

شبیه سازی واداشت های تابشی و اثر متقابل گردوغبار و اقلیم توسط مدل WRF_Chem در منطقه جنوب غربی آسیا

سعید جهانبخش اصل^۱، مجید رضائی بنفشه^۱، علی محمد خورشید دوست^۱، هاجر فرهمند^۲

^۱ عضو هیئت علمی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ دانشجوی دکتری دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۳

چکیده

گردوغبار و اقلیم دارای بازخوردهای متقابل هستند و این پدیده از یک سو زائیده سامانه های گردشی میان مقیاس و منطقه ای جو است و از سوی دیگر بر این سامانه های می تواند اثرگذار باشد. در این مطالعه ابتدا اثرات گردوغبار بر واداشت تابشی در مناطق تحت تأثیر گردوغبار بررسی خواهد شد و سپس اثرات مستقیم این پدیده بر سامانه اقلیم بررسی خواهد شد. برای شبیه سازی ها از مدل WRF-CHEM و طرحواره هواویز GOCART استفاده شده است. بررسی اثرات مستقیم گردوغبار در منطقه بین النهرین و جنوب غربی ایران نشان می دهد که رخداد گردوغبار باعث افزایش تابش موج بلند در سطح زمین و کاهش تابش موج کوتاه می شود که میزان کاهش تابش موج کوتاه بسیار بیشتر از میزان افزایش تابش موج بلند در سطح زمین است. بنابراین گردوغبار منجر به کاهش متوسط دمای سطحی در منطقه تحت تأثیر گردوغبار و در نتیجه سرمایش سطحی می گردد. همچنین گردوغبار منجر به تضعیف پرفشار تابستانه مستقر در شرق شبه جزیره عربستان می گردد که در افزایش سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی مؤثر است. در نمونه مورد مطالعه، میزان کاهش سرعت باد در منطقه خلیج فارس و جنوب عراق (در بیشترین حالت) به ترتیب ۵- و ۳- متر بر ثانیه بوده و بطور متوسط این شرایط باعث کاهش سرعت باد تا ۲/۳- متر بر ثانیه در منطقه می شود. بنابراین وجود گردوغبار باعث تضعیف سرعت جریان باد می شود که حاصل آن توقف و یا تضعیف انتشار گردوغبار در منطقه است.

کلمات کلیدی: گردوغبار، بازخورد اقلیمی، واداشت تابشی، جنوب غربی آسیا، شبیه سازی عددی

هواویزها در سیستم جهانی آب و هوایی به لحاظ مکانی-زمانی دارای تغییرپذیری بالایی هستند و به عنوان یک عامل اساسی در عدم قطعیت شرایط جوی نقش آفرینی می‌کنند (IPCC, ۲۰۱۹). هواویزهای موجود در جو با تعامل پرتوهای خورشیدی و تغییر در خصوصیات ابر و طول عمر آن نقش مهمی را واداشت تابشی و مشخصه‌های میکروفیزیکی ابر دارند (بلوین^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). هواویزها نه تنها تاثیر خود را بر پرتوهای جو، بلکه کیفیت هوا نیز می‌گذارند؛ ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی کوچک‌تر از ۵/۲ میکرومتر (PM_{2.5}) می‌توانند مواد سمی بسیاری را به مناطق جغرافیایی گسترده‌ای حمل کنند و سلامت عمومی و کیفیت هوا را بشدت تحت تاثیر قرار دهند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲). تاثیر هواویزها در جو که ناشی از منابع طبیعی و انسانی هستند، مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است (ولکمر^۲ و همکاران، ۲۰۰۲).

در مطالعات مختلف شکل‌گیری گردوغبار در جنوب غربی آسیا در دوره گرم سال را ناشی از تشدید کم‌فشار حرارتی موسوم به کم فشار خلیج فارس (پاکستان یا گنگ) و نفوذ زبانه‌های آن تا منطقه بین‌النهرین دانسته‌اند (اوزدمیر^۳ و همکاران، ۲۰۱۸)، که در برخی از رخدادهای گردوغبار زبانه‌های این کم فشار تا جنوب دریای سیاه نیز پیشروی می‌نماید و منجر به ایجاد گردان فشار در منطقه عراق و بین‌النهرین می‌گردد و باعث افزایش سرعت باد در این منطقه می‌شود. پیشروی این زبانه کم‌فشار در تراز دریا عمدتاً ناشی از نفوذ زبانه کم ارتفاع و ناوه در تراز میانی وردسپهر نیز می‌باشد که تشدید ناپایداری در منطقه بین‌النهرین و افزایش سرعت باد و شکل‌گیری جریانان باد شمال غربی - جنوب شرقی در این منطقه را در پی دارد (رنجبر و عزیزی، ۱۳۹۱؛ حمزه و همکاران، ۱۳۹۵؛ بابایی فینی و همکاران، ۱۳۹۵).

در ارتباط با سازوکار شکل‌گیری گردوغبار در دوره

گرم سال در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، جنوب غربی آسیا در فصل گرم در تراز زیرین از یک سو محل همگرایی جریانات هوا در نیمه غربی پاکستان، نیمه غربی فلات ایران و بخش غربی و جنوب غربی شبه جزیره عربستان و نیز محل تشکیل مراکز کم فشار بوده و از سوی دیگر به دلیل وجود واگرایی هوا در بخش‌های شرقی خزر و غرب خلیج فارس، محل تشکیل مراکز پرفشار می‌باشد (مفیدی و زرین، ۱۳۹۲). در دوره گرم سال در برخی از رخدادهای شیو افقی باد در ترازهای زیرین جو افزایش می‌یابد که ناشی از تقویت مرکز و اچرخندی مستقر در غرب خلیج فارس و مرکز چرخندی مستقر در نواحی غربی ایران است (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰). شکل‌گیری این باد از یک سو متأثر از زبانه کم فشار مستقر بر روی ایران و موازی با کوه‌های زاگرس است و از سوی دیگر ناشی از پرفشاری است که در شرق عربستان مستقر می‌باشد (رائو^۴ و همکاران، ۲۰۰۳). گیاناکوپولو و تونی^۵ (۲۰۱۲) به اهمیت کوه‌های زاگرس در شکل‌گیری جت تراز زیرین موسوم به باد شمال در جنوب غربی آسیا اشاره کرده است و مرکز چرخندی مستقر در نواحی غربی ایران که عمدتاً به موازات کوه‌های زاگرس می‌باشد، را یکی از مهمترین مراکز گردشی مؤثر در شکل‌گیری باد شمال معرفی کرده است. زرین و همکاران (۲۰۱۱)، کوهستان زاگرس را به عنوان یک منبع گرمای محسوس در غرب ایران و عاملی برای تشکیل و گسترش زبانه کم ارتفاع زاگرس معرفی کرده و آن را حاصل واداشت‌های گرمایی ارتفاعات غرب ایران دانسته‌اند. اثر توپوگرافی در شکل‌گیری جریانات شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه خلیج فارس و عراق توسط (ترلیس^۶ و همکاران، ۲۰۱۳) نیز تصدیق شده است. این جریانات همان باد تابستانه شمال می‌باشد.

در ادبیات موضوع گردوغبار در منطقه جنوب غربی آسیا، مطالعات متعددی وجود دارد که در این میان می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. مشایخی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل جفت شده هواویز HAM

4 Rao et al.

5 Giannakopoulou and Touni

6 Tyrllis et al.

1 Bellouin

2 Volkamer

3 Özdemir et al.

