

## Dust Investigation by MERRA-2 Model in Iran: (during 2007- 2017)

ELHAM MOBARAK HASSAN<sup>1\*</sup>, ABASS RANJBAR SAADAT ABADI<sup>2</sup>, EBRAHIM FATAHI<sup>3</sup>

1. Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Atmospheric Chemistry and Air Pollution Group, Meteorology Institute, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran.

3. Hydrometeorology Group, Meteorology Institute, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran.

(Received: March. 10, 2020- Revised: June. 20, 2020- Accepted: July. 25, 2020)

### ABSTRACT

Different regions of Iran are affected by internal or external dust sources. Satellite data can be used to investigate the temporal and spatial distribution and the detected source of dust. The aim of this study was to analyze the concentration of surface dust, dust in air column and aerosol optical depth (AOD) using MERRA-2 model and Aqua satellite data in Iran. Data were prepared between 2007 and 2017 and the figures were plotted by Grads and OriginPro software. The research findings showed three cross-border dust sources including western, eastern and northeastern Iran and two internal area in the Dasht Kavir and southeastern of Iran. The dust source located in southeastern Iraq and Kuwait have the highest concentration of surface dust. In Abadan, the highest concentration of surface dust with 552 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in summer, dust in air column with 709 ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) and the AOD of MERRA-2 with 0.58 in spring took placed. The correlation coefficient between surface dust and air column dust was obtained in internal area including Tabas, Kahnooj, Khor Biabank and Nikshahr with 0.94, 0.93, 0.89 and 0.89, which can indicate the effect of local conditions on dust development. Time series of air column dust in three stations of Bushehr, Abadan and Ahvaz shows the highest decreasing trend with -0.05 and -0.035, indicating reduction effect of dust external sources. In temporal distribution, the years of 2008 and 2012 were determined by the most severe and widespread dust in Iran. In monthly distribution, the maximum dust concentration were obtained in April and July 2008, May 2012 and July 2016 in Ahvaz.

**Keywords:** Dust Concentration, MERRA-2 Model, Aerosol Optical Depth (AOD), Aqua Satellite.

## بررسی گردوخاک در گستره ایران توسط مدل باز تحلیل NASA/MERRA-2 (دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۱۷)

الهام مبارک حسن<sup>۱\*</sup>، عباس رنجبر سعادت آبادی<sup>۲</sup>، ابراهیم فتاحی<sup>۳</sup>

۱. گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲. گروه شیمی جو و آلودگی هوا، پژوهشکده هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی، تهران، ایران.

۳. گروه آبشناسی، پژوهشکده هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۳۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۴)

### چکیده

مناطق مختلف ایران تحت تأثیر گردوخاک‌های داخلی و یا فرامرزی هستند. با استفاده از داده‌های ماهواره می‌توان توزیع زمانی و مکانی و منشأ شکل‌گیری گردوخاک را بررسی نمود. هدف از مطالعه حاضر تحلیل غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک در ستون هوا و عمق نوری هواویزها با استفاده از مدل MERRA-2 و ماهواره آکوا در مناطق گردوخاک خیز ایران بود. داده در دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ تهیه و شکل‌ها توسط نرم‌افزار Grads و OriginPro ترسیم شد. یافته‌های تحقیق سه کانون گردوخاک فرامرزی در غرب، شرق و شمال شرق ایران و دو کانون داخلی در دشت کویر و جنوب شرق ایران را نشان داد. کانون‌های فرامرزی جنوب شرق عراق و کویت بیشترین غلظت گردوخاک سطحی را دارد. در آبادان بیشترین غلظت گردوخاک سطحی با  $552 \text{ (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)}$  در فصل تابستان، گردوخاک در ستون هوا  $709 \text{ (}\text{mg}/\text{m}^2\text{)}$  و عمق نوری هواویزها MERRA-2 با  $0/58$  در فصل بهار به دست آمد. ضریب همبستگی بین گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در کانون‌های داخلی شامل طبس، کهنوج، خور بیابانک و نیک‌شهر با  $0/93$ ،  $0/89$ ،  $0/89$  به دست آمد که می‌تواند نشان‌دهنده اثر شرایط محلی در توسعه گردوخاک باشد. تغییر زمانی گردوخاک ستون هوا در سه ایستگاه بوشهر، آبادان و اهواز بیشترین روند کاهشی را با ضریب  $-0/35$  و  $-0/34$  نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کاهش اثر کانون‌های فرامرزی گردوخاک است. در توزیع زمانی، سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ با شدیدترین و فراگیرترین گردوخاک‌ها در گستره ایران تعیین شد. در توزیع ماهانه گردوخاک بیشینه غلظت آن در ماه‌های آوریل و جولای ۲۰۰۸، مه ۲۰۱۲ و جولای ۲۰۱۶ در اهواز به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: گردوخاک سطحی، مدل MERRA-2، عمق نوری هواویز AOD، ماهواره آکوا.

### مقدمه

در طی سال‌های اخیر موضوع گردوخاک، یکی از پر بحث‌ترین مسائل ایران بوده و در این زمینه مطالعه‌های بسیاری در بخش‌های گوناگون کشور انجام شده است. بیشترین تحقیق انجام شده مربوط به مناطق غرب کشور (Karami, 2009; Goodarzi et al., 2018; Rashno, 2009; Khushkish et al., 2011; Buchani and Fazeli, 2012; Bahiraei et al., 2011; Alijani and Raisipour, 2011; Miri, 2012; سیستان (Hamidianpour et al., 2018; Rashki and Mirshekar, 2011) بوده است. گرچه گردوخاک در مناطق دیگر نیز رخ می‌دهد. از جمله می‌توان به مناطق مرکزی ایران (Emadi et al., 2016; Zahrabi and Ezzatian, 2015, Dehdarzadeh and Salahi, 2010) شمال شرق و خراسان بزرگ (Lashkari and Keikhosravi, 2008; Mehrshahi and Nekunam, 2010) و محدوده شمال (Dostan, 2017; Boroughani et al., 2016)

غرب (Shahkouei and Rahmani, 2019) اشاره نمود. مطالعه‌ها با دیدگاه‌های مختلفی شامل تحلیل هم‌دیدگی، منشأ شکل‌گیری، روند تغییرات بلندمدت، توزیع مکانی و زمانی و شناسایی اجزا تشکیل‌دهنده گردوخاک؛ انجام شده است. در ادامه با توجه به هدف تحقیق حاضر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. منشأ شکل‌گیری گردوخاک‌های خاورمیانه و ایران در نواحی شمال عراق بین رودخانه‌های دجله و فرات (بین‌النهرین) و در امتداد مرز سوریه و عراق و عربستان سعودی مشاهده می‌شود (Trigo et al., 1999; Falahzazouli et al., 2014; Prospero 2002, Goudie and Middleton; 2006). گردوخاک انتشار یافته در این مناطق بخش‌های غربی ایران را با شدت بیشتر (Zarasvandi et al., 2011; Namdari et al., 2016; Moridnejad et al., 2015) و شمال غرب (Hosseinisadr et al., 2014)، شمال (Asadi et al., 2013) و مناطق مرکزی ایران را با شدت کمتر

جهانی ابزار مفیدی است (Draxler *et al.*, 2001; Grousset & Biscaye, 2005). در بخش‌های مختلف خاورمیانه که منشأ گردوخاک هستند از جمله چین، پاکستان و هند داده‌های ماهواره مانند MODIS، TOMS و MISR در پایش گردوخاک استفاده شده است (Alam *et al.*, 2011; Kaskaoutis *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2003; Li and Weidong, 2009; Luo, 2003; Klingmüller *et al.*, 2016). در توزیع فصلی AOD در برخی کشورهای خاورمیانه مانند پاکستان و هند، بیشترین مقدار AOD در فصل تابستان و کمترین مقدار آن را فصل زمستان به دست آمد (Alam *et al.*, 2011; Prasad *et al.*, 2007). مقدار محصول MODIS در پایش فصلی ذره‌های معلق جوی کمترین مقدار ۰/۲ را در زمستان و بیشترین ۰/۴۵ در فصل تابستان در یونان نشان داد (Kaskaoutis *et al.*, 2011).

در ایران نیز در طی سال‌های اخیر استفاده از داده‌های ماهواره در بررسی ویژگی‌های گردوخاک افزایش یافته است. از جمله کاربردهای آن بررسی توزیع مکانی گردوخاک است. در غرب ایران با کاربست داده AOD، تغییرات شدیدتر و بیشتری را در استان خوزستان نسبت به دیگر استان‌های غربی تعیین شد (Bertina *et al.*, 2014).

همچنین توزیع سالانه AOD نیز انجام شده است. بررسی میانگین سالانه شاخص عمق اپتیکی هواویزها نشان از افزایش فعالیت کانون‌های گردوخاک در عراق و شرق سوریه و شدت تأثیر آن بر استان خوزستان، در حداث سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ دارد (Daniali *et al.*, 2018). در حالی که از سال ۲۰۰۸ به بعد روند کاهشی به دست آمده است (Nabavi *et al.*, 2019). اما در بازه‌های زمانی طولانی‌تر عدم تغییر قابل توجه گردوخاک استان خوزستان مشاهده شد (Daniali *et al.*, 2018). در حالی که تغییر سالانه AOD در شمال شرق ایران، از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ روند صعودی داشته است (Miri, 2012). در توزیع سالانه گردوخاک نیز، وقوع گردوخاک‌ها در برخی سال‌ها شدت بیشتری داشته است. گردوخاک در کرمانشاه و خوزستان در سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) به حداکثر میزان خود رسیده است. (Shamshiri, *et al.*, 2014; Zarasvandi *et al.*, 2011). غلظت قابل توجه ذرات معلق هوا در استان خوزستان در فصل‌های گرم سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ نسبت به بقیه سال‌های تعیین شد، به عبارت دیگر غلظت ذرات معلق هوا در فصل تابستان بعضی از سال‌ها بیش‌تر هست (Bertina *et al.*, 2014; Miri, 2012).

توزیع زمانی AOD در فصل و ماه‌های مختلف سال در مناطق مختلف ایران، متفاوت به دست آمده است. در توزیع ماهانه، زمان وقوع بیشترین فراوانی گردوخاک در شهرهای مختلف

تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین شمال آفریقا می‌تواند سرچشمه گردوخاک‌های ایران به‌ویژه خلیج فارس باشد (Kubilyay and Saydam, 1995; Kocak *et al.*, 2004a, 2004b). مناطق شرقی ایران نیز تحت تأثیر گردوخاک هستند. دشت مارگو در منطقه سیستان، ریگستان جنوب افغانستان، مناطق خشک شده دریاچه هامون در پاکستان و مناطق بیابانی مکران در مرز ایران و پاکستان از جمله چشمه‌های گردوخاک شرق ایران هستند (Ginoux *et al.*, 2012; Bayat and Khalesi Fard, 2018; Abdi Vishkaee *et al.*, 2011). از جمله دیگر چشمه‌های گردوخاک اطراف ایران می‌توان به بیابان قره‌قوم یکی از بزرگ‌ترین و گرم‌ترین بیابان‌های دنیا اشاره نمود. در طی سال‌های اخیر گرم شدن زمین و کاهش بارش و افزایش خشک‌سالی موجب افزایش بیابان‌زایی در صحرای قره‌قوم شده است. (Kordjezi *et al.*, 2017). گردوخاک حاصل از این مناطق می‌تواند بر سواحل دریای خزر و شمال شرق ایران مؤثر باشد. علاوه بر منشأ فرامرزی، در برخی مناطق مانند استان گلستان (Kordjezi *et al.*, 2017) گردوخاک محلی بوده و منشأ انتشار آن‌ها داخلی هست.

پدیده گردوخاک در کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، در طول ده‌های گذشته افزایش چشم‌گیری داشته و عمده نگرانی‌های جامعه پژوهشی را متوجه خودساخته است (Al-Jumaily and Ibrahim., 2013). تحلیل زمانی پدیده گردوخاک در برخی شهرهای ایران نشان از افزایش تعداد روز و شدت این پدیده دارد (Shamshiri, *et al.*, 2014; Mehrshahi and Nekunam, 2010; Omidvar and Nekunam, 2009; Zarasvandi *et al.*, 2011).

