

تحلیل همدیدی و سنجش از دور توفان گرد و خاک تهران

شهربانو طبرستانی^{۱*}، غلامعلی کمالی^۲، مجید وظیفه دوست^۲، ساویز صحت کاشانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

^۲ دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

^۳ دکتری سنجش از دور منابع آب، استادیار دانشگاه سراسری گیلان، گیلان، ایران

^۴ دکتری هواشناسی، استادیار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۲۱ ، تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۳

چکیده

این مقاله به بررسی رفتار توفان گرد و خاک همرفتی تهران مورخ ۲۴ آوریل ۲۰۱۷، (چهارم اردیبهشت ۱۳۹۶) با استفاده از ارزیابی الگوهای میان مقیاس و خرد مقیاس و همچنین فراسنج های هواشناسی مانند دما، رطوبت، فشار، نقطه شبنم، میدان باد و دید افقی می پردازد. در این مطالعه موردی، ریزش های سرد و قوی، فعالیت جبهه سرد در زمان پیشینه دما در استان تهران، در سطح زمین و لایه های مجاور سطح زمین تقویت شده و سبب تشدید سرعت باد در منطقه و در نتیجه باعث تراپرد گرد و خاک به سمت استان تهران شده است. این رخداد به طور معمول همراه با تندی بالای باد، افت دما، افزایش دمای نقطه شبنم، افزایش فشار و در نتیجه کاهش دید رخ می دهد. در تحلیل همدیدی، می توان در نقشه های سطح زمین حرکت شرق سوی مرکز پرفشار ۱۰۲۰ به سمت روسیه و مرکز کم فشار ۱۰۰۴ که نواحی غربی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد و دارای سرعت قابل توجه ای است را به خوبی مشاهده کرد. در روز وقوع توفان گرد و خاک ساعت UTC ۰۰:۰۰ سامانه کم فشار با مرکز ۱۰۰۰ هکتو پاسکال، نواحی شمالی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد، این در حالی است که مرکز پرفشار ۱۰۱۲ در نواحی جنوب و جنوب غرب حاکم بوده و از طرفی استقرار مرکز ۱۰۲۰ در نواحی شرق سوریه و محور ناوه، به همراه یک سلول کم فشار نیمه شمالی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد و منجر به شیو فشاری قابل توجهی در شمال (جنوب البرز) و شمال غرب کشور می شود. در ساعت UTC ۱۲:۰۰ افزایش قابل توجه فشار در نیمه شمالی کشور مشاهده می شود. در نقشه ۸۵۰ هکتو پاسکال، یک روز قبل از وقوع توفان شاهد ناپایداری در شمال غرب بوده و خطوط هم ارتفاع و هم دما به صورت قائم یکدیگر را قطع نموده اند و در روز وقوع توفان در ساعت UTC ۰۰:۰۰ تشکیل سلونوئید و قطع خطوط هم دما توسط خطوط هم ارتفاع در نواحی شرق سوریه و عراق و غرب ایران مشاهده می شود. وضعیت دمایی و ارتفاعی تراز ۸۵۰ hPa و کژفشاری، نفوذ جبهه سرد، از ساعت UTC ۰۰:۰۰ روز ۲۴ آوریل به استان های نوار غربی کشور و رسیدن این جبهه به مناطق مرکزی نفوذ آن به استان تهران مشاهده می شود. جبهه سرد شکل گرفته منجر به پوشش ابری قابل توجهی به ویژه در نواحی شمال غربی و غرب کشور می گردد. در نقشه ۵۰۰ hPa، در ساعت UTC ۰۰:۰۰ روز دوشنبه ۲۴ آوریل، شاهد عمیق شدن ناوه شکل گرفته بوده که واگرایی در نواحی شرق خود بویژه روی کشورهای عراق و سوریه را به همراه دارد. وجود پشته بر روی کشور ایران شرایط را برای ممانعت از بارش محتمل بویژه برای استان تهران فراهم می کند. در حالی که در ساعت UTC ۱۲:۰۰ واگرایی در شرق ناوه موجود بر روی دریای سیاه، کشورهای سوریه و عراق تشدید می شود. همچنین تحلیل و ردیابی این توفان توسط تصاویر ماهواره ای و بررسی تصاویر گرد و خاک حاصل از ماهواره MSG، در روز ۲۴ آوریل مبین پیشروی گرد و خاک بر روی نواحی غربی، مرکزی ایران و وقوع توفان در استان تهران بوده و در ساعت UTC ۱۲:۰۰ ابرهای سیروس مبین جبهه سرد کاملاً به شمال غرب و مرکز ایران پیشروی کرده است. همچنین سری زمانی میانگین روزانه ضخامت نوری هواویزها به منظور بررسی وقوع توفان گرد و خاک و شدت آن مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد بیشینه مقادیر در روز ۲۴ آوریل در استان تهران می باشد که نمایانگر وجود مقادیر بالایی از ذرات معلق در منطقه است. به منظور راست آزمایی، داده های PM_{۱۰}، PM_{۲.۵} را می توان به عنوان معیاری مناسب از غلظت ذرات گرد و خاک طبیعی معلق در هوا، در نظر گرفت. افزایش مقادیر PM_{۲.۵}، PM_{۱۰} با کاهش دید افقی انطباق دارد.

کلمات کلیدی: توفان گرد و خاک همرفتی، الگوهای هواشناسی، تصاویر ماهواره ای، عمق نوری هواویز

توفان های گرد و خاک در سال های اخیر از اصلی ترین بلاهای طبیعی هستند که هر ساله کشور های منطقه خاورمیانه و بخش وسیعی از ایران، به ویژه مناطق غربی و جنوب غرب کشور را تحت تأثیر قرار می دهد (میچل^۱، ۱۹۷۱). طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی توفان گرد و خاک عبارت است هر گاه سرعت باد بیش از ۳۰ نات و دید افقی ناشی از گرد و خاک کمتر از ۱ کیلومتر باشد، پدیده موجود توفان گرد و خاک یا ماسه بوده و باکد هوای حاضر ۳۰ ت ۳۵ نشان داده می شود (مجموعه دستورات عمل کدها و روش های دیدبانی سطح زمین سازمان جهانی هواشناسی).

