

## بررسی آلودگی هوای شهر سنندج با تاکید بر تغییرات زمانی غلظت PM<sub>10</sub>

### Investigating the Air Pollution of Sanandaj with emphasis on temporal variation of PM<sub>10</sub> concentration

M. Rahimi<sup>1</sup>, M. R. Yazdani<sup>2</sup>, M. Asadi<sup>3\*</sup>,  
M.T. Haydari<sup>4</sup>

محمد رحیمی<sup>۱</sup>، محمدرضا یزدانی<sup>۲</sup>، مسلم اسدی<sup>۳\*</sup>،

محمدطالب حیدری<sup>۴</sup>

Received: 24/10/2014

Accepted: 11/07/2015

پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۲۰

دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۲

#### Abstract

This study aimed to examine the relationship between local-regional climatological data and the concentration of suspended particles in Sanandaj. By the use of the index of suspended particles extracted from the DREAM model, the data reported by the weather station in Sanandaj as well as regional climatological data (meteorological data in Middle East) collected through examining various levels of atmospheric synoptic maps and MODIS satellite images, dust transport systems in Kurdistan province were investigated. Correlation analysis between the average monthly temperature and the index of suspended particles revealed that there was a direct correlation between these two parameters so that during this study, the highest amount of suspended particles belonged to May and July. There was also a negative correlation between the average monthly humidity and the index of suspended particles. The overall results of this study indicated that the region has been faced with a drought in recent years. In fact, lack of rainfall and humidity along with seasonal wind patterns in the Middle East, particularly in the warm seasons of the year, have caused the pollution of suspended particles in Sanandaj.

**Keywords:** Air pollution, Suspended particles, Synoptic maps, MODIS Satellite Images, Sanandaj.

#### چکیده

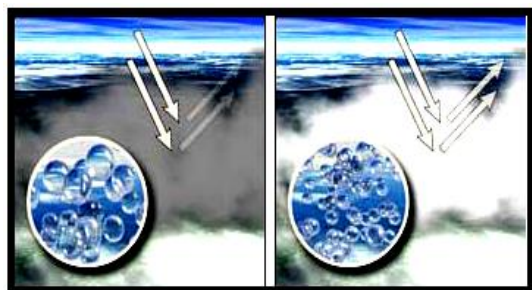
در این تحقیق، به بررسی ارتباط بین داده‌های هواشناسی محلی و منطقه‌ای با غلظت ذرات معلق در ایستگاه سنندج پرداخته شده است. همچنین با استفاده از شاخص ذرات معلق استخراج شده از مدل DREAM و گزارش‌های ایستگاه هواشناسی سنندج و نیز داده‌های هواشناسی منطقه‌ای (داده‌های هواشناسی در خاورمیانه) از طریق بررسی نقشه‌های سینوپتیک ترازهای مختلف جوی و تصاویر ماهواره‌ای مودیس، سیستم‌های انتقال گرد و غبار به داخل استان کردستان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تحلیل همبستگی میانگین دمای ماهیانه با شاخص ذرات معلق نشان داد که همبستگی مستقیمی بین این دو پارامتر وجود دارد، به طوری که در دوره مطالعه، بیش‌ترین میزان ذرات معلق، مربوط به ماه‌های می تا جولای بوده است. همچنین یک همبستگی معکوس بین میانگین رطوبت نسبی ماهیانه و شاخص ذرات معلق دیده می‌شود. نتایج کلی در این تحقیق، حاکی از ورود منطقه به یک روند خشکی زیست محیطی در سال-های اخیر است. در واقع می‌توان گفت کمبود بارندگی و رطوبت هوا همراه با الگوهای فصلی باد در منطقه خاورمیانه، شرایط آلودگی ذرات معلق را در سنندج، به ویژه در فصل‌های گرم سال، ایجاد کرده‌اند.

**واژگان کلیدی:** آلودگی هوا، ذرات معلق، نقشه‌های سینوپتیک، تصاویر ماهواره‌ای مودیس، سنندج.

1. Assistant professor, Department of Desertification, College of the Desert, Semnan University, Iran.  
2. Assistant professor, Department of Desertification, College of the Desert, Semnan University,  
3. \*MSc, Engineering Desertification, University of Semnan, Iran (moslemasadi1989@gmail.com).  
4. The Director General of Meteorological Research Center, Kurdistan, Iran.

۱. استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان.  
۲. استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان.  
۳. دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی بیابان‌زدایی دانشگاه سمنان. (نویسنده مسئول)، (moslemasadi1989@gmail.com).  
۴. مدیر کل مرکز تحقیقات هواشناسی استان کردستان.

در این میان،  $PM_{10}$  به ذرات معلق با قطر ۱۰ میکرون و یا کوچک تر اطلاق می‌گردد. این ذرات با تنفس به اعماق ریه‌ها نفوذ کرده و باعث تحریک آن‌ها می‌شود. بسیاری از این قبیل ذرات به همراه نزولات جوی و یا ته نشینی مستقیم دوباره به سطح زمین باز می‌گردند (Ismaili, 2006: 9). این ذرات به دلیل ریز بودن می‌توانند تا ارتفاعات بالای جو منتقل و مسافت زیادی را طی کنند. بنابراین اثر آتشفشان فقط محدود به محل تولید نمی‌شود بلکه می‌توان اثرات آن‌ها را کیلومترها دورتر مشاهده کرد و همین امر منجر به اهمیت جهانی این گونه حوادث و رویدادها شده است. ذرات گرد و غبار از طریق انعکاس و جذب نور خورشید به طور مستقیم در تغییرات اقلیم نیز مؤثر هستند (Legrand, 1998: 8). این ذرات از طریق تغییراتی که در وضعیت ظاهری ابرها و فعالیت‌های همرفتی ایجاد می‌کنند می‌توانند به طور غیرمستقیم بر آب و هوا مؤثر باشند (Rashno, 2009: 7)، به این صورت که زمینه را برای تشکیل قطرات زیادتر و ریزتر فراهم می‌کنند و منجر به انعکاس بیش تر نور خورشید و به دنبال آن کاهش دمای هوا خواهند شد (شکل ۱).



شکل ۱. تأثیر ذرات گرد و غبار بر تعداد و اندازه قطرات ابر: هوای با گرد و غبار (سمت راست) و هوای بدون گرد و غبار (سمت چپ).  
منبع: (Ismaili, 2006: 9)

با توجه به این که این ذرات امواج بلند صادر شده از زمین را بر می‌گردانند، بنابراین می‌توانند در گرمایش زمین نیز مؤثر باشند (Chupani, 2009: 10). در جدول ۱، برخی دیگر از پیامدهای احتمالی ذرات گرد و غبار بیان شده‌اند.

## مقدمه

پدیده آلودگی هوا در مناطق شهری یکی از پیامدهای انقلاب صنعتی است که از ۳۰۰ سال قبل آغاز شده و با توسعه صنعت و شهرنشینی، روز به روز بر میزان و شدت آن افزوده می‌شود. آن چه که به عنوان "بحران جهانی آلودگی شهری" تعبیر می‌شود، در واقع حاصل برهم خوردن توازن میان مؤلفه‌های اصلی تشکیل دهنده محیط طبیعی است. انواع متعددی از آلاینده‌ها در اثر فعالیت‌های طبیعی و ناشی از فعالیت‌های بشر که در زمین انجام می‌گیرد، وارد اتمسفر می‌گردند. افزایش مرگ و میرهای به همراه انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری و صدمات اقتصادی و فرهنگی از ابعاد هراس‌انگیز آلودگی هوای شهرها حکایت می‌کند.

این امر بیان کننده این مطلب است که چرا بایستی نگران آلودگی هوا و غلظت آلوده کننده‌های مختلف در آن شد. امروزه، فاکتورهای بسیار متعددی در آلودگی هوا نقش دارند. از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در آلودگی هوای شهر ذرات معلق موجود در جو می‌باشد.

ذرات معلق در جو، شامل سولفات‌ها و نیترات‌های حاصل از دی اکسید سولفور و اکسید نیتریک ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی، مواد آلی حاصل از اکسیداسیون ترکیبات آلی فرار و غبارهای معدنی که از فرآیندهای فرسایشی خاک به واسطه وزش بادهای شدید پدید می‌آیند، می‌باشند. در مقیاس کلی، حجم ذرات طبیعی معلق در هوا از جمله نمک‌های دریا و ذرات آتشفشانی، در حدود ۴ تا ۵ برابر حجم ذرات معلق در هوایی است که از فعالیت‌های انسانی منشأ می‌گیرند. این نسبت در برخی از مناطق، به ویژه مناطق واقع در نیم کره شمالی، به واسطه آلودگی‌های تولید شده توسط انسان به میزان قابل توجهی تغییر می‌کند، تا آنجا که مقدار نور رسیده از خورشید به سطح زمین و نیز چرخه طبیعی آب و هوا در این مناطق را دچار تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌کند.

ژئوپتانسیلی مشاهده می شود. نتیجه این شرایط افزایش میزان گرد و غبار می باشد (Barkan, 2008: 10).

ناتالی و همکاران (۲۰۱۳)، توزیع اندازه ذرات معلق موجود در گرد و غبار مناطق بیابانی و ارتباط آن با سطح زمین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می دهد که اندازه ذرات معلق، تا حد زیادی توسط خصوصیات خاک و نیروی محرکه باد تعیین می شود. هم چنین دوام اندازه ذرات معلق وابسته به نحوه قرارگیری این ذرات در مسیر حرکت باد است. به نحوی که ذرات بزرگ تر با توجه به شکنندگی بیش تر، از دوام و پایداری کم تری برخوردار می باشند (Natalie et al, 2013: 19).

رایدر و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی گرد و غبار صحرای آفریقا و رسوب آن بر روی کشورهای مالی، موریتانی و الجزایر پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که دامنه گسترش اندازه ذرات تا ۳۰۰ میکرون نیز می رسد، اما آنچه که مشخص است ذرات با قطر مؤثر بیش تر از ۱۲ میکرون تنها تا ارتفاع یک کیلومتری از سطح زمین توان بلند شدن دارند که در هر صورت بسیار بیش تر از مقادیری است که در تحقیقات پیشین مشاهده شده بود. هم چنین مشخص گردید که قطر مؤثر ذرات رسوب یافته در کشورهای مورد مطالعه، بین ۲/۳ تا ۱۹/۴ میکرون است (Ryder et al, 2013: 23).