برخی مناطق به‌ویژه محدوده بیابان‌های مرکزی و بخش‌های از جنوب شرق ایران مسکونی نبوده و ایستگاه هواشناسی جهت پایش گردوخاک (گزارش دید افقی) وجود ندارد. از طرفی این مناطق با توجه به شرایط سطحی مستعد تولید گردوخاک‌های داخلی هستند اما داده‌ای جهت بررسی در دست نیست. علاوه بر آن هنگام وقوع گردوخاک، شرایط محیطی نامناسب شده و گزارش دید افقی را با مشکل مواجه نمی‌نماید. همچنین ایستگاه‌های همدیدی که در گزارش گردوخاک در آن‌ها انجام می‌شود پراکنده بوده و فاصله یکسانی از همدیگر ندارند. افزون بر آن سرعت و جهت ترابرد گردوخاک در همه نقاط مشابه نیست. بنابراین بررسی توزیع مکانی گردوخاک با روش‌های زمینی ثبت داده میسر نخواهد بود (Pirbavaghar *et al.*, 2014). از این رو فناوری سنسور از دور در پایش توفان‌های گردوخاک به‌ویژه توزیع مکانی، شناسایی کانون، تعیین شدت و مسیر حرکت و همچنین ویژگی‌های گردوخاک در ستون هوا و تأثیر آن بر محیط‌زیست

ماهواره کمتر است (Mallet *et al.*, 2017). توزیع فصلی نهشت گردوخاک و  $PM_{2.5}$  با استفاده از داده‌های MERRA-2 در ایران نیز مورد تحقیق قرار گرفته است (Dadashi-Roudbari *et al.*, 2020) نتایج آن نشان می‌دهد که در مناطق جنوب غرب و جنوب شرق ایران در همه فصل‌ها آهنگ نهشت خشک گردوخاک قابل توجه است. خوزستان بیشترین میزان نهشت گردوخاک را با ۰/۱۹۳ میکروگرم بر مترمکعب دارد.

در مطالعه حاضر به کمک داده‌های غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک در ستون هوا و AOD حاصل از مدل باز تحلیل MERRA-2 توزیع افقی گردوخاک و کانون‌های آن در بخش‌های مختلف ایران بررسی خواهد شد. همچنین روند تغییرات زمانی و سال‌های وقوع بیشینه گردوخاک تعیین خواهد شد. به این منظور داده‌ها در بازه ماهانه و فصلی از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ تهیه شد. در بخش‌های بعدی پس از ارائه شرحی بر منطقه مورد مطالعه و مدل باز تحلیل MERRA-2، ساختارهای مکانی و زمانی گردوخاک ارزیابی می‌شود.

### مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه ایران انتخاب شده است. با توجه به ساختار کوهساری (شکل ۱-ب)، مناطق گردوخاک خیز ایران (مطالعه‌های پیشین)، توزیع افقی گردوخاک (حاصل از این مطالعه)، ایستگاه‌های ایلام، بوشهر، آبادان و اهواز در غرب؛ خور بیابانک و طیس در بیابان‌های مرکزی، گرگان و بیرجند در شمال شرق، زابل در شرق و نیک شهر و کهنوج در جنوب شرق کشور انتخاب شدند (شکل ۱-الف). موقعیت ایستگاه‌ها با دایره مشکی توپر نمایش داده شده است (شکل ۱). ساختار کوهساری ایران به‌ویژه زاگرس نقش مهمی در انتقال گردوخاک از کشورهای همسایه به بخش‌های درونی کشور دارد (Sahraei *et al.*, 2020) به‌منظور بررسی شرایط گردوخاک در پهنه ایران زمین، داده‌های سنجش‌ازدور مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها از مدل باز تحلیل MERRA-2<sup>۲</sup> و ماهواره Aqua (آکوا) سنجنده MODIS (مودیس) تهیه شد. در ادامه به شرح مدل MERRA-2 پرداخته می‌شود.

#### MERRA-2

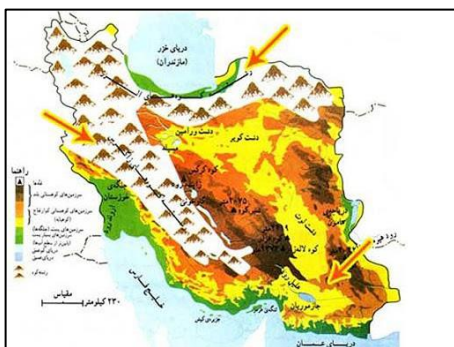
دومین بازنگری تحلیلی تحقیقات و برنامه‌های کاربردی دفتر ارزیابی و مدل جهانی ناسا<sup>۳</sup> به نام MERRA-2 نامیده شده و بر اساس باز تحلیل داده‌های ماهواره عمل می‌نماید. MERRA-2 شامل مدل (Molod *et al.*, 2012; 2014) و داده‌های آن بر اساس

متفاوت به‌دست‌آمده است. بررسی توزیع زمانی توفان‌های گردوخاک در جنوب غرب ایران نشان داد که بیشترین میزان AOD در این منطقه در ماه ژوئیه، جولای و در غرب (کرمانشاه) ماه مه هست (Namdar *et al.*, 2016; Shamshiri *et al.*, 2014). در منطقه سیستان غلظت ذره‌های معلق موجود در جو در طی تابستان بیشتر است (Rashki *et al.*, 2014). در منطقه جازموریان نیز بیشینه AOD به ترتیب در فصل بهار، تابستان و زمستان به‌دست‌آمده است. (Arjmand *et al.*, 2018). تغییر ماهانه AOD در شمال شرق ایران، نشان داد که بیشینه مقدار آن در خرداد، تیر و اردیبهشت بوده (Miri, 2012).

در مطالعه‌های پیشین عمق اپتیکی هواویز ( $AOD^1$ ) حاصل از سنجنده مودیس (MODIS) ماهواره آکوا (Aqua) و ترا (Terra) به‌عنوان معرف گردوخاک در نظر گرفته می‌شد. بین شاخص‌های مختلف آلودگی هوا و گردوخاک حاصل از ماهواره و مقادیر زمینی، همبستگی خوبی به‌دست‌آمده است (Zhang *et al.*, 2009). گرچه این همبستگی در مناطق بیابانی آسیا حدود ۲۰ درصد است. همچنین برای AODهای بیش از ۰/۵ مقدار همبستگی کاهش می‌یابد. اگرچه ماهواره‌ها ابزار مناسب و قابل‌دسترس در اندازه-گیری کمیت عمق نوری به شمار می‌آیند، اما به علت خطاهای موجود، ضرورت دارد که داده‌های حاصل از آن‌ها با دقت بیشتری به کار گرفته شوند. AOD به‌ویژه در مناطق دریایی نشان‌دهنده ذره‌های جوی و ذرات حاوی مواد مغذی موجود در آب می‌باشد، بنابراین برای مقایسه AOD حاصل از ماهواره با دیگر داده‌ها باید به این نکات که می‌توانند عاملی در تولید خطای محاسباتی باشند، دقت نمود. بنابراین AOD لزوماً معرف گردوخاک نبوده و در گزارش دید افقی احتمال خطا وجود دارد. از آنجایی که داده‌های باز تحلیل MERRA-2 داده‌های مستقیمی از گردوخاک سطحی و گردوخاک در ستون هوا در دسترس قرار می‌دهند، در برخی تحقیق‌های اخیر از این داده‌ها استفاده شده است (Eltahan *et al.*, 2019; Kishcha *et al.*, 2018; Mahanama *et al.*, 2015; *et al.*, 2019; Rizza *et al.*, 2019)  $PM_{2.5}$  حاصل از MERRA-2 و مقدار مشاهداتی زمینی در بلندمدت در حوضه رودخانه یانگ‌تسه (He *et al.*, 2019) مورد بررسی قرار گرفته و آمد. همچنین روند تغییرات  $PM_{2.5}$  افزایشی بوده است.

بررسی بلندمدت اقلیمی نشان می‌دهد توزیع AOD حاصل از مدل MERRA-2 و ماهواره هماهنگ بوده اما مقدار عددی AOD حاصل از مدل MERRA-2 نسبت به داده‌های مشاهداتی

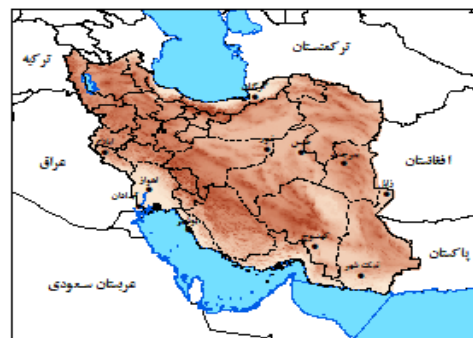
بلندمدت است که تأثیر هواویزها را در فرآیندهای فیزیکی در سیستم اقلیم در دسترس قرار می‌دهد. در این مدل گردو خاک ذرات کوچک معلق در جو با قطر ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر در نظر گرفته می‌شوند. گردو خاکها به‌عنوان نوعی از هواویزها یا در جو معلق بوده یا در سطح زمین نشست دارند. به دلیل چشمه‌های متفاوت تولیدکننده گردو خاک، ترکیب گردو خاک می‌تواند شامل مواد عالی (ارگانیک) و معدنی (غیر ارگانیک) باشد.



ب

AVHRR<sup>۱</sup>، MODIS<sup>۲</sup>، MISR<sup>۳</sup> و AERONEY<sup>۴</sup> می‌باشد (Koster et al., 2015) که توسط طرح‌واره تحلیلی درون‌یابی آماری جهانی<sup>۵</sup> GIS (Wu et al., 2002) داده‌ها را بازیابی می‌نماید. داده‌های MERRA-2 شامل ۵۷۶ نقطه طول جغرافیایی و ۳۶۱ نقطه عرض جغرافیایی و در تفکیک  $0.5^\circ \times 0.625^\circ$  بوده و از سال ۱۹۸۰ در دست می‌باشند.

این مدل انواع مختلف محصولات مناسب را برای کاربردهای تحلیل‌های بلندمدت جوی، آب و هوایی و اقلیمی در مقیاس جهانی تهیه می‌کند. این مدل اولین مدل باز تحلیل جهانی



الف

شکل ۱- الف) مرز سیاسی ایران و کشورهای همسایه و ایستگاه‌های انتخابی مطالعه حاضر (نگارنده، ب) ساختار کوهساری ایران (شبکه جهانی)

در این مطالعه آشکارسازی منشأ شکل‌گیری، گسترش افقی و ترابرد گردو خاک توسط تصویر مرئی سنجنده مودیس ماهواره آکوا<sup>۸</sup> انجام شد. همچنین به‌منظور بررسی گردو خاک داده‌های MERRA-2 دو عامل معرف گردو خاک شامل غلظت جرمی گردو خاک سطحی<sup>۹</sup> (در این متن به‌اختصار DU\_CON یا گردو خاک سطحی نامیده می‌شود) برحسب میکروگرم بر مترمکعب  $\mu g/m^3$  و چگالی جرم ستون گردو خاک<sup>۱۰</sup> (در این متن به‌اختصار DU\_COL یا گردو خاک در ستون هوا نامیده می‌شود) برحسب میلی‌گرم بر مترمربع  $mg/m^2$  انتخاب شد. علاوه بر آن عمق نوری هواویزها حاصل از داده MERRA-2 (AOD\_Me) و حاصل از ماهواره آکوا AOD\_Aq مورد مقایسه قرار گرفت. داده‌های یادشده از تارنمای (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>)، در میانگین ماهانه و فصلی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ تهیه شد. ابتدا توزیع فصلی سه متغیر انتخابی در گستره ایران ترسیم‌شده و سپس روند تغییرات خطی<sup>۱۱</sup> درون سالانه آن‌ها در ایستگاه‌هایی که بر اساس داده‌ها و یا تحقیق‌های پیشین بیشترین غلظت گردو خاک را

### عمق نوری هواویز AOD در سنجنده مودیس ماهواره آکوا

سنجنده مادیس بر روی ماهواره آکوا از سال ۲۰۰۲ نصب شده است (Kaufman et al., 2002). داده‌های تراز ۶۳ با تفکیک افقی یک درجه در دسترس است. ماهواره آکوا هرروز در ساعت مشخصی از یک منطقه روی کره زمین عبور می‌کند. زمان عبور آن از محدوده ایران، بین ۸ تا ۱۰:۴۰ UTC هست. این سنجنده محصولات متفاوتی دارد. یکی از محصولات مربوط به هواویزها عمق نوری آن‌ها AOD و یا ضخامت نوری هواویز<sup>۷</sup> AOT بر روی اقیانوس و خشکی است. کمیتی بدون بوده و نشان‌دهنده میزان تضعیف نور خورشید در جو به دلیل جذب و پراکندگی ناشی از ذره‌های جوی (هواویزها) هست (Wang and Christopher, 2003) بنابراین مقدار آن با توجه به غلظت و تعداد و اندازه هواویزها متفاوت است (Orgen., 1995). افزایش AOD به معنای غلظت، افزایش هواویزها در ستون هوا می‌باشد که در نتیجه آن تیرگی جو افزایش و دید افقی کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش مقدار AOD با کاهش دید افقی همراه بوده و رابطه عکس دارند.

