلظت PM_{10} در ایستگاه کنترل کیفی هوا کرمانشاه تعیین شد. سپس، به بررسی جریان‌های ورودی به غرب از زمان اوج رخداد گردوغبار در غرب ایران تا ۲۴ ساعت قبل بر روی نقشه‌های خطوط هم ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در بخش‌های مختلف کشورهای هم‌سایه از طریق تفسیر چشمی پرداخته شد. به عنوان مثال، اگر جریان هوایی در طول مسیر خود در روز گردوغباری از کشور عراق عبور کرده باشد، فراوانی یک و در صورت عدم عبور فراوانی صفر در نظر گرفته می‌شود. به همین صورت با بررسی روزهای دیگر این فراوانی برای کشورهای دیگر به دست آورده و در نرم‌افزار EXCEL ثبت می‌شود. سپس مجموع و درصد فراوانی برای مناطق مختلف به دست می‌آید.

۲.۵. فاکتور غنی شدگی

فاکتور غنی شدگی رسوبات از نسبت غلظت فلزات نرمال شده در رسوب به غلظت‌های کنونی یک عنصر به میزان آن در پوسته زمین و یا غلظت اولیه عناصر قبل از

جدول ۱. فاکتور غنی شدگی

مقادیر EF	وضعیت غنی شدگی
< ۱	عدم غنی شدگی
< ۳	غنی شدگی کم
۳-۵	غنی شدگی متوسط
۵-۱۰	غنی شدگی متوسط زیاد
۱۰-۲۵	غنی شدگی شدید
۲۵-۵۰	غنی شدگی خیلی شدید
> ۵۰	غنی شدگی بسیار شدید

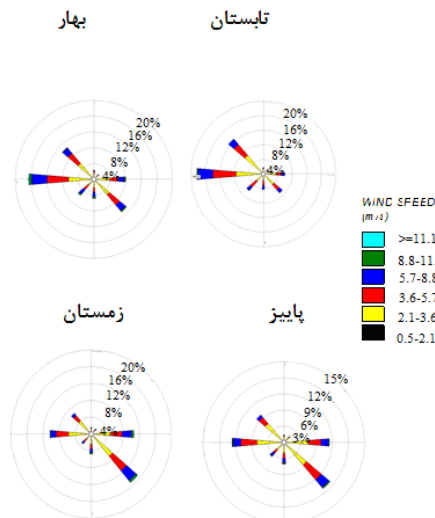
کرمانشاه نشان می‌دهد که جهت باد غالب در فصل بهار و تابستان غربی تا شمال غربی است و همچنین، جهت شدیدترین بادهای (سرعت بیشتر از ۱۱ متر بر ثانیه) در فصل بهار غربی است (شکل ۱). نتایج این بخش نشان داد

۳. نتایج

۱،۳. بررسی رژیم بادناکی به کمک رسم گلباد
نتایج حاصل از رسم گلباد فصلی ایستگاه سینوپتیک

بادها مربوط به قطاع غربی تا شمال غربی و پس از آن قطاع جنوب شرقی می‌باشد و به همین ترتیب فصول زمستان و پاییز نیز به هم شبیه بوده و در این فصول نیز بیشترین فراوانی وزش باد در قطاع جنوب شرقی و پس از آن قطاع غربی می‌باشد.

که بادهای قطاع شمال غربی تا غربی در تمام فصول می‌وزند و بیشترین فراوانی بادها مربوط به قطاع غربی است که می‌توانند منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر خود قرار دهند. با مقایسه گلبادهای فصل بهار و تابستان مشاهده می‌گردد که در هر دو فصل بیشترین فراوانی



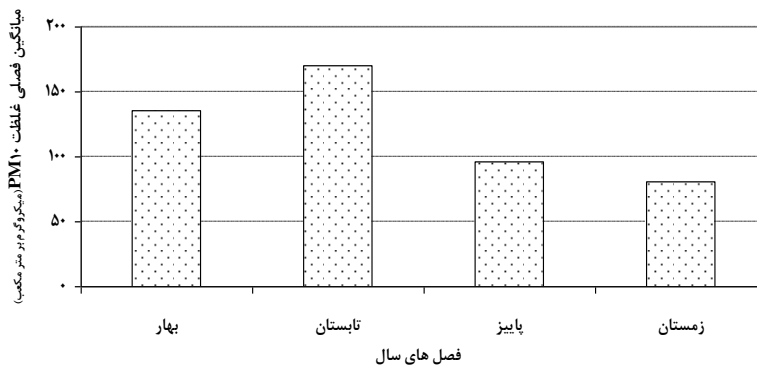
شکل ۱. گلبادهای فصلی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (۲۰۰۶-۱۹۸۶)

