نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۷۱، زمستان ۱۴۰۲

بررسی توانایی مدل RegCM در شبیه‌سازی گردوخاک تابستانی خراسان بزرگ

دریافت مقاله: ۹۸/۹/۲۴ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۲/۶

صفحات: ۵۹-۳۹

الهام مبارک حسن: گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران[1]
Email: Mobarak_e@yahoo.com
ابراهیم فتاحی: پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی، تهران، ایران
Email: ebfat2002@yahoo.com
عباس رنجبر سعادت آبادی: پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی، تهران، ایران
Email: aranjbar@gmail.com
نسیم حمزه حسینی: پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی، تهران، ایران
Email: nasim_hh@yahoo.com

چکیده

استان خراسان بزرگ واقع در شمال شرق ایران ساختار سطحی متنوعی با دشت‌ها و قله‌های متعدد دارد اما به دلیل مجاورت با بیابان‌های افغانستان و ترکمنستان در همه اوقات سال به‌ویژه تابستان تحت تأثیر گردوخاک قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی گردوخاک‌های تابستانی توسط مدل RegCM است. به این منظور در طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ سه رویداد گردوخاک شدید و فراگیر انتخاب شدند. وجود گردوخاک با تصویر ماهواره تأیید و سپس ساختار همدیدی تحلیل شد. در انتها نیز نتیجه شبیه‌سازی مدل RegCM4.6 با داده‌های مشاهداتی دید افقی و عمق نوری اپتیکی هواویز AOD ماهواره آوا مقایسه شد. نتیجه بررسی همدیدی نشان می‌دهد که در فصل تابستان کم‌فشار حرارتی در جنوب و پرفشار در شمال افغانستان شکل می‌گیرد که منجر به توسعه بادهای شمال و شمال شرقی با سرعت ۱۲ تا ۲۱ متر بر ثانیه در مرز شرقی ایران و غرب افغانستان شده و گردوخاک در این مناطق انتشار می‌یابد. بررسی برون داد مدل RegCM بادید افقی و AOD حاصل از ماهواره آکوا نشان می‌دهد که عمل کرد مدل در خراسان جنوبی بهتر از خراسان رضوی است. بیشترین ضریب همبستگی AOD مدل و دید افقی در ایستگاه‌های مرکزی خراسان شامل گناباد، فردوس، نهبندان و قائن به ترتیب با ۰/۸۲- ، ۰/۷۷- و ۰/۴۴- در ۱ جولای ۲۰۱۴ به دست آمد. مدل RegCM در گردوخاک‌های شدید با کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر، تداوم و گسترش افقی زیاد نتیجه بهتری از شبیه‌سازی گردوخاک به دست می‌دهد. به‌طورکلی مدل RegCM ازنظر مقدار AOD را کمتر از الگوریتم ماهواره آکوا برآورد می‌نماید.

کلید واژگان: خراسان بزرگ، گردوخاک، مدل RegCM، عمق نوری هواویز AOD.

۱ نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۰۹۱۲۳۶۱۳۹۷۷

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

مقدمه

یکی از مدل‌های عددی- دینامیکی اقلیمی که در طی سال‌های اخیر توسعه‌یافته و کاربران بسیاری از آن استفاده می‌نمایند مدل RegCM می‌باشد. با کاربست مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای[۲]، ریزمقیاس نمایی دینامیکی به‌منظور مطالعه فرایندهای جوی و اقلیمی انجام می‌شود (گیورگی و همکاران، ۲۰۱۲؛ آبیدون و همکاران2008 ؛ سایلا و همکاران،2010 ؛ مارسلا و الطاهیر، ۲۰۰۸). به‌کارگیری مدل RegCM با در گردوخاک با دیدگاه‌های مختلفی ازجمله نقش شرایط سطحی و ساختار کوهساری، حساسیت سنجی مدل به تفکیک مکانی افقی، گسترش عمودی و منشأ یابی، شار سطح انجام می‌شود. همچنین اثر گردوخاک بر تغییر اقلیم و ترازمندی انرژی تابشی جو تحقیق‌شده است. (سالمون و همکاران،۲۰۱۵، پال و همکاران،۲۰۰۷؛ دیرو و همکاران،۲۰۱۲؛ زکی و همکاران، ۲۰۰۶، سالون، ۲۰۰۸؛ کونارو همکاران، ۲۰۰۸؛ مارسلا و الطاهیر،2012 و ۲۰۱۰). این مدل برآورد قابل قبولی در آسیا، آفریقا و جنوب آمریکا داشته و ابزار مفیدی برای مطالعه‌های اقلیمی است (پال و همکاران،۲۰۰۷). اگرچه در مناطق مرکزی آمریکا دما را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد نموده است (دیرو و همکاران،۲۰۱۲). استفاده از مدل RegCM در شبیه‌سازی مانسون آفریقا نشان داد که مدل میانگین بارش در منطقه را برآورد نموده و در بارش‌های حدی نیز عمل کرد مناسبی دارد (آفیسیماما و همکاران، ۲۰۰۶). برهم‌کنش ساختار سطحی به‌ویژه ساختار کوهساری با عوامل جوی یکی از مهم‌ترین بخش‌های ریزمقیاس نمایی است. مدل RegCM با تفکیک‌پذیری مکانی کم‌تر[۳] در آشکارسازی روزانه ابر و مشخصه‌های آن دقت کافی ندارد (مالت و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر پدیده‌های ذکرشده، توانایی مدل RegCM پیوند خورده با طرحواره گردوخاک در شبیه‌سازی توفان‌های گردوخاک تحقیق‌شده است. زکی و همکاران (۲۰۰۶) توانایی مدل RegCM در بررسی اثر گردوخاک صحرا[۴] در اقلیم آفریقا و اروپا را تائید می‌نمایند. کاربرد بلندت مدل RegCM نشان می‌دهد که گرمایش جهانی به افزایش انتشار گردوخاک خواهد شد. همچنین گردوخاک در ستون هوا در شرق آسیا خواهد شد (ژانگ و همکاران،۲۰۱۶). نداچو و همکاران (۲۰۱۸) در شبیه‌سازی گردوخاک توسط مدل RegCM به بررسی اثر اقلیمی گردوخاک پرداخته و نشان دادند که حضور گردوخاک بر ساختار دما و سرعت و جهت باد در ترازهای مختلف تأثیر دارد. در منطقه جورجیا اثر مستقیم گردوخاک، منجر به افزایش دما در تمام ماه‌های سال می‌شود (داویتاشویلی و همکاران،۲۰۱۸). عابد و همکاران (۲۰۱۹) بر اساس مقدار گردوخاک به‌دست‌آمده توسط مدل RegCM، گردوخاک‌های عراق را دسته‌بندی نمودند. بررسی بلندمدت اقلیمی نشان می‌دهد توزیع AOD[۵] حاصل از مدل‌ها و ماهواره هماهنگ بوده اما مقدار عددی AOD حاصل از مدل نسبت به داده‌های مشاهداتی ماهواره کمتر است (مالت و همکاران، ۲۰۱۷). تسی کرتکیس و همکاران (۲۰۱۶) گردوخاک در منطقه صحرای افریقا توسط مدل RegCM شبیه‌سازی نموده و نتیجه نشان داد که مدل عمق نوری هواویزها را در شرق منطقه بیش‌تر و در خلیج گینه کمتر برآورد می‌کند.

۲ Regional climate model
۳ Coarse horizontal
۴ Saharan
۵ Aerosol Optical Depth

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

مدل RegCM برآورد خوبی از عمق نوری هواویزها در جنوب آفریقا دارد (تسفای و همکاران،۲۰۱۳). نتیجه حاصل از مدل RegCM در منطقه مدیترانه الگوی تقریباً هماهنگی با AOD دارد اما در شمال آفریقا مقدار AOD را کمتر برآورد می‌نماید (نبات و همکاران،۲۰۱۲). در مطالعه دیگر نیز به برآورد خوب مدل (AOD) در مدیترانه نشان داده‌شده است اما در جنوب اروپا در برخی ایستگاه‌ها کم برآورد و در برخی دیگر بیش برآورد به‌دست‌آمده است (سانتزو همکاران، ۲۰۰۹). کاربرد مدل RegCM در شرق آسیا نشان داد که به دلیل ساختار کوهساری پیچیده، کاربر زمین و ویژگی‌های پوشش برف در منطقه، برآورد گردوخاک دشوار است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹). در جنوب غرب آسیا نیز به اثر ریزمقیاس نمایی باد و شرایط مرزی اولیه در به بهبود شبیه‌سازی گردوخاک اشاره نمود (مارسلا والطاهیر ۲۰۱۲، ۲۰۱۰). در تفکیک‌پذیری بالاتر[۶] (کمتر از ۵۰ کیلومتر) فرآیندهای انتشار گردوخاک[۷]، ترابرد[۸] و نهشت[۹] اثر تابشی در اقلیم منطقه بهتر برآورد می‌شوند. در شبیه‌سازی گردوخاک با استفاده از مدل RegCM دیده شد که انتقال گردوخاک صحرا به آناتولی در کیفیت هوای استانبول دارد (آگاکایات و همکاران،۲۰۱۲). همچنین گردوخاک بر و واداشته‌ای تابشی خورشید تأثیر داشته و بخش از آن را جذب می‌نماید (آگاکایات و همکاران،۲۰۱۲). مدل RegCM اقلیمی است، اما به‌منظور بررسی توانایی مدل RegCM در شبیه‌سازی بلندمدت و اقلیمی گردوخاک بهتر است ابتدا گردوخاک‌های موردی شبیه‌سازی‌شده و مشخصه‌ها آن تحلیل گردد (زکی و همکاران،۲۰۰۶).

در سال‌های اخیر در ایران نیز مدل RegCM در ارزیابی اقلیمی و کوتاه‌مدت پدیده‌های جوی مختلف به کار گرفته‌شده است. ازجمله مطالعه‌های بلندمدت می‌توان برآورد تبخیر تعرق پتانسیل (قهرمان و همکاران،۱۳۹۳)، بارش و دما (محمدی و همکاران،۱۳۹۴؛ کیخسروی، ۱۳۹۶؛ سلطان‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶؛ مدیریان و همکاران، ۱۳۸۶)، باد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵)، موج گرمایی (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵) اشاره نمود. همچنین مطالعه‌های موردی برای تاریخ‌های ۱۲ جون ۲۰۰۶ (حسنی و همکاران، ۱۳۹۴)، ۱۳-۱۴ آوریل ۲۰۰۱(فاروقی و همکاران، ۱۳۹۶)، ۳۰ جولای ۲۰۰۱(مفیدی و کمالی، ۱۳۹۱)، ۱ جولای ۲۰۰۰(قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵) انجام‌شده است. توفان‌های گردوخاک در مناطق مختلف ایران توسط مدل RegCM شبیه‌سازی‌شده است. از جمله کاربردهای مدل RegCM در شناسایی ساختار شکل‌گیری گردوخاک و تعیین چشمه آن می‌باشد که توسط فاروقی و همکاران (۱۳۹۶) در شمال شرق ایران انجام شد و بیابان‌های ترکمنستان به‌عنوان منشأ شکل‌گیری گردوخاک خراسان شمالی شناخته شد. غفاریان و همکاران (۱۳۹۴) نیز به نقش بیابان‌های ترکمنستان در گردوخاک‌های کرانه‌های جنوبی دریای خزر و شمال شرق ایران اشاره نموده‌اند؛ بنابراین مدل RegCM در شناسایی چشمه گردوخاک موفق بوده است. پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های ماهواره به شناسایی منشأ انتشار گردوخاک در استان خراسان رضوی پرداختند. نتیجه آن‌ها ۶۵ کانون برداشت گردوخاک شناسایی‌شده و بیشتر این نقاط در جنوب و شرق استان قرار دارند.