7 - Aerosol Optical Thickness

8 - Aqua

9 - Dust surface mass concentration

10 - Dust column mass density

11 - Linear Fit

1 - Advanced Very High-Resolution Radiometer)

2 - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

3 - Multiangle Imaging Spectroradiometer

4 - Aerosol Robotic Network

5 - Global Statistical Interpolation

6 - level-3

روی ترکمنستان اندک است و نشان از گردو خاک ندارد. همچنین بیشینه‌ای را در شمال غرب عراق نشان می‌دهد در حالی که در سه متغیر دیگر در این مناطق بیشینه‌ای مشاهده نمی‌شود. در زابل، محدوده نیک شهر و خوربیانک و همچنین جنوب شرق عراق و شمال شرق عربستان هر چهار متغیر مشابه هستند.

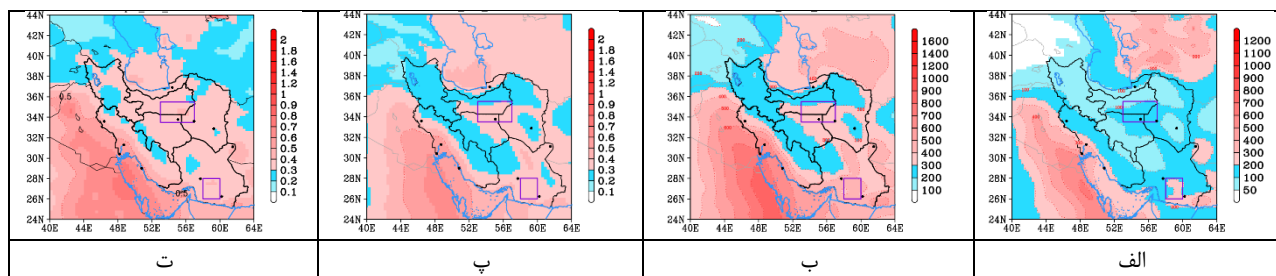
در فصل تابستان (شکل ۳) توزیع افقی هر چهار متغیر کم‌وبیش مشابه فصل بهار هستند (شکل ۲). مقدار گردو خاک سطحی، در برخی مناطق مانند خور بیابانک، نیک شهر، شمال غرب عراق، افزایش و در ترکمنستان کاهش یافته است (شکل ۲ و شکل ۳ الف). گردو خاک در ستون هوا در دوفصل بهار و تابستان از نظر مقدار نیز تقریباً مشابه است (شکل ۲ و شکل ۳ ب). عمق نوری هواویزها MERRA-2 در تابستان نسبت به بهار کاهش داشته است (شکل ۲ و شکل ۳ پ). عمق نوری هواویزهای آکوا در فصل تابستان بر روی عراق و عربستان نسبت به بهار مقادیر کمتری نشان می‌دهد (شکل ۲ و شکل ۳ ت). در فصل پاییز نیز توزیع افقی مشابه تابستان و بهار هست. در این فصل فعال بودن گردو خاک سطحی در عراق، ترکمنستان و زابل مشاهده می‌گردد (شکل ۴-الف)، گرچه مقدار آن نسبت به دوره گرم سال کاهش یافته است. در فصل پاییز نیز توزیع عمق نوری آکوا نسبت به متغیری‌های دیگر تفاوت دارد (شکل ۴-ت).

داشته‌اند؛ انجام شد. در انتها نیز سال‌هایی با بیشینه گردو خاک انتخاب شده و توزیع ماهانه آن در ایستگاه‌های مورد نظر بررسی گردید. توزیع افقی (پهنه‌بندی) داده‌های سنجش‌ازدور توسط نرم‌افزار Grads و نمودارها توسط نرم‌افزار OriginPro نسخه ۲۰۱۸ ترسیم شدند.

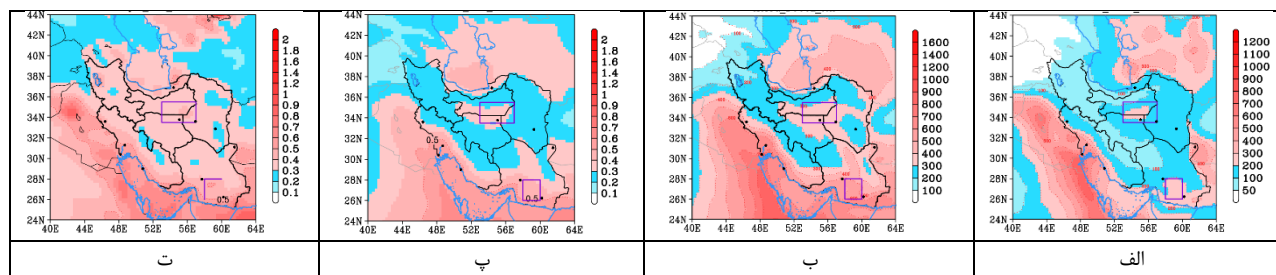
## نتایج و بحث

### توزیع مکانی و منشأ گردو خاک‌های ایران در میانگین دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۷

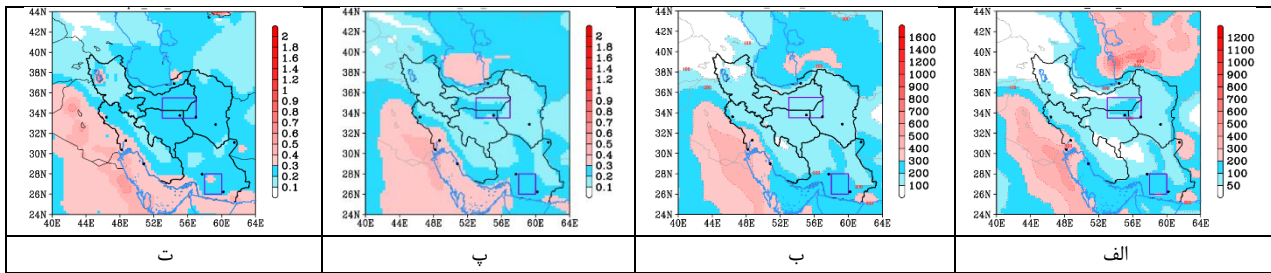
توزیع مکانی ساختار میانگین از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ مربوط به چهار متغیر شامل گردو خاک سطحی، ستون هوا و AOD\_Me و AOD\_Aq نشان می‌دهد که توزیع آن‌ها در ایران از ساختار کوهساری پیروی می‌نماید (شکل ۲). در فصل بهار، گردو خاک سطحی دومنشأ فرامرزی در جنوب شرق عراق، شمال شرق عربستان، ترکمنستان و افغانستان و دو منشأ گردو خاک داخلی در جنوب شرق (حداصل کهنوج و نیک شهر) را نشان می‌دهد (شکل ۲ الف). گردو خاک در ستون هوا و عمق نوری هواویزهای MERRA-2 نیز این ساختار را تایید می‌نماید (شکل ۲-ب و پ). عمق نوری آکوا ساختاری متفاوت تر نسبت به متغیری‌های MERRA-2 دارد. در الگوی آکوا، مقدار AOD بر



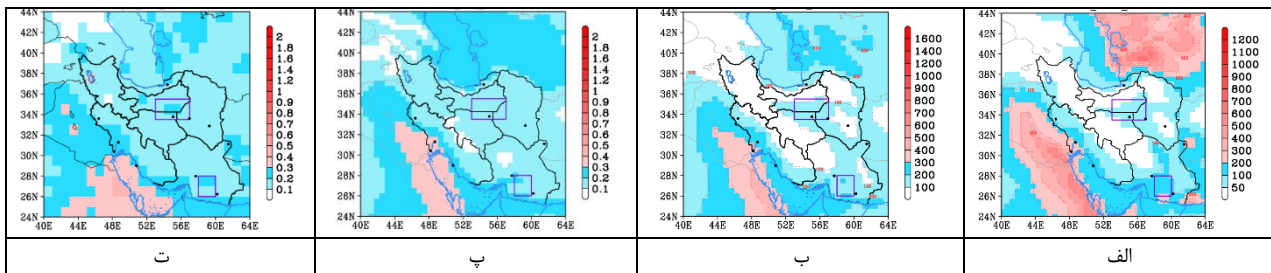
شکل ۲- توزیع افقی الف) گردو خاک سطحی  $\mu g/m^3$ ، ب) گردو خاک ستون عمودی  $mg/m^2$ ، پ) OD حاصل از MERRA-2 و ت) AOD حاصل از آکوا، فصل بهار سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷



شکل ۳- توزیع افقی الف) گردو خاک سطحی  $\mu g/m^3$ ، ب) گردو خاک ستون عمودی  $mg/m^2$ ، پ) OD حاصل از MERRA-2 و ت) AOD حاصل از آکوا، فصل تابستان سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷



شکل ۴- توزیع افقی الف) گردو خاک سطحی ( $\mu g/m^3$ )، ب) گردو خاک ستون عمودی ( $mg/m^2$ )، پ) OD حاصل از MERRA-2 و ت) AOD حاصل از آکوا، فصل پاییز سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷



شکل ۵- توزیع افقی الف) گردو خاک سطحی ( $\mu g/m^3$ )، ب) گردو خاک ستون عمودی ( $mg/m^2$ )، پ) OD حاصل از MERRA-2 و ت) AOD حاصل از آکوا، فصل زمستان سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷

گردو خاک در ستون هوا و در فصل بهار آبادان با  $70.9 (mg/m^2)$  عمق نوری هواویزهای MERRA-2 در فصل بهار آبادان با  $0.58$  و عمق نوری هواویزهای آکوا با  $0.64$  در فصل بهار بوشهر به دست آمده است (جدول ۱). گرچه سه متغیر حاصل از MERRA-2 بیشترین مقادیر را در آبادان نشان می‌دهند اما عمق نوری هواویز حاصل از آکوا بیشترین مقدار را در بوشهر دارد (جدول ۱). بنابراین می‌توان دریافت که عمق نوری هواویزهای حاصل از آکوا در مناطق ساحلی متأثر از هواویزهای آبی (نمک طعام) هست. از این رو عمق نوری هواویزها در این مناطق لزوماً نشان‌دهنده گردو خاک نبوده و در کاربرد آن‌ها باید دقت بیشتری نمود. در همه ایستگاه‌های انتخابی بیشینه مقدار متغیری‌های مورد نظر در دو فصل بهار و تابستان است به این ترتیب در گستره ایران زمین دو فصل بهار و تابستان به عنوان فصل‌های گردو خاک خیز معرفی می‌شوند. در آبادان گرچه گردو خاک در ستون هوا و عمق نوری هواویزها در فصل بهار بیشینه مقدار را داشته اما گردو خاک سطحی و عمق نوری آکوا در فصل تابستان بیشتر هستند. به نظر می‌رسد در آبادان در فصل تابستان گردو خاک محلی و در بهار گردو خاک‌های فرامرزی مؤثرتر هستند. همچنین در چهار ایستگاه انتخابی غرب کشور، گردو خاک سطحی در فصل تابستان بیشترین مقدار را داشته است که نشان‌دهنده شرایط محلی در تشدید گردو خاک در این منطقه هست. در حالی که بیشترین عمق نوری هواویزها در فصل بهار به دست آمده است که بر تأثیر گردو خاک فرامرزی در این فصل

