

مطالعه الگوهای جوی و تعیین کانون‌های گرد و غبار مؤثر در شرایط بسیار ناسالم کیفیت هوای تهران

عباس رنجبر سعادت آبادی^{1*}، صدیقه درویش‌زاده²

1 استادیار پژوهشکده هواشناسی

2 کارشناس ارشد هواشناسی

(تاریخ دریافت: 1390/6/14؛ تاریخ تصویب: 1392/3/27)

چکیده

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد. در عرض‌های جغرافیایی که ایران واقع شده است، به سبب شرایط جوی و اقلیمی، بیشترین و گسترده‌ترین بیابان‌های جهان نیز قرار گرفته است. وضعیت زمین از نظر نوع خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، تأثیر کوهستان و نیز منابع آب از دیدگاه مهار آب‌های سطحی و بر داشت بی رویه از آن، ایجاد سدها و انحراف مسیر رودخانه، کم بارشی و خشکسالی از عوامل مستقیم مؤثر بر ایجاد پدیده گرد و خاک می باشد.

در این مطالعه، شرایط هواشناختی، مسیر حرکت ذرات و چشمه‌های تولید گرد و غبار توفان‌هایی که سبب شده اند کیفیت هوای تهران در شرایط بسیار ناسالم از نظر بالا بودن غلظت ذرات معلق قرار گیرد، بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا روزهای بسیار ناسالم طی دوره 2001 تا 2009 با استفاده از شاخص استاندارد کیفیت هوای تهران مشخص شد. سپس بر اساس داده‌های موجود هواشناسی شامل: نقشه‌های واقعی، داده‌های روزانه دوباره تحلیل شده، تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گرد و غبار از دو روز قبل از وقوع شرایط ناسالم، شرایط هواشناختی و سامانه‌های جوی بررسی و در نهایت با (روش خط سیر معکوس)⁽¹⁾ با مدل هایسپلیت (Hysplit) محل تقریبی چشمه‌های تولید گرد و غبار تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهند که علاوه بر منابع آلاینده شهری، کویرهای مجاور تهران نیز می‌توانند به عنوان چشمه‌های تولید کننده ذرات مؤثر باشند. اما مهم‌ترین چشمه‌های تولید ذرات معلق که در حال حاضر تهران را تحت تأثیر قرار می‌دهند در عراق و نواحی شرق سوریه واقع شده‌اند.

کلید واژه‌ها: الگوهای جوی، کانون‌های گرد و غبار، کیفیت هوا، تهران

* نویسنده مسئول

سرآغاز

بخش عظیمی از کشور ایران همجوار با بیابان‌ها و مناطق خشک می‌باشد. پدیده توفان گردوغبار در مناطق صحرایی و خشک سبب بروز مشکلات می‌شود. امروزه کیفیت هوای کلان شهرها با توجه به جمعیت بسیار زیادی که در معرض آثار سوء آلودگی هوا می‌تواند قرار گیرند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ذرات معلق با قطر کمتر از 10 میکرون (PM10)، یکی از پنج آلاینده اصلی شاخص استاندارد کیفیت هوا (PSI)⁽²⁾ است. در کلان شهر تهران براساس غلظت منواکسیدکربن و ذرات معلق، شاخص کیفیت هوا تعیین می‌شود. پدیده گردوغبار از جمله پدیده‌هایی است که وقوع آن می‌تواند در زمینه‌های مختلف پیامدهایی مخربی داشته باشد که مهم‌ترین آن‌ها، آثار محیط‌زیستی و بهداشتی، ایجاد اختلال در ناوگان زمینی و هوایی، پیامدهای مخرب اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع بررسی‌های بسیاری در این زمینه انجام شده که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

بررسی و تعیین الگوهای آب و هوایی حاکم بر توفان‌های گردوخاک در یزد برای دوره آماری (1980-2009) نتایج زیر حاصل شد: 1- بیشترین توفان‌های گردوخاک در فصل بهار و زمستان به وقوع می‌پیوندد. 2- بیشترین ساعات وقوع توفان ظهر و بعدازظهر می‌باشد و جهت باد شمال‌غربی، جنوب غربی و غربی می‌باشد. 3- توفان‌های گردوخاک بر اثر استقرار مرکز کم فشار زمین و همراهی آن با ناهای عمیق سطوح فوقانی و گذر جبهه سرد از منطقه یزد و برخورد توده هوای سرد پشت جبهه سرد با هوای گرم بر روی منطقه روی می‌دهد (چیتی، 1388).

تحلیل همدیدی پدیده گردوغبار در غرب ایران در بازه زمانی 1983-1987 نشان می‌دهد که منابع اصلی گردوغبارهایی که به غرب ایران وارد شده‌اند، بیشتر از مناطق بیابانی به نسبت نزدیک مانند صحرای سوریه و یا صحرای شمال شبه جزیره عربستان و جنوب عراق است (ذوالفقاری و عابدزاده، 1384). مطالعه پدیده گرد و غبار در منطقه اصفهان بیانگر آن است که بیشترین رویداد این پدیده، در منطقه اصفهان در اوایل فصل بهار و اواخر تابستان می‌باشد و دوره‌های توفان گردوخاک با دوره‌های خشکسالی (بارش کم و دماهای بالا) منطقه همراه است (توبئیهای نجف‌آبادی، 1385).

Email: aranjbar@gmail.com

بررسی فراوانی وقوع توفان‌های خاک در نواحی مرکزی و جنوب غرب نشان می‌دهد که عبور چرخندها از شمال عراق و بخش مرکزی شبه جزیره عربستان در ایجاد پدیده گرد و غبار در جنوب غرب ایران به‌ویژه جلگه خوزستان مؤثر است (همتی، 1374). همچنین بررسی و تحلیل سینوپتیکی توفان‌های ماسه در دشت یزد- اردکان نشان می‌دهد که در کم فشارهای دینامیکی که با جبهه سرد همراه بوده، جریان‌های قائم هوا سبب ناپایداری شدید جو و ایجاد توفان‌های شدید ماسه در این منطقه می‌شود. علت دیگر رویداد توفان‌های ماسه در منطقه به سبب عبور یا نزدیک شدن ناهای است که در غرب منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است و همراه با فرا رفت شدید هوای سرد و گرادیان فشار در سطح زمین می‌شود (امیدوار، 1385).

بررسی توفان‌های گردوغبار در ترکمنستان از نقطه نظر موقعیت مکانی، فرکانس و تنوع فصلی نشان داد که رویداد این توفان‌ها در فصل بهار به بیشترین مقدار می‌رسد و منطقه اصلی این توفان‌ها صحرای گاراقوم (Garaghom) می‌باشد (Orlovsky, et al., 2005). بررسی‌های انجام شده بر روی پدیده گردوغبار و غبار مه آسیایی در سئول کره جنوبی نشان داد که اکثر گردوخاک آسیایی در فصل بهار و ماه آوریل رخ می‌دهند و در سال‌های 2000 تا 2002، پدیده از شدت بیشتری برخوردار بوده است. در این توفان‌ها وقتی که گرادیان فشاری قوی بر روی منطقه خشک بین چین و مغولستان شکل می‌گیرد، موجب ایجاد باد قوی برای بالا بردن ذرات گردوغبار و شکل‌گیری این پدیده می‌شود (Youngsin & Lim, 2004).

بررسی‌های انجام شده برای برآورد غلظت PM10 هوا در عراق، کویت و عربستان نشان داد که مدل‌های عددی به‌کار گرفته شده در پیش‌بینی تعداد رویدادهای گردوخاک بر روی کویت از صحت بالایی برخوردار است (Draxler, et al., 2001).