گردوغبار از یک سو بطور مستقیم بودجه تابشی مناطق تحت تأثیر این پدیده جوی را بوسیله جذب، پخش و یا حذف تابش طول موج کوتاه و همچنین پخش و جذب تابش طول موج بلند تحت تأثیر قرار می دهد و بطور مستقیم ماهیت اقلیمی این مناطق را تحت تأثیر قرار می دهد، اما از سوی دیگر بطور غیر مستقیم با ایجاد تغییرات در میکروفیزیک ابر، چرخه هیدرولوژیکی و بارش و بطور کلی اقلیم منطقه را تحت تأثیر قرار می دهد. میلر^۸ و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که با کاهش تابش طول موج کوتاه، شار گرمای نهان در بخش زیرین وردسپهر دچار تغییر می شود و این شرایط باعث کاهش ناهمگونی انرژی در سطح زمین می گردد که باعث کاهش سرعت باد و همچنین کاهش گردوغبار در مناطق ایجاد کننده آن ها می شود. نتایج مطالعه بالکانسکی^۹ و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم هواویزها بسته به خصوصیات فیزیکی و نوری، ترکیبات شیمیایی و توزیع قائم ذرات معلق موجود در جو، متفاوت خواهد بود و ممکن است باعث ایجاد سرمایش و یا گرمایش در بخش های زیرین و فوقانی وردسپهر گردد. بنابراین، گردوغبار نیز بر فراسنج های مختلف جوی در مناطق تحت تأثیر آن و در یک مقیاس کلی، وابسته به حجم ذرات معلق، فراسنجهای جوی کره زمین را تحت تأثیر قرار می دهد. علیزاده چوبری و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات تابشی ناشی از طوفان های گردوغبار در سطح کره زمین را بررسی کرده اند و نتایج نشان می دهد که این ذرات باعث واداشت منفی گردوغبار در سطح زمین و مثبت در تراز فوقانی جو می شود. نامداری و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که افزایش ناپایداری حاصل از نفوذ سامانه های مهاجر بادهای غربی به منطقه خاورمیانه مهمترین عامل شکل گیری گردوغبار در این منطقه است. در این مطالعه اثرات مستقیم گردوغبار در منطقه جنوب غربی آسیا شامل واداشت های تابشی آن، اثرات آن بر شار گرمای محسوس و دمای سطحی، فشار و سرعت باد در این منطقه پرداخته می شود.

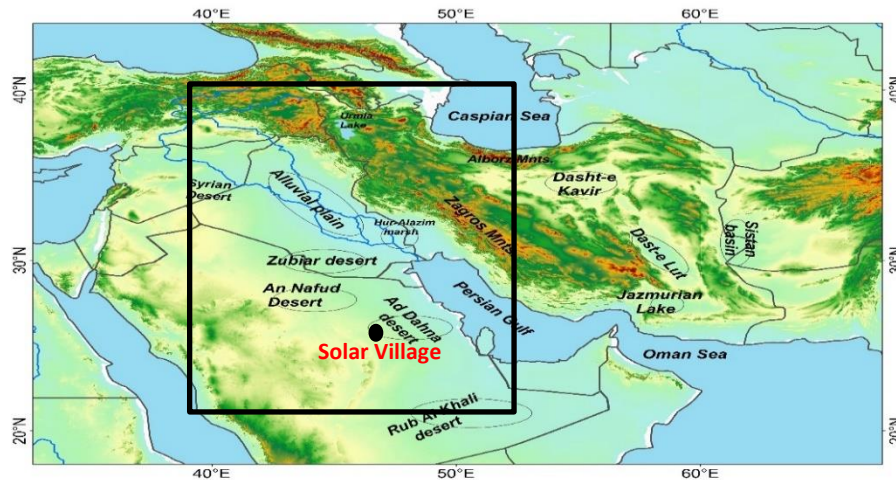
با مدل میان مقیاس WRF به شبیه سازی هواویزها و واداشت های تابشی ناشی از آن پرداخته اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که طرحواره HAM دارای عملکرد مناسبی در شبیه سازی هواویزهای جو و تخمین عمق نوری است. همچنین گسیل ذرات گردوغبار، منجر به ایجاد واداشت تابشی منفی و ایجاد سرمایش، به ویژه در مناطق با مقادیر بزرگ شار گسیل ذرات گردوغبار می شود. اکبری و فرحبخشی (۱۳۹۵) عامل شکل گیری طوفان های گردوغبار را استقرار سلول های کم فشار در مرکز کشور دانسته اند که موجب همگرایی و مکش هوا در سطح زمین شده و تلاوایی منفی در جنوب عراق و تلاوایی مثبت نسبتاً قوی در نواحی داخلی ایران گردیده و سبب تقویت حرکات سیکلونی و وزش باد شدید با جهت غربی در نواحی جنوب غربی ایران می شود که این امر موجب انتقال گردوخاک از بیابان های خشک مناطق مجاور به کشور می گردد. نجفی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که گردوغبار باعث کاهش دما در بخش زیرین جو، کاهش شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان در سطح زمین در مناطق تحت تأثیر گردوغبار می شود. همچنین این ذرات باعث افزایش فشار سطحی و همچنین کاهش تابش زمین تاب در بخش فوقانی جو می شود که منجر به افزایش دما در بخش میانی جو می گردد. در مطالعه دیگری عراقی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی ارتباط گردوغبار با فاکتورهای اقلیمی دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای متوسط، سرعت بیشینه باد، مجموع بارش و دمای خاک در اعماق مختلف پرداخته اند و به این نتیجه رسیده اند که بین نوسانات گردوغبار و فاکتورهای مذکور ارتباط نزدیکی وجود دارد. زارعی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از طرحواره GOCART در مدل WRF-CHEM به بررسی اثر هواویز بر فرایند تشکیل ابر و بارش پرداخته است. نتایج نشان می دهد که توزیع مکانی بارش در دو حالت پاک و آلوده متفاوت است، به نحوی که در جو آلوده در برخی مناطق فروهنج های شدیدتری وجود دارد که بارش های شدیدتری را نیز در پی داشته است.

بر اساس نتایج مطالعه اکرمی و چونگ^۷ (۱۹۹۲)

8 Miller et al.

9 Balkanski et al.

7 Ackerman and Chung



شکل ۱: منطقه هدف در این مطالعه و موقعیت ایستگاه Solar Village مربوط به پروژه جهانی AERONET (مختصات: 24.907N, 46.397E)

مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای ارزیابی اثرات مستقیم گردوغبار، رخداد گردوغبار روز ۲۹ ژوئیه تا ۱ آگوست سال ۲۰۰۹ در منطقه جنوب غربی آسیا (با تأکید بر منطقه بین‌النهرین و غرب ایران و شمال شبه جزیره عربستان) انتخاب شد (شکل ۱). در ابتدا سعی گردید چند رخداد در تاریخ‌های مختلف برای منطقه مورد مطالعه اجر گردد و بر اساس نتایج حاصله رخدادی که در مقایسه با داده‌های مشاهداتی دارای کمترین خطا بود در شبیه‌سازی گردوغبار بود به عنوان رخداد هدف برای بررسی اثرات اقلیمی این پدیده انتخاب گردد. در این مطالعه رخدادی به عنوان رخداد گردوغبار تعریف گردید که در بازه زمانی مورد مطالعه حداقل در ۵ دیدبانی بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی رخداد گردوغبار (کد ۰۶ یا ۰۷) ثبت شده باشد و دست کم در یک دیدبانی در بازه زمانی مورد مطالعه دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر باشد. همچنین شدت و فراگیری گردوغبار در تصاویر ماهواره به خوبی قابل ردیابی باشد تا بتوان نتایج شبیه‌سازی را بر اساس این داده‌ها ارزیابی نمود. در شبیه‌سازی گردوغبار در منطقه مورد مطالعه مدل‌سازی بمدت ۷۲ ساعت و از ساعت صفر روز ۲۹ ژوئیه تا ساعت صفر روز اول آگوست انجام شده است. برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل مورد استفاده،

