

مسیریابی و منشایی حرکت آلاینده های جوی در شرایط وقوع آلودگی های حدی در کلان شهر تهران

مطهره زرگری^۱

عباس مفیدی^{۲*}

abbasmofidi@um.ac.ir

آذر زرین^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یکی از معضلات اساسی کلان شهرها است که به یکی از مسایل مهم تبدیل گردیده است. مسیریابی و منشایی حرکت آلاینده های جوی در شرایط وقوع آلودگی های حدی در کلان شهر تهران هدف تحقیق حاضر می باشد. روش بررسی: در این تحقیق، از داده های ایستگاهی آلودگی هوا، داده های تصویر ماهواره ای Terra و از داده های FNL، بهره گرفته شده است. روزهای بسیار آلوده برای آلاینده های PM_{10} و O_3 با بهره گیری از شاخص PSI محاسبه گردید. در کنار مسیریابی آلاینده ها توسط تصاویر ماهواره ای به صورت چشمی از مدل HYSPLIT، برای منشایی آلاینده ها در سه تراز ارتفاعی ۱۰، ۱۵۰۰ و ۵۰۰۰ متری از سطح زمین بهره گرفته شد. خروجی های حاصل از تصاویر ماهواره ای و مدل، برای درک عمیق تر در محیط GIS ترسیم شدند. یافته ها: به طور کلی، در الگوی پشته برون حاره، سنجنده MODIS، گرد و غباری که از کشور سوریه، شمال شرقی تا جنوب شرقی کشور عربستان، مرکز، شمال و جنوب عراق و بخش هایی از ترکیه می باشد را نشان می دهد. منشأ گرد و غبار در مدل HYSPLIT، در ترازهای ۱۰ و ۱۵۰۰ متری از جانب شمال شرق و نواحی غربی می باشد. در الگوی ترکیبی، گرد و غبار بسیار شدیدی توسط سنجنده مودیس بر روی کشورهای عربستان، عراق، سوریه و اردن و بخش هایی از ترکیه قابل مشاهده می باشد. جریانات غباری در مدل HYSPLIT، در تراز ۱۰ متری از شمال شرق و شمال غربی و در تراز ۱۵۰۰ متری، ناشی از شرایط محلی و در تراز ۵۰۰۰ متری این تغییرات محسوس تر است.

۱- کارشناسی ارشد، اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

بحث و نتیجه گیری: به طور کلی، بررسی مسیر یابی و منشأیابی حرکت آلاینده های جوی PM_{10} و O_3 در کلان شهر تهران در قالب دو الگوی هم دیدی اصلی شامل الگوی پشته برون حاره و الگوی ترکیبی ارایه و طبقه بندی گردید.

واژه های کلیدی: آلودگی حدی، کلان شهر تهران، GIS، HYSPLIT، MODIS

Detecting the Route and Source of Atmospheric Pollutants Movement in High-Level Air Pollution Periods by Utilizing MODIS and HYSPLIT Model in Tehran Metropolis

Motahharez Zargari ¹

Abbas Mofidi ^{2 *}

abbasmofidi@um.ac.ir

Azar Zarrin ³

Accepted: 2017.04.30

Received: 2017.01.16

Abstract

Background and Objective: Air pollution is one of the significant problems that have become one of the main issues. In this study, we focus on detecting the route and source of atmospheric pollutant movement in high-level air pollution periods in Tehran.

Method: Air pollution data, Terra MODIS satellite image data, and FNL data were used. The PSI calculated high-level air pollution periods for PM10 and O3. Moreover, the origin of pollutants was detected by the HYSPLIT model and satellite images. HYSPLIT model determined the origin of widespread pollution. It could detect them with the backward method in three levels, which included 10, 1500, and 5000 meters. Some maps were produced for satellite images and HYSPLIT models drawn in GIS.

Findings: In the extratropical pattern, the dust from Syria, northeast to south-east Saudi Arabia, central, northern and southern Iraq and parts of Turkey have affected Tehran. According to HYSPLIT model outputs, at a lower level of the atmosphere and the middle level of the atmosphere, not only the local situation but also the regional situation had a considerable role. At the upper level of the atmosphere, environmental pollution could become into Tehran by streams. In the compound pattern, Saudi Arabia, Iraq, Syria, Jordan, and some parts of Turkey had an important function. In the HYSPLIT model, the North-East and North-West of Iran have attempted to influence Tehran in the lower level of the atmosphere. In the middle level of the atmosphere, the local situation is more remarkable. At the upper level of the atmosphere, the origin of dust was western to eastern parts of Iraq and the northeast part of Iraq. Further, the dust on the north-eastern of Syria, Jordan, and parts of Turkey is more notable.

Conclusion: These maps were categorized into two main synoptic patterns, including extratropical and intricate patterns.

