



Research Article

The patterns and internal sources of dust in Tehran

Ramin Rahimi¹, Manijeh Ghahroudi Tali^{1*} , Seyed Hasan Sadough¹

1-Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 09 Jun 2021 Accepted: 11 Dec 2021

Extended Abstract

Introduction

Dust is one of the serious environmental problems of Iranian cities, including Tehran. In recent years, in the Iranian capital city of Tehran, which is close to nearby dry and wastelands, continuous droughts, rainfall, and temperature increases have intensified dust. The aim of this research is to identify the main patterns of dust entering Tehran and to determine the internal sources feeding the imported dust in Tehran.

Materials and Methods

Materials used in this research include data from the synoptic stations of the meteorological organization of Iran during 2005-2017, data of Tehran Air Quality Control Company about days of dust occurrences, as well as TM Landsat 5 and OLI Landsat 8 imagery data from 1985 to 2017 (USGS), MODIS level1 Data for all days of the incident, results of the XRF test related to Marble dust collectors installed in Tehran's regions as destination and finally sampling from areas of the source. To determine the route of dust particles HYSPLIT model of the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration website (NOAA) was used to estimate changes in vegetation in the surrounding areas using the Google earth Engineering System (GEE). First, all dust indices that reduce horizontal visibility to less than 1500 meters and are registered in neighboring stations and have non-local origins are counted from 2005 to 2017. Afterwards the BTA method of HYSPLIT model is used to track the air mass entrance to the Tehran Metropolitan during the days before the occurrence. Then the level 1 MODIS images were exposed using the BTI index during all days of the occurrence. It was demonstrated that the passage of flows moves through some forms and basins. The entrance on the way to Tehran is aggravating and increasing effects. These limits include: (sand mines close to Tehran, deserts around Qazvin, Hoze-Sultan and Meghan playa and Ghanbarabad-Alikhan wetlands. in order to examine the effects of these areas, dust sediment was sampled through XRF testing from both locations in Tehran, with the installation of modified MDCO dust marble collector and at dust exit areas, using a sampling of the surface layer.

The results confirm the similarities between elements of Tehran samples and exterior origins.

Citation: Rahimi, R., Ghahroudi Tali, M. and Sadough, S.H., 2021. The patterns and internal sources of dust in Tehran, *Res. Earth. Sci.*: 12(4), (86-107) DOI: 10.48308/esrj.2022.101546

* Corresponding author E-mail address: m-ghahroudi@sbu.ac.ir





In order to examine the changes in the surface form of selected areas using NDVI Index and the supervised classification method using TM and OLI Landsat 5 and 8, the changes in these environments during the years 1985 to 2015 examine and then the role of these changes were evaluated on the intensification and strengthening of dust cores.

Results and Discussion

The findings of the main patterns of the arrival of Tehran showed 5 main patterns that are mainly entering Iran from abroad. Patterns that come to Tehran during the warm season are mainly originated from northeast Syria and Iraq. These streams through the low altitude areas of Zagros and increase their sediment on the way at dry areas and plains around Qazvin and sand mines. Late winter and early spring streams from Saudi Arabia's deserts enter the central plateau of Iran and are fed by landforms such as Meghan pits and salty lands around Hoze-Sultan, Ghanbarabad Lake, and Alikhan Dam wetland. The streams that are mostly western-eastern and are compatible with western wind, move to Iraq and Iran after formation in East Africa and in Saudi Arabia. Also, once they cross some mean surfaces such as lakes and playa and internal dry holes, they are fed again. The results of the research show the role of landforms in the end-basins, including dried surface and sedimentary lakes, in the pattern of dust towards Tehran.

Conclusion

The main patterns of entering Tehran in different seasons, are mainly from abroad. The results show the role of end basins landforms, including dried lakes and sedimentary surfaces, in the pattern of dust to Tehran. The results of the sampling and laboratory analysis show the existence of similarities between chemical compounds of the elements sampled from the mine's surface and those sampled from the Tehran dust collectors.

Keywords: Sediment traps, Tehran, dust, dust' sources, HYSPLIT.



الگوها و منابع داخلی ریزگردهای تهران

رامین رحیمی^۱، منیژه قهرودی تالی^{۱*}، سید حسن صدوق^۱

۱- گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۱۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی الگوهای اصلی ورود ریزگرد به تهران و تعیین منشاءهای داخلی تغذیه ریزگردهای وارد شده تهران است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های هواشناسی بازه ۹۷-۱۳۸۴، داده‌های مربوط کیفیت هوای تهران در همان بازه زمانی، تصاویر مربوط به سنجنده TM لندست ۵ و OLI لندست ۸ طی سال‌های ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۷، داده‌های سطح یک MODIS در تمامی ایام وقوع ریزگرد، نتایج آزمایش XRF مربوط به تله‌های رسوبگیر نصب شده در مناطق تهران به عنوان مقصد و برداشت نمونه از مناطق مبدا بوده است. روش انجام پژوهش مدل جریانی HYSPLIT به روش پسگرد، برای ردیابی ذرات در ارتفاع ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین و در حواصل زمانی ۳ روز قبل از وقوع طوفان گرد و غباری بوده است. همچنین از تصاویر سطح اول MODIS با شاخص BTM به آشکارسازی این پدیده در تمامی روزهای وقوع ریزگرد پرداخته شده است. نمونه‌گیری از منطقه مقصد که شهر تهران است و مناطق مبدا در مسیر جریان ریزگردها شامل معادن شن و ماسه تهران شهریار (تراس‌های آبرفتی رودخانه کرج)، تالاب‌های قنبر آباد و بند علیخان، پلایاهای حوض سلطان و میقان و مناطقی از دشت قزوین بوده است. یافته‌های حاصله از الگوهای اصلی ورود ریزگرد به تهران، ۵ الگوی اصلی را نشان داد که عمدتاً از خارج از کشور و در فصول مختلف وارد ایران می‌شوند و هنگام عبور از برخی سطوح پست از قبیل دریاچه‌ها و پلایاها و برخی چاله‌های داخلی مجدداً تغذیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تله‌های رسوبگیر، تهران، ریزگرد، منابع ریزگرد، HYSPLIT.

مقدمه

ریزگردها از مشکلات جدی زیست محیطی در مناطق مختلف جهان محسوب می‌شود. این در حالی است که بیشترین گرد و غبار موجود در جو با خاستگاه ذرات ریز دانه رخ می‌دهد و این ذرات ریز در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از فراوانی بالاتری برخوردارند. این معضل یکی از مهم‌ترین بحران‌های محیطی کلان شهرهای ایران است که طی چهار دوره اخیر زندگی این شهرها را پرهزینه و حتی خطرناک ساخته است. در سال‌های اخیر در کلان شهر تهران، به عنوان اولین کانون جمعیتی کشور و همچنین قرار گرفتن در مجاورت زمین‌های خشک و بایر به علت تداوم خشکسالی‌ها، کاهش بارندگی و افزایش دما این پدیده تشدید شده است. بنابراین آگاهی از وضعیت موجود این مخاطره برای کنترل آن در تهران جزء ضرورت‌های مطالعاتی است. شناسایی چشمه آلودگی اولین گام در فرایند تعیین استراتژی موثر برای کنترل آلودگی می‌باشد. ذرات ریز گرد و غبار می‌تواند آلاینده‌ها خصوصاً ترکیبات شیمیایی یا موفولوژی و کانی‌شناسی خاص را حمل کنند. برخی از این آلاینده‌های فلزی محلول آفت‌کش‌ها و غیره زمانی که از روی مناطق شهری و پرجمعیت عبور می‌کنند بر روی سلامتی انسانها اثر منفی می‌گذارد (Rashki et al, 2011). برای تعیین منشاء فرآیندهای ترکیبی و مسیر حمل گرد و غبار شناسایی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار اولویت دارد. همچنین شناسایی ترکیب شیمیایی گرد و غبار برای درک اثرات احتمالی بر روی سلامتی خاک بارندگی بیوژئوشیمی اقیانوس‌ها و پدیده هوازدگی مهم است (Goudie and Middleton, 2006). به علت فقدان پوشش گیاهی در مناطق مستعد گرد و غبار، هوای سطح زمین این مناطق گرم شده، به سمت بالا حرکت می‌کند و زمانی که به بادهای با سرعت

بالای تروپوسفری برخورد نماید، یک جریان چرخشی سرد متمایل به سمت پایین ایجاد نموده که این بادهای با شدت بالا در برخورد با سطح زمین باعث ایجاد طوفان‌های گرد و غباری میشوند (xuan et al, 2004). زمانی که غلظت گرد و غبار به اندازه‌ای باشد که دید افقی به کمتر از یک کیلومتر کاهش یابد، در اصطلاح طوفان ریزگرد ایجاد شده است (Goudie and Middleton, 2005). آلاینده‌ها وقتی وارد اتمسفر می‌شوند، قادر به انتقال به اکوسیستم‌های وسیع در فواصل دورتر از منبع اصلی می‌باشند. اثرهای پدیده‌های گرد و غبار می‌تواند تا فاصله ۴۰۰۰ کیلومتری و گاهی اوقات تا ۶۰۰۰ کیلومتری به صورت افقی و ارتفاع ۶۰۰۰ متری سطح زمین از خاستگاه اصلی تداوم داشته و باعث بروز اثرات نامطلوب زیستی و خسارت‌های فراوان در زمینه کشاورزی، صنعتی، حمل و نقل، سیستم‌های مخابراتی، تغییر اقلیم و از همه مهم‌تر سلامت انسان‌ها شوند (رئیس پور، ۱۳۸۷). به گزارش مرکز ملی هواشناسی و تغییر اقلیم سازمان حفاظت محیط زیست کشور در طول سال‌های اخیر به‌طور متوسط در هر سال ایران شاهد ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز هوای غبارآلود بوده است. حداکثر میزان غلظت ذرات گرد و غبار و مواد آلاینده در هوا در سال‌های اخیر به‌طور نگران کننده‌ای افزایش یافته است. به‌طوری که در بعضی موارد در خوزستان غلظت ذرات معلق جوی تا ۹۳۶۰ میکروگرم بر مترمکعب یعنی حدود ۳۶ برابر حد استاندارد می‌رسد (ندافی و همکاران، ۱۳۸۹). هرچا رسوبات ریزدانه منفصل بر سر راه بادهای نسبتاً قوی قرار گیرد مخاطره ریزگرد ممکن است کیلومترها دورتر را تحت‌تاثیر قرار دهد. طبق گزارشات شرکت کنترل کیفیت هوای تهران براساس آمار ۲۱ ایستگاه در سطح شهر تهران ۱۱۱ روز به لحاظ ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرون و ۱۱