از داده‌های اندازه‌گیری شده عمق‌نوری هواویز توسط سنجنده مادیس^{۱۰} (متوسط اندازه‌گیری ماهواره‌های ترا و آکوا^{۱۱}) و ایستگاه Solar Village (در شرق شبه جزیره عربستان - شکل ۱) مربوط به پروژه AERONET در طول موج ۵۵۰ میکرومتر، استفاده شده است. این پروژه تحت مدیریت سازمان فضایی ایالات متحده و با همکاری سازمان هواشناسی جهانی و کشورهای مختلف انجام می‌شود و با اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های تجربی و اندازه‌گیری شده، پایش گردوغبار را در سرتاسر جهان تسهیل نموده و در اعتبارسنجی نتایج مدل‌ها و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای نیز از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است (کابیلی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۵). محصولات این پروژه عبارت‌اند از عمق نوری آئروسول که در سه سطح بازرسی نشده (۱)، آبر نمایش (۱،۵) و آبر نمایش به همراه کیفیت تضمین‌شده (سطح ۲) ارائه می‌شود. در این مطالعه از داده‌های سطح ۲ استفاده شده است.

سنجنده MODIS یک ابزار کلیدی در مأموریت‌های سیستم نظارت بر سطح زمین است (EOS) که سطح زمین را هر ۱ تا ۲ روز یکبار تصویربرداری کند (جاستیک و همکاران، ۱۹۹۸). این سنجنده توسط دو ماهواره Terra و Aqua به اخذ

10 MODIS

11 Terra & Aqua

12 Kabili et al.

جدول ۱: پیکربندی مدل WRF-CHEM در این مطالعه

مدل	WRF-Chem (Grell et al., 2005)
قدرت تفکیک افقی	۳۰ کیلومتر
ابعاد قلمرو شبیه سازی	$100(x) \times 102(y)$
تعداد سطوح قائم	۳۰
داده های شرایط مرزی	NCEP final analysis-FNL
گام زمانی شبیه سازی	ثانیه ۱۸۰
بازه شبیه سازی	۲۹ ژوئیه تا ۱ آگوست ۲۰۰۹
	Lin et al. Scheme (Lin et al., 1983) میکروفیزیک
	Goddard (Wild et al., 2000) تابش موج کوتاه
	RRTM (Wild et al., 2000) تابش موج بلند
طرح واره های فیزیکی	Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) TKE scheme (Janjic, 2001) لایه مرزی سیاره ای unified Noah land-surface model (Chen and Dudhia, 2001) سطح زمین new Grell scheme (Grell and Devvenyi, 2002) همرفت YSU (Hong, 2010) لایه مرزی
طرح واره انتشار غبار	GOCART simple aerosol scheme (Ginoux et al., 2001)
شبیه سازی بازخورد	Yes/No

تصاویر می‌پردازد. دو الگوریتم Dark Target (DT) و Dark Blue (DB) (هسو و همکاران، ۲۰۱۳) برای ارزیابی هواویزها بازیابی شده توسط سنسده MODIS توسعه داده شدند. الگوریتم DT برای مطالعه بازیابی خواص هواویزها در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم توسعه داده شد (تاو و همکاران، ۲۰۱۵).

داده دیگری که در این مطالعه استفاده شده است، داده های بازکاوی NCEP/NCAR، مربوط به دما، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه باد مداری و نصف النهاری (u, v) در ترازهای مختلف جو در حد فاصل زمانی ۶ ساعته و با قدرت تفکیک افقی $2/5 \times 2/5$ درجه، برای دوره مورد مطالعه است. از این داده ها برای بخش تحلیل همدید رخداد مورد مطالعه استفاده گردید. کلیه تحلیل‌ها در محیط نرم‌افزار GrADS^{۱۳} انجام شده اند. و برای شبیه سازی اثرات مستقیم گردوغبار نیز، از مدل WRF-CHEM استفاده گردید. برای شبیه‌سازی‌ها از داده‌های FNL استفاده گردید. پیکربندی مدل مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به توضیح است که عملکرد طرحواره‌های مذکور توسط

(پراکاش^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۵) در شبیه سازی طوفان‌های گردوغبار در منطقه جنوب غربی آسیا ارزیابی گردیده و دارای عملکرد قابل قبولی بوده است.

طرح واره های متعددی برای برآورد گسیل غبار در مدل طراحی شده اند، که در این تحقیق از طرح واره ی GOCART^{۱۵} (گینوکس و همکاران، ۲۰۰۴) استفاده شده است. در این طرح‌واره برای محاسبه ی شار قائم گسیل غبار از رابطه ی (۱) زیر استفاده شده است (گینوکس^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۱):

$$F = C S_p u_{10}^2 (u_{10m} - u_{tp}) \quad \text{for } u_{10m} \geq u_t \quad (1)$$

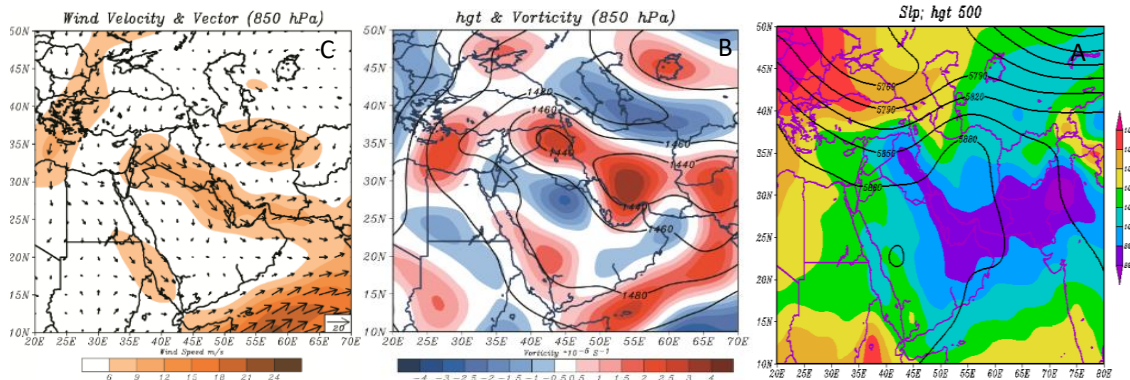
در رابطه فوق، C ضریب ثابت تجربی است و برابر $C = 1 \mu g s^2 m^{-5}$ می باشد. u_{10} سرعت باد افقی در ارتفاع ۱۰ متری، u_{tp} سرعت آستانه ی باد است که بیان گر آغاز گسیل ذرات غبار می باشد و به عواملی مانند اندازه ی ذرات، چگالی هوا و رطوبت بستگی دارد. S_p کسر هر دسته اندازه ی ذرات غبار در گسیل کل می باشد، در این طرحواره ۴ کلاس برای اندازه ذرات خاک در نظر گرفته شده است و کسر هر کلاس عبارت

14 Prakash et al.

15 Global Ozone Chemistry Aerosol radiation and Transport

16 Ginoux et al.

13 Grid Analysis and Display System



شکل ۲: ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ ه.پ. و فشار تراز دریا (a)، ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی نسی در تراز ۸۵۰ ه.پ. (b)، سرعت و بردار باد در تراز ۸۵۰ ه.پ. (c) در میانگین ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹

در تراز دریال نیز زبانه ای از کم فشار حرارتی مستقر در خلیج فارس تا شمال عراق کشیده شده و در اندرکنش با پرفشار مستقر در جنوب شرق اروپا، یک گرادیان فشار از بین النهرین تا جنوب شرقی اروپا در تراز دریا ایجاد شده است. این شرایط همراه با نفوذ ناوه تراز میانی و افزایش سرعت باد را در حدفاصل بین سوریه تا نواحی داخلی و شرقی عراق در پی داشته است. با توجه به ماهیت خشک این منطقه در فصل تابستان، این ناپایداری در صورت عدم تغذیه رطوبتی و همچنین وجود پهنه های وسیع بیابانی می تواند منجر به شکل گیری گردوغبار گردد.

