



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

۵۳-۸۰

مقاله پژوهشی

بارسازی گردوخاک منطقه غرب و جنوب غربی ایران با روش‌های سنجش از دور و مدل‌های پیش‌بینی عددی

راضیه پیله وران^۱، زهرا راستگو^۲، سارا کرمی^{۳*} و بهروز مرادپور^۱

^۱گروه اقلیم شناسی، پیش بینی هواشناسی لرستان، خرم آباد، ایران

^۲گروه هواشناسی، توسعه و پیش بینی هواشناسی بوشهر، بوشهر، ایران

^۳گروه پژوهشی آلودگی هوا و گردوخاک، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۵

پيله وران، ر.، ز. راستگو، س. کرمی و ب. مرادپور. ۱۴۰۱. بارسازی گردوخاک منطقه غرب و جنوب غربی ایران با روش‌های سنجش از دور و مدل‌های پیش‌بینی عددی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۴): ۵۳-۸۰.

سابقه و هدف: پدیده گردوخاک در سال‌های اخیر یکی از مهمترین چالش‌های محیط زیستی در بخش وسیعی از کشور ایران است. شناسایی و پایش گردوخاک، در سطح وسیع با مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا و داده‌ها و محصولات سنجش از دور که از سرعت و دقت بیشتر و هزینه کمتری برخوردار می‌باشند، از اهمیت فراوانی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، از بین رخدادهای گردوخاک در فصل گرم و سرد سال در نواحی غرب و جنوب غربی کشور، طی دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۰۴ - ۲۰۱۸) به‌طور موردی تعدادی از روزهای دارای گردوخاک با شدت و تداوم زیاد انتخاب شدند. داده‌های مورد استفاده شامل کد هوای حاضر و میزان دید افقی ایستگاه‌های همدیدی واقع در منطقه، محصول AOD سنجنده مودیس و داده‌های FNL برای اجرای مدل WRF Chem است. در گام نخست، بارسازی پدیده گردوخاک در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از الگوریتم ترکیبی Deep Blue (DB) و Target (DT) Dark صورت گرفت و سپس تصویرهای بارسازی شده به نقشه تبدیل شدند. در گام بعد، به منظور بررسی غلظت گردوخاک در منطقه و مناطق تحت تاثیر آن، غلظت ذرات PM₁₀، با استفاده از مدل عددی جفت‌شده WRF - Chem شبیه سازی و روند تغییرات آن با دیدافتی در چند ایستگاه هواشناسی همدیدی مقایسه شد. در نهایت برای ردیابی مسیر ذرات گردوخاک مدل لاگراژی HYSPLIT به کار گرفته شد.

نتایج و بحث: مقایسه نتایج حاصل از تصاویر سنجنده مودیس با کدهای هوای حاضر ثبت شده در ایستگاه‌های همدیدی منطقه نشان داد که الگوریتم‌های بازبای DT و DB بکار رفته در آشکارسازی و شناسایی ذرات معلق جو عملکرد قابل قبولی داشته و افزایش مقادیر AOD در منطقه را به خوبی نشان دادند. بنابر خروجی مدل عددی WRF - Chem در هر دو رویداد گردوخاک، مناطق واقع در شمال غرب کشور عراق (مرز بین عراق و سوریه)، مناطق شرقی سوریه و مناطق شرقی عراق (هورالعظیم) به‌عنوان چشمه‌های اصلی گسیل ذرات گردوخاک

* Corresponding Author: Email Address. karamis.62@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1129>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.4.8.3>

برای منطقه مورد مطالعه، فعال بوده‌اند. مقایسه سری زمانی داده‌های غلظت PM10 خروجی مدل WRF-Chem و دید افقی برای ۴ ایستگاه هواشناسی همدیدی نشان می‌دهد که در بیشتر زمان‌ها با کاهش دید افقی غلظت PM10 افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری: نتایج ناشی از مطالعه همزمان بارزسازی گردو خاک با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای، شبیه‌سازی غلظت ذرات معلق با استفاده از مدل جفت‌شده WRF-Chem و تعیین مسیر ذرات گردو خاک با مدل HYSPLIT نشان می‌دهد که با توجه به ماهیت پیچیده پدیده گردو خاک، کاربست روش‌های مختلف می‌تواند تصویر دقیق‌تری از این پدیده ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: سنجنده مودیس، آشکارسازی گردو خاک، عمق نوری هواویز، مدل WRF-Chem.

مقدمه

مدل‌های عددی از نقش ویژه‌ای برخوردار می‌باشند و داده‌های با ارزشی از چرخه فصلی و تغییرات گردو خاک فراهم می‌نمایند. تحقیق‌های به‌عمل آمده نشان می‌دهد که تصاویر سنجنده‌ی مودیس که بر ماهواره‌های ترا و آکوا نصب شده است، یکی از پرکاربردترین داده‌های ماهواره‌ای جهت بررسی مشخصات و مسیر حرکت ذرات گردو خاک و طوفان‌های خاک محسوب می‌شود (Kheirandish *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای (Ackerman 1997, 1989) از اختلاف دمای درخشندگی (BTD¹) طیف ۳.۷ و ۱۱ میکرومتری برای آشکارسازی و پایش طوفان‌های گردو خاک استفاده کرد و روشی را توسعه داد که در آن از سه باند طیفی فرورسرخ ۸، ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای آشکارسازی گردو خاک استفاده شده است. Ackerman نشان داد که اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای گردو خاک منفی است، زیرا این پدیده بازتابش بالاتری در محدوده طیف ۱۲ نسبت به ۱۱ میکرومتری دارد. در این حالت ابرها از گردو خاک تفکیک می‌شوند. (Miller 2003) با استفاده از داده‌های مادیس روشی توسعه داد که برای بارزسازی گردو خاک بر روی سطح آب و زمین در هنگام روز به‌کار می‌رود. Ginoux *et al.* (2012) برای شناسایی کانون‌های گردو خاک در مقیاس جهانی، نقشه‌ای تهیه کردند. در این پژوهش برای تفکیک غبار از سایر منطقه‌ها از سنجنده مودیس و از الگوریتم *Deep Blue* استفاده شد. در تحقیق دیگری Klingmüller *et al.* (2016) با استفاده از الگوریتم

همه ساله در ایران و بسیاری از نقاط دنیا وقوع پدیده‌های شدید و حدی، سبب خسارت‌های زیادی از جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی می‌گردد. در سال‌های اخیر یکی از مهمترین چالش‌های محیط زیستی به‌وجود آمده در منطقه خاورمیانه و ایران پدیده گردو خاک است. فرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و از طرف دیگر موقعیت جغرافیایی غرب و جنوب غرب ایران و مجاورت آن با بیابان‌های عراق، عربستان، سوریه، و شمال آفریقا که از منابع مهم تولید گردو خاک هستند، سبب رخداد پیاپی پدیده گردو خاک با شدت‌های متفاوت در طول سال در این نواحی از ایران می‌شود. بدون تردید آشکارسازی طوفان‌های گردو خاک، پایش سمت و سرعت حرکت این طوفان‌ها، وسعت مناطق تحت تأثیر و تخمین غلظت ریزگردها می‌تواند در کاهش صدمه‌های ناشی از طوفان‌های گردو خاک نقش مهمی را ایفا کند.

یکی از روش‌های شناسایی گردو خاک و طوفان‌های مرتبط با آن، فناوری سنجنش از دور است (Adhami, 2006; Rasouli, 2008; Aliabadi *et al.*, 2015; Adeli *et al.*, 2012). ماهواره‌ها می‌توانند منبع مشاهدات محلی، منطقه‌ای و جهانی باشند (Bensana *et al.*, 1999). بنابراین برای پایش و آشکارسازی چشمه‌های گسیل گردو خاک از نقش بسزایی برخوردارند. اگرچه محصولات ماهواره‌ای کاملاً دقیق نیستند ولی در نبود داده‌های مشاهداتی زمینی با دقت کافی، در درستی‌سنجی خروجی

زیرشاخه‌های الگوریتم اهداف تیره می‌باشد با ضریب تعیین $R^2 = 0.62$ بهترین نتایج را نشان می‌دهد. در ایران در زمینه شبیه‌سازی عددی گردو خاک، Nikfal *et al.* (2016) با شبیه‌سازی غلظت PM_{10} توسط مدل جفت‌شده $WRF-Chem^5$ در منطقه ایران به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور از نظر مقیاس و تغییرات زمانی، برآوردی منطقی از هواویزها در محدوده مطالعاتی به‌دست می‌دهد. بررسی محدود Rezazadeh *et al.* (2013) برای شبیه‌سازی گسیل غبار با مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا WRF - Chem و داده‌های جدید سطح در منطقه خاورمیانه به کمک داده‌های ماهواره‌ای مودیس و داده‌های USGS نشان داد که طوفان گردو خاک بر فراز چشمه سودان شکل گرفته و با جریان‌های جنوب‌غربی به سمت شمال شرق ایران و ترکمنستان کشیده شده است. از روش سنجش از دور برای تعیین و شناسایی چشمه‌های گردو خاک در تحقیق‌های دیگر از جمله Rayegani *et al.* (2020) استفاده شده است. همچنین سایر ویژگی‌های مرتبط با گردو خاک مانند نشست ذرات بر سطح نیز به عنوان معیاری از قابلیت مدل WRF-Chem در برآورد غلظت گردو خاک و چشمه‌های انتشار گردو خاک توسط Foroushani *et al.* (2020) بررسی شده است. در این پژوهش، متغیر dust load به‌عنوان غلظت شبیه‌سازی‌شده از گردو خاک بر واحد سطح با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در ده ایستگاه در منطقه غرب کشور مقایسه گردید که عملکرد قابل قبولی را برای مدل WRF-Chem نشان داد. Alizadeh *et al.* (2014) در تحقیق بادهای ۱۲۰ روزه و طوفان گردو خاک سیستان و بلوچستان، توسط مدل WRF - Chem دریافتند که بادهای قوی نزدیک سطح زمین در انتشار گردو خاک در مسیر طولانی تأثیر بسزایی دارند. هدف اصلی این تحقیق کاربرد ویرایش سوم سامانه WRF - Chem به‌همراه طرحواره گسیل $GOCART^6$ در شبیه‌سازی رخداد گردو خاک شرق ایران بوده و

ترکیبی *Deep Blue* و *Dark Target* محصول عمق نوری هواویز سنجنده مودیس، روند غلظت گردو خاک طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار دادند. در بسیاری مطالعات دیگر نیز از الگوریتم ترکیبی *Deep Blue* و *Dark Target* برای محاسبه عمق نوری هواویز و پیش‌بینی غلظت $PM_{2.5}$ استفاده شده است (Sorek-Hamer *et al.*, 2015). Karimi *et al.* (2011) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ و نسبت دادن سنجه‌های D (تلفیق باندهای انعکاسی و حرارتی)، BTD_{31-32} (اختلاف دمایی درخشندگی در باندهای مادون قرمز حرارتی) و $(NDDI^2)$ (سنجه نرمالیزه گردو خاک) به باندهای R, G و B به شناسایی کانون‌های گردو خاک در خاورمیانه با استفاده از تفسیر بصری پرداختند. Ensafi-moghadam *et al.*, (2006) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور به پایش و ارزیابی اثر گردو خاک بر تغییرات بارش در جنوب‌غرب ایران پرداختند. آن‌ها با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای از بین وقایع گردو خاک، موارد گردو خاک همراه با بارش را پردازش و تحلیل کردند. همچنین به‌منظور بارزسازی و مشاهده شدت غلظت گردو خاک، با استفاده از الگوریتم ترکیبی *Deep Blue* و *Dark Target* مقادیر AOD^3 را استخراج کرده و با ابزار GIS^4 طبقه‌بندی و مورد تحلیل قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که روش مورد نظر به خوبی قادر به شناسایی پدیده گردو خاک در منطقه مورد مطالعه است و می‌تواند تغییرات غلظت گردو خاک را با داده‌های زمینی مورد سنجش قرار دهد. (Ansari *et al.*, 2005) در پژوهشی، الگوریتم‌های بازیابی عمق نوری هواویز سنجنده مودیس را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش، همبستگی ذرات معلق $PM_{2.5}$ با محصول عمق نوری هواویز سنجنده مودیس در اسفند سال ۹۴ در استان البرز بررسی شد. همچنین برای بازیابی عمق نوری، الگوریتم‌های مختلفی با هم مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که، الگوریتم *Corrected Optical Depth* که از

هدف‌های فرعی همچون، پیش‌بینی و هشدار رخداد گردوخاک، همچنین برآورد غلظت گردوخاک در آن بررسی می‌شود.

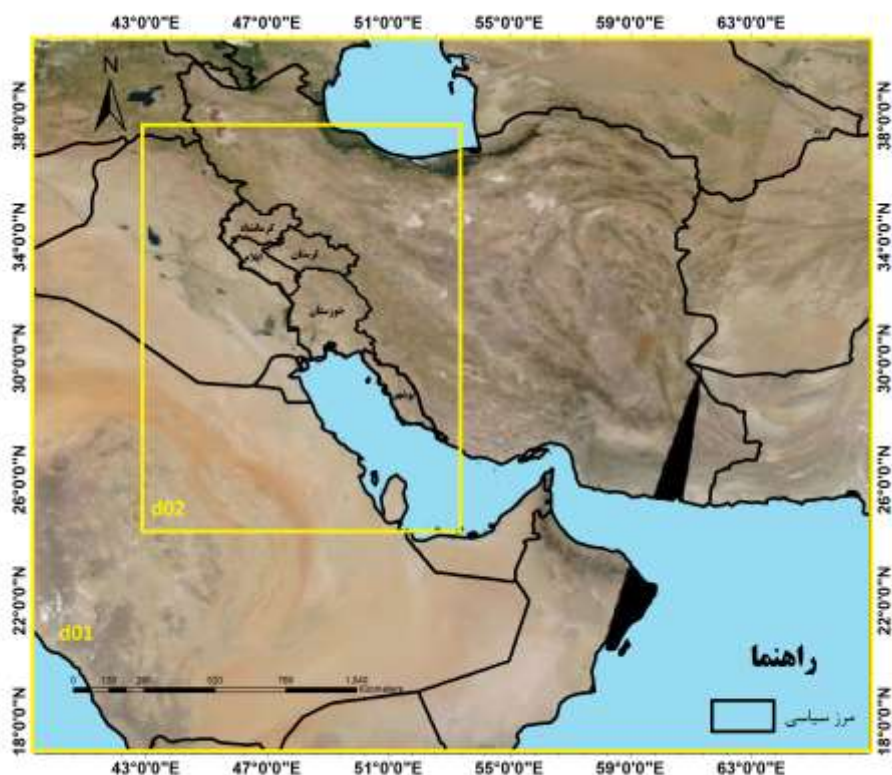
هر چند که در مسیریابی طوفان‌های گردوخاک به‌طور عمده از تکنیک‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود، اما در منطقه‌هایی که امکان دسترسی به این تصویرها نبوده و افزون بر آن به منظور افزایش اعتبار نتایج کسب شده از مدل فیزیکی لاگرانژی موسوم به HYSPLIT⁷ استفاده می‌شود (Draxler, et al., 1998).