بین قطر ذرات کمتر از ۱۰ میکرون و ضخامت نوری ذرات با استفاده از تصاویر مودیس این نتیجه حاصل شد که بین این دو مقدار همبستگی معنادار در دو ماهواره آکوا و ترا در خلیج فارس وجود دارد و داده‌های عمق اپتیکی حاصل از تصاویر ماهواره مودیس می‌توانند اطلاعات دقیقی از میزان ریزگردها فراهم کنند (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین تحلیل سینوپتیکی گرد و غبار خراسان رضوی نشان داد عمده طوفان‌ها در تمام طول سال از ساعت ۱۲ ظهر به بعد شکل می‌گیرد که عوامل محلی بیشتر در تشدید طوفان‌ها و عوامل ترمودینامیکی بیشتر در شکل‌گیری و گسترش طوفان‌ها موثر هستند (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷). بررسی طوفان گرد و غبار ۱۴ تیر ۸۸ در بندر عباس با مدل عددی WRF بیان داشت که بادهای که از نواحی خشک شمال سوریه و عراق وارد ایران شدند مسئول رخداد این پدیده هستند (محمد پور پنجاه و همکاران، ۱۳۹۵). در خصوص ارتباط لندفرم‌ها و ریزگردها در پژوهش‌ها مواردی به دست آمده است از جمله، نقش لندفرم‌هایی چون مخروط افکنه‌های خشک شده و تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از داده‌های آب و هواشناسی، تصاویر لندست ۸ و مودیس به عنوان کانون گرد و غبارهای غرب آسیا از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ بررسی شده است (Cao et al, 2015). طوفان‌های ماسه‌ای در نواحی بیابانی لندفرم‌هایی از قبیل تپه‌های ماسه‌ای که با خاک مخلوط نشده باشد را به وجود می‌آید که معمولاً این سطوح مملو از ماسه‌ای سست و آزاد هستند (Goudie, 1983). نقش لندفرم‌ها در تشدید ریزگردها با استفاده از پیش‌بینی عددی وضع هوا و بهره‌گیری از مدل Chem-WRF در منطقه سیستم به خصوص بستر خشک تالاب هامون نشان داد که این منطقه چشمه اصلی طوفان گرد و غبار بوده است (کارگر و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی

روز از منظر آلاینده کوچکتر از ۱۰ میکرون در وضعیت نامطلوب قرار داشته است (گزارش کنترل کیفیت هوای تهران، ۱۳۹۵). از طرف دیگر به ازای افزایش ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب باعث افزایش مرگ و میر ۱ تا ۳ درصدی می‌شود. (ندافی و همکاران، ۱۳۸۹). ردیابی طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و شاخص NDDI، برای تشخیص و ردیابی منشا گرد و غبار و شناسایی الگوی ریزگردها استفاده شده است (Sarraf, 2010; قهرودی، ۱۳۹۱). مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستم با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که قسمت اعظم منشاء طوفان‌های سیستم بر روی دریاچه هامون سابوری قرار دارد و تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین مرکز طوفان‌ها و ردیابی آنها مناسب است. آنها گزارش کردند (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴). از تصاویر مودیس (Level IB) و الگوریتم BTM و همچنین داده‌های لندست ۸ برای شناسایی نقاط داغ گرد و غبار در طول سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ استفاده شد که در آن لندفرم‌هایی مثل بستر دریاچه‌ها و رودخانه‌های خشک شده، اراضی و معادن، زمین‌های کشاورزی، اراضی شنی به عنوان نقاط داغ شناسایی شدند (zhang et al, 2015). استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری روند وقوع پدیده گرد و غبار را در غرب کشور نشان داد که غرب ایران از لحاظ وقوع ریزگرد ناهمگن است و تعداد روزهای گرد و غبار از شمال به جنوب افزایش پیدا می‌کند همچنین تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی و ارتباط آن‌ها با پدید آمدن طوفان‌های گرد و غبار، بیشترین فراوانی ریزگردها با کمترین پوشش گیاهی، حداقل بارندگی و بیشترین دما و سرعت باد همراه است (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی رابطه

(Boloorani et al, 2014). بررسی رخداد پدیده گرد و غبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ در نواحی غرب و جنوب غرب کشور، با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مادیس و شاخص آکرم، بیانگر این بود که محل اتصال رودخانه‌های دجله و فرات در محدوده شمال و شمال شرق عراق و غرب سوریه منشاء ریزگردها بوده است (بیات و همکاران، ۱۳۹۵). هدف این پژوهش شناسایی الگوهای اصلی ورود ریزگرد به تهران و تعیین منابع داخلی تغذیه ریزگردهای وارد شده تهران است و در این راستا تعدادی از لندفرم‌های رسوبی و حوضه‌های انتهایی، به عنوان منابع تامین کننده داخلی ریزگردها از جمله چاله میقان، اراضی شور اطراف دریاچه حوض سلطان، دریاچه قنبر آباد، تالاب بند علیخان، مسیر نواحی خشک و بیابان‌های اطراف قزوین و معادن شن و ماسه انتخاب شده است (شکل ۱).

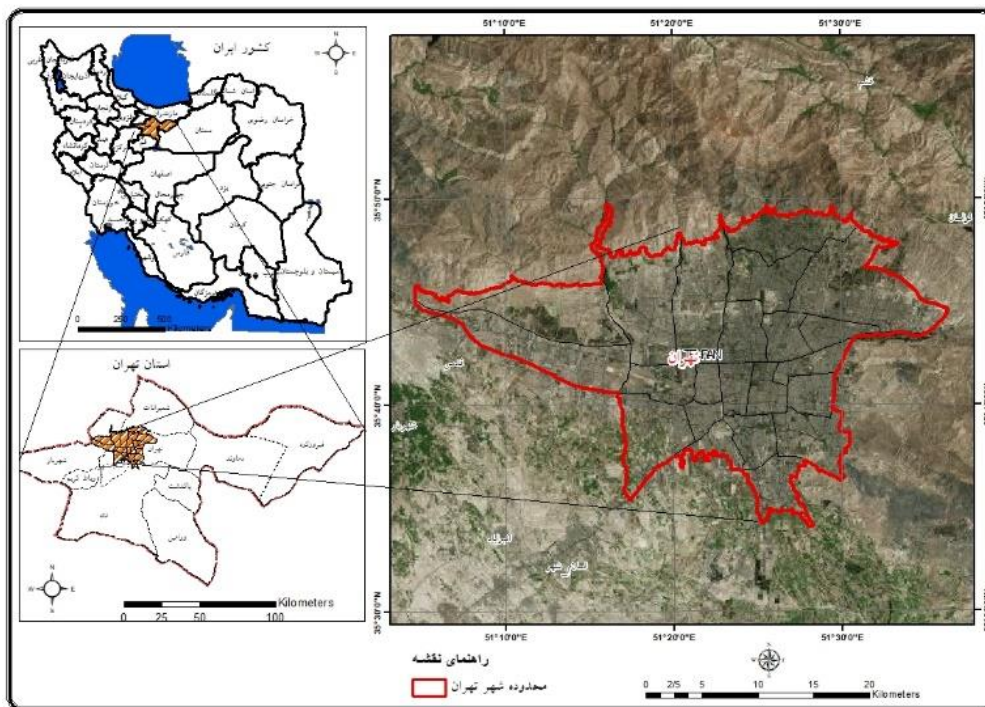
منطقه مورد مطالعه

کلانشهر شهر تهران با مساحتی حدود ۷۳۰۰۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی $51^{\circ} 4' 36''$ تا 51° و $35^{\circ} 19' 19''$ طول شرقی و $35^{\circ} 34' 5''$ تا $35^{\circ} 49' 49''$ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط شهر تهران از سطح دریا حدود ۱۳۰۰ متر می‌باشد این شهر از سمت شمال به دامنه جنوبی البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدود می‌شود. شیب ملایم از شمال به جنوب از ویژگی‌های مورفولوژی این گستره محسوب می‌گردد. مطابق آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت تهران حدوداً ۸ میلیون ۶۰۰ هزار نفر برآورد شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). وجود رشته کوه‌های البرز در شمال و دشت‌های کویر در جنوب و جنوب شرق، شرایط اقلیمی پیچیده‌ای را برای گستره شهر تهران

طوفان‌های آسیای مرکزی را از لحاظ زمانی و مکانی در ۷ دهه نشان داد که منابع اصلی تولید ریزگرد عمدتاً در مناطقی با اشکال و سطوح حساس بیابانی قرار دارد (Indoitu, 2012). در زمینه اثرات خشک شدن دریاچه‌ها در تشدید گرد و غبار، در حوضه هامون نشان داد که خشک شدن دریاچه هامون در سال‌های خاص سبب افزایش تعداد و شدت طوفان-های گرد و غباری در منطقه شده است (Rashki et al, 2013). در خصوص بررسی منشاء طوفان‌های گرد و غباری در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل لاگراژی HYSPLIT و روش ردیابی پسگرد مشخص شده است که محدودهای در حد فاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان است (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰). لیکن استفاده از تحلیل سینوپتیکی و تصاویر AVHR از ماهواره نوا نشان داد که ابتدا در یک موج یک کم فشار قوی با قدرت مکش بسیار بالا، هوای گرد و غباری بیابان-های اطراف منطقه مورد بررسی مکش می‌نماید (ناصر پور و دیگران، ۱۳۹۴). در خصوص منشاء ریزگردها طوفان‌های گرد و غبار وارد شده به ایران براساس اطلاعات سنجش از دور و تحلیل سینوپتیکی ۴ منطقه مشخص شده است که منبع شماره ۱ نواحی بین ساحل شرقی فرات و ساحل غربی دجله، منبع شماره ۲ نواحی بیابانی غرب و جنوب غرب عراق، منبع شماره ۳ محدوده بیابان-های جنوب شرق و شرق عربستان سعودی (بیابان ربع الخالی) و منبع شماره ۴ قسمت‌های جنوب شرقی عراق تعیین شده است (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین مطالعات سینوپتیک نشان داد که منشا طوفان‌های گرد و غبار منبع ۱ بخاطر گرادیان شدید فشار بین سیستم کم فشار زاگرس و سلول پرفشار دریای مدیترانه است و منشا گرد و غبار منبع شماره ۲ و ۳ در نتیجه گردش غالب اتمسفری در دوره‌های سرد سال در عرض‌های میانه می‌باشد

بسیار معمول است. از طرفی با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی و نیز خصوصیات ترمودینامیکی جو، پدیده اینورژن بر روی تهران در همه فصول بادوام است. ساخت توپوگرافیکی شهر تهران نیز نقش انکارناپذیری در تشدید آلودگی و اینورژنهای شهر تهران دارد. وجود ارتفاعاتی که به صورت نعل اسبی شهر تهران را در بر گرفته است سبب می‌شود بادهای محلی نتواند هوای آلوده را از شهر خارج کنند. بنابراین بیشتر هوای آلوده با وزش بادهای تند شمالی و جنوبی در شهر جا به جا می‌شود (سلیقه، ۱۳۹۴).