میانگین $98/204 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در سال ۱۳۸۷ می‌باشد. غلظت PM_{10} در فصول پاییز و زمستان به خصوص در سالهای بدون وقوع گرد و غبار پایین است. غلظت PM_{10} در فصل بهار تا تابستان روند افزایشی و به دنبال آن تا فصل زمستان روند کاهش را نمایش می‌دهد (شکل ۱).

۲،۳. تغییرات فصلی غلظت PM_{10} در سالهای

مختلف

حداکثر غلظت PM_{10} مربوط به فصل تابستان با میانگین $79/267 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در سال ۱۳۸۸ و فصل بهار با



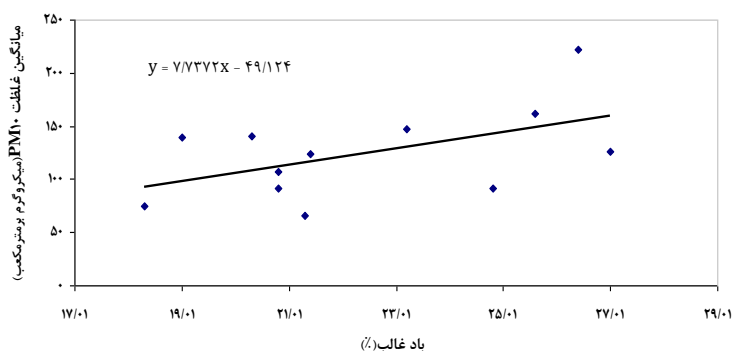
شکل ۲. میانگین فصلی ذرات معلق طی سالهای ۱۳۸۴-۱۳۸۹

همبستگی پیرسون، ارتباط خطی مستقیم درصد باد غالب (r=0/52, P<0/1) و سرعت باد غالب (r=0/71, P<0/01) با غلظت PM₁₀ را نشان می‌دهد؛ به طوری که با افزایش درصد باد غالب و سرعت باد غالب میزان غلظت PM₁₀ افزایش یافته است.

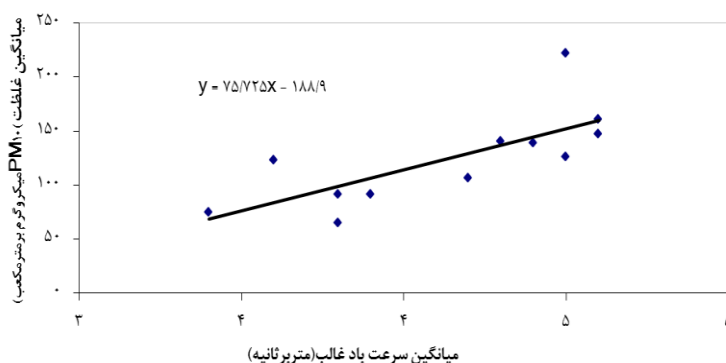
۳,۳. بررسی رابطه غلظت PM₁₀ با درصد باد

غالب و سرعت باد غالب

رابطه رگرسیونی بین درصد باد غالب و سرعت باد غالب با غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۸ در شکل‌های (۲ و ۳) نشان داده شده است. نتایج آزمون



شکل ۳. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه درصد باد غالب و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۸