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، کشور ما نیز از این پدیده مصون نمانده است. این امر موجب شده تا موضوع بسیاری از تحقیقات انجام شده در داخل کشور باشد.

نتایج یکی از این تحقیقات نشان می دهد که میزان غلظت ذرات معلق هوای شهر سنندج در برخی موارد بیش از حد استاندارد ملی است. هم چنین، میانگین غلظت ذرات معلق هوا در ماه های فروردین، اردیبهشت، تیر و مرداد به ترتیب ۱۱۸، ۱۹۳، ۲۳۱، ۲۶۷، ۳۳۳ میکروگرم بر متر مکعب است. میانگین کل غلظت سرب برابر ۰/۰۴ میکروگرم بر متر مکعب و کمتر از حد استاندارد است.

مطالعات متعددی در سطح جهان در زمینه ذرات معلق و اثرات آن انجام شده است. در یکی از این مطالعات، ویژگی های شیمیایی ذرات معلق در فصل زمستان در جنوب تایوان بررسی شد و برای شناسایی منابع عمده آلوده کننده هوا در ایستگاه های مورد بررسی از مدل ضریب انتقال گاوسی<sup>۵</sup> استفاده شد.

جدول ۱. برخی از پیامدهای زیست محیطی ذرات گرد و غبار

پیامدها	منبع
تغییر اقلیم	(Maley, 1982: 16)
فرسایش خاک	(Kalma et al, 1988: 17)
رسوب ورودی به رودخانه ها	(Goudie, 1978: 19)
مشکلات تنفسی و عفونت های چشمی	(Chen et al, 2004: 4)
تعطیلی کسب و کار	(Gillette, 1981: 15)
خفه شدن حیوانات	(Choun, 1936: 4)

مهم ترین ذرات معلق بر اساس جرم، سولفات، کربن آلی، نیترات، کربن عنصری و آمونیوم باهم ۸۶-۸۷/۹ درصد از کل نمک های محلول معدنی  $PM_{2.5}$  و ۶۸/۹-۷۸/۳ درصد از کل نمک های محلول معدنی غیر آلی  $PM_{2.5-10}$  را تشکیل می دهند (Tsai & Chen, 2006: 12).

#### پیشینه تحقیق

برکن (۲۰۰۸)، با بررسی الگوهای سینوپتیک ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتو پاسکالی برای دوره های پر گرد و غبار و بدون گرد و غبار در صحرای آفریقا، نشان داد که در دوره های پر گرد و غبار در فصول پاییز، بهار و تابستان در اروپای غربی و شمال غرب آفریقا، یک جریان سیکلونی قوی باعث انتقال سرمای شدید و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه می شود. در حالی که در مرکز صحرا و مرکز دریای مدیترانه جریان آنتی سیکلونی غلبه داشته و دمای نسبتا بالا با افزایش ارتفاع

La ، Ce و Al با افزایش غلظت مواجه شده‌اند (Khani et al, 2014: 6).

هر چند مطالعات متعددی در مورد جنبه‌های مختلف گرد و غبار در ایران صورت گرفته و در برخی از آن‌ها به طور خاص ساز و کارهای حاکم بر وقوع آلودگی‌های غرب و جنوب غرب کشور نیز مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما به نظر می‌رسد کردستان به ویژه در شهرستان سنندج به خوبی شناسایی نشده است. از طرفی موقعیت خاص جغرافیایی سنندج و نزدیکی آن با بیابان‌های کشورهای مجاور، باعث پیدایش شرایط غبارآلود و تراکم آلودگی به خصوص ذرات معلق ( $PM_{10}$ ) در سطح زمین شده است که این مسئله تنفس مردم و سلامتی آن‌ها را به خطر می‌اندازد. از آن‌جا که عناصر هواشناختی از قبیل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت و جهت باد می‌تواند بر میزان غلظت و پراکنش آلاینده‌ها از جمله ذرات معلق مؤثر باشند.

در این تحقیق به بررسی رابطه غلظت  $PM_{10}$  با عناصر هواشناختی محلی و منطقه‌ای نیز پرداخته شده است. با توجه به کلیات بیان شده، اهداف قابل انتظار از این مطالعه، ابتدا یافتن یک درک جامع از عوامل و نحوه تشکیل آلودگی در شهر سنندج بوده است. سپس تغییرات غلظت ذرات معلق طی دوره آماری ۵ ساله ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ارتباط آن با عناصر اقلیمی بر پایه تحلیل‌های آماری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و آلودگی هوا بررسی شده است. در آخر این که تغییر چه عامل (یا عواملی) در منطقه مورد مطالعه موجب افزایش یا کاهش آلودگی شهر سنندج شده است نیز مورد تحلیل قرار گرفته است.

### روش تحقیق

در این مطالعه، داده‌های غلظت  $PM_{10}$  ایستگاه سنندج از ژانویه ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۱۲ (آمار مربوط به قبل از سال ۲۰۰۸ ثبت نشده است) به صورت ۲۴ ساعته از اداره کل حفاظت محیط زیست استان کردستان دریافت گردید.

مقدار مواد آلی و معدنی موجود در ذرات معلق کل<sup>۶</sup> را نیز به ترتیب ۲۵/۳۱ و ۷۴/۶۸ درصد به دست آورده‌اند (Naddafi et al, 2008: 4).

مه‌پاش و سوری (۱۳۹۱)، با بررسی غلظت مقادیر محلول سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ذرات گرد و غبار شهر سنندج به این نتیجه رسیدند که عناصر کلسیم و منیزیم به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را در ایستگاه نمونه‌برداری داشته‌اند (Mehpash & Surrey, 2012: 5).

موسویان (۱۳۹۱)، نقش خشک‌سالی در بروز رخدادهای گرد و غبار ایران را مورد بررسی قرار داد. نتایج بدست آمده از این تحقیق که بر روی برخی شهرهای ایران مانند بوشهر، یزد و برخی شهرهای استان خوزستان انجام شده است، نشان داد که میزان بارندگی نقش به‌سزایی در فراوانی و شدت رخدادهای گرد و غبار دارد (Musavian, 2012: 13).

میرزایی و همکاران (۱۳۹۲)، آلاینده  $PM_{10}$  در چهار ایستگاه سنجش آلودگی هوا که در مناطق مختلف شهر تبریز نصب شده‌اند را بررسی کردند. نتایج آزمون تجزیه واریانس مشخص کرد که بین مقدار ذرات معلق در این چهار ایستگاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما اختلاف بین شش ماهه اول سال در چهار ایستگاه معنی‌دار شده است و این امر می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که در ماه‌های مختلف سال بسته به شرایط اقلیمی و هم‌چنین سرعت و جهت وزش باد و گرمای هوا، میزان ذرات معلق متغیر خواهد بود. بیش‌ترین میزان این آلاینده مربوط به ماه تیر و کم‌ترین میزان آن مربوط به ماه فروردین می‌باشد. (Mirzaie et al, 2013: 7).

خانی و همکاران (۱۳۹۳)، وضعیت آلودگی هوای شهر اهواز را جهت بررسی عناصر موجود در ذرات معلق با دو روش طیف‌سنجی جذب اتمی و فعال‌سازی نوترون بررسی کردند. نمونه‌گیری به مدت یک سال نشان داد که با ورود ریزگردها اکثر عناصر به ویژه عناصر خاکی مانند

به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی، از تحلیل رگرسیون و همبستگی استفاده شد. با توجه به این که داده‌ها دارای مقیاس فاصله‌ای نسبتی با توزیع نرمال می‌باشند، برای تعیین همبستگی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. با رسم نمودار پراکنش، شکل پراکنش متغیرها به صورت خطی بود، از این رو، برای پردازش رابطه مناسب می‌توان از رگرسیون خطی استفاده کرد (Rahimi et al, 2009: 13).

عناصر جوی همانند سرعت و جهت باد، تغییرات دما، رطوبت نسبی، مدت زمان دوام باد و بارندگی، کیفیت هوا را بهتر کرده و باعث پاک‌سازی هوا می‌شوند (Yangjie et al, 2009: 9). در این تحقیق به بررسی چگونگی رابطه این عناصر و غلظت ذرات معلق (یکی از آلاینده‌های هوا) پرداخته شده است.

با توجه به این که ذرات گرد و غبار استان کردستان منشاء برون مرزی دارند از این رو برای مطالعه و تحلیل شرایط هم‌دید منطقه‌ای (شرایط هواشناسی در خاورمیانه)، وجود نقشه‌های سینوپتیک ترازهای مختلف و تصاویر ماهواره‌ای یک ضرورت بود. برای دستیابی به این مهم، ابتدا با مراجعه به داده‌های روزانه آماری ذرات معلق از سازمان حفاظت محیط زیست و براساس مدت دوام بیش از ۳ روز، بازه‌های زمانی مورد نظر انتخاب شدند. مطابق با آمار روزانه غلظت ذرات معلق، شهرستان سنندج از سال ۲۰۰۸ به بعد، در سه دوره زمانی ۳ تا ۸ جولای ۲۰۰۹، ۲۲ تا ۲۵ ژوئن ۲۰۱۰ و ۱۱ تا ۱۵ می ۲۰۱۱، از بیش‌ترین میزان غلظت ذرات معلق برخوردار بوده است که هر سه دوره مربوط به فصل گرم سال هستند. در واقع در این سه بازه زمانی، غلظت ذرات معلق از شدت، تداوم و گستردگی بالایی برخوردار می‌باشند.

به این منظور، نقشه‌های مربوط به دما، رطوبت، سرعت و جهت باد، میانگین شرایط فشار سطحی (SLP)<sup>۷</sup> و

میانگین ماهیانه، فصلی و سالیانه غلظت PM<sub>10</sub> از مقادیر ۲۴ ساعته آن محاسبه شد. هم‌چنین، اطلاعات هواشناختی مربوط به ایستگاه سنندج که عناصر بارندگی، سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای غبارآلود را شامل می‌شود از مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان در بازه زمانی گفته شده گردآوری شد. میانگین ماهیانه این متغیرها در جدول ۲، نشان داده شده است.