ایجاد کرده است. آب و هوای این شهر در نواحی جنوبی گرم و خشک است، اما در مجاورت کوهستان دارای اقلیمی سرد و نیمه مرطوب و در نواحی مرتفع‌تر اقلیمی سرد همراه با زمستان‌های طولانی می‌باشد. خاصیت پالایشی بادهای غربی و جنوب شرق را کاهش می‌دهد و بنابراین در بیشتر مواقع هوا ساکن و بی‌تحرك می‌شود. در نتیجه، این وضعیت منجر به پدیده خطرناک وارونگی هوا می‌گردد. در زمستان به جز روزهای اندکی از فصل، در سایر روزها هوا صاف و آفتابی است. همچنین به دلیل تشعشع شبانه و وجود برف بر روی ارتفاعات شمالی وقوع اینورژنهای تشعشعی و جابه‌جایی



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ایستگاه‌های سینوبتیک سازمان هواشناسی کشور طی سال‌های ۹۷-۱۳۸۴، داده‌های مربوط به آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران برای کنترل روزهای وقوع ریزگرد در همان بازه زمانی،

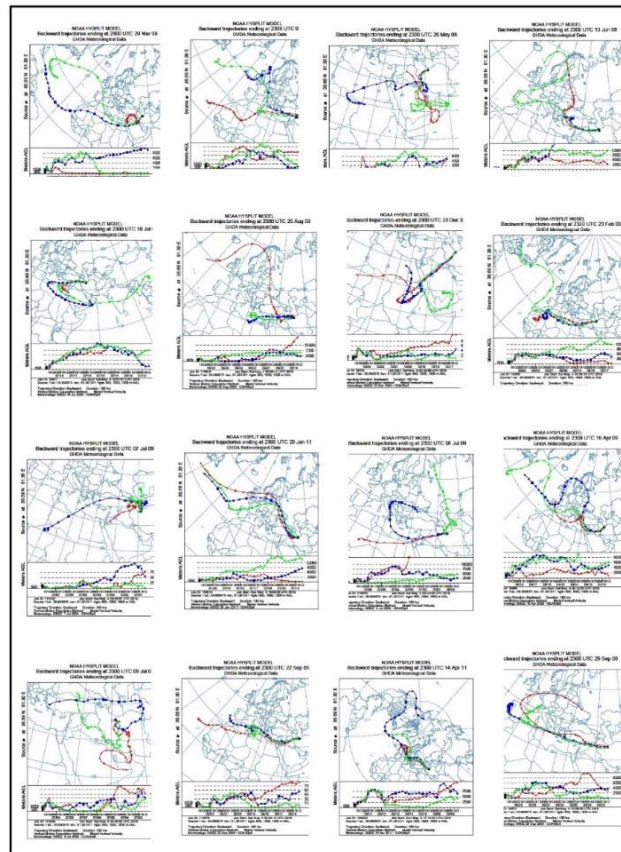
تصاویر مربوط به سنجنده TM لندست ۵ و OLI لندست ۸ طی سال‌های ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۷ از سازمان زمین‌شناسی آمریکا، داده‌های سطح یک MODIS در تمامی ایام وقوع ریزگرد، نتایج آزمایش XRF مربوط به تله‌های رسوبگیر نصب شده در مناطق تهران به عنوان مقصد و برداشت نمونه از

اصلی مسیرها و پخش آلودگی‌ها است (Draxler and Hess, 1997). در مدل رهگیری بسته‌های هوا (به عنوان بسته‌های حامل ذرات گرد و غبار) در منطقه درگیر با این پدیده، از زمان ثبت گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی با حرکت زمانی عقب گرد به وسیله مدل (HYSPLIT) به انجام می‌رسد. اگر بسته‌های هوای رسیده به منطقه مورد نظر از مناطق مولد توده‌های گرد و غبار که به وسیله تصاویر ماهواره‌ای یا نقشه‌های سرعت و جهت باد تعیین شده‌اند، عبور نمایند، مسیر آنها را به عنوان محل عبور توده‌های گرد و غبار شناسایی می‌شود. برای تمامی روزهایی که پدیده ریزگرد در شهر تهران اتفاق افتاده بود مدل فوق اجرا گردیده است و جریان‌ها هوا در سه سطح ارتفاعی رهگیری شده است. در این پژوهش ذرات در ارتفاع ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین و در حفاصل زمانی ۳ روز قبل از وقوع طوفان گرد و غباری ردیابی شده‌اند. برای آشکارسازی گرد و غبارهای بازه زمانی مورد نظر از محصولات سطح اول مودیس مطالعه استفاده گردید ماهواره‌های ترا (Terra) و آکوآ (Aqua) در تاریخ‌های ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ و ۴ می سال ۲۰۰۲ به فضا پرتاب شدند، سنجنده MODIS یکی از سنجنده‌های مستقر بر روی ماهواره ترا و آکوآ می‌باشد این سنجنده قادر است ذرات جامد معلق در هوا را از طریق اندازه‌گیری میزان بازتابش تشعشع خورشیدی شناسایی کند این سنجنده هر ۱ الی ۲ روز یک پوشش کامل تصویری از زمین در ۳۶ باند طیفی (باندهای ۱ تا ۷ که جز باندهای انعکاسی هستند و همچنین باندهای ۲۰ تا ۲۳ که جز باندهای تابشی هستند) سنجنده مودیس با طول موجی از ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرون تشکیل شده است. این تصاویر قدرت بالایی در شناسایی پدیده‌های اتمسفری، زمینی و دریایی دارند. تصاویر RGB سنجنده مودیس نیز که یکی

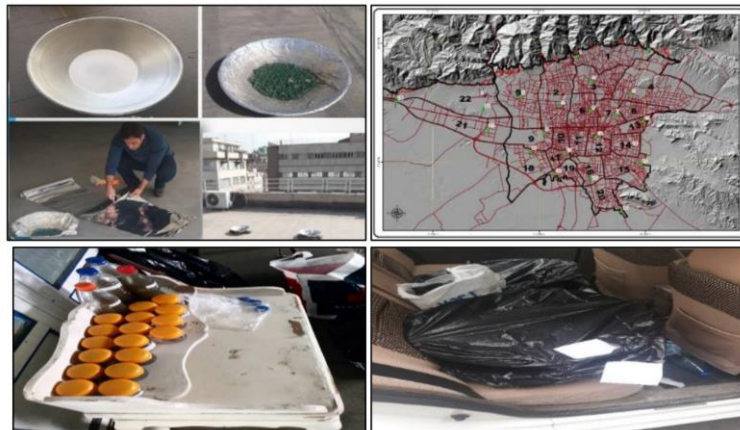
مناطق مبدا بوده است. برای تعیین مسیر حرکت ذرات گرد و غبار از داده‌های مربوط به مدل HYSPLIT سایت اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا NOAA استفاده شده است و به منظور محاسبه مربوط به تغییرات پوشش گیاهی مناطق اطراف در بازه مطالعاتی سامانه گوگل ارث انجین^۱ به کار رفته است. برای شناسایی و تمایز طوفان‌های فراگیر از معیارهای، طوفان‌ها باید حداقل در ۳ ایستگاه با فاصله مناسب از هم ثبت شده باشد، همچنین می‌بایست در ایستگاه مقصد به عنوان غیر محلی ثبت شده باشد، میزان قدرت دید به کمتر از ۱۵۰۰ متر رسیده باشد و به عنوان یک واقعه مستقل ثبت شده باشد، استفاده شده است. مدل BTA (BACK Trajectory Analysis) مربوط به HYSPLIT از جمله مدل‌های پخش و انتقال آلاینده‌های جوی است که بیشترین کاربرد را در پژوهش‌های بزرگ مقیاس دارد و توسط لابراتوار هوایی سازمان ملی جوی و اقیانوس ایالات متحده آمریکا طراحی شده و توسعه یافته است که با استفاده از آن نه تنها می‌توان منشأ اصلی ایجاد طوفان گرد و غبار را دانست، بلکه می‌توان مسیر طی شده، ارتفاع ذرات معلق و ساعت ورود سامانه گرد و غبار را به مرزهای ایران و ایستگاه‌های شاهد مورد بررسی دقیق قرار داد. برای تمامی وقایع ریزگرد در بازه مطالعاتی این مدل برای ایستگاه سینوپتیک تهران اجرا و بسته‌های هوایی رهگیری شده است (شکل ۲). برای تعیین ورود جریان‌های حاوی ریزگرد مدل جریانی HYSPLIT به روش پسگرد^۲، ۳ روز قبل از وقوع برای روزهای آماری وقوع پدیده در منطقه مورد مطالعه اجرا گردیده است. این مدل یک سامانه کامل برای محاسبه مسیرهای پیچیده پخش و نشست با استفاده از رویکرد ذره‌ای و پوف است که شامل ساختار کتابخانه‌ای با برنامه‌های اصلی برای کاربردهای

بررسی قرار گرفته است. برای نمونه‌گیری از منطقه مقصد که شهر تهران است، ۲۴ نقطه انتخاب شد. برای مقایسه تطبیقی نمونه‌ها از لحاظ ترکیبات عناصر در شهر تهران برای نمونه‌برداری تله رسوب گیر نصب شده است. این نقاط طوری انتخاب گردیدند که به‌طور متوسط هر نقطه یک منطقه را پوشش دهد و در برخی از مناطق بزرگ دو نقطه انتخاب گردیده است برای سهولت تهیه و نیز استاندارد بودن نوع تله رسوبگیر از کلاس MDCO استفاده شده است. این رسوبگیر ابتدا توسط گانور طراحی شده بود (Ganor, 1975). رسوبگیر شامل یک ظرف با یک یا دو لایه تیله شیشه‌ای، که روی سطح زمین یا روی میله‌ای به صورت عمودی قرار می‌گیرد. این تله‌ها دارای شکل دایره‌ای به قطر ۳۱/۵ سانتیمتر و ارتفاع حداقل ۱۰ سانتی-متر، تیله‌های شیشه‌ای به قطر ۱/۶ سانتیمتر (بعد استاندارد) وجود دارد. به دلیل برخی ملاحظات از قبیل صعوبت در دستیابی به ظرف پایه، مشکلات مربوط به نصب و جانمایی و عدم جمع‌آوری غبارریزشی در تله به اندازه آستانه پذیرش آزمایشگاه (۲ گرم)، در طراحی و ساخت آن تغییراتی داده شده است (شکل ۳). از لحاظ زمانی نیز به جهت وقوع اکثر ریزگردهای شهر تهران در فصول بهار و تابستان، مدت استقرار تله‌ها بر روی ساختمان‌های مربوطه در طول بهار و تابستان ۱۳۹۷ بوده است. نمونه‌برداری‌های انجام شده بعد از خشک کردن و جدا کردن مواد ارگانیک برای آزمایش XRF به منظور تعیین عناصر اصلی ارسال گردید.