Hamish and Andrew (2008) مسیره‌های حمل گردوخاک از دریاچه استرالیا را با استفاده از مدل HYSPLIT بررسی نمودند و بیان کردند که گردوخاک این دریاچه تحت تأثیر جریان‌ات جوی در طی یک مدت زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد. هر چند که هر یک از مطالعات بیان شده نتایج قابل توجهی را ارائه داده است، اما وجود این واقعیت که گردوخاک منتج از عامل‌های گوناگونی می‌باشد، انجام مطالعات با رویکردهای ترکیبی و بهره بردن از روش‌های مختلف را التزام می‌بخشد (Darvishi, et al., 2012). از این رو مطالعه حاضر سعی بر آن دارد تا با استفاده از روش‌ها و منابع اطلاعاتی متنوع همچون تکنیک‌های سنجش از دور و استفاده از تصاویر سنجنده مودیس مقدار سنج AOD و شدت رخداد گردوخاک را تخمین زده و سپس با شبیه‌سازی عددی توسط مدل جفت شده WRF - Chem و همچنین مدل‌سازی عددی با استفاده از مدل فیزیکی لاگرانژی HYSPLIT پدیده گردوخاک را به‌صورت جامع‌تری در فصل‌های گرم و سرد سال در مناطق غربی و جنوب‌غربی ایران مورد مطالعه قرار دهد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۸۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه

شمالی در غرب و جنوب‌غرب ایران واقع شده است و شامل ۵ استان خوزستان، ایلام، کرمانشاه، لرستان و بوشهر می‌باشد. این منطقه از شمال با استان‌های کردستان، همدان و مرکزی، از جنوب با خلیج فارس، از شرق با استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است (شکل ۱). این منطقه از یک طرف به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرارگیری در مجاورت بیابان‌های کشورهای همسایه غربی ایران و از طرف دیگر به دلیل تغییرات زیاد کاربری و وجود مناطق بیابانی و مستعد فرسایش، همه ساله با رخداد پدیده گردوخاک مواجه هستند. وجود رشته کوه‌های زاگرس در بسیاری موارد مانع انتقال گردوخاک به مناطق مرکزی کشور و سبب نشست گردوخاک در این منطقه می‌شود. در میان استان‌های واقع در منطقه مورد مطالعه دو استان خوزستان و بوشهر دارای چشمه‌های گردوخاک محلی هستند. استان بوشهر واقع در سواحل شمالی خلیج فارس کمترین ارتفاع از سطح دریا را دارد. استان خوزستان از نظر پستی و بلندی به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. منطقه جلگه‌ای خوزستان که دارای شیب کمی است، از جنوب دزفول، مسجدسلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده تا کرانه‌های خلیج فارس و اروند ادامه دارد. وجود رسوب‌های ریزدانه و حاکمیت فرسایش بیابانی، امکان شکل‌گیری طوفان‌های گردوخاک و ماسه را در جلگه خوزستان فراهم کرده است. منطقه کوهستانی بطور عمده در شمال و شرق استان (بخش‌هایی از رشته کوه زاگرس) حدود دو پنجم مساحت کل استان را شامل می‌شود. منطقه مورد مطالعه به‌دلیل برخورداری از تراکم جمعیتی بالا، وجود صنایع مختلف و کشت مختلف محصولات کشاورزی کشور از اهمیت راهبردی زیادی برخوردار است. رخداد پدیده گردوخاک در این منطقه در طولانی مدت و کوتاه مدت می‌تواند مشکل‌های زیادی برای جامعه انسانی ساکن در آن ایجاد کند.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و حوزه‌های اجرای مدل (خطوط زرد رنگ) با تفکیک ۳۰ و ۱۰ کیلومتر
 Fig. 1- Map of the study area and Model domains with 30 and 10km resolution.

مواد و روش‌ها

نوری سنجنده مودیس در طول موج ۵۵۰ نانومتر به‌عنوان یکی از کمیت‌های سنجه مبین توزیع هواویزه‌های حاصل از گردو خاک در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از جدیدترین نسخه‌ی محصول (MOD04-L2-C6) سنجنده مودیس مربوط به ماهواره ترا به‌منظور تعیین ماهیت هواویزه‌های جوی در روزهای مورد بررسی استفاده شده است. این محصول با پوشش وسیع، استخراج عمق نوری هواویز را با استفاده از دو الگوریتم بازیابی شده آبی عمیق (DB⁸) و هدف تیره (DT⁹) با تفکیک ۱۰ کیلومتر ارائه می‌دهد و به‌صورت روزانه در وبگاه ناسا ۱۰ در دسترس است. در نهایت برای مدل‌سازی ذرات گردو خاک ورودی به منطقه مورد مطالعه، داده‌های بازتحلیل FNL¹¹ مرکز پیش بینی و مرکز تحقیقات جوی ایالات متحده امریکا (NCEP/NCAR) از تارنمای این مرکز با قدرت تفکیک مکانی ۱*۱۰ درجه طول جغرافیایی در گام‌های زمانی شش ساعته دریافت شد.

یکی از کمیت‌های مؤثر در وضعیت دید افقی، ذرات گردو خاک هستند. به‌همین منظور دید افقی ۲۵ ایستگاه مرزی واقع در غرب و جنوب‌غرب کشور طی دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۸ - ۲۰۰۴) از سازمان هواشناسی جمع‌آوری شد و از بین دیدهای افقی در فصل گرم و سرد سال، به‌طور موردی تعدادی از روزهای همراه با گردو خاک با شدت و تداوم زیاد انتخاب شدند.

در بخش سنجش از دور این مطالعه تلفیقی، به‌منظور آشکارسازی و تعیین غلظت ذرات گردو خاک در رخدادهای منتخب فصل گرم و سرد سال از داده‌های سطح ۳ سنجنده مودیس استفاده شد. داده‌های محصول AOD سنجنده مودیس در سطح پردازشی ۳ از تارنمای [http:// world view.earthdata.nasa.gov](http://worldview.earthdata.nasa.gov) با فرمت HDF برای منطقه مورد مطالعه و مناطق مجاور آن با تفکیک مکانی ۱۰*۱۰ کیلومتر دریافت شد. محصولات عمق

در نهایت جهت رهگیری ذرات گردو خاک در منطقه مورد مطالعه، از یک مدل لاگرانژی با امکان ردیابی پس رو موسوم به HYSPLIT استفاده شد. در این مدل رهگیری ذرات گردو خاک موجود در جو از طریق بررسی مسیر طی شده حجم هوای حاصل از آن صورت می گیرد. مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه برای محاسبات حرکت گردو خاک، پراکندگی و شبیه سازی نشست ذرات است (Draxler *et al.*, 1998). بدین منظور برای مسیریابی پس رو ذرات با مبنا قرار گرفتن روز تشکیل گردو خاک، عمل رهگیری حجم هوا برای روز وقوع این پدیده، در حد فاصل زمانی ۶ ساعته تا ۴۸ ساعت قبل از ورود آن به منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۵۰۰ متری از سطح زمین انجام شد. برای اجرای مدل از مجموع داده های هواشناسی^{۱۴} استفاده شد. شکل ۲ نمودار فرایندی روش کار را نشان می دهد.

به منظور نشان دادن قابلیت بالای داده های سنجش دوره، از مدل سازی عددی و لاگرانژی ذرات گردو خاک استفاده شد. برای مدل سازی عددی غلظت گردو خاک از مدل عددی جفت شده پیش بینی عددی وضع هوا - شیمی (WRF-Chem) استفاده شد. شبیه سازی با استفاده از داده های باز تحلیل FNL با گام زمانی ۶ ساعته به منظور شرایط اولیه و مرزی، برای دو دامنه با تفکیک ۳۰ و ۱۰ کیلومتر صورت گرفت. در این اجرا از طرحواره گسیل^{۱۲} AFWA استفاده شد. شکل ۱ حوزه های اجرای مدل را نشان می دهد. پس از انجام مدل سازی، با استفاده از برنامه پس پردازشی^{۱۳} NCL، نقشه های توزیع PM_{10} به همراه غلظت این کمیت ترسیم شدند. خروجی حوزه اول برای تعیین مسیر و الگوی ذرات گردو خاک به کار رفته و خروجی حوزه دوم برای تعیین مقادیر PM_{10} در منطقه مورد مطالعه بکار رفته است.



شکل ۲- نمودار فرایندی روش کار
Fig. 2- Methodological flowchart

الگوریتم‌های تعیین AOD

پیکسل‌های بدون ابر و بدون برف با تفکیک مکانی 1×1 کیلومتر اعمال می‌شود و سپس در یک بازیابی 10×10 کیلومتر متراکم می‌شود. این بازیابی‌ها روی سطوح بیابانی روشن و سطح‌های پوشش گیاهی اجرا می‌شوند. (Rangzan *et al.*, 2014) این الگوریتم از طریق ثبت اطلاعات در طول موج‌های کوتاه‌تر، به‌طور عمده شامل آبی که مناطق بیابانی کمترین میزان بازتاب را در آن دارند، فرآیند تشخیص گردو خاک و استخراج پارامتر عمق نوری بر فراز این منطقه‌ها را ممکن می‌سازد (Shi *et al.*, 2013).

در الگوریتم هدف‌های تیره (DT) برای محاسبه عمق نوری هواویزها با قدرت تفکیک مکانی 10 کیلومتر تعیین پیکسل‌های تاریک در باندهای مادون قرمز میانی و سپس برآورد بازتابندگی آن‌ها در طول موج‌های 470 ، 550 و 660 نانومتر از تصاویر سنجنده مودیس می‌باشد. این محصول برای اقیانوس‌ها و مناطق خشکی تیره کاربرد دارد. مجموعه 6 سنجنده مودیس (MODIS C6) شامل نسخه بسیار پیشرفته الگوریتم DB است (Hsu *et al.*, 2013). برخلاف DT، بازیابی‌ها در این الگوریتم روی

جدول ۱- الگوریتم‌های استفاده شده برای تعیین عمق نوری هواویزها

Table 1. Algorithms used for AOD detection in this study

نام الگوریتم‌ها Algorithms	ضمائم contents	کاربرد Application
AOD_550_Dark_Target_Deep_Blue_Combined	الگوریتم ترکیبی DB و DT روی خشکی و اقیانوس Combined DB and DT algorithms on land and ocean	شناسایی عمق نوری آئروسول AOD Detection
Deep Blue Aerosol Optical Depth – 550 – Land	الگوریتم DB روی نواحی خشکی DB algorithm on land areas	شناسایی عمق نوری آئروسول AOD Detection
Deep Blue Aerosol Angstrom Exponent land	الگوریتم DB روی نواحی خشکی DB algorithm on land areas	تعیین ماهیت و اندازه ذرات آئروسول Aerosol type and size

(Karegar *et al.*, 2017). به‌طور کلی این مدل از سه قسمت؛ سیستم پیش پردازش مدل (WPS¹⁵)، سیستم داده گواری (WRF - VAR) و سیستم پس پردازش و ابزارهای تصویرسازی تشکیل شده است. در مدل WRF-Chem طرحواره های مختلفی برای محاسبه شار قائم گردو خاک از سطح وجود دارد. در این مطالعه از طرحواره گسیل AFWA استفاده شده است.

طرحواره AFWA نسخه اصلاح شده طرحواره گسیل گرد و غبار مبتنی بر جهش ذرات (Marticorena and Bergametti, 1995) است و گسیل گردو غبار را به عنوان فرآیند دو بخشی در نظر می‌گیرد که در آن جهش ذرات

مدل WRF - Chem

مدل WRF - Chem به‌عنوان بخشی از مدل WRF می‌باشد. مدل WRF یک مدل هواشناسی غیرهیدروستاتیک، که دارای چندین هسته دینامیکی به‌همراه انتخاب‌های گوناگون جهت پارامتره سازی فرآیندهای فیزیکی می‌باشد که قابلیت شبیه سازی توسط مدل را ندارند (Grell *et al.*, 2005). کاربرد اصلی WRF - Chem در بررسی شیمی جو می‌باشد. از این مدل می‌توان به منظور شبیه سازی و پیش-بینی غلظت ذرات معلق موجود در جو ناشی از مکانیسم-های طبیعی، فعالیت‌های بشری (آلاینده‌ها) و گردو غبار در اندازه‌های مختلف، نحوه انتشار و نهشت آن‌ها استفاده کرد

در منطقه غرب و جنوب غربی ایران که دو مورد در تابستان و دو مورد در زمستان رخ داده مورد بررسی قرار گرفت. جدول‌های (۲ و ۳) میزان دید افقی ایستگاه منتخب در سطح منطقه مورد مطالعه طی رخدادهای ژوئیه ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ و ژانویه و فوریه ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ را نشان می‌دهند. داده‌های ایستگاه‌های همدیدی استان‌های هدف نشان داد که نمونه‌های مورد بررسی، پدیده‌های گردوخاک شدید منطقه غرب و جنوب غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده است زیرا این رخدادهای از نظر مکانی گستردگی قابل توجهی داشته‌اند و در بیشتر ایستگاه‌های منطقه با شدت و ضعف متفاوت ثبت شده‌اند و از طرف دیگر میزان دید افقی در بیشتر ایستگاه‌ها به ۱۰۰۰ متر و کمتر از آن رسیده است (جدول‌های ۲ و ۳).