جدول ۲. میانگین ماهیانه پارامترهای هواشناسی

(دما، رطوبت نسبی و بارندگی) در شهر سنندج (۲۰۱۲ - ۲۰۰۸)

ماه‌ها	بارندگی (میلی‌متر)	دما (سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (درصد)
ژانویه	۳۶/۱۲	۰/۹۴	۷۱/۱۴
فوریه	۴۳/۵۶	۴/۰۰	۶۴/۹۸
مارس	۳۶/۰۴	۹/۱۶	۴۵/۸۴
آوریل	۵۷/۸۰	۱۳/۳۸	۵۲/۴۰
می	۲۳/۶۲	۱۷/۹۰	۴۴/۹۸
ژوئن	۱/۹۲	۲۴/۴۰	۲۷/۵۲
جولای	۰/۶۸	۲۷/۶۲	۲۳/۶۶
آگوست	۰/۱۲	۲۷/۳۰	۲۴/۰۰
سپتامبر	۱/۹۸	۲۲/۴۰	۳۰/۸۶
اکتبر	۳۸/۵۸	۱۶/۰۸	۴۳/۳۰
نوامبر	۶۱/۶۲	۸/۴۸	۶۶/۰۰
دسامبر	۳۲/۴۴	۴/۴۸	۶۵/۸۶

(<http://www.kurdistanmet.ir>)

جدول ۱-۲. میانگین ماهیانه پارامترهای هواشناسی (سرعت باد و روزهای گرد و غباری) در شهر سنندج (۲۰۱۲ - ۲۰۰۸)

ماه‌ها	باد غالب (متر بر ثانیه)	حداکثر سرعت باد (متر بر ثانیه)	روزهای گرد و غباری
ژانویه	۳/۲۸	۱۰/۶۰	۱۰/۸۰
فوریه	۴/۶۲	۱۳/۲۰	۱۰/۶۰
مارس	۵/۰۸	۱۲/۶۰	۱۱/۴۰
آوریل	۴/۳۲	۱۱/۸۰	۱۶/۶۰
می	۳/۸۶	۱۰/۸۰	۱۶/۸۰
ژوئن	۳/۲	۱۱/۰۰	۱۴/۶۰
جولای	۳/۴۶	۹/۸۰	۱۴/۸۰
آگوست	۳/۰۲	۹/۸۰	۹/۶۰
سپتامبر	۲/۸۶	۹/۶۰	۶/۸۰
اکتبر	۳/۷۸	۱۰/۸۰	۱۰/۴۰
نوامبر	۲/۸۸	۱۰/۶۰	۱۰/۲۰
دسامبر	۳/۶۲	۱۰/۲۰	۶/۸۰

(<http://www.kurdistanmet.ir>)

پوشش گیاهی، مقدار رطوبت خاک و تلاطم جوی سطح تعیین می‌شود و جریان عمودی گرد و غبار، تابعی از سرعت اصطکاکی و رطوبت خاک است (Taghavi et al, 2013: 7).

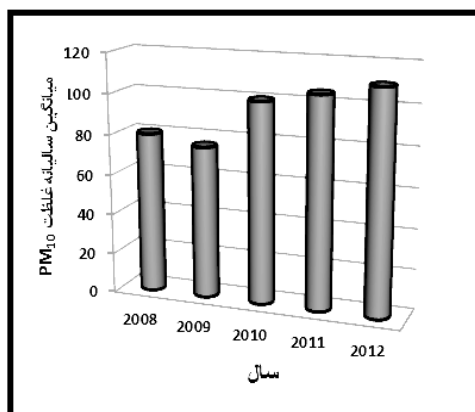
### یافته‌ها

تحلیل تغییرات زمانی غلظت ذرات معلق ( $PM_{10}$ ) در

#### ایستگاه سنندج

تغییرات سالیانه غلظت ذرات معلق

اکثر غلظت  $PM_{10}$  به سال ۲۰۱۲ با میانگین  $\mu g/m^3$  ۱۰۷/۹۴ و حداقل غلظت آن به سال ۲۰۰۹ با میانگین  $\mu g/m^3$  ۷۵/۶۵ مربوط است. غلظت  $PM_{10}$  از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ (به جز سال ۲۰۰۹) روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲. میانگین سالیانه ذرات معلق طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۲

#### تغییرات فصلی غلظت ذرات معلق

حداکثر غلظت  $PM_{10}$  به فصل بهار با میانگین  $\mu g/m^3$  ۱۸۳/۹ در سال ۲۰۱۱ و حداقل آن به فصل پاییز با میانگین  $\mu g/m^3$  ۵۷/۴ در سال ۲۰۰۹ مربوط است. غلظت  $PM_{10}$  در فصل‌های پاییز و زمستان، به خصوص در سال‌های بدون وقوع گرد و غبار، پایین است. به طور کلی، غلظت  $PM_{10}$  در فصل زمستان تا بهار روند افزایشی و به دنبال آن تا فصل پاییز روند کاهشی را نمایش می‌دهد (شکل ۳).

میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT)<sup>۸</sup> از وبگاه<sup>۹</sup> اداره ملی مطالعات اقیانوسی و جوی (NOVA)<sup>۱۰</sup> در سطوح جو در روز اوج آلودگی استخراج گردیدند. این نقشه‌ها براساس شرایط جوی، به صورت میانگین روزانه و از نظر پوشش مکانی ۲۰ تا ۵۰ درجه عرض شمالی و ۲۰ تا ۶۰ درجه طول شرقی را در بر می‌گیرند.

هم چنین داده‌های سنجش از دور، شامل تصاویر سنجنده مودیس مربوط به ماهواره‌های ترا و آکوا برای گرد و غبارهای رخ داده در تاریخ‌های ذکر شده مشتمل بر ۶ باند از مجموع ۳۶ باند آن‌ها است که از وبگاه ناسا کسب شد<sup>۱۱</sup>. برای ایجاد تصویر رنگی حقیقی (TCC)<sup>۱۲</sup> به ترتیب از باندهای ۱ (۰/۶۲ - ۰/۶۷ میکرون)، ۴ (۰/۵۴۵ - ۰/۵۶۵ میکرون) و ۳ (۰/۴۵۹ - ۰/۴۷۹ میکرون)، به عنوان محدوده‌های قرمز، سبز و آبی استفاده شده است.

#### مدل DREAM

در این مطالعه برای ارزیابی و مقایسه نتایج، با استفاده از خروجی‌های مدل DREAM<sup>۱۳</sup> تهیه شده است (Nickovic et al, 2001: 13). DREAM یک مدل منطقه‌ای طراحی شده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی چرخه جوی هوا و ریز گرد و غبار معدنی است. متغیرهای تلاطمی در مرحله اولیه فرآیند یعنی هنگامی که گرد و غبار از زمین به لایه‌های بالاتر بلند شده است با بادهای مدل در فازهای بعدی فرآیند که گرد و غبار از چشمه‌ها دور می‌شود و در نهایت، با فرآیندهای ترمودینامیکی و بارندگی مدل جوی و سیمای پوشش زمینی که توده خشک و مرطوب گرد و غبار را روی سطح زمینه به وجود می‌آورد، ترکیب و مدل‌سازی صورت می‌گیرد. فرسایش خاک در مدل با متغیرهای نوع خاک، نوع

8. Height Geopotential

9. <http://www.esrl.noaa.gov>

10. National Oceanic and Atmospheric Administration

11. <http://lance-odis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>

12. True Color Composite (TCC)

13. Dust Regional Atmospheric Model

## بررسی رابطه غلظت ذرات معلق با عناصر هواشناختی محلی

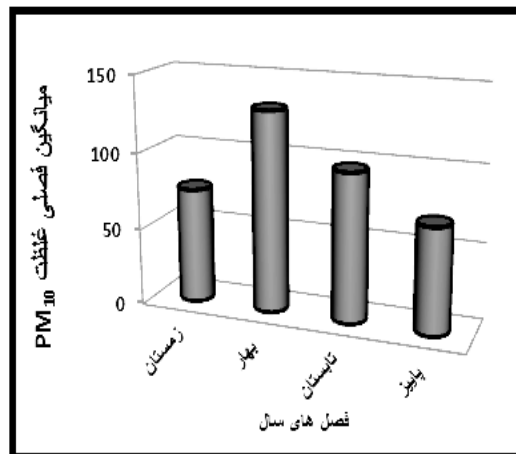
نتایج آزمون همبستگی پیرسون ارتباط خطی مستقیم درجه حرارت ( $R = ۰/۶۵$  و  $P < ۰/۰۵$ ) و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار ( $R = ۰/۷$  و  $P < ۰/۰۱$ ) و همچنین ارتباط خطی معکوس رطوبت نسبی ( $R = -۰/۶۵$  و  $P < ۰/۰۵$ ) و بارندگی ( $R = -۰/۵۲$  و  $P < ۰/۰۵$ ) با غلظت  $PM_{10}$  را نشان می‌دهد. به طوری که با افزایش درجه حرارت و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و نیز با کاهش رطوبت نسبی و بارندگی، میزان غلظت  $PM_{10}$  افزایش یافته است.

همچنین رابطه رگرسیونی بین عناصر هواشناسی با غلظت  $PM_{10}$  طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ در شکل ۵، نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است از بادهای غالب موجود در منطقه نمی‌توان به عنوان عامل مؤثر در افزایش غلظت ذرات معلق در شهرستان سنندج نام برد (شکل ۵ پ).

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نیز برای حداکثر سرعت باد و باد غالب هیچ نوع ارتباط معنی‌داری را با ذرات معلق نشان نمی‌دهد.

به نظر می‌رسد افزایش غلظت ذرات معلق در شهر سنندج، ناشی از افزایش دمای محیط (شکل ۵ الف)، کاهش بارندگی (شکل ۵ ت) و کاهش رطوبت نسبی (شکل ۵ ث) باشد. میزان همبستگی بالای دو عنصر دما و رطوبت نسبی ( $R = ۰/۶۵$ ) با  $PM_{10}$  در مقایسه با سایر عناصر حاکی از تأثیر بسیار زیاد این دو عنصر در غلظت  $PM_{10}$  است.