نتایج حاصل از پژوهش‌های وسیع صورت گرفته بر روی تغییرات دوره‌ای پدیده‌های گردوخاک در مقیاس جهانی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نشان می‌دهد که هیچ الگوی جهانی برای تغییرات دوره‌ای این پدیده وجود نداشته و شرایط ایجاد و تغییرات دوره‌ای در نقاط مختلف متفاوت است (Gouadi & Middleton, 1992).

شبیه‌سازی‌های عددی و مطالعه میزان انتشار گرد و غبار در جو نشان داد که مدل‌های عددی پخش و انتقال ذرات معلق ابزار

تهران را تشکیل می‌دهد. در بخش شمال غربی استان تهران، ارتفاعات کندوان و کوه‌های طالقان، تا محل تلاقی رودخانه الموت با رودخانه طالقان کشیده شده و به مثابه دیواری عظیم دو اقلیم شمال و جنوب البرز را از یکدیگر متمایز کرده‌اند.

روش پژوهش

داده‌های میانگین روزانه شاخص استاندارد کیفیت هوای تهران که بر اساس دیدبانی‌ها و داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا (مربوط به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران و سازمان حفاظت محیط‌زیست) به‌دست آمده است، طی دوره آماری موردنظر 1999 تا 2009، بررسی و روزهایی که میانگین شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI) در شرایط بسیار ناسالم بر اثر بالا بودن غلظت ذرات معلق قرار داشته، مشخص شد جدول (1).

جدول (1): داده‌های میانگین شاخص PSI شهر تهران

تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	PSI
78/5/28	1999/08/19	108
78/5/29	1999/08/20	205
80/8/14	2001/11/05	208
80/8/15	2001/11/06	221
81/6/17	2002/09/08	175
81/6/18	2002/09/09	216
82/9/25	2003/12/16	106
82/9/26	2003/12/17	237
88/4/12	2009/07/03	88
88/4/13	2009/07/04	74
88/4/14	2009/07/05	85
88/4/15	2009/07/06	381

سپس بر اساس داده‌ها و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور و همچنین نقشه‌ها و داده‌های روزانه تحلیل مجدد مرکز ملی پژوهش‌های جو (NCEP/NCAR) و بعضی از تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گرد و غبار از دو روز قبل از رویداد شرایط ناسالم، الگوهای جوی مؤثر بررسی شد. برای شناسایی محل تقریبی چشمه‌های تولید گرد و غبار و مسیر حرکت این ذرات از تکنیک خط سیر پسرود از مدل هایسپلیت (Hysplit) استفاده شد. این مدل یکی از مدل‌های پخش و انتقال آلاینده‌های جوی است که فراوان‌ترین مورد استفاده را در تحقیق‌های بزرگ

مناسبی برای بررسی مسیر حرکت ذرات و برآورد میزان انتشار به‌شمار می‌روند (In & Park, 2003).

با توجه به رویداد زیاد توفان‌های گرد و غبار شرق آسیا، بررسی‌های گسترده‌ای در خصوص عوامل مؤثر با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی نشان داد که رویداد و شدت این توفان‌ها بستگی زیادی به عوامل منطقه‌ای و پارامترهای هواشناسی به‌ویژه باد سطح زمین دارد (Kurosaki & Mikami, 2005). داده‌های ماهواره‌ای برای بررسی ویژگی‌های سطح زمین و ارتباط آن با توفان‌های گرد و غبار نقش بسیار مهمی دارند (Xu, et al., 2006).

از اصلی‌ترین عوامل ایجاد این پدیده، وزش بادهای به نسبت شدید همراه حرکات همرفتی به دلیل گرم بودن سطح بر روی بیابان‌های دارای شرایط مساعد می‌باشد. این عوامل به همراه حرکت صعودی هوای ناشی از سامانه‌های جوی، انتقال قائم ذرات گرد و خاک معلق به ترازهای بالاتر جو را فراهم می‌کند. ذرات معلق بر حسب اندازه قطر آن‌ها در لایه‌های به ترتیب از پایین به بالا قرار گرفته و سپس با جریان‌های هوا در آن ترازها به حرکت در آمده و مناطق وسیعی را پوشش می‌دهد.

در این مطالعه، سعی شده است تا بر اساس داده‌های کیفیت هوای تهران طی یک دوره حدود 9 ساله، روزهای بسیار ناسالم تهران مشخص شود. سپس با استفاده از داده‌های موجود هواشناسی اعم از نقشه‌های واقعی، داده‌های روزانه دوباره تحلیل شده مرکز ملی پژوهش جو (NCEP/NCAR)⁽³⁾ و بعضی از تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گرد و غبار از دو روز قبل از وقوع شرایط ناسالم، ویژگی الگوهای جوی مؤثر بر ایجاد و انتقال ذرات معلق بر روی تهران و مسیر حرکت ذرات و همچنین محل چشمه‌های اصلی تولید این ذرات بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران بین 34 51' تا 36 22' درجه عرض شمالی و 50 13' تا 53 09' درجه طول شرقی واقع شده و مساحت آن 18909 کیلومتر مربع است. از شمال به استان مازندران و از جنوب شرقی به استان قم و از جنوب غربی به استان مرکزی و از غرب به استان قزوین و از شرق به استان سمنان محدود است. استان تهران در دامنه‌های جنوبی بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار گرفته است که در حقیقت بخش‌های شمالی استان

بررسی قرار می‌گیرد. در جدول (2)، میانگین روزانه شاخص PSI شهر تهران نشان داده شده و در روز پانزدهم تیرماه 1388، شاخص آلودگی هوا به علت بسیار بالا بودن غلظت ذرات معلق، در شرایط هشدار قرار گرفته است. هرچند که میزان غلظت ذرات معلق در بعضی ساعات به حدی بوده که از شرایط هشدار نیز فراتر رفته است جدول (3).

مقیاس دارد. این مدل توسط لابراتوار هوایی (ARL)⁽⁴⁾ سازمان ملی جوی و اقیانوس (NOAA)⁽⁵⁾ طراحی و توسعه یافته است.

یافته‌ها

لازم به ذکر است که با توجه به محدود بودن حجم مقاله، فقط به صورت موردی به نقشه‌ها اشاره می‌شود. همان‌طور که در جدول (1) نشان داده شده است، بیشترین میزان PSI در طی دوره مطالعه شده مربوط به تیر ماه 1388 است که در ابتدا مورد

جدول (2): داده‌های میانگین روزانه شاخص PSI شهر تهران

PSI تاریخ	CO	O3	NO2	SO2	PM-10
88/4/12	46	80	24	39	88
88/4/13	44	78	19	39	74
88/4/14	56	73	23	46	85
88/4/15	72	51	26	41	381

جدول (3): داده‌های میانگین شاخص PSI در ساعت 15 برای شهر تهران

PSI تاریخ	CO	O3	NO2	SO2	PM-10	PM-10 (ساعتی)
88/4/14	59	60	24	50	102	229
88/4/15	75	42	26	43	437	485

به طوری که محور فشار کم از جنوب شرق ایران تا جنوب ترکیه امتداد یافته است (شکل 1).

میدان ژئوپتانسیل تراز 700 هکتوپاسکالی ساعت 0000UTC

بر روی این تراز، ناوهای در راستای جنوب از سواحل شرقی دریای سیاه تا شمال دریای سرخ و عربستان دیده می‌شود. این ناوه در سواحل شرقی دریای مدیترانه واقع شده است و مرزهای غربی ایران تحت اثر این ناوه قرار دارد. یک مرکز پر ارتفاع بر روی مرزهای شرقی ایران مستقر شده است.