[۶] Higher spatial resolution
[۷] Dust emission processes
[۸] Transportation
[۹] Deposition

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

با تفکیک‌پذیری مختلف، نتیجه برهم‌کنش ساختار کوهساری و ویژگی‌های سطحی با عوامل جوی و شبیه‌سازی گردوخاک تغییر می‌نماید. نقش عوامل جغرافیایی محلی در مشخصه‌های گردوخاک در مناطقی با شرایط سطحی متفاوت بارز است. اهمیت ریزمقیاس نمایی گردوخاک و باد توسط مدل RegCM به‌ویژه در مناطقی با ساختار کوهساری مانند شمال شرق ایران و دشت سیستان توسط حسنی و همکاران (۱۳۹۴) مورد تأکید بوده است. نتیجه این تحقیق‌ها نشان داد که کاربست مدل RegCM در ریزمقیاس نمایی گردوخاک اهمیت داشته و برآورد صحیح آن به تفکیک‌پذیری مکانی حساس می‌باشد. مدل RegCM با تفکیک ۲۰ کیلومتر ساختار سطحی در انتشار گردوخاک عمل کرد بهتری داشته و برآوردها بهبود می‌یابند (حسنی و همکاران،۱۳۹۴). درحالی‌که تفکیک ۸۰ کیلومتر نتیجه نامطلوبی به دست می‌آید (حسنی و همکاران،۱۳۹۴). ناهمواری‌های شمال شرق ایران بر دما، جهت و سرعت باد تأثیر می‌گذارند به‌طوری‌که با حذف ساختار کوهساری در مدل RegCM ساختار دما و بادهای محلی تغییر می‌نماید (حمیدیان پور و همکاران،۱۳۹۵). نقش باد شمالی در انتشار گردوخاک و گسترش عمودی آن تا تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال در دشت سیستان به کمک مدل RegCM به دست آمد (مفیدی و همکاران،۱۳۹۲ ب).

علاوه بر کاربست مدل RegCM، در برخی مطالعه سازوکار همدیدی و روند آماری بلندمدت گردوخاک در شمال شرق ایران بررسی‌شده است. گردوخاک‌های نیمه گرم سال در خراسان جنوبی تحت تأثیر دو الگوی همدیدی انتشار می‌یابند (احمدی و همکاران،۱۳۹۴). ساختار همدیدی تابستانی همراه با بادهای شمالی گردوخاک را از ترکمنستان به شرق و جنوب شرق ایران انتقال می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). کارکن سیستانی (۱۳۹۴) به بررسی گردوخاک در استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۷ پرداخته است، نتیجه تحقیق وی نشان می‌دهد که دو ایستگاه سرخس و گناباد واقع در استان خراسان رضوی بیشترین گردوخاک‌ها را تجربه می‌نمایند. بروغنی و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیشترین تعداد وقوع گردوخاک را ایستگاه‌های خراسان رضوی در سرخس و کمترین آن را قوچان تعیین نمودند. همچنین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸، به‌عنوان کمترین و بیشترین فراوانی گردوخاک در استان خراسان رضوی شناخته شدند (بروغنی و همکاران،۱۳۹۴).

گرچه گردوخاک در شمال شرق ایران موردبررسی و تحقیق قرارگرفته است اما در بیشتر موارد عمده توجه به استان خراسان رضوی بوده و گردوخاک‌های خراسان جنوبی و شمالی به‌ندرت موردتوجه قرارگرفته است. همچنین توانایی مدل RegCM در شبیه‌سازی گردوخاک این دو استان ارزیابی نشده است. درحالی‌که استان خراسان جنوبی به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه، به‌شدت از توفان‌های گردوخاک تأثیر می‌گیرد. هدف از این تحقیق بررسی دقت و توانایی مدل RegCM در شبیه‌سازی گردوخاک‌های تابستانی خراسان بزرگ شامل خراسان رضوی، خراسان شمالی و جنوبی می‌باشد. با توجه به تفاوت موقعیت جغرافیایی و ساختار کوهساری متفاوت هر سه استان، مقایسه عمل کرد مدل در برآورد گردوخاک در این مناطق اهمیت ویژه‌ای دارد. پس از اطمینان از دقت مدل RegCM در شبیه‌سازی رویدادهای گردوخاک موردی در خراسان بزرگ، این مدل می‌تواند در مقیاس زمانی طولانی‌تر نیز مورداستفاده قرار گیرد. ازاین‌رو سه رویداد گردوخاک فراگیر با ساختار همدیدی مشابه در فصل تابستان در خراسان بزرگ انتخاب‌شده و توسط مدل RegCM جفت شده با گردوخاک شبیه‌سازی شدند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

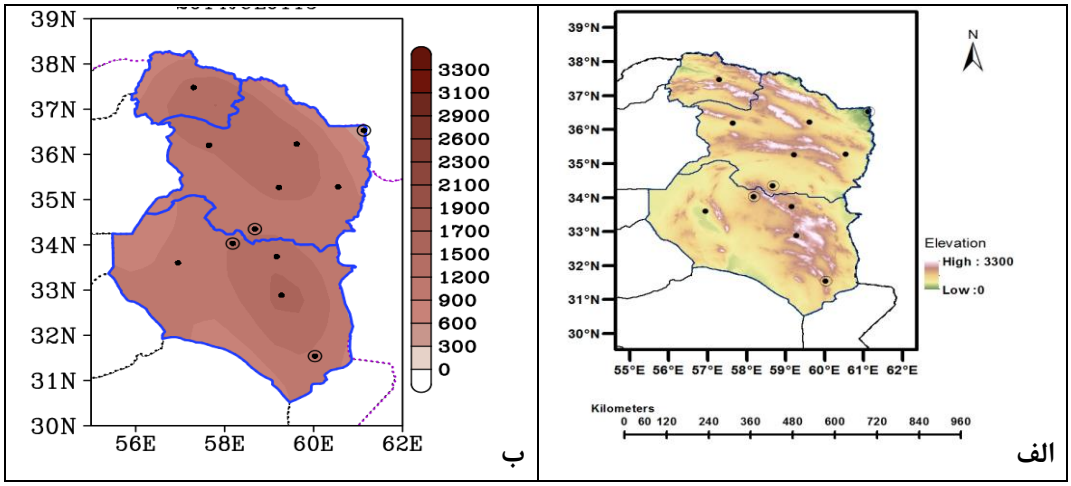
روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

خراسان بزرگ در شمال شرق کشور بین ۵۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی قرارگرفته است. همچنین از شمال و شمال شرق به جمهوری ترکمنستان، از شرق به افغانستان، از غرب به استان‌های گلستان، سمنان و اصفهان و از جنوب به استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و یزد محدود است (تارنمای سازمان هواشناسی کشور).

دنباله ارتفاعات البرز به سمت شرق تا ارتفاعات هندوکش افغانستان بخش‌های عمده‌ای از منطقه را در بر می‌گیرند. خراسان بزرگ ساختار کوهساری متنوعی دارد. در میان این رشته‌کوه‌های موازی، دره‌ها و دشت‌های وسیعی وجود دارد که گاه پهنای آن به حدود ۲۰۰ کیلومتر می‌رسد. وجود دشت‌های حاصل خیز و سرسبز بین دو رشته ارتفاعات موازی کپه داغ و هزار مسجد در شمال و آلا داغ و بینالود در مرکز این منطقه حائز اهمیت است (تارنمای سازمان هواشناسی کشور). خراسان بزرگ شامل سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی می‌باشد. موقعیت هر سه استان و ساختار کوهساری در شکل (۱-الف) ارائه‌شده است. برخی ایستگاه‌های هر استان (دایره مشکی توپر) با دوره بلند آماری انتخاب شدند شکل (۱-الف). سرخس با ۲۷۸ متر کم‌ترین و بیرجند با ۱۴۹۱ متر بیشترین ارتفاع از سطح دریای آزاد رادارند. به‌جز سرخس دیگر ایستگاه‌ها ارتفاعی بیش از ۷۰۰ متر دارند. انتشار گردوخاک تحت تأثیر ساختار سطحی مانند ویژگی‌های کوهساری و ویژگی‌های خاک و میدان باد می‌باشد. ساختار کوهساری بر سرعت و جهت باد تأثیر ویژه‌ای دارد؛ بنابراین مطالعه و شناخت گردوخاک‌های خراسان با توجه به ساختار سطحی متنوع آن، چالش‌برانگیز است بوده و تأثیر شرایط سطحی در انتشار گردوخاک در ایستگاه‌های مختلف مشابه نیست. ازآنجاکه گردوخاک‌های رخداده در فصل تابستان بیشترین تأثیر را در شرق محدوده انتخابی دارند، تحلیل‌های بیشتر در برخی ایستگاه‌های شرقی و مرکزی خراسان بزرگ (دایره بزرگ‌تر مشکی) انجام شد شکل (۱-الف). در شکل‌های ترسیم‌شده مرز خراسان بزرگ بارنگ آبی و مرز کشورهای تاجیکستان و افغانستان نیز بارنگ بنفش مشخص شد. ساختار کوهساری مدل RegCM در شکل (۱-ب) نمایش داده‌شده است. با مقایسه اشکال(۱ الف و ب) می‌توان مشاهده نمود که پیچیدگی و تنوع ساختار کوهساری منطقه موردمطالعه در مدل RegCM با دقت زیادی لحاظ نمی‌گردد. پیش نیز به اثر ساختار کوهساری در شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف اشاره‌شده بود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]



شکل (۱). الف) ساختار کوهساری خراسان بزرگ شامل شمالی، رضوی و جنوبی، ب) ساختار کوهساری در مدل RegCM، ایستگاه‌های انتخابی در مطالعه حاضر با دایره توپر مشخص‌شده‌اند.