افزایش عمق نوری هواویزها در غرب عراق در نزدیکی دریاچه‌ها و کهنوج دیده می‌شود. همچنین بر روی ارومیه نیز عمق نوری هواویزها افزایش دارد. در فصل پاییز افزایش عمق نوری هواویزها در مناطق مجاور منابع آبی، نشان می‌دهد که اثر هواویزهای آبی مؤثرتر بوده و لزوماً متأثر از گردو خاک نیست. در فصل زمستان نیز توزیع افقی مشابه فصل‌های دیگر است (شکل ۵). اما گردو خاک سطحی در زابل، نیک شهر نسبت به مناطق مجاور بیشتر است (شکل ۵ الف). تفاوت عمق نوری هواویز آکوا و سه متغیر MERRA-2 در فصل زمستان نیز به چشم می‌خورد (شکل ۵ ت). با مقایسه گردو خاک سطحی، گردو خاک ستون هوا، عمق نوری MERRA-2 در فصل‌های مختلف سال می‌توان دریافت که توزیع افقی آن‌ها مشابه بوده و سه کانون فرامرزی گردو خاک در عراق، افغانستان و ترکمنستان و همچنین دو کانون داخلی جنوب شرق (حدفاصل کهنوج و نیک شهر) و مرکز (خور بیابانک و طبس) مشاهده می‌گردد. گرچه مقدار آن‌ها در فصل‌های مختلف یکسان نبوده و در دوره گرم بیش از دوره سرد سال است. توزیع افقی عمق نوری هواویزهای آکوا نسبت به متغیری‌های MERRA-2 در هر چهار فصل تفاوت دارد. این تفاوت در دوره سرد سال در مجاورت منابع آبی مانند دریاچه‌های عراق و ارومیه، در منشأهای داخلی گردو خاک (نیک شهر و خور بیابانک) و در ترکمنستان بارزتر است. در میان ایستگاه‌های انتخابی، بیشترین غلظت گردو خاک سطحی در فصل تابستان و در آبادان با  $552 (\mu g/m^3)$ ، بیشترین

تأکید می‌نماید. در جنوب شرق (نیک شهر و کهنوج) به‌طور مشابه بیشترین مقدار متغیری‌های انتخابی در فصل تابستان است. اما در زابل گردو خاک سطحی در فصل تابستان و دیگر مؤلفه‌ها در فصل بهار بیشینه هستند. بنابراین اثر گردو خاک‌های فرامرزی در زابل در فصل بهار دیده می‌شود. این شرایط در مناطق مرکزی شامل خور و طبس و بیرجند نیز به چشم می‌خورد. در گرگان واقع در مناطق شمالی ایران بیشترین مقدار هر چهار متغیر در فصل تابستان ثبت شده است. به این ترتیب گرگان نسبت به دیگر

ایستگاه‌ها در توزیع زمانی گردو خاک تفاوت دارد. عمق نوری هواویزها، گردو خاک سطحی و گردو خاک در ستون هوا در تمامی ایستگاه‌ها به جز نیک شهر و کهنوج در فصل پاییز بیش از زمستان است. در نیک شهر و کهنوج گردو خاک سطحی در پاییز و زمستان مقادیر نزدیک به هم دارد که نشان می‌دهد در این منطقه در هر دو فصل شرایط محلی انتشار گردو خاک مشابه است.

جدول ۱- میانگین فصلی گردو خاک سطحی  $\mu g/m^3$ ، گردو خاک در ستون هوا  $mg/m^2$ ، عمق نوری هواویزها حاصل از MERRA-2 و عمق نوری هواویزها حاصل از آکوا در شهرهای انتخاب شده در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷

	متغیر	بوشهر	ایلام	آبادان	اهواز	زابل	نیک شهر	کهنوج	خور	طبس	بیرجند	گرگان
گرگان	گردو خاک سطحی	267	156	403	273	197	267	153	147	108	84	106
	ستون گردو خاک	633	410	709	622	425	482	419	347	325	255	331
	AOD مرا	0.53	0.36	0.58	0.53	0.37	0.39	0.38	0.33	0.31	0.26	0.36
	AOD آکوا	0.64	0.41	0.52	0.52	0.39	0.32	0.33	0.36	0.35	0.29	0.34
بوشهر	گردو خاک سطحی	378	203	552	422	365	272	165	220	122	111	141
	ستون گردو خاک	641	409	692	667	420	603	516	362	314	228	369
	AOD مرا	0.53	0.34	0.53	0.52	0.33	0.52	0.48	0.31	0.28	0.21	0.37
	AOD آکوا	0.58	0.42	0.54	0.49	0.39	0.43	0.43	0.37	0.37	0.28	0.38
ایلام	گردو خاک سطحی	177	111	321	228	219	171	96	113	71	56	129
	ستون گردو خاک	319	220	408	370	234	279	242	176	150	105	222
	AOD مرا	0.35	0.25	0.41	0.38	0.23	0.27	0.28	0.20	0.18	0.14	0.27
	AOD آکوا	0.37	0.29	0.36	0.32	0.26	0.24	0.26	0.25	0.24	0.21	0.22
آبادان	گردو خاک سطحی	141	98	315	189	154	175	97	70	56	40	79
	ستون گردو خاک	268	153	324	276	178	185	172	116	107	74	137
	AOD مرا	0.30	0.19	0.34	0.30	0.19	0.19	0.20	0.15	0.14	0.11	0.20
	AOD آکوا	0.32	0.17	0.24	0.26	0.22	0.16	0.17	0.18	0.18	0.15	0.16

### بررسی روند درون سالانه<sup>۱</sup>

در بررسی نواحی غربی ایران چهار ایستگاه اهواز، آبادان، بوشهر و ایلام انتخاب شد (شکل ۶). در هر چهار ایستگاه از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ غلظت گردو خاک سطحی روند تغییرات معناداری نداشته، در حالی که گردو خاک در ستون هوا روند کاهشی داشته است (شکل ۶ و جدول ۲). به این معنا که در دوره مورد مطالعه، از انتقال عمودی گردو خاک به لایه‌های بالاتر جو و تراپرد افقی گردو خاک از این کانون نیز کاسته شده است. با توجه به این که گردو خاک‌های فرامرزی در لایه‌های میانی جو به مناطق دورتر انتقال می‌یابند، گردو خاک ستون هوا را می‌توان معرف گردو خاک فرامرزی دانست به این ترتیب با توجه به روند کاهشی آن به نظر می‌رسد اثر بیابان‌های کشورهای همسایه در گردو خاک این

ایستگاه رو به کاهش است. روند تغییرات AOD\_Aq و AOD\_Mer در هر چهار ایستگاه بسیار ناچیز و به‌طور نامحسوسی کاهشی است (شکل ۶). AOD نیز کاهش تضعیف نور خورشید را در ستون هوا نشان می‌دهد. با توجه به روند کاهشی آن، غلظت هواویزها در ستون هوا کاهش یافته است که منجر به کاهش AOD شده است. با مقایسه غلظت گردو خاک و AOD می‌توان نتیجه گرفت، که روند تغییرات هواویزهای عوامل دیگری به جز گردو خاک منجر به تغییر AOD می‌شوند. روند کاهشی گردو خاک ستون هوا و AOD نشان‌دهنده کاهش گردو خاک در ستون هوا است. شیب کاهش گردو خاک ستون هوا در بوشهر با ۰/۰۲۷- از سه ایستگاه دیگر بیشتر است (شکل ۶-ب و جدول ۲) به این معنا که گردو خاک در جو بوشهر رو به کاهش است.



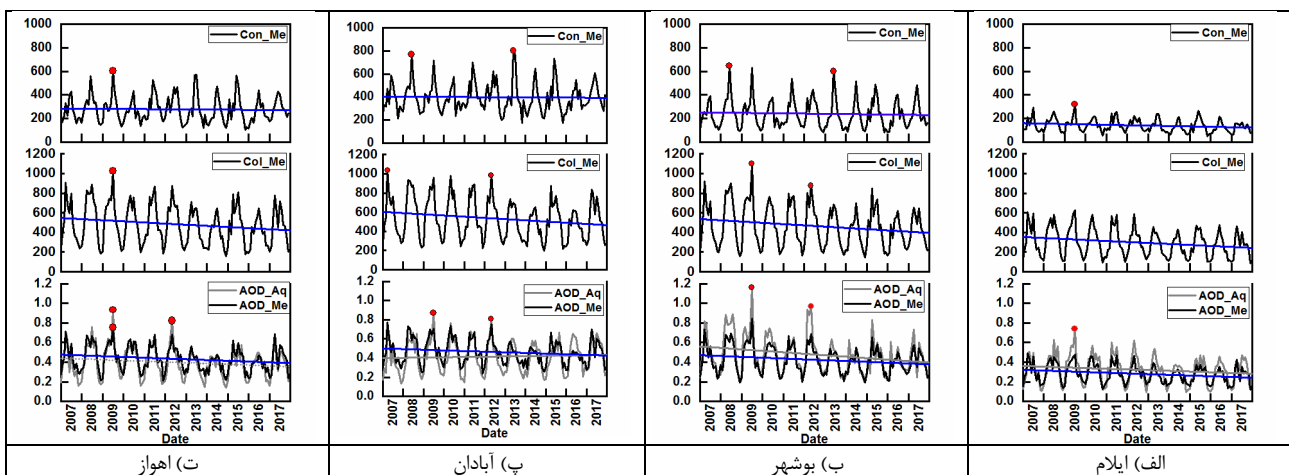
گردوخاک سطحی در سال ۲۰۰۸ و افزایش AOD در سال ۲۰۰۹ در آبادان و بوشهر مشترک است. بنابراین به نظر می‌رسد سامانه‌های گردوخاک در این دو سال استان‌های خوزستان و بوشهر را به‌طور مشابه تحت تأثیر قرار داده‌اند. در ایلام روند تغییر هر سه متغیر کاهش بوده است گرچه شدت کاهش متفاوت است (شکل ۶-الف). در ایلام بیشینه هر سه متغیر در سال ۲۰۰۹ مشاهده می‌شود، در سال ۲۰۰۸ تعداد تکرار افزایش AOD بیشتر است.

AOD در ایستگاه‌های جنوب غرب در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ افزایش قابل توجهی داشته است. گردوخاک ستون هوا و غلظت گردوخاک سطحی در این دو سال افزایش داشته است که نشان‌دهنده افزایش گردوخاک‌های فرامحلی و شدت گردوخاک است. در سال ۲۰۱۳ غلظت گردوخاک سطحی در سه ایستگاه اهواز و آبادان و بوشهر افزایش قابل توجه داشته است اما گردوخاک ستون هوا و AOD افزایشی خاصی نداشته‌اند بنابراین به نظر می‌رسد شرایط برای گردوخاک‌های محلی و یا گردوخاک‌های شدید فراهم‌تر بوده است. نکته دیگر آن‌که در اهواز و آبادان از سال ۲۰۱۳ کاهش AOD در ماه‌های سال تداوم بیشتری داشته است.

با مقایسه چهار ایستگاه غربی کشور (شکل ۶) می‌توان نتیجه گرفت در بوشهر و ایلام گردوخاک سطحی، گردوخاک و AOD در ستون هوا رو به کاهش رفته و در خوزستان کاهش گردوخاک در ستون هوا و افزایش هواویزها به‌جز گردوخاک در ستون هوا رخ می‌دهد. سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ به‌طور مشترک در هر سه ایستگاه بیشینه گردوخاک رخ داده است.