پشته مرکز پر ارتفاع مستقر بر روی شمال آفریقا تا کشور عربستان گسترده شده است و مناطق جنوب ایران تحت تاثیر ناوه مستقر بر روی دریای سیاه قرار دارند (شکل 2). گردابیان فشار بر روی ایران با توجه به فاصله خطوط هم ارتفاع بسیار کم می‌باشد. بنابراین، انتظار داریم سرعت باد بر روی این تراز اندک باشد. نقشه حرکت قائم وجود یک مرکز حرکت صعودی با شدت

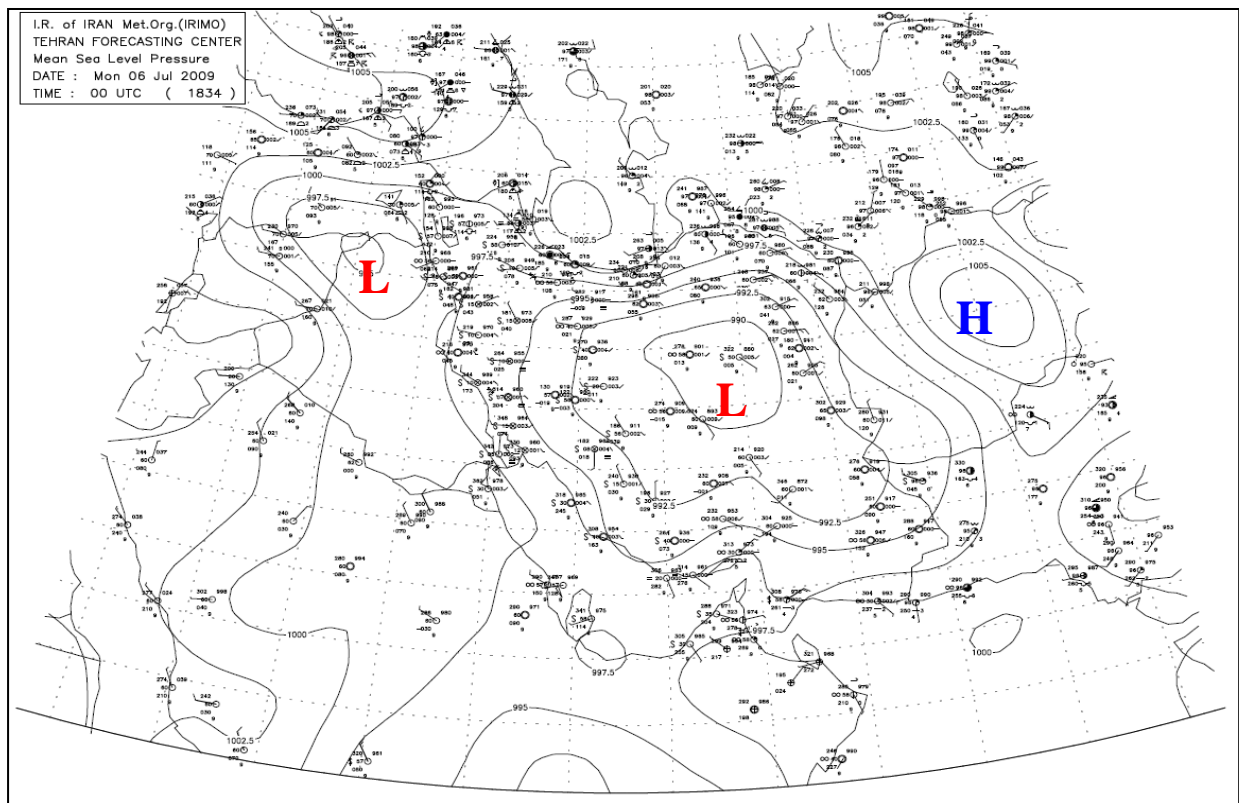
برای تحلیل‌های همدیدی الگوهای هواشناسی توفان گرد و غبار نقشه‌های هواشناسی مربوط به میدان میانگین فشار سطح دریا و میدان‌های ژئوپتانسیل ترازهای 850، 700 و 500 هکتوپاسکال در ساعت‌های 00 و 12 به وقت گرینویچ بررسی شده که در زیر به برخی از آن‌ها آورده شده است.

تحلیل نقشه‌های همدیدی روز 6 جولای (16 تیر) 2009 میدان میانگین فشار سطح دریا در ساعت (UTC)⁽⁶⁾ 0000

در این ساعت سامانه کم فشار گسترده‌ای بر روی کشور مستقر شده که مرکز آن به صورت بسته در نواحی کویر مرکزی ایران قرار گرفته است سامانه کم فشار دیگری که مرکز آن به صورت بسته در نواحی مرزی کشورهای عراق، سوریه و ترکیه در آمده بخش‌هایی از کشورهای مذکور را تحت تاثیر قرار داده است؛

ضعیف بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. حرکت قائم بر روی تهران در این تراز صعودی با شدت بسیار کم و جهت باد بر روی این تراز غربی می‌باشد.

بسیار کم را بر روی نواحی داخلی ایران نشان می‌دهد. این مرکز در راستای شمال به جنوب گسترش یافته است و از شمال تا سواحل دریای خزر و استان‌های آذربایجان و از جنوب تا استان‌های شیراز و کرمان امتداد یافته است. این حرکت صعودی



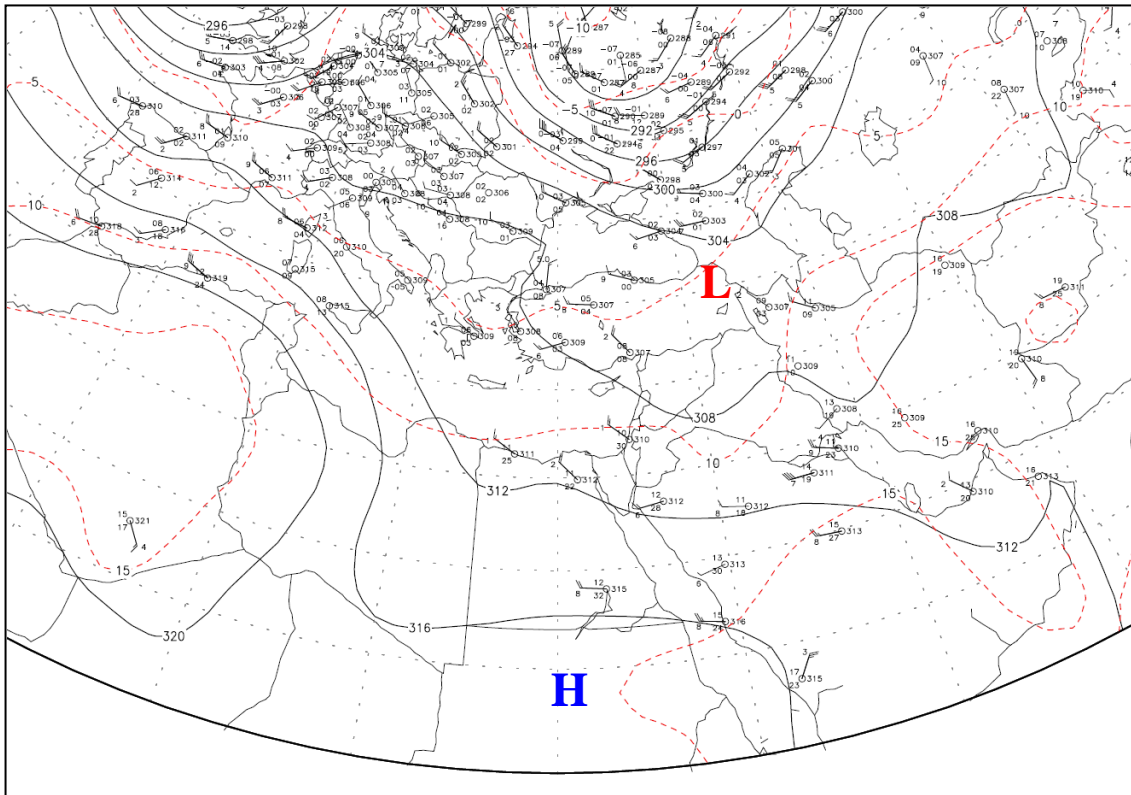
شکل (1): میدان فشار سطح دریا بر حسب میلی‌باری مربوط به ساعت 0000UTC روز 2009/7/6
(حرف H بیانگر سامانه پرفشار و حرف L بیانگر سامانه کم فشار)