بر اساس یافته های حمیدی^{۱۷} و همکاران (۲۰۱۳)، نوتارو^{۱۸} و همکاران (۲۰۱۳) و همچنین خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۱) مهمترین عامل در شکل گیری گردوغبار در این دوره از سال را می توان سیستم های گردش منطقه ای جو در تراز زیرین دانست که متأثر از واداشت های گرمایشی سطح زمین می باشند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، استقرار یک زبانه و هسته کم ارتفاع موازی با ارتفاعات زاگرس و شمال عراق، یک منطقه با تاوایی مثبت در این مناطق ایجاد شده است. گسترش و تقویت این زبانه کم فشار متأثر از واداشت های گرمایشی در ارتفاعات این مناطق است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، یک

است از ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۵، ۴/۵ S تابع چشمه که پتانسیل مناطق چشمه ی غبار را تعریف و شرایط سطح مانند پوشش گیاهی و گستره ی برف را مشخص می کند.

به منظور مدل سازی اثرات مستقیم گردوغبار، مدلسازی تحت دو شرایط فعال بودن اثرات مستقیم گردوغبار (Dust) و غیرفعال بودن اثرات مستقیم (Dust_None) انجام شده است (رابطه ۲) و تغییرات (Δ) تابش طول موج کوتاه (SW) و بلند (LW) در سطح زمین، تابش طول موج بلند خروجی از بخش فوقانی جو (OLR)، دمای سطح زمین، شار گرمای محسوس، فشار سطحی و سرعت باد بر اساس رابطه ۲ محاسبه شده است:

$$F = F^{\text{Dust}} - F^{\text{Dust_none}} \Delta \quad (2)$$

که F فراسنج مورد نظر است. در متغیرهای حرارتی، مقادیر منفی حاصل از رابطه بالا، سرمایش سطحی و مقادیر مثبت گرمایش سطحی را نشان می دهد.

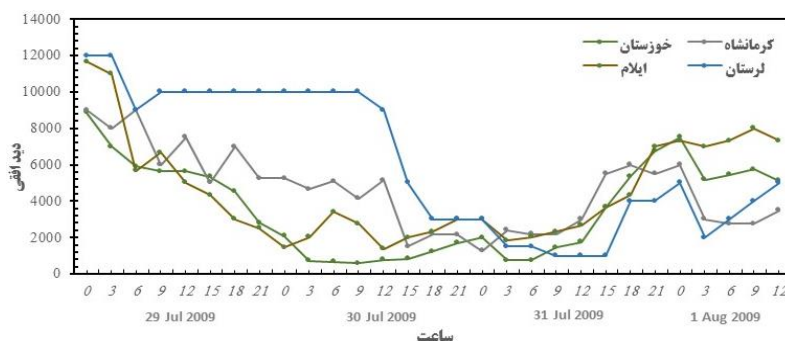
نتایج و بحث

نگاهی گذرا به سازوکار شکل گیری گردوغبار در ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹

بر اساس شکل (a - 2) در روزهای ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹ منطقه بین النهرین تا جنوب دریای سیاه تحت تأثیر یک ناوه در تراز میانی قرار گرفته است.

17 Hamidi et al.

18 Notaro et al.



شکل ۳. چرخه روزانه دید افقی (متر) در ۲۹ ژوئیه تا ساعت ۱۲ روز اول آگوست ۲۰۰۹ در غرب ایران

عراق و منطقه خلیج فارس می شود (شکل ۲- c). بنابراین هم در تراز میانی با نفوذ یک ناوه به منطقه بین النهرین ناپایداری در این منطقه افزایش یافته است و هم در تراز دریا شاهد تقویت کم فشار حرارتی خلیج فارس هستیم. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی نیز آرایش سامانه های فشار منطقه ای در دوره گرم به گونه ای بوده که منجر شکل گیری و تقویت جریان باد در عراق و سوریه شده است. همانطور که از شکل (شکل ۲- c) مشخص است جهت باد در این دوره شمال غربی - جنوب شرقی است و سرعت متوسط باد در جنوب عراق و منطقه خلیج فارس حدود ۱۰ متر بر ثانیه می باشد که در برخی ساعات نیز از ۱۴ متر بر ثانیه تجاوز کرده است (شکل ۲- c).

بر اساس شکل ۳، روزهای ۳۰ و ۳۱ ژوئیه ۲۰۰۹، زمان های اوج رخداد گردوغبار و کاهش دید افقی در غرب ایران است، به طوری که در استان خوزستان فاصله دید به کمتر از ۱۰۰۰ متر رسیده است. در استان های لرستان، کرمانشاه و ایلام نیز در روز ۳۱ ژوئیه، میزان دید افقی به کمتر از ۲۰۰۰ متر رسیده است.

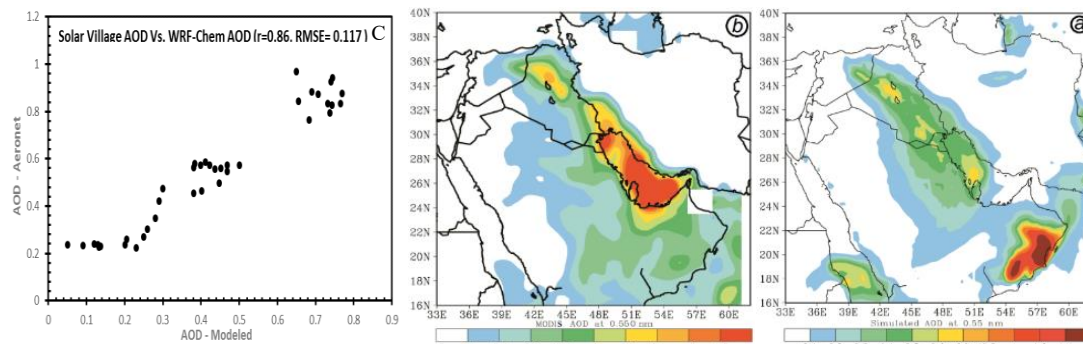
بررسی شبیه سازی گردوغبار در بازه زمانی ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹

مقایسه عمق نوری شبیه سازی شده با مشاهداتی (در ساعات موجود در داده های شبکه جهانی AERONET) نشان می دهد که میزان همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده ۸۶/۰ و میزان ضریب تعیین ۷۳/۰ است.