یکی از عوامل اصلی ایجاد این پدیده، وزش بادهای شدید روی بیابانهای مساعد تشکیل گرد و خاک است. این عوامل به همراه حرکت صعودی ناشی از سامانه های جوی، انتقال قائم ذرات گرد و غبار معلق به ترازهای بالاتر را فراهم می کند و سپس با جریان هوا به حرکت در آمده و مناطق وسیعی را پوشش می دهند (هگن^۲ و وودراف^۳، ۱۹۷۳، فریر^۴، ۱۹۸۱). چگونگی شکل گیری و میزان شدت توفانهای گرد و خاک تابعی از وضعیت زمین از جمله: نوع خاک، پوشش گیاهی، رطوبت حاکم می باشد.

پدیده های جوی که توفان های گرد و خاک را موجب می شوند، دارای مقیاس های مختلفی بوده که شامل مقیاس های همدیدی، منطقه ای و محلی میباشند و در منطقه غرب آسیا توفان به سه شکل توفانهای گرد و خاک شمال، جبهه های و همرفتی طبقه بندی میشوند (ویلکرسون^۵، ۱۹۹۱). هبوب^۶ یکی از توفان های گرد و خاک همرفتی است که ناشی از حرکات پایین رو موجود در توفانهای تندری بوده که تشکیل دیواره ای از گرد و خاک را به همراه دارد (آنا واکوویچ^۷ و همکاران، ۲۰۱۶).

توفان گرد و خاک مورخ ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ (چهارم اردیبهشت ۱۳۹۶) که از آن به عنوان توفان گرد و خاک از نوع هبوب نامبرده میشود، یکی از شدیدترین توفان های گرد و خاکی است که با سرعتی بیش از ۹۷ کیلومتر بر ساعت به همراه گرد و خاک غلیظ تهران را در هم نوردید و خسارت های مالی فراوانی بر جای گذاشت. توفان شدید گرد و خاک در ایستگاه فرودگاه مهرآباد باعث کاهش قابلیت دید به کمتر از ۱۰۰ متر گردید و در نتیجه کلیه پروازها در مهرآباد به حالت تعلیق درآمد. شکل ۱ توفان گرد و خاک تهران در روز ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ (چهارم اردیبهشت ۱۳۹۶) را نشان می دهد.

هر چند که بنا بر گزارش کمیسیون تخصصی بررسی این توفان در تهران، زمان و دوام وقوع پدیده های جوی کوتاه مدت با توجه به کوتاهی زمان شکل گیری و ابعاد توفان (خرد مقیاس) و محدودیت های مدل های میان مقیاس و بلند مقیاس و همچنین ساختار سامانه های دیدبانی ایستگاهی، قابلیت ردگیری و پیش بینی آن وجود نداشته است، اما با استفاده از پایش خصوصیات طیفی ابرهای ناشی از توفان های گرد و خاک شامل ضخامت نوری هواویز^۸ (AOD) حاصل از ماهواره های هواشناسی و قابلیت دید افقی در کنار ارزیابی الگوهای میان مقیاس و خرد مقیاس و همچنین فراسنج های هواشناسی مانند دما، رطوبت، فشار، نقطه شبنم، میدان باد امکان پایش و هشدار قبل از وقوع توفان های گرد و خاک که در زمان کوتاهی شکل می گیرند مهیا می گردد. از آنجایی که مدل های عددی هواشناسی به تنهایی قادر به ارزیابی و آشکارسازی کنون های توفان های گرد و خاک و زمان وقوع آنها نیستند، استفاده از روش های مبتنی بر سنجش از دور و بررسی ضخامت نوری هواویزها راه مطمئن تری برای پایش گرد و خاک و هشدار قبل از وقوع آن است (ایران نژاد^۹ و همکاران، ۲۰۱۳).

مطالعات بسیاری نشان داده اند که ضخامت نوری هواویزها و قابلیت دید افقی یک شاخص خوب برای کمی

- 1 Mitchell
- 2 Hegen
- 3 Woodruff
- 4 Fryrear
- 5 Wilkerson
- 6 Haboob
- 7 Vukovic

8 Aerosol Optical Depth
9 Irannejad



شکل ۱: تصویر توفان گرد و خاک ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ تهران

های نمایش دهنده مقادیر تمرکز ذرات گرد و خاک در جو، معیاری مناسب از غلظت ذرات گرد و خاک طبیعی که از اراضی بیابان گسیل می گردد، می باشند (کرمی^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۶).

از آنجایی که مطالعه رفتار توفان های گرد و خاک به منظور پیش بینی دقیق و به موقع این رویدادها می تواند در شناخت رفتار و چشمه توفان گرد و خاک و همچنین توسعه سامانه های هشدار به منظور کاهش خسارات وارده از توفان گرد و خاک موثر باشد، در این مطالعه، یک نمونه رویداد توفان گرد و خاک همرفتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع، بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است، شکل (۲) موقعیت استان و منطقه مورد مطالعه این تحقیق را نشان می دهد. در این پژوهش نقشه های همدیدی سطح زمین، نقشه های ارتفاع ژئوپتانسیل در سطوح فشاری hpa ۸۵۰ و ۵۰۰ در روزهای ۲۳ الی ۲۵ آوریل ۲۰۱۷ به منظور بررسی الگوهای فشاری از سازمان هواشناسی

22 Karami

سازی غلظت گرد و خاک می باشد (شائو^{۱۰} و وانگ^{۱۱}، ۲۰۰۳، اوزر^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۶، ماهووالد^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۷، کلوسه^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۰، حمیدی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۳ و کامینو^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس دستور العمل WMO دید افقی حداکثر مسافتی است که یک دیدبان می تواند اشیاء را با نور معمولی بخوبی تشخیص دهد. این موضوع به شدت تحت تاثیر توزیع اندازه ذرات گرد و خاک، ضخامت نوری هواویزها (تیگن^{۱۷}، ۲۰۰۳، ان تیچایی امبورو^{۱۸} و همکاران، ۱۹۹۷) و همچنین رطوبت هوا (شائو و دانگ^{۱۹}، ۲۰۰۶، کابلو^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۲) قرار دارد.