منطقه مورد مطالعه سبب ایجاد پایداری شده‌است. ذرات معلق که از شرق سوریه و شمال عراق، براساس مسیر ردیابی ذرات در شکل (3) نشان داده شده است، از مهم‌ترین چشمه‌های گردوغبار می‌باشد. این ذرات پس از تجمع در غرب رشته کوه زاگرس به تدریج پس از عبور از کویر میغان و کویر قم به سمت شرق حرکت نموده همچنین همگرایی جریان‌های شرقی و غربی و وجود پشته ارتفاعی در منطقه تهران سبب تهنشینی و انباشت ذرات شده است که شدیدترین حالت را طی دوره مطالعه شده به دنبال داشته است. شکل‌های (4 تا 6) تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گرد و خاک در روزهای سوم تا پنجم جولای 2009 را نشان می‌دهد که در شکل (4) علاوه بر ذرات گرد و غبار که

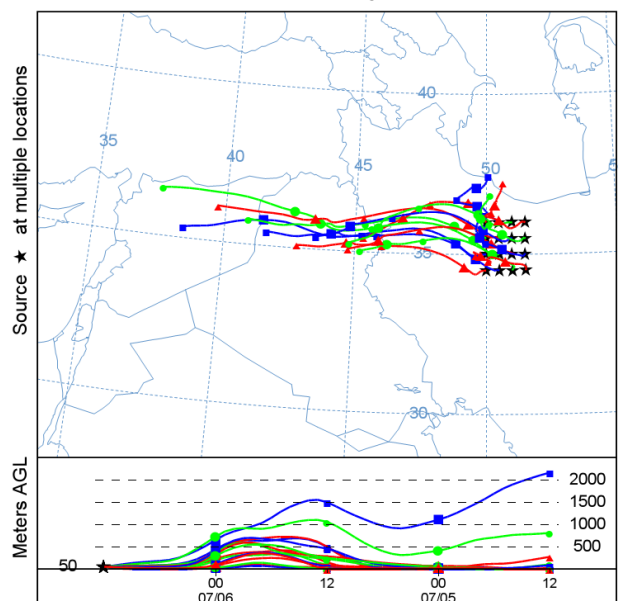
با توجه به نقشه مسیر ذرات در سه روز گذشته، چشمه گردوغبار از مناطق شمال عراق و شرق سوریه می‌باشد (شکل 3) که به علت جریان‌های غربی ذرات معلق بر روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده‌اند و با توجه به این که در بررسی همدیدی نقشه‌ها در تراز 700 وجود پشته ارتفاعی، باعث ایجاد جو پایدار بر روی تهران شده است و افزایش غلظت ذرات معلق در این روز مشاهده می‌شود.

وجود یک کم‌فشار گرمای فصلی در مرکز ایران که زبانه‌های آن تا شمال عراق و جنوب ترکیه کشیده شده است. همراهی آن با ناوه سطوح فوقانی در شرق مدیترانه نیز سبب ایجاد شدیدترین کم‌فشار دینامیکی شده‌است. همچنین استقرار پشته ارتفاعی در

به رنگ سفید در شمال عراق دیده می‌شود، میدان باد (بر حسب نات) نیز نشان داده شده است.



شکل (2): میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی (بر حسب دکامتر) و دما (بر حسب درجه سلسیوس) تراز 700 میلی‌باری مربوط به ساعت 0000UTC روز 2009/7/6. (حرف H بیانگر پشته ارتفاعی و حرف L بیانگر ناوهی ارتفاعی)

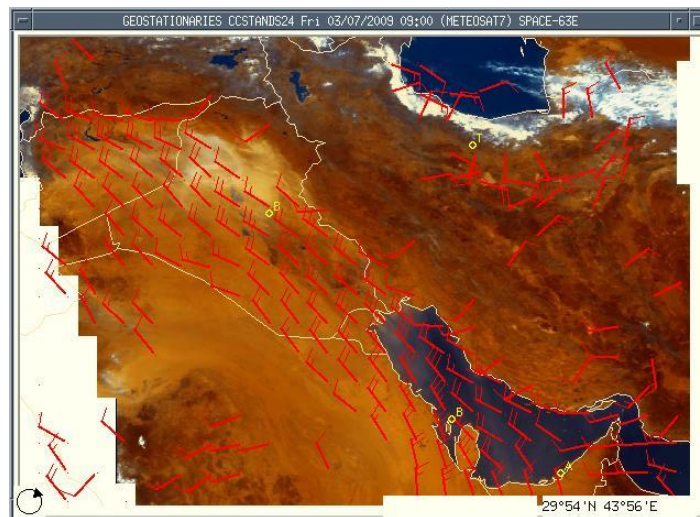


شکل (3): نقشه مسیر حرکت ذرات طی دو روز قبل که در ساعت 1200utc روز 2009-07-06 به روی تهران و اطراف آن رسیده‌اند

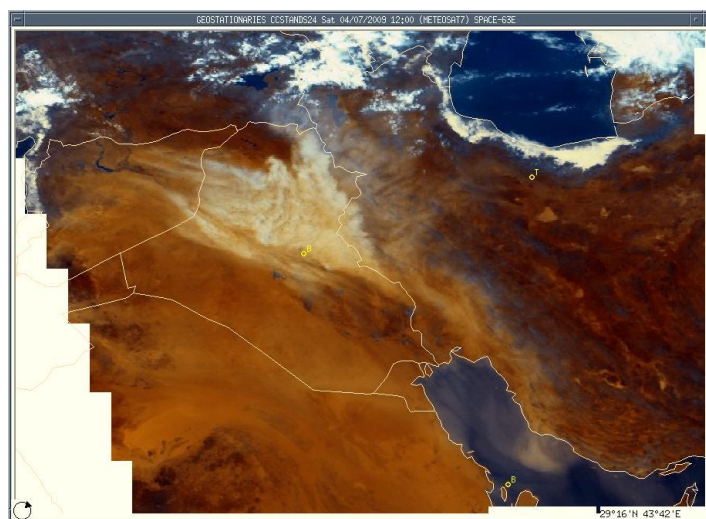
تحلیل نقشه‌های همدیدی روز 5 نوامبر (15 آبان) 2001 نقشه همدیدی سطح زمین ساعت 00

سامانه کم فشار که در مرکز خط هم فشار 1000 میلی بار به صورت بسته دیده می‌شود شکل (7)، بر روی دریای مدیترانه قرار دارد. زبانه کم فشار دیگری نیز از سمت شمال آفریقا به سمت غرب عراق کشیده شده است. سامانه پرفشاری در شرق دریای خزر قرار گرفته است، به طوری که پشته فشاری آن بخش‌های وسیعی از کشور از جمله منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