Keyword: GIS, High Level Air Pollution Periods, HYSPLIT, MODIS, Tehran

1- M.Sc., Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2-Associate Professor, Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran *
(Corresponding Author)

3-Associate Professor, Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

مقدمه

مساله آلودگی هوا که یکی از ابعاد آلودگی های زیست محیطی را تشکیل می دهد از حادثترین مسایل ناشی از تمدن انسانی در جهان امروز به شمار می آید که از جهات مختلف چرخه و سیستم حیات را بر روی سیاره زمین مورد تهدید قرار داده است. در کشورهای توسعه یافته، وقوع آلودگی هوا منجر به مشکلاتی در سلامت و بهداشت می شود که مشکلات بهداشتی در ارتباط با آلودگی هوای شهری، یکی از مهم ترین نگرانی های عمده زیست محیطی جهان می باشد (۱، ۲). بر اساس گزارش های سازمان بهداشت جهانی در کشورهای در حال توسعه کیفیت هوا در شهرهای بزرگ این کشورها به طور قابل ملاحظه ای پایین می باشد و تقریباً دو میلیارد نفر از مردم در شهرهای سراسر دنیا، هر روز در معرض آلودگی هوا هستند (۳). که منجر به کاهش سلامت و طول عمر در انسان می گردد (۴). بر اساس گزارشات، سالانه هفت میلیون نفر در دنیا به علت آلودگی هوا جان خود را از دست می دهند (۵) که در چین، منجر به افزایش مرگ و میر از ۱/۲ میلیون نفر به ۲ میلیون نفر در سال می شود (۶، ۷). همچنین، مطالعات اندکی در ارتباط با آلودگی هوا و تاثیر آن بر سلامت در هند، در دسترس هستند (۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲) که رابطه ی علی بین آلودگی هوا و خطرات بهداشتی در هند را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند. آلودگی هوا به تنهایی روزانه منجر به مرگ ۳۰ نفر در شهر تهران (۱۳) به عنوان بزرگ ترین قطب صنعتی و تجاری کشور و یکی از کلان شهرهای بزرگ دنیا می شود. از آن جایی که بحران آلودگی هوا به یکی از ملموس ترین معضلات زیست محیطی تبدیل شده است، که در ذیل به بررسی مطالعات صورت گرفته با سنجنده MODIS و سپس مدل HYSPLIT پرداخته می شود. ژائو^۱ و همکاران (۱۴) الگوریتمی جهت بارزسازی گرد و غبار و دود برای استفاده از تصاویر ماهواره ای چند طیفی ابداع کردند و آزمون و بارزسازی بر روی تصاویر MODIS انجام شد. این الگوریتم قادر است تمام تصاویر را بر روی تصاویر EOS/MODIS

کند. وانگ^۲ و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل HYSPLIT. طوفان های شن و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را بررسی کردند و چهار منطقه افریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گرد و غبار بیان کردند. در تحقیقی، کریمی و همکاران (۱۶) در شناسایی منابع گرد و غبار سطح زمین در خاورمیانه با استفاده از داده های MODIS نشان دادند که الگوریتم حرارتی در مقایسه با مدل های اپتیکی در شناسایی گرد و غبار توانایی بالاتری برای تعیین پیکسل های گرد و غباری دارد. در تحقیقی دیگر، وانگ و همکاران (۱۷) همبستگی بین AOT از تصاویر MODIS را برای شهر پکن ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که همبستگی بین این دو نسبت به محصول سطح دو اتمسفری بیش تر بود. تخمین سهم هر یک از منابع صحرائی تولید گرد و غبار در اطراف ایران برغلظت PM₁₀ اندازه گیری شده در ایستگاه های سنجش آلودگی شهر تهران توسط گیوه چی (۱۸) نشان داد که در دوره مورد مطالعه عمده گرد و غبار تهران از صحاری عراق و سوریه وارد شده است، به طوری که صحاری شمال عراق و شرق سوریه به ترتیب ۵۵٪ و ۳۰٪ گرد و غبار وارده به تهران را به خود اختصاص می دهند (۱۹). از نتایج جالب توجه در شناسایی خاستگاه های تولید طوفان های گرد و غبار در خاورمیانه با بهره گیری از سنجش از دور توسط کریمی و همکاران (۲۰) آن است که بیش ترین سهم تولید طوفان گرد و غبار برای کشورهای عراق، سوریه، عربستان سعودی، ایران، اردن و ترکیه می باشد که کشورهای عراق و سوریه بیش ترین سهم را دارا می باشند. همچنین، مناطقی در غرب عراق و شرق سوریه به عنوان مناطق اصلی تولید گرد و غبار در خاورمیانه می باشند. در تحقیقی دیگر، محمدی و زرگری (۲۱) با بهره گیری از مدل HYSPLIT حرکت رو به عقب ذرات غبار را تا ۴۸ ساعت قبل برای پنج روز اول ماه مه سال ۲۰۰۰ در سه تراز ارتفاعی ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰ بررسی نمودند. نتایج تحقیق نشان دهنده آن

این مطالعه ضروری به نظر می رسد. بر این اساس، مطالعه ای که سعی در مسیریابی و منشایابی حرکت آلاینده های جوی در شرایط وقوع آلودگی های حدی با بهره گیری از سنجنده ماهواره ای MODIS و مدل HYSPLIT را داشته باشد، ضرورت پیدا می کند.