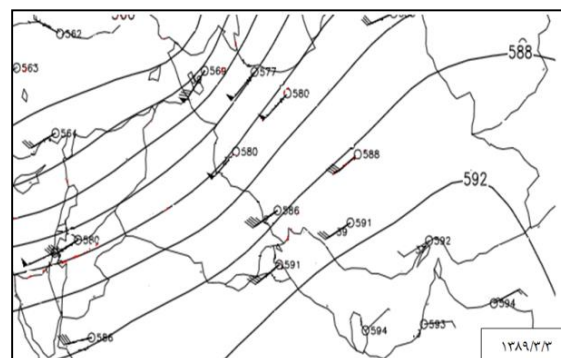
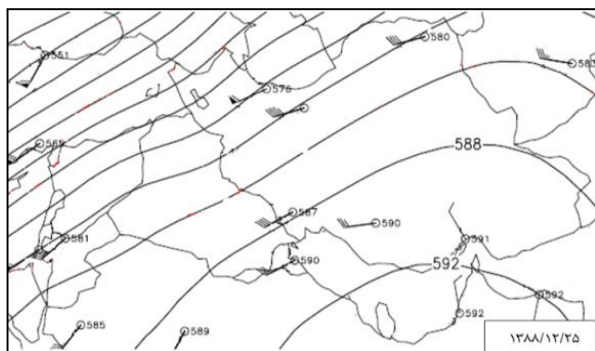
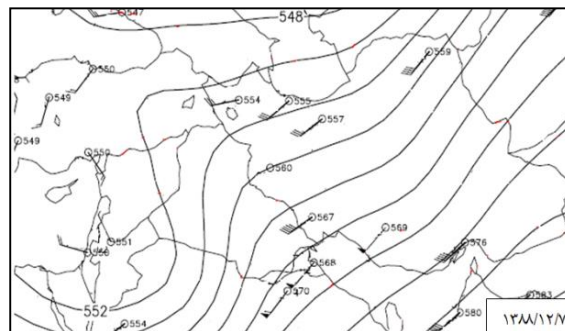
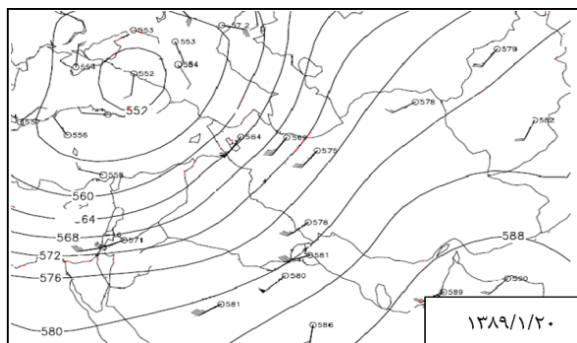


شکل ۴. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه سرعت باد غالب و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۸

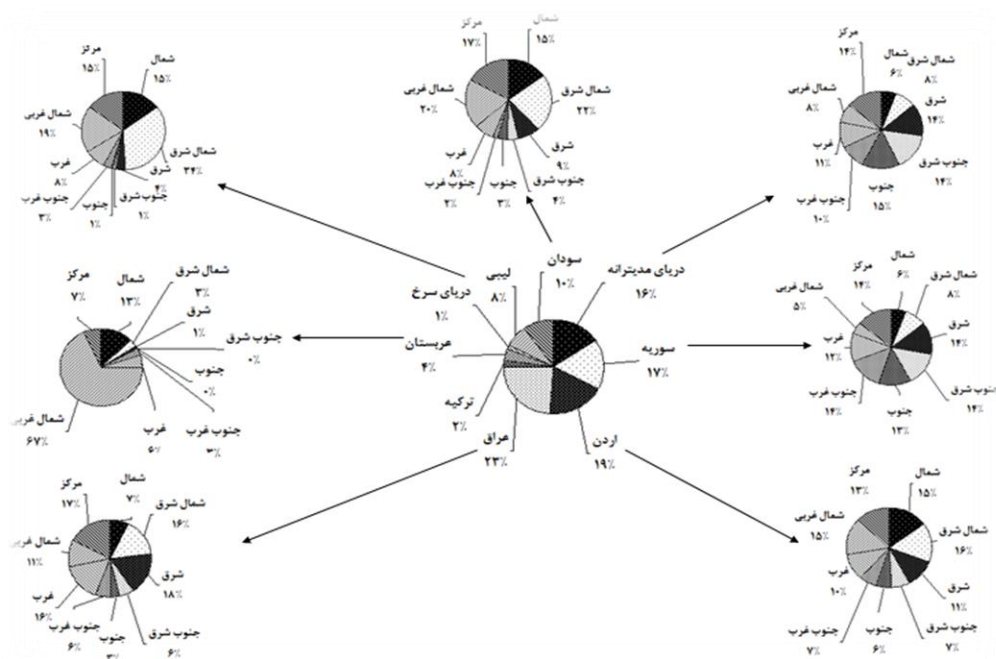
ایران در درجه اول در کشور عراق و پس از آن اردن، سوریه و دریای مدیترانه می‌باشد. همچنین سودان، لیبی و عربستان در رده‌های بعدی واقع شده‌اند. براساس این شکل بیشتر جریان‌ات ورودی به عراق، پس از عبور از غرب و شمال غرب و نواحی داخلی آن، از مناطق شرقی و شمال شرقی این کشور (مناطق هم‌مرز) به غرب ایران وارد می‌شوند.