دیگر از تولیدات مودیس است و قادر هستند میزان ذرات گرد و غبار را با استفاده از تن رنگ‌های مختلف نشان دهند. داده‌های هواویز روزانه مودیس، شامل اطلاعات مفید در خصوص گرد و غبار و ذرات معلق هوا است که برای مطالعه هواویزها، منابع و محل فرونشست آنها، انواع هواویزها (مانند سولفات-ها و هواویزهای حاصل از سوخت توده زنده) و برهم کنش هواویزها و تصحیحات جوی و غیره، به کار می‌روند (Savtchenko et al, 2004). به منظور بررسی آشکارسازی گرد و غبارهای طوفان‌های بررسی شده با استفاده از شاخص دمای روشنایی، (اختلاف درجه حرارت باند ۲۰ و ۳۱) به آشکارسازی گرد و غبار پرداخته شده است. تصاویر سطح MOD021KM-L1B۱ سنجنده مودیس برای کلیه وقایع ریزگرد و روز قبل از وقوع دریافت گردید^۳. تصاویر اخیر دارای سیستم تصویر Sinusoidal Modis Project بودند که اصلاح هندسی و تغییر سیستم تصویر انجام شده است. روش دمای روشنایی بر روی داده مودیس در تمامی روزهای وقوع ریزگرد، برای گرد و غبارهای ورودی به شهر تهران طی دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ بررسی و در ۵ الگو طبقه‌بندی شدند. به منظور کنترل نتایج به دلیل کوچک بودن محدوده‌های منتخب و اندازه بزرگ سلول‌های داده‌های عمق ضخامت نوری^۴ از ترکیب باندهای ۱۴۳ استفاده گردید. ابعاد سلول-های عمق ضخامت نوری معمولاً ۱۰ کیلومتر می-باشد که پوشش هر پیکسل حدوداً به ۱۰۰۰۰ هکتار می‌رسد. با استفاده از نتایج مدل‌ها در برخی مناطق که به صورت معنی‌داری هسته‌های ریزگرد وجود داشت، این محدوده‌ها صورت مستقل مورد



شکل ۲: نمایش خروجی مدل BTA برای روزهای وقوع ریزگرد



شکل ۳: تله‌های MDCO ساخته شده و نصب شده بر روی مناطق ۲۲ گانه تهران

شده است در این روش، پرتو ایکس به نمونه مجهول تابیده و در اثر برانگیختن اتم‌ها باعث پدید آمدن پرتو ایکس ثانویه می‌شود که با سنجش آن عناصر شناسایی می‌شود. در این روش تمامی نمونه‌ها با

به منظور تعیین خصوصیات شیمیایی گرد و غبار از جمله عناصر اصلی و کمیاب و همچنین تشخیص^۵ عناصر نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق مبدا از روش فولوئورسنس اشعه ایکس (XRF) استفاده

بیشتر در تیر ماه به وقع می‌پیوندد همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، شروع جریان شمال شرق سوریه می‌باشد که به تدریج با پیشروی در کشور عراق تقویت شده و با عبور از بیابان‌های داخلی موجب بیشتر شدن بار رسوبی این جریانات می‌گردد. در الگوی اخیر هسته اولیه توده گرد و غبار در شروع این الگو شکل گرفته، اما با ورود به جنوب شرق عراق تقویت شده و باعث افزایش گستره جغرافیایی و غلظت توده گرد و غبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای شده است. این الگو در محدوده جنوب شرق عراق تشدید و تقویت شده است. همان‌طور که در شکل شماره ۴ سمت راست مشهود است عبور جریان ریزگرد فوق از ارتفاعات زاگرس باعث انحراف مسیر شرقی غربی طوفان ریزگرد شده و سبب شده که از نواحی دارای ارتفاع کمتر زاگرس عبور نماید و در ادامه قبل از ورود به شهر تهران از تمامی لندفرم‌های مورد مطالعه شده عبور نماید (به‌طور مشخص بیابان‌های اطراف قزوین و معادن شن و ماسه) و با عبور از این سطوح بار رسوبی این جریان‌ها اندکی تقویت یافته و سپس از سمت غرب و جنوب غرب وارد شهر تهران شود در سمت چپ شکل ۴ هم در ۳ مقطع ارتفاعی تغییرات جریانات فوق رهگیری شده‌اند.

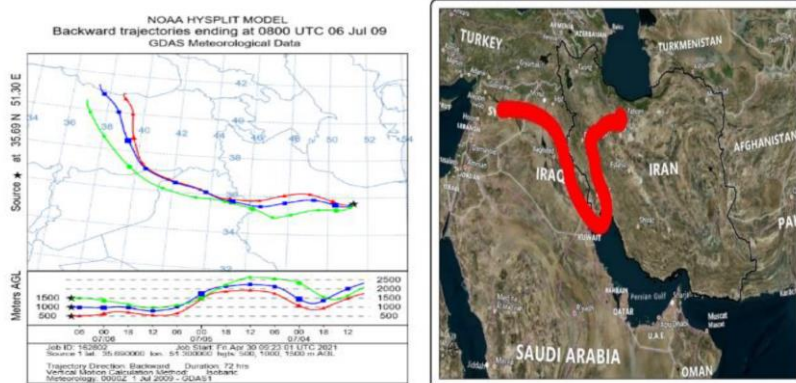
اندازه‌گیری هر طول موج نام عنصر مربوطه مشخص شده و با اندازه‌گیری شدت آن فراوانی آن عنصر در نمونه به دست آمده است. دستگاه pw2404 با detection limit: 20 PPM برای آنالیز فوق مورد استفاده قرار گرفته است. از نتایج حاصله از مدل اقلیمی و پردازش تصاویر مودیس، برخی محدوده‌ها که در تامین ریزگردهای تهران نقش داشتند، استخراج گردیده‌اند. این محدوده‌ها به‌طور کلی منطبق بر برخی حوضه‌های انتهایی (پلایا و دریاچه، تالاب) تراس‌های آبرفتی قدیمی و همچنین دشت‌های بیابانی بود.

بحث و نتایج

یافته‌های حاصله از این پژوهش در دو بخش الگوهای اصلی ورود ریزگرد به تهران و منشأ ریزگردهای تهران مورد تحلیل قرار گرفته است.

الگوهای ریزگرد به تهران

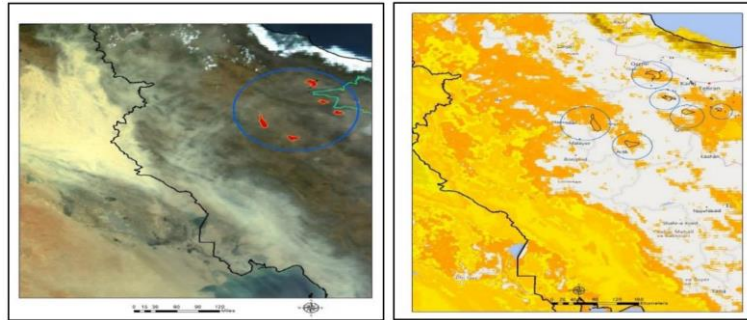
نتایج مستخرج از تصاویر مودیس و کنترل آن با مدل اقلیمی، ۵ الگوی اصلی ورود ریزگرد به تهران را مشخص نموده است. البته لازم به ذکر است که پدیده ریزگردها به صورت منظم و خطی جریان پیدا نمی‌کند بلکه در اطراف محور حرکت، بخش وسیعی را تحت الشعاع خود قرار می‌دهد. الگوی اول



شکل ۴: الگوی اول ورود ریزگرد به تهران

سوریه و سپس عراق بود بعد از عبور از زاگرس با عبور از محدوده‌های پلایا و حوضه‌های انتهایی موجب تقویت مجدد آن گردید. در شکل ۵ اثرات لندفرم‌های تغییر یافته بر روی تقویت هسته‌های گرد و غبار به خوبی مشهود است.

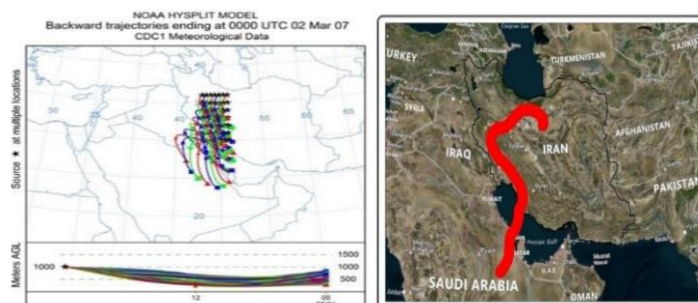
نمونه الگوی اول حوالی ظهر ۱۴ تیر ۱۳۸۸ معادل ۰۴ جولای ۲۰۰۹ اتفاق افتاد و این طوفان دید افقی را به حدود ۸۰۰ متر در شهر رسانید و از لحاظ شدت ماندگاری حدوداً ۴ روز بر روی پایتخت اثرگذار بود. منشأ این طوفان بیابان‌های شمال شرق



شکل ۵: طوفان ۰۴ جولای ۲۰۰۹

به صورت شمالی جنوبی حوالی نصف‌النهار ۴۷ تا ۵۰ درجه شرقی از خلیج فارس عبور نموده و پس از عبور از زاگرس از سمت جنوب غرب با گذر از لندفرم‌های اشاره شده وارد تهران می‌شوند که تغییرات ایجاد شده در لندفرم‌هایی مانند چاله میقان و اراضی شور اطراف دریاچه حوض سلطان و دریاچه قنبر آباد و تالاب بند علیخان اثر تقویتی بر روی ریزگردهای تهران خواهد داشت. سمت چپ شکل اخیر رهگیری بسته‌های هوای ورودی به شهر تهران از مبدا را نشان می‌دهد.

