نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال پانزدهم، شماره ۳۸، پاییز ۹۴

شبیه‌سازی ریزگردهای گسیل شده ازصحرای ترکمنستان به کرانه‌های جنوبی دریای خزر

دریافت مقاله:۹۴/۳/۲۵ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۰/۱۲
صفحات:۱۶۴-۱۴۱

پروین غفاریان: استادیار هواشناسی، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی[۱]
Email: p.ghafarian@inio.ac.ir
سمانه نگاه: دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
Email: samaneh_negah@yahoo.com
نیما فرید مجتهدی: کارشناس ارشد آب و هواشناسی، بخش تحقیقات کاربردی اداره کل هواشناسی گیلان
Email: nima.mojtahedi@gmail.com
حسین عابد: کارشناس ارشد آب و هواشناسی، رییس گروه تحقیقات اداره کل هواشناسی گیلان
Email: kamranabed@yahoo.com

چکیده

سواحل جنوبی دریای خزر، به ویژه در دهه‌ی اخیر، به دفعات توسط ریزگردها به مخاطره افتاده است. در این پژوهش تلاش شده است تا کانون اصلی و ساختار گردش‌های جوی تولید ریزگردهایی که طی روزهای ۱۹ و ۲۰ سپتامبر۲۰۱۴ موجب غبارآلودگی سواحل جنوبی دریای خزر شد، مورد واکاوی قرار گیرد. مدل لاگرانژی پسگرد HYSPLIT برای تعیین منشأ و مسیر شارش ریزگردها و نیز مدل عددی شیمیایی جو (WRF-Chem) برای تعیین تمرکز و توزیع ریزگردها و شبیه‌سازی الگوی سامانه مورد نظر، مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش، یک چشمه‌ی فعال تولید ریزگرد برای نخستین‌بار در بخش‌های شرقی دریای خزر، روی پهنه‌های بیابانی صحرای ترکمنستان و قره قوم شناسایی شد. منشأ اصلی خیزش ریزگردها در این سامانه، شکل‌گیری چرخند حرارتی در مقیاس محلی روی هسته‌ی دمایی گرم در شرق خزر است. همگرایی سطحی ناشی از گردش چرخندی این مرکز کم فشار، با توجه به پوشش بیابانی منطقه، موجب انتقال ریزگردها به درون ستون جو شده است. شرایط پایداری نسبی جوی در ترازهای میانی و فوقانی موجب شده، ریزگردها نفوذ و گسترش قائم چندانی در عمق تروپوسفر نداشته و به زیر ۷۰۰

[۱]. **نویسنده مسئول:** تهران- خیابان فاطمی غربی- خیابان شهید اعتمادزاده-شماره ۳-پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

هکتوپاسکال محدود شوند. مولفه‌ی منفی مداری و نصف‌النهاری میدان باد ۱۰ متری و افزایش سرعت باد با توجه به افزایش گرادیان فشار روی بخش‌های بیابانی شرق خزر، منجر به شکل‌گیری جریان‌های شمال شرقی و گسیل توده‌ی ریزگردها به سمت پهنه‌ی خزر جنوبی و کرانه‌های جنوبی آن شده است. پایش تصاویر باند مرئی سنجنده مودیس و همچنین پهنه‌بندی مکانی مقادیر ضخامت نوری جو (AOD)، نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی در نحوه‌ی توزیع ریزگردها و انتقال آن به استان‌های مازندران و گیلان را تایید می‌کنند.

کلیدواژگان: مخاطره غبار، صحرای ترکمنستان، مدل لاگرانژی HYSPLIT، مدل عددی شیمیایی WRF/Chem، چرخند حرارتی، سواحل جنوبی دریای کاسپین.

مقدمه

در مطالعات مربوط به پدیده‌ی ریزگردها عموماً چند مساله از جمله منشاء یا سرچشمه‌ی تولید، الگوی همدیدی موثر بر برداشت و انتقال آن‌ها، ردیابی مسیر و همچنین پیش‌بینی این پدیده مورد توجه بوده است. طبق مطالعاتی که صورت پذیرفته، بخش بزرگی از ریزگردهای وارده به ایران از جنوب‌غربی و غرب ایران و از مناطق خشک و صحراهای کشورهای همجوار منشاء می‌گیرد که عمده‌ی سرچشمه آن مناطق بیابانی سوریه، عراق و بیابان‌های موجود در شمال شبه جزیره عربستان است (ذولفقاری و عابدزاده،۱۳۸۴؛ طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این با توجه به وجود صحراهای وسیع در بخش‌های بزرگی از فلات ایران، این کشور به طور بالقوه توانایی تولید و یا تقویت چنین توفان‌هایی را در صورت فراهم بودن شرایط محیطی و جوی نیز دارد (فرح‌بخشی و همکاران،۱۳۹۴). به عنوان نمونه گردوخاک‌های همراه با بادهای صدوبیست‌روزه‌ی سیستان و یا توفان گردوخاک ۱۲ خرداد ۱۳۹۳ در تهران نمونه‌های بارز از چشمه‌های داخل کشور در تولید ریزگردهاست. مطالعه پدیده‌ی ریزگردها علاوه بر ارزش‌های علمی، به دلیل آثار زیان‌بار آن مورد توجه قرار گرفته است. امروزه به دلایل مختلفی چون افزایش فراوانی رخداد، شدت و گسترش مکانی وقوع ریزگرد در فلات ایران، علاقه به پژوهش در این زمینه، افزایش یافته است. گرچه نمی‌توان از افزایش آگاهی عمومی و وجود حساسیت‌های اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی در این زمینه غافل بود. افزایش دانش پژوهشگران داخلی در استفاده از ابزارهای نوین، به افزایش شناخت از این پدیده‌ها کمک کرده

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

است. به ویژه رواج و فراگیری استفاده از ابزارهایی همچون سنجش از دور، امکان شناسائی چشمه‌های تولید ریزگردها و پیش‌یابی مسیر انتقال آن‌ها را فراهم کرده است. در ایران بیشینه‌ی رخداد پدیده‌ی ریزگردها، با توجه به نزدیکی مناطق جنوب غربی و غربی کشور به کانون‌های تولید آن و واقع شدن در مسیرهای ورودی، متعلق به مناطق مذکور است. با این حال، برخی از مناطق مرکزی و شمالی کشور نیز برخی اوقات از این پدیده متاثر می‌شوند. مانند رخداد گرد و خاک ۹ تیرماه ۱۳۹۳، که در تهران موجب کاهش شدید دید افقی شد و منشا آن از دشت کویر بوده است، (غفاریان و همکاران، ۱۳۹۳). دوری از کانون‌های تولید ریزگردها، وجود دیواره‌ی البرز، بارش‌های قابل توجه در فصول مختلف سال و همچنین آب‌وهوای معتدل و مرطوب کرانه جنوبی دریای خزر، شرایط را به گونه‌ای فراهم کرده که انتظار رخداد این پدیده در این منطقه از کشور، کم است. اما داده‌های ثبت شده و مطالعه‌هایی که در چند سال اخیر در این زمینه انجام شد، نشان از وجود و روند افزایشی وقوع این پدیده در منطقه رادارد (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۲ و مومن‌پور ،۱۳۹۲). رخداد غبار در تاریخ ۲۹ سپتامبر۲۰۱۴، افق جدیدی را در شناسایی منابع تولید و ورود ریزگردها به کرانه‌ی جنوبی دریای خزر و شناخت بیشتر آب‌وهوای ایران باز کرد که در این مطالعه به معرفی و تحلیل آن پرداخته شده است. در این مطالعه سعی شده با تلفیق نتایج حاصل از اجرای مدل‌های عددی، تفسیر محصول‌های تصاویر سنجنده‌ی مودیس وبررسی کدهای دیدبانی، کانون تازه یافته‌ی تولید ریزگردها و انتقال آن به منطقه و همچنین سازوکار همدیدی شکل‌گیری و نفوذ آن، شناسائی و معرفی شود.