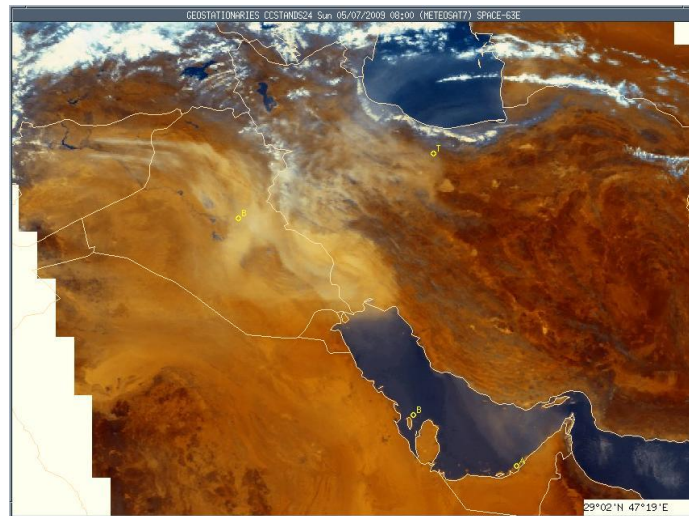
در تابستان اغلب به دلیل کاهش رطوبت خاک و نبود بارندگی، گردوغبار فراوانی ایجاد می‌شود و به علت پشته ارتفاعی بر روی منطقه، تخلیه ذرات با مشکل مواجه و سبب ماندگاری ذرات روی منطقه می‌شود. در نتیجه، مشاهده شده که میزان PSI در دو روز 5 و 6 جولای (15 و 16 تیر) از 229 به 485 رسیده است. همان‌طور که از تصاویر ماهواره‌ای در شکل‌های (4) و (5) و (6) مشاهده می‌کنیم، جریان‌هایی که از شمال شرق می‌آید، حاوی ذرات معلق نیستند و فقط جریان‌های غربی همراه با ذرات گردوغبار می‌باشند.



شکل (4): تصویر ماهواره‌ای روز 03-07-2009



شکل (5): تصویر ماهواره‌ای روز 04-07-2009



شکل (6): تصویر ماهواره‌ای روز 05-07-2009

در روز 6 نوامبر، سیستم کم فشار روی دریای مدیترانه از بین رفته است (شکل 10). در واقع روز 5 نوامبر مراحل پایانی عمر چرخند دریای مدیترانه بود، زیرا این چرخند به یک کم فشار بریده تبدیل شده بود.

بر روی دریای مدیترانه، دو مرکز پرفشار H1، H2 دیده می‌شود که یکی در شمال و دیگری در جنوب دریای مدیترانه قرار گرفته‌اند. مرکز کم فشار L2 در جنوب غرب دریای سرخ قرار دارد که ناوه آن بخشی از کشور عربستان را تحت تأثیر قرار داده است (شکل 10). مرکز پرفشار بر روی هند قرار دارد که پشته آن تا نواحی مرکزی عربستان امتداد یافته و تمام کشور ایران را در بر گرفته است. جهت باد بر روی سطح زمین زاویه‌ای در حدود 30 درجه (وابسته به جنس سطح زمین) با خطوط هم فشار می‌سازد. جهت باد در سیستم‌های پر فشار در جهت عقربه‌های ساعت و 30 درجه متمایل به سمت بیرون می‌باشد. بنابراین، با مقایسه نقشه سطح زمین با 12 ساعت قبل نشان می‌دهد که جهت باد در روی شهر تهران مقداری (کمتر از 50 درجه) در جهت عقربه‌های ساعت چرخیده است و جهت باد در بخش‌های وسیعی از ایران یکسان و جنوبی می‌باشد.

بنابراین، واضح است سیستم‌های فشاری نسبت به 12 ساعت گذشته به طور کامل تغییر کرده است. مرکز کم فشار L1 تا حد زیادی تضعیف شده و خطوط هم فشار بسته 1015 میلی باری، در بخش شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است.

در تراز 500 hPa ساعت 00

مرکز کم ارتفاع (L1) بر روی دریای مدیترانه و به طور دقیق بر روی مرکز کم فشار سطح زمین قرار گرفته است. (شکل 8)، الگوی خطوط کنتوری بیان‌گر یک کم فشار بریده است که نشان می‌دهد، چرخند در مراحل انتهایی زندگی خود قرار دارد. انطباق مرکز کم فشار سطح زمین با مرکز کم ارتفاع در این تراز، بیان‌گر جوی فشار ورد در این منطقه است. مرکز پر ارتفاع (H1) در جنوب خلیج فارس و بر روی عربستان قرار گرفته است. مرکز پرفشار سطح زمین با مرکز پر ارتفاع بر روی این تراز منطبق است. بررسی نقشه حرکت قائم شکل (9) نشان می‌دهد، حرکت صعودی با سرعت 0.15 - پاسکال بر ثانیه در شمال دریای سرخ، جنوب خلیج فارس، عراق، سوریه و غرب ایران وجود دارد که ناشی از فعالیت مرکز کم ارتفاع است. حرکت قائم بر روی تهران در این تراز را می‌توان صفر در نظر گرفت. بخش‌های شرقی و مرکزی ایران تحت تأثیر مرکز پر ارتفاع دارای حرکت نزولی می‌باشد.

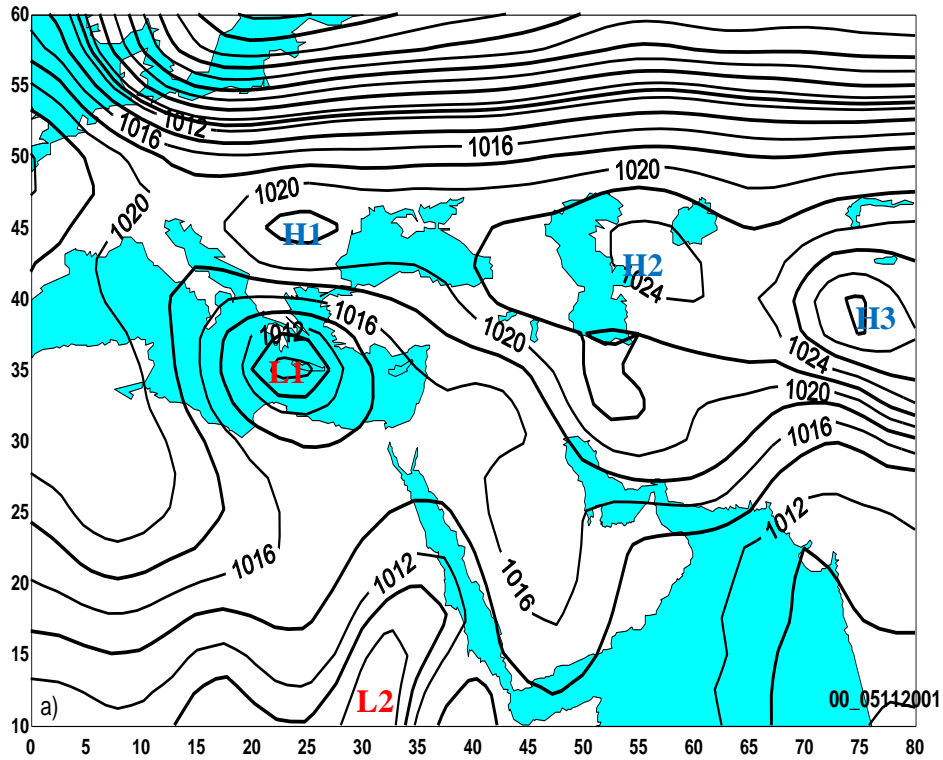
تحلیل نقشه‌های همدیدی روز 6 نوامبر (16 آبان) 2001