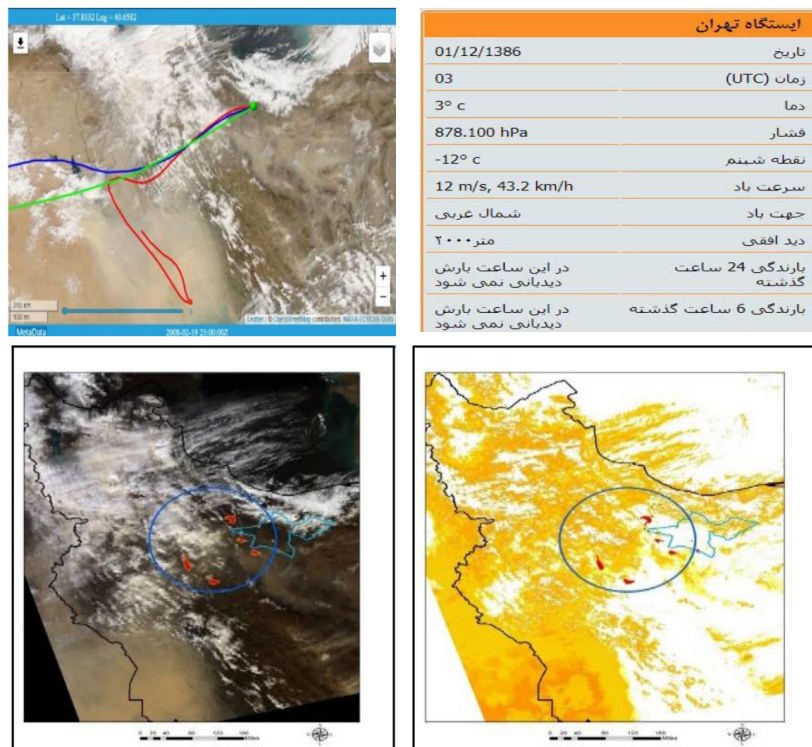
موقعیت زمانی الگوی دوم منطبق بر اواخر زمستان و اوایل بهار است این الگو با عبور از خلیج فارس، ریزگردهای برخاسته از صحاری عربستان خاصه ربع الخالی را به داخل فلات مرکزی ایران حمل می‌کند این الگو چون سد کوهستانی مهمی در مسیر خود ندارد گاهی گستره خود را تا تهران می‌رساند و نمونه بارز آن ریزگرد ناشی این الگو در تاریخ جمعه ۱۱ اسفند ۱۳۸۵ در تهران است. البته شایان ذکر است ممکن است رفتارهای ورود ریزگرد در این الگو از لحاظ هندسی انحرافاتی داشته باشد. همان‌طور که در شکل ۶ سمت راست ملاحظه می‌شود، این الگو



شکل ۶: الگوی دوم ورود ریزگرد به تهران

روز به زیر ۲۰۰۰ متر رسیده است. در شکل ۷ نیز الگوی ورود طوفان گرد و غبار به کشور و کلانشهر تهران که در ۲۰ اسفند ۱۳۸۶ به وقوع پیوست نمایش داده شده است این طوفان بعد از عبور از تهران به سمت شمال شرق منحرف شده است که هرچه قدر عرض جغرافیایی آن افزایش می‌یابد از شدت بار رسوبی و شدت آلاینده‌گی آن کاسته می‌شود.

طوفان ۲۰ فوریه ۲۰۰۸ شبیه به الگوی اخیر بوده است. حد فاصل نجف- ناصریه بصره تقویت شده و جریان گرد و غباری را به موزات زاگرس وارد کشور کرده است. این جریان پس از عبور از زاگرس به‌طور نسبی بر روی پلایاها و چاله‌های داخلی هسته‌های ریزگرد را تقویت نموده است و به نوعی بی‌نظمی در این الگو ایجاد کرده است. مطابق داده‌های ایستگاه سینوبتیک تهران میدان دید افقی در این



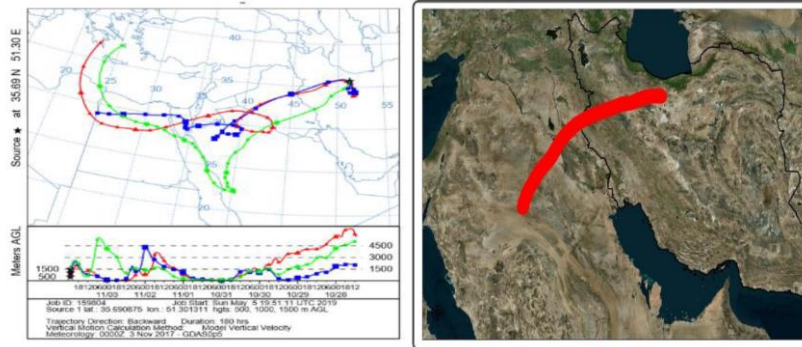
شکل ۷: آشکارسازی پدیده ریزگرد در طوفان ۲۰ فوریه ۲۰۰۸ و تقویت هسته‌ها به همراه گزارش وضعیت هوا

خواهد داد و در نهایت پس از عبور از زاگرس وارد شهر تهران می‌شود. نمونه تیپیک الگوی چهارم، طوفان ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ با ایجاد هسته تراکم بر روی جنوب شرق عراق و تا حدودی دشت خوزستان ایران است این گرد غبارها همان‌طور که در قسمت چپ شکل ۸ به رنگ قرمز مشهود است در سطح پایین جریان داشته و پنهان شدن طوفان- های ریزگرد در زیر ابرهای متوسط تا بلند مانند آلتواستراتوس بیان کننده حرکت این طوفان‌ها در

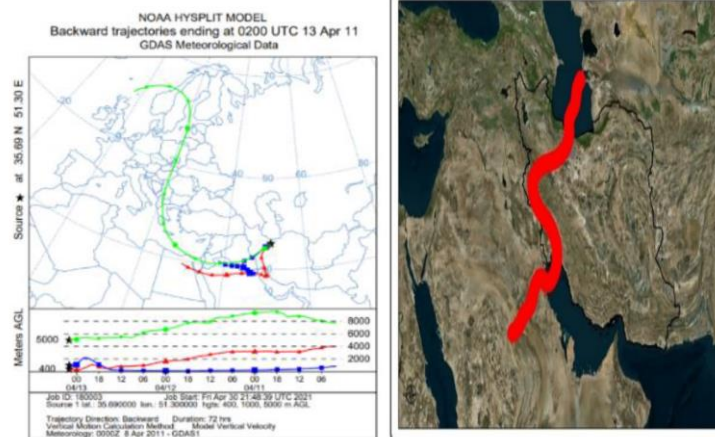
الگو سوم محور آن بیشتر غربی- شرقی است و منطبق با جریان‌های غربی است و رابطه معنی‌دار با فصول و ماه‌های سال ندارد ولی به‌طور کلی وقوع آن بیشتر در ماه‌های گرم سال می‌باشد. منشا آن صحراهای شمال عربستان (شرق جوف و سکاکه) است. همچنین ممکن است هسته‌های تراکم ریزگرد پس از تشکیل در شرق آفریقا و روی عربستان سعودی به عراق و ایران حرکت می‌نماید و در صورت تقویت کویت را هم تحت‌تاثیر قرار

طوری که این جریان در حوالی عرض جغرافیایی ۳۵ درجه کمی به سمت شرق منحرف شده که در ادامه وارد محدوده مورد مطالعه (کلانشهر تهران) می‌گردد.

نزدیک سطح زمین است (قهرودی، ۱۳۹۱). در شکل ۹ تصویر چپ رهگیری بسته‌های هوای مربوط به این جریان نشان می‌دهد که حضور ارتفاعات زاگرس باعث وجود انحنا در این الگو شده است به



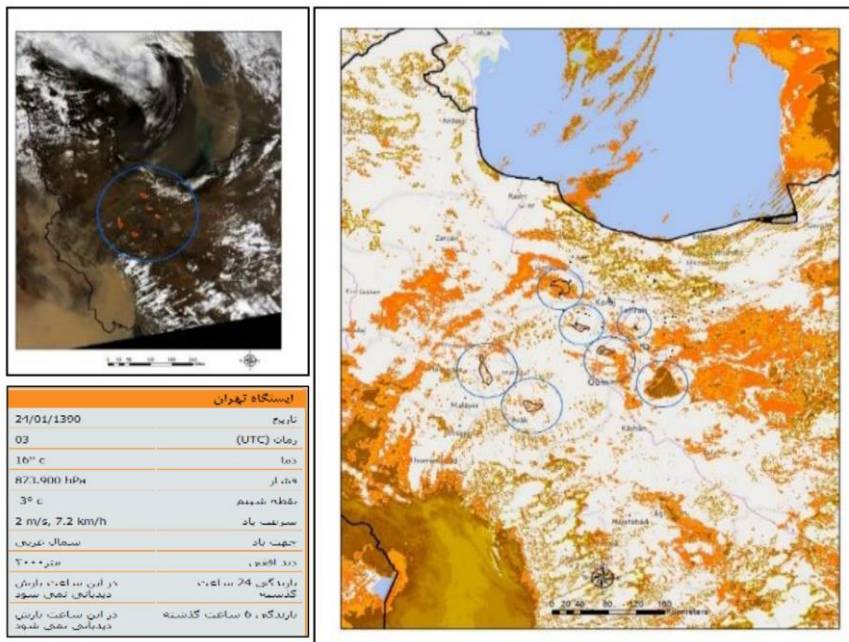
شکل ۸: الگوی سوم ورود ریزگرد به تهران



شکل ۹: الگوی چهارم ورود ریزگرد به تهران

عبور از ارتفاعات زاگرس به شدت از میزان بار رسوبی گرد و غبار طوفان کاسته شده و مجدداً در هنگام عبور از برخی سطوح پست از قبیل دریاچه‌ها و پلایاها و برخی چاله‌های داخلی تقویت شده است. در تصویر فوق اثرات تقویتی حوضه انتهایی اطراف قزوین و برخی لندفرم‌های دیگر مشهود است.

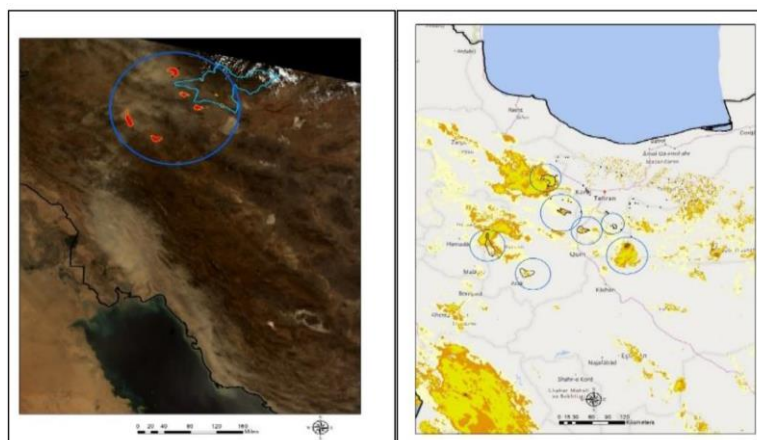
طوفان ریزگرد ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ که از الگوهای نزدیک به الگوی چهارم محسوب می‌شود حوالی بین النهرین و حتی قسمت‌هایی از هورالعظیم تقویت شده و پس از عبور از زاگرس در جهت جنوب غربی - شمال شرقی تقریباً کشور را قطع می‌کند و پس از عبور از پلایاها و چاله‌های داخلی تقویت شده است و همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است در تاریخ ۲۱ فروردین ۱۳۹۰ بعد از



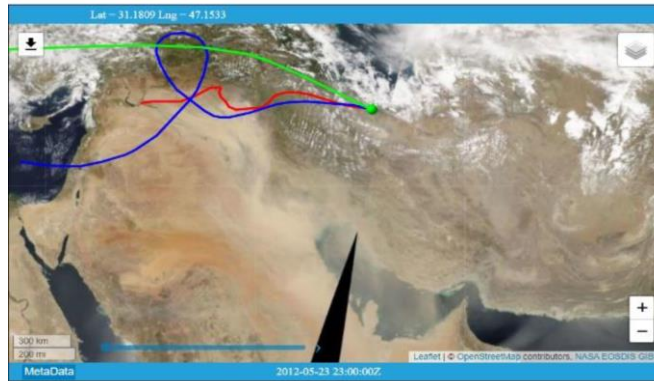
شکل ۱۰: عبور ریزگرد از سطح پلایا و حوضه های انتهایی

برداشت قسمتی از رسوبات سطحی از سطوح منفصل و ریزدانه می شود و پس از ورود به تهران موجبات آلودگی هوا و کاهش دید افقی شده است. الگوهای بی نظم و گاه با منشا داخلی به صورت ترکیبی و یا بی نظم قابل تفکیک در هیچ یک از الگوهای طبقه بندی شده فوق نیستند مانند طوفان گرد و غبار ۲۳ می ۲۰۱۲ که از غرب کشور وارد ایران شد که ترکیبی از سایر الگوها بود (شکل ۱۲).