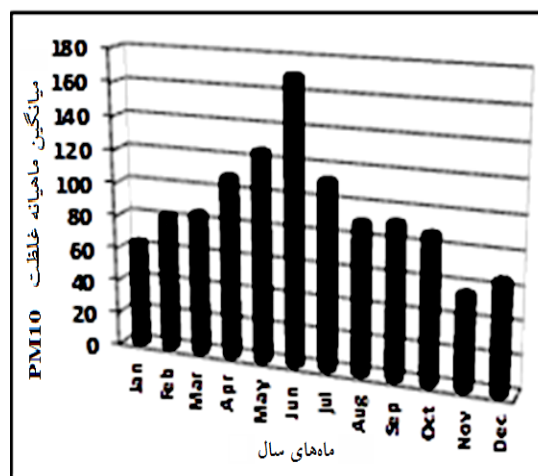
رطوبت نسبی به طور مستقیم با تغییرات حرارت در ارتباط است. بنابراین در شرایطی که رطوبت نسبی بسیار بالا باشد کاهش درجه حرارت باعث ریزش باران یا برف شده (Ardakani, 2003: 340) و امکان کاهش غلظت ذرات معلق را فراهم می‌آورد. بالا بودن رطوبت نسبی و نیز ریزش‌های جوی در فصل زمستان عامل کاهش غلظت ذرات معلق در شهر سنندج است.



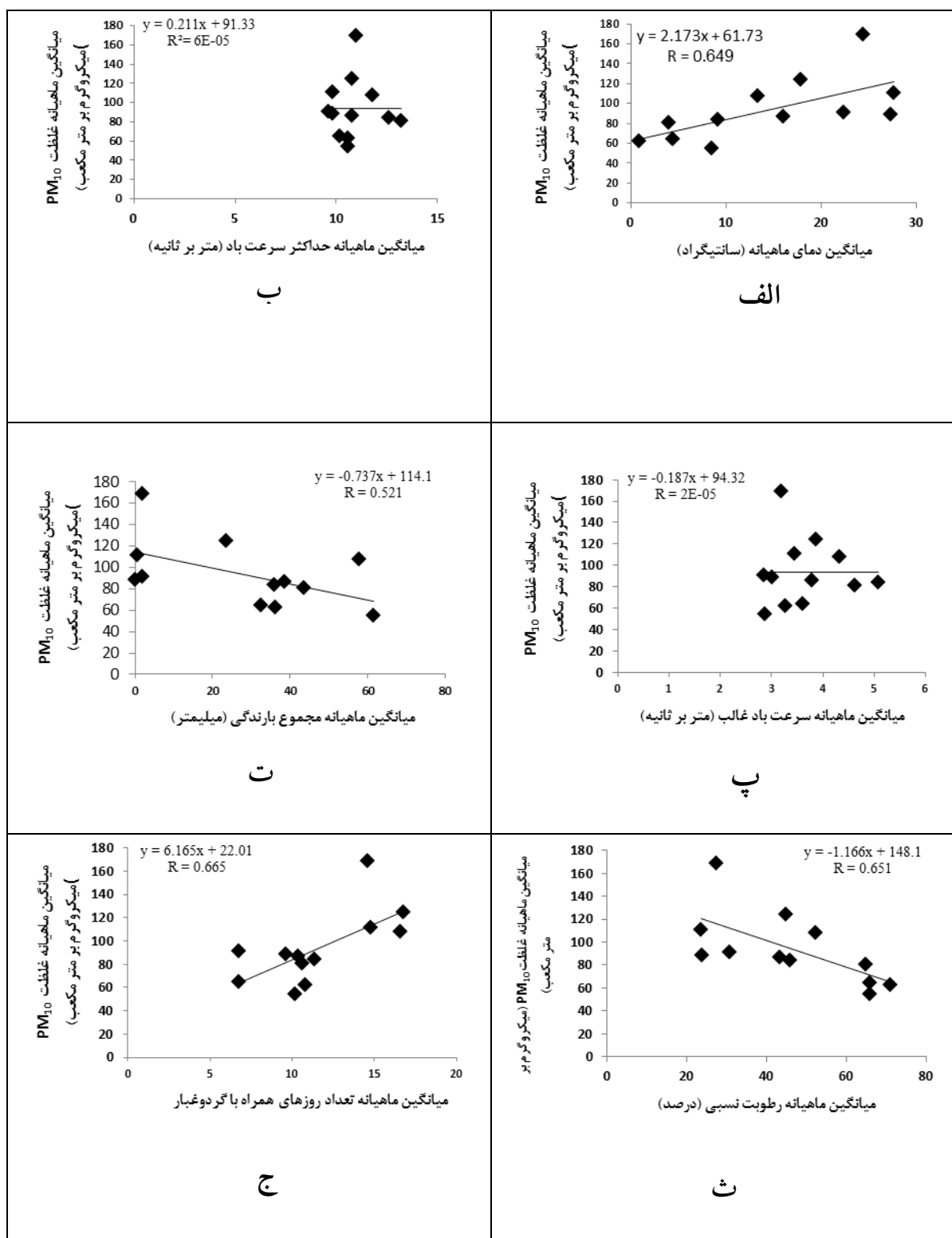
شکل ۳. میانگین فصلی ذرات معلق طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۲

## تغییرات ماهیانه غلظت ذرات معلق

حداکثر غلظت  $PM_{10}$  در فصل تابستان در ماه جولای با میانگین  $۱۱۱/۰۲ \mu g/m^3$ ، در فصل بهار در ماه ژوئن با میانگین  $۱۶۸/۹۸ \mu g/m^3$ ، در فصل پاییز در ماه اکتبر با میانگین  $۸۶/۳۶ \mu g/m^3$  و در فصل زمستان در ماه مارس با میانگین  $۸۳/۷۶ \mu g/m^3$  مشاهده شده است. در بین ماه‌های مختلف، ماه ژوئن حداکثر مقدار و ماه نوامبر حداقل مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. غلظت  $PM_{10}$  از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به صورت ماهیانه از ماه ژانویه تا ماه ژوئن روند افزایشی داشته است، سپس تا نوامبر کاهش یافته و به دنبال آن دوباره روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴. میانگین ماهیانه ذرات معلق طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۲

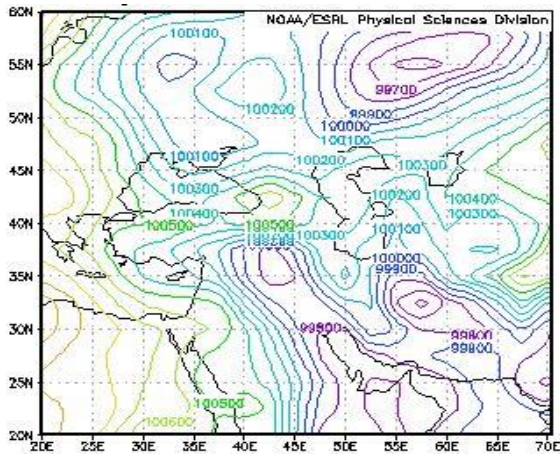


شکل ۵. رابطه رگرسیونی بین عناصر هواشناسی محلی و غلظت ذرات معلق طی سالهای ۲۰۰۸-۲۰۱۲



### نقشه‌های فشار تراز دریا

شکل ۷، نقشه فشار تراز دریا را در روز ۵ جولای ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که بیانگر فشار تراز دریا در روز اوج آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طوری که مشخص است یک کم‌فشار وسیع بر روی خلیج فارس و کشور عراق قرار گرفته است. این سامانه دارای سه مرکز بوده که یکی بر روی خلیج فارس با فشار مرکزی ۹۹۷ هکتوپاسکال، یکی بر روی مناطق مرکزی ایران با فشار مرکزی ۹۹۷ هکتوپاسکال و دیگری بر روی کشور عراق با فشار مرکزی ۹۹۸ هکتوپاسکال می‌باشد. گردش هوا در این سامانه چرخنده در جهت خلاف عقربه‌های ساعت باعث مکش هوای بیابان‌های عراق و شمال عربستان به سمت خلیج فارس و غرب ایران گردیده و شرایط را برای ایجاد پدیده گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌نماید. در واقع می‌توان گفت عامل اصلی ایجاد کننده پدیده گرد و غبار ۵ جولای، کم‌فشار سطح زمین موسوم به کم‌فشار خلیج فارس می‌باشد.



شکل ۷. الگوی آرایش فشار در نقشه تراز دریا،

روز ۵ جولای ۲۰۰۹، (<http://www.esrl.noaa.gov>)

### نقشه‌های دمای سطح زمین

شکل ۸، نقشه دمای سطح زمین را برای روز ۵ جولای ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است یک هسته پر دما بر روی خلیج فارس، شمال عربستان و جنوب عراق قرار دارد که خط هم‌دمای ۳۱۰ درجه کلوین (۳۸ درجه سانتی‌گراد) در

ذکر این نکته لازم است که افزایش دما باعث کاهش رطوبت خاک می‌شود و این مسئله خود در کاهش سرعت آستانه و در نتیجه افزایش توان باد و حمل خاک بسیار حائز اهمیت است (Behbahani, 2006).

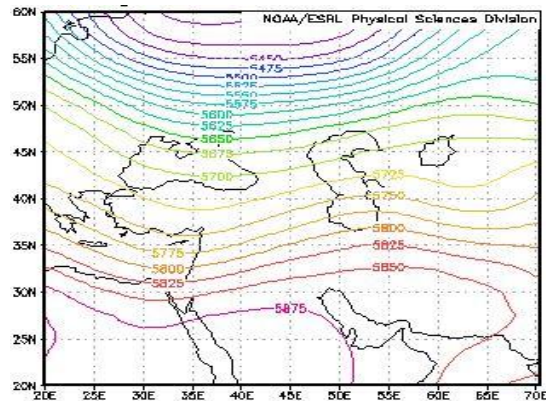
هم‌چنین بارندگی و دما به طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر پوشش گیاهی می‌توانند در تولید و میزان غلظت ذرات معلق مؤثر باشند، زیرا این دو پارامتر نوع اقلیم منطقه را تعیین می‌کنند. اقلیم نیز تعیین کننده نوع خاک و پوشش گیاهی است (Makhdom, 2006: 289).