۴,۳. ردیابی فرودهای در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

خطوط تراز هم ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در شکل (۵) نمایش داده شده است که بر روی این نقشه‌ها جهت جریان‌های هوایی با فلش نشان داده شده است. شکل (۶) فراوانی وقوع مسیر جابه‌جایی فرودهای در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل بیشترین فراوانی عبور جریان‌های هوایی به غرب



شکل ۵. خطوط هم ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ۴ روز از ۱۱ روز پر گردوغبار در طی دوره نمونه برداری



شکل ۶. نمودار پای مربوط به فراوانی وقوع مسیر جریانات هوایی (بادها) در مناطق مختلف در طی دوره آماری اسفند ماه ۱۳۸۸ تا شهریور ماه ۱۳۸۹ شمال غرب این کشور عبور می کنند.

۵.۳ نتایج فاکتور غنی سازی

فاکتور غنی سازی عناصر مختلف در تحقیق حاضر، برآورد شده است که در جدول (۱) نشان داده شده است. براساس این جدول، بور (B) غنی ترین عنصر است و به دنبال آن، روی و مولیبدن واقع شده اند. این عناصر مقادیر EF^۱ بالا در گستره بین ۳۱ تا ۵۰۷/۲۹ دارا می باشند. فاکتور غنی سازی مس، سرب، کادمیم، نیکل، وانادیم و کروم در گستره بین ۱ تا ۱۰ می باشد. مطابق با این جدول، بقیه عناصر دارای فاکتور غنی سازی کمتر از ۰/۲۵ هستند.

همچنین، بیشتر جریانات ورودی به اردن، پس از عبور از غرب و شمال غرب و نواحی داخلی آن، از مناطق شرقی و شمال شرقی این کشور به کشور عراق وارد می شوند. با توجه به این شکل بیشتر جریانات ورودی به سوریه، پس از عبور از مناطق جنوبی و جنوب غربی و غرب و نواحی داخلی آن، از مناطق شرقی و جنوب شرقی این کشور به کشور عراق وارد شده اند. براساس این نتایج، جریان های هوایی بر روی دریای مدیترانه، پس از عبور از مناطق غربی، جنوب غربی و جنوبی و نواحی داخلی آن، از مناطق شرقی و جنوب شرقی این دریا به کشورهای هم جوار عراق وارد می شوند و جریانات عبوری از سودان در بیشتر موارد از بخش های شمال، شمال شرقی و شمال غربی این کشور و جریانات عبوری از عربستان در بیشتر موارد از شمال و

جدول ۱. متوسط غلظت عناصر ردیاب در هوا و پوسته و فاکتور غنی سازی عناصر در PM₁₀

عناصر	متوسط غلظت در پوسته (ppb)	متوسط غلظت در هوا (ppb)	EF
Cr	۴۱/۸۵	۴۹/۵۸	۹/۹
Zn	۸۹۶/۳۹	۶۹۱۰/۲	۶۲/۶۵
Cu	۱۶۶۵/۸	۱۴۲/۷۲	۱/۴
Pb	۹۹۹/۲۴	۱۷۵/۳۲	۲/۸
Cd	۲۹/۹۷	۱۹/۷۹	۵/۳۶
K	۲۶۱۶۲۰	۶۱۶۵	۰/۲
Ca	۱۸۸۹۱۱۱	۵۲۲۱۰	۰/۲
Fe	۱۶۱۳/۹۵	۱۳۱۱۷/۷۸	۱
Ni	۲۴۹۷/۸	۳۶۰	۲/۲
B	۱۵۰/۱۲	۹۳۷۰	۵۰۷/۲۹
Se	۵۰	۴۹۸۴/۷۶	۰/۰۸
As	۵۰	۴۹۸۴/۷۶	۰/۰۴
Mo	۵/۰۶	۱۹/۹۳	۳۱/۹۶
V	۶۳۹/۰۵	۵۰	۱/۳۵
Co	۱۶۷۳/۲۲	۲۱/۹	۰/۱
P	۲۲۹۵۱/۱۱	۶۷۲/۵	۰/۲
Mg	۲۶۳۳۸۴/۴	۲۰۸۷/۸	۰/۰۶
Na	۵۲۴۴۱۷/۸	۱۶۵۰۲/۵	۰/۲۵