روش بررسی

داده ها

در تحقیق حاضر، به منظور مسیریابی و منشایابی حرکت آلاینده های جوی شامل آلاینده های PM_{10} و O_3 در شرایط وقوع آلودگی های حدی در کلان شهر تهران از داده های آلودگی هوا سازمان کنترل کیفیت هوا، داده های تصویر ماهواره ای Terra از سنجنده MODIS و از داده های FNL مدل HYSPLIT بهره گرفته شد. در ابتدا، از داده های آلودگی هوا سازمان کنترل کیفیت هوا برای شهر تهران با توجه به این نکته که ایستگاه ها در مناطق گوناگون قرار گرفته اند و از این جهت که نماینده ی مناسبی برای آلودگی هوا باشند، برای دوره آماری ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۲ انتخاب گردیدند. در ادامه، از داده های تصویر ماهواره ای Terra از سنجنده MODIS برای بررسی مسیر آلاینده های جوی PM_{10} و O_3 با قدرت تفکیک 1×1 کیلومتر از سایت ناسا استفاده گردید. مودیس (اسپکترو رادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده ای است که توسط NASA در سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ به وسیله دو ماهواره EOS در فضا قرار گرفت (۲۶). سنجنده مودیس در ۳۶ باند مختلف داده هایی را که مربوط به جو، زمین و دریا است، را برداشت می کند و دارای دامنه طیفی از ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است. برای استفاده از داده های سنجنده مودیس، ابتدا باید ضریب همبستگی این داده ها را با داده های ایستگاه های زمینی و با استفاده از مدل های رگرسیونی به دست آورد (۲۷). استخراج اطلاعات کمی درباره هواویزها از داده های مودیس، نیازمند پردازش های عظیمی می باشد که ناسا این عمل را برای کاربران انجام و نتایج

است که بیش ترین میزان منشا گرد و غبار استان تهران از جانب غرب و جنوب ایران و از سمت عربستان و عراق می باشد. رنجبر و درویش زاده (۲۲) مسیر حرکت ذرات و چشمه های تولید گرد و غبار را با استفاده از شاخص کیفیت هوا و مدل HYSPLIT در شهر تهران بررسی نموده اند. بر اساس نتایج تحقیق، علاوه بر منابع تولید آلودگی در شهرها، کویرهای اطراف تهران هم به عنوان چشمه های تولید ذرات موثر می باشند. تحلیل هم دید شرایط وقوع روزهای بسیار آلوده در کلان شهر تهران توسط زرگری و همکاران (۲۳) بیان گر آن است که عمیق شدن ناوه موج غربی سبب انتقال گرد و غبار از عراق به سوی ایران و افزایش غلظت PM_{10} در شهر تهران گردیده است که در مدل HYSPLIT و تصاویر ماهواره ای MODIS قابل مشاهده می باشد. همچنین، یافته های تحقیق زرگری و همکاران (۲۴) در بررسی جریانات جوی موثر در شکل گیری روزهای بسیار آلوده در شهر تهران نشان می دهد که در مدل HYSPLIT و نقشه های نیمرخ تاوایی در ترازهای زیرین جو ذرات گرد و غبار منشا محلی و در ترازهای میانی منشا منطقه ای دارند. در مطالعه ی بررسی نقش گردش جو در شکل گیری روزهای بسیار آلوده در کلان شهر تهران توسط زرگری (۲۵) چهار الگوی همدید اصلی شناسایی شد که ماهواره MODIS، گرد و غباری را جانب کشورهای عربستان و عراق نشان می دهد. همچنین منشا و ردیابی آلاینده ها در خروجی مدل HYSPLIT، در ترازهای زیرین جو محلی و در ترازهای میانی گاهاً محلی و گاهی منطقه ای می باشند که کشورهای عراق، شمال عربستان و سوریه بیش ترین سهم را دارا می باشند. شهر تهران به عنوان پرجمعیت ترین شهر ایران چندین سال است که در میان شهرهای بزرگ دنیا در رتبه های نخست آلوده ترین شهرها قرار می گیرد. در عین حال، هر ساله وقوع روزهای بسیار آلوده خسارات گسترده و جبران ناپذیری را بر پیکره این کلان شهر وارد آورده است. علی رغم تمامی مطالعات انجام شده هنوز ساز و کار حاکم بر شکل گیری روزهای بسیار آلوده در شهر تهران، با توجه به رو به رشد بودن این شهر و افزایش روزهای بسیار آلوده در این شهر، لزوم انجام

جدول ۱- روزهای بسیار آلوده برای آلاینده های جوی

High level air pollution periods for PM₁₀

Table 1- and O₃

روزهای بسیار آلوده	نوع آلاینده
۹ جون ۲۰۰۸	PM ₁₀ و O ₃
۲۳ جون ۲۰۰۸	
۴ جولای ۲۰۰۸	
۲ آوریل ۲۰۰۹	
۴ سپتامبر ۲۰۰۹	
۲۸ جولای ۲۰۱۰	
۲۳ فوریه ۲۰۱۰	

شاخص استاندارد آلودگی (PSI^۴) به عنوان استاندارد برای گزارش روزانه کیفیت هوا در شرایط آلودگی حدی، استفاده می شود (۲۹، ۳۰، ۳۱). در ادامه، روزهای بسیار آلوده توسط شاخص PSI از طریق جدول ۲ محاسبه گردید. همچنین، طبقات غلظت آلاینده ها جهت محاسبه شاخص استاندارد آلودگی هوا و توصیف وضعیت کیفی هوا بر اساس اعداد مختلف PSI در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- طبقات استاندارد آلودگی هوا (۳۲)