نقشه همدیدی سطح زمین ساعت 00

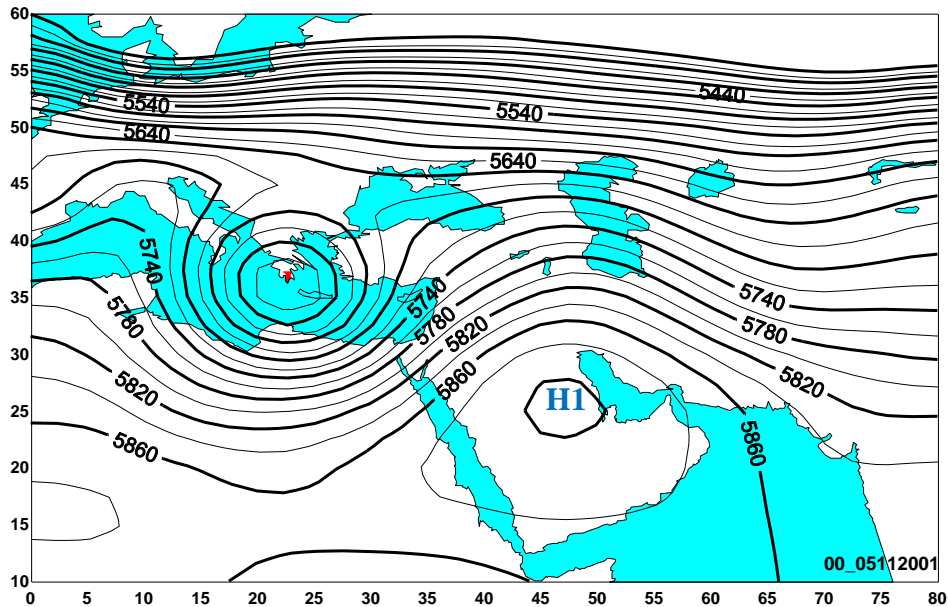
جدول (4): داده‌های میانگین روزانه شاخص PSI

در شهر تهران

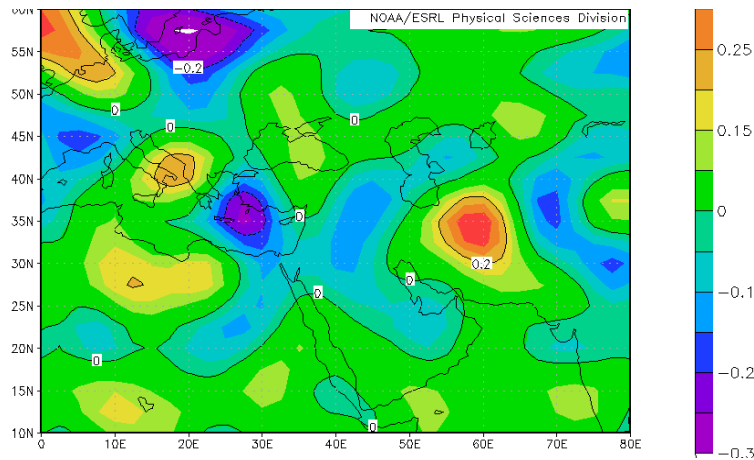
تاریخ	PSI
80/8/14	208
80/8/15	<u>221</u>



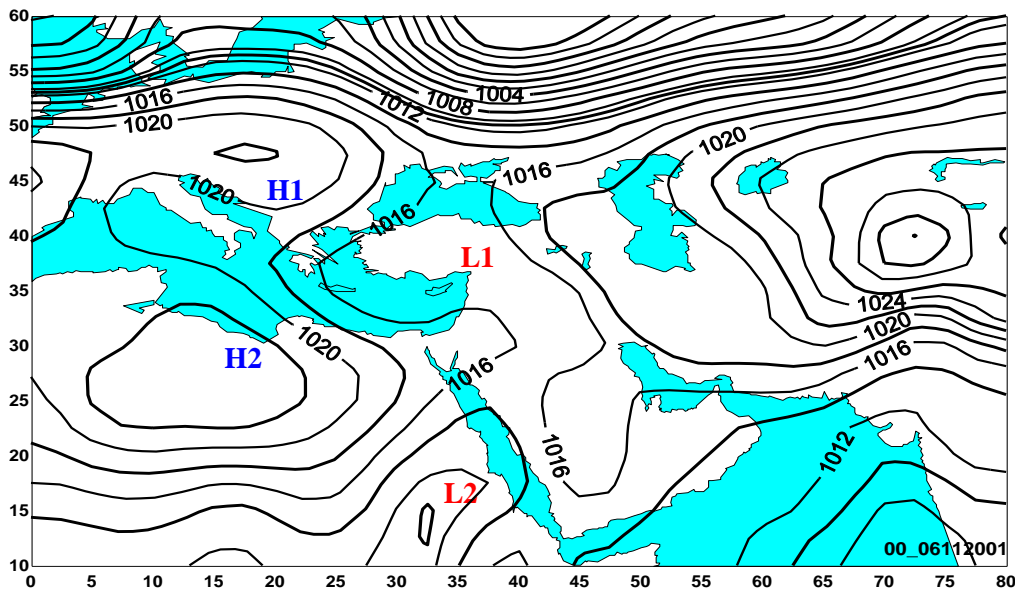
شکل (7): میدان میانگین فشار تراز سطح دریا
در ساعت 00 روز 2001-11-05



شکل (8): میدان ژئوپتانسیل در تراز 500 hPa (بر حسب ژئوپتانسیل متر)
در ساعت 00 روز 2001-11-05