مقدار غلظت گردوخاک در آبادان حدود ۶۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده و نسبت به سه ایستگاه دیگر بیشتر است (شکل ۶-پ) غلظت گردوخاک سطحی در ایلام با حدود ۳۵۰ میکروگرم بر مترمکعب نسبت به ایستگاه‌های جنوب غرب تفاوت بارزی دارد (شکل ۶-الف). درحالی‌که بیشینه گردوخاک ستون هوا در بوشهر، اهواز و آبادان تقریباً مشابه است (۱۰۰۰ میکروگرم بر مترمربع). مقدار AOD\_Aq نسبت به AOD\_Me بیشتر است. بیشترین مقدار AOD\_Aq با ۱/۲ و AOD\_Me در بوشهر تعیین شده است (شکل ۶-ب). در آسمان بوشهر به دلیل مجاورت با خلیج فارس هواویز بیشتری وجود دارد به همین دلیل رابطه غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا و AOD در بوشهر نسبت به سه ایستگاه دیگر متفاوت است.

بیشینه مقدار متغیری‌های موردبررسی در سال‌های مشابه ای رخ نداده است (شکل ۶). به‌طور مثال در سال ۲۰۱۲، غلظت گردوخاک سطحی کمتر از سال ۲۰۱۳ بوده درحالی‌که بیشینه گردوخاک و AOD در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۲۰۱۳ بیشتر بوده‌است. به این معنا که اثر گردوخاک‌های فرامرزی در سال ۲۰۱۲ بیش از ۲۰۱۳ بوده است. در سال ۲۰۱۵ غلظت گردوخاک سطحی، ستون هوا و AOD هماهنگ باهم دیگر افزایش داشته‌اند که بیان‌گر اثر هردو گردوخاک‌های فرامرزی و محلی هست. در بوشهر روند غلظت گردوخاک سطحی بدون تغییر، ستون هوا و AOD کاهش هستند (شکل ۶-ب). بنابراین به نظر می‌رسد از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ غلظت گردوخاک و هواویزها در ستون هوا کاسته شده است. بیشینه غلظت گردوخاک سطحی در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ رخ داده است درحالی‌که ستون هوا و AOD، در سال ۲۰۰۹ مقداری بیشتر از ۲۰۰۸ دارند. بیشینه غلظت



شکل ۶- روند تغییرات درون سالانه غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا، AOD حاصل از آکوا و MERRA-2 در محدوده غرب کشور از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، (الف) ایلام، (ب) بوشهر، (پ) آبادان و (ت) اهواز

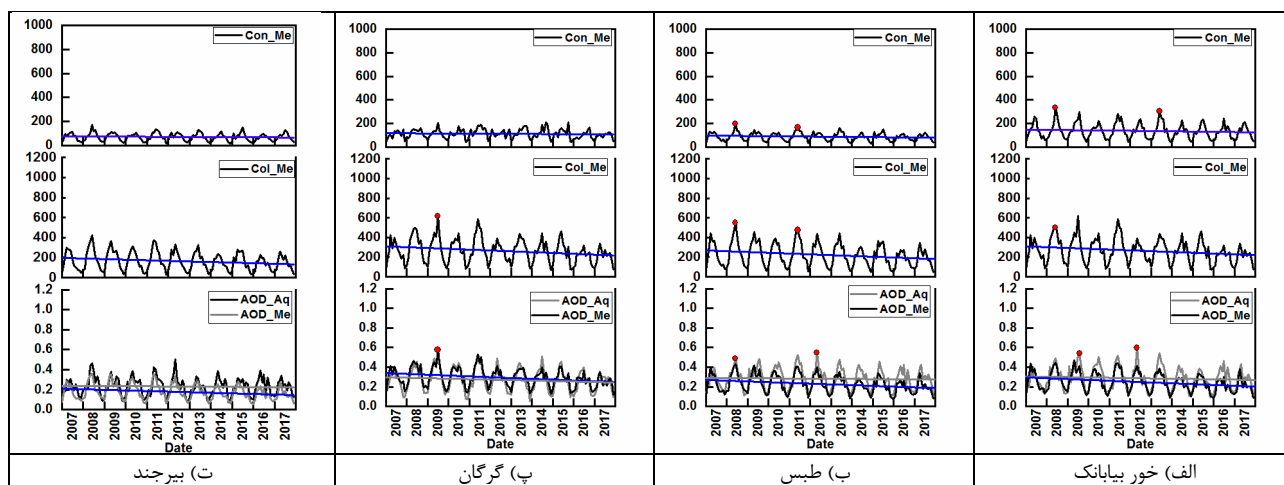
روند تغییرات ستون گردوخاک کاهش یافته است. AOD\_Me نسبت

در منطقه مرکزی ایران دو ایستگاه خور بیابانک و طبس

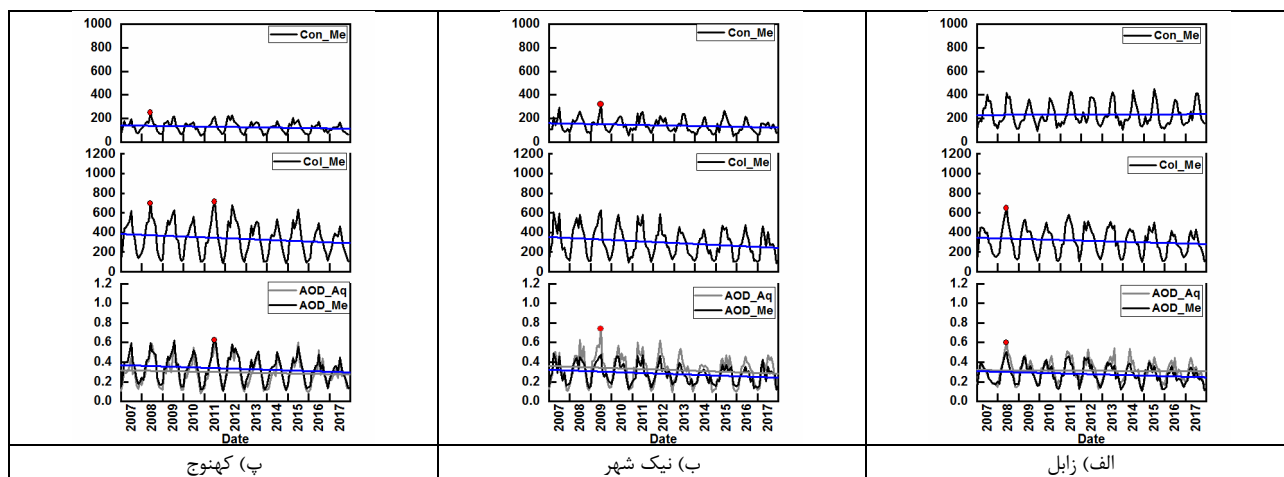
نمی‌دهد (شکل ۸-الف) اما به‌طور بسیار ناچیزی مثبت بوده و نسبت به دیگر ایستگاه‌ها متفاوت است. روند گردوخاک ستون هوا در زابل و نیک شهر و کهنوج کاهشی است (شکل ۸) اما شدت کاهش در زابل نسبت به دو ایستگاه دیگر کمتر است. روند تغییرات AOD نیز در هر سه ایستگاه، معنادار به دست نیامد. بیشینه ستون گردوخاک AOD در زابل در سال ۲۰۰۸، نیک شهر سال ۲۰۰۹ و کهنوج سال ۲۰۰۸ به دست آمد (شکل ۸-الف-پ). گرچه در کهنوج و نیک شهر بیشینه دیگری در سال ۲۰۱۵ رخ داده است. در بین سه ایستگاه یادشده روند تغییرات در زابل نسبت به دیگر ایستگاه‌ها متفاوت بوده همچنین غلظت گردوخاک سطحی بیشتر و مقدار AOD کمتر است. در نیک شهر و کهنوج به دلیل نزدیکی به منابع آبی غلظت AOD بیشتر از زابل است. گرچه هر سه ایستگاه در جنوب شرق ایران قرار دارند اما منشأ گردوخاک و مشخصه‌های گردوخاک آن‌ها متفاوت است.

به AOD\_aq روند کاهشی بیشتری را نشان می‌دهد (شکل ۷-الف). بیشینه غلظت گردوخاک سطحی در خور بیابانک در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ رخ داده است. در حالی که بیشینه ستون گردوخاک و AOD\_Aq در سال ۲۰۰۹ مشاهده می‌شود. در طبس غلظت گردوخاک سطحی نسبت به خور بیابانک کمتر است (شکل ۷-ب) و بیشینه هر سه متغیر در سال ۲۰۰۸ رخ داده است. همچنین در سال ۲۰۱۲ AOD\_Aq بیشینه قابل توجهی را در طبس و خور بیابانک نشان می‌دهد در حالی که متغیرهای دیگر افزایش قابل توجهی نشان نمی‌دهند.

در بخش شمال شرقی ایران نیز روند ستون گردوخاک کاهش بوده است (شکل ۷-پ و ت). به نظر می‌رسد گرگان به دلیل تأثیرپذیری از بیابان‌های ترکمنستان گردوخاک شدیدتری را تجربه می‌نماید. در زابل تغییرات غلظت گردوخاک روند معناداری نشان



شکل ۷- روند تغییرات درون سالانه غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا، AOD حاصل از آکوا و MERRA-2 در محدوده غرب کشور از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷. (الف) خور بیابانک، (ب) طبس، (پ) گرگان و (ت) بیرجند



شکل ۸- روند تغییرات درون سالانه غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا، AOD حاصل از آکوا و MERRA-2 در محدوده غرب کشور از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷. (الف) زابل، (ب) نیک شهر، (پ) کهنوج

در مطالعه حاضر روند کاهشی گردوخاک در ستون هوا در بیشتر ایستگاه‌های انتخابی به دست آمد. در مطالعه‌های پیشین

گردوخاک در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ انجام خواهد شد. با توجه به این‌که روند تغییرات در گردوخاک ستون هوا بارز و معنادار بود، در ادامه مقدار شیب خط روند در ایستگاه‌های مختلف بررسی می‌شود. بیشترین شیب روند تغییرات گردوخاک ستون هوا مربوط به ایستگاه بوشهر با ۰/۰۳۵- و آبادان و اهواز با ۰/۰۳۴- است (جدول ۲). هر سه ایستگاه در جنوب غرب ایران واقع شده‌اند. کمترین روند کاهش نیز مربوط به زابل (شرق) و بجنورد (شمال شرق) با ۰/۰۱۶- است. مقایسه روند کاهش گردوخاک ستون هوا در زابل با منشأ افغانستان و بجنورد با منشأ ترکمنستان نسبت به ایستگاه‌های جنوب غرب ایران نشان می‌دهد که شدت گردوخاک ناشی از عراق و عربستان رو به کاهش بوده و خوزستان و بوشهر روند بهبود دارد. در حالی که گردوخاک ناشی از دو کانون فرامرزی دیگر کاهش ضعیف‌تری دارند. در دیگر ایستگاه‌ها روند کاهشی بین ۰/۰۲۲- تا ۰/۰۲۷- است.

به روند افزایشی گردوخاک در منطقه خاورمیانه و به‌ویژه برخی شهرهای ایران اشاره شده است (Zarasvandi *et al.*, 2011; Mehrshahi and Nekunam, 2010; Shamschiri *et al.*, 2014) و در برخی موارد با تغییر بازه زمانی روند کاهشی به‌دست‌آمده است (Daniali *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد انتخاب بازه زمانی تاثیر مهمی در روند تغییرات گردوخاک دارد.