### بررسی رابطه غلظت ذرات معلق با داده‌های هواشناختی منطقه‌ای

بازه زمانی ۴ تا ۹ جولای ۲۰۰۹

### نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

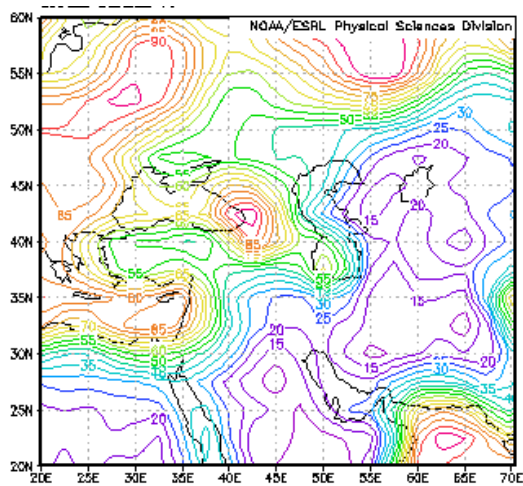
شکل ۶، نقشه روز اوج آلودگی (۵ جولای) توسط گرد و غبار را برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. پدیده غالب در این نقشه، حاکمیت سیستم پرفشار آזור می‌باشد که از ایجاد شرایط برای شکل‌گیری پدیده گرد و غباری توسط سیستم‌های سطوح میانی جلوگیری می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت سیستم‌های فشار سطوح میانی (سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال) تأثیر چندانی در تشکیل ناپایداری بر روی بیابان‌های همجوار یا منطقه مورد مطالعه نداشته و دلیل اصلی ایجاد این پدیده را باید در سیستم‌های فشار سطح زمین جستجو نمود.



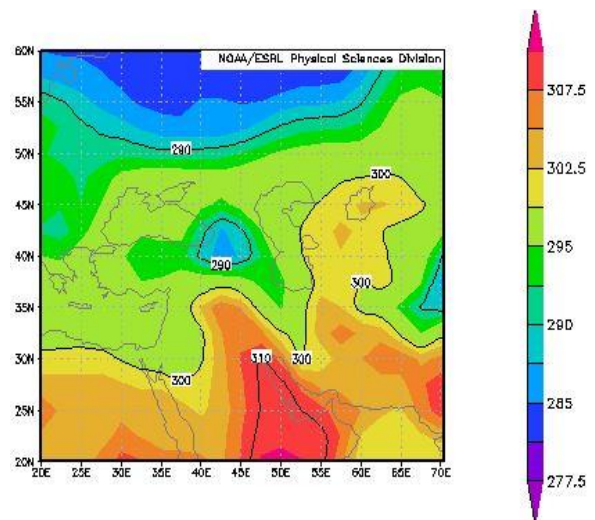
شکل ۶. الگوی آرایش ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۵ جولای ۲۰۰۹

(<http://www.esrl.noaa.gov>)

(زیر ۳ متر بر ثانیه) عامل مهمی در افزایش مدت ماندگاری و افزایش غلظت گرد و غبار بر سطح آن محسوب می‌شود. همان طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، از خروجی‌های مدل DREAM برای ارزیابی بهتر نتایج آشکارسازی استفاده شده است. نتایج خروجی این مدل در روز اوج آلودگی (۵ جولای) بیانگر آن است که مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روز ۵ جولای محدوده وسیعی را در بر گرفته است. به طوری که غلظت گرد و غبار در این روز به بالای ۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است (شکل ۱۱).

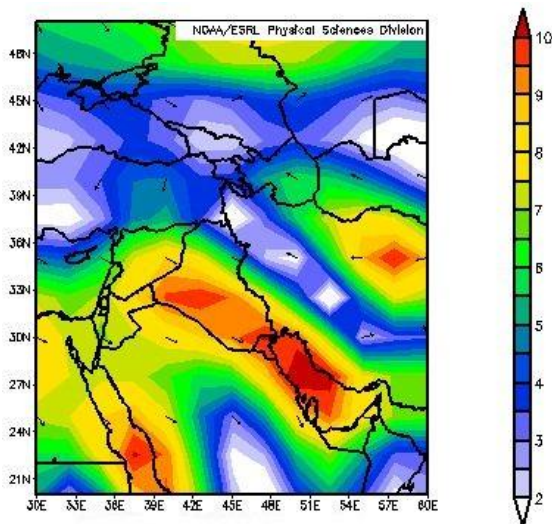


مرکز آن واقع شده است. هم‌چنین یک هسته کم دما در ارتفاعات شمال شرق ترکیه و شمال عراق مشاهده می‌شود که خط هم دمای ۲۹۰ درجه کلون (۱۷ درجه سانتی‌گراد) در مرکز آن واقع می‌باشد. وجود گرادیان شدید فشار از مناطق شمالی به سمت مناطق پست جنوب عراق و خلیج فارس موجب شکل‌گیری جریانی با جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌شود.



شکل ۸. نقشه خطوط هم دمای سطح زمین در روز ۵ جولای ۲۰۰۹  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

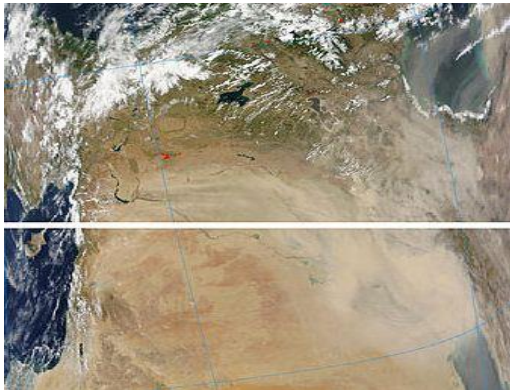
شکل ۹. نقشه رطوبت نسبی سطح زمین در روز ۵ جولای ۲۰۰۹  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)



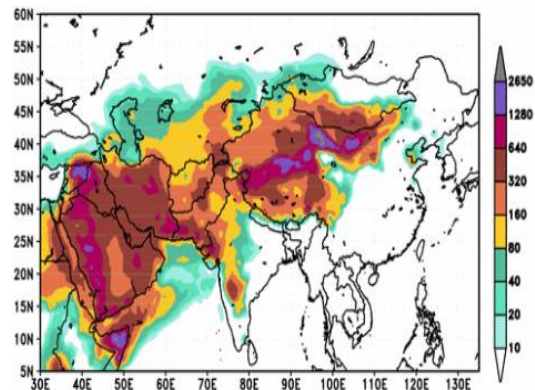
شکل ۱۰. نقشه جهت و سرعت باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال،  
روز ۵ جولای ۲۰۰۹

### نقشه‌های باد و رطوبت سطحی

شکل ۹، نقشه رطوبت موجود در سطح زمین را برای روز ۵ جولای ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشخص است میزان رطوبت موجود در سطح زمین از منطقه مورد مطالعه تا دریای مدیترانه و شمال عربستان خیلی کم و زیر ۳۰ درصد می‌باشد. به همین خاطر کم فشارهای حرارتی که در سطح زمین به وجود می‌آیند باعث ایجاد گرد و غبار می‌شوند. شکل ۱۰، جهت و سرعت باد را در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۵ جولای ۲۰۰۹ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این‌جا نیز مشخص است که جریانی با جهت شمال غربی - جنوب شرقی باعث هدایت گرد و غبار بلند شده به غرب کشور و منطقه مورد مطالعه شده است. هم‌چنین سرعت باد در داخل استان



شکل ۱۳. تصویر رنگی حقیقی ۱-۳-۴ در ۵ جولای ۲۰۰۹  
(<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>) Terra (08: 00 UTC)

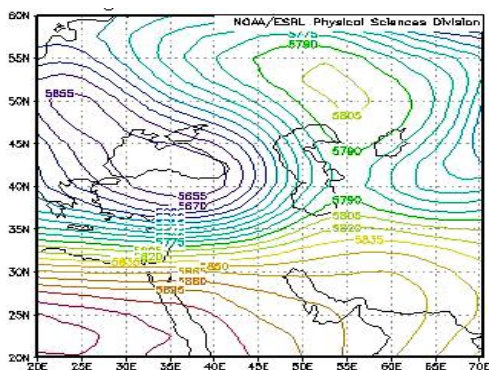


شکل ۱۱. خروجی مدل DREAM، روز ۵ جولای ۲۰۰۹  
(<http://www.bsc.es/about-bsc>)

### بازه زمانی ۲۴ تا ۲۶ ژوئن ۲۰۱۰

#### نقشه های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۴، نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰، نشان می دهد. در این نقشه مشخص است که یک مرکز کم ارتفاع با ارتفاع ۵۸۵۵ ژئوپتانسیل متر بر روی عرض جغرافیایی ۴۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۳۵ درجه شرقی مستقر است. اختلاف شدید ارتفاع بین هسته کم ارتفاع با محیط بیرونی آن می تواند سبب ایجاد گرادیان شدید و در نهایت منجر به ناپایداری های شدید و قابل ملاحظه ای گردد. قرارگیری بیابان های غربی و مرکزی عراق و نیز مناطق شمالی صحرای عربستان در زیر ناپایداری ترین بخش فرود، شرایط را برای برداشت و انتقال گرد و غبارهای ناشی از این بیابان ها به منطقه غرب ایران و استان کردستان فراهم آورده است.



شکل ۱۴. الگوی آرایش ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

### یافته های ماهواره ای

شکل ۱۲، روز تشکیل و گسترش موج گرد و غباری را بر روی مناطقی از عراق و سوریه در روز ۳ جولای نشان می دهد. به گونه ای که ذرات معلق موجود در آن، هم چون نواری از بیابان های شمال و شمال غرب عراق و نیز شرق و جنوب شرق سوریه به سمت نواحی شرقی تر کشیده شده است. در شکل ۱۳، که مربوط به روز ۵ جولای می باشد. هسته بیشینه شدت موج گرد و غبار در دامنه های غربی رشته کوه های زاگرس متمرکز است. نکته چشم گیر، گسترش مکانی گرد و غبار در برخورد با رشته کوه های زاگرس در ایران است. در واقع ارتفاعات زاگرس به عنوان عامل پراکنش مکانی عمل کرده و موج گرد و غبار را در جهات مختلف شمال و جنوب پراکنده ساخته است.