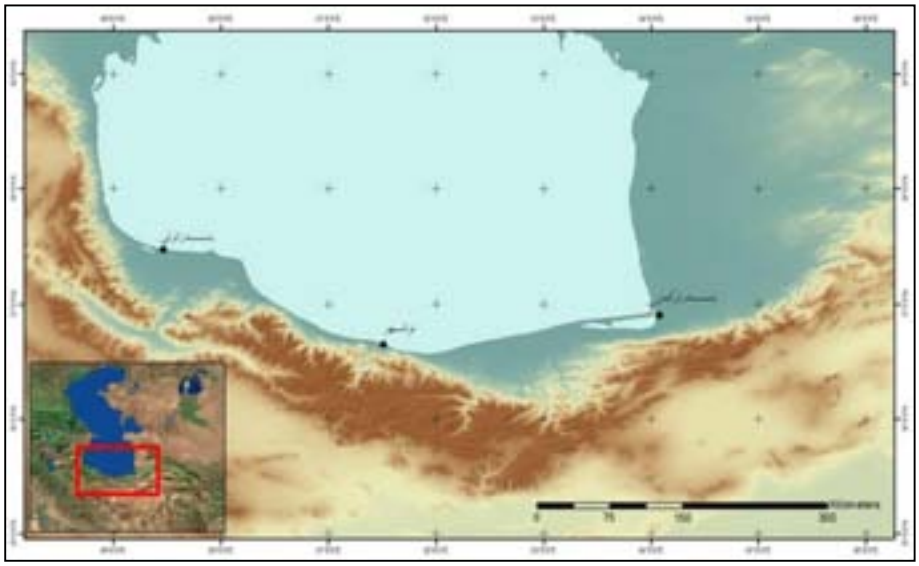
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی کرانه جنوبی دریای کاسپین به دلیل شرایط آب‌وهوایی و بوم‌شناختی فاقد کانون‌های تامین غبار در داخل مرزهای طبیعی خود است. وجود خاک، رطوبت فراوان و به تبع آن گسترش پوشش گیاهی مناسب به عنوان یک پوشش مانع در فرسایش بادی سبب حفاظت از پوشش سطحی شده است. علاوه بر این، رشته کوه البرز به عنوان سدی نسبی در مقابل عبور بسیاری از غبارهای رسیده به مناطق جنوبی البرز، تا حدودی مناطق شمالی را از گزند وقوع پیاپی پدیده غبار محفوظ می‌دارد. با این حال، وجود تنگه‌ی منجیل و همچنین فراهم بودن شرایط همدیدی مناسب، در مواردی زمینه را برای نفوذ غبار به کرانه‌های جنوبی دریای

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

کاسپین میسر کرده است و شاهد افزایش فراوانی رخداد پدیده غبار در منطقه طی یک دهه اخیرهستیم.



شکل(۱). موقعیت کرانه‌های جنوبی دریای کاسپین به همراه سه ایستگاه مورد مطالعه.

به منظور واکاوی کانون تولید توده‌ی غبار و سازوکار گسیل آن به سواحل جنوبی دریای کاسپین به ترتیب مراحل زیر و داده‌های ذکر شده مورد استفاده قرار گرفته شده است:

۱. به منظور تعیین منابع تولید غبار گسترش یافته طی دو روز یاد شده به حاشیه‌ی جنوبی دریای کاسپین از داده‌های موجود فراسنج‌های هواشناسی سه ایستگاه همدیدی منطقه شامل رشت، نوشهر، بندرترکمن که دارای توزیع و پراکندگی جغرافیایی مناسب از شرق تا غرب سواحل جنوبی کاسپین می‌باشند، استفاده شده است.

۲. برای تایید وقوع پدیده گردوغبار و به منظور پایش نحوه‌ی گسیل و حرکت غبار به منطقه (دامنه‌های شمالی البرز)، با توجه به کاربرد تصاویر سنجنده مودیس در پایش غبار تصاویر روزانه سنجنده مودیس ماهواره‌های ترا (TERRA)و آکوا (AQUA) در باندهای مرئی و ۷-۲-۱، مورد استفاده قرار گرفت.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

۳. در گام بعد، برای شناسایی منابع اصلی تولید گرد و غبار و تعیین مسیر شارش‌های جوی برای انتقال غبار به سواحل جنوبی دریای کاسپین، از نسخه ۴,۹ مدل لاگرانژی۱ HYSPLIT با امکان ردیابی پسگرد۲ ذره‌ها در ترازهای مختلف جو استفاده شد (Draxler and Rolph, ۲۰۱۲). داده‌های وروی مدل(HYSPLIT) داده‌های FNL است. این داده‌ها در واقع داده‌های NCEP هستند که توسط لابراتوار منابع وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرار گرفته است. این داده‌ها با تفکیک افقی ۱∂۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰- ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) و با گام زمانی ۱۲ ساعته در دسترس می‌باشند. داده‌های تحلیل شده‌ی عملیاتی مقیاس جهانی یا به طور مختصر FNL از جمع‌آوری سامانه‌ی یک‌پارچه‌سازی جهانی (GDAS۳) برای تهیه‌ی داده‌های اولیه‌ی ورودی به سامانه استفاده می‌کند. سامانه‌ی GDAS نیز وظیفه‌ی داده‌های مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه‌ی ارتباطات از راه دور (GTS۴) و سایر منابع به صورت بی‌وقفه و پیوسته بر عهده دارد. در نهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که در مرکز ملی پیش‌بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی (GFS۵) استفاده می‌کند تولید می‌گردد (Stunder, ۱۹۹۷).

۴. در نهایت، به منظور بررسی چگونگی عملکرد میدان باد در گسیل غبار تولید شده توسط چشمه‌ی شناسایی شده، الگوی میانگین روزانه‌ی مربوط به فراسنج‌های هواشناسی از قبیل میادین فشار سطح دریا، مولفه‌های مداری و نصف النهاری میدان باد و غلظت غبار در سطح زمین و همچنین میدان ژئوپتانسیلی، میدان دما و تاوایی نسبی ترازهای میانی و فوقانی استاندارد جو با استفاده از اجرای مدل عددی شیمیاییWRF-Chem مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های وروی مدل‌هایی (WRF-Chem) که در این تحقیق استفاده شده‌اند، نیز با فرمتFNL است.