مطالعات زیادی نشان می دهد محصول ضخامت نوری هواویز حاصل از اجرای الگوریتم های چند طیفی بر اساس داده های مرئی و مادون قرمز حاصل از سنجنده های MODIS و SEVIRI، از همبستگی و توافق خوبی با اندازه گیری های زمینی موجود در سایت AERONET برخوردار است (رومانو^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۳).

تغییرات زمانی PM_{2.5} و PM₁₀ به عنوان کمیت

- 10 shao
- 11 Wang
- 12 Ozer
- 13 Mahowald
- 14 Klose
- 15 Hamidi
- 16 Camino
- 17 Tegen
- 18 N^oTchavi Mbourou
- 19 Dong
- 20 Cabello
- 21 Romano

نتایج و بحث

تلیل همدیدی

نقشه سطح زمین



شکل ۲: نقشه استان تهران (موقعیت ایستگاه های همدیدی مورد مطالعه)

در روز یکشنبه ۲۳ آوریل ۲۰۱۷ ساعت UTC ۰۰:۰۰، مرکز پرفشاری با هسته ۱۰۲۰ بر روی دریای کاسپین مستقر بوده و یک مرکز کم فشار نواحی جنوبی کشور ایران بویژه خلیج فارس و دریای عمان را در بر گرفته است. در ۱۲ ساعت آینده شاهد حرکت شرق سوی مرکز پرفشار ۱۰۲۰ به سمت روسیه بوده و مرکز کم فشار ۱۰۰۴ نواحی غربی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد، که سرعت حرکت سیستم در اینجا قابل توجه می باشد. روز دوشنبه ۲۴ آوریل ساعت UTC ۰۰:۰۰، سامانه کم فشار با مرکز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، نواحی شمالی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد، این در حالی است که مرکز پرفشار ۱۰۱۲ در نواحی جنوب و جنوب غرب حاکم بوده و از طرفی استقرار مرکز ۱۰۲۰ در نواحی شرق سوریه و محور ناوه^{۲۳} که به صورت مداری است، به همراه یک سلول کم فشار نیمه شمالی کشور را تحت تاثیر قرار داده که منجر به شیو فشاری قابل توجهی در جنوب البرز و شمال غرب کشور شده است. در ساعت UTC ۱۲:۰۰ افزایش قابل توجه فشار در نیمه شمالی کشور (۱۲ mb) مشاهده می شود. روز سه شنبه ۲۵ آوریل ۲۱۰۷ حاکی از تقویت مرکز پرفشار بر روی دریای سیاه است و زبانه های ۱۰۱۶ هکتوپاسکالی نواحی شمال غرب و نیمه شمالی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد. با گذشت زمان در ۱۲ ساعت آینده مرکز پرفشار ۱۰۲۸ میلی باری با حرکت شرق سو در شرق دریای سیاه مستقر می گردد. (شکل ۳)

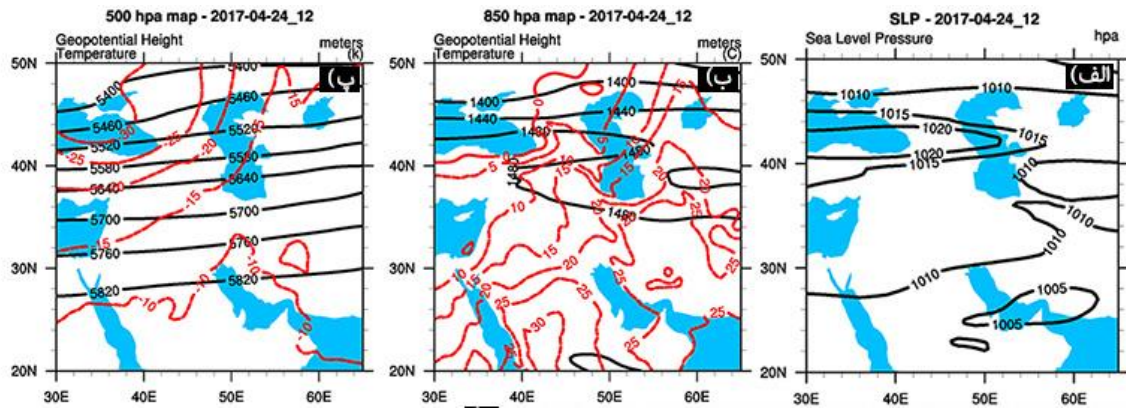
نقشه 500 hPa

در روز یکشنبه ۲۳ آوریل ۲۰۱۷ یک ناوه با محور نصف النهاری غرب دریای سیاه را به نواحی غربی دریای سرخ وصل می کند و به تدریج در ساعت UTC ۱۲:۰۰ ناوه با حرکتی شرق سوی کاملاً به صورت نصف النهاری،

کشور دریافت گردید. همچنین برای کمی سازی شدت گرد و خاک، داده های دید افقی حاصل از ایستگاههای هواشناسی همدیدی مهر آباد و امام خمینی و همچنین دادههای غلظت ذرات گرد و خاک بر مبنای شاخصهای PM10 و PM2.5 از ایستگاههای دانشگاه شریف و شهری در بازه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این به منظور بررسی روند تغییرات فراسنج های هواشناسی، دادههای هواشناسی شامل دمای هوا، دمای نقطه شبنم، فشار و باد از دو ایستگاه هواشناسی ایستگاه فرودگاه مهرآباد و ایستگاه فرودگاه امام خمینی دریافت و مورد تحلیل قرار گرفت.

به منظور بارزسازی توفان گرد و خاک از محصول گرد و خاک حاصل از تصاویر سنجنده SEVIRI ماهواره METEOSAT10 استفاده شد. همچنین به منظور بررسی غلظت توفان گرد و خاک، محصول ضخامت نوری هواویزها حاصل سنجنده مادیس در دوره مطالعاتی، از درگاه Giovanni (https://giovanni.gsfc.nasa.gov/) مورد استفاده قرار گرفت.