زبانۀ از پر ارتفاع جنب حاره تمام بخش های جنوب غربی آسیا و همچنین نیمه جنوبی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. این شرایط منجر به ایجاد جو پایدار در شبه جزیره عربستان و نواحی داخلی ایران گردیده است. در رخداد ۲۹ تا ۳۱ ژوئن ۲۰۰۹، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، استقرار محور پشته در شرق مدیترانه تا شمال شرقی شبه جزیره عربستان، یک گردش و اچرخندی در شرق مدیترانه تا شمال شبه جزیره عربستان ایجاد کرده است. براساس یافته های مفیدی و زرین (۱۳۹۲) و رائو و همکاران (۲۰۰۳) این گردش و اچرخندی متأثر از فرونشی مداوم هوا در شبه جزیره عربستان و شکل گیری یک مرکز پر فشار در تراز زیرین در این منطقه و شرق مدیترانه است. از سوی دیگر پرفشار شرق خزر نیز تا مرزهای شمال شرقی کشور پیشروی کرده و یک منطقه با تاوایی منفی در ترکمنستان تا مرزهای شمال شرقی ایران ایجاد کرده است (شکل ۲- b). پیشروی گردش و اچرخندی در این نواحی تا مرزهای شمال و شمال شرقی ایران، منجر به تشدید زبانۀ کم ارتفاع زاگرس در نواحی داخلی ایران تا شمال عراق گردیده است. بطوریکه محور ناوه در این منطقه تا بخش شرقی سوریه نیز کشیده شده است. بر اساس یافته های مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) این شرایط گردش چرخندی را در زبانۀ کم ارتفاع زاگرس و همچنین پرفشار عربستان تشدید نموده و در یک پسخور مثبت منجر به ایجاد جریانات هوای شمال غربی - جنوب شرقی و جت تراز زیرین موسوم به باد شمال در نواحی داخلی

جدول ۲: ارزیابی عملکرد طرحواره GOCART در شبیه سازی AOD (۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹)

	Mean	STDV	r	r ²	RMSE
AOD-Model	۰/۴۳	۰/۲۲	۰/۸۶	۰/۷۳	۰/۱۱۷
AOD-Observed Aeronet	۰/۵۴	۰/۲۴			



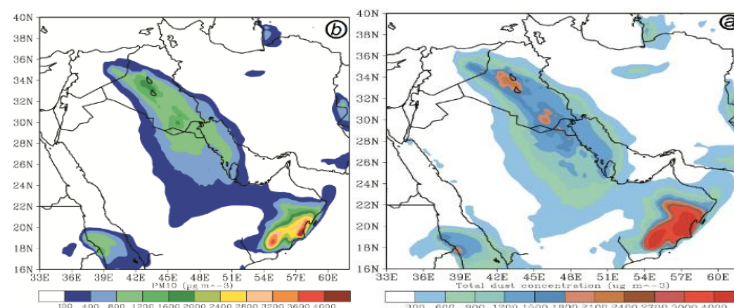
شکل ۴: عمق نوری هواویز مدلسازی شده توسط مدل WRF-CHEM (a) اندازه گیری شده توسط سنجنده مادیس (b) میانگین ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹، پراشکار مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه Solar Village و مدلسازی شده (c)

جدول ۳: ارزیابی عملکرد طرحواره GOCART در شبیه سازی PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹)

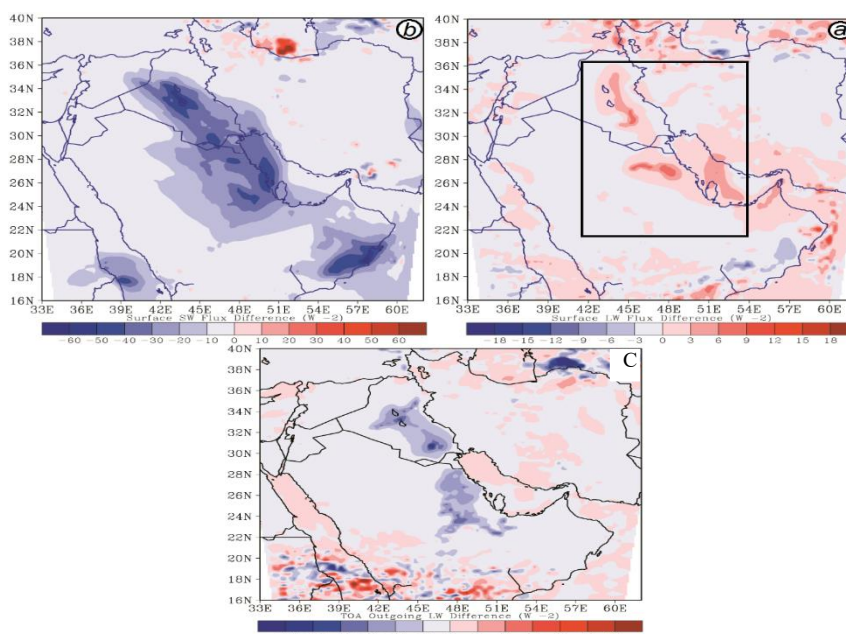
	Mean	STDV	r	r ²	RMSE
PM10-Model	۳۹۲	۲۸۸	۰/۶۶	۰/۴۴	۱۳۲
PM10-Observed Ahwaz	۴۸۱	۲۳۸			

هستند که تحت تأثیر باد شمال در منطقه ایجاد شده اند. همچنین گردوغبار منطقه وسیعی از خاورمیانه شمال عراق، جنوب غربی ایران تا جنوب عربستان را تحت تأثیر قرار داده است. تصاویر عمق نوری ذرات معلق^{۱۹} سنجنده MODIS (متوسط اندازه گیری ماهواره های ترا و آکوا در دوره مورد مطالعه) در طول موج ۵۵۰ میکرومتر نیز نشان می دهند (شکل ۴-b) که شمال عراق، خوزستان و خلیج فارس، مناطق اوج تمرکز ذرات معلق در دوره مورد مطالعه، در منطقه می باشند. ظریب همبستگی بین مقادیر AOD شبیه سازی شده و داده های سنجنده MODIS، ۰/۶۲ می باشد و RMSE نیز ۰/۱۸ محاسبه شده است. کلیه محاسبات برای کادر تعیین شده در شکل (۴-c) انجام شده است. شکل ۵ مقادیر شبیه سازه شده ی

متوسط خطای مدلسازی ۰/۱۱۷ است. متوسط میزان عمق نوری ذرات معلق مدلسازی شده و مشاهداتی در دوره مورد مطالعه به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۵۴ است که نشان می دهد مقادیر برآورد شده کمتر از مقادیر مشاهداتی می باشد (جدول ۲، شکل ۴). محاسبات مربوط به ارزیابی شبیه سازی ها با داده های شبکه AERONET فقط در موقعیت ایستگاه مورد نظر انجام شده است (جدول ۲). در ابتدا لازم است ذکر شود که کلیه محاسبات برای کادر تعیین شده در شکل (۱) انجام شده است و متوسط آن برای ارزیابی ها ارائه شده است. شکل (۴-۱) میزان عمق نوری ذرات معلق شبیه سازی شده توسط مدل WRF-Chem در دوره و قلمرو مورد مطالعه را نشان می دهد. مرکز و جنوب عراق و همچنین خلیج فارس مناطق اوج تمرکز گردوغبار در دوره مورد مطالعه



شکل ۵: شبیه سازی (A) گردوغبار، (B) PM_{10} در مدل WRF-CHEM، میانگین ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹