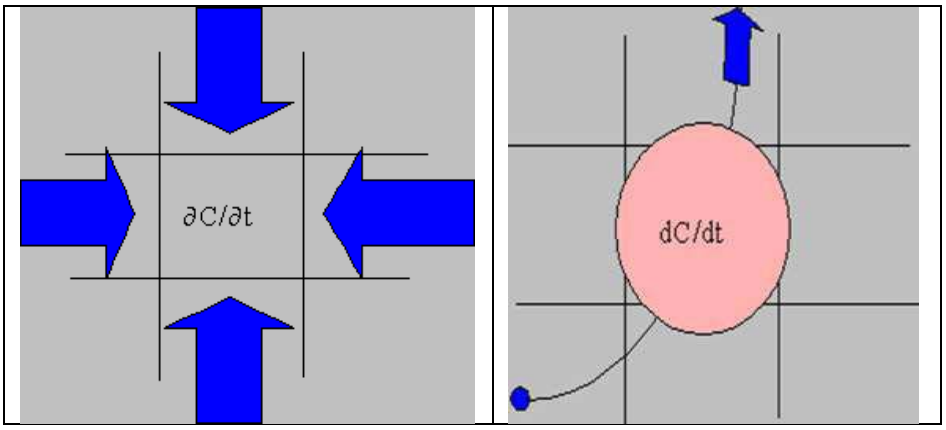
۵. به منظورتعیین مقادیر AOD، با استفاده از بانک داده‌های کمیت‌های مختلف اندازه‌گیری شده حسگر مادیس ماهواره‌های ترآ و آکوا، تصاویر پهنه‌بندی مکانی میانگین روزانه عمق نوری هواویزه‌ها (MOD۰۴_L۲, MYD۰۴_L۲) در باند ۵۵۰ نانومتر (دیپ بلو)و تفکیک مکانی $۱^{\circ}\times۱^{\circ}$ برای بازه زمانی مورد بررسی، دریافت و مورد استفاده قرار گرفت.

۱. Lagrangian
۲. Backward
۳. Global Data Assimilation system
۴. Global Telecommunication System
۵. Global Forecast system

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

۶. مدل لاگرانژیHYSPLIT

در علم دینامیک و مکانیک سیالات دو رهیافت اصلی، در مطالعه‌ی حرکت سیالات وجود دارد، رهیافت اویلری و رهیافت لاگرانژی. رهیافت لاگرانژی در مطالعه موارد مربوط به آلودگی هوا و تعیین میسر حرکت توده‌های هوا، کاربردهای گسترده‌ای دارد. از آن‌جایی که در رهیافت لاگرانژی هر ذره در زمان‌های مختلف، موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژی این امکان را فراهم می‌آورد که مدل‌های پایه‌ی لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت زمان‌های آینده (پیش‌یابی) و یا به سمت زمان‌های گذشته (پس‌گرد) ردیابی کنند.



شکل(۲). دیدگاه لاگرانژی مدل (سمت راست) و دیدگاه اویلری مدل (سمت چپ)
(www.arl.noaa.govl)

مدل HYSPLIT دارای گستره و قابلیت فراوانی است که در ذیل به بخشی از آن‌ها اشاره شده است:

۱. قابلیت اجرا در محیط ویندوز، لینوکس و مک، ۲.قابلیت تبدیل فایل‌های خروجی مدل‌های هواشناسی پرکاربرد (MM۵, WRF) به فرمت(ARL) ، ۳. تحلیل و درون‌یابی زمانی و مکانی داده‌های هواشناسی به صورت خطی، ۴. مدل‌سازی در مناطق صنعتی از لحاظ غلظت و نشست، ۵. مدل‌سازی در مناطقی با عوارض پیچیده مانند مناطق ساحلی، ۶. مدل‌سازی خط سیر رو به عقب و رو به جلو در ارتفاع‌های متفاوت، ۷. مدل‌سازی پیچیده خط سیر (ماتریکس،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

پذیرنده و ...)، ۸. مدل‌سازی توفان‌های گرد و غبار، ۹. مدل‌سازی غبار آتشفشانی، ۱۰. مدل-سازی شرایط اضطرار و نیاز به پاسخ سریع.

۷.. مدل WRF-Chem

در این تحقیق از مدل WRF-Chem نسخه ۳/۶ برای شبیه‌سازی توفان گرد و غبار استفاده شده است. تعداد آشیانه‌ی انتخابی" دو " بوده است. نسبت تفکیک افقی آشیانه‌ها ۱ به ۳ است. این مدل با تفکیک افقی ۳۰ کیلومتر برای آشیانه‌ی اول و ۱۰ کیلومتر برای آشیانه‌ی دوم تنظیم شده است. تفکیک افقی داده‌های زمینی برای آشیانه‌ی اول هر ۱۰ دقیقه (نوزده کیلومتر) و آشیانه‌ی دوم هر ۵ دقیقه تکرار می‌شود. از نگاشت لامبرت در این مدل استفاده شده است. از داده‌های FNL به عنوان ورودی مدل استفاده شده است. طرح‌واره‌های متعددی برای برآورد گسیل غبار در مدل طراحی شده است، که در این تحقیق از طرح‌واره‌ی GOCART(Chin et al., ۲۰۰۰; Ginoux et al., ۲۰۰۱; Chin et al., ۲۰۰۲; ; Ginoux et al., ۱ ۲۰۰۴; Grell et al., ۲۰۰۵ استفاده می‌شود. این طرحواره، برای ذراتی که قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر دارند به چهار کلاس مطابق جدول (۱) طبقه بندی شده است:

جدول(۱). خصوصیات فیزیکی چهار کلاس خاک استفاده شده در طرح‌واره‌ی گرد و غبار GOCART (گینوکس و همکاران، ۲۰۰۴)

کلاس	شعاع موثر (میکرومتر)	کسر هر دسته از ذره‌ها	چگالی ذره‌ها (کیلوگرم بر متر مکعب)
۱	۰/۱	۰/۷۵	۲۶۰۰
۲	۰/۲۵	۱/۵	۲۶۰۰
۳	۰/۲۵	۲/۵	۲۶۰۰
۴	۰/۲۵	۴/۵	۲۶۰۰

در این شبیه‌سازی نهشت خشک، شامل پخش مولکولی و تلاطمی بعلاوه‌ی گرانش است، (Binkowski and Shankar, ۱۹۹۵). برای محاسبه‌ی شار قائم گسیل غبار از رابطه‌ی زیر استفاده شده است، (Gillette and Passi, ۱۹۸۸):

$$F \cong CSs_p u_{10}^2 (u_{10m}\, 0\, u_{tp}) \quad \text{For} \quad u_{10m} \propto u_t \qquad (۱)$$

۱. Global Ozone Chemistry Aerosol radiation and Transport

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

که C ضریب ثابت تجربی است و برابر $C \cong 1\pi g s^{2} m^{05}$ است. u_{10} سرعت باد افقی در ارتفاع ۱۰ متری، u_{tp} سرعت آستانه‌ی باد است که بیان‌گر آغاز گسیل ذره‌ها غبار است و به عواملی مانند اندازه‌ی ذرات، چگالی هوا و رطوبت بستگی دارد. s_p کسر هر دسته اندازه‌ی ذرات غبار در گسیل کل می‌باشد، (به جدول ۲-۱ مراجعه شود). S ، تابع چشمه که پتانسیل مناطق چشمه‌ی غبار را تعریف و شرایط سطح مانند پوشش گیاهی و گستره‌ی برف را مشخص می‌کند. به عبارتی S، احتمال داشتن خاک سست تجمع شده در نقطه‌ی i ام در ارتفاع z_i و به صورت زیر محاسبه می‌شود(Ginoux et al., ۲۰۰۱).

$$S \cong (\frac{z_{\max} 0\, z_i}{z_{\max} 0\, z_{\min}})^{5} \qquad (۲)$$

که $z_{\max}$ و $z_{\min}$ به ترتیب، بیشینه و کمینه‌ی ارتفاع در محیط توپوگرافی $10'' \partial 10''$ می‌باشند.