همچنین میدان های، دما و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه، یک روز قبل از رخداد و در روز رخداد و روز بعد از رخداد توفان بررسی شده است.



شکل ۳: الف) نقشه سطح زمین ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ ساعت ۱۲ گرینویچ، ب) نقشه ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ ساعت ۱۲ گرینویچ، پ) نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ ساعت ۱۲ گرینویچ

داده های دیدبانی زمینی

افزایش ناگهانی سرعت باد در ایستگاه مهرآباد به ۷۲ کیلومتر بر ساعت در ساعت ۱۴:۱۴ UTC، به وقوع توفان اشاره می کند. بیشینه سرعت باد در ایستگاه مهرآباد در ساعت ۱۴:۲۸ UTC برابر ۹۷ کیلومتر بر ساعت و در ایستگاه فرودگاه امام خمینی برابر ۵۴ کیلومتر برای ساعت در ساعت ۱۴:۳۰ UTC، نشانگر این است که توفان ابتدا به ایستگاه مهرآباد رسیده است. تغییرات سرعت باد در دو ایستگاه مهرآباد و ایستگاه فرودگاه امام خمینی در شکل ۴ نشان داده شده است. نهایتاً در ساعت ۱۶:۳۰ UTC سرعت باد در ایستگاه های مهرآباد و امام خمینی کاهش یافته و به ترتیب به مقدار ۱۱ و ۲۱ کیلومتر بر ساعت می رسد.

دمای هوا در مدت کمی از ۲۸ درجه سلسیوس به ۱۹ درجه سلسیوس افت می کند و روند افزایش دمای نقطه شبنم از ساعت ۱۴:۰۰ UTC در ایستگاه فرودگاه امام خمینی و ساعت ۱۴:۱۴ UTC در ایستگاه فرودگاه مهرآباد شروع می شود. شکل ۴ تغییرات مقادیر دما و دمای نقطه شبنم در ایستگاه فرودگاه مهرآباد را نشان می دهد.

همچنین تغییرات مقادیر فشار در شکل ۴ نمایش داده شده است که حاکی از افزایش مقادیر فشار در هر دو ایستگاه با مقادیر بالاتر در ایستگاه فرودگاه مهرآباد است.

دریای سیاه را به دریای سرخ متصل می کند، این شرایط با حاکمیت پشته^{۲۴} بر روی کشور ایران همراه است. در ساعت ۰۰:۰۰ UTC روز دوشنبه ۲۴ آوریل، شاهد عمیق شدن ناوه مذکور بوده که واگرایی در نواحی شرق خود بویژه روی کشورهای عراق و سوریه را به همراه دارد. وجود پشته بر روی کشور ایران شرایط را برای ممانعت از بارش محتمل بویژه برای استان تهران فراهم می کند. در حالی که در ساعت ۱۲:۰۰ UTC تشدید واگرایی در شرق ناوه موجود بر روی دریای سیاه، کشورهای سوریه و عراق به همراه دارد. (شکل ۳)

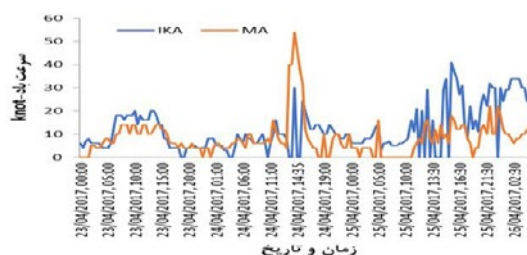
نقشه 850 hPa

روز دوشنبه در ساعت ۰۰:۰۰ UTC شاهد ناپایداری در شمال غرب بوده و تشکیل سلونوئید و قطع خطوط هم دما توسط خطوط هم ارتفاع در نواحی شرق سوریه و عراق و غرب ایران مشاهده می شود.

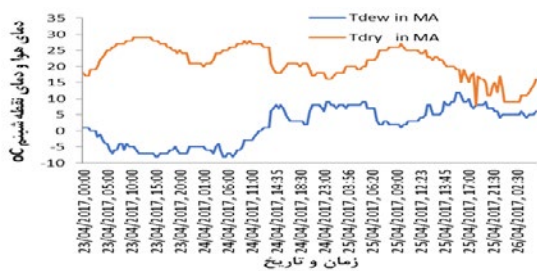
حرکت شرق سو و رسیدن جبهه سرد بر روی مناطق بیابانی مرکز ایران و نفوذ به استان تهران بویژه در ساعات میانی روز، افزایش قابل توجه دما در منطقه که منجر به تضاد دمایی شده و شرایط برای ایجاد فراجست فروپکش^{۲۵} در سلول همرفتی در منطقه مورد مطالعه را فراهم می نماید (شکل ۳).

24 Ridge
25 over shooting downburst

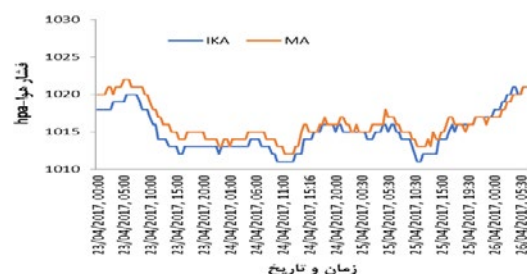
الف



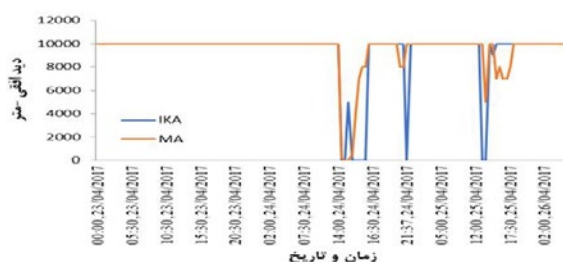
ب



پ



ت



شکل ۴: الف) تغییرات سرعت باد در دو ایستگاه فرودگاه مهرآباد و فرودگاه امام خمینی، ب) تغییرات دما و دمای نقطه شبنم در دو ایستگاه فرودگاه مهرآباد و فرودگاه امام خمینی، پ) تغییرات فشار در دو ایستگاه فرودگاه مهرآباد و فرودگاه امام خمینی