گردوخاک‌های انتخابی

به‌منظور تعیین زمان وقوع گردوخاک فراگیر در ایران از آمار سه‌ساعته داده‌های مشاهداتی دید افقی و کد پدیده گزارش‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. در شرایطی که هوا پاک باشد دید افقی در ایستگاه‌های هواشناسی ۱۰۰۰۰ متر یا بیشتر گزارش می‌شود و کاهش آن معرف تیرگی و کدر شدن جو هست. ابرناکی، بارش، مه و گردوخاک ازجمله عامل‌های آب و هوایی هستند که منجر به تیرگی جو و کاهش دید افقی می‌شوند. کدهای پدیده شامل ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ هریک برای وضعیت مشخصی از گردوخاک تعریف‌شده‌اند. کاهش دید افقی به کمتر از ۳۰۰۰ متر با کدهای یادشده در ایستگاه‌های مختلف منطقه، به‌عنوان گردوخاک شدید و فراگیر در نظر گرفته شد. با توجه به این شرایط، سه رویداد گردوخاک انتخاب شد جدول (جدول (۱). آشکارسازی منشأ شکل‌گیری، گسترش افقی و ترابرد گردوخاک توسط تصویر مرئی سنجنده مودیس ماهواره آکوا[۱۰] انجام شد. مودیس اولین سنجنده تحقیقاتی کاربردی برای سنجش ذرات معلق هست که در دسامبر ۱۹۹۹ روی ماهواره ترا[۱۱] و در مه ۲۰۰۲ بر روی ماهواره آکوا نصب شد (کافمن و همکاران، ۲۰۰۲). تفکیک افقی داده‌های مشاهداتی آن‌یک درجه هست. ماهواره آکوا هرروز در ساعت مشخصی از یک منطقه روی کره زمین عبور می‌کند. زمان عبور آن از محدوده ایران، بین ۸ تا ۱۰:۴۰ UTC می‌باشد.

جدول (۱). رویدادهای انتخابی گردوخاک در دوره گرم خراسان بزرگ

رویداد	تاریخ خورشیدی	تاریخ میلادی	زمان آغاز اجرای مدل
اول	۱۱ تا ۱۴ مرداد ۱۳۸۷	۱-۴ اوت ۲۰۰۸	۳۰ جولای ساعت ۰۰
دوم	۱۹ و ۲۰ مرداد ۱۳۸۷	۹-۱۰ اوت ۲۰۰۸	۷ اوت ساعت ۰۰
سوم	۱۰ و ۱۱ تیر ۱۳۹۳	۱-۲ جولای ۲۰۱۴	۳۰ جون ساعت ۰۰

[۱۰] Aqua
[۱۱] Terra

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

مدل RegCM

در این تحقیق مدل RegCM نسخه ۴/۶ برای شبیه‌سازی گردوخاک به کار گرفته شد که تنظیم‌های آن در
جدول (۲) اشاره‌شده است. مدل به‌صورت یک آشیانه‌ای باقدرت تفکیک ۳۰ کیلومتر، تعداد ۵۰ گام شبکه در راستای عرض جغرافیایی، ۵۰ گام شبکه در راستای طول جغرافیایی با مختصات مرکزی ۳۰ درجه شمالی و ۴۰ درجه شرقی در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب دامنه مدل شامل کشورهای ایران، عراق، حاشیه جنوبی خلیج‌فارس، افغانستان و پاکستان بود. تصویرنگاشت لامبرت مناسب عرض‌های میانی تنظیم شد. داده‌های ورودی شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه مداری باد، مؤلفه نصف‌النهاری باد، دمای هوا، سرعت عمودی و رطوبت نسبی در ترازهای مختلف جوی از داده‌های ERA[۱۲]-Interim(EIN15) در بازه زمانی ۶ ساعته تهیه شد. داده‌های سطحی مانند ساختار کوهساری، عمق اقیانوس، کاربری زمین و رطوبت خاک با تفکیک افقی...؛ و دمای سطح آب دریا SST با تفکیک مکانی ۱ درجه از NOAA تهیه شد. زمان تنظیم مدل یک یا دو روز پیش از گردوخاک در خراسان بزرگ در نظر گرفته شد.

جدول (۲). تنظیم مدل برای شبیه‌سازی گردوخاک فوریه ۲۰۰۸

سیستم تصویر انتخابی	نگاشت لامبرت	طرحواره رطوبت	Explicit moisture (SUBEX; Pal et al 2000)
داده اولیه و شرایط مرزی	ERA-Interim(EIN15)	طرحواره لایه‌مرزی	UW PBL (Bretherton and McCaa, 2004)
تعداد لایه‌های قائم	۱۸ لایه	طرحواره دمای سطح دریا	OI_WK
طرحواره همرفت	Grell(1993)	طرحواره گردوخاک	۴ دسته ذره، با در نظر گرفتن گسیل و انتقال ذرات

عمق نوری هواویز AOD

عمق نوری هواویزAOD و یا ضخامت نوری هواویز[۱۳]AOT کمیتی بدون بوده و نشان‌دهنده میزان تضعیف خورشید در جو به دلیل جذب و پراکندگی ناشی از ذره‌های جوی (هواویزها) می‌باشد (وانگ و کریستوفر، ۲۰۰۳). هواویزها تابش خورشیدی ورودی به جو را جذب یا پراکنده می‌کنند و باعث کاهش دید می‌شوند. هواویزها از منابع مختلفی شامل کارخانه‌ها، دود ناشی از آتش‌سوزی، گردوخاک ناشی از توفان‌های گردوخاک، نمک دریا، خاکستر آتش‌فشان و دود تولید می‌شوند. همچنین عوامل دیگری ازجمله فاصله از منشأ گردوخاک، فاصله از مراکز صنعتی، نوع فعالیت‌های صنعتی، آلودگی‌های محیطی و صنعتی، فاصله از منابع آبی (نمک دریا)، توپوگرافی، مسیر حرکت توده‌های هوا، ویژگی‌های اقلیمی منطقه و شهری در توزیع افقی و غلظت آن‌ها تأثیرگذار هستند (آلوزیوس و همکاران،۲۰۰۹). فعالیت‌های انسانی به‌ویژه در مناطق پرجمعیت و یا صنعتی و همچنین سوختن ذخیره فسیلی عامل مهمی در افزایش غلظت هواویزها می‌باشند (سانگ و همکاران،۲۰۰۹).

[۱۲] ECMWF Reanalyses
[۱۳] Aerosol Optical Thickness

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

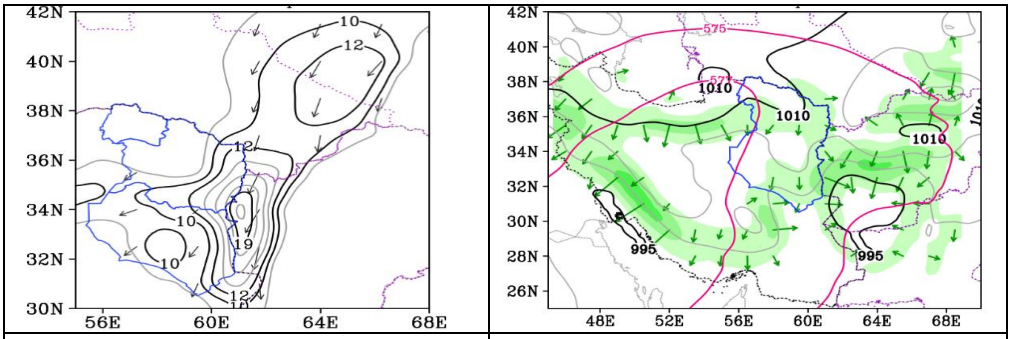
مقدار عمق نوری اپتیکی با توجه به غلظت و تعداد و اندازه هواویزها و همچنین ویژگی ذره‌ها متفاوت است (اورگن،۱۹۹۵). افزایش AOD به معنای غلظت بیشتر هواویزها در ستون عمودی جو است؛ بنابراین افزایش هواویزها منجر به افزایش عمق اپتیکی جو شده که درنتیجه آن تیرگی جو افزایش و دید افقی کاهش می‌یابد؛ بنابراین افزایش مقدار AOD با کاهش دید افقی همراه بوده و رابطه عکس‌دارند. مقادیر عمق نوری هواویز در بازه صفرتا ۵ اندازه‌گیری می‌شوند. مقدار صفر نشان‌دهنده عدم ثبت داده توسط سنجنده است. مقدار کمتر از ۰/۲ نیز معرف شاخص هوای پاک است به این معنا که بیشترین انرژی خورشید به زمین رسیده و دید افقی کامل است (تارنمای داده‌های زمینی ناسا). البته شرایط هوای پاک و مقدار AOD روی خشکی و آب متفاوت است (تارنمای ناسا). مقدار AOD بیش از ۰/۵ نشان‌دهنده افزایش آلودگی جوی است. اگر مقدار AOD بیش از ۳ تا ۵ شود، به معنی افزایش شدید غلظت هواویزها، کاهش شدید تابش خورشیدی، آسمانی تیره بوده و منجر به کاهش شدید دید می‌شود؛ که معرف شرایط نامناسب و آلودگی زیاد است. بیشترین مقدار AOD به‌عنوان گردوخاک و یا مه سنگین دسته‌بندی می‌شود. به‌منظور بررسی شبیه‌سازی گردوخاک AOD برآورد شده توسط مدل RegCM که در ادامه متن به‌اختصار AOD_Mo نامیده می‌شود، استخراج شد. همچنین به‌منظور ارزیابی صحت شبیه‌سازی مدل، از AOD محصول مودیس ماهواره آکوا استفاده شد که به‌اختصار در متنAOD_Aq بیان می‌گردد. با توجه به زمان عبور ماهواره آکوا از محدوده ایران، نتیجه مدل و داده مشاهداتی آکوا، در ساعت ۹ UTC مقایسه شدند.

نتایج

تحلیل همدیدی

با توجه به شباهت ساختار همدیدی سه رویداد گردوخاک، میانگین آن‌ها ارائه می‌شود. در ساختار فشار سطح دریای آزاد کم‌فشار ۹۹۵ هکتوپاسکال در جنوب غرب افغانستان دیده شد شکل (۲۱ الف). فشار یادشده از نوع حرارتی بود. با شکل‌گیری خط هم‌فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال در شمال افغانستان، بین آن دو شیب فشاری از شمال تا جنوب افغانستان توسعه یافت شکل (۲۱ الف) که پس از تأثیر نیروی کوریولیس به توسعه بادهای شمال و شمال شرقی با سرعت ۱۲ و ۲۱ متر بر ثانیه در شرق ترکمنستان و جنوب خراسان منجر شد شکل (۲۱ ب). کوه‌های افغانستان در افزایش شیب فشاری در منطقه مؤثر هستند (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲ الف) بخش شرق استان خراسان رضوی و جنوبی تحت تأثیر این باد قرارگرفته‌اند. نکته دیگر آن‌که در استان خراسان جنوبی نیز گردیان فشار مشاهده شد که نتیجه آن توسعه بادهای شمال شرقی با بیشینه سرعت ۱۰ متر بر ثانیه در این منطقه بود. به‌این‌ترتیب تقریباً تمامی استان خراسان جنوبی تحت تأثیر باد ۱۰ متر بر ثانیه بوده و در خراسان شمالی و بخش‌های غربی خراسان رضوی بادهای کمتر از ۸ متر بر ثانیه وزیده است. ایستگاه‌های واقع در شرق خراسان بزرگ مانند سرخس، تربت‌جام، قائن، بیرجند و نهبندان بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها تحت تأثیر میدان باد قرار داشته‌اند؛ اما با توجه به باد شمال شرقی در جنوب استان خراسان رضوی و شمال استان خراسان جنوبی، ایستگاه‌های واقع در مرکز منطقه موردمطالعه مانند فردوس، گناباد و طبس نیز گردوخاک شدیدی را تجربه می‌نمایند.