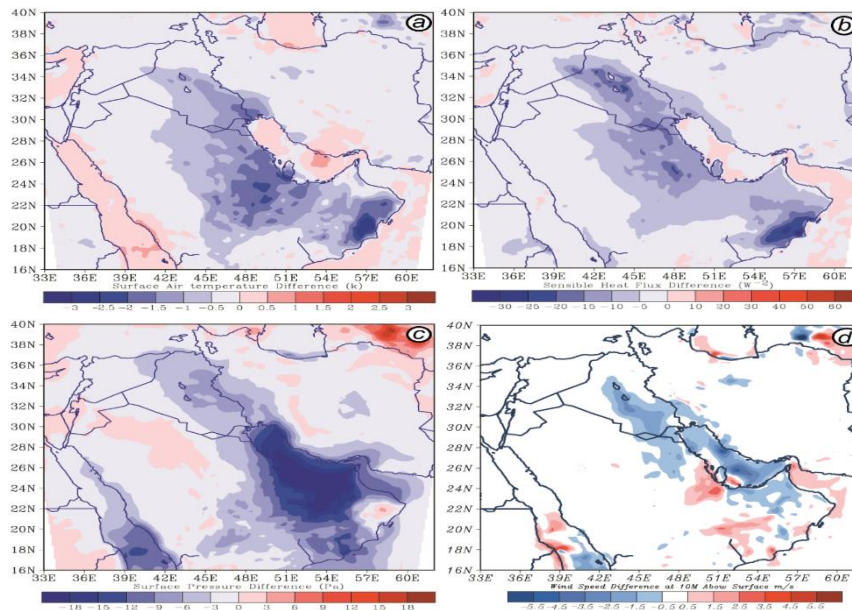
شکل ۶: تغییرات تابش موج بلند (a) و کوتاه (b) در سطح زمین، تابش زمین تاب در بخش فوقانی جو (c) در میانگین ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹

موج بلند (شکل ۶- a) و کاهش تابش طول موج کوتاه (شکل ۶- b) در سطح زمین است. میزان افزایش تابش موج بلند بسیار کمتر از میزان کاهش تابش موج کوتاه سطحی است. به طور متوسط، در مناطق تحت تأثیر گردوغبار (در باکس معین شده)، میزان افزایش تابش موج بلند در بیشترین حالت $7/3 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ و به طور متوسط $3/92 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ است، درحالیکه میزان کاهش تابش موج کوتاه در بیشترین حالت خود $62/6 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ (در نواحی مرکزی عراق) و به طور متوسط $49/3 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ است. از یک سو افزایش تابش موج بلند، افزایش دمای سطحی را در پی خواهد داشت و کاهش تابش موج

گردوغبار، PM_{10} و توسط مدل WRF-Chem و مشاهداتی در ایستگاه اهواز در دوره مورد مطالعه در جدول ۳ و شکل ۵ ارائه شده است.

اثرات مستقیم گردوغبار در جنوب غربی آسیا

با توجه به نقش سیستم‌ها و گرمایش سطحی در شکل گیری گردوغبار در تاریخ مورد مطالعه، در این بخش عمدتاً به بررسی واداشت‌های تابشی گردوغبار در سطح زمین و با نقشه‌های میانگین گیری شده در دوره ۲۹ ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹ بررسی می‌شوند. یکی از پیامدهای حاصل از رخداد گردوغبار در منطقه، افزایش تابش طول



شکل ۷: تغییرات دمای سطحی-کلوین (a)، شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) (b)، فشار سطحی-پاسکال (c) و سرعت باد (m/s) در سطح زمین (d) در میانگین ژوئیه تا اول آگوست ۲۰۰۹

سطح زمین بوده و منجر به افزایش دما به مقدار k° $1/16+$ ، در بخش زیرین جو می شود. شار دمای محسوس نیز، در بیشترین حالت خود به میزان $(Wm^{-2}) 21/1-$ در نواحی مرکزی عراق کاهش می یابد. متوسط کاهش دما در منطقه به میزان $(Wm^{-2}) 15/1-$ است (شکل ۷ - b). از سوی دیگر وجود گردوغبار منجر به افت فشار در پرفشار تابستانه مستقر در شرق شبه جزیره عربستان نیز می شود که با افت فشار در این منطقه، اختلاف فشار آن با کم ارتفاع زاگرس کمتر شده و سرعت باد در حد فاصل شرق عربستان تا زاگرس را تحت تأثیر قرار می دهد. میزان فشار در بیشترین مقدار خود در شرق عربستان، $27-$ پاسکال کاهش می یابد که این میزان برای میانگین منطقه تحت تأثیر گردوغبار $18/3-$ پاسکال است (شکل 7 - c). کاهش شار دمای محسوس سطحی و فشار در اثر وجود گردوغبار نواحی بیابانی در جو توسط یو^{۲۰} و همکاران (۲۰۱۳) و مشایخی و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش شده است که نتایج این مطالعه را تأیید می کند. پیامد چنین فرایندهایی در سطح زمین، کاهش سرعت باد در سطح زمین و تراز زیرین جو است. به طوری که

کوتاه، به سرمایش سطحی منجر می شود. اما بطور کلی با توجه به شدت بیشتر اثرات سرمایشی گردوغبار در سطح زمین، گردوغبار منجر به کاهش دمای سطحی می گردد. مشابه چنین نتایجی توسط یو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است که وجود گردوغبار را عاملی برای کاهش تابش خالص دریافتی و سرمایش سطحی معرفی کرده اند. میانگین کاهش تابش خالص در سطح زمین (Wm^{-2}) $40/9-$ و بیشترین میزان کاهش در شمال عراق و جنوب خلیج فارس با بیش از $(Wm^{-2}) 50-$ است. تابش زمین تاب در بخش فوقانی جو (OLR) نیز در مناطق تحت تأثیر گردوغبار کاهش می یابد. متوسط کاهش در این مناطق $(Wm^{-2}) 2/12-$ و کمترین آن در جنوب عراق $(Wm^{-2}) 25-$ است که یکی از مناطق با تمرکز بالای گردوغبار در این دوره است (شکل 6 - c).

همان طور که اشاره شد، گردوغبار منجر به سرمایش سطحی خواهد شد. بر اساس (شکل 7 - a) دمای سطحی بطور متوسط در مناطق تحت تأثیر گردوغبار $k^{\circ} 1/67-$ کاهش می یابد که در این رخداد، بیشترین میزان کاهش دما در شرق شبه جزیره عربستان با $k^{\circ} 2/22-$ رخ داده است. این شرایط در پهنه های آبی خلیج فارس، برعکس

گردوغبار $1/67^{\circ}\text{K}$ است. این میزان تغییرات در شبه جزیره عربستان $6/7$ - درجه کلونین بوده است (پراکاش و همکاران، ۲۰۱۵) و در نواحی بیابانی شرق آسیا ۵- درجه کلونین بوده است (هان^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین یکی از پیامدهای گردوغبار کاهش دمای سطحی است. در مقابل، در پهنه های آبی گردوغبار باعث افزایش دمای بخش زیرین تروپوسفر می شود. علاوه بر کاهش دما، رخداد گردوغبار در منطقه باعث کاهش شار گرمای محسوس می شود. متوسط کاهش شار گرمای محسوس در منطقه (Wm^{-2}) $15/1$ - است. چنین شرایطی تضعیف پرفشار تابستانه مستقر در شرق شبه جزیره عربستان را در پی دارد، بطوریکه میزان تغییرات فشار ناشی از اثرات مستقیم گردوغبار در منطقه تمرکز گردوغبار 27 - پاسکال بوده است. بنابراین واداشتهای تابشی گردوغبار باعث افت فشار در پرفشار تابستانه مستقر در شرق شبه جزیره عربستان می شود. در رخداد مورد مطالعه، میزان کاهش سرعت باد در منطقه خلیج فارس و جنوب عراق (در بیشترین حالت) به ترتیب ۵- و ۳- متر بر ثانیه بوده و بطور متوسط نیز این شرایط باعث کاهش سرعت باد تا $2/3$ - متر بر ثانیه در منطقه می شود. بنابراین وجود گردوغبار باعث تضعیف سرعت باد می شود که حاصل آن توقف و یا تضعیف انتشار گردوغبار در منطقه است. بنابراین وجود گردوغبار در منطقه منجر به کاهش سرعت باد می شود که نتایج این بخش با یافته های میلر و همکاران (۲۰۰۴) مبنی بر اینکه هواویز منجر به کاهش سرعت باد در سطح زمین می شود، مطابقت دارد. همچنین گردوغبار باعث کاهش مقادیر تابش زمین تاب در بخش فوقانی جو (OLR) می شود که این شرایط باعث افزایش دما در بخش فوقانی جو می گردد. در ارتباط با تابش زمین تاب در بخش فوقانی جو (نذر الاسلام و المزروعی^{۲۲}، ۲۰۱۲) میزان متوسط کاهش OLR در جنوب غربی آسیا را (Wm^{-2}) 15 - گزارش کرده است که نتایج این مطالعه نیز کاهش OLR را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