دید افقی در ایستگاه فرودگاه مهرآباد و امام خمینی هر ۳۰ دقیقه گزارش می شود. همانطور که در نمودار (ت) شکل ۴ قابل مشاهده می باشد، دید افقی در دو ایستگاه فرودگاه مهرآباد و امام خمینی به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. کاهش دید در ایستگاه فرودگاه مهرآباد در ساعت UTC ۱۴:۱۴ (۲۰۰ متر) و در ساعت UTC ۱۴:۲۰ (مقدار صفر) گزارش می گردد. در ساعت UTC ۱۴:۲۸ کاهش دید افقی در ایستگاه ایستگاه فرودگاه امام خمینی گزارش شده و مقدار آن به ۵۰۰۰ متر می رسد.

تغییرات زمانی PM 2.5 و PM10 به عنوان کمیت های نمایش دهنده مقادیر تمرکز ذرات گرد و خاک در جو، برای استان تهران از دو ایستگاه دانشگاه شریف و شهرری (شکل ۵)، حاکی از افزایش شدید مقادیر در ساعت ۱۸:۰۰ محلی است که وقوع توفان گرد و خاک را تایید می کند. غلظت PM 10 چندین برابر غلظت PM 2.5 می باشد که نشان دهنده توفان گرد و خاک متشکل از ذرات با قطر نسبتاً بزرگ است. نمودار (پ) شکل ۵، مقادیر دید افقی گزارش شده در ایستگاه فرودگاه امام خمینی و ذرات معلق PM10 ایستگاه شریف را نشان می دهد، که مقایسه آنها حاکی از کاهش ناگهانی دید افقی در ایستگاه فرودگاه امام خمینی، همزمان با افزایش مقادیر ذرات معلق PM10 ثبت شده در ایستگاه شریف می باشد.

داده های غلظت ذرات معلق PM10، PM2.5 و دید افقی

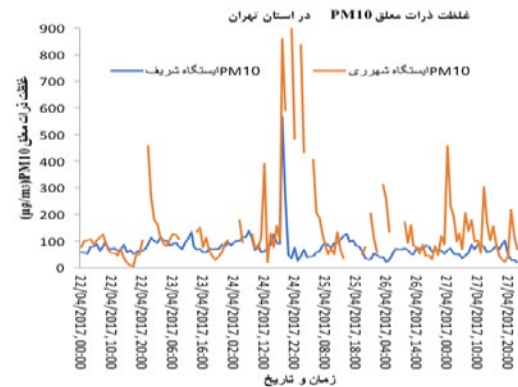
ذرات PM10 به ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر گفته می شود و در زمان وقوع توفان های گرد و خاک، غلظت ذرات PM10 را می توان به عنوان معیاری مناسب از غلظت ذرات گرد و خاک طبیعی که از اراضی بیابان گسیل می گردد، در نظر گرفت.

تحلیل سنجش از دور

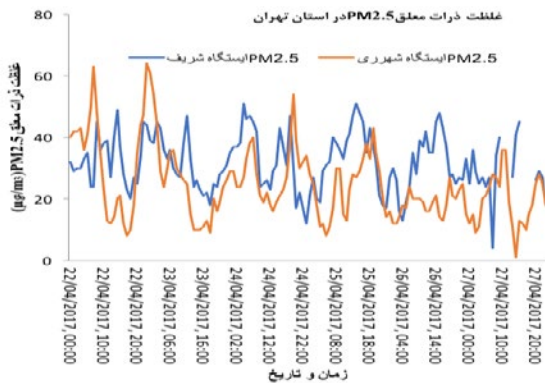
ردیابی حرکت ابرها و توده گرد و خاک و در نتیجه شناسایی مسیر حرکت توفان توسط تصاویر ماهواره ای

شهریانه طبرستانی و همکاران

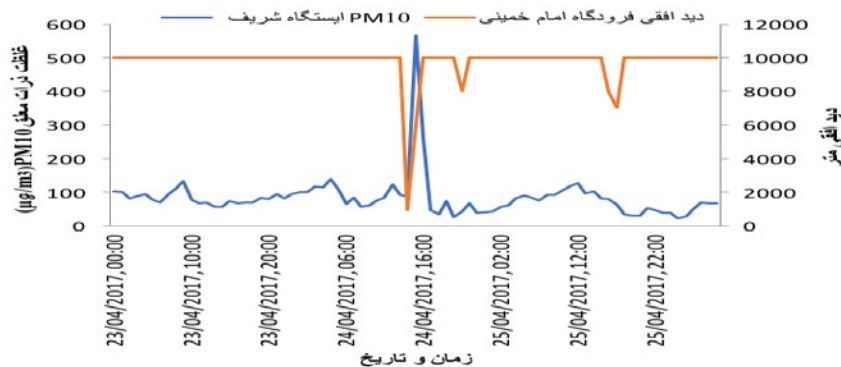
الف



ب



ج



شکل ۵: الف) غلظت ذرات معلق PM_{10} و ب) غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در دو ایستگاه دانشگاه شریف و شهربی، پ) غلظت ذرات معلق PM_{10} ایستگاه شریف و دید افقی در فرودگاه امام خمینی

از روز ۲۳ آوریل تا بیشینه مقدار آن در روز ۲۴ آوریل در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار (ب) شکل ۷ قابل مشاهده است، ارتباط مستقیم و خوبی بین مقادیر میانگین روزانه ضخامت نوری هواویز و مقادیر ذرات معلق PM_{10} ، در منطقه مورد مطالعه و بازه زمانی یکسان وجود دارد.