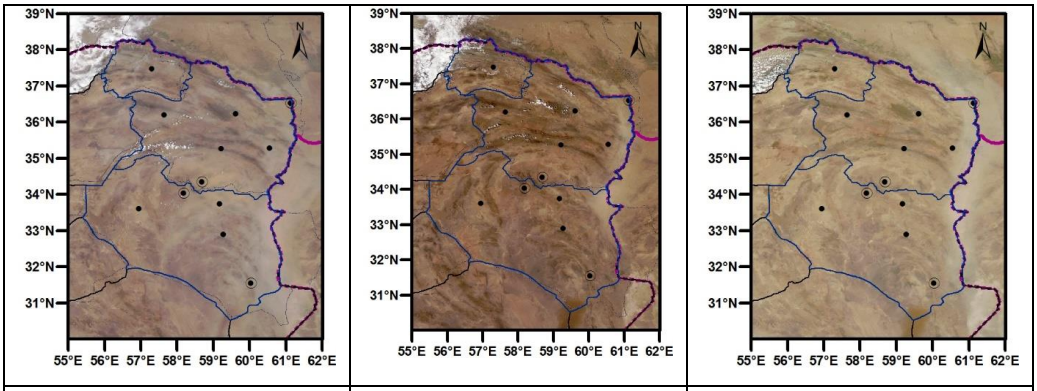
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]



شکل (۲). ساختار همدیدی میانگین در رویدادهای انتخابی، الف) فشار سطح دریای آزاد (مشکی) برحسب hPa، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (قرمز) برحسب دکامتر، مقدار و جهت شیب فشاری (هاشور و پیکان باد؛ ب) سرعت و جهت باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال

بررسی حاصل نشان می‌دهد نقش پرفشار شمال افغانستان (ترکمنستان) عامل ایجاد شیب فشار و بادهای شمالی در خراسان بزرگ است که با مطالعه حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۵) و مفیدی (۱۳۸۶) هماهنگی دارد. گرچه در برخی مطالعه‌ها علت شکل‌گیری باد شمالی را وجود کم‌فشار پاکستان و پرفشار شرق دریای خزر می‌دانند (حسین‌زاده، ۱۳۷۶، نجار سلیقه،۱۳۸۹؛ گندم‌کار، ۱۳۸۵، خسروی، ۱۳۸۷ و نجار سلیقه، ۱۳۸۹). بادهای مناطق شرقی ایران در دوره گرم سال به‌واسطه برهم‌کنش جو و ناهمواری سطحی ایجاد می‌شوند (حمیدیان پور و همکاران،۱۳۹۵). در تصویر ماهواره در هر سه رویداد، توده گردوخاک در مرز شرقی خراسان بزرگ مشاهده شد شکل (شکل (۳). در اول اوت ۲۰۰۸ مرز هردو استان خراسان رضوی و جنوبی گردوخاک را تجربه کردند شکل (شکل (۳ الف). ایستگاه‌های سرخس، تربت‌جام و نهبندان در نزدیکی مرز شرقی تحت بیشتری گرفتند. گرچه با توجه به باد شمال شرقی، گردوخاک به مناطق مرکزی نیز انتقال‌یافته اما شدت آن نسبت به شرق منطقه کمتر است. گردوخاک در اول اوت ۲۰۰۸ در مرز شرقی شکل‌گرفته و در روزهای بعدی تا ۴ اوت ایستگاه‌های مرکزی را نیز تحت تأثیر قرارگرفته و شدت گردوخاک در آن مناطق افزایش یافت؛ بنابراین شدت و تداوم گردوخاک در ایستگاه‌های مختلف یکسان نبود. در ۹ اوت ۲۰۰۸ در مرز شرقی خراسان رضوی و شمال شرق خراسان جنوبی گردوخاک شدید بوده و ایستگاه سرخس بیشتر از دیگر مناطق تحت تأثیر گردوخاک قرارگرفته بود شکل شکل (۳ ب). در رویداد دوم (۹ اوت) گردوخاک در مرز شرقی شکل‌گرفته و تا روز ۱۰ به برخی مناطق داخلی خراسان رضوی گسترش یافت. همچنین شدت گردوخاک در مناطق مرکزی نسبت به رویداد اول بسیار کمتر بود. در رویداد سوم (۱ جولای ۲۰۱۴) بیشترین شدت گردوخاک در مرز شرقی خراسان جنوبی و بخش‌های جنوب شرق خراسان رضوی بوده شکل (۳ پ) اما گسترش آن به مناطق مرکزی خراسان بزرگ نسبت به دو رویداد دیگر بیشتر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]



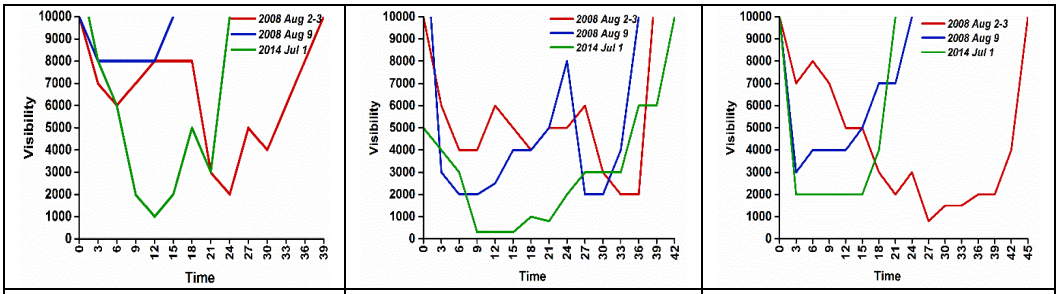
شکل (۳). تصویر مرئی ماهواره آکوا، الف) ۱ اوت ۲۰۰۸، ب) ۹ اوت ۲۰۰۸، پ) ۱ جولای ۲۰۱۴

در ادامه به بررسی تداوم و شدت گردوخاک در ایستگاه‌های انتخابی شامل سرخس، نهبندان و فردوس پرداخته می‌شود. سرخس در شمالی شرقی‌ترین نقطه ایران و در حدفاصل مرز ایران، ترکمنستان و افغانستان قرار دارد. در این ایستگاه کمترین دید افقی با ۱۰۰۰ متر و بیشترین تداوم ۴۵ ساعت در ۲-۳ اوت ۲۰۰۸ رخداده بود شکل شکل (۴ الف). در رویداد ۹ اوت شدت گردوخاک کمتر از دو مورد دیگر بود. نکته قابل‌توجه دیگر آن‌که در ۱ جولای ۲۰۱۴ در سرخس در طی ۱۲ ساعت به‌طور مشابه دید افقی ۲۰۰۰ متر گزارش‌شده بود که با توجه به تغییرات سرعت باد در طی این دوازده ساعت شکل شکل (۸ الف)، یکسان بودن شدت گردوخاک در طی این مدت مورد سؤال بوده و احتمالاً خطای گزارش وجود دارد.

در نهبندان در جنوب شرقی‌ترین محدوده انتخابی واقع‌شده است، شدیدترین گردوخاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و با تداوم ۶۰ ساعت در رویداد ۱ جولای رخداده و ۲ تا ۳ اوت شدت گردوخاک کمتر از دو مورد دیگر بود شکل شکل (۴ ب).

در فردوس واقع در مناطق مرکزی محدوده انتخابی، بیشترین تداوم گردوخاک با ۳۹ ساعت در ۳ اوت و بیشترین کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر در ۱ جولای ۲۰۱۴ رخداده بود. شدت و تداوم گردوخاک در ۹ اوت نسبت به دو مورد دیگر کمتر بود. با بررسی ساختارهای همدیدی شکل (شکل (۲)، تصویر ماهواره شکل (۳) و دید افقی شکل (۴) در سه ایستگاه سرخس، نهبندان و فردوس می‌توان دریافت که رویداد ۹ اوت نسبت به دو مورد دیگر در تمام منطقه انتخابی شدت و تداوم کمتری داشته و همچنین گردوخاک به مناطق مرکزی استان‌ها نرسیده بود. رویداد ۳ اوت در ایستگاه‌های شمال شرق و مرکزی شدت و تداوم بیشتری داشته درحالی‌که ایستگاه‌های جنوب شرق در ۱ جولای شدت و تداوم بیشتری داشته تجربه نمودند. به‌این‌ترتیب گرچه ساختار همدیدی مؤثر در انتشار گردوخاک مشابه است اما تأثیرگذاری میدان باد در استان‌ها و ایستگاه‌های مختلف یکسان نیست.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]



شکل (۴). روند تغییرات زمانی دید افقی در هر سه رویداد گردوخاک، الف) سرخس، ب) نهبندان و پ) فردوس

صحت سنجی برون داد مدل RegCM

در این بخش برون داد مدل AOD_Mo با داده‌های دید افقی گزارش‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی و AOD_Aq مقایسه می‌شود. در ابتدا ضریب همبستگی AOD حاصل از مدل RegCM با دید افقی مشاهداتی در تمامی ایستگاه‌های منطقه در هر سه رویداد موردتحقیق قرار گرفت جدول (جدول (۳). بالاترین ضریب همبستگی در رویداد ۱ جولای ۲۰۱۴ در گناباد با ۰/۸۲- ، فردوس ۰/۷۷- و قائن و نهبندان هرکدام با ۰/۴۴- به دست آمد که نشان می‌دهد مدل RegCM در برآورد گردوخاک عمل کرد بهتری در این ایستگاه‌ها داشته است. در بررسی‌های همدیدی در ۱ جولای ۲۰۱۴ سرعت باد نسبت به دو مورد دیگر بیشتر بوده و جهت وزش باد در خراسان جنوبی شمال شرقی بود که نتیجه آن افزایش شدت گردوخاک و تداوم بیشتر آن در استان خراسان جنوبی در مقایسه با دو رویداد دیگر بود. با توجه به این‌که بالاترین ضریب همبستگی در ایستگاه‌های خراسان جنوبی و در ۱ جولای ۲۰۱۴ به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که مدل عمل کرد بهتری در گردوخاک‌های شدیدتر و با گسترده افقی بیشتر دارد.

در رویداد ۹ اوت که گردوخاک نسبت به دو مورد دیگر ضعیف‌تر بوده و تداوم کمتری داشته، طبس با ۰/۶- بهترین ضریب همبستگی را داشته و در رتبه بعدی نهبندان با ۰/۴۸- و بیرجند با ۰/۳۸- قرار دارند جدول (جدول (۳). هردو ایستگاه در خراسان جنوبی قرار دارند؛ بنابراین به نظر می‌رسد مدل عمل کرد خوبی در شبیه‌سازی گردوخاک‌های این استان دارد.