^۱Enrichment Factor

۴. بحث و نتیجه گیری

در سال های اخیر، ذرات معلق به عنوان یکی از آلاینده های هوا (خواه منشأ طبیعی و خواه منشأ مصنوعی) توجه زیادی را به خود معطوف کرده اند، این امر به دلیل نقش آن ها در تغییر آب و هوای جهانی، ایجاد مسائل آلودگی و خطرات بهداشتی است [۱۲]. مقادیر بسیار بالای فاکتور غنی شدگی عناصر بور، روی و مولیبدن نشان دهنده این است که آن ها احتمالاً به منابع غیر خاکی همانند خروجی وسایل نقلیه وابسته اند که این عناصر به طور متوسط ۱۴/۷٪ از غلظت کل همه عناصر را در بر می گیرند. عناصر مس، سرب، کادمیم، نیکل، وانادیم و کروم با غنی شدگی کم تا زیاد می باشند که دلالت بر آن دارد که این عناصر توسط منابع غیر خاکی انتشار یافته اند. همچنین، این شش عنصر ۱/۳٪ از غلظت کل عناصر را شامل می شوند. نتایج مطالعه [۱] از نظر مس، سرب، روی و کادمیم با نتایج این مطالعه یکی است. فاکتور غنی شدگی روی، مس، نیکل، کروم و منگنز در مطالعه [۲] برای گردوغبار کرمانشاه نتایج این مطالعه تأیید می کند. دلیل این امر این است که ایستگاه نمونه برداری از ذرات معلق در مرکز شهر کرمانشاه واقع شده است و از آنجا که ذرات معلق از قدرت جذب بالایی برای عناصر برخوردار هستند، بنابراین، این ذرات از نظر این عناصر غنی شده اند.

عناصری همانند آهن، پتاسیم، کلسیم، سلنیوم، آرسنیک، کبالت، فسفر، منیزیم و سدیم در گستره بدون غنی شدگی می باشند که نشان دهنده آن است که این عناصر از پوسته سرچشمه گرفته اند. این عناصر ۸۴٪ از غلظت کل عناصر را شامل می شوند. نتایج فاکتور غنی شدگی مطالعه [۵] از لحاظ عناصری همانند آهن، پتاسیم، کلسیم و سدیم تأییدکننده نتایج این مطالعه است. نتایج فاکتور غنی شدگی عناصر آهن، کلسیم در تحقیق [۱۶] نتایج تحقیق حاضر را تصدیق می کند.

در این مطالعه براساس فاکتور غنی سازی منابع وابسته به خاک (عناصر پوسته ای) به عنوان کمک کننده های اصلی عناصر در ذرات معلق شناخته شده است. بنابراین، با بررسی مسیر جابه جایی فرودهای در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال می توان پی برد که چگونه غلظت عناصر پوسته ای در ذرات معلق در اتمسفر کرمانشاه افزایش یافته است. بررسی تغییرات فصلی غلظت PM_{10} نشان داد که غلظت PM_{10} در فصول تابستان و بهار نسبت به دو فصل دیگر بیشتر بوده است. این حقایق می تواند در نتیجه تغییر پارامترهای دمای محیط، بارندگی، رطوبت نسبی و درصد باد آرام در این فصول ایجاد شده باشد. فراوانی وقوع گردوغبار در غرب ایران در اواخر بهار و اوایل تابستان بیشتر از سایر فصول است [۲۹]. بر اساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون، با افزایش در صد و سرعت باد غالب میزان غلظت PM_{10} افزایش می یابد. این امر از این واقعیت ناشی می شود که در کرمانشاه بادهای غالب با جهت غربی تا شمال غربی در فصول بهار و تابستان، امکان حمل آلاینده های هوا از غرب کشور را ایجاد می کنند و در مقابل، بادهای شرقی و جنوب شرقی در فصول پاییز و زمستان امکان حمل هوای پاک را از استان های همسایه کرمانشاه و ترقیق غلظت PM_{10} در این فصول را فراهم آورده است [۱۹]. سرعت بالای باد، بارش های فراوان، بادهای پاک شمالی و عدم وقوع گردوغبارهای ناگهانی به صورت معنی داری بر میزان غلظت $PM_{2.5}$ مؤثر می باشند [۲۸]. پراکنش و ته نشین شدن بادهای قوی بهاری و بارش فراوان تابستان عامل کاهش غلظت $PM_{2.5}$ در فصول تابستان و بهار در منطقه پکن گزارش شده است [۱۰]. نتایج حاصل از بررسی جهت حرکت جریان های هوایی (بادهای) در سطوح میانی جو با استفاده از خطوط هم ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که بیشترین فراوانی عبور جریان های هوایی ورودی به غرب کشور در درجه اول متعلق به غرب تا شرق عراق و پس از آن شمال غرب تا شمال شرق اردن، شرق تا جنوب غرب سوریه و شرق تا