جمع بندی

در این مطالعه موردی، ریزش های سرد و قوی، فعالیت جبهه سرد در زمان بیشینه دما در استان تهران، در سطح زمین و لایه های مجاور سطح زمین تقویت شده و سبب تشدید سرعت باد در منطقه و در نتیجه باعث ترابرد گرد و خاک به سمت استان تهران شده است. این رخداد به طور معمول با سرعت بالای باد، افت

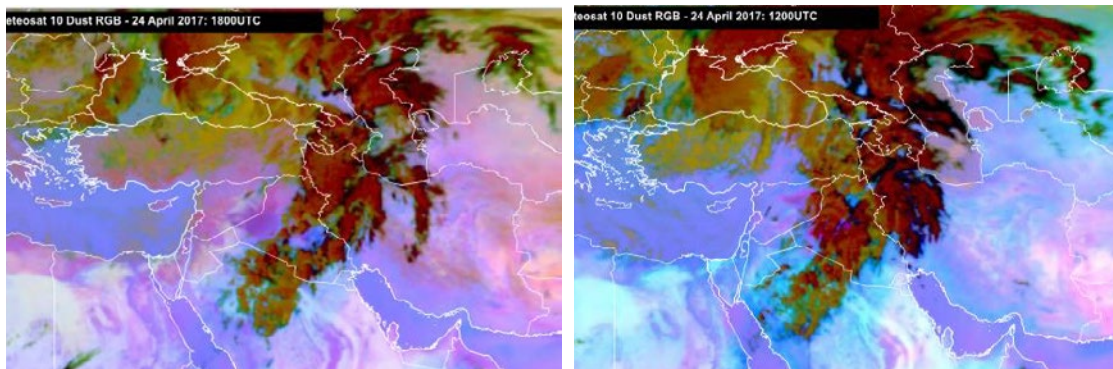
امکان پذیر می باشد. در تصاویر ماهواره ای RGB ماهواره METEOSAT 10 در روز ۲۳ آوریل ۲۰۱۷ ساعت UTC ۰۰:۰۰ ابر های سیروس در نواحی شمال و شمال غرب ایران مشاهده می شود. همچنین تجمع گرد و خاک بر روی کشورهای سوریه و عراق قابل رویت است.

با گذشت زمان در روز ۲۴ آوریل شاهد پیشروی جبهه بر روی نواحی شمال غرب و غرب کشور ایران بوده و در ساعت UTC ۱۲:۰۰ ابر های سیروس همراه با جبهه سرد بر روی نواحی شمال غرب و مرکز ایران مستقر گشته است و پیشروی توفان گرد و خاک بر روی نواحی غربی، مرکزی ایران قابل مشاهده است (شکل ۶).

روند افزایش مقادیر میانگین روزانه ضخامت نوری هواویز سنجنده - MODIS Aqua MYD08-D3 v6.1،

الف

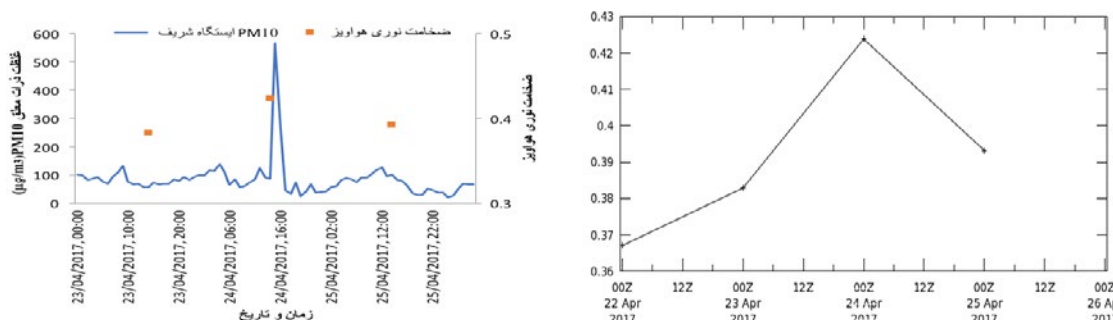
ب



شکل ۶: تصاویر RGB گرد و خاک ۲۴ آوریل ۲۰۱۷، METEOSAT ۱۰، الف) ساعت UTC ۱۲:۰۰، ب) ساعت UTC ۱۸:۰۰

الف

ب



شکل ۷: الف) سری زمانی میانگین روزانه ضخامت نوری هواویز ها در بازه زمانی ۲۲ تا ۲۵ آوریل، ب) غلظت ذرات معلق PM₁₀ مربوط به ایستگاه شریف و مقادیر ضخامت نوری هواویز ها در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۳ تا ۲۵ آوریل

و منجر به شیو فشاری قابل توجهی در شمال (جنوب البرز) و شمال غرب کشور می شود. در ساعت UTC ۱۲:۰۰ افزایش قابل توجه فشار در نیمه شمالی کشور مشاهده می شود. در نقشه ۸۵۰ هکتو پاسکال یک روز قبل از وقوع توفان شاهد ناپایداری در شمال غرب بوده و خطوط هم ارتفاع و هم دما به صورت قائم یکدیگر را قطع نموده اند و در روز وقوع توفان در ساعت UTC ۰۰:۰۰ تشکیل سلونوئید و قطع خطوط هم دما توسط خطوط هم ارتفاع در نواحی شرق سوریه و عراق و غرب ایران مشاهده می شود. وضعیت دمایی و ارتفاعی تراز ۸۵۰ hPa و کژفشاری، نفوذ جبهه سرد، از ساعت UTC ۰۰:۰۰، روز ۲۴ آوریل به استان های نوار غربی کشور و رسیدن این جبهه به مناطق مرکزی نفوذ آن به استان

دما، افزایش دمای نقطه شبنم، افزایش فشار و در نتیجه کاهش دید اتفاق می افتد. در تحلیل همدیدی، می توان در نقشه های سطح زمین حرکت شرق سوی مرکز پرفشار ۱۰۲۰ به سمت روسیه و مرکز کم فشار ۱۰۰۴ که نواحی غربی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد و دارای سرعت قابل توجه ای است را به خوبی مشاهده کرد. در روز وقوع توفان گرد و خاک ساعت UTC ۰۰:۰۰ سامانه کم فشار با مرکز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، نواحی شمالی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد، این در حالی است که مرکز پرفشار ۱۰۱۲ در نواحی جنوب و جنوب غرب حاکم بوده و از طرفی استقرار مرکز ۱۰۲۰ در نواحی شرق سوریه و محور ناوه که به صورت مداری است، به همراه یک سلول کم فشار نیمه شمالی کشور را تحت تاثیر قرار می دهد