در ۳ اکوست ۲۰۰۸ بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه تربت‌جام با ۰/۶۲- و گناباد با ۰/۴۲- به دست آمد جدول (جدول (۳). همان‌طور که در تحلیل‌های پیشین اشاره شد، در این رویداد گردوخاک نسبتاً شدید بوده و در استان خراسان رضوی تداوم بیشتری داشت. با توجه به ضریب همبستگی بالاتر در تربت‌جام و گناباد (خراسان رضوی) نسبت به دیگر ایستگاه‌ها به نظر می‌رسد مدل گردوخاک‌های استان خراسان رضوی را بهتر برآورد نموده است؛ اما در ایستگاه‌های خراسان جنوبی ضریب همبستگی کمتری به دست آمد.

AOD حاصل از مدل در تمامی ایستگاه‌های انتخابی خراسان جنوبی در هر سه رویداد یادشده بادید افقی ضریب همبستگی منفی داشته‌اند. به این معنا که با کاهش دید افقی مقدار AOD افزایش‌یافته است؛ بنابراین عمل کرد مدل در هر سه رویداد در خراسان جنوبی بهتر از خراسان رضوی است. گرچه مقدار همبستگی در برخی موارد کمتر از ۰/۵- است. قائن و نهبندان و فردوس نسبت به دیگر ایستگاه‌های استان نتیجه بهتری ارائه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

داند. درحالی‌که در استان خراسان رضوی مدل در برخی گردوخاک‌ها و یا برخی ایستگاه‌ها برآورد بهتری داشته است. به‌طورکلی عمل کرد مدل در خراسان جنوبی بهتر از خراسان رضوی است.

مدل برآورد بهتری در خراسان جنوبی با ساختار کوهساری کمتری و مناطق بیشتر دشت و کویر ارائه داد درحالی‌که در خراسان رضوی با ساختار کوهساری بیشتر، دقت آن کمتر است؛ بنابراین می‌توان به نقش ساختار کوهساری در برآورد گردوخاک توسط مدل توجه نمود که در مطالعه حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵) و ژانگ و همکاران، (۲۰۰۸) نیز اشاره‌شده است. به این معنا که شرایط سطحی تأثیر ویژه‌ای در عمل کرد مدل دارد. به‌طوری‌که در مناطقی با ساختار کوهساری پیچیده مدل نتیجه ضعیف‌تری برای شبیه‌سازی گردوخاک ارائه می‌دهد.

جدول (۳). ضریب همبستگی AOD_Mo و دید افقی در ایستگاه‌های انتخابی در سه رویداد گردوخاک

	ایستگاه	رویداد اول	رویداد دوم	رویداد سوم		ایستگاه	رویداد اول	رویداد دوم	رویداد سوم
خراسان جنوبی	قائن	-۰/۲۴	-۰/۲۵	-۰/۴۴	خراسان رضوی	سرخس	۰/۵۴	۰/۳۲	-۰/۲۳
	نهبندان	-۰/۱۱	-۰/۴۸	-۰/۴۴		گناباد	-۰/۴۲	۰/۰۲	-۰/۸۲
	فردوس	-۰/۱۶	-۰/۳۱	-۰/۷۷		تربت‌جام	-۰/۶۲	-۰/۰۵۲	-۰/۱۴
	بیرجند	-۰/۲۵	-۰/۳۸	-۰/۲۰					
	طبس	-/۱۰	-۰/۶۰	-۰/۳۷					

در ایستگاه سرخس در دو مورد ضریب همبستگی مثبت و در ۱ جولای همبستگی ۰/۲۳- به‌دست‌آمده است. سرخس با ۲۷۸ متر از سطح دریای آزاد نسبت به دیگر ایستگاه‌های محدوده، کمترین ارتفاع را دارد. همچنین به بیابان‌های ترکمنستان و افغانستان نزدیک می‌باشد. علاوه بر آن بررسی دید افقی در سرخ تداوم طولانی گردوخاک‌های ضعیف را نشان داد. به‌طوری‌که پیش از شدت یافتن گردوخاک در رویدادهای انتخابی، گردوخاک‌های ضعیفی بادید افقی ۷۰۰۰ متر در ایستگاه گزارش‌شده است.

بنابراین به نظر می‌رسد سرخس ازنظر جغرافیایی در شرایطی قرار دارد که در فصل تابستان به‌طور مداوم گردوخاک‌های ضعیفی را تجربه نموده و می‌تواند عامل مهمی در عمل کرد ضعیف مدلRegCM در برآورد گردوخاک سرخس باشد.

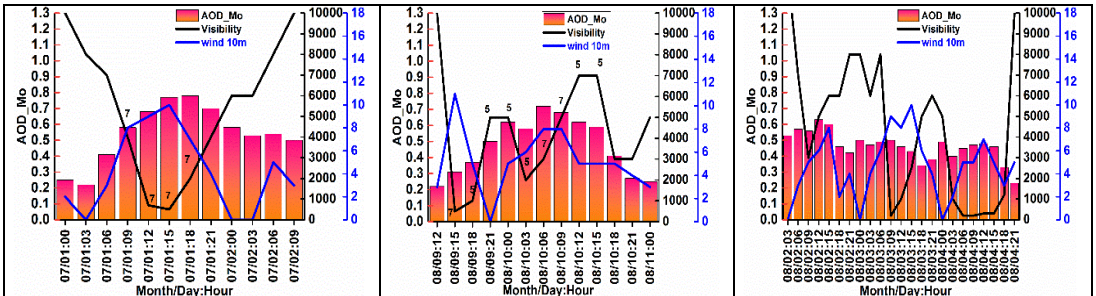
ضریب همبستگی نشان‌دهنده رابطه عکس دید افقی (گردوخاک) و AOD مدل می‌باشد اما این همبستگی در طول دوره بررسی‌شده و نتیجه‌ای از تغییرات ساعتی به دست نمی‌دهد درحالی‌که شدت و تداوم گردوخاک در دوره زمانی وقوع یکسان نیست. تداوم گردوخاک، اشتباه در گزارش دید افقی، کد پدیده و نوسان‌های شدید دید افقی در بازه‌های سه‌ساعته ازجمله عامل‌های هستند که در کاهش ضریب همبستگی تأثیر دارند. علاوه بر آن افزایش سرعت باد در بازه زمانی سه یا شش ساعت در یک منطقه می‌تواند به گردوخاک محلی منجر شده و غلظت ذرات را در زمان کوتاهی به‌سرعت افزایش دهد.

در مرحله بعد تغییرات ساعتی AOD_Mo، دید افقی مشاهداتی و سرعت باد ده متری به بررسی خواهد شد. ازآنجایی‌که گناباد در هر سه رویداد گردوخاک ضریب همبستگی مناسبی داشت، مقایسه ساعتی در این ایستگاه ارائه خواهد شد. در رویداد اول (۲-۴ اوت ۲۰۰۸)، در گناباد سه کاهش دید افقی رخ‌داده بود که به

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

ترتیب مقدار آن کاسته شده و کمترین دید افقی در روز ۴ اوت از ساعت ۰۶ UTC تا ۱۵ UTC در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر گزارش شد شکل (شکل (۵ الف). تغییر سرعت باد ده متری بادید افقی در روز سوم و چهارم اوت ۲۰۰۸ روند عکس داشته و با افزایش سرعت باد در طی ساعت‌های ۹ تا ۱۲UTC کاهش شدید دید افقی رخداده است. سرعت باد در روز ۳ اوت بیشتر از ۴ ام بوده اما دید در هردو روزبه ۲۰۰ متر کاهش‌یافته است؛ بنابراین به نظر می‌رسد در روز سوم گردوخاک محلی تأثیر بیشتری در کاهش دید داشته درحالی‌که در روز ۴ ام گردوخاک ناشی از سیستم همدیدی مؤثرتر بوده است. مدل از روز سوم اوت ساعت ۱۲ UTC به بعد هماهنگی خوبی بادید افقی داشته و با افزایش یکی دیگری کاهش می‌یابد. کاهش ناگهانی دید افقی در روز ۲ ام اوت با افزایش سرعت باد ده متری همراه نیست. در این روز بینAOD_Mo و دید افقی نیز هماهنگی مشاهده نمی‌شود. ضریب همبستگی ۰/۴۲- نیز نشان می‌دهد تائید می‌کند که بعضی روزها این همبستگی کمتر و در برخی دیگر بیشتر بوده است. نکته قابل‌توجه دیگر مقدار AOD_Mo برآورد شده توسط مدل در طی این سه روز است، در روز ۲ ام اوت که دید افقی ۳۰۰۰ متر بوده AOD حدود ۰/۶ برآورد شده اما در روز ۴ ام اوت که دید به ۲۰۰ متر کاهش‌یافته AOD در حدود ۰/۵ برآورد شده است.

در رویداد دوم (۹ تا ۱۰ اوت ۲۰۰۸) در گناباد ضریب همبستگی ۰/۰۲ به‌دست‌آمده است جدول (جدول (۳) که نشان می‌دهد نه‌تنها بین دید افقی و AOD_Mo روند عکس وجود نداشته بلکه ارتباط مثبتی دارند که این روند در شکل (۵ ب)، دیده می‌شود. در روز ۹ اوت افزایش سرعت باد با کاهش دید افقی و کد ۰۷ همراه بوده است که نشان از گردوخاک محلی داشته و پس‌ازآن در دیگر ساعت‌ها و بیشینه کاهش دید در روز ۱۰ اوت با کد ۰۵ گزارش‌شده است. مجدداً از ساعت ۰۶ تا ۰۹ UTC روز ۱۰ اوت کد ۰۷ به معنای گردوخاک ثبت‌شده است. گرچه در روز ۱۰ ام روند AOD_Mo و دید افقی مشابه نیست اما روند افزایش سرعت باد AOD_Mo کاملاً هماهنگ است. به نظر می‌رسد بین بیشینه AOD_Mo و کاهش دید افقی تأخیر زمانی وجود داشته باشد. اختلاف‌زمانی بین مدل و داده مشاهداتی متداول است. در این رویداد که گردوخاک محلی رخداده یا کاهش دید افقی با کد ۰۵ همراه بوده مدل عمل کرد هماهنگی بادید افقی ندارد.



شکل (۵). تغییر زمانی AOD_Mo و دید افقی در ایستگاه گناباد، الف) ۲ تا ۴ اوت ۲۰۰۸، ب) ۹ تا ۱۰ اوت ۲۰۰۸، پ) ۱ تا ۲ جولای ۲۰۱۴

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

در رویداد سوم (۱ جولای ۲۰۱۴) روند تغییرات عکس دید افقی با سرعت باد به‌خوبی دیده می‌شود. کد ۰۷ نشان می‌دهد که افزایش سرعت باد منجر به کاهش دید افقی شده است. همچنین روند عکس بین دید افقی و AOD_Moبه‌خوبی مشاهده‌شده شکل (شکل (۵) و ضریب همبستگی ۰/۸۲- جدول (جدول (۳ پ) این روند را تائید می‌نماید. با مقایسه سه رویداد یادشده می‌توان نتیجه گرفت در گردوخاکی با کاهش دید شدید تا کمتر از ۱۰۰۰ متر، مدل برآورد بهتری دارد. همچنین روند تغییرات روزانه سرعت باد ده متری بادید افقی روند منفی و با AOD_Mo روند مثبت دارد. در مواردی که تغییر ناگهانی سرعت باد یا دید افقی رخداده و یا رطوبت در جو زیاد باشد، مدل گردوخاک را به‌خوبی شبیه‌سازی نمی‌نماید.