21 Han

22 Nazrul Islam & Almazroui

سرعت باد به طور متوسط در منطقه $2/3$ - متر بر ثانیه کاهش یافته و این مقدار کاهش در جنوب عراق حدود ۳- متر بر ثانیه بوده است (شکل 7 - d). بیشترین می زان کاهش سرعت باد در بخش زیرین جو در خلیج فارس مشاهده می شود که در این دوره حدود ۵- متر بر ثانیه کاهش یافته است. لذا وجود گردوغبار در بخش زیرین تروپوسفر منجر به کاهش سرعت باد در منطقه می شود. بنابراین گردوغبار خود زائیده فرایندها و سامانه های جوی در منطقه است و متقابلاً بر این سامانه ها نیز اثر می گذارد و منجر به فروکش کردن انتشار این پدیده در مناطق منشأ گردوغبار می شوند. بنابر یافته های میلر و همکاران (۲۰۰۴) با کاهش تابش طول موج کوتاه، شار گرمای محسوس و نهان در بخش زیرین تروپوسفر دچار تغییر شده و این شرایط باعث کاهش ناهمگونی انرژی در سطح زمین می شود و که در نتیجه باعث کاهش سرعت باد و همچنین کاهش ایجاد گردوغبار در مناطق منشأ گردوغبار می شود که یافته های این مطالعه را، در ارتباط با باد شمال تأیید می نماید.

جمع بندی

نتایج این مطالعه نشان می دهند که گردوغبار خود زائیده اندرکنش سامانه های جوی و وضعیت سطحی (مانند سطح بیابانی، نواحی تحت بیابان زائی و ...) است اما متقابلاً بر آن تأثیر می گذارد. شبیه سازی اثرات اقلیمی گردوغبار در نمونه رخداد مورد مطالعه نشان داد که رخداد گردوغبار باعث افزایش تابش موج بلند در سطح زمین و کاهش تابش موج کوتاه در مناطق تحت تأثیر گردوغبار می شود که میزان کاهش تابش موج کوتاه بسیار بیشتر از میزان افزایش تابش موج بلند در سطح زمین است. میزان این افزایش و کاهش به ترتیب (Wm^{-2}) $3/92$ و (Wm^{-2}) $49/3$ - است. با توجه به بیشتر بودن سرمایش ناشی از کاهش تابش موج کوتاه نسبت به افزایش ناشی از تابش زمین تاب، بنابراین رخداد گردوغبار سرمایش سطحی را در پی خواهد داشت که این میزان کاهش در متوسط دمای سطحی در منطقه تحت تأثیر

مراجع

- State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation, Mon. Weather Rev., 129:569–585.
- Giannakopoulou, M. H.; R. Touni (2012). The Persian Gulf summertime low-level jet over sloping terrain, Q. J. R. Meteorol. Soc., 138(662): 145–157.
- Ginoux, P.; Chin, M.; Tegen, I.; Prospero, J.M.; Holben, B.; Dubovik, O.; Lin, S.J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. J Geophys Res 106(D17), 20255–20273.
- Ginoux, P.; Prospero, J.M.; Torres O.; Chin, M. (2004). Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. Environ Model Software 19(2): 113–128.
- Grell, G. A. and Devenyi, D. (2002). A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques, Geophys. Res. Lett., 29: 1693.
- Grell, G.; Peckham, S.; Schmitz, R.; McKeen, S.; Frost, G.; Skamarock, W.; Eder, B. (2005). Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. Atmos Environ 39(37): 6957–6975.
- Hamidi, M.; Kavianpour, M. R.; Shao, Y. (2013). Synoptic Analysis of Dust Storms in the Middle East, Asia-Pacific J Atmos Sci, 49(3): 279-286.
- Han, Z.; Li J., Guo, W.; Xiong, Z.; Zhang, W. (2013). A study of dust radiative feedback on dust cycle and meteorology over East Asia by a coupled regional climate-chemistry-aerosol model, Atmos. Environ., 68: 54–63.
- Hong, S. Y., Lim, K. S. S., Lee, Y. H., Ha, J. C., Kim, H. W., Ham, S. J., & Dudhia, J. (2010). Evaluation of the WRF double-moment 6-class microphysics scheme for precipitating convection. Advances in Meteorology, 2010.
- Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., ... & Tsay, S. C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(16), 9296-9315.
- IPCC (2019) Climate Change and Land, An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Janjic, Z. I. (2001). Nonsingular Implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model, NCEP Office Note, 437, available at: <http://www.emc.ncep.noaa.gov>.
- Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., ... & Lucht, W. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. IEEE
- بابایی فینی ام السلمه، صفراد طاهر، کریمی مصطفی (۱۳۹۵)، تحلیل و شناسایی الگوهای همدیدی توفان‌های گردوغبار غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵(۱۷)، ۱۰۵-۱۲۰.
- حسین حمزه نسیم، فتاحی ابراهیم، ذوالجودی مجتبی، غفاریان پروین، رنجبر عباس (۱۳۹۵)، تحلیل همدیدی و دینامیکی پدیده گرد و غبار و شبیه سازی آن در جنوب غرب ایران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۱)، ۹۱-۱۰۲.
- خوش اخلاق، فرامرز، نجفی، محمدسعید، صمدی، مهدی (۱۳۹۱)، واکاوی همدید رخداد گردوغبار بهاره در غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۸۰، صص. ۹۹-۱۲۴.
- رنجبر سعادت آبادی عباس و عزیز، قاسم (۲۰۱۲). مطالعه ی الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه های تولید گردوغبار و مسیر حرکت ذرات معلق برای طوفان جولای ۲۰۰۹. پژوهشهای جغرافیای طبیعی، ۴۴(۳)، ۹۲-۷۳.
- زارعی فاطمه، قراپلو مریم، علیزاده چوبری امید (۱۳۹۷)، تأثیر هواویزها بر بارش در شرایط رطوبت‌های نسبی متفاوت: مطالعه موردی، ژئوفیزیک ایران، ۱۱ (۲)، صفحه ۱۳۵-۱۵۵
- ساری صراف بهروز، رسولی علی اکبر، زرین آذر، نجفی محمدسعید (۱۳۹۶)، شبیه سازی واداشت های تابشی گردوغبار در غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۲۲، ۱۲۳-۱۴۰.
- مشایخی، رباب، ایران‌نژاد، پرویز، اکبری بیدختی، عباس علی (۱۳۸۹)، شبیه سازی هواویزها و واداشت های تابشی ناشی از آن ها با استفاده از مدل جفت شده هواویز HAM و مدل میان مقیاس پیش بینی وضع هوا WRF، فیزیک زمین و فضا، ش ۳۶ (۲)، صص ۹۱-۱۰۷.
- مفیدی، عباس، جعفری، سجاد (۱۳۹۰)، بررسی نقش گردش منطقه ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۵، صص. ۴۵-۱۷.
- مفیدی، عباس، زرین، آذر (۱۳۹۲)، بررسی ماهیت ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، دوره ۱۳۹۲، ش ۱۱، صص ۴۰-۱۵.
- مهری اکبری، ملودی فرحبخشی (۱۳۹۵)، تحلیل سینوپتیک و شبیه سازی مسیر حرکت توفان های شدید گرد و غبار (مطالعه موردی: جنوب غرب ایران)، فضای جغرافیایی، ۱۶ (۵۵)، ۲۷۳-۲۹۱.
- Ackerman, S. A.; Chung, H. (1992). Radiative effects of airborne dust on regional energy budgets at the top of the atmosphere, J. Appl. Meteor., 31: 223–233.
- Alizadeh-Choobari, O., Sturman, A., & Zawar-Reza, P. (2015). Global distribution of mineral dust and its impact on radiative fluxes as simulated by WRF-Chem. Meteorology and Atmospheric Physics, 127(6), 635-648.
- Balkanski, Y.; Schulz, M.; Claquin, T.; Guibert, S. (2007). Reevaluation of Mineral aerosol radiative forcings suggests a better agreement with satellite and AERONET data, Atmos. Chem. Phys., 7: 81–95.
- Bellouin, N., Boucher, O., Haywood, J., & Reddy, M. S. (2005). Global estimate of aerosol direct radiative forcing from satellite measurements. Nature, 438(7071), 1138.
- Chen, F.; Dudhia J. (2001). Coupling an advanced land surface/hydrology model with the Penn