همچنین در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ به‌عنوان سال‌های مشترک با بیشینه غلظت گردوخاک سطحی و یا ستون گردوخاک تعیین شدند. در مطالعه پیشین (Daniali *et al.*, 2018) به افزایش فعالیت کانون‌های گردوخاک در عراق و شرق سوریه، گردوخاک در استان خوزستان در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ اشاره شده است که با نتیجه تحقیق حاضر هماهنگی دارد. در سال ۲۰۱۶ گرچه بیشینه گردوخاک کاهش یافته است اما توزیع آن در ماه‌های مختلف افزایش داشته است. در بخش پایانی بررسی ماهانه

جدول ۲- شیب خط روند گردوخاک در ستون هوا از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷

ایستگاه	غرب			مرکز			جنوب شرق		شمال	
	آبادان	بوشهر	اهواز	ایلام	خور بیابانک	طیس	زابل	نیک شهر		کهنوج
گردوخاک ستون هوا	-۰/۰۳۴	-۰/۰۳۵	-۰/۰۳۴	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۲	-۰/۰۲۲	-۰/۰۱۶	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۳	گرگان بیرجند
										-۰/۰۱۵

در ادامه مقادیر بیشینه هر یک از متغیرها در ایستگاه‌های انتخابی مقایسه شده و سپس ضریب همبستگی آن‌ها تعیین می‌گردد (جدول ۳). بیشترین غلظت گردوخاک سطحی در آبادان، بوشهر و اهواز به ترتیب با ۸۰۳، ۶۴۸ و ۶۰۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. غلظت گردوخاک سطحی در آبادان نسبت به اهواز و بوشهر تفاوت قابل توجهی دارد.

بیشینه غلظت گردوخاک سطحی با ۸۰۳ میکروگرم بر مترمکعب در آبادان و گردوخاک ستون هوا با ۱۱۰۰ میلی‌گرم بر مترمربع و AOD\_aq با ۱/۱۶ در بوشهر تعیین شد. در آبادان شرایط برای انتشار گردوخاک سطحی فراهم‌تر بوده در حالی که گردوخاک و هواویز بیشتری در هوای بوشهر وجود دارد. در جنوب غرب ایران شرایط محلی در گردوخاک‌های آبادان مؤثرتر از دو ایستگاه دیگر است. در بوشهر نیز با توجه به این‌که منطقه ساحلی است به نظر می‌رسد اثر هواویزهای با منشأ دریایی در افزایش غلظت AOD در ستون هوا مؤثرتر بوده است. در رتبه بعدی گردوخاک سطحی در زابل با ۴۵۳ میکروگرم بر مترمکعب هست. دیگر مناطق گردوخاک سطحی کمتر از ۳۷۸ میکروگرم بر مترمکعب دارند.

بیشترین AOD\_Me نیز در جنوب غرب در بوشهر، آبادان و اهواز به ترتیب با ۰/۸۵، ۰/۷۶ و ۰/۷۷ و جنوب شرق در نیک شهر با ۰/۷۷ به‌دست‌آمده است. دیگر ایستگاه‌ها مقداری کمتر از ۰/۶۲ داشته‌اند. هر چهار ایستگاه یادشده بیشینه گردوخاک در ستون هوا و AOD\_Me را داشته‌اند. AOD\_Aq نیز در بوشهر، اهواز، آبادان و ایلام به ترتیب با ۱/۱۶، ۰/۹۳ و ۰/۸۷ و ۰/۷۴ بیشترین مقادیر را نشان می‌دهد.

سه ایستگاه بوشهر، آبادان و اهواز بیشینه غلظت گردوخاک سطحی و ستون هوا را دارند علاوه بر آن AOD\_Me و AOD\_Aq نیز بیشترین مقادیر را در این مناطق دارند. بنابراین در میان تمامی مناطق ایران، جنوب غرب کشور بیشترین تأثیر را از

در ادامه مقادیر بیشینه هر یک از متغیرها در ایستگاه‌های انتخابی مقایسه شده و سپس ضریب همبستگی آن‌ها تعیین می‌گردد (جدول ۳). بیشترین غلظت گردوخاک سطحی در آبادان، بوشهر و اهواز به ترتیب با ۸۰۳، ۶۴۸ و ۶۰۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. غلظت گردوخاک سطحی در آبادان نسبت به اهواز و بوشهر تفاوت قابل توجهی دارد.

ایستگاه بوشهر، آبادان، اهواز واقع در جنوب غرب کشور و

ایستگاه‌های غربی و مرکزی بیشتر و در ایستگاه‌های جنوب شرق کمتر است. اما در مناطق جنوب شرق مانند نیک شهر و کهنوج مقدار AOD\_Me نسبت به AOD\_Aq بیشتر هست. کمترین غلظت گردوخاک سطحی با ۱۴۶ و کمترین گردوخاک ستون هوا با ۴۲۵، AOD\_Me با ۰/۳۶، AOD\_Aq با ۰/۴۶ در بجنورد واقع در شمال شرق کشور تعیین شده است.

گردوخاک می‌گیرد که در این میان تأثیر بیابان‌های کشورهای عراق و عربستان همراه با بادها شمال شرقی مشهود است. مقدار AOD و گردوخاک ستون هوا در بوشهر نسبت به آبادان و اهواز بیشتر است که نشان می‌دهد به دلیل ساحلی بودن منطقه، هواویزهای با منابع دریایی و افزایش سرعت باد ساحلی در افزایش آن دو مؤثر است. به‌طور کلی مقدار AOD\_Aq نسبت به AOD\_Me در

جدول ۳- ضریب همبستگی و بیشینه گردوخاک ستون هوا، عمق نوری آکوا و عمق نوری MERRA-2

ضریب همبستگی		بیشینه						
DU_Col AOD_Aq	DU_Con AOD_Aq	DU_Con DU_Col	AOD_Aq	AOD_Me	DU_Col	DU_Con	ایستگاه	-
۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۷۱	۰/۸۷	۰/۷۶	۱۰۳۶	۸۰۳	آبادان	غربی
۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۸۴	۱/۱۶	۰/۸۵	۱۱۰۰	۶۴۸	بوشهر	
۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۸۰	۰/۹۳	۰/۷۵	۱۰۲۸	۶۰۴	اهواز	
۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۵۰	۶۲۵	۳۲۲	ایلام	مرکزی
۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۶۰	۰/۴۷	۶۰۹	۳۳۴	خور بیابانک	
۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۶۰	۰/۴۳	۵۴۹	۲۹۰	طیس	
۰/۵۸	۰/۴۴	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۱۵	۶۴۶	۴۵۳	زابل	جنوب شرق
۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۶۹	۰/۷۷	۹۳۷	۳۷۸	نیک شهر	
۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۶۰	۰/۶۲	۷۱۳	۲۵۰	کهنوج	
۰/۶۱	۰/۷۰	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۵۸	۶۱۹	۲۱۴	گرگان	شمال و شمال شرق
۰/۸۴	۰/۸۲	۱/۸۰	۰/۴۶	۰/۳۶	۴۲۵	۱۴۶	بجنورد	
۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۸۶	۰/۵۱	۰/۳۶	۴۲۵	۱۷۲	بیرجند	

هستند، بهتر است در بررسی گردوخاک و یا مقایسه نتیجه مدل‌های عددی از گردوخاک سطحی یا گردوخاک در ستون هوا استفاده نمود. به‌ویژه در مناطق ساحلی که نمک طعام در افزایش AOD نسبت به گردوخاک مؤثرتر است. در ایستگاه‌های که به منابع آبی نزدیک بوده و یا در مجاورت آن قرار دارند، در استفاده از AOD به‌عنوان معرفی از گردوخاک باید دقت بیشتری نمود. زیرا به دلیل نزدیکی به منابع آبی هواویزهای با منشأ دریایی بیشتری در جو وجود دارد (Aloysius et al., 2009) لزوماً معرف گردوخاک نخواهند بود.

#### توزیع ماهانه گردوخاک‌های شدید

در هر شش ایستگاه انتخابی بیشترین گردوخاک سطحی در سال ۲۰۰۸ بوده و به ترتیب در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ کاهش یافته است (شکل ۹). تفاوت مقدار گردوخاک ستون هوا بین سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ در اهواز (جنوب غرب) و نیک شهر (جنوب شرق) بارزتر از دیگر ایستگاه است. در بیرجند و گرگان (شمال شرق و شمال)، خور بیابانک (جنوب البرز) و زابل (شرق) این اختلاف کمتر است.

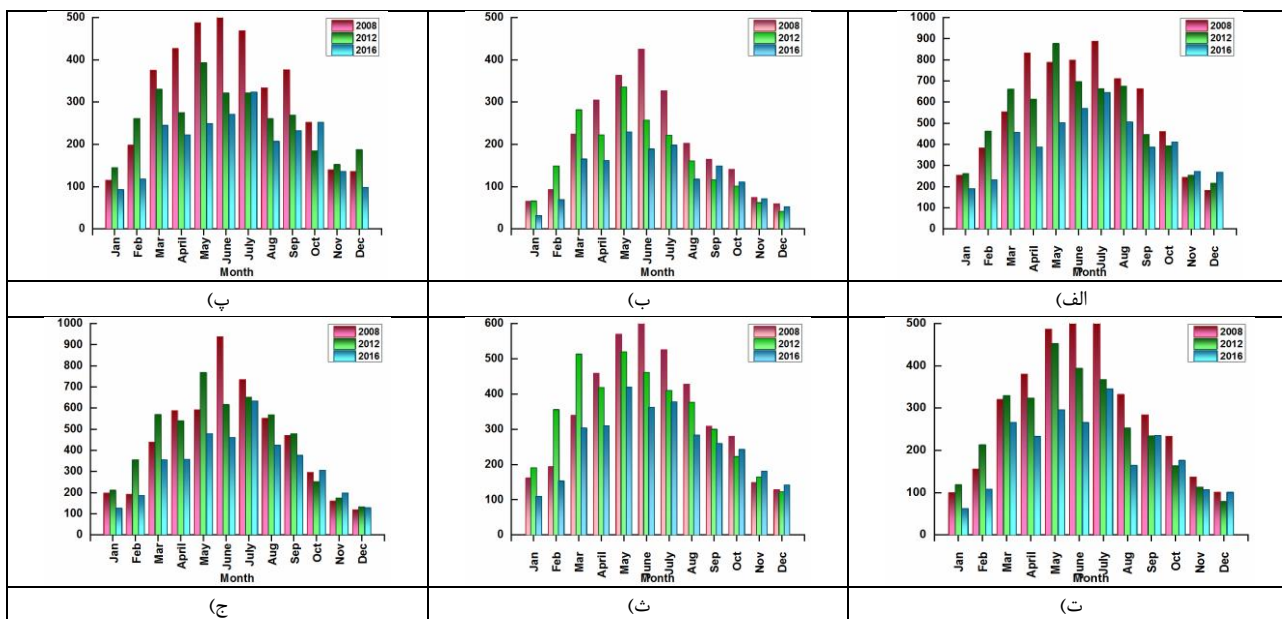
ضریب همبستگی بین هر چهار عامل یادشده که معرف گردوخاک هستند به دست آمد (جدول ۳). بیشترین ضریب همبستگی بین گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در طیس و کهنوج، خور بیابانک و نیک شهر با ۰/۹۴، ۰/۹۳ و ۰/۸۹، ۰/۸۹ به دست آمد. ایستگاه‌های یادشده در مناطق مرکزی و جنوب شرق ایران واقع شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده اثر شرایط سطحی و محلی در توسعه گردوخاک و انتقال آن به لایه‌های بالاتر جو باشد. کمترین ضریب همبستگی بین آن دو نیز با ۰/۶ مربوط به زابل است. در زابل گردوخاک سطحی قابل توجه بوده در حالی که در ستون هوا شدت گردوخاک کمتری نسبت به کهنوج داشت. بنابراین به نظر می‌رسد در این منطقه گردوخاک سطحی به لایه‌های بالاتر جو کمتر انتقال می‌یابد.

همچنین در منطقه مرکزی، خور بیابانک بیشترین غلظت گردوخاک سطحی، چگالی ستون هوا و AOD را نشان می‌دهد. تفاوت آن با دو ایستگاه دیگر بارزتر است. اما هر سه متغیر نسبت به نواحی غربی مقدار کمتری دارند.

با توجه به این که AOD، در منطقه به‌تنهایی متأثر از گردوخاک نبوده و هواویزهای دیگر نیز در افزایش آن مؤثر

است. در سال ۲۰۰۸ از سپتامبر به نوامبر کاهش قابل توجهی در گردوخاک رخ داده است در حالی که در سال ۲۰۱۶ گردوخاک سپتامبر و اکتبر تقریباً مشابه هستند که نشان می‌دهد گردوخاک به سمت پاییز انتقال یافته است. اما تحقیق حاضر نشان می‌دهد غلظت گردوخاک رو به کاهش بوده و توزیع آن در دوره گرم سال افزایش یافته است.