البته، در بعضی موارد جریانات و بادهای سطوح پایین شمال غرب، ذرات معلق را از شمال غرب عراق و روی سوریه به مناطق مرزی غرب ایران منتقل نموده‌اند [۹]. کاهش نزولات جوی و وقوع پدیده مکرر خشکسالی در منطقه که باعث ایجاد باربستری معلق و نیز خشک شدن هور، رودخانه‌ها و... می‌گردد و همچنین، ایجاد شرایط مناسب دمایی و فشار جهت حرکات صعودی و انتقال ذرات معلق به ترازهای بالاتر جو در تولید این ذرات موثر بوده است [۹].

غرب دریای مدیترانه می‌باشد و نیز عربستان از این نظر جز آخرین مناطق محسوب می‌شود. نتایج این مطالعه با نتایج تحقیقات پژوهشگران دیگر در این عرصه مطابقت دارد [۳، ۹، ۲۹، ۳۰]. در حقیقت، سیستم‌های کم‌فشار جنوبی روی عراق ایجاد توربولانس نموده و ذرات معلق را وارد جو نموده‌اند و این ذرات توسط جریانات غربی و جنوب غربی سطوح میانی جو به غرب و جنوب غرب ایران منتقل شده است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان بیان کرد که عراق و مناطق هم‌جوار با آن عامل اصلی ایجاد ذرات معلق (گرد و غبار) در منطقه می‌باشند.

References

- [1] Abraham, G.M.S. and Parker, R.J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ Monit Assess*, 136, 227-238.
- [2] Amadi Doabi Sh., Afyuni M., Khademi H. and Karami M. (2016). Statistical analysis of contamination in atmospheric dusts of Kermanshah Province Iran. *J. Water and Soil Science*, 20 (76): 29- 43.
- [3] Ataei, H. and Ahmadi, F. (2010). Dust one of the environmental problems in Islamic world (Case study: Khuzestan Province). In: *Proceedings of the Fourth International Congress of Islamic World Geographers*, Iran, Zahedan, ۱۴-۱۶.
- [4] Bihamta, M.R. and Zare Chahouki, M.A. (2009). *Principles of statistics for the natural resources*. University of Tehran Press, Iran.
- [5] Cao J., Shen Zh., Chow, C.j., Qi, g., and Watson, G.j. (2009). Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for PM₁₀ aerosol in Hangzhou, China. *Particuology*, 7, 161-168.
- [6] Chiu-Wen Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F. and Dong, C.D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediment of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66, 1431-1440.
- [7] Eby, G.N. (2004). *Principle of environmental geochemistry*. Tampson.
- [8] Erfanmanesh, M. and Afyuni, M. (2002). *Environmental pollution (water, soil and air)*, Arkan Publications, Iran.
- [9] Ghassemi, M. (2009). Investigation of dust in Kermanshah Province. *Meteorology of Kermanshah*, 13, 4-6.
- [10] Guinot, B., Cachier, H., Sciare, J., Tong, Y. and Wang, X., Yu, J. (2007). Beijing aerosols: Atmospheric interactions and new trends. *Geophysical Resech*, 112, pp. D14314.
- [11] Haideri, M.T. (2009). uninvited guests and harmful phenomena. *Meteorology of Kermanshah*, 7, 4-13.
- [12] Han, Y.M., Cao, J.J., Jin, Z.D. and ZS, AN. (2008). Elemental composition of aerosols in Daihai, a rural area in the front Boundary of the Summer Asian Monsoon. *Atmospheric Research*, 92: 229-235.
- [13] Jamshidi, A., Karimzadeh, K. and Raiganshirazi, A. (2006). Investigation of suspended particles pollution in Gachsaran air. *Armaghan of Danesh*, 12(2): 89-97.