این نوع طوفان گرد و غبار که از الگوهای نزدیک به تیپ ۴ محسوب می شود از نمونه های دیگر این الگو طوفان ۲۵ ژوئن ۲۰۱۰ است که حوالی بین النهرین و حتی قسمتی از هورالعظیم تقویت شده و پس از عبور از زاگرس در جهت جنوب غربی - شمال شرقی تقریباً کشور را قطع می کند پس از عبور از پلایاها و چاله های داخلی موجب تقویت جریان شده و همان طور که در شکل ۱۱ مشخص است موجب



شکل ۱۱: طوفان ۲۵ ژوئن ۲۰۱۰

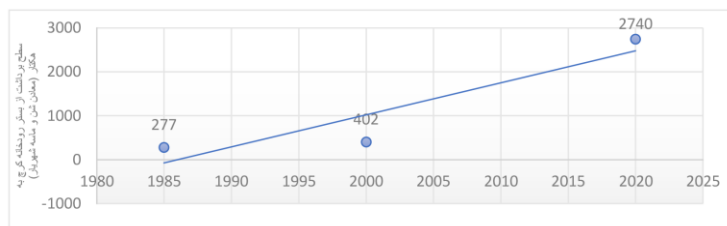


شکل ۱۲: الگوی بی نظم ورود ریزگرد به تهران

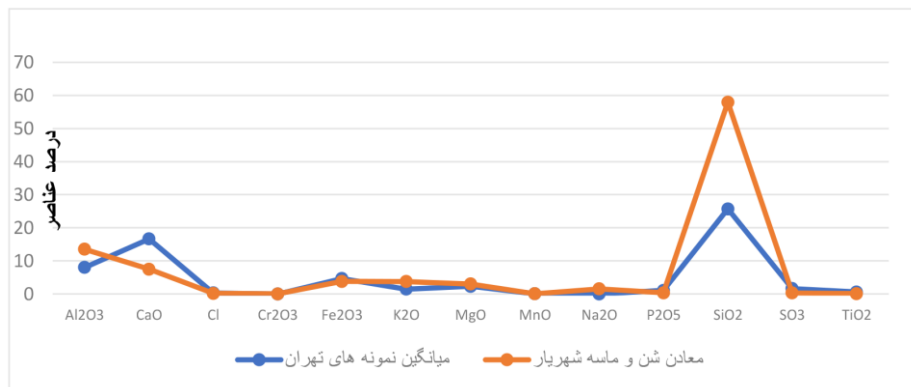
منشاء ریزگردهای تهران

برای تعیین منشاء ریزگردهای به بررسی لندفرم-های رسوبی مسیر الگوهای مختلف ریزگردها پرداخته شده است. نتایج آزمایشگاهی پهنه‌های رسوبی شناسایی شده در مسیر ریزگردها به تهران به شرح زیر مورد تحلیل قرار گرفته است. بررسی معادن شن و ماسه شهریار (تراس‌های آبرفتی رودخانه کرج) نشان می‌دهد حد فاصل سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ سطح بهره‌برداری از معادن شن و ماسه تهران حدود ۱۰ برابر شده است. همچنین با توجه به سطح دستکاری محیطی در محدوده ۳۰۰۰ هکتاری این معادن به نظر می‌رسد این منطقه از پتانسیل بالایی جهت تقویت ریزگرد تهران برخوردار است. نتایج آزمایشات ژئوشیمی نیز موید شباهت درصد ترکیبات عناصر این محدوده و ریزگردهای جمع‌آوری شده در تهران است که البته با توجه به اینکه SiO_2 بیشترین درصد را در ترکیبات ریزگرد جهانی دارد نمی‌توان با قطعیت در

این مورد سخن گفت. وجود تشابه ترکیبات شیمیایی عناصر نمونه‌برداری شده از سطح معادن و نمونه‌گیری شده با تله رسوبگیر MDCO موید این قضیه است که احتمالاً درصد زیادی از SiO_2 به دست آمده در ترکیبات شیمیایی ریزگرد شهر تهران برگرفته از معادن شن و ماسه تهران باشد زیرا جریان‌های ریزگرد آور از روی این معادن عبور می‌کنند. شکل ۱۳، سطح برداشت از تراس‌های آبرفتی رودخانه کرج و شکل ۱۴ نمودار ترکیبات نمونه‌های تهران و شهریار را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از نمودار اخیر بر می‌آید تشابهات ترکیبات رسوبی در عناصر مختلف وجود دارد و همچنین تفاوت چشمگیری در مقدار سیلیسیوم معادن و نمونه‌های تهران وجود دارد که می‌تواند ناشی جنس رسوبات تراس‌های آبرفتی رودخانه کرج باشد و همچنین به احتمال زیاد مقداری از سیلیسیوم نمونه‌های شهر تهران برخاسته از این منبع است.



شکل ۱۳: سطح برداشت از تراس‌های آبرفتی مستخرج از تصاویر لندست

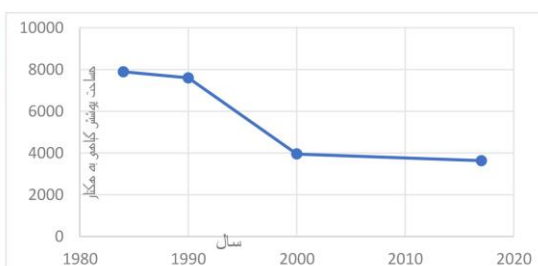


شکل ۱۴: نمودار مقایسه ترکیبات نمونه‌های تهران و شهریار

خشکسالی و برداشت بی‌رویه آب برای مصرف کشاورزی و دامداری در منطقه باشد صدور مجوزهای متعدد دامداری در محدوده ورامین موجب برداشت بی‌رویه آب و در نتیجه کاهش حقایبه در این محدوده شده است. خشک و عریان شدن اراضی بند علیخان موجب شده است بادهایی که با سرعت بالاتر از آستانه فرسایش حرکت می‌کنند بتوانند به راحتی رسوبات تبخیری و تخریبی سطحی را بلند کنند و به سمت پایتخت حمل کنند. شکل ۱۵ سمت راست تغییرات سطوح پوشش گیاهی براساس شاخص NDVI و سمت چپ تصویری از خشکی این تالاب را نشان می‌دهد.

تالاب بند علیخان که در ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان ورامین واقع شده، یک تالاب فصلی آب شیرین به مساحت تقریبی پنج هزار هکتار (زیستگاه تالابی) است که بخش زیادی از آن در منطقه حفاظت شده کویر قرار دارد و بخشی از آن نیز در استان قم واقع شده، آب مورد نیاز این منطقه پیش از این از رودخانه‌های، کرج و کن و رودخانه جاجرود تامین می‌شد.

مطابق نتایج بررسی‌ها بر روی تصاویر لندست و بازدید میدانی، تالاب بند علیخان رو به خشکی است و ارزش اکولوژیک و اقتصادی خود را از دست داده است. به نظر می‌رسد عامل خشک شدن تالاب،



شکل ۱۵: تغییرات محیط بند علیخان و تصویری از خشک این تالاب

سولفات‌ها در سطح زمین و همواری زمین از شرایط مناسب تشدید و تداوم توده‌های ریزگرد است. N در تالاب قنبر آباد نیز وضع به همین منوال است با توجه به خشک شدن تدریجی این دریاچه مصنوعی اراضی زیادی جهت تغذیه بادهای عبوری آماده

بررسی مسیر حرکت و مراکز تشدید کننده طوفان- های ریزگرد نشان انطباق مکانی را با پلایاها و تالاب‌های حوضه‌های انتهایی نشان می‌دهد که وجود مواد منفصل، عدم وجود پوشش گیاهی، خشکی بستر زمین، وجود املاح به ویژه کلورها و

سیلیس و آلومینیوم و سدیم می‌گردد که این مقدار در نمونه‌های برداشت شده در شهر تهران نیز به وفور یافت می‌گردد.

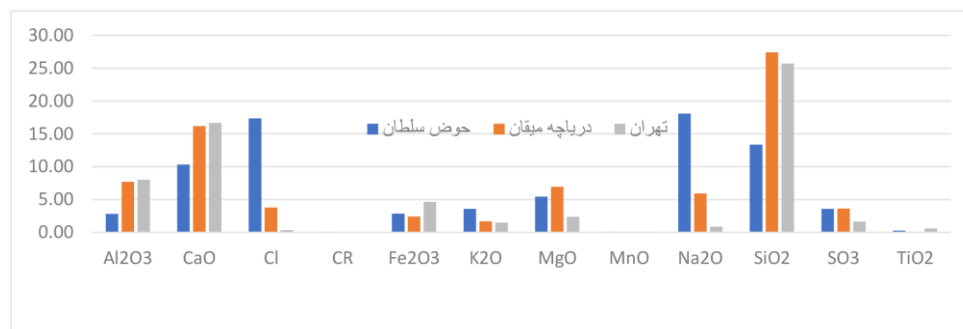
می‌شود. جدول ۱ میزان شباهت ترکیبات این دو تالاب با میانگین نمونه‌های شهر تهران را نشان می‌دهد همان‌طور که جدول اخیر نشان می‌دهد میزان زیادی از ترکیبات اصلی در محدوده تالاب‌ها شامل

جدول ۱: مقایسه ترکیبات تالاب‌های بندعلیخان و قنبرآباد و تهران

| نام عنصر | بند علیخان | قنبرآباد | تهران |
|-----------------|------------|----------|-------|
| اکسید آلومینیوم | ۱۰/۳۲ | ۱۱/۴۲ | ۸/۰۴ |
| اکسید کلسیم | ۸/۶۱ | ۱۱/۵۵ | ۱۶/۶۶ |
| کلر | ۵/۰۲ | ۵/۲۵ | ۰/۳۵ |
| کروم | ۰/۰۰ | ۰/۸۰ | ۰/۰۱ |
| اکسید آهن | ۳/۴۱ | ۵/۱۴ | ۴/۶۶ |
| اکسید پتاسیم | ۳/۹۵ | ۴/۴۹ | ۱/۴۹ |
| اکسید منیزیم | ۵/۱۲ | ۴/۶۹ | ۲/۳۶ |
| اکسید سدیم | ۶/۰۴ | ۷/۴۷ | ۱/۱۲ |
| پنتواکسید فسفر | ۰/۸۱ | ۱/۸۹ | ۱/۱۰ |
| اکسید سیلیس | ۳۷/۱۶ | ۲۹/۸۶ | ۲۵/۷۲ |
| تری اکسید گوگرد | ۳/۹۰ | ۶/۱۴ | ۱/۶۴ |

سدیم و کلر و پتاسیم وارد شده به شهر تهران ممکن است حین عبور از اراضی ریزدانه و منفصل اطراف این دو پلایا برداشت شده است. شکل ۱۶ مقایسه میانگین ترکیب نمونه‌های برداشت شده از تهران و پلایاهای میقان و حوض سلطان را نشان می‌دهد.