از بررسی تصاویر ماهواره ای RGB ماهواره-ME TEOSAT 10، در روز ۲۳ آوریل ۲۰۱۷ ساعت UTC ۰۰:۰۰ ابر های سیروس در نواحی شمال و شمال غرب ایران مشاهده می شود. همچنین تجمع گرد و خاک بر روی کشورهای سوریه و عراق قابل رویت است. با گذشت زمان در روز ۲۴ آوریل شاهد پیشروی گرد و خاک بر روی نواحی غربی، مرکزی ایران و نشانه های وقوع توفان در استان تهران و حرکت ابر های سیروس به سمت شمال و شمال غرب ایران بوده و در ساعت UTC ۱۲:۰۰ ابر های سیروس به عنوان نماد جبهه سرد، کاملاً به شمال غرب و مرکز ایران پیشروی کرده است. افزایش مقادیر ضخامت نوری هواویز نیز دلیلی بر اثبات وقوع توفان گرد و خاک در منطقه مورد مطالعه می باشد. افزایش مقادیر PM10 و PM2.5، به عنوان کمیت های نمایش دهنده غلظت ذرات گرد و خاک در جو، شهر تهران برای دو ایستگاه دانشگاه شریف و شهرری در ساعت ۱۸:۰۰ محلی، وقوع توفان گرد و خاک را تایید می کند.

منابع

- 1- Cabello, M., Orza, J.A.G., Barrero, M.A., Gordo, E., Berasaluce, A., Cantón, L., Dueñas, C., Fernández, M.C., Pérez, M., 2012. Spatial and temporal variation of the impact of an extreme Saharan dust event. *J. Geophys. Res.* 117, D11204. <http://dx.doi.org/10.1029/2012JD017513>.
- 2- C. Camino, E. Cuevas, S. Basart, S. Alonso-Pérez, J.M. Baldasano, E. Terradellas, B. Marticorena, S. Rodríguez, A. Berjón. An empirical equation to estimate mineral dust concentrations from visibility observations in Northern Africa. *Aeolian Research* 16, (2015) 55–68.
- 3- Establishing a WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs, Technical Report, 2013.
- 4- Fryrear, D. W. (1981), Long-term effect of erosion and cropping on soil productivity, *Geol. Soc. Am.*, 186, 253–259.
- 5- Hagen, L. J., and N. P. Woodruff (1973), Air pollution from dust storms in the Great Plains, *Atmos. Environ.*, 7, 323–332.
- 6- Hamidi, M., Kavianpour, M.R., Shao, Y., 2013. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia Pacific J. Atmos. Sci.* 49 (3), 279–286.
- 7- Irannejad, P., Safarrad, T., Taghavi, F., Owlad, E.,

تهران مشاهده می شود. جبهه سرد شکل گرفته منجر به پوشش ابری قابل توجهی به ویژه در نواحی شمال غربی و غرب کشور می گردد که در تصاویر RGB ماهواره MSG نمایان است. حرکت جبهه سرد تهران همراه با تولید توفان گرد و خاک در تهران که سبب پیشگیری از بارش محتمل شده، منجر به تشدید سرعت باد می گردد، فعالیت جبهه سرد به علت رسیدن آن به استان تهران در زمان بیشینه دما در سطح و لایه های مجاور سطح زمین تقویت شده و سبب تشدید سرعت باد در منطقه می گردد. فعالیت انفجاری سامانه در نتیجه بازه زمانی محدود عملکرد آن در حدود دو ساعت می باشد. به علاوه افت شدید دمایی ناشی از عبور جبهه سرد در زمان بیشینه دما در سطح قابل مشاهده است. در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال روز قبل رخداد یک ناوه با محور نصف النهاری غرب دریای سیاه را به نواحی غربی دریای سرخ وصل می کند و به تدریج در ساعت UTC ۱۲:۰۰ ناوه با حرکتی شرق سو کاملاً به صورت نصف النهاری دریای سیاه را به دریای سرخ متصل می کند، این شرایط با حاکمیت پشته بر روی کشور ایران همراه است. در ساعت UTC ۰۰:۰۰ روز دوشنبه ۲۴ آوریل، شاهد عمیق شدن ناوه مذکور بوده که واگرایی در نواحی شرق خود بویژه روی کشورهای عراق و سوریه را به همراه دارد. وجود پشته بر روی کشور ایران شرایط را برای ممانعت از بارش محتمل بویژه برای استان تهران فراهم می کند. در حالی که در ساعت UTC ۱۲:۰۰ واگرایی در شرق ناوه موجود بر روی دریای سیاه، کشورهای سوریه و عراق تشدید می شود.

بررسی داده های هواشناسی از دو ایستگاه هواشناسی ایستگاه فرودگاه مهرآباد و ایستگاه فرودگاه امام خمینی افزایش ناگهانی سرعت باد در ایستگاه مهرآباد به وقوع توفان اشاره می کند، همچنین افزایش سرعت باد در ایستگاه فرودگاه امام خمینی دقیقی پس از ایستگاه مهرآباد نشانگر این است که توفان ابتدا به ایستگاه مهرآباد رسیده است. همچنین کاهش دمای هوا، افزایش دمای نقطه شبنم، و افزایش فشار در این دو ایستگاه رخ داده است.