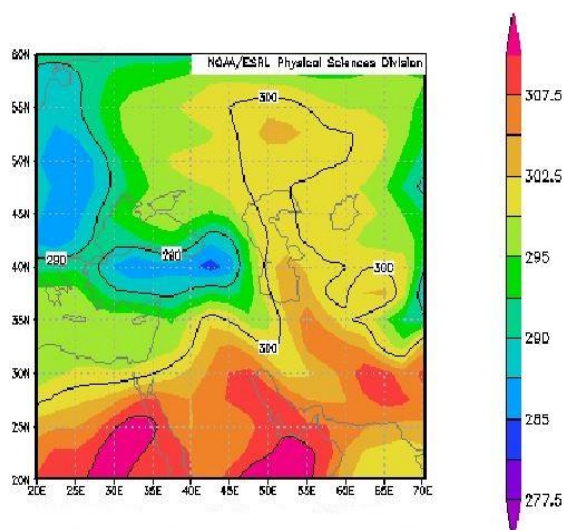


شکل ۱۲. تصویر رنگی حقیقی ۱-۳-۴ در ۳ جولای ۲۰۰۹  
(<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>) Aqua (10: 35 UTC)

## نقشه‌های فشار تراز دریا

شکل ۱۵، نقشه فشار تراز دریا را در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. این نقشه بیانگر فشار تراز دریا در روز اوج پدیده گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که در نقشه روز بیست و چهارم ژوئن دیده می‌شود چندین سامانه کم‌فشار بر منطقه حاکم است که مهم‌ترین آن سامانه وسیعی می‌باشد که دارای سه مرکز بوده و از سواحل دریای عمان تا مناطق شمالی کشور و مناطق مرکزی و شمالی عراق کشیده شده است. با توجه به گردش خلاف عقربه‌های ساعت هوا در این سامانه‌ها و همراهی فرود عمیق سطح میانی در همان روز جریان هوا همراه با گرد و غبار به سوی غرب ایران و منطقه مورد مطالعه هدایت می‌شود (شکل ۱۴). شکل‌گیری این جریان سبب وقوع پدیده گرد و غباری در استان کردستان می‌گردد.

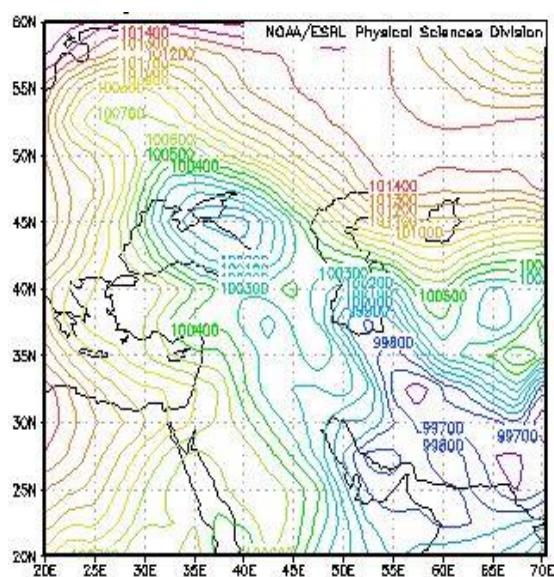
سانتی‌گراد) بر روی شمال عربستان و جنوب عراق بسته شده است. این وضعیت خطوط هم‌دما بیانگر میانگین بالای دمای شبانه روزی در این مناطق می‌باشد. در این روز نیز، یک هسته کم دما بر روی ارتفاعات شمال عراق و شرق ترکیه بسته شده است. مرکز این هسته کم دما با خط هم دمای ۲۸۸ درجه کلوین (۱۵ درجه سانتی‌گراد) در شرق و شمال مدیترانه مستقر می‌باشد. اختلاف دمای بین ارتفاعات شمالی عراق و منطقه مورد مطالعه که بیش از ۲۰ درجه می‌باشد، سبب ایجاد یک مرکز کم‌فشار بر روی خلیج فارس و یک مرکز پرفشار در ارتفاعات شمالی عراق می‌شود.



شکل ۱۶. نقشه خطوط هم دمای سطح زمین در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

## نقشه‌های باد و رطوبت سطحی

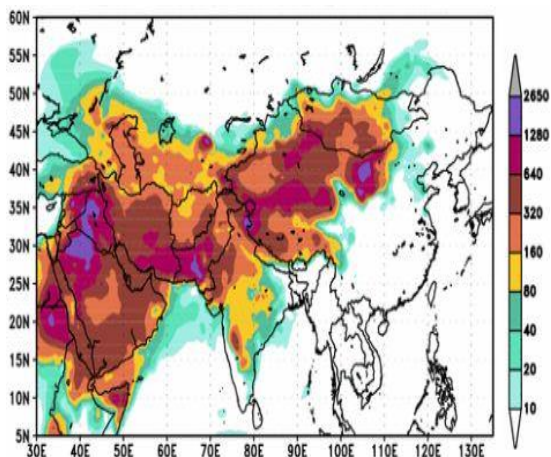
شکل ۱۷، نقشه رطوبت موجود در جو را برای روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰ در سطح زمین نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل مشخص است میزان رطوبت موجود در سطح زمین در مناطقی که در زیر و جلوی کم‌فشار قرار دارند (مناطق از شمال عربستان، سوریه و عراق)، برای ایجاد بارش کافی نیست و تا اشیاع فاصله زیادی دارد. به همین خاطر صعود هوا در جلوی کم‌فشار فقط باعث برخاستن گرد و غبار شده و ایجاد بارش نمی‌نماید.



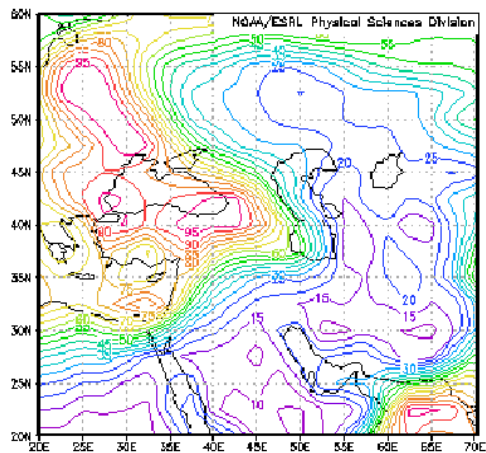
شکل ۱۵. الگوی آرایش فشار در نقشه تراز دریا، روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

## نقشه‌های دمای سطح زمین

شکل ۱۶، نقشه دما را در سطح زمین برای روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، هسته پردمایی با منحنی هم دمای ۳۱۰ درجه کلوین (۳۷ درجه



شکل ۱۹. خروجی مدل DREAM، روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://www.bsc.es/about-bsc>)



شکل ۱۷. نقشه رطوبت نسبی سطح زمین در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

### یافته‌های ماهواره‌ای

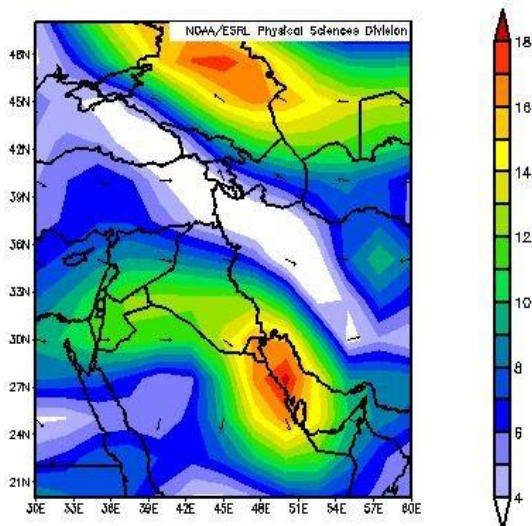
شکل‌های ۲۰ و ۲۱، روزهای تشکیل و گسترش موج گرد و غباری را بر روی مناطق مرکزی عراق و شمالی شبه جزیره عربستان نشان می‌دهند. همراهی محور فرود در حرکت این سامانه گرد و غباری به سمت مناطق غربی بسیار قابل توجه است.



شکل ۲۰. تصویر رنگی حقیقی ۱-۴-۳ در ۲۲ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>) Terra (08: 00 UTC)

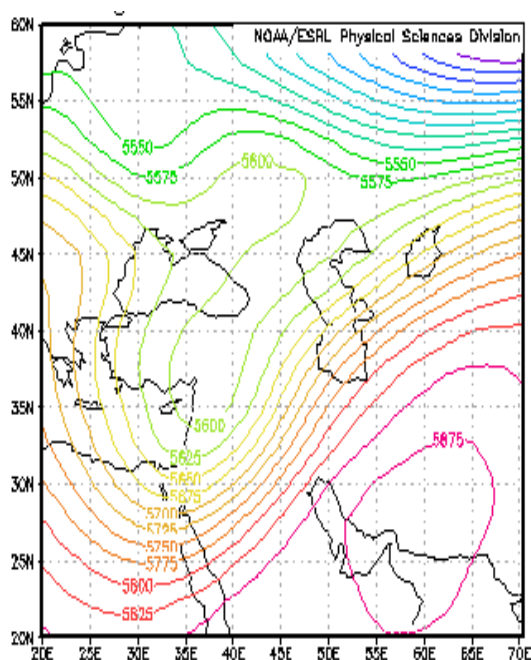
شکل ۱۸، جهت باد را در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در همین روز نشان می‌دهد. در این جا نیز کاملاً مشخص است که جهت باد از روی بیابان‌های شرق سوریه و غرب عراق به سمت غرب ایران می‌باشد و این امر باعث هدایت گرد و غبار به سمت استان کردستان می‌شود.

هم‌چنین نتایج خروجی مدل DREAM در روز ۲۴ ژوئن بیانگر آن است که مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در این روز نیز افزایش چشم‌گیری داشته است (شکل ۱۹).



شکل ۱۸. نقشه جهت و سرعت باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

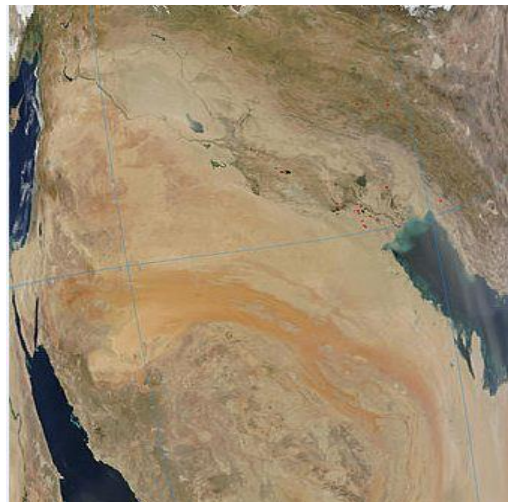
رسیدن به روز اوج گرد و غبار، یک فرود موج کوتاه بادهای غربی از اروپای شرقی و شرق مدیترانه و تا مناطقی از شمال غرب عراق و شرق سوریه کشیده شده است (شکل ۲۳). نزدیک شدن این فرود موج کوتاه نشان دهنده تقویت شرایط ناپایداری، صعود و چرخندزایی در سطح منطقه است. تقویت بادهای غربی و شمال غربی در منطقه باعث می شود که گرد و غبار صعود یافته از سطح بیابان های سوریه و عراق که در کانون فعالیت ناپایداری قرار داشتند به سمت غرب ایران منتقل شود.