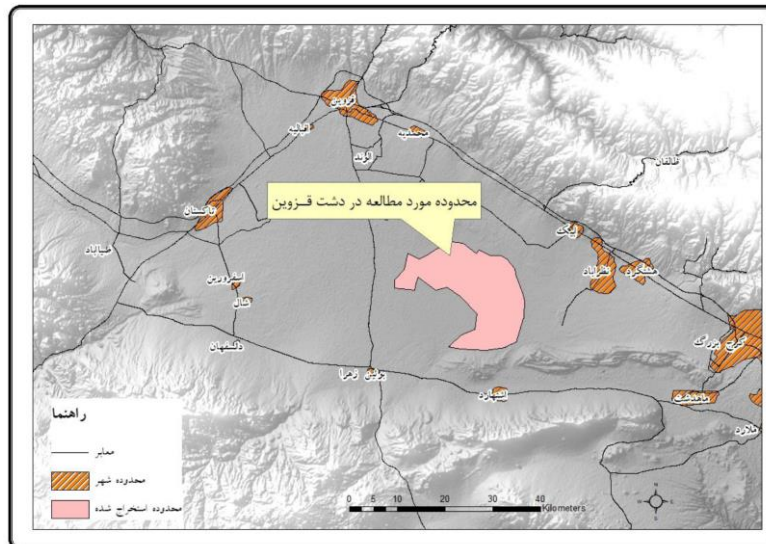
تصاویر مودیس عبور ریزگردها از فراز پلایای حوض سلطان و میقان را آشکار می‌سازد. به عبارت بهتر این سطوح از پتانسیل تشدید جریان‌های ریزگرد برخوردار است. مقایسه میانگین ترکیبات دو محدوده پلایای حوض سلطان و تهران نشان از وجود ترکیبات پتاسیم و سدیم و همچنین کلر مشابه دارد که احتمالاً برخی از ترکیبات عناصر



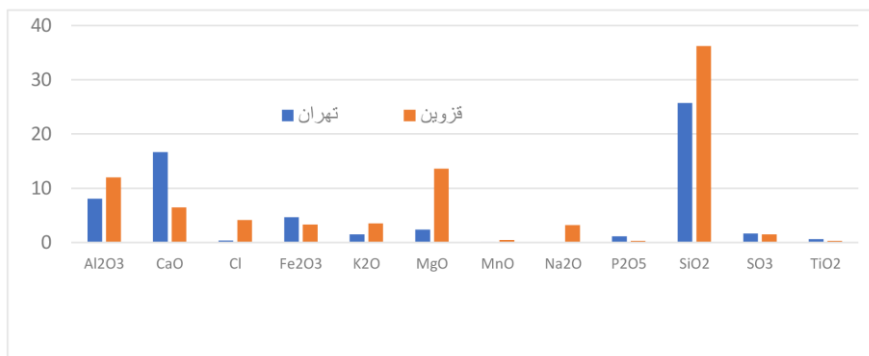
شکل ۱۶: مقایسه میانگین ترکیب نمونه‌های برداشت شده از تهران و پلایاهای میقان و حوض سلطان

مقایسه نتایج XRF نمونه‌های دشت قزوین و تله-های رسوبگیر در شهر تهران است. همان‌طور شکل اخیر نشان می‌دهد در مناطق دشت قزوین دارای حضور پررنگ اکسید آلومینیم و گوگرد بیش از سایر عناصر است. شکل ۱۹ تغییرات تراکم پوشش گیاهی دشت قزوین با استفاده از شاخص NDVI را آشکار می‌سازد. نمودار اخیر تغییرات سطح سبز پوشش گیاهی محدوده دشت قزوین طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ می‌باشد که حاکی از کاهش آن است.

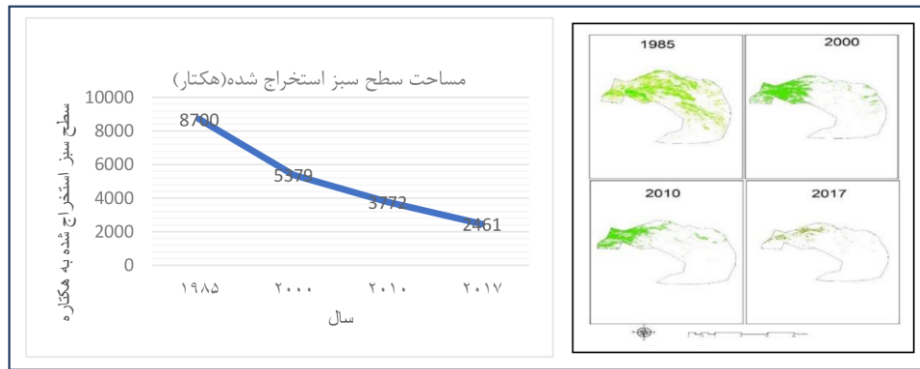
حوضه‌های بیابانی اطراف قزوین به دلیل اینکه در مسیر بادهای غالب ورودی به شهر تهران قرار گرفته است از لحاظ تامین دانه‌های ریزگرد برای بادهای غربی و جنوب غربی ورودی به تهران نقش مهمی دارد به همین جهت حضور زمین‌های عاری از پوشش گیاهی نقش مهمی در ایجاد کانون ریزگرد داخلی برای شهر تهران را ایفا نموده است. از این رو در مقاطع زمانی مختلف پوشش گیاهی محدوده مورد در نظر در دشت قزوین بررسی شده است. شکل ۱۷ موقعیت محدوده مورد بررسی در دشت قزوین را نشان می‌دهد. شکل ۱۸ نمودار مربوط به



شکل ۱۷: موقعیت محدوده مورد بررسی در دشت قزوین



شکل ۱۸: مقایسه نتایج XRF نمونه‌های دشت قزوین و تله‌های رسوبگیر در شهر تهران



شکل ۱۹: تغییرات سطح سبز دشت قزوین با استفاده از شاخص NDVI

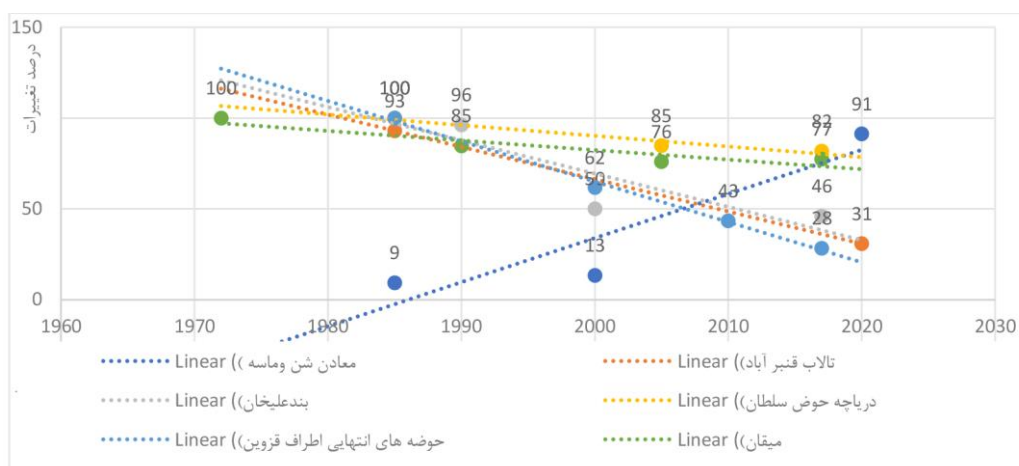
نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصله از الگوهای اصلی ورود ریزگرد به تهران، ۵ الگوی اصلی را نشان داد که عمدتاً از خارج از کشور وارد ایران می‌شوند. الگوهایی که در فصل گرم به تهران می‌آیند عمدتاً از شمال شرق سوریه و کشور عراق منشأ می‌گیرند. این جریان‌ها از نواحی کم ارتفاع زاگرس عبور می‌کنند و در مسیر نواحی خشک و بیابان‌های اطراف قزوین و معادن شن و ماسه بار رسوبی خود را افزایش می‌دهند. جریان‌های مربوط به اواخر زمستان و اوایل بهار از صحاری عربستان وارد فلات مرکزی ایران می‌شوند و با عبور از لندفرم‌هایی مانند چاله میقان و اراضی شور اطراف دریاچه حوض سلطان و دریاچه قنبر آباد و تالاب بند علیخان تغذیه می‌شوند. جریان‌هایی که محور آن بیشتر غربی- شرقی است و منطبق با جریان‌های غربی هستند، پس از تشکیل در شرق آفریقا و روی عربستان سعودی به عراق و ایران حرکت می‌نمایند و هنگام عبور از برخی سطوح پست از قبیل دریاچه‌ها و پلایاها و برخی چاله‌های داخلی مجدداً تغذیه می‌شوند. نتایج پژوهش اخیر بیانگر نقش لندفرم‌های حوضه‌های انتهایی از جمله پلایاها و دریاچه‌های خشک شده و سطوح رسوبی در الگوی ریزگردهای ورودی به تهران می‌باشد. نتایج حاصله از نمونه‌برداری و تحلیل آزمایشگاهی