- degradation due to Saharan dust at Nouakchott, Mauritania, from horizontal visibility data. *Water Air Soil Pollut.* 1-4, 79-87. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-006-9152>.
- 15- Romano, F., Ricciardelli, E., Cimini, D., Di Paola, F., Viggiano, M., 2013. Dust Detection and Optical Depth Retrieval Using MSG-SEVIRI Data. Institute of Methodologies for Environmental Analysis, C.da S. Loya, I-85050 Tito Scalo (PZ), Italy.
- 16- Shao, Y., Dong, C.H., 2006. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global Planet. Change* 52, 1-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.011>.
- 17- Shao, Y., Wang, L., 2003. A climatology of northeast Asian dust events. *Meteorol. Z.* 12, 187-196. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26, 704-718.
- 18- Tegen, I., 2003. Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quat. Sci. Rev.* 22 (18-19), 1821-1834.
- 19- Vukovic, A., Cvetkovic, B., Nickovic, S., Pejanovic, G., Petkovic, S., Vujadinovic, M., 2016. Study of a Haboob of IRAN.
- 20- Wilkerson, W. D., 1991: Dust and forecasting in Iraq and adjoining countries, AWS/TN91/001 Technical Report, Air Weather Service, Illinois, USA.
۲۱. مجموعه دستورالعمل کدها و روش های دیدبانی سطح زمین سازمان جهانی هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، تابستان ۹۱
2013. Identifying and monitoring dust storm in the western part of Iran using remote sensing techniques. *Journal of the Earth and Space Physics* 39(3).
- 8- Klose, M., Shao, Y., Karremann, K., Fink, A.H., 2010. Sahel dust zone and synoptic background. *Geophys. Res. Lett.* 37, L09802. <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL042816>.
- 9- Karami S, Ranjbar A, Mohebalhojeh A.R., Moradi M. A rare case of haboob in Tehran: Observational and numerical study. *Atmospheric Research* 185, (2017) 169-185.
- 10- Mahowald, N.M., Bryant, R.G., del Corral, J., Steinberger, L., 2003. Ephemeral lakes and desert dust sources. *Geophys. Res. Lett.* 30, 1074. <http://dx.doi.org/10.1029/2002GL016041>.
- 11- Mahowald, N.M., Ballantine, J.A., Feddema, J., Ramankutty, N., 2007. Global trends in visibility: implications for dust sources. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 3309-3339.
- 12- Mitchell, J.M., 1971: The effect of atmospheric aerosols on climate with special reference to temperature near the earth's surface. *J. Appl. Meteor.*, 10, 703-714.
- 13- N'Tchayi Mbourou, G.N., Bertrand, J.J., Nicholson, S.E., 1997. The diurnal and seasonal cycles of wind-borne dust over Africa north of the equator. *J. Appl. Meteorol.* 36 (7), 868-882.
- 14- Ozer, P., Laghdaf, M.B.O.M., Lemines, S.O.M., Gassani, J., 2006. Estimation of air quality

Synoptic and Remote Sensing Analysis of Tehran Dust Storm

Shahrbanou Tabarestani, Gholamali Kamali, Majid Vazifedoust, Saviz Sehatkashani

meteorology, basic science, Research and science university, Tehran, Iran.

meteorology, basic science, science and research branch, Islamic azad university, Tehran, Iran.

Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan.

Atmospheric Science and Meteorological Research Center(ASMERC), Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: n.tabarestani@yahoo.com

Received: 12 August 2018, accepted: 05 October 2018

ABSTRACT

On April 24, 2017, a dust storm occurred in Tehran, which lasted less than 2 hours, caused severe damages to properties. This paper describes the behavior of this storm by assessing the mesoscale and micro scale patterns, as well as meteorological parameters such as temperature, humidity, pressure, dew point, wind field, and visibility in the study area led to the occurrence of dust.

In this study, these cold and strong downdrafts along with the cold front activity during the maximum temperature in Tehran province, on the surface and near surface layers, have been strengthened and intensified the wind velocity in the region, thereby causing the convective dust storm in Tehran province. This typically occurs at high wind speed, temperature drop, rise in dew point temperature and pressure, resulting in reduction of visibility. In synoptic analysis, it is noted that in the sea level pressure maps, a high-pressure system (1020 hPa) has eastward movement toward Russia and a low-pressure system affects northern areas of Iran, while the high-pressure center dominated over the south and southwest parts of Iran. The other high-pressure center (1020mb) has been formed in the eastern part of Syria. Also, a trough axis, along with a low-pressure cell affects the northern region of Iran and leads to a significant pressure gradient in northern areas (southern Alborz) and northwest of Iran.

A significant increase in pressure is observed in the northern regions of Iran at 12:00UTC. At 850 hPa map, there is an instability in the northwest of Iran on 23April, the geopotential height contours crossed the isotherms strongly in the east of Syria, Iraq and west of Iran resulting in the solenoid formation on 24April at 00:00UTC. Consequently, baroclinic cell indicate the existence of an active cold front in the center part of Iran influencing Tehran province. A significant cloud cover formed in this region due to the cold front, especially in the northwestern and western parts of Iran. At 500 hPa map, on Monday 24April, at 00:00 UTC a deep trough leads to the large divergence formation in its eastern parts, especially in Iraq and Syria. A presence of the ridge over Iran provides conditions for preventing possible precipitation, especially in the Tehran province, while at 12:00 UTC, the divergence becomes stronger in the east of the trough over the Black Sea, Syria and Iraq. The dust storm was also analyzed and tracked by satellite imagery using dust product derived from MSG satellite images and the results revealed the movement of dust in west and central Iran and the signs of dust genesis in Tehran province as well as the movement of Cirrus clouds to north and northwest of Iran as a sign of cold front in this region. Cirrus clouds have been advanced to the northwest and center of Iran at 12:00 UTC. The PM10 and PM2.5 concentration related to I.R of Iran Department of Environment (DOE) air quality stations can be considered as a suitable measure of the concentration of natural mobilized dust particles. The increase of PM10 and PM2.5 values is in coincidence with visibility reduced as well.

Keywords: Convective Dust Storm, Meteorological Patterns, Satellite Images, Aerosol Optical Depth

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Tabarestani, SH.; kamali, GH.; Vazifedoust, M.: Sehatkashani, S., (2018). Synoptic and Remote Sensing Analysis of Tehran Dust Storm. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(3): 202-211

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