سرعت آستانه نیز توسط (Iversen and White, ۱۸۸۲)تعریف شد و سپس توسط (Marticorena and Bergametti , ۱۹۹۵) ، ساده سازی شد به صورت زیر می‌باشد:

$$u_{tp} \cong 0.13 \frac{\sqrt{\frac{\upsilon_g g \imath_p}{\upsilon_a}} \sqrt{\frac{1.\ 6 \partial 10^{07}}{\upsilon_p g \imath_p^{2.5}}}}{\sqrt{1.7638(4.6 \partial 10^{6}(\imath_p^{1.56}\ .\ 1)^{0.092}\ 0\, 1)}} \qquad (۳)$$

که υ_p چگالی ذره‌ها (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب)، g شتاب گرانی (برابر۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)، $\imath_p$ قطر موثر ذره‌ای با اندازه‌ی P (m) و υ_a چگالی هوا است. مقادیر υ_a و $\imath_p$ برای هر چهار کلاس ذره‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

معادله‌ی (۳)، برای در نظر گرفتن اثر پیوستگی رطوبت خاک توسط (Ginoux et al., ۲۰۰۴) به صورت زیر تغییر کرد:

$$u_{twp} \cong \begin{cases} u_{tp} \partial (1.2\ .\ 0.2 \log_{10} W) & W ? 0.5 \\ \clubsuit & Otherwise \end{cases} \qquad (۴)$$

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

که w رطوبت خاک است. غلظت گرد و غبار در ابتدای شبیه‌سازی توسط مدل به صورت مقدار بسیار جزئی(تقریبا صفر) در نظر گرفته می‌شود و هیچ‌گونه شارش جانبی‌گرد و غبار به داخل آشیانه وجود ندارد، به گونه‌ای که مدل فرض می‌کند که تمام گرد و غبارها از داخل آشیانه شبیه‌سازی ایجاد شده‌اند، اما گرد و غبارها می‌توانند زمانی که به مرزها می‌رسند، آزادانه به سمت خارج فرارفت یابند. این فرضیات به این معنی است که مدل از توزیع چشمه‌های خارجی گرد و غبار و هواویزهای زمینه صرفنظر می‌کند. فیزیک اصلی استفاده شده در شبیه-سازی مدل WRF/CHEM در جدول شماره‌ی (۲) آورده شده است.

جدول(۲). پیکربندی مدل WRF-Chem

Physical Process	WRF-Chem Option
Microphysics	Lin (Lin et al., ۳۹۸۳)
Short-wave radiation	Goddard (Wild et al., ۲۰۰۰)
Long-wave radiation	RRTM(Wild et al., ۲۰۰۰)
Surface layer	Monin-Obukhov (Obukhov, ۱۹۷۱)
Land-surface model	NOAH (Chen and Dudhia, ۲۰۰۱; Ek et al., ۲۰۰۳)
Cumulus parameterization	Grell ۳D (Grell, ۳۹۹۳)
Dust module	GOCART (Ginoux et al., ۲۰۰۱)
Boundary layer scheme	YSU (Hong et al., ۲۶۶۶; Hong, ۲۰۱۰)

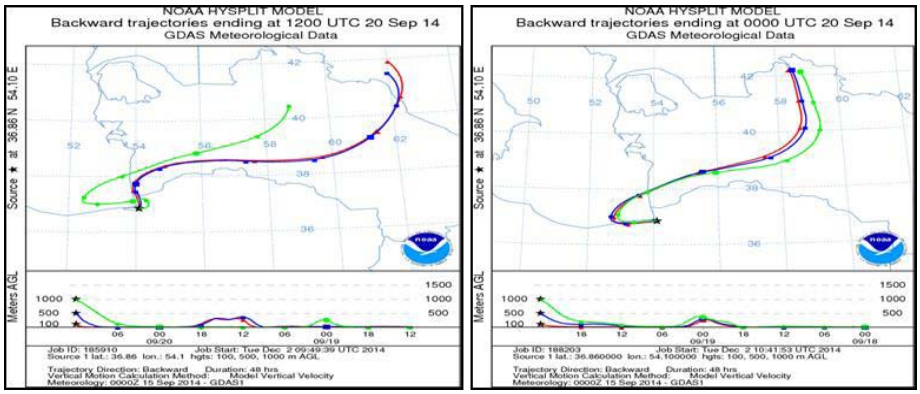
نتایج

الف. مسیریابی ذره‌های غبارگسیل شده با استفاده از نتایج حاصل اجرای مدلHYSPLIT

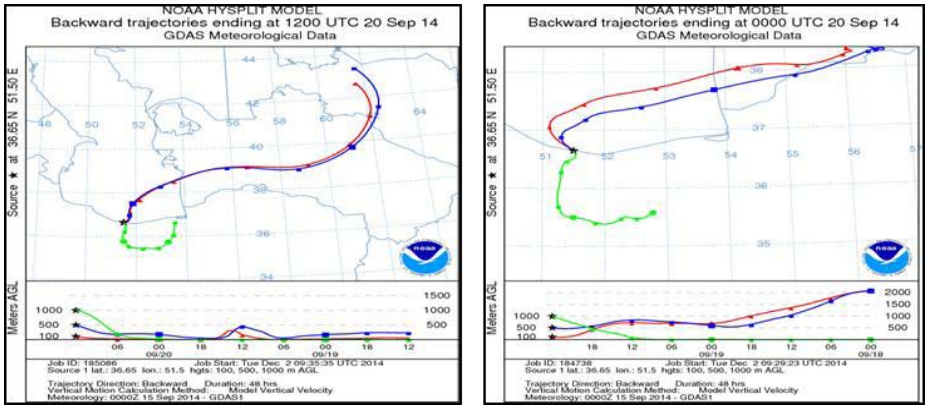
مسیریابی پسگرد ذره‌ها در ۳ ایستگاه همدیدی منتخب منطقه، بندرترکمن، بابلسر و رشت به ترتیب در جنوب‌شرق، مرکز و جنوب‌غرب سواحل، برای روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴ با استفاده از اجرای مدل HYSPLIT انجام شد. ذره‌ها در سه سطح ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سطح زمین و در حد فاصل زمانی ۶ ساعته تا ۴۸ ساعت قبل ردیابی شدند. مدل امکان نمایش مسیر ردیابی شده را در دو نمای افقی (بخش بالا در هر شکل) و قائم (بخش بالا در هر شکل) فراهم می‌کند. علامت ستاره در تمامی شکل‌ها، موقعیت ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

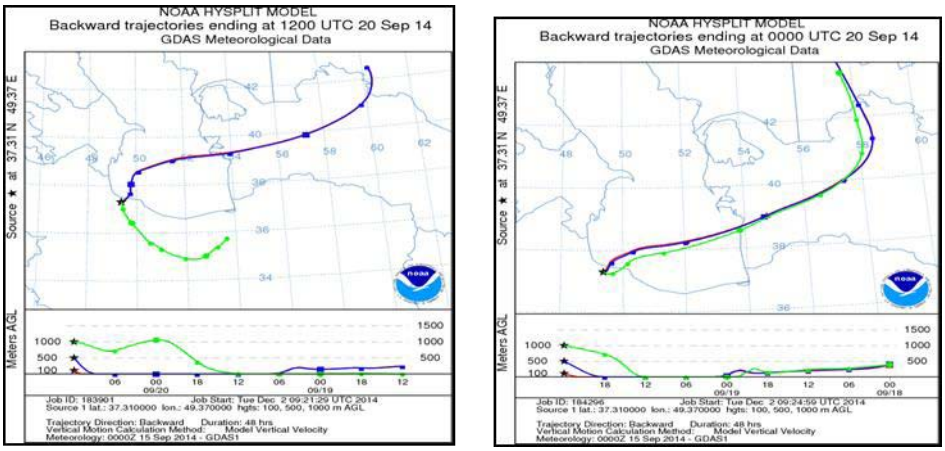
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]