Table 2- Standard classes of air pollution

(32)

وضعیت هوا	PSI
پاک (خوب)	۰-۵۰
سالم (متوسط)	۵۰-۱۰۰
ناسالم (آلوده)	۱۰۰-۲۰۰
بسیار ناسالم (بسیار آلوده)	۲۰۰-۳۰۰
خطرناک (سمی)	< ۳۰۰

را بصورت رایگان در اینترنت قرار می دهد. در این سایت، داده های پردازش شده حاصل از ماهواره ترا درباره ویژگی های جوی و هواویزی، به صورت روزانه و برای تمام کره زمین موجود است که برای هر منطقه با توجه به مختصات جغرافیایی آن قابل دانلود می باشند. در نهایت، از داده های مدل HYSPLIT، برای بررسی حرکت رو به عقب آلاینده های جوی PM₁₀ و O₃ بهره گرفته شد. برای اجرای مدل از مجموع داده های FNL استفاده شد. داده های (Final) FNL در واقع داده های NCEP هستند که توسط لابراتوار منابع هوا وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرار گرفته است. این داده ها با قدرت تفکیک افقی ۱×۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰۰-۱۰۰ هکتوپاسکال) و با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می باشند. داده های تحلیل شده عملیاتی مقیاس جهانی نهایی NCEP یا به طور مختصر (Final) FNL از سامانه یکپارچه سازی داده های جهانی (GDAS)^۱ برای تهیه داده های اولیه ورودی به سیستم استفاده می نماید. سامانه GDAS نیز وظیفه جمع آوری داده های مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه ارتباط از راه دور (GTS)^۲ و سایر منابع به صورت بی وقفه و پیوسته بر عهده دارد. در نهایت داده های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش بینی محیطی برای تولید داده های سامانه پیش بینی جهانی (GFS)^۳ استفاده می کند، تولید می گردد (۲۸).

روش کار

برحسب فرآیند تحقیق که هدف مطالعه ی مسیریابی و منشأیابی آلاینده های جوی در کلانشهر تهران می باشد، در ابتدا، روزهای بسیار آلوده برای آلاینده های جوی PM₁₀ و O₃ با بهره گیری از شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI) در شرایط آلودگی حدی تهیه و تولید گردید (جدول ۱).

1-Global Data Assimilation System

2-Global Telecommunications System

3-Global Forecast System

جدول ۳- طبقات غلظت آلاینده ها جهت محاسبه شاخص استاندارد آلودگی هوا (۳۲)

Table 3- The concentration of pollutants in order to calculate Pollution Standard Index (32)

PSI	O ₃ ۱ ساعته ppm	O ₃ ۸ ساعته ppm	PM ₁₀ ۲۴ ساعته Ppm
۰ - ۵۰	-	۰/۰۰ - ۰/۰۶۹	۰ - ۵۴
۵۱ - ۱۰۰	-	۰/۰۷ - ۰/۰۸۴	۵۵ - ۱۵۴
۱۰۱ - ۱۹۹	۰/۱۲۵ - ۰/۲۰۴	۰/۰۸۵ - ۰/۱۲۴	۱۵۵ - ۳۵۴
۲۰۰ - ۲۹۹	۰/۲۰۵ - ۰/۴۰۴	۰/۱۲۵ - ۰/۳۷۴	۳۵۵ - ۴۲۴
۳۰۰ <	۰/۵۰۵ - ۰/۶۰۴	-	۶۰۴ - ۴۲۵

ترکیبی) در شرایط وقوع آلودگی حدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

بررسی تصاویر ماهواره ای

در بررسی مسیریابی آلاینده های جوی PM₁₀ و O₃، در الگوی پشته برون حاره در شکل ۲ گرد و غباری بر روی مناطقی در جنوب غرب و جنوب ایران قرار دارند، مشاهده می گردد. این مناطق شامل کشور سوریه، شمال شرقی تا جنوب شرقی کشور عربستان، مرکز، شمال و جنوب عراق و بخش هایی از ترکیه می باشد که با حرکت به سوی نواحی جنوب غربی ایران تا شهر تهران، جو این مناطق را متأثر ساخته است و برای این نواحی افزایش گرد و غبار را به همراه دارد. جو ایران تحت تسلط سیستم های پرفشار می باشد که بر روی شهر تهران پایداری جو، وارونگی دما و استقرار روزهای بسیار آلوده مشاهده می گردد (a). همچنین، تمرکز آلاینده ها و وارونگی دما و افزایش آلودگی را در پی دارد. هنگامی که وارونگی دما رخ می دهد، آلاینده ها وارد هوای سرد سنگین مجاور زمین می گردند و به دلیل این که جابه جایی هوا وجود ندارد میزان این آلاینده ها در هوای ساکن و راکد مجاور زمین در شهر تهران به حداکثر ممکن می رسد و بدین ترتیب وارونگی موجب افزایش شدید آلاینده ها در اتمسفر و پایداری هوا می شود. در الگوی ترکیبی، بر روی کشورهای عربستان، عراق، سوریه و اردن و بخش هایی از ترکیه گرد و غبار بسیار شدید می باشد که بر روی بخش