اما توزیع گردوخاک در ماه‌های مختلف افزایش یافته است. همچنین بیشینه گردوخاک در ستون هوا در سال‌های مختلف در یک ماه مشخص رخ نمی‌دهد. در اهواز بیشترین گردوخاک ستون هوا در سال ۲۰۰۸ در آوریل و جولای، در سال ۲۰۱۲ در ماه مه و در سال ۲۰۱۶ در ماه جولای تعیین شده است (شکل ۹-الف). روند تغییرات ماهانه گردوخاک در سال ۲۰۱۶، نشان می‌دهد که توزیع گردوخاک در فصل بهار و تابستان به هم نزدیک تر شده



شکل ۹- توزیع ماهانه گردوخاک سطحی در گردوخاک‌های شدید، در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵: (الف) اهواز، (ب) بیرجند، (پ) گرگان، (ت) خور بیابانک، (ث) زابل و (ج) نیک شهر

### نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر بررسی بلندمدت گردوخاک از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ در گستره ایران زمین بود که به این منظور با استفاده از داده‌های ماهواره چهار عامل معرف گردوخاک غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا، عمق نوری ماهواره آکوا و عمق نوری MERRA-2 انتخاب شده و توزیع مکانی، زمانی، روند تغییرات و ضریب همبستگی آن‌ها تحلیل شد.

توزیع مکانی گردوخاک سطحی سه کانون گردوخاک فرامرزی در غرب، شرق و شمال شرق ایران را نشان می‌دهد. کانون اول در جنوب شرق عراق، کویت و شمال شرق عربستان بیشترین غلظت گردوخاک سطحی را داشته و بیشترین تأثیر را در جنوب غرب ایران به‌ویژه استان خوزستان دارند. مطالعه‌های پیشین نیز به این مناطق به‌عنوان منشأ گردوخاک‌های غرب ایران اشاره نموده‌اند. (Trigo *et al.*, 1999; Falahzazouli *et al.*, 2014; Prospero 2002, Goudie and Middleton; 2006). کانون دوم ترکمنستان بوده که گردوخاک‌های شمال شرق ایران را به دنبال دارد. پیش‌تر به بیابان قره قوم به‌عنوان منشأ گردوخاک‌های

دریای خزر و شمال شرق ایران اشاره شده بود (Kordjezi *et al.*, 2017). غلظت گردوخاک سطحی در مناطق مرکزی عراق و ترکمنستان مشابه است. مناطق شمال شرق ایران تأثیر کمتری از گردوخاک ترکمنستان می‌گیرند. گرگان نسبت به بجنورد به دلیل تأثیرپذیری از بیابان‌های ترکمنستان گردوخاک شدیدتری را تجربه می‌نماید. سومین کانون در شرق ایران و غرب افغانستان تعیین شد که در مطالعه‌های پیشین ذکر شده است (Ginoux *et al.*, 2012; Bayat and Khalesi Fard, 2018; Abdi Vishkaee *et al.*, 2011).

علاوه بر کانون‌های فرامرزی، دو کانون داخلی یکی در بیابان‌های مرکزی در محدوده دشت کویر (خور بیابانک) و دیگری در جنوب شرق در محدوده نیک شهر و کهنوج تعیین شد که در تحقیق‌های دیگر به آن‌ها اشاره نشده است. در منطقه دشت کویر (خور بیابانک) بیشینه غلظت گردوخاک سطحی، چگالی ستون هوا و AOD دیده می‌شود که نشان از محلی بودن گردوخاک دارد. در نیک شهر نیز انتقال گردوخاک از مناطق اطراف منجر به افزایش گردوخاک در ستون هوا شده و تأثیر شرایط محلی را

در افزایش گردو خاک منطقه نشان می‌دهد.

به‌طور کلی ساختار AOD\_Aq با ساختار AOD\_Me، گردو خاک سطحی و ستون هوا تفاوت دارد. این تفاوت در عراق، کویت و ترکمنستان و خوزستان بارزتر به نظر می‌رسد فعالیت‌های صنعتی به‌ویژه پالایشگاه‌های نفتی می‌توانند عامل مهمی در تفاوت ساختار AOD و گردو خاک باشند.

مقدار AOD\_Aq نسبت به AOD\_Me در ایستگاه‌های غربی و مرکزی بیشتر و در ایستگاه‌های جنوب شرق کمتر است. سه ایستگاه بوشهر، آبادان و اهواز بیشینه غلظت گردو خاک سطحی و ستون هوا AOD\_Me و AOD\_Aq را دارند، در آبادان بیشترین غلظت گردو خاک سطحی با  $552 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در فصل تابستان، بیشترین گردو خاک در ستون هوا  $709 \text{ mg}/\text{m}^2$  و عمق نوری هواویزهای MERRA-2 با  $(0/58)$  در فصل بهار به دست آمد. بنابراین در میان تمامی مناطق ایران، جنوب غرب کشور بیشترین تأثیر را از گردو خاک می‌گیرد (منطبق با نتیجه Dadashi-Roudbari et al., 2020). مقدار AOD آکوا در بوشهر در فصل بهار  $0/66$  بوده و نسبت به آبادان و اهواز بیشتر است که علت آن را می‌توان ساحلی بودن منطقه، هواویزهای با منابع دریایی و افزایش سرعت باد ساحلی دانست (بر اساس تحقیق Song et al., 2009 و Orgen, 1995). به نظر می‌رسد در آبادان شرایط برای انتشار گردو خاک سطحی فراهم‌تر بوده در حالی گردو خاک و هواویز بیشتری در هوای بوشهر وجود دارد.

بیشترین ضریب همبستگی بین گردو خاک سطحی و گردو خاک ستون هوا در طبس و کهنوج، خور بیابانک و نیک شهر با  $0/94$  و  $0/93$ ،  $0/89$ ،  $0/89$  به دست آمد. ایستگاه‌های یادشده در مناطق مرکزی و جنوب شرق ایران واقع شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده اثر شرایط سطحی و محلی در توسعه گردو خاک و انتقال آن به لایه‌های بالاتر جو باشد.

در توزیع مکانی هر چهار عامل غلظت گردو خاک سطحی، ستون عمودی جو، AOD حاصل از MERRA-2 و آکوا از ساختار کوهساری ایران پیروی می‌نماید نتیجه حاصل با بررسی اثر زاگرس در گردو خاک‌های ایران هماهنگی دارد (Sahraei et al., 2020).

از میان متغیرهای مورد بررسی گردو خاک ستون هوا در تمامی ایستگاه‌های انتخابی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ روند تغییرات معناداری داشته و سه متغیر دیگر روند تغییرات بارزی نشان نمی‌دهند. بیشترین شیب روند تغییرات گردو خاک ستون هوا مربوط به بوشهر با  $0/35-$  و آبادان و اهواز با ضریب  $0/34-$  بوده است که نشان از کاهش بودن روند آن دارد. در مطالعه‌های دیگر با انتخاب متفاوت بازه‌های زمانی در بررسی AOD، روند افزایشی، کاهش یا بدون تغییر به دست آمده است (Zaravandi et al., 2011; Mehrshahi and Nekunam., 2010; Shamschiri et al., 2012; Daniali et al., 2018; Nabavi et al., 2012). به نظر می‌رسد انتخاب بازه زمانی تأثیر مهمی در روند تغییرات گردو خاک دارد. مقایسه روند کاهش گردو خاک ستون هوا با منشأ افغانستان و ترکمنستان نسبت به غرب ایران نشان می‌دهد که شدت گردو خاک ناشی از عراق و عربستان رو به کاهش بوده و هوای استان‌های خوزستان و بوشهر رو به بهبود است. گرچه روند تغییرات گردو خاک در ستون هوا کاهش یافته اما توزیع آن در ماه‌های مختلف سال به هم نزدیک‌تر شده است. به این معنا که از شدت گردو خاک کاسته شده اما دوره زمانی گردو خاک افزایش یافته است. این تغییرات به‌ویژه در اترتابستان و اوایل پاییز مشهودتر است.

در توزیع زمانی به نظر می‌رسد در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ شدیدترین و فراگیرترین گردو خاک‌ها در گستره ایران رخ داده است. بیشینه AOD در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ نیز در مطالعه‌های پیشین اشاره شده است (Shamschiri, et al., 2014; Zaravandi et al., 2011; Bertina et al., 2014; Miri, 2012). در اهواز بیشترین گردو خاک ستون هوا در سال ۲۰۰۸ در آوریل و جولای، در سال ۲۰۱۲ در ماه مه و در سال ۲۰۱۶ در ماه جولای تعیین شد. در مطالعه‌های پیشین بیشینه میانگین بلندمدت توزیع ماهانه AOD در جنوب غرب در ماه ژوئیه و جولای تعیین شده بود (Shamschiri, et al., 2016; Namdar et al., 2014). اما مطالعه حاضر نشان می‌دهد در سال‌های مختلف بیشینه گردو خاک توزیع ماهانه گردو خاک تغییر می‌نماید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Alam, K., Qureshi, S., and Blaschke, T. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric environment*, 45(27), 4641-4651
- Abdi Vishkaee, F., Flamant, C., Cuesta, J., Flamant, P., and Khalesifard, H. R. (2011). Multiplatform observations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D5).
- Al-Jumaily, K. J., and Ibrahim, M. K. (2013). Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq. *Int. J. Energ. Environ*, 4(5), 851-858.