بزرگ توسط چینش باد ایجاد شده و منجر به گسیل ذرات ریز توسط بمباران و تجزیه می‌شود. معادلات طرحواره AFWA بر حسب سرعت اصطکاکی بدست آمده اند و شامل سرعت اصطکاکی آستانه آماری مورد نیاز برای ذرات، شار جهش افقی، شار قائم گردوخاک توده ای، توزیع اندازه ذرات گردوخاک گسیل شده و شار گردوخاک بر حسب اندازه ذرات است.

نتایج و بحث

از آنجا که برای بارزسازی و شبیه سازی گردوخاک نیاز به بررسی موارد مطالعاتی مشخص است، به منظور بررسی هم زمان پدیده‌های گردوخاک با داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای و مدلسازی عددی، ۴ پدیده شدید گردوخاک

جدول ۲- روند تغییرات دید افقی در فصل گرم سال در تعدادی از ایستگاه‌های جنوب غرب و غرب ایران

Table 2. Variation in horizontal visibility in the warm season at some stations

بندر دیلم Bandar-e Deylamm	جزیره خارک Khark	ایلام Ilam	کرمانشاه Kermanshah	پلدختر Poldokhtar	خرم آباد Khorramabad	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz	تاریخ ثبت واقعه گردوخاک Date of dust
8000	1000	100	500	200	100	200	300	2009.07.05
2000	1500	300	200	300	600	200	5000	2009.07.06
7000	1200	1000	2000	900	1000	200	300	2008.07.01
8000	800	1000	1000	1000	1500	200	200	2008.07.02

جدول ۳- روند تغییرات دید افقی در فصل سرد سال در تعدادی از ایستگاه‌های جنوب غرب و غرب ایران

Table 3. Variation in horizontal visibility in the cold season at some stations

بندر دیلم Bandar-e Deylamm	ایلام Ilam	سرپل ذهاب Sar-e-pol- Zahab	دزفول Dezful	بندر ماهشهر Banndar-e- Mahshahr	بستان Bostan	آبادان Abadan	بوشهر Bushehr	تاریخ ثبت واقعه ی گردوخاک Date of dust
8000	2000	800	5000	300	2000	500	1500	2008.02.19
2000	1000	1000	800	300	1000	200	1500	2008.02.20
7000	800	2000	800	300	1000	400	3000	2018.01.19
8000	1000	1500	1000	500	600	600	4000	2018.01.20

کد ۰۶۴ با قدرت تفکیک 10×10 کیلومتر بازخوانی شده است. تصویرهای رنگی طبیعی در مرحله‌های اولیه قادر به تشخیص دقیق توده‌های گردوخاک نیستند، بعد از اعمال الگوریتم ترکیبی DB و DT روی تصاویر، عمق نوری گردوخاک آشکار می‌شود.

فصل گرم

شکل ۳ تصویر رنگی طبیعی روز ۵ جولای سال ۲۰۰۹ را نشان

محاسبه عمق نوری هواویزها با استفاده از الگوریتم

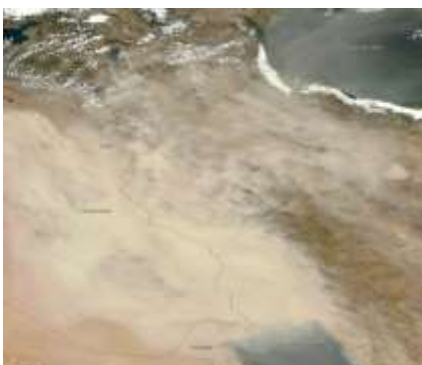
ترکیبی DB و DT

شکل‌های ۳ و ۴ مربوط به تصویرهای ماهواره‌ای سنجنده مودیس محصول AOD از رخدادهای گردوخاک می‌باشند. در این تصویرها محصول عمق نوری هواویز (AOD) با الگوریتم ترکیبی

AOD_550_Dark_Target_Deep_Blue_Combined

تصوير توده گردوخاك، ميزان گردوخاك در استان خوزستان واقع در جنوب غربی ايران قابل توجه است.

می دهد. در این روز در سراسر کشور عراق و بخش وسیعی از نیمه غربی کشور ایران گردوخاك مشاهده می شود. با توجه به



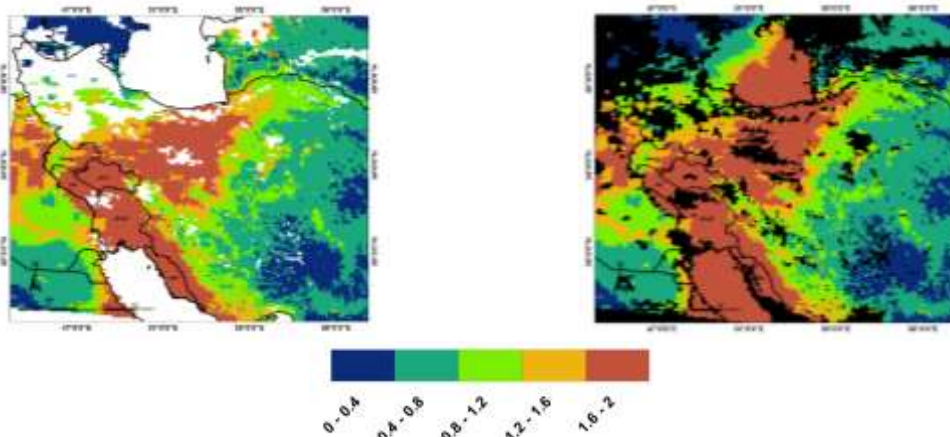
شکل ۳- تصوير رنگ طبيعي سنجنده ماديس در روز ۵ جولای سال ۲۰۰۹
Fig. 3- MODIS true color image on July 5, 2009

بیشترین مقادیر AOD ابتدا در شمال خلیج فارس و سپس در غرب و جنوب غرب لرستان، ایلام، خوزستان و بوشهر به چشم می خورد. در شکل ۴. ب، که با استفاده از الگوریتم DB بدست آمده، بیشترین AOD در جنوب ایلام، غرب خوزستان و بوشهر می باشد و مقادیر کمتر در غرب و مرکز لرستان، شرق و جنوب خوزستان و بوشهر دیده می شود. در این دو رخداد، گردوخاك در منطقه های غربی کشور از شدت بیشتری برخوردار هستند.

عمق نوری گردوخاك در تصوير AOD موديس حاصل از الگوریتم ترکیبی DB و DT، که به تاریخ ۵ جولای ۲۰۰۹ اختصاص دارد، در شکل ۴. الف نشان داده شده است. بیشینه مقدار AOD در این تصوير حدود ۰/۵ برآورد شده است. در منطقه هایی که مقدار AOD بزرگتر از ۰/۳ باشد میزان غلظت ذرات بالاتر رفته و انتقال پذیری در جو کاهش یافته و آسمان به رنگ کدر و تیره دیده می شود (Li and Sokolik, 2018). همانطور که در تصوير مشاهده می شود.

(ب)

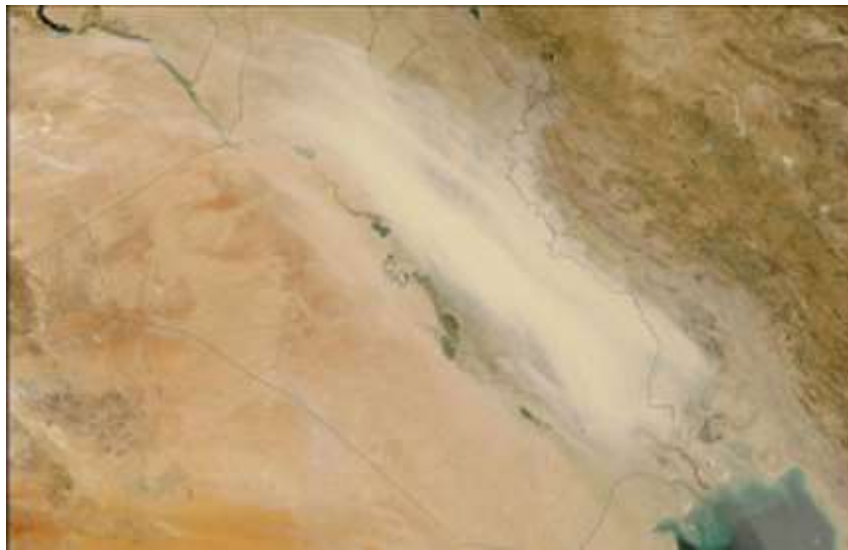
(الف)



شکل ۴- مقادیر عمق نوری هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده موديس حاصل از الف) الگوریتم ترکیبی DB و DT برای بارزسازی گردوخاك روی نواحی خشکی و سطح دریا ب) حاصل از الگوریتم DB برای بارزسازی گردوخاك روی نواحی خشکی در ۵ جولای سال ۲۰۰۹
Fig. 4- MODIS AOD at 550nm retrieved from a) Combined DT and DB Algorithm over land and ocean b) DB Algorithm over land on July 5, 2009

این کشور کشیده شده است، مشاهده می شود. همچنین در استان خوزستان گردوخاك نشان داده شده است و بیشترین شدت آن در مناطق غربی استان قابل مشاهده است.

تصوير رنگ طبيعي مربوط به روز ۱ جولای سال ۲۰۰۸ در شکل ۵ نشان داده شده است. در این روز توده گردوخاك شدیدی در منطقه ای که از شمال غربی عراق تا جنوب شرقی



شکل ۵- تصویر رنگ طبیعی سنجنده مادیس در روز ۱ جولای سال ۲۰۰۸

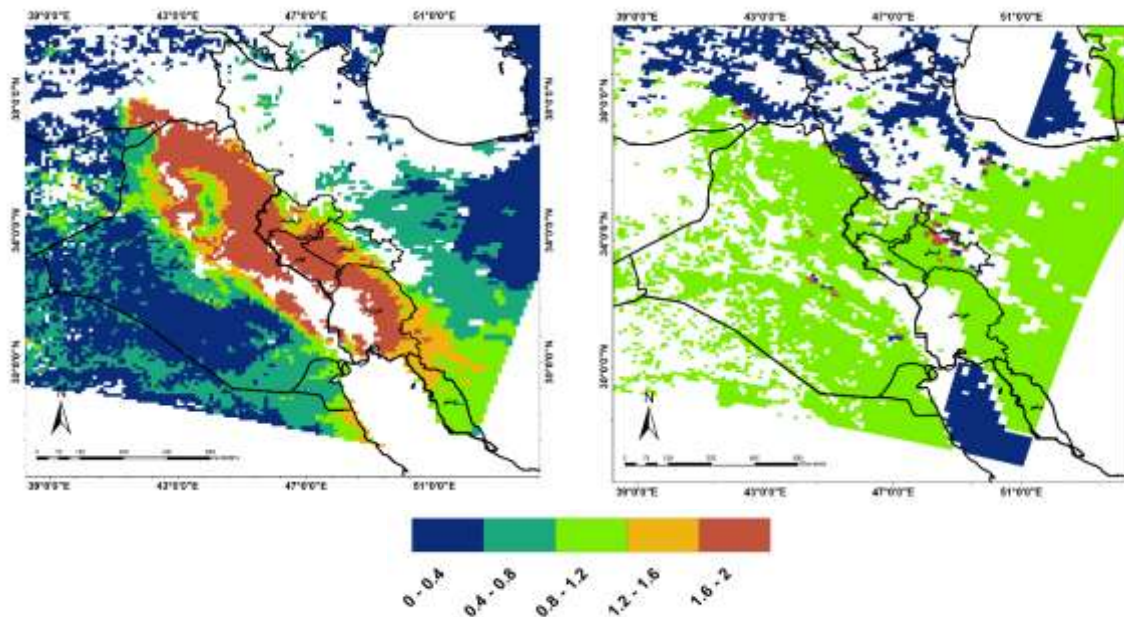
Fig. 5- MODIS true color image on July 1, 2008

و بوشهر دیده می شود. عمق نوری گردو خاک در شکل ۶. ب، با استفاده از الگوریتم DB دارای بیشینه ای برابر ۳/۵ می باشد که بیشترین مقادیر آن در غرب کرمانشاه، ایلام و شمال غرب خوزستان به چشم می خورد.

(ب)

در شکل ۶. الف، که مقدار AOD با الگوریتم ترکیبی DT و DB را در تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۸ نشان می دهد، بیشترین مقادیر AOD در شمال خلیج فارس و سپس در غرب ایلام و مقادیر کمتر در لرستان، کرمانشاه، خوزستان

(الف)



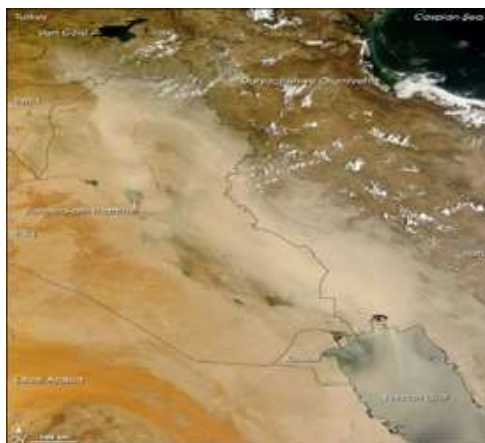
شکل ۶- مقادیر عمق نوری هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده مادیس حاصل از الف) الگوریتم ترکیبی DT و DB برای بارزسازی گردو خاک روی نواحی خشکی و سطح دریا ب) حاصل از الگوریتم DB برای بارزسازی گردو خاک روی نواحی خشکی در ۱ جولای سال ۲۰۰۸

Fig. 6- MODIS AOD at 550nm retrieved from a) Combined DT and DB Algorithm over land and ocean b) DB Algorithm over land on July 1, 2008

گردو خاک شدیدی در نیمه شرقی کشور عراق، مناطق جنوب غربی کشور ایران و بخش وسیعی از خلیج فارس مشاهده می شود.