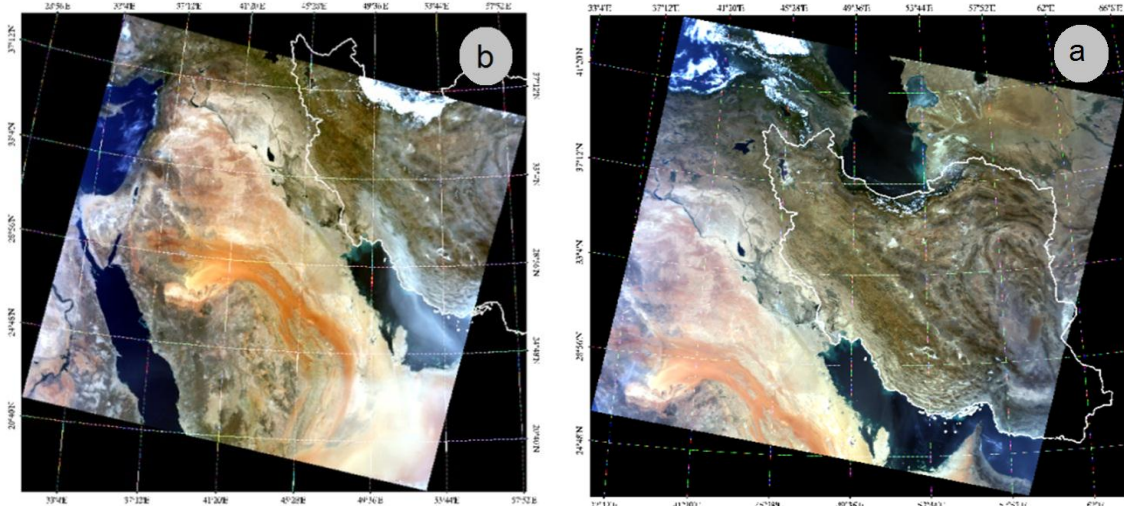
برای شناسایی مسیر آلاینده های جوی، از تصاویر ترا از سنجنده مودیس به صورت چشمی استفاده گردید. در کنار مسیریابی آلاینده ها توسط سنجنده مودیس از مدل HYSPLIT، برای منشایی آلاینده ها بهره گرفته شد که مدل امکان ردیابی پسگرد آلاینده های جوی را با کمک داده های هواشناسی جهانی (GDAS) برای محدوده مورد مطالعه تا ۳۶ ساعت قبل از زمان وقوع گرد و غبار فراهم می نماید. بدین منظور، آلاینده ها در سه تراز ارتفاعی ۱۰، ۱۵۰۰ و ۵۰۰۰ متری از سطح زمین در حواصل زمانی ۶ ساعت ردیابی شدند که امکان نمایش مسیر ردیابی شده را در نمای افقی در مدل فراهم می نماید. در نهایت، خروجی های حاصل از تصاویر ماهواره ای و مدل HYSPLIT در روزهای بسیار آلوده به صورت نقشه هایی تولید شد که پس از تعیین نوع الگو برای هر نقشه، در قالب دو الگوی هم دیدی اصلی ارایه گردیدند و سپس الگوها برای درک عمیق تر در محیط GIS ترسیم شدند و مورد تفسیر قرار گرفتند.

یافته ها

به منظور بررسی و منشأ آلاینده های جوی، پس از تعیین روزهای بسیار آلوده با شاخص PSI، نقشه های گردآوری شده از سنجنده مودیس و مدل HYSPLIT برای آلاینده های PM₁₀ و O₃ و برای الگوهای اصلی (الگو پشته برون حاره و الگو

طرفی نواحی شمال شرقی تا جنوب شرقی نیز تحت تسلط گرد و غبار و سیستم های کم فشار است که جو ناپایدار را برای این مناطق رقم زده است (b).

های غربی کشور عراق نیز دیده می شود اما با این وجود شمال غرب تا جنوب غرب ایران تحت تسلط سیستم های پرفشار می باشد که جو باروتروپیک را برای این مناطق به همراه دارد. از