- Alijani, B. and Raisipour, K. (2011). Statistical analysis, Synoptic of dust storms in south east of Iran (Case study: Sistan region), *Studies Geographical Drylands*, 2(5), 107-132. (In Farsi)
- Aloysius, M., Mohan, M., Suresh Babu, S., Parameswaran, K., and Krishna Moorthy, K. (2009). Validation of MODIS derived aerosol optical depth and an investigation on aerosol transport over the South East Arabian Sea during ARMEX-II. In *Annales Geophysicae* (Vol. 27, No. 6, pp. 2285-2296). Copernicus GmbH
- Arjmand, M., Rashki, A. and Sergazi H. (2018). Spatial and temporal monitoring of dust phenomena using satellite data in southeastern Iran, with emphasis on Jazmourian region. *Geographical Information Journal* (Sepehr), 27 (106), 153-168. (In Farsi)
- Asadi Oskouie, E., Negah, S. and Mojtahedi, F.(2013). Transported and extended Mechanism of dust in the South West Coast of the Caspian Sea. In: *Proceedings of Second International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling*, May 2013, Kerman University of Technology and Advanced Technology, Kerman, Iran. (In Farsi)
- Bahiraei, H., Ayazi, M. H., Rajaei, M. and Ahmadi, H. (2011). Synoptic Statistical Analysis of Dust Occurrence in Ilam Province. *Journal of New Attitudes in Human Geography*, 4, 47-67. (In Farsi)
- Bayat, F. and KhalesiFard, H.R. (2018). Evaluation of storm events over the Persian Gulf and Oman Sea using the CALIPSO Space Liar measurements. In: *Proceedings of 24th Optics and Photonics Conference*, Feb 2018. University of Shahrkord. Shahrkord, Iran. (In Farsi)
- Bertina, H., Sayyad, G.A., Matinfar, H.R. and Hojjat, S. (2014). Temporal-spatial distribution of atmospheric suspended particles in western Iran based on MODIS spectral data *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 4(21).119-137 (In Farsi)
- Boroughani, M., Moradi, H. and Zanganeh, A. (2016). Analysis of Dust Occurrence and Its Zoning in Khorasan Razavi Province, *Journal of Environmental Erosion Research*, 5(4), 45- 57. (In Farsi)
- Buchani, M.H. and Fazeli, D. (2012). Environmental Challenges and Their Consequences and Its Consequences in Western Iran. *Quarterly Journal of Policy Making*, 2 (3), 125-145. (In Farsi)
- Dadashi-Roudbari, A., Ahmadi, M., & Shakiba, A. (2020). Seasonal Study of Dust Deposition and Fine Particles (PM<sub>2.5</sub>) in Iran Using MERRA-2 Data. *Iranian Journal of Geophysics*, 43-59.
- Daniali, M., Mohammadnejad, B.A. and Karimi, N. (2018). Spatial Analysis of Khuzestan Province Dust Satellite Images. Remote sensing and GIS in natural resources. 9 (1), 58-73. (In Farsi)
- Dehdarzadeh, M. and Salahi, b. (2010). Statistical and Analytical Investigation of Synoptic Patterns of Dust formation in Fars Province from 1993 to 2002, In: *Proceedings of the Second National Conference on Wind Erosion and Dust Storms*, 27-28 Feb., Yazd University. Yazd, Iran. (In Farsi)
- Dostan, R. (2017). Spatial Analysis of Dust in Northeast Iran, *Journal of Geography and Regional Development*, 14(2), 67-90. (In Farsi)
- Draxler, R. R., Gillette, D. A., Kirkpatrick, J. S., & Heller, J. (2001). Estimating PM<sub>10</sub> air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. *Atmospheric Environment*, 35(25), 4315-4330.
- Eltahan, M., Magooda, M., & Alahmadi, S. (2019). Spatiotemporal Assessment of SO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> and AOD from over MENA Domain from 2006-2016 Using Multiple Satellite and Reanalysis MERRA-2 Data. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7(04), 156.
- Emadi, L., Pouyanfar, N. and Samanipour, A. (2016). Investigation of Local dust Production Process in source (Case Study of Yazed Airport Synoptic Stage), In: *Proceedings of 5th Regional Climate Change Conference*, Feb 2016, Tehran. Iran. (In Farsi)
- Falahzazouli, M., Vafaiejnejad, A., Kheirkhahzarakesh, M. M. and Ahmadidehka F. (2014). Synoptic Monitoring and Analysis of Dust Phenomena Using Remote Sensing and GIS Case Study: Dust June 18, 2012 . *Geospatial Information Research* (Sepehr). 23 (91), 70-79. (In Farsi)
- Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3).
- Goodarzi, M., Hosseini, S. A. and Ahmadi, H. (2018). Investigation of Time Distribution of Days Associated with Dust in West and Southwestern Iran. *Iranian Watershed Management Science*, 11(39), 1-10. (In Farsi)
- Goudie, A. S., and Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
- Grousset, F. E., & Biscaye, P. E. (2005). Tracing dust sources and transport patterns using Sr, Nd and Pb isotopes. *Chemical Geology*, 222(3-4), 149-167.
- Hamidianpour, M., Mofidi, A., Najar, Saliqah, M. and Alijani, B. (2018). The Role of Topography in Simulating Sistan Wind Structure. *Geographical Sciences Applied Research*, 43(16), 25-53. (In Farsi)
- He, L., Lin, A., Chen, X., Zhou, H., Zhou, Z., & He, P. (2019). Assessment of MERRA-2 surface PM<sub>2.5</sub> over the Yangtze River Basin: Ground-based verification, spatiotemporal distribution and meteorological dependence. *Remote Sensing*, 11(4), 460.
- Hosseinisadr, A., Mohammadi, G.H., Hosseinisadr, M. (2014). Analysis of Meteorological Phenomena in Tabriz Meteorological Station during the Period 1951 to 2011, *Niwar*, 84, 3-10. (In Farsi)
- Kaskaoutis, D. G., Kharol, S. K., Sinha, P. R., Singh, R. P., Badarinath, K. V. S., Mehdi, W., & Sharma, M. (2011). Contrasting aerosol trends over South Asia during the last decade based on MODIS observations. *Atmospheric Measurement*

- Techniques Discussions, 4(4), 5275-5323.
- Karami, F. (2009). Convergence of pressure systems and dust storms in Khuzestan province, MA dissertation, Department of Geography, Razi University. Iran. (In Farsi)
- Kaufman, Y. J., Tanré, D., & Boucher, O. (2002). A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, 419(6903), 215
- Khushkish, A., Alijani, B. and Hejazizadeh, Z. (2011). Synoptic Analysis of Dust in Lorestan Province. *Journal of Applied Geosciences Research*, 21, 91-110. (In Farsi)
- Klingmüller, K., Pozzer, A., Metzger, S., Stenchikov, G. L., & Lelieveld, J. (2016). Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 5063–5073.
- Kishcha, P., Wang, S. H., Lin, N. H., Da Silva, A., Lin, T. H., Lin, P. H., ... & Alpert, P. (2018). Differentiating between local and remote pollution over Taiwan.
- Koçak, M., Nimmo, M., Kubilay, N., & Herut, B. (2004a). Spatio-temporal aerosol trace metal concentrations and sources in the Levantine Basin of the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 38(14), 2133-2144.
- Koçak, M., Kubilay, N., & Mihalopoulos, N. (2004b). Ionic composition of lower tropospheric aerosols at a Northeastern Mediterranean site: implications regarding sources and long-range transport. *Atmospheric Environment*, 38(14), 2067-2077.
- Kordjezi, M., Dadashi, N. and Rahmanna, M. (2017). Investigating the Factors Causing Dust Occurrence in Golestan Province. In: Proceedings of Second National Conference on Coastal Water Resources Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 12 Oct, Sari, Iran. (In Farsi)
- Koster, R. D., McCarty, W., Coy, L., Gelaro, R., Huang, A., Merkova, D. ... & Wargan, K. (2016). MERRA-2 input observations: Summary and assessment.
- Kubilay, N., and Saydam, A. C. (1995). Trace elements in atmospheric particulates over the Eastern Mediterranean; concentrations, sources, and temporal variability. *Atmospheric Environment*, 29(17), 2289-2300.
- Lashkari, Ha, Keikhosravi, Gh, (2008), Synoptic Statistical Analysis of Dust Storms in Khorasan Razavi Province, 1993-2005, *Journal of Natural Geography Research*, No. 65, pp. 17-33.
- Li, H.; Xiong, L.; & D. Zhuang, 2003. Research Progress and Future Development of Remote Sensing Monitoring on Sand-dust Disaster in China, *Progress In Geography*, 22(1), 45- 52.
- Li, X., and S. Weidong., (2009). Dust storm detection based on MODIS data. *Liaoning Technology University*, No. 47, Zhonghua Road, Fuxin, Liaoning. -172.17.
- Luo, 2003 Luo, J.; Fan, Yida; & P. Shi, 2003. Information- comparable method of monitoring the intensity of dust storm by multi-source data of remote sensing, *Journal of Natural Disasters*, 12(2), 28-34.
- Mahanama, S. P., Koster, R. D., Walker, G. K., Takacs, L. L., Reichle, R. H., De Lannoy, G., ... & Suarez, M. J. (2015). Land boundary conditions for the goddard earth observing system model version 5 (GEOS-5) climate modeling system: Recent updates and data file descriptions
- Mallet, M., Solmon, F., Roblou, L., Peers, F., Turquety, S., Waquet, F.,... & Torres, O. (2017). Simulation of optical properties and direct and indirect radiative effects of smoke aerosols over marine stratocumulus clouds during summer 2008 in California with the regional climate model regcm. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(19), 10-312.
- Mehrshahi, D. and Nekunam, Z. (2010). Statistical Study of Dust Phenomena and Pattern Analysis Dusty winds in Sabzevar city. *Geography*, 22, 83 -104. (In Farsi)
- Miri, M. (2012). Statistical-Synoptic Analysis of Dust Occurrence in the Western Half of Iran, End M.Sc. Letter, Faculty of Geography, University of Tehran. (In Farsi)
- Moridnejad, A., Karimi. N. and Ariya, P.A. (2015). A new inventory for Middle East dust source points. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(9), 582-592. (In Farsi)
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., & Bacmeister, J. (2014). Development of the GEOS-5 Atmospheric General Circulation Model: Evolution from MERRA to MERRA2.
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., Bacmeister, J., Song, I. S., & Eichmann, A. (2012). The GEOS-5 atmospheric general circulation model: Mean climate and development from MERRA to Fortuna.
- Nabavi, Saeid., Morad, HR., & Shrifikia, M. (2019). Evaluation of dust storm temporal distribution and the relation of the effective factors with the frequency of occurrence in Khuzestan Province from 2000 to 2015 *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 111(28), 191-203. (In Farsi)
- Namdari, S., Valizade, K., Rashki, A. and Sarraf, B.S. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over Western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 191-199. (In Farsi)
- Ogren, J. A. (1995). A systematic approach to in situ observations of aerosol properties. *Aerosol forcing of climate*, 215-226.
- Omidvar, K. and Nekunam. Z. (2009). Application of windrose and winddust in dust analysis and Determination of Seasonal patterns of Winds with this Phenomenon: A Case Study (Sabzevar City). *Natural Geography Research*, 76, 85 – 10. (In Farsi)
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1), 2-1.



- Pirbavaghar, M., Rajabpourahmati, M., Darvishsefat, A. A. and Ostavari, A. (2014). Assessment Remote for GIS Managers. Aronov A. Publications by University of Tehran. (In Farsi)
- Prasad, A. K., Singh, S., Chauhan, S. S., Srivastava, M. K., Singh, R. P., & Singh, R. (2007). Aerosol radiative forcing over the Indo-Gangetic plains during major dust storms. *Atmospheric Environment*, 41(29), 6289-6301.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. D. W., Flamant, C., & Vishkaee, F. A. (2014). Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Natural hazards*, 71(1), 563-585.
- Rashki, A. and Mirshekar, R. (2011). Investigation of Temporal Changes in Dust Particle Concentration in Zahedan Urban Space, In: Proceedings of Second National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, 17 Feb 2011, Yazd University, Yazd, Iran. (In Farsi)
- Rashno, A.I. (2009). Dust Occurrence in Khuzestan Province, Precipitation Quarterly, Internal Journal of Khuzestan Meteorological Office, 16-23. (In Farsi)
- Rizza, U., Mancinelli, E., Morichetti, M., Passerini, G., & Virgili, S. (2019). Aerosol Optical Depth of the Main Aerosol Species over Italian Cities Based on the NASA/MERRA-2 Model Reanalysis. *Atmosphere*, 10(11), 709.
- Sahraei, J. Mobarak Hassan, E., Mohamadi, N., (2020). The Effect of Zagros Mountain Range on Dust Storm using WRF/Chem Model, *Geography and Environmental Hazards*, 32(8): DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v8i4.82034>, (In Farsi)
- Shahkoui, E. and Rahmani, T. (2019). Aerosol Risk Assessment in Northwest Iran, *Journal of Spatial Planning (Geography)*, 9(2), 57-80. (In Farsi)
- Shamshiri, S., Jafari, R., Soltani, S., and Ramazani, N. (2014). Detection and Zonal of Kermanshah Province dust Using MODIS Satellite Images, *Applied Ecology*. 3(8). 29-41. (In Farsi)
- Song, C. K., Ho, C. H., Park, R. J., Choi, Y. S., Kim, J., Gong, D. Y., & Lee, Y. B. (2009). Spatial and seasonal variations of surface PM<sub>10</sub> concentration and MODIS aerosol optical depth over China. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 45(1), 33-43.
- Trigo, I. F.; Davies, T. D.; & G. R. Bigg, 1999. Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region, *J. Clim*, 12, 1685-1696.
- Wang, J., and Christopher, S. A. (2003). Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM<sub>2.5</sub> mass: Implications for air quality studies. *Geophysical research letters*, 30(21).
- Wu, W. S., Purser, R. J., & Parrish, D. F. (2002). Three-dimensional variational analysis with spatially inhomogeneous covariances. *Monthly Weather Review*, 130(12), 2905-2916.
- Zahrabi, H. and Ezzatian, V. (2015). Case Study of aerosol in Isfahan Province Using Satellite and observation Data. In: Proceedings of First International Conference on Iranian Natural Hazards and Environmental Crises strategies and Challenges, 14 Sep, Ardebil, Iran (In Farsi)
- Zarasvandi, A., Carranza, E., Moore, F. and Rastmanesh, F. (2011). Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 111(3), 138-151. (In Farsi)
- Zhang, D. F., Zakey, A. S., Gao, X. J., Giorgi, F., & Solmon, F. (2009). Simulation of dust aerosol and its regional feedbacks over East Asia using a regional climate model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(4), 1095-1110.