- [14] Lili, M., Naddafi, K., Yonesian, M., Mesdaghinia, A. and Nazmara, Sh. (2009). Concentration of aerosols and Air Quality Index (AQI) in the central area of Tehran. *J. Health Faculty and Institute of Health Researches*, 7(1), ۵۷-۶۷.
- [15] Mehrpour, M. and Mostean, M. (2004). Report of systematic geochemical discoveries of Fereydoonshahr sheet (1:100000). Iran.
- [16] Na, K. and Cocker, D.R. (2009). Characterization and source identification of trace elements in PM_{2.5} from Mira Loma, Southern California. *Atmospheric Research*, doi:10.1016/j.atmosres.2009.03.012.
- [17] Naddafi, K., Ahrampush, M.H., Jafari, V. and Yonesyan, M. (2008). Investigation of total suspended particles and its ingredients in the central area of Yazd. *University of Medical Sciences – Health Services of Sadoughi's martyr of Yazd*, 16(4), 25-21.
- [18] Nasrollahzadeh Saravi, H., Afraei Bandpei, M., Pourang, N., Rezaei, M. and Ahmadnezhad, A. (2017). Statement of some metals and oil pollutants around the cage fish culture area in the southern Caspian Sea (Kelarabad-Mazandaran). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25(5): 111-125.
- [19] Nazari, Z., Zhorasani, N., Feiznia, S. and Karami, M. (2013). Investigation of Temporal Variations of PM₁₀ Concentration and Influence of Meteorological Parameters on it During 2005-2010. *Natural Environment*, 1: 101-111.
- [20] Pope, C.A., Dockery, D.W. and Schwartz, J. (1995). Review of Epidemiological Evidence of Health Effects of Particulate Air Pollution. *Inhalation Toxicology*, 7: 1-18.
- [21] Shakeri, A. (2015). Determination of source and contamination of potentially poisonous elements in contaminated soils in oil areas, Boushehr province, Iran. *Geology of Engineering*, 9(1): 2676-2694.
- [22] Tabatabaei, J. (2011). Increase of enrichment factor of As, Zn, Cu in sediments of Zayandehroud river bed. *Geology and Environment*, 13: 93-105.
- [23] Yari, Y., Momtaz, H.R. and Taheri, M. (2016). Spatial distribution of heavy of some heavy metals in soils of Zanjan industrial region. *Sciences of Water and Soil*, 26(4/1), 224-236.
- [24] Yin, J., Allen, A.G., Harrison, R.M., Jennings, S.G., Wright, E., Fitzpatrick, M., Healy, T., Barry, E., Ceburnis, D. and McCusker, D. (2005). Major component composition of urban PM₁₀ and PM_{2.5} in Ireland. *Atmospheric Research*, ۷۸, ۱۴۹-۱۶۵.
- [25] Yngjie Y., Yuesi, W., Tianxue, W., Wei, L., Yanan, Z. and Liang, L. (2009). Elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ at Mount Gongga in China during 2006. *Atmospheric Research*. doi:10.1016/j.atmosres.2009.03.014.
- [26] Zare Khoshaghbal, M. and Charkhabei, A.H. (2013). Comparison of enrichment methods of heavy metal pollution study in south of the Caspian sea sedimentary environmental: Case study of Anzali wetland). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 98: 51-64.
- [27] Zhang, R., Han, Zh., Cheng, T. and Tao, J. (2009). Chemical properties and origin of dust aerosols in Beijing during springtime. *Particology*, 7: 61-67.
- [28] Zhao, X., Zhang, X., Xu, j., Meng, W. and Pu, W. (2009). Seasonal and diurnal variations of ambient PM_{2.5} concentration in urban and rural environments in Beijing. *Atmospheric environment*, 43, 2893-2900.
- [29] Zolfaghari, H. and Abedzadeh, H. (2005). Synoptic analysis of dust systems in the West. *Geography and Development*, Fall and Winter, 174-188.
- [30] Zouravand, A.M. and Shabazi, F. (2010). Synoptic analysis of atmosphere in Kermanshah Province. *Meteorology of Kermanshah*, 13, 7-9.