فصل سرد

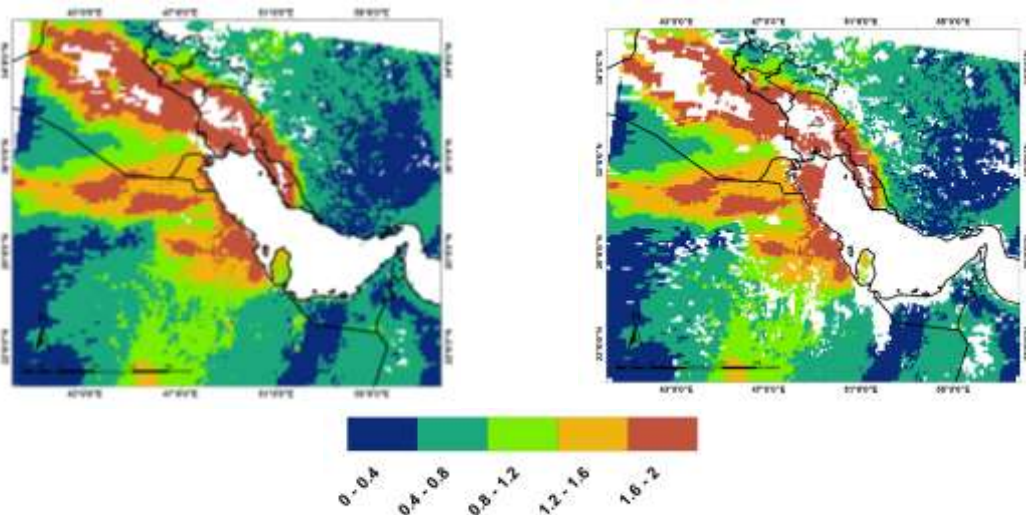
در تصویر رنگ طبیعی روز ۲۰ فوریه سال ۲۰۰۸ (شکل ۷)



شکل ۷- تصویر رنگ طبیعی سنجنده مادیس در روز ۲۰ فوریه سال ۲۰۰۸
Fig. 7- MODIS true color image on February 20, 2008

AOD می‌باشند که با وزش بادهای شمال غربی در زمین- های بیابانی موجود در عراق به نیمه غربی و جنوب غرب کشور انتقال می‌یابند. در شکل ۸. مقدار سنج AOD در جو با استفاده از الگوریتم DT نشان داده شده که دارای مقادیر $0.1 \leq AOD \leq 0.3$ می‌باشد. همانطور که در تصویر مشاهده می‌شود، بیشترین تمرکز ذرات گردو خاک خوزستان و در نواحی شمالی تا جنوب غرب بوشهر به چشم می‌خورد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، منطقه‌های شمال شرق و شرق عراق، دارای بیشینه مقدار (الف)

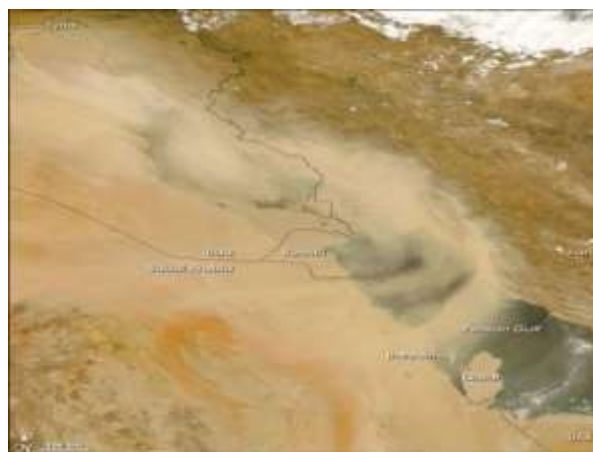
در شکل ۸. الف که عمق نوری گردو خاک با ترکیب دو الگوریتم DT و DB در تاریخ ۲۰ فوریه ۲۰۰۸ نمایان شده است، بیشترین تمرکز ذرات گردو خاک با آستانه مقادیر $0.5 \leq AOD \leq 2$ در نوار باریکی از شمال غرب خلیج فارس و سپس در نواحی غرب و جنوب غرب ایلام، لرستان، خوزستان و در نواحی شمالی تا جنوب غرب بوشهر به چشم می‌خورد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، منطقه‌های شمال شرق و شرق عراق، دارای بیشینه مقدار (الف)



شکل ۸- مقادیر عمق نوری هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده مودیس حاصل از الف) الگوریتم ترکیبی DT و DB برای بارزسازی گردو خاک روی نواحی خشکی و سطح دریا ب) حاصل از الگوریتم DT برای بارزسازی گردو خاک روی نواحی خشکی در ۲۰ فوریه سال ۲۰۰۸
Fig. 8- MODIS AOD at 550nm retrieved from a) Combined DT and DB Algorithm over land and ocean b) DB Algorithm over land on February 20, 2008

وسیعی از کشور عراق، مناطق جنوب غربی ایران و خلیج فارس مشاهده می‌شود.

در شکل ۹ که تصویر رنگ طبیعی روز ۲۰ ژانویه سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد، توده گردو خاک شدیدی در بخش



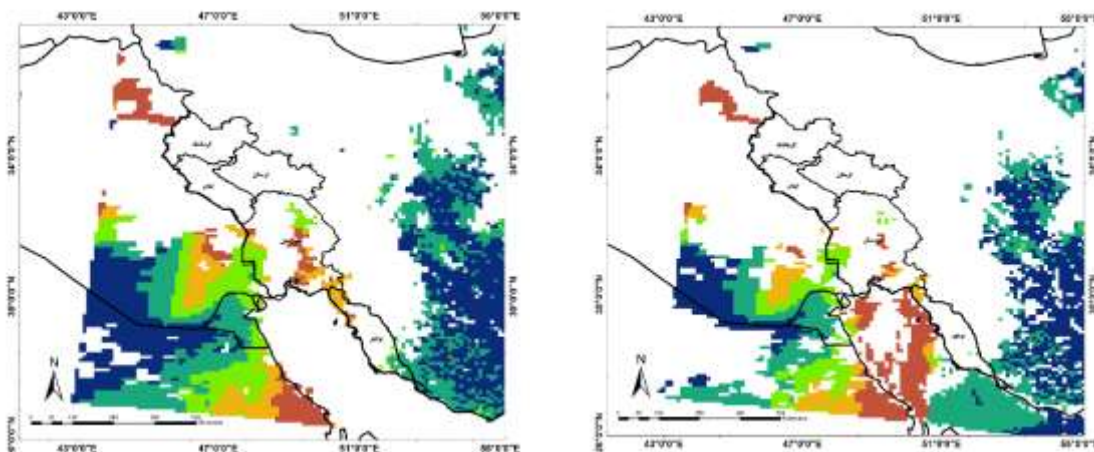
شکل ۹- تصویر رنگ طبیعی سنجنده مادیس در روز ۲۰ ژانویه سال ۲۰۱۸
Fig. 9- MODIS true color image on January 20, 2018

جنوب‌غرب و غرب بوشهر دیده می‌شود. در شکل ۱۰. ب، که با استفاده از الگوریتم DB بدست آمده مجدداً بیشترین تمرکز ذرات گردوخاک در مناطق جنوب‌غربی ایران دیده می‌شود.

(ب)

مقادیر AOD با ترکیب الگوریتم‌های DT و DB مربوط به تاریخ ۲۰ ژانویه ۲۰۱۸ در شکل ۱۰. الف نشان داده شده است. در این روز بیشترین تمرکز ذرات گردوخاک در شمال خلیج فارس و

(الف)



شکل ۱۰- مقادیر عمق نوری هواویز در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده مودیس حاصل از الف) الگوریتم ترکیبی DT و DB برای بارزسازی گردوخاک روی نواحی خشکی و سطح دریا ب) حاصل از الگوریتم DB برای بارزسازی گردوخاک روی نواحی خشکی در ۲۰ ژانویه سال ۲۰۱۸
Fig. 10- MODIS AOD at 550nm retrieved from a) Combined DT and DB Algorithm over land and ocean b) DB Algorithm over land on January 20, 2018

مثبت بین عمق نوری هواویز (AOD) و غلظت ذرات جوی (PM_{10}) می‌باشد. به‌طور کلی (Abdolkhani و Ensafi-moghaddam *et al.* (2006) نتیجه گرفتند که بین داده‌های میانگین AOD حاصل از الگوریتم ترکیبی DT و DB برای سطوح با پوشش گیاهی و زمین‌های بیابانی سنجنده مودیس و غلظت ذرات اتمسفر (PM_{10}) رابطه همبستگی مثبت قوی وجود دارد و این محصول، ابزار مناسبی برای ارزیابی کیفیت هوا است.

ارتباط بین دید افقی و عمق نوری هواویزها

در این پژوهش، عمق نوری هواویزها با استفاده از الگوریتم‌های DT و DB محاسبه شده است. همان‌گونه که در جدول‌های (۱) و (۴) مشاهده می‌شود، با افزایش مقادیر میانگین روزانه عمق نوری هواویزها، دید افقی کاهش می‌یابد. این نتیجه در جدول‌های (۲) و (۵) در فصل سرد سال هم مشاهده می‌شود. تحلیل‌های تئوری بر مبنای انتقال تابش جو نشان دهنده وجود یک رابطه همبستگی

جدول ۴- مقادير عمق نوري هواييزها (AOD) در فصل گرم سال

Table 4. AOD values in the warm season

2009/05/07	2008/07/01	تاريخ ثبت واقعه گردوخاك Date of dust
$0.04 \leq AOD \leq 4.9$	$0.04 \leq AOD \leq 5$	عمق نوري هواييز (AOD) در كل تصوير (AOD) in the whole image
$0.9 \leq AOD \leq 3.5$	$0.5 \leq AOD \leq 2.8$	عمق نوري هواييز (AOD) در منطقه مورد مطالعه (AOD) in the study area
0.86	0.58	میانگین روزانه عمق نوري هواييز (AOD) Average daily AOD

جدول ۵ - مقادير عمق نوري هواييزها (AOD) در فصل سرد سال

Table 5. AOD values in the cold season

2018.01.20	2008.02.20	تاريخ ثبت واقعه ی گردوخاك Date of dust
$0.01 \leq AOD \leq 5$	$0.05 \leq AOD \leq 5$	عمق نوري هواييز (AOD) در كل تصوير (AOD) in the whole image
$0.2 \leq AOD \leq 3.5$	$0.3 \leq AOD \leq 3.03$	عمق نوري هواييز (AOD) در منطقه مورد مطالعه (AOD) in the study area
0.29	0.79	میانگین روزانه عمق نوري هواييز (AOD) Average daily AOD

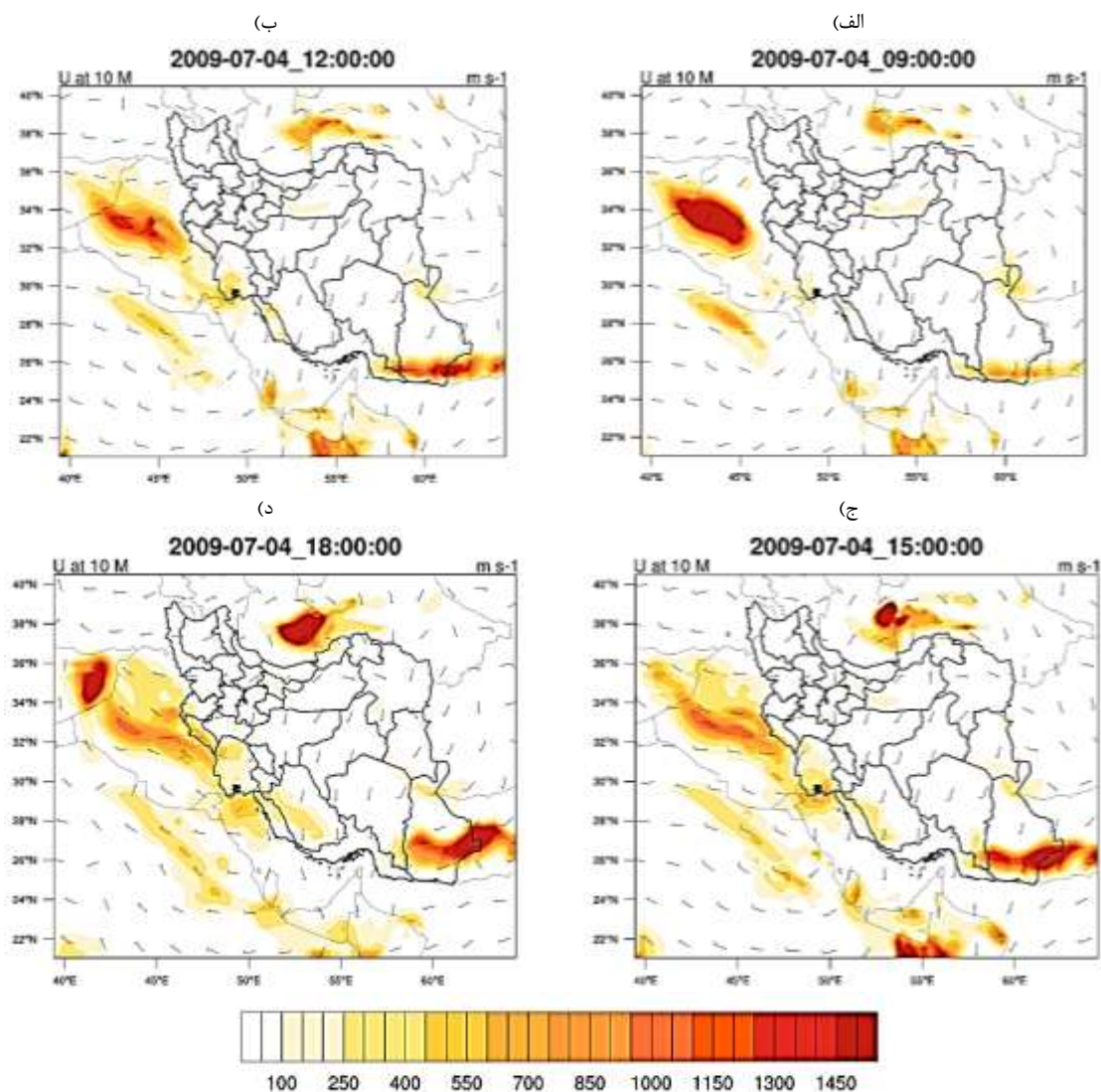
غربي در مناطق مركزي عراق به سمت شرق منتقل شده و به استان ايلام و شمال شرقي خوزستان نفوذ کرده است. غلظت گردوخاك در جنوب خوزستان نيز افزايش یافته و منطقه وسيع تری را تحت تاثير قرار داده است. در مرز استان های بوشهر و فارس نيز گردوخاك مشاهده می شود. در ساعت ۱۸ UTC گردوخاك عراق وارد استان ايلام، غرب استان کرمانشاه و شمال استان خوزستان شده است. در این ساعت بخش وسيع تری از جنوب استان فارس نيز تحت تاثير گردوخاك قرار دارد. غلظت گردوخاك در شرق سوریه مجدداً افزايش یافته است که نشان دهنده گسیل مجدد گردوخاك از این منطقه است. بررسی کدهای پدیده گزارش شده از ایستگاه های هواشناسی همدیدی منطقه مورد مطالعه نشان داد که در این روز کلیه ایستگاه ها کد ۶ را ثبت کرده اند که نشان دهنده ورود گردوخاك غير محلی به این منطقه است.