شکل(۲). ردیابی مسیر ذره‌ها ایستگاه بندرترکمن ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴، الف: ساعت ۰۰ UTC و ب: ساعت ۱۲ UTC



شکل(۳). ردیابی برای ایستگاه نوشهر روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴. الف: ساعت ۰۰ UTC و ب: ساعت ۱۲ UTC



شکل(۴). ردیابی برای ایستگاه رشت روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴. الف: ساعت ۰۰ UTC و ب: ساعت ۱۲ UTC.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

بررسی پسگرد مسیر ذره‌ها در ترازهای هدف و همچنین نیمرخ قائم مسیر ذره‌ها نشان می‌دهد که منشأ ریزگردهای رسیده به ایستگاه بندرترکمن در هر سه تراز مورد بررسی طی روز ۲۰ سپتامبر، عمدتاً بخش‌هایی از صحرای قره‌قوم در شمال ترکمنستان و جنوب قزاقستان و در نزدیکی سطح زمین است. ریزگردهای برخواسته از سطوح پوشیده از شن و ماسه در این مناطق، همراه با جریان‌های غرب‌سو تا روی پهنه‌ی آبی خزر و پس از آن با انحراف به سمت عرض‌های پایین تا سواحل جنوبی خزر انتقال می‌یابد. نتایج به دست آمده برای ساعت ۱۲ ظهر روز ۲۰ سپتامبر ایستگاه رشت و ایستگاه نوشهر (شکل ۳ و۴) نشان می‌دهد که ذره‌های واقع شده در ارتفاع ۱۰۰۰ متری (درسطوح بالاتر)، ۴۸ ساعت قبل روی بخش‌هایی از دشت کویر و در ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متری قرار داشتند که در نتیجه جریان‌های غرب‌سو از سمت استان‌های سمنان، تهران و قزوین و پس از آن جریان‌های شمال سو (جریان‌های جنوبی) از مسیر دره‌ی منجیل به بخش‌های شمالی البرز انتقال یافته است، درحالی‌که ذره‌های موجود در تراز ۵۰۰ و ۱۰۰ متری در این ایستگاه‌ها، مشابه ایستگاه بندرترکمن در سواحل جنوب‌شرقی با سرعت بیشتر و از سمت پهنه‌های بیابانی ترکمنستان و توسط جریان‌های شمالی به منطقه منتقل شده‌اند. در واقع این دو ایستگاه متاثر از دو کانون شکل‌گیری ریزگردها، یکی روی دشت کویر ایران و دیگری صحرای قره‌قوم ترکمنستان قرار دارند. شایان ذکر است در ایستگاه رشت، ریزگردها در ترازهای زیرین (زیر ۵۰۰ متر) از سمت شمال‌شرق و در بالاتر از این تراز از سمت جنوب رشته کوه‌های البرز، منتقل شده است.

ب. مسیریابی ریزگردها با استفاده از روش سنجش از دور

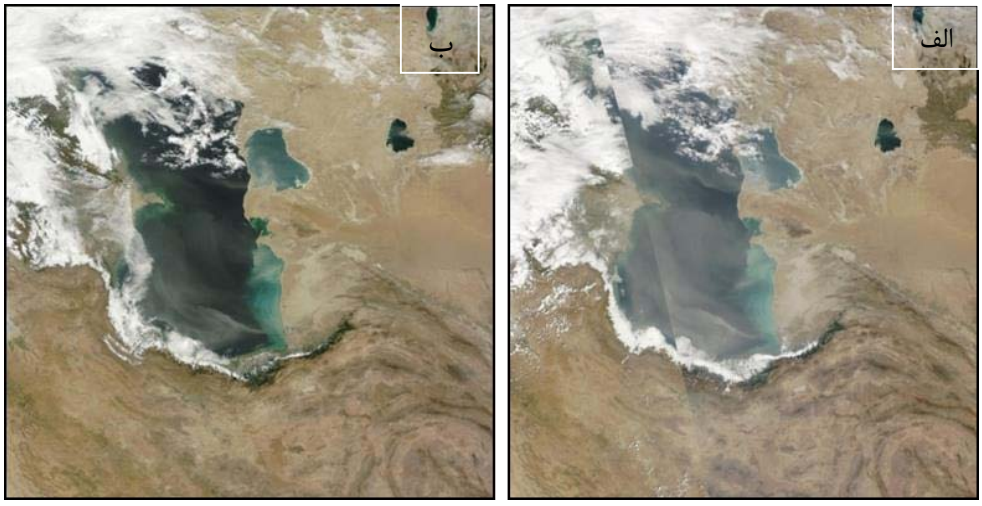
با توجه به کمبود داده‌ها و ایستگاه‌های زمینی و دریایی، پراکنش و توزیع نامناسب جغرافیایی ایستگاه‌های زمینی و هزینه‌های بالای داده برداری جو بالا، استفاده از روش سنجش از دور طی دهه‌های اخیر توسعه زیادی یافته و کاربست آن به ویژه در مقوله پایش پدیده‌های جوی حائز اهمیت است (ناصرپور و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن در مطالعات مربوط به آلودگی هوا، نحوه‌ی گسترش و توزیع ریزگردها و همچنین شناسایی منابع تولید آن است. در این بخش از تصاویر باند مرئی سنجنده مودیس ماهواره ترآ و آکوا به منظور پایش چگونگی گسیل ریزگردها به منطقه استفاده شده است. در این تصاویر شارش غرب سوی ریزگردها از سوی بیابان‌های واقع در شرق دریای خزر به سمت سواحل جنوبی خزر به خوبی مشهود است. علاوه بر این یکی از روش‌های بررسی هواویزه‌ها و آلاینده‌های جوی به‌ویژه ذره‌های معلق موجود در جو، استفاده از پارامتر عمق نوری هواویزه‌های جوی است. عمق نوری یا ضخامت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