شکل (9): نقشه حرکت قائم تراز 500 hPa در ساعت 00 روز 05-11-2011

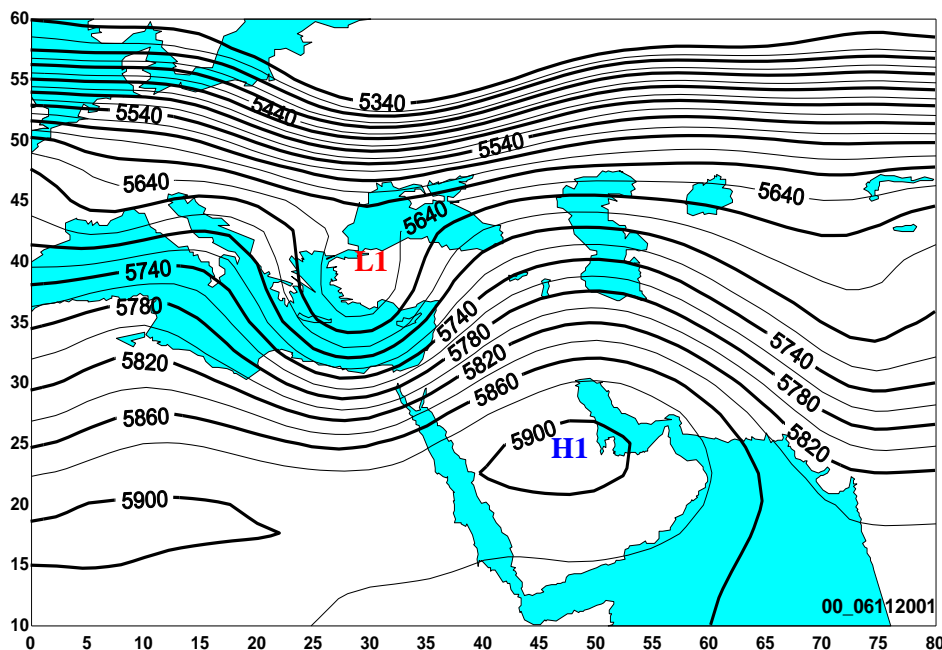


شکل (10): میدان میانگین فشار تراز سطح دریا در ساعت 00 روز 06-11-2011

بررسی نقشه حرکت قائم کلیه موارد ذکر شده در بالا را با دقت بیشتری مورد تأیید قرار می‌دهد و حرکت صعودی به صورت کاملاً مشخص از مرکز ایران تا شرق دریای مدیترانه گسترده شده است و حرکت نزولی نیز بر اثر فعالیت پشته ارتفاعی H1 از مرکز ایران تا حوالی هند گسترش یافته است. البته اندازه این حرکت‌های صعودی و نزولی به مقدار کم می‌باشد و به‌ویژه حرکت صعودی با این اندازه در نیمه غربی کشور، شرایط مساعدی جهت گسترش آلودگی و گرد و غبار به داخل ایران را فراهم نموده است. وجود دو مرکز پر فشار سطح زمین در شمال و جنوب دریای مدیترانه، به‌صورت دو مرکز حرکت نزولی بر روی نقشه حرکت صعودی، قابل تشخیص است.

تراز 500hPa ساعت 00

مرکز کم ارتفاع L1 شکل (11) بر فراز کم فشار سطح زمین قرار گرفته است و میزان حرکت این سیستم فشاری هم‌چنان ناچیز است. ناوه این مرکز کم ارتفاع در ضلع شرقی دریای مدیترانه در راستای جنوب گسترش یافته است. مرکز پر ارتفاع H1 بر روی عربستان قرار دارد و پشته این مرکز در راستای شمال تا دریای خزر امتداد یافته است. کشور ایران تحت تأثیر ناوه کم ارتفاع L1 قرار دارد و این ناوه بخش غربی کشور به همراه کشورهای عراق، سوریه، ترکیه و غیره ... را تحت تأثیر قرار داده است. اما بخش‌های شرقی کشور تحت نفوذ پشته مرکز پر ارتفاع H1 قرار دارند و این سامانه پر ارتفاع، هوای پایداری را در نیمه شرقی کشور ایجاد کرده است (شکل 11).



شکل (11): میدان ژئوپتانسیل در تراز 500 hPa (بر حسب ژئوپتانسیل متر) در ساعت 00 روز 06-11-2001

تراز 700 hPa ساعت 00

نقشه این تراز بسیار شبیه به نقشه تراز 500 میلی باری است. مرکز کم ارتفاع L1 در بخش شمالی دریای مدیترانه قرار گرفته و ناوه این مرکز مانند تراز 500 میلی باری در بخش شرقی دریای مدیترانه و در راستای جنوب گسترده شده است (شکل 12). نواحی مرکزی ایران تا شرق دریای مدیترانه تحت نفوذ این ناوه هستند. مرکز پر ارتفاع H1 بر روی عربستان قرار دارد و پشته آن را در جهت شمال تا دریای خزر گسترده شده است. حرکت صعودی ایجاد شده بر اثر فعالیت این ناوه و پشته کاملاً واضح بر روی نقشه حرکت صعودی دیده می‌شود.

منطقه حرکت صعودی از مرکز ایران تا شرق دریای مدیترانه قابل تشخیص است و حرکت نزولی نیز مانند تراز 500 میلی بار از مرکز ایران تا هند گسترده شده است. وجود دو مرکز حرکت نزولی در شمال و جنوب دریای مدیترانه که منطبق بر پر فشارهای سطح زمین است، دیده می‌شود.

جهت باد بر روی شهر تهران که به صورت موازی با خطوط هم ارتفاع می‌وزد غربی می‌باشد و جهت باد در روی شهر تهران از جنوب غرب به شمال غرب تغییر جهت می‌دهد.

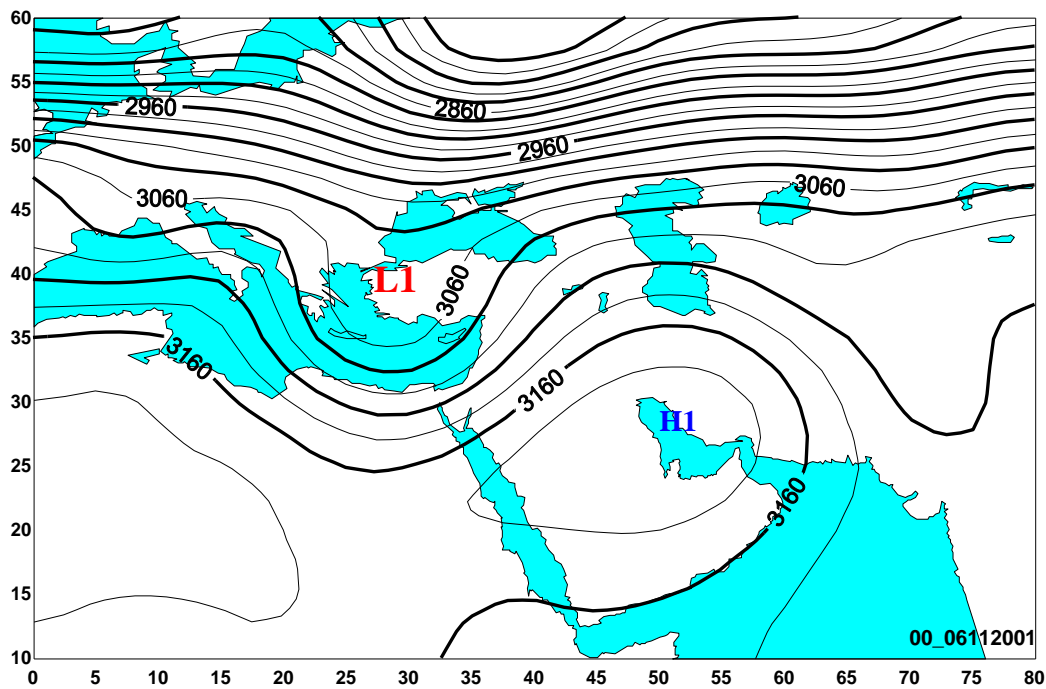
با توجه به نقشه ردیابی شکل (13) در سه روز گذشته می‌بینیم که منشأ تولید ذرات گرد و غبار از مناطق کویری حاج علی‌قلی در سمنان و کویر دق سرخ در یزد و کویر میغان در اراک

می‌باشد. به علت وجود جریان‌های شرقی و جنوب‌شرقی، این ذرات معلق به سمت منطقه مورد مطالعه کشیده می‌شود. با توجه به نقشه همدیدی در تراز 700 (شکل 12)، شاهد حرکات نزولی (0/1- 0/075) پاسکال بر ثانیه بر روی شهر تهران هستیم که با نقشه‌های ردیابی در این روز مطابقت دارد.