شبيه سازی غلظت ذرات PM_{10} با استفاده از مدل

WRF - CHEM

فصل گرم

شكل ۱۱ غلظت سطحی گردوخاك و بردارهای باد تراز ۱۰ متری را در روز ۴ ژوئیه سال ۲۰۰۹ نشان می دهد. در ساعت ۰۹ UTC توده گردوخاك غلیظی در بخش کوچکی از مرز کشور سوریه و عراق و همچنین شمال غربی و مرکز عراق مشاهده می شود که تحت تاثير بادهای غرب و جنوب غربی قرار دارد. در ساعت ۱۲ UTC گردوخاك بخش وسيع تری از مناطق مرکزی عراق را تحت پوشش قرار داده و غلظت آن کاهش یافته است. در این ساعت گردوخاك با غلظت کمتری در جنوب استان خوزستان و مناطقی از استان بوشهر مشاهده می شود که تحت تاثير بادهای جنوب غربی می تواند به مناطق شمالی تر منتقل شود. در ساعت ۱۵ UTC گردوخاك بدلیل وزش بادهای

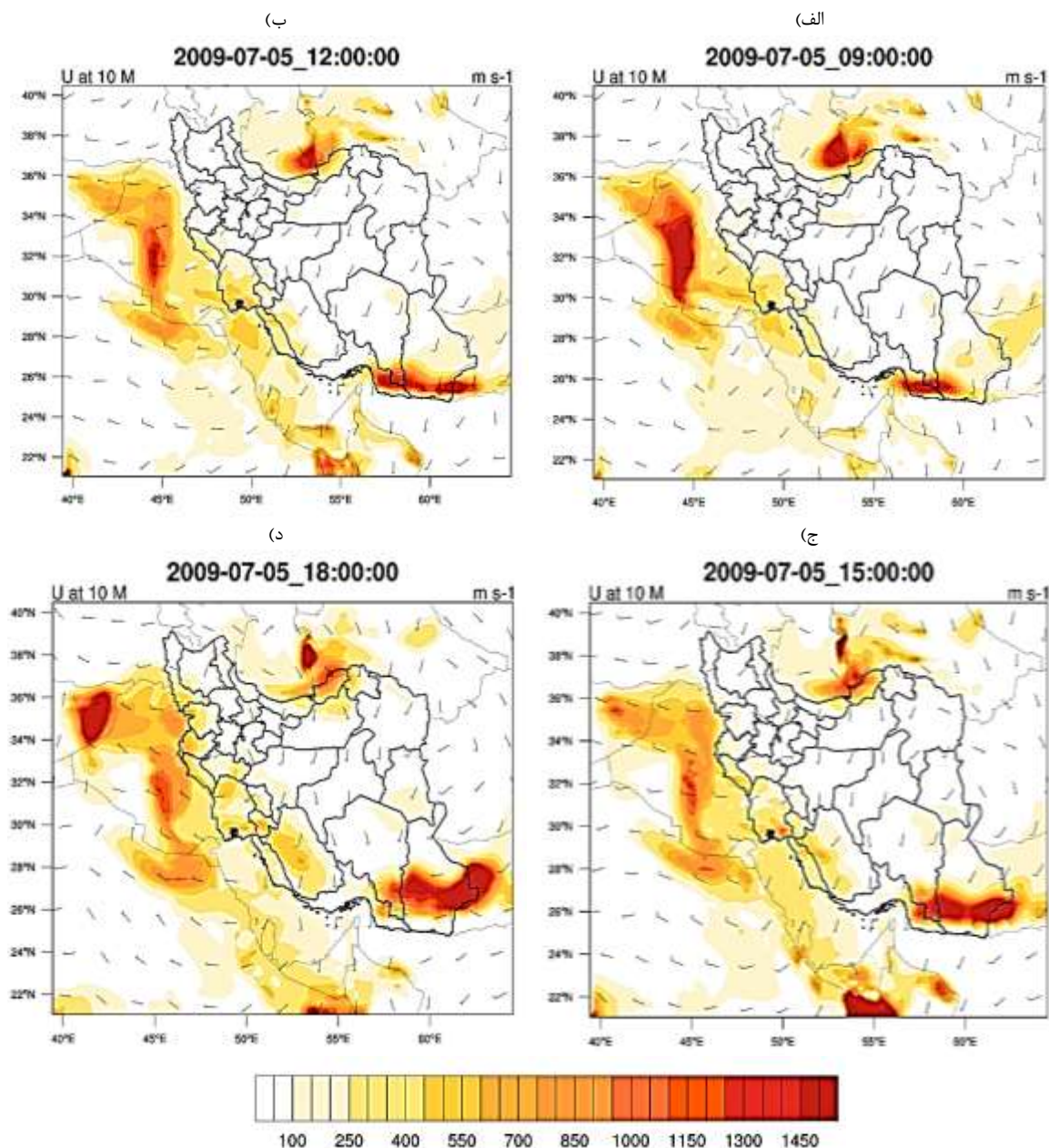


شکل ۱۱- غلظت سطحی گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^3}$) و باد تراز ۱۰ متری ($\frac{m}{s}$) در روز ۴ ژوئیه سال ۲۰۰۹ (الف) ساعت ۰۹ UTC (ب) ساعت ۱۲ UTC (ج) ساعت ۱۵ UTC (د) ساعت ۱۸ UTC

Fig. 11- Surface dust concentration ($\frac{\mu g}{m^3}$) and 10m wind velocity on July 4, 2009 at a) 09UTC b) 12UTC c) 15UTC d) 18UTC

وراد مرزهای غربی ایران شده و غلظت گردوخاک در جنوب خوزستان و بخش وسیعی از خلیج فارس افزایش یافته است. در ساعت ۱۸ UTC غلظت گردوخاک در مناطق غربی ایران شامل جنوب استان آذربایجان غربی و استان های کرمانشاه، کردستان و لرستان نیز به شکل قابل توجهی افزایش نشان داده است. در این روز نیز بررسی کدهای پدیده گزارش شده از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی منطقه مورد مطالعه نشان داد که مشابه روز قبل کلیه ایستگاه‌ها کد ۶ را ثبت کرده‌اند که نشان دهنده ورود گردوخاک غیر محلی به این منطقه است.

غلظت سطحی گردوخاک به همراه بردارهای باد تراز ۱۰ متری در روز ۵ ژوئیه سال ۲۰۰۹ در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. در ساعت ۰۹ UTC گردوخاک بخش وسیعی از استان های جنوب‌غربی ایرارا تحت پوشش قرار داده و غلظت گردوخاک در مناطق مرکزی عراق به شدت افزایش یافته است که بیانگر فعالیت مجدد چشمه های گردوخاک واقع در این منطقه است. در ساعت ۱۲ UTC گردوخاک تحت تاثیر بادهای غربی به سمت شرق منتقل شده و به مرزهای ایران نزدیک شده است. در این ساعت استان ایلام به صورت کامل تحت تاثیر گردوخاک است. در ساعت ۱۵ UTC گردوخاک

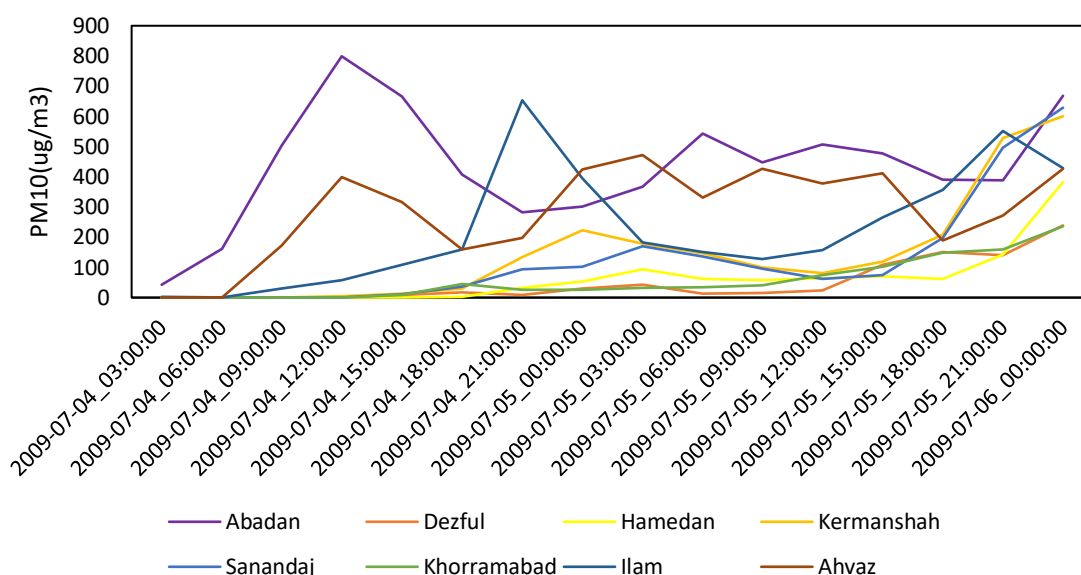


شكل ۱۲- غلظت سطحی گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^3}$) و باد تراز ۱۰ متری ($\frac{m}{s}$) در روز ۵ ژوئیه سال ۲۰۰۹ (الف ساعت ۰۹ UTC (ب ساعت ۱۲ UTC (ج ساعت ۱۵ UTC (د ساعت ۱۸ UTC)

Fig. 12- Surface dust concentration ($\frac{\mu g}{m^3}$) and 10m wind velocity on July 5, 2009 at a) 09UTC b) 12UTC c) 15UTC d) 18UTC

ژوئیه نمایش داده شده است. از آنجا که طبق خروجی مدل (شكل ۱۲)، چشمه های گردوخاک واقع در کشور عراق در این مورد مطالعاتی به شدت فعال بوده و غلظت گردوخاک بر روی بخش وسیعی از کشور عراق بسیار زیاد است؛ میزان بیشینه غلظت در شهرهای نزدیک به مرز عراق مانند آبادان و ایلام نسبت به سایر شهرها بیشتر است.

سری زمانی داده های غلظت PM10 خروجی مدل WRF- Chem برای تعدادی از ایستگاه های واقع در غرب و جنوب غربی ایران از روز ۴ تا ۶ ژوئیه سال ۲۰۰۹ در شكل ۱۳ نشان داده شده است. بیشترین مقادیر مربوط به ایستگاه آبادان و پس از آن ایلام است. مقدار بیشینه غلظت در ایستگاه آبادان در روز ۴ ژوئیه مشاهده می شود. در حالی که در ایستگاه اهواز بیشترین مقدار در روز ۵



شکل ۱۳- سری زمانی غلظت PM10 ($\frac{\mu g}{m^3}$) خروجی مدل WRF-Chem برای ایستگاه های آبادان، دزفول، همدان، کرمانشاه، سنندج، خرم آباد، ایلام و اهواز از روز ۴ تا ۶ ژوئیه سال ۲۰۰۹

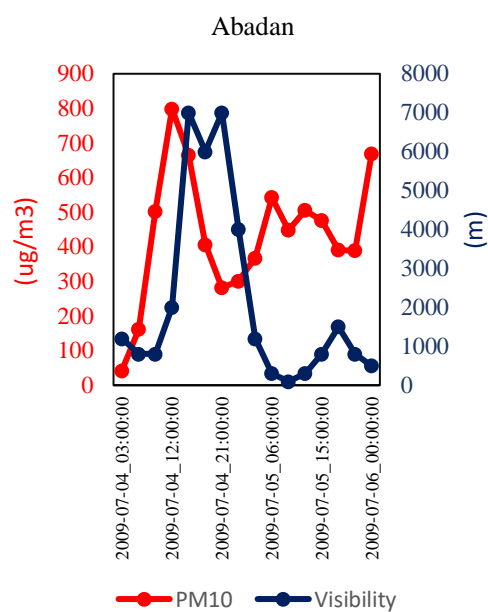
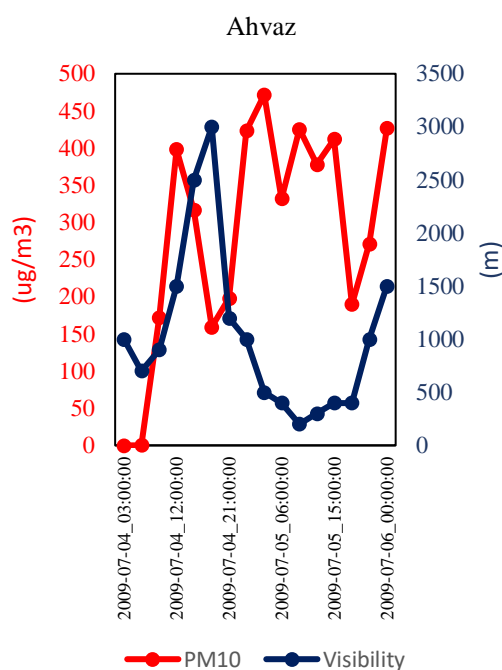
Fig. 13- Dust concentration time series from WRF-Chem model output for Abadan, Dezful, Hamedan, Kermanshah, Sanandaj, Khorram abad, Ilam and Ahvaz stations from July 4 to 9, 2009