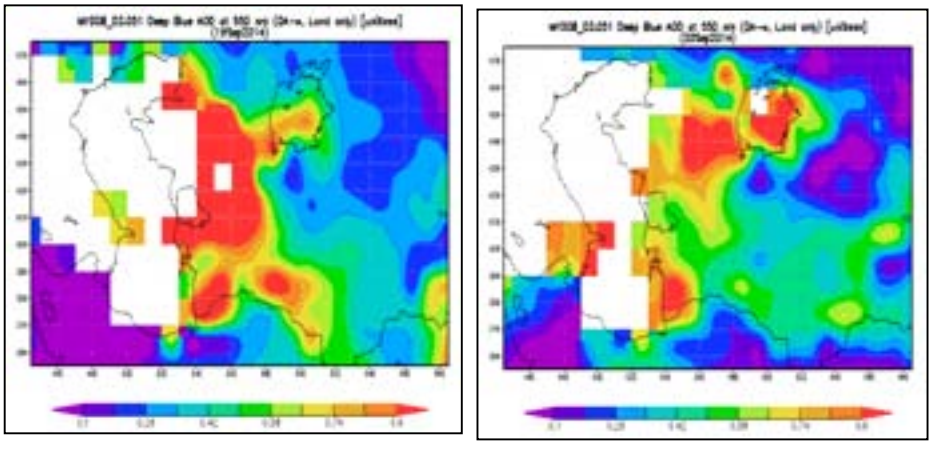
نوری (AOD) کمیتی بی بعد است و بیانگر میزان جذب و پراکنش ناشی از هواویزه‌ها در مسیر عبوری نور است (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۹۵). به عبارت دیگر، AOD مجموع ضرایب خاموشی جو برای یک طول موج خاص در هر لایه از جو و معیاری از غلظت هواویزه‌ها درون ستون هواست و تا حدود زیادی مشخص کننده‌ی کیفیت و سلامتی هواست. یکی از راه‌های تعیین عمق نوری هواویزه‌ها، استفاده از روش‌های سنجش از دور است. مقادیر بیشتر AOD مبین غلظت بیشتر ذره‌های معلق شامل ذره‌های درشت‌تر مانند ریزگردها (آلاینده‌های اولیه) و ذره‌های ریزتر (آلاینده‌های ثانویه) درون ستون هوا است (Wang and Christopher, ۲۰۰۳). استفاده از بازتاب تابش سطحی دریافتی با حسگرهای ماهواره‌ای مانند سنجنده‌ی مودیس یکی از متداول‌ترین روش‌های سنجش AOD است که با توجه به پراکندگی و توزیع نامناسب شبکه پایش داده‌های زمینی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری کیفیت هوا، می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد با پوشش یکپارچه و در دسترس به ویژه در مکان‌هایی که فقدان داده‌های زمینی وجود دارد، مورد استفاده باشد و تطبیق آن با تصاویر مرئی، برای پایش چگونگی توزیع و گسیل ریزگردها موثر است. بدین منظور با استفاده از بانک داده‌ای، کمیت‌های مختلف اندازه‌گیری شده‌ی حسگر مادیس ماهواره‌های ترآ و آکوا، تصاویر پهنه‌بندی مکانی میانگین روزانه عمق‌نوری هواویزه‌ها (MOD۰٤_L۲, MYD۰٤_L۲) در باند ۵۵۰ نانومتر (دیپ بلو) و تفکیک مکانی ° ۱×۱° طی روزهای مورد مطالعه، دریافت و مورد استفاده قرار گرفت (شکل۶). در این تصاویر نیز پهنه‌های مکانی AOD، با مقادیر کمی بیش از ۰/۹ روی بخش‌های بیابانی شرق خزر به عنوان کانون تولید و تجمع ریزگردها مشاهده می‌شود که با تصاویر باند مرئی که از طریق لینک زیر در دسترس کاربران است(شکل ۵) همخوانی مناسبی دارد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]



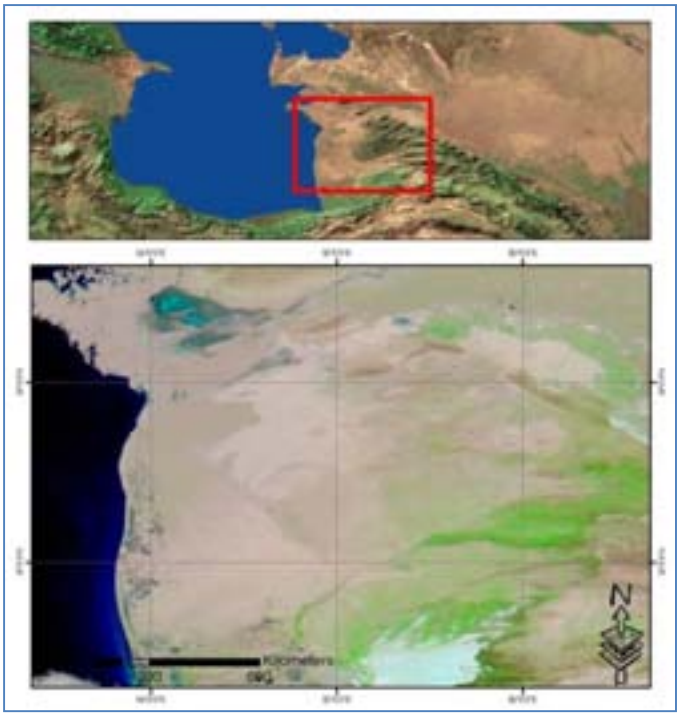
شکل (۵). تصاویر باند مرئی سنجنده مودیس ماهواره ترآ، الف: روز ۱۹ سپتامبر ۲۰۱۴، ب: روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴ (http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=Europe_۳_۰۵)



شکل(۶). پهنه بندی روزانه مقادیر عمق نوری ذرات، سمت راست: روز ۱۹ سپتامبر۲۰۱۴، ب: روز ۲۰ سپتامبر۲۰۱۴

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]



شکل(۷). تل ماسه‌های صحرای شرق ترکمنستان، به عنوان یکی از کانون‌های تامین کننده‌ی گردوغبار ورودی به مناطق کرانه‌ی جنوبی دریای خزر.

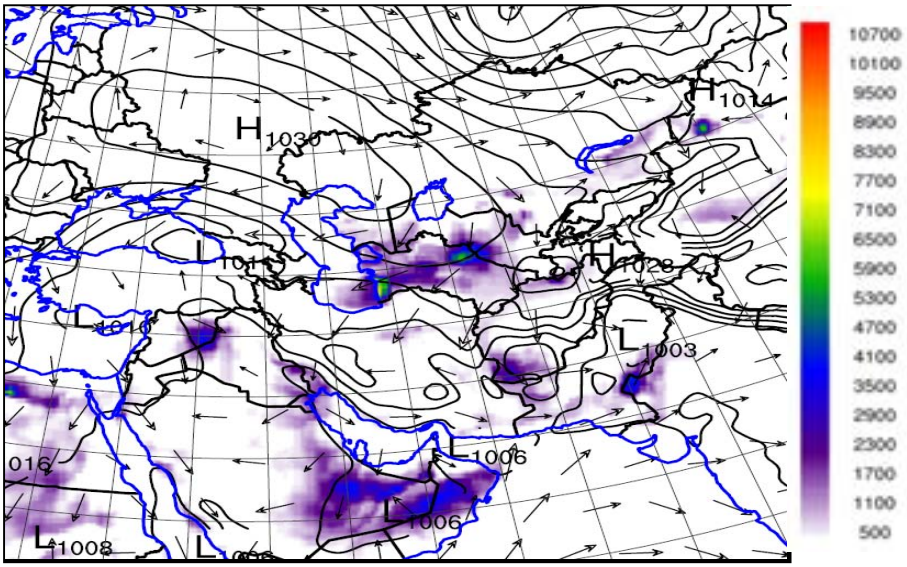
ج. تعیین کانون تولید ریزگردها با تحلیل خروجی مدل WRF_Chem