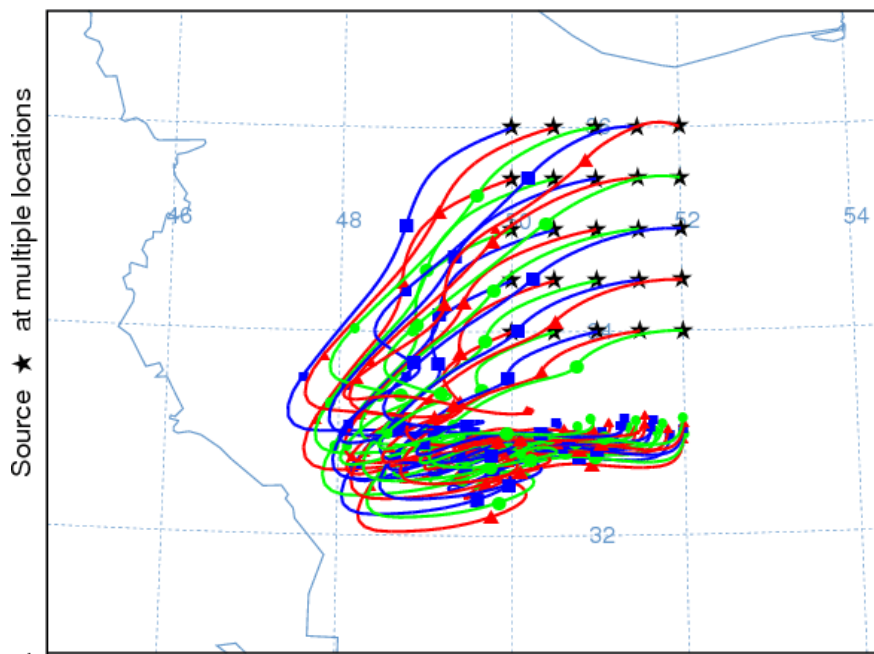
بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بر اساس سامانه‌های جوی حاکم بر روی منطقه، چشمه‌های تولید گرد و خاک مؤثر در بالا بردن غلظت ذرات معلق در هوای تهران می‌توانند متفاوت باشند بر این اساس سامانه‌های جوی و شرایط هواشناختی برای حالت‌هایی که کیفیت هوای تهران از نظر بالا بودن غلظت ذرات معلق در شرایط بسیار ناسالم قرار داشته را می‌توان به دو الگوی کلی زیر تقسیم نمود که در هر الگو محل احتمالی منشأ گرد و غبار نیز مشخص شده است:

الگوی الف- در این الگو گسترش زبانه پر فشار از سمت شرق و شمال شرق کشور بر روی منطقه مورد مطالعه و همراهی آن با پشته عمیق ارتفاعی در تراز 500 هکتوپاسکالی و حرکات نزولی در سطح 700 هکتوپاسکالی نقش مهمی در ایجاد پایداری شدید بر روی منطقه دارد. مسیر ردیابی ذرات معلق نشان می‌دهد که به علت جریانات جنوبی و جنوب شرقی و شرایط جغرافیایی تهران،



شکل (12): میدان ژئوپتانسیل در تراز 700 hPa (بر حسب ژئوپتانسیل متر) در ساعت 00 روز 2001-11-06



شکل (13): نقشه مسیر حرکت ذرات طی سه روز قبل که در ساعت 1200utc روز 2001-11-06 به روی تهران و اطراف آن رسیده‌اند

نیز می‌توانند در این شرایط نقش مهمی در بالا بردن غلظت ذرات معلق در تهران داشته باشند
الگوی ب- در این الگو سامانه کم فشار گرمایی فصلی علاوه بر

بخشی از ذرات گردوغبار ممکن است از مناطق بیابانی کویری مانند کویر سمنان و قم وارد تهران شود و همچنین ذرات معلق تولید شده در داخل شهر و کارخانجات واقع در حومه جنوبی شهر

تهران نام برد که با گسترش روز افزون سطح آن‌ها می‌توان انتظار داشت که به تناوب در آینده منطقه را تحت تأثیر قرار دهند.

سیاس‌گذاری

از شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران جهت همکاری و ارائه داده‌های مربوط به شاخص استاندارد آلودگی هوا و همچنین از سازمان هواشناسی کشور جهت در اختیار گذاشتن داده‌ها و نقشه‌های مورد نیاز و همکاری‌های لازم، تشکر و قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Backward trajectory technique
2. Pollutant Standard Index
3. National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research
4. Air Resources Laboratory
5. National Oceanic and Atmospheric Administration
6. 6-Universal Time Coordinate

اینکه روی بخش‌های وسیعی از ایران، تا شمال عراق و حتی جنوب‌شرق ترکیه گسترده شده و با پر ارتفاع جنب حاره‌ای تراز میانی جو نیز همراهی می‌شود از طرفی ناوه سطوح فوقانی مستقر در شرق مدیترانه و حرکت شرق سوی آن باعث ایجاد کم‌فشار دینامیکی در شرق سوریه و شمال عراق شده که در این حالت شرایط مناسبی برای ایجاد ناپایداری و تولید توفان گرد و غبار در این مناطق فراهم می‌آورد. در این حالت گرادبان فشاری بین سامانه کم فشار و سامانه پرفشاری که در پشت ناوه تراز فوقانی تشکیل شده سبب ایجاد بادهای نسبتاً قوی در سطح زمین می‌شود. بنابراین با توجه به استقرار پر ارتفاع همراه با حرکات نزولی بر روی ایران، گرد و خاک تولید شده بر روی عراق و شرق سوریه بر روی منطقه و بخش‌های وسیعی از کشور نشست نموده که به دلیل ریز بودن ذرات معلق و همچنین سرعت کم باد این ذرات برای مدت زیادی در هوا باقی مانده و سبب شرایط حاد آلودگی می‌گردند.

نقشه‌های ردیابی مسیر ذرات نشان می‌دهند که در این حالت چشمه‌های تولید گردوغبار در شرق سوریه و شمال عراق بوده که تصاویر ماهواره‌ای آشکار ساز گرد و غبار نیز بیانگر این مطلب می‌باشد. در نتیجه این مناطق را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین چشمه‌های تولید گرد و خاک بخش‌های مختلفی از کشور به‌ویژه

فهرست منابع

- امیدوار، ک. 1385. بررسی و تحلیل سینوپتیکی توفان‌های ماسه در دشت یزد- اردکان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره 81.
- توبیهای نجف آبادی، ل. 1385. بررسی طوفان‌های گرد و خاک در اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- چیتی، م. 1388. بررسی و تعیین الگوهای آب و هوایی و جوی حاکم بر توفان‌های گرد و خاک در منطقه یزد. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- ذوالفقاری، ح. و عابدزاده، ح. 1384. تحلیل سینوپتیکی سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان 1384.
- همتی، ن. 1374. بررسی فراوانی وقوع توفان خاک در نواحی مرکزی و جنوب‌غربی. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، موسسه ژئوفیزیک.

Draxler, R. R.; Gillete, D.A.; Kirkpatrick, J. S. & Heller, J. 2001. Estimating PM10 Air Concentration from Dust Storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. Atmospheric Environment, Vol. 35, 4315- 4330.

Gouadi, A. S. & Middleton, N. J. 1992. The Changing Frequency of Dust Storm through time, Journal of Climate Change, Vol. 20, 197- 225.

In, H. J. & Park, S. U. 2003. Estimation of Dust Emission Amount for a Dust Storm event occurred in April 1998 in China. *Journal of Water Air and Soil pollution*, Vol. 148, 201- 221.

Kurosaki, Y. & Mikami, M. 2005. Regional difference in the characteristics of dust event in East Asia: relationship among dust outbreak, surface wind, and land surface condition, *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 83A, 1- 8.

Orlovsky, L.; Orlosky, N. & Durdyev, A. 2005. Dust Storm in Turkmenistan. *Journal of Arid Environment*, Vol. 60, Issue. 1. 83- 97.

Xu, X.; Jason, K. L.; Lin Z. & Chen, H. 2006. An Investigation of Sand-Dust Storm Events and Land Surface Characteristics in China using NOAA NDVI data, *Global and Planetary Change*, Vol. 52, 182-196.

Youngsin, C. & Lim, J. Y. 2004. The recent characteristics of Asian Dust and Haze events in Seoul, Korea. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 87,143- 152.