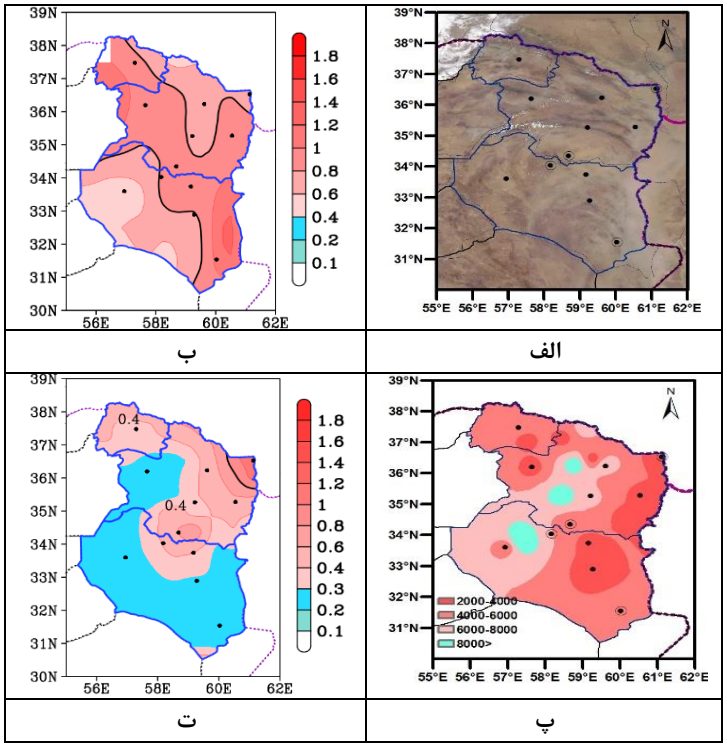
همچنین مقایسه مقداری AOD در ۱ جولای که دید افقی به ۲۰۰ متر رسیده مدل AOD را حدود ۰/۷۷ برآورد نموده درحالی‌که در ۴ اوت با همین میزان کاهش دید، مدل AOD را حدود ۰/۵ برآورد نموده است؛ که نشان می‌دهد مقدار عددی AOD_Mo با مقدار کاهش دید افقی هماهنگی ندارد. ازجمله دلیل این اختلاف می‌توان به خطا در گزارش دید افقی، شرایط جوی مانند بالا بودن رطوبت نسبی، افزایش سرعت باد محلی و... اشاره نمود.

مقایسه توزیع افقی AOD مدل با داده‌های مشاهداتی در رویداد سوم (۱ و ۲ جولای ۲۰۱۴)

در ۱ جولای ۲۰۱۴، در تصویر ماهواره آکوا، گردوخاک در مرز شرقی ایران با شدت بیشتر و در گستره خراسان بزرگ با شدت کمتری مشاهده شد شکل (۶ الف). در توزیع دید افقی AOD_Aq، در مرزی شرقی خراسان بزرگ و در شمال غرب و غرب آن مقدار AOD مشابه و حدود ۱/۲ تا ۰/۸ مشاهده می‌شود شکل (شکل (۶ ب)، به‌جز محدوده بین نهبندان و بیرجند که تا ۱/۲ ثبت‌شده است شکل (شکل (۶ ب). درحالی‌که در تصویر مرئی گردوخاک شدت آن در مرز شرقی بیش از غرب است. همچنین در شمال غرب محدوده انتخابی در تصویر مرئی پوشش ابری مشاهده می‌شود که در AOD_Aq مقدار ثبت‌نشده است اشکال (شکل (۶ الف وب). به نظر می‌رسد الگوریتم تعیین AOD در شرایط پوشش ابری برآوردی ندارد. در توزیع دید افقی بیشینه کاهش دید افقی را در سرخس، تربت‌جام، بیرجند و قائن در شرق و سبزوار در شمال غرب رخداده است شکل (شکل (۶ پ). توزیع کلی دید افقی و AOD_Aq تقریباً هماهنگ است اما در برخی مناطق عدم هماهنگی‌های مشاهده می‌شود که علت آن فاصله ایستگاه‌های همدیدی است. در ماهواره آکوا تفکیک‌پذیری مکانی یک درجه و در حدود ۱۱۱ کیلومتر است؛ اما فاصله مکانی ایستگاه‌های همدیدی با همدیگر تفاوت دارد.

در پهنه‌بندی AOD_Mo بیشینه مقدار در سرخس و همچنین در منطقه مرکزی بین فردوس، گناباد و قائن مرکز بیشینه دیگری مشاهده می‌شود شکل (شکل (۶ ت). با مقایسه پهنه‌بندی AOD در آکوا و مدل هماهنگی مناسبی بین آن دو مشاهده نمی‌شود. گرچه مدل در ساعت‌های بعد گسترش جنوب سوی AOD را نشان می‌دهد اشکال (۶ ب و ت). تفکیک‌پذیری مکانی نقاط شبکه مدل ۳۰ کیلومتر و تفکیک‌پذیری مکانی ماهواره آکوا ۱ درجه یا در حدود ۱۱۱ کیلومتر است؛ بنابراین در درون‌یابی انجام‌شده در ترسیم پهنه‌بندی احتمال خطا وجود داشته و می‌تواند یکی از دلیل‌های اختلاف بین برآورد مدل و آکوا باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]



شکل (۶). الف) تصویر مرئی ماهواره آکوا، ب) توزیع افقی AOD ماهواره آکوا، پ) توزیع دید افقی، ت) توزیع افقی AOD برون داد مدل در ساعت ۰۹ UTC روز ۱ جولای ۲۰۱۴

مقایسه AOD_Mo و دید افقی در خراسان رضوی و خراسان شمالی تقریباً هماهنگ بوده اما در استان خراسان جنوبی بین آن دو تفاوت دیده می‌شود. به‌طوری‌که بیشینه کاهش دید افقی در قائن و بیرجند گزارش‌شده اما مدل بیشینه AOD را در حدفاصل گناباد، فردوس و قائن برآورد نموده است. مقایسه فاصله بین نقاط شبکه مدل ۳۰ کیلومتر بوده است درحالی‌که فاصله مکانی ایستگاه نیست. در ادامه مقدار عددی AOD_Mo، AOD_Aq و دید افقی در ساعت ۰۹UTC روز ۱ جولای مقایسه شده است.

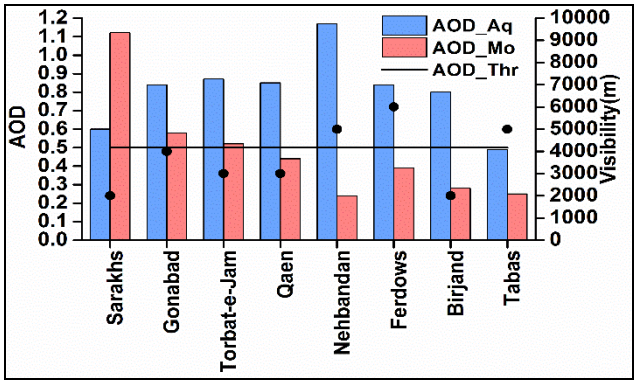
در روز ۱ جولای ساعت ۰۹ UTC مقدار AOD_Mo و AOD_Aq در ایستگاه‌های انتخابی مقایسه شدند (شکل (۷). مقدار ثبت‌شده در آکوا به‌جز طبس و سرخس در دیگر ایستگاه‌ها بیش از ۰/۸ بوده و بیشترین مقدار آن در نهبندان با ۱/۱ مشاهده شد شکل (شکل (۷). در تمام ایستگاه‌ها مقدار AOD_Aq از آستانه ۰/۵ بالاتر است. درحالی‌که مقدار برآورد شده AOD_Mo به‌جز سرخس در دیگر ایستگاه‌ها بین ۰/۲ تا ۰/۵ بوده و فقط گناباد از حد آستانه ۰/۵ بیشتر است شکل شکل (۷). به‌جز سرخس در دیگر ایستگاه‌ها مدل AOD را کمتر برآورد نموده است. در مطالعه‌های پیشین نیز به کم برآورد شدن AOD در مدل RegCM در برخی مناطق اشاره‌شده است (مالت و همکاران، ۲۰۱۷؛ تسی کرتکیس و همکاران،۲۰۱۶ و سانتزو همکاران، ۲۰۰۹).

کمترین اختلاف بین آن دو در گناباد و طبس و بیشترین اختلاف در نهبندان به دست آمد. نکته مهم آن‌که دید افقی و مقدار AOD_Aq در نهبندان و فردوس هماهنگی ندارد. دید افقی نهبندان ۵۰۰۰ متر گزارش‌شده درحالی‌که AOD_Aq بیشترین مقدار ۱/۱ را در این ایستگاه نشان می‌دهد؛ بنابراین یا افزایش AOD

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

به‌دست‌آمده توسط الگوریتم از داده ماهواره آکوا به‌جز گردوخاک به عامل دیگری بستگی داشته یا آن‌که گزارش مقدار کاهش دید در ایستگاه خطا بوده است.

سرخس و بیرجند کمترین دید افقی با ۲۰۰۰ متر داشته‌اند. برآورد مدل در سرخس با ۱/۱ با کاهش دید ۲۰۰۰ متری آن نسبت به دیگر ایستگاه‌ها نتیجه خوبی به دست داده است؛ اما در بیرجند علیرغم دید افقی ۲۰۰۰ متر، برآورد AOD_Mo ۰/۲۸ است؛ که در مقایسه با سرخس با همان کاهش دید افقی مقدار کمتری برآورد شده است.