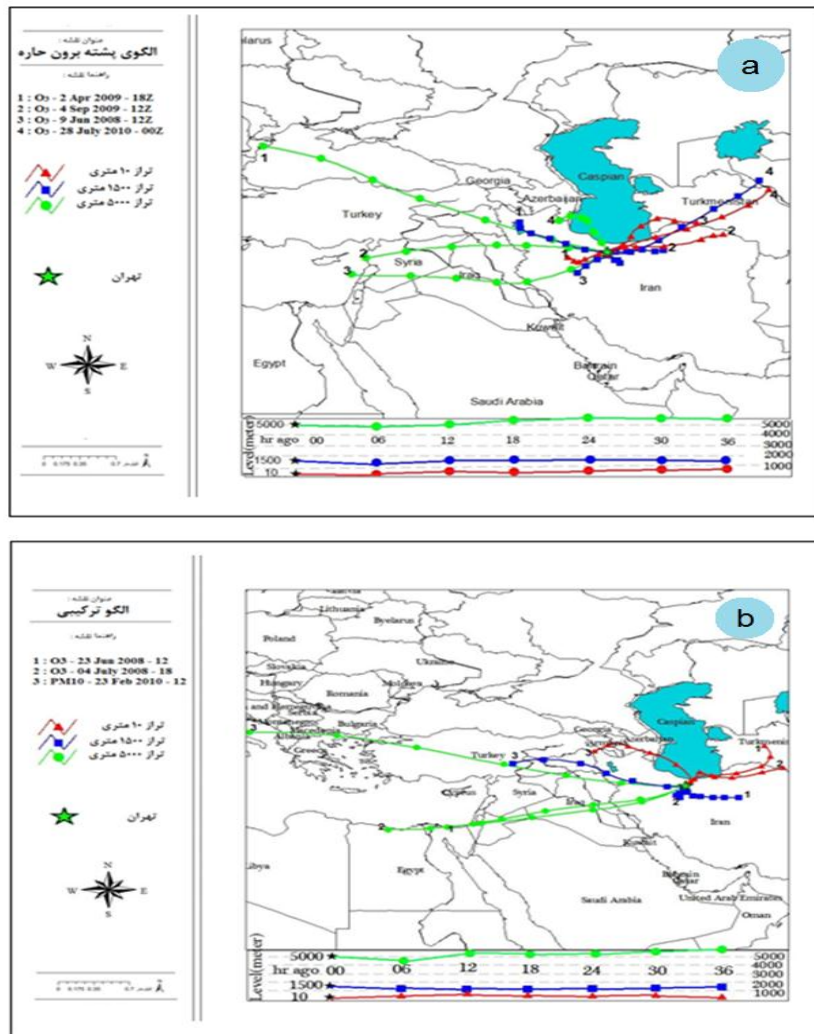
شکل ۲- تصویر ماهواره ای Terra از سنجنده MODIS با قدرت تفکیک ۱ x ۱ کیلومتر برای بررسی آلودگی هوا در روزهای بسیار آلوده در الگوی پشته برون حاره (a) و الگوی ترکیبی (b) در شهر تهران

Fig 2- The MODIS Terra satellite-image with a resolution of 1 x 1 km in the extratropical ridge pattern (a) and in the compound pattern (b) in Tehran

های جنوبی سوریه تا مرکز و شرق عراق می باشد. در کنار این، گاهی گرد و غباری که توسط کشور ترکیه به شهر تهران آورده می شود هم قابل توجه می باشد (a) اما در نقشه ی الگو ترکیبی در تراز ۱۰ متری جریانات غباری که از شمال شرق و شمال غربی وارد ایران می شوند، اقلیم تهران را تحت تأثیر قرار می دهند اما در تراز ۱۵۰۰ متری، شهر تهران بیش تر تحت تسلط شرایط محلی آلودگی هوا می باشد که از شمال غرب ایران گاهی به آن سوی مرزها می رسد. در تراز ۵۰۰۰ متری این تغییرات محسوس تر است و منشا ذرات گرد و غبار از بخش های غربی تا شرقی عراق و همچنین، بخشی از شمال شرقی کشور عراق می باشد که به سوی شهر تهران در حرکت می باشد. در این میان از گرد و غباری که بر روی شمال شرقی سوریه و کمی عقب تر در کشور اردن و بخش هایی از ترکیه می باشد حایز اهمیت است (b).

بررسی آلاینده های جوی در مدل HYSPLIT

به منظور شناسایی منشأ اصلی گردوغبار از مدل HYSPLIT، استفاده گردیده است. ردیابی پس گرد توسط مدل در سطوح ارتفاعی مختلف از سطح زمین با بهره گیری از داده های هواشناسی جهانی (GDAS) در حدفصل زمانی ۶ ساعته مورد بررسی قرار گرفت. ردیابی پس گرد ذرات گرد و غبار در ترازهای ارتفاعی مورد مطالعه، در شکل ۳ نشان دهنده آن می باشد که در الگوی پشته برون حاره، منشا ذرات گرد و غبار در ترازهای ۱۰ و ۱۵۰۰ متری از جانب شمال شرق است به سوی شهر تهران در حرکت می باشد و در ترازهای میانی گاهی نیز از نواحی غربی که به نظر می رسد ناشی از شرایط محلی منطقه باشد که تهران را تحت تأثیر قرار می دهد اما در سطح ۵۰۰۰ متری، حرکت رو به عقب آلاینده ها بیش تر از جانب بخش های شمالی سوریه تا شمال شرقی عراق و همچنین، بخش



شکل ۳- نقشه مدل HYSPLIT برای مسیریابی حرکت پساگرد هوا برای آلاینده های جوی PM_{10} و O_3 برای الگوی پشته برون حاره (a) و الگوی ترکیبی (b) در تراز ۱۰ متری (رنگ قرمز)، تراز ۱۵۰۰ متری (رنگ آبی)، تراز ۵۰۰۰ متری (رنگ سبز)

Fig 3- Routing backward of PM_{10} and O_3 for extratropical ridge pattern (a) and compound pattern (b) in 10 meter (red), in 1500 meter (blue), in 5000 meter (green) in HYSPLIT model