بیانگر وجود تشابهات ترکیبات شیمیایی عناصر نمونه‌برداری شده از سطح معادن و نمونه‌گیری شده از سطح تهران بوده است. احتمالاً درصد زیادی از SiO_2 به دست آمده در ترکیبات شیمیایی ریزگرد شهر تهران برگرفته از معادن شن و ماسه تهران شهریار (تراس‌های آبرفتی رودخانه کرج) می‌باشد زیرا جریان‌های ریزگرد آور از روی این معادن عبور می‌کنند. و همچنین تفاوت چشمگیری در مقدار سیلیسیوم معادن و نمونه‌های تهران وجود دارد که می‌تواند ناشی جنس رسوبات تراس‌های آبرفتی رودخانه کرج باشد و همچنین می‌توان احتمال داد مقداری از سیلیسیوم نمونه‌های شهر تهران ممکن است از این منبع باشد. با توجه به خشک شدن تدریجی تالاب قنبر آباد و تالاب بند علیخان، اراضی زیادی جهت تغذیه بادهای عبوری آماده می‌شود. میزان شباهت ترکیبات این دو تالاب با میانگین نمونه‌های شهر تهران حاکی از میزان زیادی از ترکیبات سیلیس و آلومینیوم و سدیم در هر دو نمونه است. پلایای حوض سلطان و میقان از پتانسیل تشدید جریان‌های ریزگرد برخوردار است مقایسه میانگین ترکیبات دو محدوده پلایای حوض سلطان و تهران نشان از وجود ترکیبات پتاسیم و سدیم و همچنین کلر مشابه دارد که احتمالاً برخی از ترکیبات عناصر سدیم و کلر و پتاسیم وارد شده

پوشش گیاهی و کاهش سطوح دریاچه‌ای شده است این تغییرات متعاقباً باعث فراهم شدن اراضی می‌گردد که سرشار از مواد ریزدانه و مستعد برای تغذیه ریزگردها می‌گردند. بررسی تغییرات محیط در مناطق منشاء ریزگرد موید این بود که برخی از مناطق اخیر درگیر تغییرات محیطی طی سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۲۰ بودند. شکل ۲۰ نمودار تغییرات را نشان می‌دهد. شیب تغییرات محیط در همه محدوده‌ها یکسان نیست، در برخی از محدوده‌ها مثل معادن شن و ماسه شهریار سرعت دستکاری محیطی توسط عوامل انسانی باعث ایجاد شیب تند در نمودار شده است. همچنین بیابان‌های اطراف قزوین با ایجاد هسته‌های تراکمی ریزگرد بیشترین اثر را بر تغذیه ریزگردها را دارند.

به شهر تهران ممکن است حین عبور از اراضی ریزدانه و منفصل اطراف این دو پلایا برداشت شده است. حوضه‌های بیابانی اطراف قزوین به دلیل اینکه در مسیر بادهای غالب ورودی به شهر تهران قرار گرفته است از لحاظ تامین دانه‌های ریزگرد برای بادهای غربی و جنوب غربی ورودی به تهران نقش مهمی دارد به همین جهت حضور زمین‌های عاری از پوشش گیاهی نقش مهمی در ایجاد کانون ریزگرد داخلی برای شهر تهران را ایفا نموده است. در مناطق دشت قزوین دارای حضور پرننگ اکسید آلومینیم و گوگرد بیش از سایر عناصر است. به‌طور کلی نتایج تغییرات محیطی در محدوده‌های مورد بررسی حاکی از دستکاری و سیاست‌های غلط بهره‌برداری از منابع است که تغییرات شدید در



شکل ۲۰: روند تغییرات حوضه‌های انتهایی اطراف تهران طی سالیان ۱۹۷۰ الی ۲۰۲۰

پانویس

1-Google Earth Engine (GEE)
2-Backward
3-<https://search.earthdata.nasa.gov>,
<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>

4-Aerosol Optical Depth (AOD)
5-detection

استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۷، ص ۲۵-۳۳.

منابع

-ایرانمنش، ف.، عرب خدری، م. و اکرم، م.، ۱۳۸۴. بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با

- بیات، ر.، جعفری، س.، قرمزچشمه، ب. و چرخابی، ا.، ۱۳۹۵. مطالعه تاثیر ریزگردها بر تغییرات پوشش گیاهی (مطالعه موردی: تالاب شادگان، خوزستان)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، شماره ۷(۲)، ص ۱۷-۳۲.
- بهرامی، ح.، جلالی، م.، درویشی بلورانی، ع. و عزیزی، ع.، ۱۳۹۲. مدل سازی مکانی- زمانی وقوع طوفان های گرد و غبار در استان خوزستان، سنجش از دور و GIS ایران، شماره ۲، سال ۵، ص ۹۵-۱۱۴.
- رسولی، ع.ا.، ساری صراف، ب. و محمدی، غ.، ۱۳۸۹. تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش های آمارهای ناپارامتری، جغرافیای طبیعی، سال ۳، شماره ۹، ص ۲۸-۴۱.
- ریوندی، ا.، میررکنی، م.، محمدپورپنجاه، م.، معماریان، م. و محمدیها، ا.، ۱۳۸۹. بررسی و تحلیل سینوپتیکی تشکیل و انتشار طوفان های گرد و خاک ورودی از غرب ایران با استفاده از پارامترها و نقشه های هواشناسی، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان های گرد و غبار، دانشگاه یزد.
- رئیس پور، ک.، ۱۳۸۷. تحلیل آماری و همیدی پدیده گرد و غبار در استان خوزستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- سلیقه، م.، ۱۳۹۴. تغییر آب و هوا و مخاطرات آب و هوایی تهران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۲، شماره ۳، ص ۱۵-۳۲.
- سلیمانی، آ.، عسگری، م.ح.، دادالهی، ع.، علمی زاده، ه. و خزاعی، ح.، ۱۳۹۴. ارزیاب عمق ابتیکی حاصل از تصاویر ماهواره modis در خلیج فارس، علوم و فنون دریایی، ص ۷۵-۸۴.
- شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، گزارش کیفیت هوای تهران، ۱۳۹۰-۹۵. مرکز چاپ نشر شهر.
- صفوی، ی. و علیجانی، ب.، ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۸، ص ۹۹-۱۱۲.
- قهرودی تالی، م.، ۱۳۹۱. پلایها تشدید کننده ریزگردها، اولین همایش انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، اسفند ۱۳۹۱.
- کارگر، ا.، بذاق جمالی، ج.، رنجبرسعادت آبادی، ع.، معین الدینی، م. و گشتاسب، ح.، ۱۳۹۵. شبیه سازی و تحلیل عددی طوفان گرد و غبار شدید شرق ایران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۳(۴)، ص ۱۰۱-۱۱۹.
- لشکری، ح. و کیخسروی، ق.، ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۵، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، ص ۱۷-۳۳.
- محمدپورپنجاه، م.ر.، معماریان، م.ح. و میررکنی، م.، ۱۳۹۳. تحلیل طوفان های گرد و غبار استان یزد بر مبنای مدل سازی عددی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۲، ص ۶۷-۹۳.
- محمدی، م. و حسین زاده، ر.، ۱۳۹۴. پایش ماهواره ای و تحلیل همدید پدیده گرد و غبار در کلان شهر مشهد طی دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۳، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۴، ص ۳۵-۵۷.
- مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵. گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن.
- مفیدی، ع. و جعفری، س.، ۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع طوفان های گرد و غباری تابستانه در جنوب غربی ایران، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۲، ص ۱۷-۴۵.
- ناصرپور، س.، علیجانی، ب. و ضیائیان، پ.، ۱۳۹۴. منشأیابی طوفان های گرد و غبار در جنوب غرب

- ندافی، ک.، یاراحمدی، م. و جعفرزاده، ن.، ۱۳۸۹. اثرات طوفان‌های گرد و غباری بر سلامت و محیط زیست مجله علوم پزشکی خراسان شمالی، شماره ۳۳، ص ۲۴-۳۹.
- Al Sarraf, H., 2010. Relationship between the land/sea breeze circulations and the air pollution dispersion over the coastal area of Kuwait, Master of science thesis, Creighton University.
- Bolorani, A.D., Nabavi, S.O., Bahrami, H.A., Mirzapour, F., Kavosi, M., Abasi, E. and Azizi, R., 2014. Investigation of dust storms entering Western Iran using remotely sensed data and synoptic analysis: Journal of environmental health science & engineering, v. 12(1).
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J. and Zhou, N., 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. Journal of Science of the Total Environment, p. 224-235.
- Draxler, R.R. and Hess, G.D., 1998. An Overview of the HYSPLIT_4 Modelling System for Trajectories, Dispersion on and Deposition: Australian Meteorological Magazine, v. 47, p. 295-308.
- El-Askary, H.M., Sarkar, S., Kafatos, M. and El-Ghazawi, T.A., 2003. A Multisensory Approach to Dust Storm Monitoring Over the Nile Delta, Published IEEE, v. 41(10).
- Ganor, E., 1975. Atmospheric dust in Israel: Sedimentological and meteorological analysis of dust deposition. Ph.D. Thesis, Dissertation the Hebrew University of Jerusalem.
- Goudie, A.S., 1983. Dust storms in space and time, Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 7(4), p. 502-530.
- ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های هوا، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، ص ۴۵-۶۴.
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J., 2006. Desert Dust in the Global System: Springer nature, 287 p.
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J., 2005. Saharan dust storms: nature and consequences: Earth-Science, Reviews, v. 67, p. 219-315.
- Indoitu, R., Orlovsky, L. and Orlovsky, N., 2012. Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations, Journal of Arid Environments, v. 85, p. 62-70. 10.1016/j.jaridenv.2012.03.018.
- Li, X., Ge, L., Dong, Y. and Chang, H.C., 2010. Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), p. 1039-1042.
- Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.J., Kaskaoutis, D.G., Grote, W. and Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran: Chemosphere, v. 90(2), p. 227-236.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Gouide, A.S. and Kahn, R.A., 2013. Dryness of ephemeral lakes and cosequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, Southeastern Iran. Journal of Science of the Total Environment, v. 163, p. 422-441.
- Savtchenko, A., Ouzounov, D., Ahmad, S., Acker, J., Leptoukh, G., Koziana, J. and Nickless, D., 2004. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC: Advances in Space Research, v. 34, p. 710-714.
- Wang, X., Zhibao, D., Caixia, Z., Guangqiang, Q. and Wanyin, I., 2009.

Characterization of the composition of dust fallout and identification of dust sources in arid and semiarid North China, *Geomorphology*, v. 112, p. 144-157

-Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D. and Zhang, X., 2011. Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification: *Atmospheric Environment*, v. 45(35), p. 6381-6389.

-Xuan, J., Sokolik, I.N., Hao, J., Guo, F., Mao, H. and Yang, G., 2004. Identification and characterization of atmospheric mineral dust in East Asia: *Journal of Atmospheric Environments*, v. 38(36), p. 6239-6252.

-Zhang, B., Tsunekawa, A. and Tsubo, M., 2015. Identification of Dust Hot Spots from Multi-Resolution Remotely Sensed Data in Eastern China and Mongolia. *Water, Air, & Soil Pollution*.