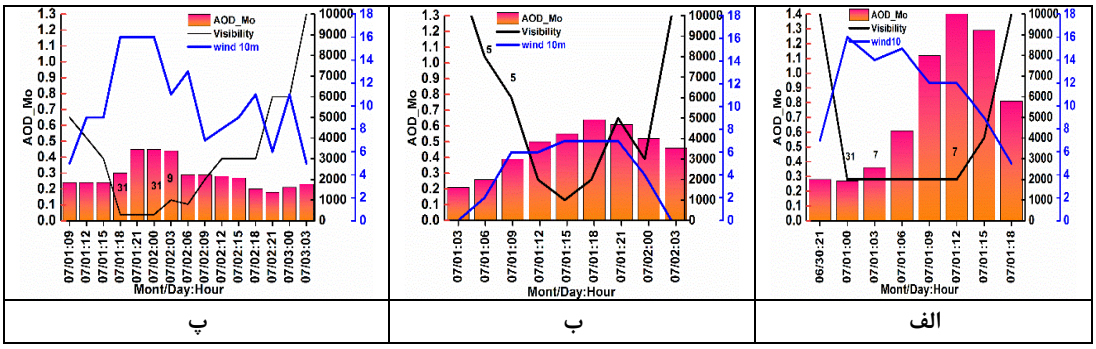
شکل (۷). مقایسه AOD مدل و آکوا روی ۱ جولای ۲۰۱۴ ساعت ۰۹ UTC در ایستگاه‌های مختلف

تا به اینجا مقایسه بین برون داد مدل و داده‌های مشاهده در ساعت ۰۹UTC روز ۱ جولای انجام شد؛ اما ازآنجاکه گردوخاک چند ساعت تداوم داشته و شدت آن در دوره زمانی وقوع تغییر می‌نماید، لازم است که تغییر زمانی AOD_Mo با داده مشاهده نیز بررسی گردد. به دلیل کاهش حجم مطالب نتیجه مقایسه AOD_Mo و دید افقی فقط در سه ایستگاه سرخس، فردوس و نهبندان در روز ۱ و ۲ جولای ۲۰۱۴ ارائه می‌شود شکل (شکل (۸)؛ که تغییرات دید افقی آن‌ها در هر سه رویداد انتخابی پیش‌تر ارائه شد شکل شکل (۴).

در سرخس روند تغییرات دید افقی با باد ده متری هماهنگی کاملاً ندارد. در ساعت ۰۰ روز ۱ جولای افزایش سرعت باد ده متری تا ۱۶ متر بر ثانیه منجر به توفان گردوخاک شده است (کد ۳۱)؛ اما پس‌ازآن دید افقی در طی ۱۲ ساعت با کد ۰۷ به‌طور یکسان و بدون تغییر ۲۰۰۰ متر گزارش‌شده است، درحالی‌که سرعت باد کاهش شدیدی داشته است. مدل در برآورد توفان گردوخاک در ساعت ۰۰ UTC عمل کرد خوبی نداشته اما از ساعت ۰۹ تا ۱۵ UTC بین سرعت باد، دید افقی و AOD_Mo هماهنگی مشاهده می‌شود. مجدد مشاهده شد که مدل گردوخاک محلی کوتاه‌مدت به دلیل افزایش ناگهانی سرعت باد را به‌خوبی برآورد نمی‌کند. ضریب همبستگی بین دید افقی و برون داد مدل به همین علت ضعیف (۰/۲۳-) به دست آمد جدول (جدول (۳). در فردوس بین دید افقی و سرعت باد ده متری هماهنگی خوبی مشاهده می‌شود. در این ایستگاه دید افقی با کد ۶ و ۷ گزارش‌شده است. کمترین دید افقی در ساعت ۱۵ UTC گزارش‌شده و بیشینه AOD در ساعت ۱۸ UTC برآورد شده است. هماهنگی مناسب دید افقی و AOD_Mo در شکل (۷ ب) و جدول (۳ (ضریب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

همبستگی ۰/۷۷-) دیده می‌شود. در فردوس بین سرعت باد ده متری و AOD_Mo هماهنگی مثبتی وجود دارد. سرعت باد ده متری ۶ متر بر ثانیه بوده و نسبت به سرخس کمتر است. در نهبندان کاهش دید افقی با کدهای ۳۱ و ۹ (عدم‌تغییر شدت گردوخاک و گردوخاک در خارج از ایستگاه) همراه بوده است. افزایش سرعت باد ده متری تا ۱۶ متر بر ثانیه در ساعت ۱۸ تا ۲۱ UTC روز ۱ جولای با کاهش دید افقی هماهنگ است. در روز ۱ جولای که بین سرعت باد و دید افقی هماهنگی مشاهده می‌شود، AOD_Mo نیز بادید افقی رابطه منفی و با سرعت باد رابطه مثبت دارد؛ اما در روز ۲ جولای که سرعت باد و دید افقی نوسان‌های زیادی دارند، این هماهنگی را نمی‌توان یافت. به همین دلیل ضریب همبستگی در نهبندان ۰/۴۴- به‌دست‌آمده است که عدم هماهنگی در برخی ساعت‌ها را تائید می‌نماید.



شکل (۸). تغییر زمانی AOD_Mo و دید افقی در ایستگاه الف) سرخس، ب) فردوس؛ پ) نهبندان، ۱ تا ۲ جولای ۲۰۱۴

نتیجه‌گیری

در فصل تابستان کم‌فشار حرارتی در جنوب و پرفشار در شمال افغانستان شکل می‌گیرد که منجر به توسعه بادهای شمال و شمال شرقی با سرعت ۱۲ تا ۲۱ متر بر ثانیه در مرز شرقی ایران و غرب افغانستان شده و گردوخاک‌های در این مناطق انتشار می‌یابد که با نتیجه حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵) و مفیدی (۱۳۸۶) هماهنگی دارد. این گردوخاک‌ها عمدتاً شرق و مرکز خراسان بزرگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ساختار پیچیده سطحی منطقه که شامل کوه‌های مرتفع و دشت‌های بین آن‌هاست باعث می‌شود، شدت و تداوم گردوخاک در محدوده موردمطالعه، بسیار متفاوت باشد. در طی ساعت ۹ تا ۱۲ UTC افزایش سرعت باد رخداده و علاوه بر گردوخاک‌های همدیدی، گردوخاک‌های محلی نیز انتشار می‌یابند که برشدت گردوخاک افزوده می‌شود. در بسیاری از ایستگاه‌ها افزایش سرعت باد با کاهش دید افقی هماهنگ است که نشان از تأثیر شرایط محلی در افزایش شدت گردوخاک دارد.

بررسی برون داد مدل RegCM بادید افقی و AOD حاصل از ماهواره آکوا نشان می‌دهد که عمل کرد مدل در هر سه رویداد در خراسان جنوبی بهتر از خراسان رضوی است. با توجه به این‌که خراسان جنوبی ساختار کوهساری کمتری داشته و بیشتر مناطق آن دشت و کویر است، می‌توان به نقش ساختار کوهساری در برآورد گردوخاک توسط مدل تأکید نمود. همچنین مقایسه توزیع افقی AOD آکوا و مدل RegCM نشان می‌دهد که مدل گسترش جنوب سوی گردوخاک را در مرز شرقی (شرق خراسان جنوبی) به‌خوبی برآورد نمی‌نماید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

مقایسه نتیجه AOD مدل بادید افقی مشاهداتی، بیشترین ضریب همبستگی در هر سه رویداد در مناطق مرکزی شامل گناباد، فردوس، قائن و نهبندان نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی در ۱ جولای ۲۰۱۴ در چهار ایستگاه یادشده به ترتیب با ۰/۸۲- ، ۰/۷۷- و ۰/۴۴- به دست آمد. به‌طورکلی مدل RegCM گردوخاک‌های شدید همراه با کاهش دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر، تداوم بیشتر با گستردگی افقی بیشتر را بهتر برآورد می‌نماید. گرچه روند تغییرات AOD مدل در ایستگاه‌های مرکزی محدوده انتخابی و ایستگاه‌های خراسان جنوبی هماهنگی مناسبی بادید افقی دارند اما از مقدار AOD نمی‌توان شدت گردوخاک را به‌دقت تعیین نمود. از علت‌های عدم هماهنگی آن دو می‌توان به عدم دقت در برآورد مقدار AOD به‌دست‌آمده از ماهواره، عدم هماهنگی بین مدل و داده‌های مشاهداتی و تفاوت تفکیک‌پذیری آن‌هاست. مدل RegcM در شبیه‌سازی گردوخاک در سرخس ضعیف عمل می‌نماید درحالی‌که این ایستگاه بیشترین فراوانی گردوخاک را دارد که ازجمله خطای برآورد مدل می‌توان به ضعیف بودن گردوخاک در فصل تابستان در سرخس اشاره نمود. به‌طورکلی مدل RegCM مقدار AOD را کمتر از الگوریتم ماهواره آکوا برآورد می‌نماید که با نتیجه مالت و همکاران،۲۰۱۷ هماهنگی دارد. مقدار عددی AOD در گردوخاک‌های با شدت یکسان (دید افقی مشابه) متفاوت است. عامل‌های متعددی ازجمله خطا در گزارش دید افقی، خطا در گزارش گردوخاک (کد پدیده)، بالا بودن رطوبت نسبی و یا افزایش ناگهانی سرعت باد محلی و...، در عدم همبستگی AOD مدل و دید افقی همبستگی مؤثر هستند.

منابع

احمدی زهره؛ دوستان رضا؛ مفیدی عباس (۱۳۹۴). **تحلیل همدیدی گردوغبار نیمه گرم سال در استان خراسان جنوبی**. فصل‌نامه جغرافیایی طبیعی. (۳۹)۸: ۶۲-۴۱

بروغنی مهدی؛ مرادی حمیدرضا؛ زنگنه اسدی (۱۳۹۴). **محمدعلی تحلیل وقوع گردوغبار و پهنه‌بندی آن در استان خراسان رضوی**، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، (۴): ۵۷-۴۵

پورهایمی سیم؛ امیراحمدی ابوالقاسم؛ زنگنه اسدی؛ محمدعلی؛ صالحی مهدی (۱۳۹۷). **شناسایی و تعیین خصوصیات کانون‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی**، تحقیقات جغرافیایی، (۱)۳۴: ۹-۱

حسنی سمیرا؛ مفیدی عباس؛ آذر زرین (۱۳۹۴). **بررسی ساختار باد شمال و گردوغبار ناشی از آن با کاربست مدل اقلیمی RegCM4**. کنفرانس ملی هواشناسی ایران، دوم و سوم اردیبهشت ۱۳۹۴، یزد، ایران

حسین زاده سیدرضا (۱۳۷۶). **بادهای ۱۲۰ روزه سیستان**، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، (۴۶): ۱۲۷-۱۰۲

حمیدیان‌پور محسن؛ مفیدی عباس؛ نجار سلیقه محمد؛ علیجانی بهلول (۱۳۹۵). **نقش توپوگرافی بر شبیه‌سازی ساختار باد سیستان**، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۴۳) ۱۶: ۵۳-۲۵

خسروی محمود (۱۳۸۷). **تأثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان**، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، (۹۹): ۴۹-۱۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

سلطان‌زاده ایمان؛ احمدی گیوی فرهنگ؛ ایران‌نژاد پرویز (۱۳۸۶). **بررسی سه‌ماهه‌ی تأثیر رشته‌کوه‌های زاگرس بر جریان‌های میان‌مقیاس منطقه‌ی شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4**، مجله فیزیک زمین و فضا، (۱)۳۳: ۵۱-۳۳

فاروقی آیدا؛ کاظمی منا؛ جلالی مجتبی، هاشمیان سعیده؛ نصرتی نادر (۱۳۹۶). **شناسایی ساختار و چشمه گردوخاک‌های استان خراسان شمالی با استفاده از مدلRegCM4-1.1 : مطالعه موردی ۱۴-۱۳ آوریل ۲۰۱۱**، نشریه علمی –ترویجی نیوار،۴۱: ۳۶-۲۳