شکل ۲۳. الگوی آرایش ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، روز ۱۴ می ۲۰۱۱  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

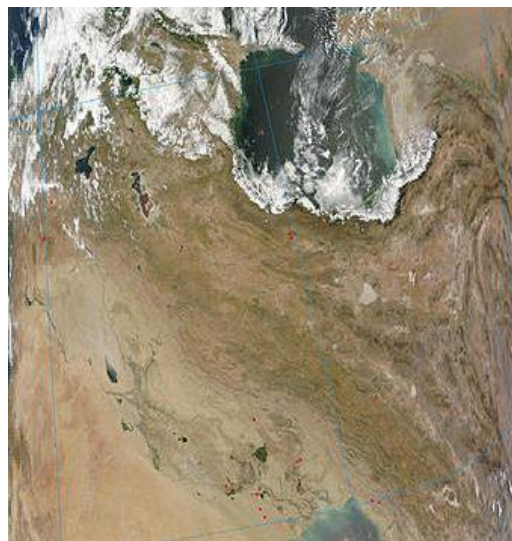
#### نقشه های فشار تراز دریا

الگوی فشار سطح دریا در روز ۱۴ می، وجود یک کم فشار روی نواحی خلیج فارس و دریای مدیترانه است (شکل ۲۴). این کم فشار، به سمت شرق شبه جزیره عربستان و شمال عراق گسترده شده و زبان های آن نیز تا جنوب ترکیه کشیده شده است. تشکیل چنین الگویی فشاری، گردش چرخنده را در محدوده ۳۰ تا ۵۰ درجه طول و ۲۵ تا ۵۰ درجه عرض جغرافیایی، ایجاد کرده است.



شکل ۲۱. تصویر رنگی حقیقی ۱-۴-۳ در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>) Aqua (10: 20 UTC)

در شکل ۲۲، موج گرد و غباری را بر فراز استان های غربی و جنوب غربی مشاهده می کنیم که دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی است.



شکل ۲۲. تصویر رنگی حقیقی ۱-۴-۳ در ۲۵ ژوئن ۲۰۱۰  
(<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>) Aqua (10: 10 UTC)

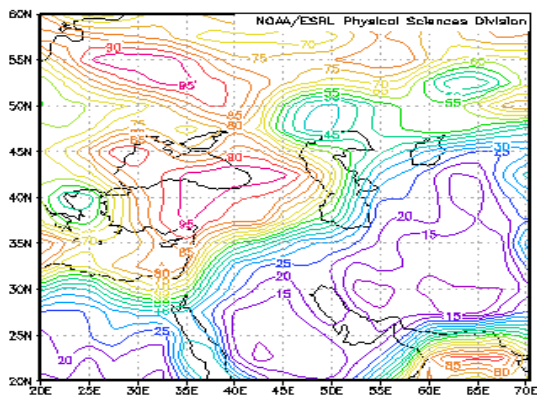
بازه زمانی ۱۱ تا ۱۵ می ۲۰۱۱

#### نقشه های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه سینوپتیک تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طی روز ۱۴ می ۲۰۱۱، در گستره ای از عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۶۰ درجه شمالی و ۲۰ تا ۷۰ درجه شرقی، نشان می دهد که با

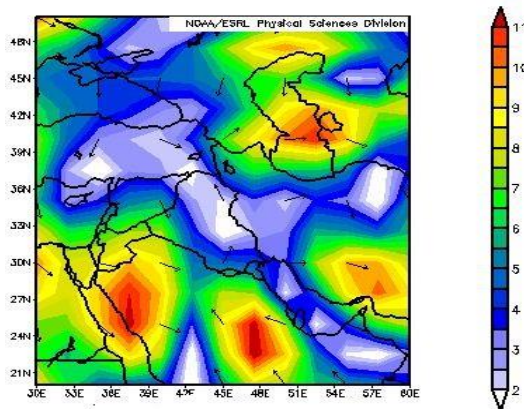
### نقشه‌های باد و رطوبت سطحی

شکل ۲۶، نقشه رطوبت موجود را برای روز ۱۴ می ۲۰۱۱ (روز اوج آلودگی توسط گرد و غبار در استان کردستان) در سطح زمین نشان می‌دهد. شکل مذکور این گفته را تایید می‌نماید که از مرز ترکیه به سمت عرض‌های پایین‌تر (مناطق مرکزی و جنوبی عراق)، رطوبت سطحی با شیب زیادی کاهش یافته و میزان آن در کم‌ترین اندازه ممکن بوده است.

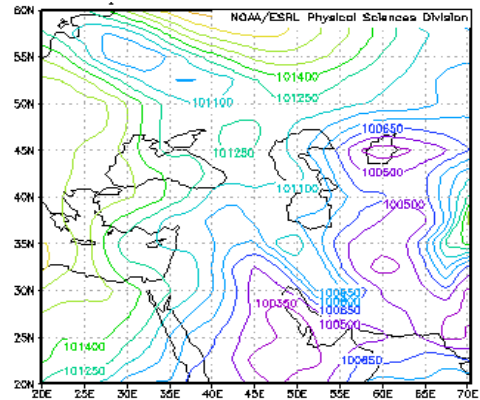


شکل ۲۶. نقشه رطوبت نسبی سطح زمین در روز ۱۴ می ۲۰۱۱  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

هم چنین در همان روز، سرعت باد در منطقه مورد مطالعه به طور محسوسی کاهش یافته است (زیر ۳ متربرثانیه) که همین عامل، دلیلی منطقی در جهت افزایش مدت ماندگاری ذرات معلق و افزایش غلظت آن در سطح استان به حساب می‌آید (شکل ۲۷).



شکل ۲۷. نقشه جهت و سرعت باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، روز ۱۴ می ۲۰۱۱  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)



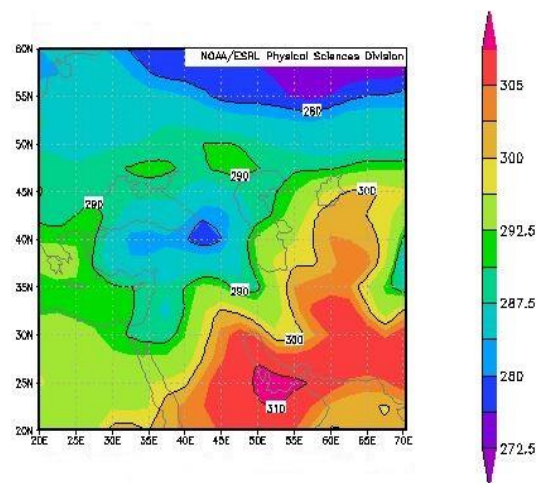
شکل ۲۴. الگوی آرایش فشار در نقشه تراز دریا،

روز ۱۴ می ۲۰۱۱

(<http://www.esrl.noaa.gov>)

### نقشه‌های دمای سطح زمین

همان‌طوری که در نقشه هم دمای روز چهاردهم می مشخص است (شکل ۲۵)، وجود گرادیان شدید فشار از مناطق شمالی به سمت مناطق پست جنوب عراق و خلیج فارس موجب شکل‌گیری جریانی با جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌شود و انتقال گرد و غبار از بیابان‌های عراق به منطقه مورد مطالعه را سبب می‌گرداند. با در نظر گرفتن این که در این زمان از سال، بیش‌ترین انرژی خورشیدی دریافت می‌گردد، دمای بالا سبب افزایش تبخیر تا سطح بیشینه می‌شود و سطح خاک در شرایط فرین خشکی قرار می‌گیرد.



شکل ۲۵. نقشه خطوط هم دمای سطح زمین در روز ۱۴ می ۲۰۱۱  
(<http://www.esrl.noaa.gov>)

سنندج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

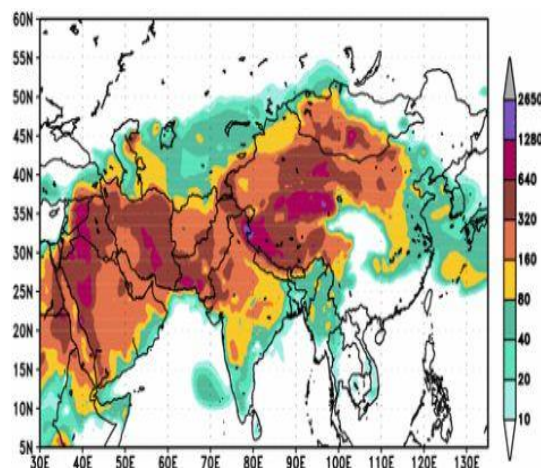
نتایج کلی در این تحقیق، حاکی از ورود منطقه به یک روند خشکی زیست محیطی در سال‌های اخیر است. نتایج بدست آمده از تحقیق موسویان نیز، این فرضیه را تأیید می‌نماید که میزان و شدت رخداد آلودگی با شدت خشکی محیط همبستگی قابل توجهی دارد. آنچه که مشخص است شرایط هواشناسی نامطلوب در خاورمیانه، ممکن است عامل افزایش غلظت ذرات معلق در شهرستان سنندج شده باشد. در واقع این امکان وجود دارد که کمبود بارندگی و رطوبت هوا و الگوهای فصلی باد در منطقه خاورمیانه، شرایط آلودگی ذرات معلق را در سنندج، به ویژه در فصل‌های گرم سال، ایجاد کرده باشند که مطابق با نتایج به دست آمده از تحقیقات میرزایی و همکاران نیز می‌باشد.