- data in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(14), 6992-7005.
- Tyrlis, E.; Lelieveld J.; Steil, B. (2013). the summer circulation over the eastern Mediterranean and the Middle East: influence of the South Asian monsoon, *Clim Dyn*, 40:1103–1123.
- Volkamer, R., Jimenez, J. L., San Martini, F., Dzepina, K., Zhang, Q., Salcedo, D., ... & Molina, M. J. (2006). Secondary organic aerosol formation from anthropogenic air pollution: Rapid and higher than expected. *Geophysical Research Letters*, 33(17).
- Wild, O.; Zhu, X.; Prather, M. J. (2009). Fast-J: accurate simulation of in- and below cloud photolysis in tropospheric chemical models, *J. Atmos. Chem.*, 37:245–282.
- Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H., & Zhang, L. (2017). The relationships between PM2. 5 and meteorological factors in China: Seasonal and regional variations. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1510.
- Yu, Y.; Notaro, M.; Liu, Z.; Kalashnikova, O.; Alkolibi, F.; Fadda, E.; Bakhrjy, F. (2013). Assessing temporal and spatial variations in atmospheric dust over Saudi Arabia through satellite, radiometric, and station data, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 13253–13264.
- Yu, Y.; Notaro, M.; Liu, Z.; Wang, F.; Alkolibi, F.; Fadda, E.; Bakhrjy, F. (2015). Climatic controls on the interannual to decadal variability in Saudi Arabian dust activity: Toward the development of a seasonal dust prediction model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1739-1758.
- Yue, X.; Wang, H.; Liao, H.; Fan, K.; (2010). Simulation of dust aerosol radiative feedback using the GMOD: 2. Dust-climate interactions, *J. Geophys. Res.*, 115, D04201, doi:10.1029/2009JD012063.
- Zarrin, A.; Ghaemi, H.; Azadi, M.; Mofidi, A.; Mirzaei, E. (2011). The effect of Zagros Mountains on the formation and maintenance of Iran anticyclone using RegCM4, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 112 (3-4), 91-100.
- transactions on geoscience and remote sensing, 36(4), 1228-1249.
- Kabili N., Oguz T., Koçak M., Torres O., (2005), Ground-based assessment of total ozone mapping spectrometer (TOMS) data for dust transport over the northeastern Mediterranean. *Global Biogeochem Cycles* 19, doi: 10.1029/2004GB002370.
- Lin, Y. L.; Farley, R.D.; Orville, H.D.; (1983). Bulk parameterization of the snow field in a cloud model, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 22: 1065–1092.
- Miller, R.L.; Perlwitz, J.; Tegen, I.; (2004). Feedback upon dust emission by dust radiative forcing through the planetary boundary layer, *J. Geophys. Res.*, 109, D24209, doi: 10.1029/2004JD004912.
- Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G., & Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric Environment*, 173, 265-276.
- Nazrul Islam M., Almazroui M., (2012). Direct effects and feedback of desert dust on the climate of the Arabian Peninsula during the wet season: a regional climate model study, *Clim Dyn*, 39:2239–2250
- Notaro, M.; Alkolibi, F.; Fadda, E.; Bakhrjy F. (2013). Trajectory analysis of Saudi Arabia dust storm, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 6028–6043.
- Özdemir, E. T., Korkmaz, F. M., & Yavuz, V. (2018). Synoptic analysis of dust storm over Arabian Peninsula: a case study on February 28, 2009. *Natural Hazards*, 92(2), 805–82.
- Prakash, P.J.; Stenchikov, G.; Kalenderski, S.; Osipov, S.; Bangalath, H. (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea, *Atmos. Chem. Phys.*, 15: 199–222.
- Rao, P. G.; Al-Sulaiti, M.; Al-Mulla, A. H. (2003). Summer Shamal over the Arabian Gulf, *Weather*, 58: 471–478.
- Tao, M., Chen, L., Wang, Z., Tao, J., Che, H., Wang, X., & Wang, Y. (2015). Comparison and evaluation of the MODIS Collection 6 aerosol

Investigation of Radiative Forcing and Interactions of Dust and Climate in Southwest of Asia using WRF-Chem Model

Hajar Farahmand^{1*}, Saeed Jahanbakhsh Asl², Majid Rezaei², Banafsheh Ali Mohammad Khorshiddoust²

¹ PhD student, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran

² Professor, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran

*Corresponding Author Email: hajarfarahmand2@gmail.com

Received: 9 October 2018, accepted: 22 February 2019

ABSTRACT

Dust and climate have mutual feedbacks. Although dust storms are due to large-scale and regional atmospheric circulation systems, but these systems will be affected by dust. In this study, these feedbacks will be investigated. The WRF-CHEM model and the GOCART aerospace scheme are used for the simulations. Investigation of the direct effects of dust in Mesopotamia and southwestern Iran shows that the occurrence of dust leads to increases the long-wave radiation and decreases the short-wave radiation, which decreases the rate of short-wave radiation much more than the amount of long-wave radiation at the surface. Therefore, the dust reduces the net radiation received at the surface. So dust leads to surface cooling over the study area. Dust also results in a weakening of the summer high pressure located in the eastern part of the Arabian Peninsula, which is one of the systems of pressure that influences the formation of severe summer wind in the Mesopotamia region. As the system weakens, the pressure difference between the eastern part of the Arabian Peninsula and the interior of Iran will decrease and such condition leads to decreases of wind speed. In the case study, the rate of wind speed reduction in the Gulf region and southern Iraq (at most) was -5 and -3 m/s respectively and the average rate of wind speed reduction in the region in this case was -2.3 m/s. Therefore, the presence of dust weakens the wind velocity, which results in weakening the diffusion of dust over the study area.

Keywords: Dust, Climatic feedback, Radiation forcing, Southwest Asia, Numerical simulation.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Farahmand H., Jahanbakhsh Asl S., Rezaei M., Ali Mohammad Khorshiddoust B. (2019). Investigation of Radiative Forcing and Interactions of Dust and Climate in Southwest of Asia using WRF-Chem Model. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 2(1): 29-41.

COPYRIGHTS

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