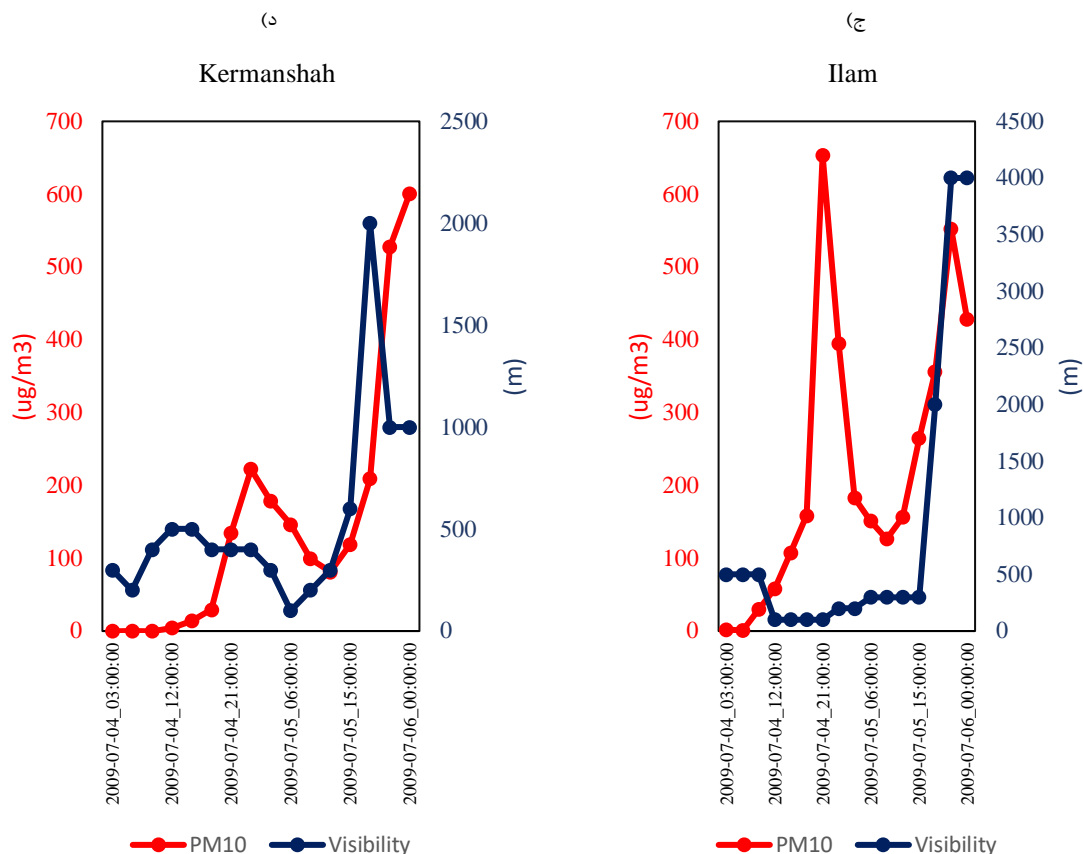
افقی غلظت PM10 افزایش یافته است. مقایسه مقادیر نشان می دهد که مدل، بهترین عملکرد را در ایستگاه اهواز داشته است و در روز ۵ ژوئیه با کاهش شدید دیدافقی، مقادیر غلظت PM10 به شدت افزایش یافته است.

سری زمانی داده های غلظت PM10 خروجی مدل WRF-Chem و دید افقی برای ایستگاه های هواشناسی همدیدی آبادان، اهواز، ایلام و کرمانشاه از روز ۴ تا ۶ ژوئیه سال ۲۰۰۹ در شکل ۱۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که در بیشتر زمان ها با کاهش دید

(ب)

(الف)





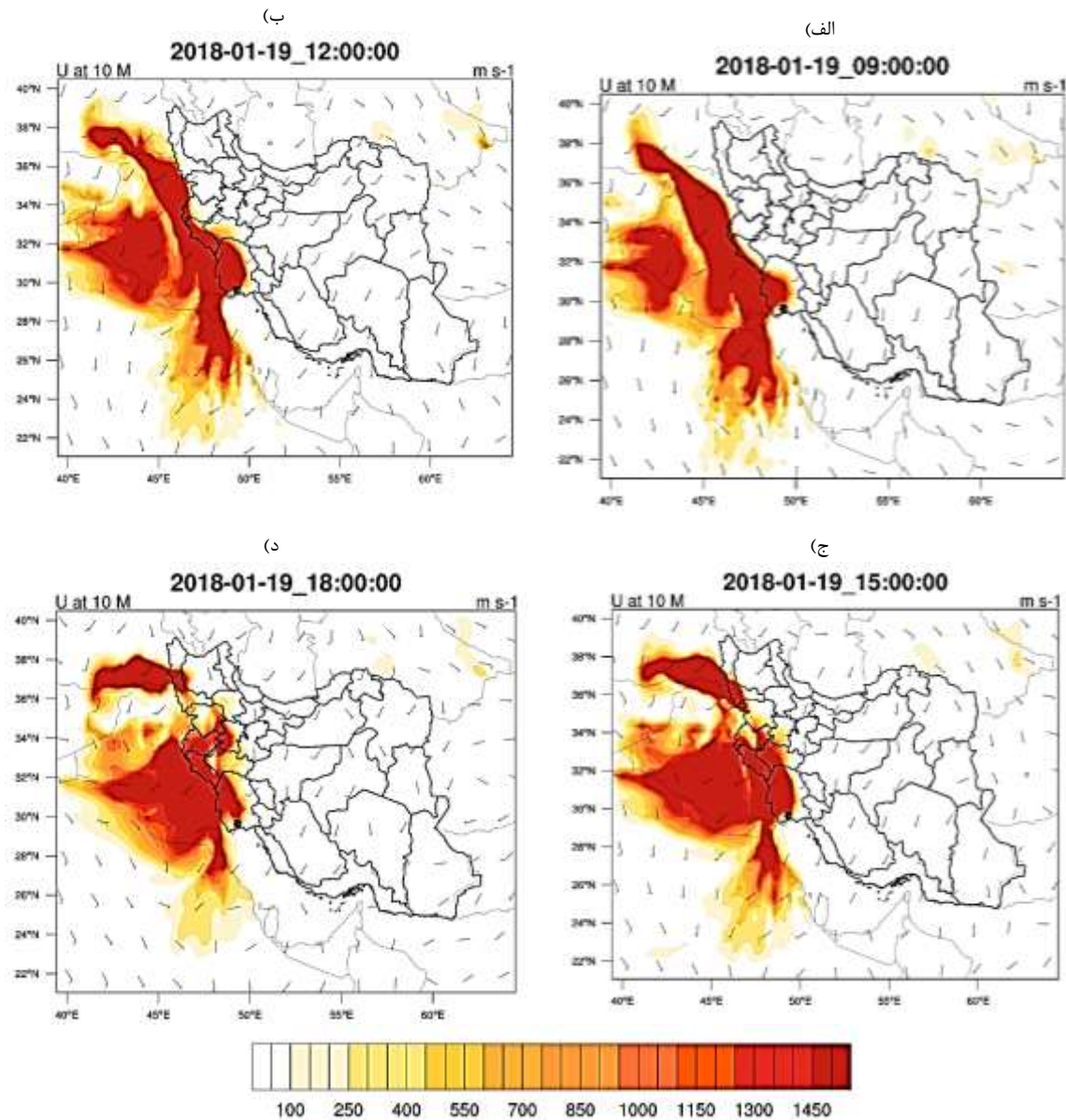
شکل ۱۴- سری زمانی غلظت PM10 ($\frac{\mu g}{m^3}$) خروجی مدل WRF-Chem و دید افقی برای ایستگاه‌های الف) آبادان، ب) اهواز، ج) ایلام د) کرمانشاه از روز ۴ تا ۶ ژوئیه سال ۲۰۰۹

Fig. 14- Dust concentration from WRF-Chem model output and visibility time series for a) Abadan, b) Ahvaz c) Ilam d) Kermanshah stations from July 4 to 9, 2009

خوزستان، لرستان و کردستان را تحت تاثیر قرار داده و غلظت گردوخاک در این مناطق افزایش یافته است، در استان‌های آذربایجان غربی، کردستان و همدان نیز گردوخاک نشان داده شده است. در ساعت ۱۸ UTC غلظت گردوخاک در لرستان و همدان افزایش یافته در لرستان و نیمه شرقی خوزستان اندکی کاهش یافته است. بررسی کدهای پدیده گزارش شده از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی منطقه مورد مطالعه نشان داد که در این روز به جز ایستگاه‌های آبادان در ساعت ۲۱ UTC، هندیجان، شادگان و شوش در ساعت ۹ UTC که کد ۷ مرتبط با گردوخاکی که از اطراف ایستگاه برخاسته را گزارش کرده‌اند؛ کلیه ایستگاه‌ها کد ۶ را ثبت کرده‌اند که نشان دهنده ورود گردوخاک غیر محلی به این منطقه است.

فصل سرد

غلظت سطحی گردوخاک و سرعت باد در تراز ۱۰ متری در روز ۱۹ ژانویه سال ۲۰۱۸ در شکل ۱۵ نشان داده شده است. در ساعت ۹ UTC گردوخاک از شرق سوریه تحت تاثیر بادهای جنوب و جنوب غربی وارد مناطق جنوبی ترکیه شده است. از طرف دیگر غلظت گردوخاک در بخش وسیعی از کشور عراق، شمال شرقی عربستان و مناطق مرزی استان‌های ایلام و خوزستان بسیار زیاد است. در ساعت ۱۲ UTC غلظت گردوخاک در مناطق مرکزی عراق اندکی افزایش یافته است. در این ساعت در غرب استان‌های کرمانشاه و لرستان نیز گردوخاک مشاهده می‌شود. در ساعت ۱۵ UTC غلظت گردوخاک در بسیاری از استان‌های نیمه غربی کشور افزایش نشان داده است و علاوه بر اینکه بخش‌های وسیع تری از استان‌های ایلام،



شکل ۱۵- غلظت سطحی گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^3}$) و باد تراز ۱۰ متری ($\frac{m}{s}$) در روز ۱۹ ژانویه سال ۲۰۱۸ (الف ساعت ۰۹ UTC (ب ساعت ۱۲ UTC (ج ساعت ۱۵ UTC (د ساعت ۱۸ UTC

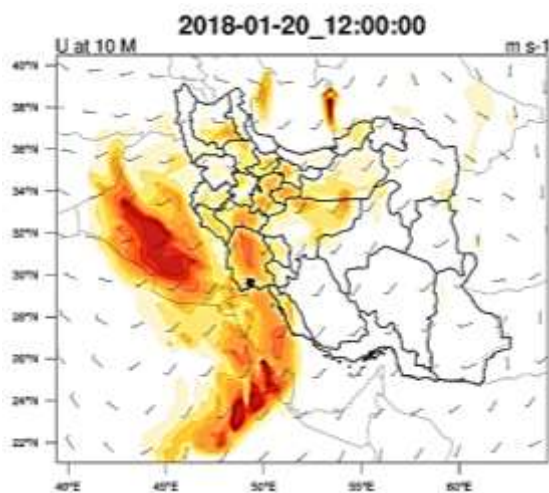
Fig. 15- Surface dust concentration ($\frac{\mu g}{m^3}$) and 10m wind velocity on January 19, 2018 at a) 09UTC b) 12UTC c) 15UTC d) 18UTC

داده شده است. در ساعت ۱۲ UTC گردوخاک از مناطق مرکزی عربستان وارد بخش هایی از خلیج فارس و استان بوشهر شده است. علاوه بر آن ذرات گردوخاک تا استان های تهران و سمنان نیز نفوذ کرده اند. در ساعت ۱۵ از غلظت گردوخاک در استان های غربی کشور کاسته شده است. در این روز در منطقه ای واقع در مرز دو استان سمنان و یزد، افزایش غلظت گردوخاک مشاهده می شود که نشان دهنده فعالیت چشمه محلی گردوخاک در این

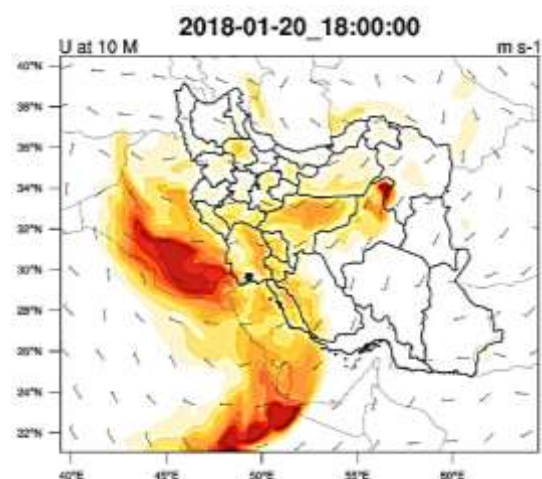
غلظت گردوخاک و سرعت با در ارتفاع ۱۰ متری در روز ۲۰ ژانویه در شکل ۱۶ نشان داده شده است. در این از غلظت گردوخاک در عراق و نیمه غربی ایران کاسته شده ولی با انتقال گردوخاک به سمت شرق استان های بیشتری تحت تاثیر گردوخاک قرار گرفته اند. در ساعت ۹ UTC استان های البرز، مرکزی، زنجان و قم تحت تاثیر گردوخاک قرار گرفته اند. همچنین در مناطقی از استان های اصفهان و چهارمحال و بختیاری نیز گردوخاک نشان

نشان داد که در این روز به جز ایستگاه فرودگاه بوشهر که در ساعت ۱۸ UTC کد ۷ را گزارش کرده است کلیه ایستگاه‌ها کد ۶ را ثبت کرده‌اند که نشان دهنده ورود گردوخاک غیر محلی به این منطقه است.