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی الگوی جوی با تفکیک ۳۰ کیلومتر، طی روز مذکور، توده‌ای از ریزگردها را روی پهنه‌های بیابانی کشور ترکمنستان در شرق دریای خزر و صحرای قره‌قوم در جنوب قزاقستان نشان می‌دهد (شکل ۸ و ۹). تمرکز غلظت ریزگردها طی روزهای ۱۹ و ۲۰ سپتامبر، روی بخش‌های شرقی سواحل خزر و جنوب‌غربی صحرای ترکمنستان است. شرایط گردش میان مقیاس نشان می‌دهد که در الگوی فشار سطح دریا، استقرار توده هوای پرفشار با مرکز ۱۰۳۰ هکتوپاسکال روی شمال دریای خزر و گردش ساعت‌گرد ناشی از تاوایی منفی این واچرخند موجب تسلط جریان‌های شمال‌شرقی از سوی بخش‌های شرقی خزر به سمت سواحل جنوبی آن می‌شود. از سوی دیگر واقع شدن منطقه‌ی کم‌فشار روی مرکز ایران و حضور مرکز پرفشار روی شمال خزر موجب تقویت شارش‌های جوی جنوب‌سو در لایه‌های زیرین وردسپهر می‌شود. الگوی میدان باد ۱۰ متری، مولفه منفی مداری و نصف‌النهاری میدان باد و افزایش

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

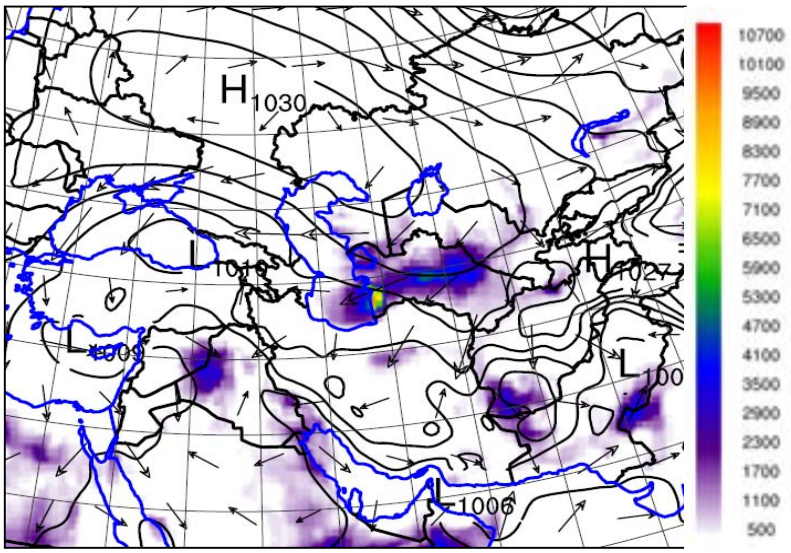
سرعت وزش باد (افزایش اندازه بردار باد سطحی به ویژه روز ۲۰ سپتامبر) روی بخش‌های بیابانی صحرای ترکمنستان و قره‌قوم، با توجه به پوشش بیابانی مناطق یاد شده با انتقال توده‌ی ریزگردها از این مناطق به استان‌های گیلان، مازندران و گلستان همراه است. این شرایط همخوانی مناسبی با الگوی حرکت و مسیر ذره‌های گسیل شده که با استفاده از اجرای مدل HYSPLIT به دست آمده است، دارد.



شکل (۸). الگوی فشارسطحی(خطوط هم مقدار بر حسب هکتوپاسکال)، میدان باد ۱۰ متری و غلظت تجمع ریز گردها (پهنه‌های رنگی با واحد میکرو گرم برمترمکعب) روز ۱۹ سپتامبر ۲۰۱۴ با تفکیک ۳۰ کیلومتر.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

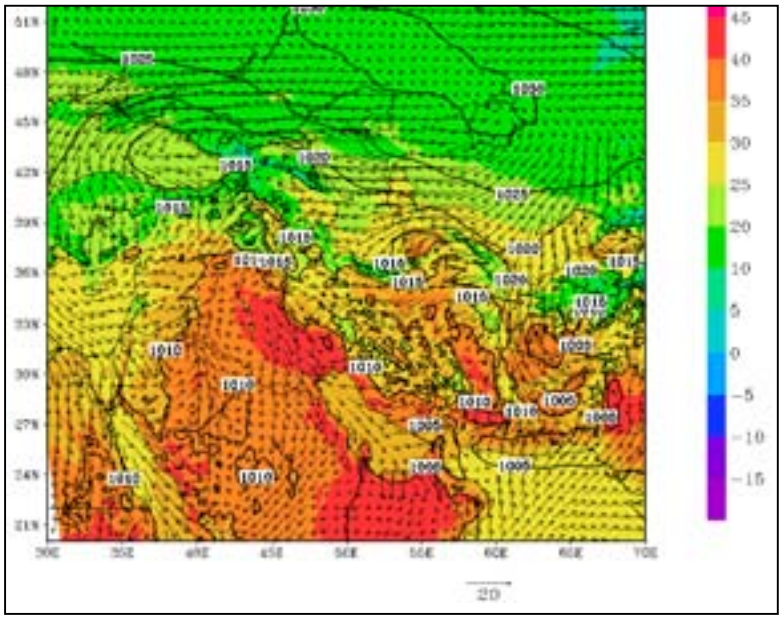


شکل (۹). الگوی فشارسطحی(خطوط هم مقدار بر حسب هکتوپاسکال)، میدان باد ۱۰ متری و غلظت تجمع ریزگردها (پهنه‌های رنگی با واحد میکرو گرم برمترمکعب) روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴ با تفکیک ۳۰ کیلومتر.

واکاوی علت شکل‌گیری کانون تولید ریزگردها با استفاده از اجرای مدل شیمیایی WRF_Chem در مقیاس ۱۰ کیلومتر (شکل۱۰) نشان می‌دهد که در بخش‌های شرقی دریای خزر، چرخند حرارتی با فشار مرکزی ۱۰۱۷ هکتوپاسکال روی پهنه‌ی گرم با دمای سطحی (دمای ۲ متری) بیش از ۳۵ درجه سلسیوس و در مقیاس محلی شکل می‌گیرد که طی ۱۲ ساعت بعد تقویت شده و فشارمرکزی آن تا ۱۰۱۵ هکتوپاسکال کاهش می‌یابد. گردش چرخندی این مرکز کم فشار با ماهیت همگرایی توده هوا در لایه‌های زیرین جو، موجب زایش چشمه‌ی تولید ریزگرد روی پهنه‌های بیابانی منطقه و انتقال آن به درون ستون هوا می‌شود. ذره‌های معلق بلند شده از سطح با شارش‌های جنوب‌غرب سو به سواحل جنوبی خزر منتقل می‌شوند. الگوی باد ۱۰ متری موید این شرایط است. الگوی تاوایی نسبی تراز۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱ الف)، حضور تاوایی نسبی مثبت را روی بخش‌هایی از پهنه‌ی بیابانی صحرای ترکمنستان نشان می‌دهد که با تقویت حرکت‌های بالاسو در ترازهای زیرین وردسپهر و انتقال ریزگردهای موجود در نزدیکی سطح به درون ستون هوا می‌شود. علاوه بر این استقرار تاوایی منفی ناشی از حضور واچرخند در وردسپهر زیرین، روی شمال دریای خزر موجب گردش ساعت‌گرد جریان در این تراز و افزایش گرادیان تاوایی نسبی روی بیابان‌های کشورهای شمال