نتیجه گیری

• در الگوی پشته برون حاره، با بهره گیری از سنجنده MODIS، گرد و غباری بر روی مناطقی که در جنوب غربی و جنوب ایران قرار دارند مشاهده می گردد. این مناطق شامل کشور سوریه، شمال شرقی تا جنوب شرقی کشور عربستان، مرکز، شمال و جنوب عراق و بخش هایی از ترکیه می باشد که با حرکت به سوی نواحی جنوب غربی ایران تا شهر تهران، جو این مناطق را متأثر ساخته است و بر روی شهر

به طور کلی، بررسی مسیریابی و منشأیابی حرکت آلاینده های جوی PM_{10} و O_3 با بهره گیری از سنجنده MODIS و مدل HYSPLIT در کلان شهر تهران در قالب دو الگوی اصلی شامل الگوی پشته برون حاره و الگوی ترکیبی ارایه و طبقه بندی گردیدند که نتایج مسیریابی و منشأیابی هر الگو به شرح زیر می باشد :

- United Nations Environment Programme / World Health Organisation, Oxford, Blackwell.
2. WRI. 1998. China's health and environment, air pollution and health effects. in World Resources 1998-99: Environmental change and human health, World Resource Institute, A joint publication by the World Resources Institute, the United Nations Environment Programme, the United Nations Development Programme, and The World Bank.
 3. UNEP/WHO. 1988. Guidelines for monitoring the quality of coastal recreational and shellfish-growing waters (Draft). Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 1 Rev. 1. UNEP, (37 pages).
 4. WHO. 2000. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series.
 5. WHO. 2014. Public Health, Environmental and Social Determinates of Health (PHE). WHO DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL DETERMINANTS OF HEALTH (PHE), Issue 63 / March 2014.
 6. WHO. 2012. Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012", WHO Technical Report. Available : http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AP_jointeffect_BoD_results_March_2014.pdf.
 7. Yang.G.. Wang.Y.. Zeng.Y.. Gao.GF.. Liang.X... Zhou.M.. Wan.X.. Yu.Sh.. Jiang.Y.. Naghavi.M.. Vos.T.. Wang.H.. Lopez.A. D. Murray.. Ch. JL.. 2013. Rapid health transition in

تهران پایداری جو، وارونگی دما و استقرار روزهای بسیار آلوده مشاهده می گردد. ردیابی پس گرد ذرات گردوغبار در ترازهای ارتفاعی مورد مطالعه در مدل HYSPLIT، نشان می دهد که منشأ ذرات گرد و غبار در ترازهای ۱۰ و ۱۵۰۰ متری از جانب شمال شرق است به سوی شهر تهران در حرکت می باشد و در ترازهای میانی گاهی هم از نواحی غربی که به نظر می رسد ناشی از شرایط محلی منطقه باشد اما در ترازهای بالایی، اکثر آلودگی ها در سطوح آزاد جو اتفاق می افتد که توسط جریانات به روی شهر تهران آورده می شود. در سطح ۵۰۰۰ متری، بیش تر از جانب بخش های شمالی سوریه تا شمال شرقی عراق و همچنین، بخش های جنوبی سوریه تا مرکز و شرق عراق می باشد. در کنار این، گاهی گرد و غباری که توسط کشور ترکیه به شهر تهران آورده می شود هم قابل توجه می باشد.

• در الگوی ترکیبی، گرد و غبار بسیار شدیدی توسط سنجنده MODIS، بر روی کشور عربستان، عراق، سوریه و اردن و همچنین بخش هایی از ترکیه قابل مشاهده می باشد که بر روی بخش های غربی کشور عراق هم دیده می شود اما با این وجود شمال غرب تا جنوب غرب ایران تحت تسلط سیستم های پرفشار می باشد. در مدل HYSPLIT، در تراز ۱۰ متری جریانات غباری که از شمال شرق و شمال غربی وارد ایران می شوند اقلیم تهران را تحت تأثیر قرار می دهند اما در تراز ۱۵۰۰ متری، شهر تهران بیش تر تحت تسلط شرایط محلی آلودگی هوا می باشد که از شمال غرب ایران گاهی به آن سوی مرزها می رسد. در در تراز ۵۰۰۰ متری این تغییرات محسوس تر است و منشأ ذرات گرد و غبار از بخش های غربی تا شرقی عراق و همچنین، بخشی از شمال شرقی کشور عراق می باشد که به سوی شهر تهران در حرکت می باشد. در این میان از گرد و غباری که بر روی شمال شرقی سوریه و کمی عقب تر در کشور اردن و بخش هایی از ترکیه می باشد حایز اهمیت است.