(ب)

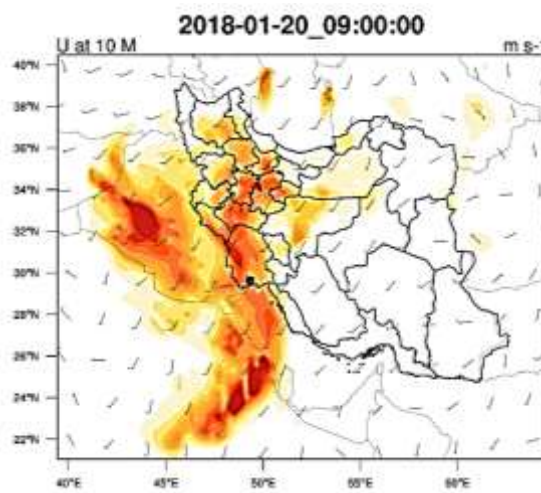


(د)

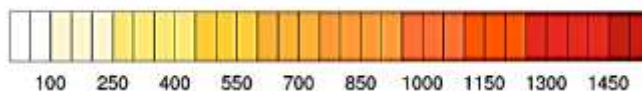
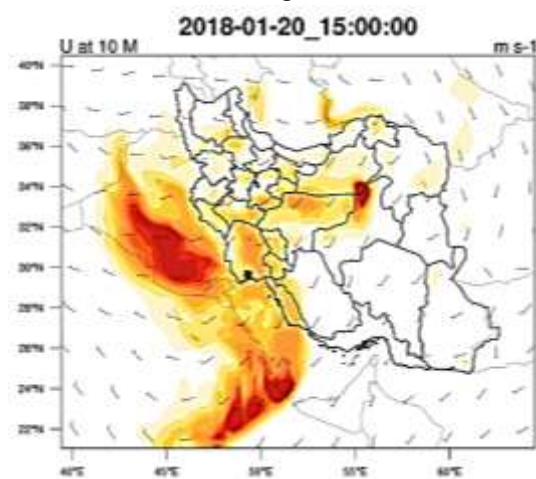


منطقه است. در ساعت UTC گردوخاک بخش وسیع تری از استان اصفهان را تحت تاثیر قرار داده و بیشترین غلظت گردوخاک در ایران در شمال استان یزد مشاهده می‌شود. بررسی کدهای پدیده در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

(الف)



(ج)

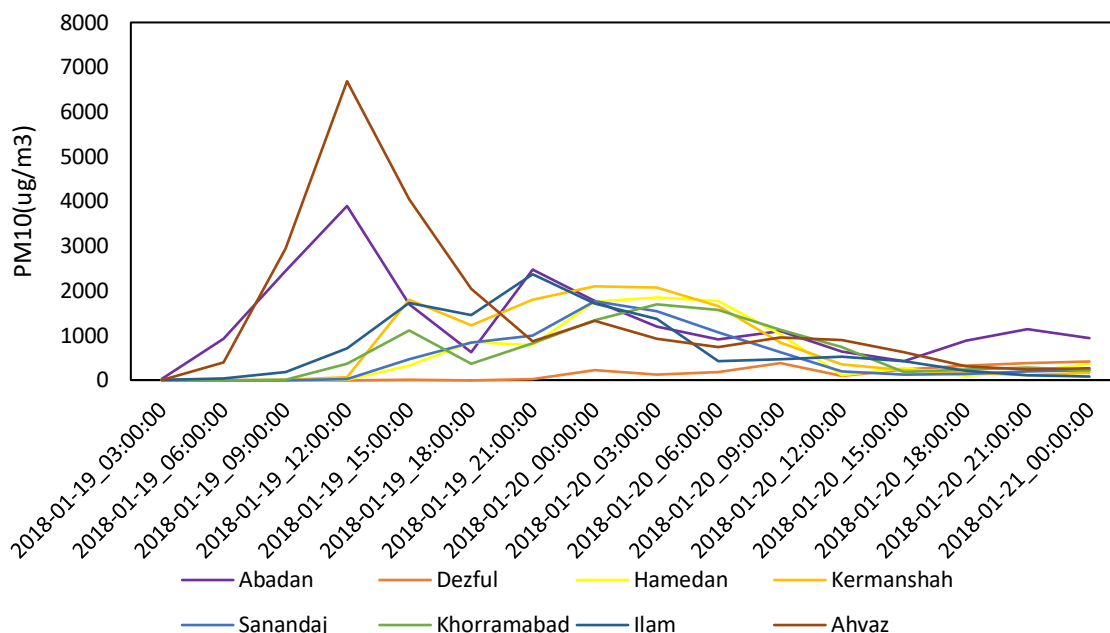


شکل ۱۶- غلظت سطحی گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^3}$) و باد تراز ۱۰ متری ($\frac{m}{s}$) در روز ۲۰ ژانویه سال ۲۰۱۸ (الف) ساعت ۰۹ UTC (ب) ساعت ۱۲ UTC (ج) ساعت ۱۵ UTC (د) ساعت ۱۸ UTC

Fig. 16- Surface dust concentration ($\frac{\mu g}{m^3}$) and 10m wind velocity on January 20, 2018 at a) 09UTC b) 12UTC c) 15UTC d) 18UTC

می‌شود. در حالی که در ایستگاه‌های واقع در استان خوزستان بیشترین مقادیر در روز ۱۹ ژانویه مشاهده شده، در ایستگاه‌های غربی ایران مانند کرمانشاه، همدان و خرم آباد بیشترین غلظت PM10 در اوایل روز ۲۰ ژانویه نشان داده شده است.

شکل ۱۶ سری زمانی داده‌های غلظت PM10 خروجی مدل WRF-Chem را برای تعدادی از ایستگاه‌های واقع در غرب و جنوب‌غربی ایران از روز ۱۹ تا ۲۱ ژانویه سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر مربوط به ایستگاه اهواز و پس از آن آبادان است که در روز ۱۹ ژانویه مشاهده



شکل ۱۷- سری زمانی غلظت PM10 ($\frac{\mu g}{m^3}$) خروجی مدل WRF-Chem برای ایستگاه‌های آبادان، دزفول، همدان، کرمانشاه، سنندج، خرم‌آباد، ایلام و اهواز از روز ۱۹ تا ۲۱ ژانویه سال ۲۰۱۸

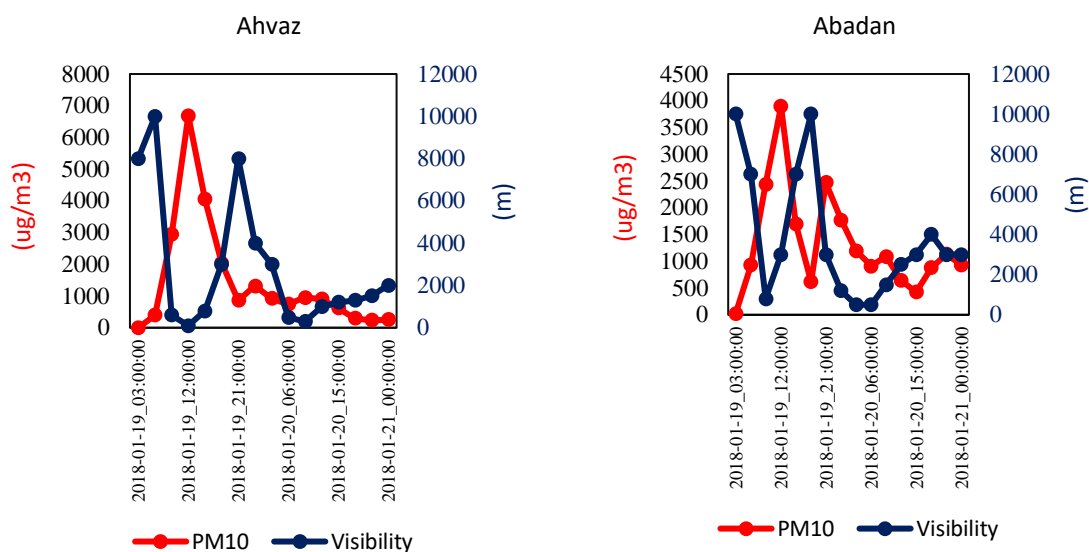
Fig. 17- Dust concentration time series from WRF-Chem model output for Abadan, Dezful, Hamedan, Kermanshah, Sanandaj, Khorram abad, Ilam and Ahvaz stations from January 19 to 21, 2018

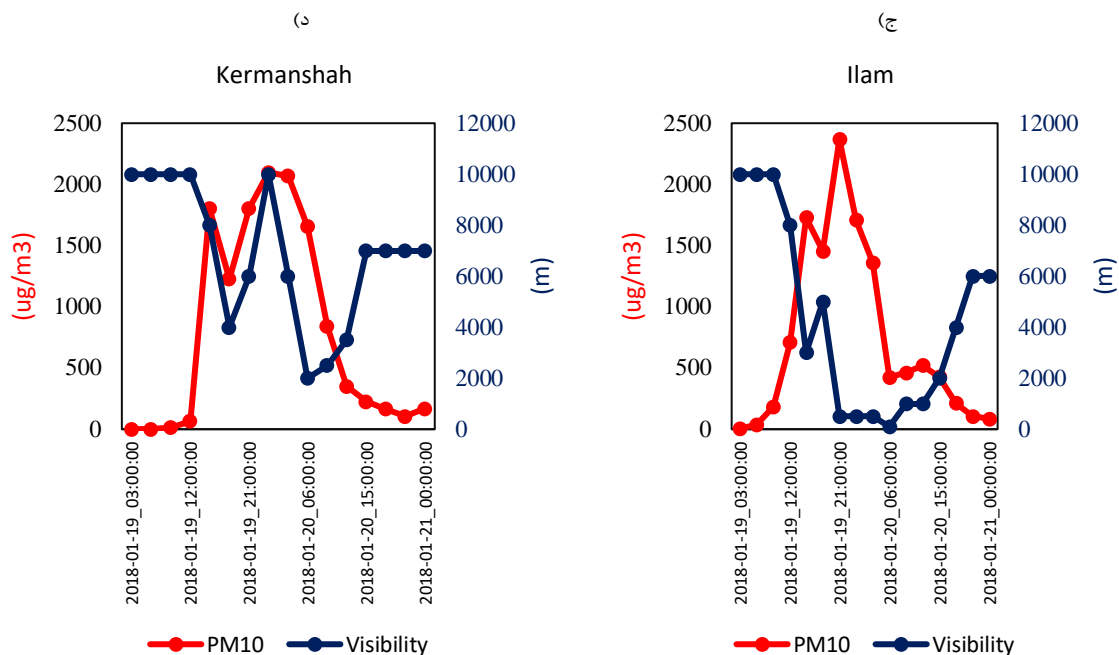
PM10 افزایش یافته است. مقایسه مقادیر نشان می‌دهد که عملکرد مدل در دو ایستگاه اهواز و ایلام بهتر بوده و به ترتیب در ساعت ۱۲ و ۲۱ روز ۱۹ ژانویه افزایش زیاد مقادیر غلظت PM10 را با کاهش شدید دید افقی برآورد کرده است.

(ب)

سری زمانی داده‌های غلظت PM10 خروجی مدل WRF-Chem و دید افقی برای ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی آبادان، اهواز، ایلام و کرمانشاه از روز ۱۹ تا ۲۱ ژانویه سال ۲۰۱۸ در شکل ۱۸ نشان شده است. نتایج نشان می‌دهد که در بیشتر زمان‌ها با کاهش دید افقی غلظت

(الف)





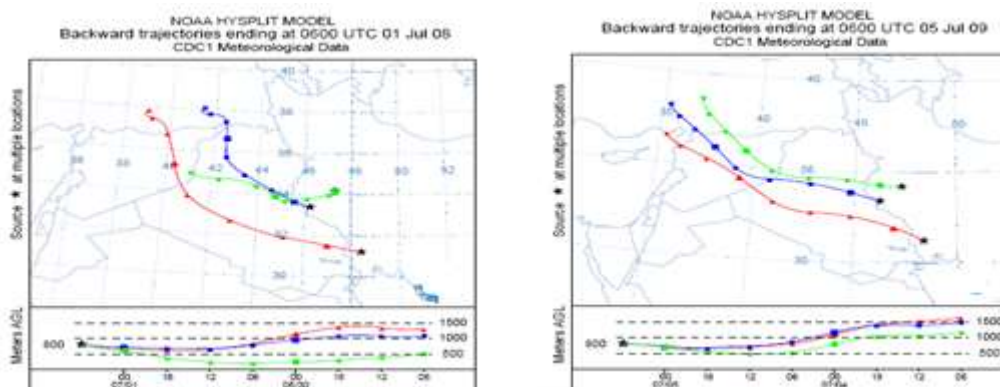
شکل ۱۸- سری زمانی غلظت PM10 ($\frac{\mu g}{m^3}$) خروجی مدل WRF-Chem و دید افقی برای ایستگاه های الف) آبادان، ب) اهواز، ج) ایلام د) کرمانشاه از روز ۱۹ تا ۲۱ ژانویه سال ۲۰۱۸

Fig. 18- Dust concentration from WRF-Chem model output and visibility time series for a) Abadan, b) Ahvaz c) Ilam d) Kermanshah stations from January 19 to 21, 2018

یافته‌اند و این شرایط منجر به کاهش میدان دید افقی در ایستگاه‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، لرستان و بوشهر شده است. بنابر نتایج تحقیقات (Azizi et al., 2012) و همچنین Mofidi and Jafari (2011) در فصل گرم سال، باد شمال ساز و کار اصلی انتقال ذرات از محدوده‌ای در حد فاصل عراق و سوریه به غرب ایران است.

فصل گرم سال

بررسی مسیرهای انتقال ذرات در نمونه‌های منتخب فصل گرم سال در شکل ۱۹ نشان می‌دهد که بادهای حامل گرد و خاک از شرق سوریه با جهت شمال غربی - جنوب شرقی با عبور از روی هسته‌های گرد و خاک به نوار مرزی و جنوبی ایران رسیده‌اند و تا ایستگاه بوشهر و پایین‌تر از آن انتقال

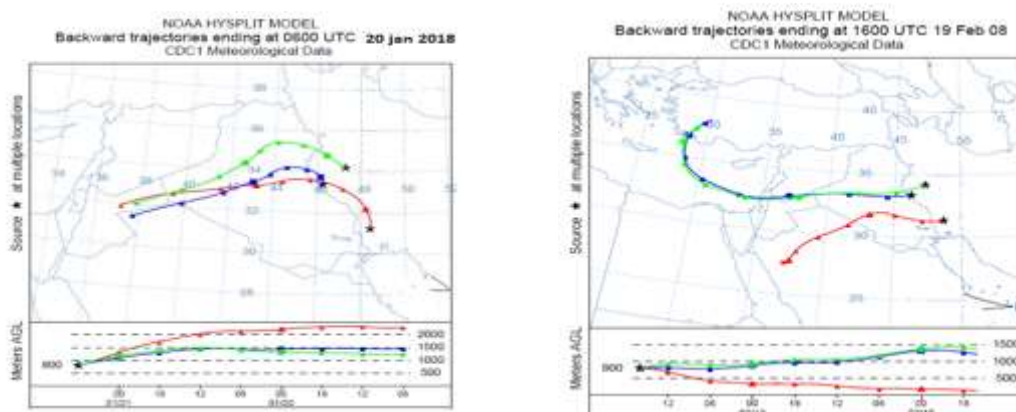


شکل ۱۹- ردیابی پس‌رو مسیر باد با گام زمانی ۶ ساعته در مدت ۴۸ ساعت قبل از ورود گردوخاک (الف) روز ۵ جولای ۲۰۰۹ و (ب) روز ۱ جولای ۲۰۰۸

خاک از غرب عراق با جهت غربی-شرقی به نوار مرزی ایران می‌رسند. این مسیر از فراوانی کمتری برخوردار است و بیشتر در فصل سرد سال قابل مشاهده است (Azizi et al., 2012).