با توجه به آرایش الگوهای فشار بر سطح منطقه هم، مشخص گردید که باد غالب بیش‌تر با غبارهای محلی در ارتباط است. این امر از این واقعیت ناشی می‌شود که در سنندج بادهای غالب دارای جهت جنوبی هستند در حالی که بررسی تصاویر ماهواره‌ای و حرکت جریان‌های هوایی تایید کننده این واقعیت است که ذرات معلق توسط بادهایی با جهت غربی- شرقی از کشورهای سوریه و عراق و در بعضی مواقع عربستان به داخل استان وارد می‌شوند.

با به کار بردن شیوه‌های مناسب و برنامه‌ریزی صحیح شهری که در راستای برنامه‌ریزی کاربری شهری باشد می‌توان بسیاری از آلودگی‌های شهری به خصوص آلودگی هوا را کاهش داد که البته رسیدن به این امر در گرو هماهنگی و یک‌سو بودن برنامه‌های مختلف شهری با یکدیگر و در جهت تامین اهداف اصلی شهرها (امنیت، رفاه، آسایش، زیبایی و ...) و همکاری مدیران و مسئولان استانی با یکدیگر است.

به دلیل این که توانایی بشر در کنترل آب و هوا محدود است به همین منظور باید بیش‌تر بر روی روش‌های اساسی

در انتها نیز نتایج خروجی مدل DREAM برای روز ۱۴ می ۲۰۱۱، آورده شده است (شکل ۲۸). خروجی این مدل بیانگر آن است که مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در این روز بسیار بالاتر از حد نرمال می‌باشد، اما با این وجود نسبت به دو بازه قبلی از سطح و گستردگی کم‌تری برخوردار بوده است.



شکل ۲۸. خروجی مدل DREAM، روز ۱۴ می ۲۰۱۱  
(<http://www.bsc.es/about-bsc>)

## بحث و نتیجه‌گیری

مسئله پیچیده آلودگی هوای شهرها که بر اثر عوامل مختلفی در طی چند دهه اخیر به شکل کنونی درآمده است نیازمند شناختی دقیق و مؤثر از منابع و عواملی است که موجب انتشار آلاینده‌ها در سطح شهرها گردیده است. آلودگی هوا یکی از ابعاد آلودگی‌های زیست محیطی را تشکیل می‌دهد که باعث افزایش بیماری‌های قلبی، تنفسی، کاهش میزان دید و خسارت به گیاهان، حیوانات و اشیاء و در سطح جهانی، منجر به گرمایش جهانی، باران اسیدی و غیره شده است.

با توجه به اهمیت این پدیده و از طرف دیگر گسترش وسیع مکانی آن در سال‌های اخیر در استان کردستان، ضرورت انجام این تحقیق بیش از پیش احساس می‌گردد. بنابراین موارد، در این مطالعه، ذرات معلق موجود در جو که به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل آلوده کننده هوای شهر



این آلاینده‌ها به دست آید.

- ضروری است سازمان محیط زیست در خصوص استقرار ایستگاه‌هایی ثابت برای سنجش آلاینده‌های هوا در سطح شهر اقدام نماید و علاوه بر تعیین اندازه ذرات آلاینده هوا، تحقیقات مشابهی برای سنجش نوع ذرات و منابع آلاینده هوا در شهر سنجش انجام پذیرد.

- در کنار این موارد، استفاده از رسانه‌های جمعی جهت فرهنگ‌سازی، مشارکت و هم‌اندیشی مدیران و مسئولان شهری و استانی در جهت تدوین برنامه‌های کاهش آلودگی و همسو بودن برنامه‌ها و طرح‌های شهری با برنامه‌ها و طرح‌هایی که در راستای کاهش آلودگی هوا است می‌تواند مفید واقع شود.

امید است که با توجه بیشتر به این پدیده و درک همگانی از اثرات مخرب آن، هرچه سریع‌تر با این معضل طبیعی انسانی مقابله کرده و از تشدید وقوع آن در آینده کاسته شود.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از اداره کل هواشناسی استان کردستان و حفاظت محیط زیست استان کردستان، جهت همکاری برای در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز و هم‌فکری‌های علمی قدردانی می‌نمایند.

و کلیدی برای کاهش آلودگی در جهت حمایت و بهبود وضعیت اکولوژیکی منطقه تمرکز داشت. از این رو، به منظور جلوگیری از فرسایش خاک در مناطق مستعد و صعود ذرات معلق به جو، باید اقدامات اصولی و کاربردی همچون حفاظت از وضعیت اکولوژیکی و اصلاح و بهبود توان آن در منطقه با رعایت مسائل قانونی و سیاسی، توقف شیوه‌های مضر، برنامه‌ریزی‌های اساسی جهت بهبود وضعیت معیشت مردم محلی و استفاده از این افراد برای مقابله با این پدیده بهره برد. همچنین اقدامات عملی هم چون مالچ پاشی و کاشت مصنوعی گیاهان، در مناطق حساس می‌تواند مفید واقع گردد. آنچه که به آن باید توجه بیشتری نمود ذکر این نکته است که در راستای رسیدن به این اهداف همکاری‌های بین‌المللی لازم است.

#### راهکارها

با توجه به اهداف این پژوهش و راهکارهای بیان شده پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- براساس این تحقیق غلظت ذرات معلق ( $PM_{10}$ ) در اکثر مواقع بالاتر از حد استاندارد بوده است. همچنین با توجه به این‌که این بررسی در یک دوره زمانی ۵ ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۸) انجام شده است، پیشنهاد می‌شود در سال‌های آتی نیز به تناوب این گونه بررسی‌ها انجام گیرد تا درک بهتری از غلظت

#### References

1. Ardakani, M.R. (2003), General Ecology, second edition, Iran, Tehran, University of Tehran Press, 340.
2. Barkan, J. (2008), synopsis patterns associated with dusty and non-dusty seasons in the Sahara. Theor. Appl. Climatolo, Vol: 10: 354-364.
3. Behbahani, A. (2006), Investigation and determination of movement of the fluent sands on the desert roads and their control (Case Study: Yazd - Meibod Road). M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources. University of Tehran. in Persian.

4. Chen, Y.S., Sheen, P.C. Chen, E.R., Liu, T. K., Wu, T.N. & Yang, C.Y. (2004), Effects of Asian dust storms events on daily mortality in Taipeh. *Environ Res* 95: 151- 155.
5. Choun, H. F. (1936), Dust storms in Southwestern plains area. *Mon Weather Rev* 64: 195- 199.
6. Chupani, M.H. (2009), environmental pollutants and environmental protection, human resources, training and equipping the National Iranian Gas Company: 169.
7. Ismaili, A. ( 2006), preliminary zonation of the centers of the dust generated by the use of remote sensing technology, the environment tends, Master's Thesis, Sharif University: 160.
8. Gillette, A. (1981), Production of dust than may be carried great distances. In: Pewe TL (ed) *Desert dust. Geol Soc Am Spec Pap* 186: 11- 26.
9. Goudie, A. (1978), Dust storms and their geomorphological implications. *Jarid Environ*, 1: 291- 310.
10. Kalma, J. D. Speight, J. G. Wasson, R. (1988). Potential wind erosion in Australia \_ a continental perspective. *J Climatol* 8: 411- 428.
11. Khani, R. Sohrabpor, M. Shirini, R. (2014), Elemental analysis of Ahwaz particles At the time of arrival of fine dusts Using MS and INAA method. National Conference of air and sound pollution management: 6.
12. Legrand, M. (1998), Satellite Detection of Saharan Dust: Optimized Imaging during Nighttime. *Journal of Climate*, 1(3): 256-264.
13. Makhdom, M.( 2006), Fundamental of Land use planning. University of Tehran Press, Iran, sixth edition: 289.
14. Maley, J. (1982), Dust, clouds, rain types and climatic variations in tropical north Atlantic. *Quat Res* 18: 1- 16.
15. Mehpath, N. Surrey, B. (2013), comparable amounts of sodium, potassium, calcium and magnesium in the dust in the city of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk, International Conference First, of factors and outcome management, Lorestan University:10.
16. Mirzaie, R. Zarrati, L & Duashi, L. (2013), Study of Tabriz air pollution Based Particulates ( $PM_{10}$ ), Third Conference Planning and Environmental Management: 7.
17. Mousavian, T. (2012), incidence of drought in the dust storms, International Conference First, of factors and outcome management, Lorestan University:13.
18. Naddafi, K., Ahrampush, M.H., Jafari, V., 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, martyr of Yazd, 16(4): 25-21.
19. Natalie, M., Samuel, A., Jasper, F. K., Sebastian, E., Rachel, S., Daniel, S. W., Mark, G. F., (2013), The size distribution of desert dust aerosols and its impact on the Earth system. *Aeolian Research*, Published by Elsevier B.V. All rights reserved. 1875-9637, doi.org/10.1016.
20. Nickovic, S., Papadopoulos, A., Kakaliagou, O. and Kallos, G., (2001), Model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 106, 18113-18129.
21. Rahimi, D, Movahedi, S, Barghi, H. (2009), review Drought Severity Using Normal Precipitation Index (Case Study: Sistan and Baluchestan), *Journal of Geography and Environmental Planning*, Vol 20, Serial No. 36, No. 4: 43-56.
22. Rashno, AS. (2009), dust phenomenon in Khuzestan, *Journal of precipitation specialized internal publication STATION Meteorological Khuzestan province*: 16- 23.
23. Ryder, C. L., Highwood, E. J., Rosenberg, P. D., Trembath, J. Brooke, J. K., Bart, M. Dean, A. Crosier, J. Dorsey, J., (2013), Optical properties of Saharan dust aerosol and contribution from the coarse mode as measured during the Fennec 2011 aircraft campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, doi: 10.5194. 13: 303–325.
24. Taghavi, F., Avlad, E., Safarrad, T., Irannegad, P., (2013). Detection of WestIran dust storm Using remote sensing, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol 39, No. 3: 83-96.
25. Tsai, I.Y., Chen, Ch (2006), "Atmospheric aerosol composition and source apportionments to aerosol in southern Taiwan" *Atmospheric Environment*, 40: 4751-4763.
26. Yangjie, Y., Yuesi, W., Tianxue, W., Wei, L., Ya,nan, Z., Liang, L (2009), "Elemental composition of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  at Mount Gongga in China during 2006," *Atmospheric Research*, 93: 801-810.
27. <http://www.bsc.es/about-bsc>
28. <http://www.esrl.noaa.gov>
29. <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>