منابع

1. UNEP /WHO.1992. Urban Air Pollution In Megacities of the World.

- Issue 35, November 2011, Pages 6368-6381.
16. Karimi.N.. Moridnejad.A.. Golian.S.. ValiSamani.J.M.. Karimi. D.. Javadi,.S.. 2012 .Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data. Canadian Journal of Remote Sensing, volume 38, 2012 - Issue 5: 586-599.
 17. Wan..C.. Liu. Q.. Ying. N.. Wang. X.. Ma. J.. 2013. Air quality evaluation on an urban scale based on MODIS satellite images. Atmospheric Research, volumes 132-133, October-November 2013, Pages 22-34.
 18. Gewichi.R.. 2011. Determination desorption sources of different dust storms and their contribution to PM10 concentrations in Tehran. Master's thesis, Sharif University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Environmental Engineering. (In Persian).
 19. Gewichi.R.. Arhami. M.. Tajrishi. M.. 2011. Determination of desorption storms of dust storms and estimating the contribution of each of them to PM10 concentrations in Tehran. Fifth Specialized Conference on Environmental Engineering, Iran University of Science and Technology , Faculty of Civil Engineering, November 21, 2011 to November 22, 2011. (In Persian).
 20. Karimi.Kh.. Taheri. Shahriini. H.. Habibi. Nokhandan. M.. Hafezi. Moghadas. N.. 2012. Identifying the origin of dust storm production in the Middle East using remote sensing. Climatology Research - 2012 - Volume: 2 - Issue: 7th and 8th - Page: 57-72. (In Persian).
 - China, 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet, volume 381, Issue 9882, 8-14 June 2013, Pages 1987-2015.
 8. Chitkara.S.. 1997. Air pollution in India – An exploratory study. National Compendium Statistics, New Delhi, India.
 9. Agarwal.A.. Naryan.S.. Sen.S.. 1999. Citizens' Fifth Report part I and part II. State of India's environment, Centre for Science and Environment, New Delhi.
 10. Sikdar.P.K... Mondal.S.. 1999. Air pollution management programme of Calcutta. Journal of Environmental Studies and Policy, 2 (2): 71-86.
 11. Romieu.I.. M.H.Avila.. 2003. Air pollution and health in developing countries – A review of epidemiological evidence"; In Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries edited by Frank Murray and Gordon McGranahan, Earthscan Publications, London.
 12. Saksena.S.. K.R.Smith.. 2003. Indoor air pollution. In Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries edited by Frank Murray and Gordon McGranahan, Earthscan, London.
 13. Safari.H.. 20. Introduction to Iranian Cities. Vol. I, Zarghalam Publications, Kayhan Publishing. (In Persian).
 14. Zhao.T.X.P.. Ackerman.S.. Guo.W. . 2010 .Dust and smoke detection for multi-channel imagers. Remote Sensing, 2(10), 2347-2368.
 15. Wang.Y.. Stein.A.F.. Draxler.R.R.. Jesús.D.. Zhan.X.. 2011 .Global sand and dust storms in 2008. observation and HYSPLIT model verification Atmospheric Environment, volume 45,

- Tech. Note/TN-275+STR, 72pp., Natl. Cent. For Atmos. Res., Boulder, Colo.
27. Gupta.P.Ch.S.A.. Box.M.A.. Box.G.P.. 2007.Multiyear satellite remote sensing of particulate matter air quality over Sydney, Australia. International Journal of Remote Sensing, volume 28, 2007 - Issue 20: 4483-4498.
28. Stunder.B.J.B.. 1997. NCEP Model Output – FNL ARCHIVE DATA, TD.
29. Ott.W.R.. Hunt.Jr.W.F.. 1976. A quantitative evaluation of the pollutant standards index. Journal of the Air Pollution Control Association, 26(11), 1050-1054.
30. CHENG.W.L.. CHEN.Y.S.. ZHANG.J.. LYONS.T.. PAI.J.L.. CHANG.S. H. 2007.Comparison of the revised air quality index with the PSI and AQI indices. Science of the Total Environment, volume 382, Issues 2-3, 1 September 2007, Pages 191-198.
31. Nikravan.M..Husseini.E..Hashemi. S. H.. 2010. Pollutant Standard Index (PSI). Comparing the published and real values in Tehran", In 5th National Congress on Civil Engineering (p. 8).
32. United States Environmental Protection Agency (US-EPA).. 1998 . Guideline for Reporting of Daily Air QualityPollutant Standards Index (PSI). EPA Draft, Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina 27711, 28 pp.
21. Mohammadi.F.. Zargari. M.. 2014. Analysis of the Spatial Distribution of Dust in Tehran. The first National Conference of Geography, Planning and Sustainable Development, Tehran, Iran February 27, 2014. (In Persian).
22. Ranjbar.Saadat Abadi. A.. Darvishzadeh. S.. 2013. Study of atmospheric patterns and determining the sources of dust in the very unhealthy conditions of Tehran's air quality. Environmental Research, Vol. 4, No. 7, Spring & Summer 2013, p. 147-160. (In Persian).
23. Zargari.M.. Mofidi.A.. Zarrin.A.. 2015. Synoptic Analysis of High Level Air Pollution Episodes in Tehran Metropolis. The First International Conference of Geographic Sciences (ICGS2015), The Institute of Science and Technology Al-Khwarizmi Shiraz, Shiraz, Iran, Thursday, August 6, 2015. (In Persian).
24. Zargari. M.. Mofidi. A.. Zarrin. A.. 2015. Effective Atmospheric Processes in formation High Level Air Pollution Episodes in Tehran. The first Congress of the development and promotion of agriculture, natural resources and the environment, Tehran, Iran, Saturday, October 3, 2015. (In Persian).
25. Zargari. M.. 2015. Numerical Simulation of High Level Air Pollution Episodes in Tehran Metropolitan. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
26. NASA.2009. [http:// MODIS. gsfc. NASA. Gov /sci_ team/meetings /200610/atmos](http://MODIS.gsfc.nasa.gov/sci_team/meetings/200610/atmos) Agenda. Pdf. NCAR