فصل سرد سال

بررسی مسیرهای انتقال ذرات نمونه‌های منتخب فصل سرد سال در شکل ۲۰ نشان می‌دهد که بادهای حامل گرد و



شکل ۲۰- ردیابی پس رو مسیر باد با گام زمانی ۶ ساعته در مدت ۴۸ ساعت قبل از ورود گردو خاک (الف) روز ۱۹ فوریه ۲۰۰۸ و (ب) روز ۲۰ ژانویه ۲۰۱۸
 Fig. 20- Backward trajectory with 6 hours intervals within 48 hours before the dust storm (a) February 19, 2008, and (b) January 20, 2018

نتیجه گیری

به ترتیب مدل عددی جفت شده WRF-Chem و مدل لاگرانژی HYSPLIT استفاده شد. بررسی پدیده های گردو خاک رخ داده در دو دوره گرم و سرد سال با استفاده از مدل عددی جفت شده WRF - Chem و مدل لاگرانژی HYSPLIT نشان داد که این مدل ها در مقیاس های مکانی و زمانی مختلف از قابلیت مناسبی برای شناخت پدیده گردو خاک و ویژگی های آن برخوردار می باشند. اجرای مدل ها با گام های زمانی ۶ ساعته نشان داد که در نمونه های مورد بررسی، مرکز و غرب عراق را در فصل سرد سال و شمال غرب عراق و شرق سوریه را در فصل گرم سال به عنوان چشمه های اصلی گسیل ذرات گردو خاک نشان داد. مقایسه سری زمانی داده های غلظت PM_{10} خروجی مدل WRF-Chem و دید افقی برای ۴ ایستگاه هواشناسی همدیدی نشان می دهد که در بیشتر زمان ها با کاهش دید افقی غلظت PM_{10} افزایش یافته است. وجود تطابق نتایج حاصل از مدل WRF - Chem و مدل لاگرانژی HYSPLIT نشان دهنده قابلیت بالای داده های سنسجش از دور در بارزسازی کانون های گردو خاک است. مطالعات انجام شده و بررسی روند تغییرات پوشش سطح زمین منطقه های نامبرده شده طی دهه های اخیر بیانگر کاهش قابل توجه پوشش گیاهی و رطوبت خاک این منطقه ها در کشورهای مجاور غرب ایران است. از طرف دیگر این منطقه ها دارای آبرفت هایی با پتانسیل زیاد

گردو خاک یکی از مهمترین پدیده های مخاطره آمیز جوی برای حوزه های کاربردی مختلف می باشد. اثرهای نامطلوب این پدیده امروزه در کشاورزی، بهداشت و سلامت جامعه، حمل و نقل (هوایی و زمینی) و غیره به روشنی دیده می شود.

در پژوهش حاضر با ترکیبی از روش های سنسجش از دوری و مدل سازی و با استفاده از الگوریتم هایی مبتنی بر DT و DB آشکار سازی ذرات گردو خاک ورودی به مناطق غربی و جنوب غرب ایران طی رخدادهای مختلف در دوره های گرم و سرد سال مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج آماری حاصل از پردازش داده های گردو خاک ایستگاه های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه می توان گفت که گردو خاکی های ورودی به غرب ایران از گستردگی مکانی و زمانی قابل توجهی برخوردار بوده اند و در یک راستای شمال غربی - جنوب شرقی غرب میانه و جنوب غرب ایران را تحت تأثیر قرار می دهند. از این رو مقایسه نتایج حاصل از تصاویر سنسجنده مودیس با کدهای هوای حاضر ثبت شده در ایستگاه های سینوپتیک منطقه نشان داد که الگوریتم های بازایی DT، و DB این سنسجنده از توانایی قابل قبولی در آشکار سازی و شناسایی ماهیت ذرات معلق جو دارند. به منظور بررسی امکان استفاده از تصاویر ماهواره ای سنسجنده مودیس به منظور تخمین میزان PM_{10} از دو مدل

⁵ Weather Research and Forecasting (WRF) model coupled with Chemistry

⁶ Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport

⁷ The Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

⁸ Dark Target

⁹ Deep Blue

¹⁰ Ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/all Data/6/ MOD04-L2

¹¹ "Final" analysis

¹² the Air Force Weather Agency

¹³ NCAR command language

¹⁴ <http://ready.arl.noaa.gov>

¹⁵ The WRF Pre-Processing System

فرسایش هستند که مجموع این شرایط سبب شده است که این منطقه‌ها به‌عنوان کانون‌های اصلی گردوخاک برای غرب ایران مطرح باشند.

پی‌نوشت‌ها

¹ Brightness Temperatures Differences

² Normalized difference *dust* index

³ Aerosol optical depth

⁴ Geographic information system

منابع

Abdolkhani, A., 2010. Detection and classification of dust masses over the south western Iran, using remote sensing and GIS, M.Sc. Thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Ackerman, S.A., 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*. 102(14), 17069-17080

Ackerman, S.A., 1989. Using the radiative temperature difference at 3.7 μ m and 11 μ m to trace dust outbreaks. *Remote Sensing Environment*. 27, 129-133.

Adeli, Sh; Amini, V; Abdsherafat, A; 2012. Investigation of dust storms using the Modis data, case study: East Azerbaijan. 1st National Conference of the Approaches to Sustainable Development.

Adhami, S., 2006. Fundamentals of Image Processing with the ERDAS Software, Omid Mehr Publications, Sabzevar, Iran.

Aliabadi, K.; Asadi, M. and Dadashi, A, 2015. Monitoring and investigation of dust storms using remote sensing, case study: west and south west of Iran. *Journal of Rescuing*. 7,1. (In Persian with English abstract).

Alizadeh Choobari, O., Zavar-Reza, P. and Sturman, A., 2014. The wind of 120 days and dust

storm activity over the Sistan Basin. *Journal of Atmospheric Research*. 143, 328-341.

Ansari, H, Serajian, H; Akhundzadeh, M., 2005. Investigation of Modis data to identify the particulae matters (case study of Alborz Province). second national conference of geographic information systems, K. N. Toosi University of Technology (in persian).

Azizi, Gh., Miri, M and Nabavi, S, 2012. Detection of dust storms in western Iran. *Geographical Studies of Arid Regions*. 7, 63-81 (In Persian with English abstract).

Bensana, E., Lemaitre, M. and Verfaillie, G., 1999. *Earth Observation Satellite Management Constraints*, 4(3), 293-299.

Darvishi, A. Nabavi, A. Azizi, R. and Dehghani, M., 2012. Determination of dust sources in western Iran using remote sensing techniques, wind trajectory, and investigation of the region's local features. First international conference of combatting dust storms and its adverse effects. The university of agricultur and natural resources, Ramin, Khuzestan, Iran.

Draxler, Ronald.R., Hess, G.D., 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Australian Meteorological Magazine* 47, 295e308.

- Ensafi-moghaddam, T., Khoshakhlagh, F., Shamsipour, A, Akhavan, R; 2006; Monitoring and assessment of dust impact on the rain variations over south-west of Iran, using remote sensing and GIS. *Journal of remote sensing and GIS*. 9, 2, 79-98.
- Foroushani, A., Opp, M., Groll, C., and Nikfal, A., 2020. Evaluation of WRF-Chem Predictions for Dust Deposition in Southwestern Iran. *Atmosphere*. 11(7), 757.
- Ginoux, P., Prospero, J M., Gill, T E., Hsu, N C. and 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*, No: 50.
- Hamish, M., Andrew, C, 2008. Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit. *Atmospheric Environment*. 42, 6915- 6925.
- Hsu, N.C.; M. Jeong, C. Bettenhausen, AM. Sayer, R. Hansell, C. Seftor, J. Huang, and S.C. Tsay. 2013. Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 9296–9315. DOI 10.1002/jgrd.50712
- Karegar, E., Bodagh Jamali, J., Goshtasb, H., Ranjbar Saadat Abadi, A. and Moeinaddini, M., 2017. Numerical simulation of extreme sand and dust storm in east of Iran, by the WRF_Chem model case study; 1 may & 1 June 2011. *Journal of Natural Environment*. 69(4), 1077-1089.
- Karimi, Kh, Taheri, H, Habibi, H, Hafez, N; 2011. detection of dust sources in the Middle East using remote sensing; *Journal of climatology*. Vol 2, No 7-8, 57-72 (in persian).
- Kheirandish, Z., Bodagh, J.J. and Rayegani, B., 2018. Identification of the best algorithm for dust detection using MODIS data.
- Klingmüller, K.; Pozzer, A., Metzger, S.; Stenchikov, G.L., and Lelieveld, J., 2016. Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 16, 5063-5073.
- Li, L. and Sokolik, I.N., 2018. Analysis of dust aerosol retrievals using satellite data in Central Asia. *Atmosphere*. 9(8), 288.
- Marticorena, B. and Bergametti, G., 1995. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of geophysical research: atmospheres*. 100(D8), 16415-16430.
- Miller, S. D., 2003. A Consolidated Technique for Enhancing Desert Dust Storms With MODIS, *Geophysical Research Letters*. Vol. 30, No. 20, 2071-4.
- Mofidi, A. and Jafari, S, 2011. Investigation of the atmosphere's regional circulation over the Middle East in the summer-time dust storms of south-western Iran; Geographical studies of the arid regions. No 5, 40-45 (in persian).
- Nikfal, A., Rnajbar, A., Karami, S. and Sehatkashani, S., 2016. The capabilities of the WRF-Chem model in ther prediction of dust concentration (case study: Tehran's dust storm), *Journal of environmental science, Shahid Beheshti University*. 15(1), 115-126 (In Persian with English abstract).
- Rangzan, K., Zarasvandi, A., Abdolkhani, A. and Mojaradi, B., 2014. Air qualiy modeling with the Modis images, case study: Khuzestan's dust storms. *Journal of advanced applied geology*. No 14, 38-45 (In Persian with English abstract).
- Rasouli, A, 2008; *Fundamentals of Remote Sensing*, with an emphasis on satellite images,

University of Tabriz publication. Tabriz, Iran.

Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Gachpaz, S., Ramezani, J. and Sarkheil, H., 2020. Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*. 112, 106099.

Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research*. 10, 103-109.

Shi Y, Zhang J, Reid J, Hyer E, Hsu N. 2013. Critical evaluation of the MODIS Deep Blue aerosol optical depth product for data assimilation over North Africa. *Atmospheric Measurement*

Techniques. 6(4), 949-969.

Sorek-Hamer, M., I. Kloog; P., Koutrakis; A.W., Strawa; R., Chatfield; A., Cohen, A., Ridgway, W.L. and D.M., Broday, 2015. Assessment of PM 2.5 concentrations over bright surfaces using MODIS satellite observations. *Remote Sensing of Environment*. 163, 180-185.





Environmental Sciences Vol.20 / No.4 / Winter 2023

53-80

Original Article

determination of dust over west and southwest of Iran using remote sensing techniques and numerical simulation

Razieh Pilehvaran,¹ Zahra Rastegoo,² Sara Karami^{3*} and Behrooz Moradpour¹

¹ Department of Climatology, Director General of Lorestan Meteorological, Khoramabad, Iran

² Department of Meteorology, Deputy of Bushehr Meteorological Development and Forecasting, Bushehr, Iran

³ Department of Air Pollution and Dust Research, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran

Received: 2021.12.06 Accepted: 2022.07.06

Pilehvaran, R., Rastegoo, Z., Karami, S. and Moradpour, B., 2023. determination of dust over west and southwest of Iran using remote sensing techniques and numerical simulation. *Environmental Sciences*. 20(4): 53-80.

Introduction: Dust has been one of the most important environmental challenges over a large part of Iran in recent years. Dust detection and monitoring using weather forecasting models and remote sensing data and products that have higher speed, accuracy and lower cost is very important.

Material and methods: In this study, a number of intense dust episodes have been selected out of 15 years (2004-2018) of the statistical period, in the warm and cold seasons over the western and southwestern parts of the country. The data used include the present weather code and visibility of synoptic stations located in the area, the AOD product of the MODIS sensor and the FNL data for the implementation of the WRF-Chem model. In the first step, the dust storms were detected in the study area, using the combined Deep Blue (DB) and Dark Target (DT) algorithms. In the next step, in order to study the dust concentration over the region and its affected areas, the PM10 concentration was simulated using the WRF-Chem model and the trend of its changes during the case studies was compared to visibility at several synoptic stations. Finally, the Lagrangian model, HYSPLIT was used to track the dust particle path.

Results and discussion: Comparing the results of MODIS sensor images with the present weather codes recorded in synoptic stations in the region showed that the DT and DB algorithms used in the detection of suspended particles have acceptable performance and showed the increase of AOD values in the region. According to the output of the WRF-Chem numerical model in both dust events, the areas located in the

* Corresponding Author: *Email Address*. karamis.62@gmail.com

northwest of Iraq (border between Iraq and Syria), eastern Syria and eastern Iraq (Hur al-Azim) Have been active as the main sources of dust particles for the study area. Comparison of PM10 concentration time series from WRF-Chem model output and visibility in 4 synoptic meteorological stations shows that in most cases the PM10 concentration increased with decreasing visibility.

Conclusion: The results of simultaneous study of dust using satellite images, simulation of suspended particle concentration using WRF-Chem model and determination of dust particle path with HYSPLIT model show that due to the complex nature of the dust storms, different methods can be used to provide a more accurate picture of this phenomenon.

Keywords: MODIS Sensor, Dust Detection, Aerosol Optical Depth, WRF-Chem Model.