غفاریان پروین؛ نگاه سمانه؛ فرید مجتهدی نیما؛ عابد حسین (۱۳۹۴). **شبیه‌سازی ریزگردهای گسیل‌شده از صحرای ترکمنستان به کرانه‌های جنوبی دریای خزر**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۳۸) ۱۶۴-۱۴۱:۱۵

قویدل رحیمی یوسف؛ ظرافتی هادی؛ فرج زاده‌ی اصل منوچهر (۱۳۹۵). **کاربرد مدل RegCM4 در تحلیل ساختار سینوپتیک موج گرمای جولای ۲۰۰۰ استان خوزستان**، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، (۱)۲۰: ۲۸۶-۲۶۹

قهرمان نوذر؛ بابائیان ایمان؛ موسوی مینا (۱۳۹۳). **بررسی مهارت مدلRegCM در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم گذشته و دوره ۲۰۲۱-۲۰۳۵، بررسی موردی: ایستگاه مشهد**، مجله ژئوفیزیک ایران، ۴(۸): ۶۴-۴۹

کارکن سیستانی مرضیه (۱۳۹۱). **بررسی آماری و پهنه‌بندی توفان‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی**. اولین همایش ملی بیابان، ۲۷ و ۲۸ خرداد ۱۳۹۱، کرج، ایران

کیخسروی قاسم (۱۳۹۶). **برونداد مدل دینامیکی RegCM4 در شبیه‌سازی داده‌های فصلی و سالانه بارش – دما، در ناحیه شرق و شمال شرق ایران**، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۴۷)۱۷: ۲۱۱-۱۹۱

گندم‌کار امیر (۱۳۸۵)، **بررسی سینوپتیک انرژی باد در منطقه سیستان**، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان

محمدی فهیمه؛ زرین آذر؛ بابائیان ایمان (۱۳۹۴). **کارایی مدل اقلیمی RegCM4 در شبیه‌سازی بارش دوره سرد استان فارس مطالعه موردی: دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۰**، مجله فیزیک زمین و فضا، (۳)۴۱: ۵۲۴-۵۱۱

مدیریان راهله؛ بابائیان ایمان؛ کریمیان مریم (۱۳۸۶). **شبیه‌سازی عددی بارش و دمای جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3**، مجله نیوار، (۶۸): ۲۵-۷

مفیدی عباس؛ کمالی سمیه؛ زرین آذر (۱۳۹۲ الف). **ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار توفان‌های گردوغباری تابستانه در دشت سیستان**، فصل‌نامه جغرافیا برنامه‌ریزی منطقه‌ای، (۳): ۶۹-۵۱

مفیدی عباس؛ حمیدیان پور محسن؛ نجار سلیقه محمد؛ علیجانی بهلول (۱۳۹۲ ب). **تعیین زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین منطقه تغییر**، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی (۸)۲: ۱۱۲-۸۷

مفیدی عباس (۱۳۸۶). **تحلیل گردش جو تابستانه بر روی ایران و ارتباط آن با بارش‌های تابستانه فلات ایران**، رساله دکتری، دانشگاه تربیت‌معلم، دانشکده علوم جغرافیایی، تهران

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

مفیدی عباس و کمالی سمیه (۱۳۹۱). **بررسی تحلیل ساختار توفان‌های گردوغباری در دشت سیستان با استفاده مدل اقلیمی مقیاس منطقه‌ایRegCM4 : مطالعه موردی جولای ۹۳، ۲۷ و ۲۸ خرداد ۱۳۹۱**، کرج، ایران.

نجار سلیقه محمد (۱۳۸۹). **آثار مشترک تقابل حرارتی سیستم‌های جوی در کشورهای اسلامی مطالعه موردی: بادهای ۱۲۰ روزه سیستان**، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. ۱۳۸۹، ایران، زاهدان.

Abed, N. M., Al-Jiboori, M. H., & Wahab, M. M. A. (2019). **Study of the Synoptic Characteristics of a Severe Dust Storm over Iraq Using Regional Climate Model 4.** Diyala Journal For Pure Science, 15(04), 1-14.

Abiodun, B. J., Pal, J. S., Afiesimama, E. A., Gutowski, W. J., & Adedoyin, A. (2008). **Simulation of West African monsoon using RegCM3 Part II: impacts of deforestation and desertification.** Theoretical and Applied Climatology, 93(3-4), 245-261.

Afiesimama, E. A., Pal, J. S., Abiodun, B. J., Gutowski, W. J., & Adedoyin, A. (2006). **Simulation of West African monsoon using the RegCM3. Part I: model validation and interannual variability.** Theoretical and Applied Climatology, 86(1-4), 23-37.

Agacayak, T., Kindap, T., Unal, A., Mallet, M., Pozzoli, L., Karaca, M., & Solmon, F. (2012). **Impact of Dust on Air Quality and Radiative Forcing: AN Episodic Study for the Megacity Istanbul Using RegCM4. 1.** In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 14, p. 4479).

Aloysius, M., Mohan, M., Suresh Babu, S., Parameswaran, K., & Krishna Moorthy, K. (2009). **Validation of MODIS derived aerosol optical depth and an investigation on aerosol transport over the South East Arabian Sea during ARMEX-II**. In Annales Geophysicae. 27(6), 2285-2296.

Davitashvili, T., Kutaladze, N., Kvatadze, R., Kvatadze, R. A., & Mikuchadze, G. (2018). **Effect of Dust Aerosols in Forming the Regional Climate of Georgia.** Scalable Computing: Practice and Experience, 19(2), 87-96.

Diro, G. T., Rauscher, S. A., Giorgi, F., & Tompkins, A. M. (2012). **Sensitivity of seasonal climate and diurnal precipitation over Central America to land and sea surface schemes in RegCM4.** Climate Research, 52, 31-48

Giorgi, F., et al., (2012). **RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains,** Climate Research, 52: 7-29.

Kaufman, Y. J., Tanré, D., & Boucher, O. (2002). **A satellite view of aerosols in the climate system.** Nature, 419(6903), 215

Konare, A., Zakey, A. S., Solmon, F., Giorgi, F., Rauscher, S., Ibrah, S., & Bi, X. (2008). **A regional climate modeling study of the effect of desert dust on the West African monsoon**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 113(D12).

Mallet, M., Solmon, F., Roblou, L., Peers, F., Turquety, S., Waquet, F., ... & Torres, O. (2017). **Simulation of optical properties and direct and indirect radiative effects of smoke aerosols over marine stratocumulus clouds during summer 2008 in california with the regional climate model regcm**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122(19), 10-312.

Marcella, M. P., & Eltahir, E. A. (2008). **Modeling the hydroclimatology of Kuwait: The role of subcloud evaporation in semiarid climates**. Journal of Climate, 21(12), 2976-2989.

Marcella, M. P., & Eltahir, E. A. B. (2010). **Effects of mineral aerosols on the summertime climate of southwest Asia: Incorporating subgrid variability in a dust emission scheme**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115(D18).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]

Marcella, M. P., & Eltahir, E. A. (2012). **Modeling the summertime climate of Southwest Asia: The role of land surface processes in shaping the climate of semiarid regions**. Journal of Climate, 25(2), 704-719.

Nabat, P., Solmon, F., Mallet, M., Kok, J. F., & Somot, S. (2012). **Dust emission size distribution impact on aerosol budget and radiative forcing over the Mediterranean region: a regional climate model approach**. Atmospheric Chemistry & Physics Discussions, 12(7).

N'Datchoh, E. T., Diallo, I., Konaré, A., Silué, S., Ogunjobi, K. O., Diedhiou, A., & Doumbia, M. (2018). **Dust induced changes on the West African summer monsoon features**. International Journal of Climatology, 38(1), 452-466.

Ogren, J. A. (1995). **A systematic approach to in situ observations of aerosol properties**. Aerosol forcing of climate, 215-226.

Pal, J.S., et al., (2007). **Regional Climate Modeling for the Developing World**: The ICTP RegCM3 and RegCNET, Bull. Amer. Meteor. Soc., 88: 1395–1409.

Solmon, F., Nair, V. S., & Mallet, M. (2015). **Increasing Arabian dust activity and the Indian summer monsoon.** Atmospheric Chemistry and Physics, 15(14), 8051.

Salon, S., Cossarini, G., Libralato, S., Gao, X., Solidoro, C., & Giorgi, F. (2008). **Downscaling experiment for the Venice lagoon. I. Validation of the present-day precipitation climatology**. Climate Research, 38(1), 31-41.

Santese, M., Perrone, M. R., Zakey, A. S., De Tomasi, F., & Giorgi, F. (2009**). Modeling of Saharan dust outbreaks over the Mediterranean by RegCM3: case studies.** Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 9(5), 19387-19433.

Song, C. K., Ho, C. H., Park, R. J., Choi, Y. S., Kim, J., Gong, D. Y., & Lee, Y. B. (2009). **Spatial and seasonal variations of surface PM10 concentration and MODIS aerosol optical depth over China.** Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 45(1), 33-43.

Sylla, M. B., Coppola, E., Mariotti, L., Giorgi, F., Ruti, P. M., Dell'Aquila, A., & Bi, X. (2010). **Multiyear simulation of the African climate using a regional climate model (RegCM3) with the high resolution ERA-interim reanalysis**. Climate Dynamics, 35(1), 231-247.

Tesfaye, M., Botai, J., Sivakumar, V., & Mengistu Tsidu, G. (2013**). Evaluation of regional climatic model simulated aerosol optical properties over South Africa using ground-based and satellite observations**. ISRN Atmospheric Sciences, 2013.

Tsikerdekis, A., Zanis, P., Steiner, L. A., Amiridis, V., Marinou, E., Katragkou, E., Solmon, F. (2016). **Modeling the trans-Atlantic transportation of Saharan dust**. Bulletin of the Geological Society of Greece, 50(2), 1052-1061.

Wang, J., & Christopher, S. A. (2003**). Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM2. 5 mass: Implications for air quality studies**. Geophysical research letters, 30(21).

Zakey, A. S., Solmon, F., & Giorgi, F. (2006). **Implementation and testing of a desert dust module in a regional climate model.**

Zhang, D. F., Zakey, A. S., Gao, X. J., & Giorgi, F. (2008**). Simulation of dust aerosol and its regional feedbacks over East Asia using a regional climate model**.

Zhang, D. F., Zakey, A. S., Gao, X. J., Giorgi, F., & Solmon, F. (2009). **Simulation of dust aerosol and its regional feedbacks over East Asia using a regional climate model.** Atmospheric Chemistry and Physics, 9(4), 1095-1110. https://worldview.earthdata.nasa.gov/

Zhang, D. F., Gao, X. J., Zakey, A., & Giorgi, F. (2016). **Effects of climate changes on dust aerosol over East Asia from RegCM3.** Advances in Climate Change Research, 7(3), 145-153.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.124.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.39]