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

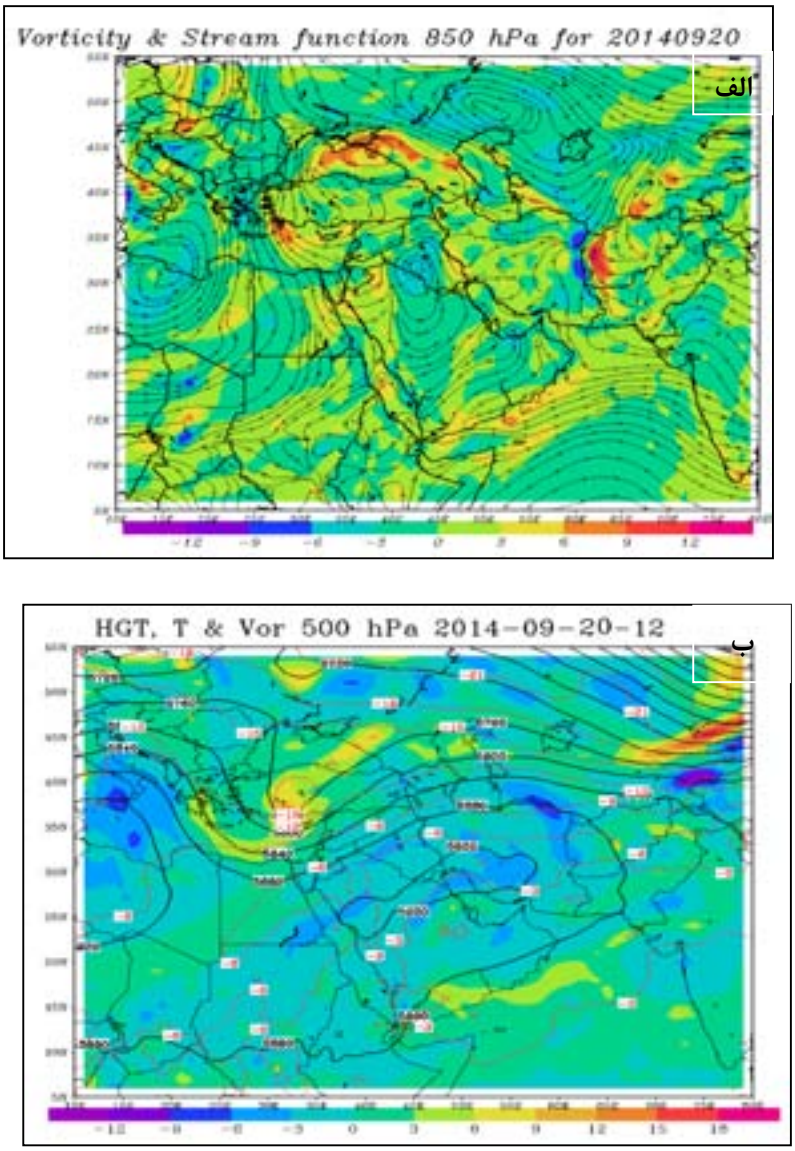
شرق ایران، اطراف دریاچه آرال و خلیج قره بغاز می‌شود. تشدید گردش چرخندی این تراز که در مقیاس کوچک روی منطقه مستقر است موجب تقویت ناپایداری در مقیاس محلی و تداوم فرآیند انتقال ریزگردها از کانون‌های تولید آن، روی پهنه‌های بیابانی منطقه می‌شود. الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱ ب)، نشان می‌دهد که بخش‌های شمال‌شرقی ایران و شرق دریای خزر متاثر از گسترش شمال سوی پشته‌ی ارتفاعی، پشته‌ی دمایی و تاوایی نسبی منفی قرار دارد. به عبارت دیگر گسترش قائم چرخند حرارتی شکل گرفته در منطقه، به وردسپهر زیرین و زیر تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال محدود شده است. این شرایط در نیمرخ قائم حرکت ذره‌های مربوط به خروجی مدل HYSPLIT نیز، به وضوح دیده می‌شود.



شکل(۱۰). الگوی فشارسطحی (خطوط هم مقدار برحسب هکتوپاسکال)، میدان باد ۱۰ متری و میدان دما (پهنه های رنگی شده برحسب درجه سلسیوس) با تفکیک ۱۰ کیلومتر روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

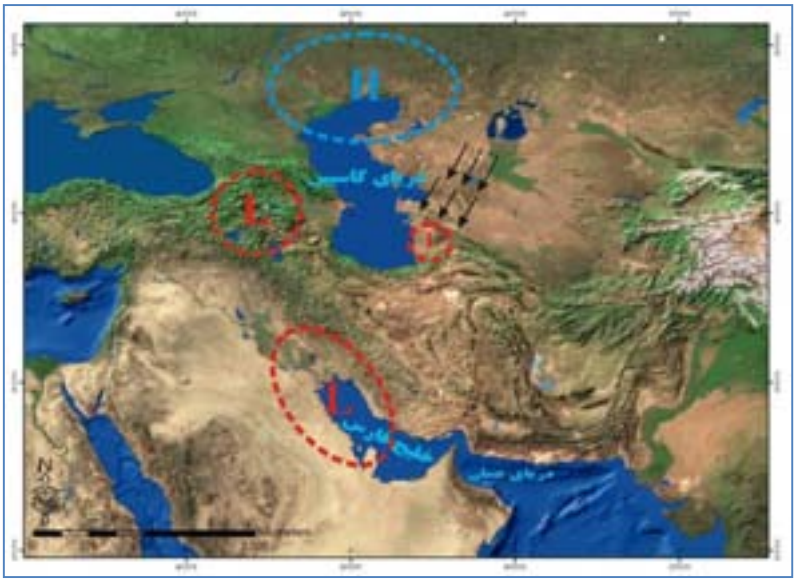
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]



شکل(۱۱). الف: الگوی تاوایی نسبی (پهنه های رنگی شده) و جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، ب: الگوی تاوایی نسبی (پهنه های رنگی شده)، دما(خطوط قرمز) و ژئوپتانسیل (خطوط هم مقدار مشکی) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، روز ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]



شکل(۱۲). شمایی از سازوکار همدیدی منجر به گسیل ریزگرد به کرانه‌ی جنوبی خزر در این سامانه (تهیه نگارندگان).

نتیجه گیری

گسیل ریزگردها یکی از پدیده‌های مخاطره آمیز آب‌وهوایی است که به ویژه در دهه‌ی اخیر، در کرانه‌های جنوبی دریای خزر، تعدد وقوع آن افزایش یافته است. شناسایی چشمه‌های تولید ریزگردها و بررسی شرایط گسیل آن به منطقه، با توجه به تاثیرگذاری متقابل آن روی کمیت‌های هواشناختی، کاهش شرایط کیفی هوای تنفسی و برهمکنش با سایر مولفه‌های آب‌هوایی به خصوص زیست کره، توجه بسیاری از پژوهشگران را در این زمینه به خود جلب کرده است. در این پژوهش، ضمن معرفی چشمه تولید ریزگرد و شناسایی شرایط شکل‌گیری آن در منطقه، سازوکار حاکم بر الگوی شارش‌های جوی برای گسیل ریزگردها به کرانه‌های جنوبی دریای خزر طی روزهای ۱۹ و ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده عبارتند از:

۱- ظرف یک دهه‌ی اخیر، مطالعه‌های فراوانی در زمینه کانون، نحوه‌ی گسترش و نفوذ سامانه‌های منجر به وقوع پدیده‌ی ریزگردها به کشور ایران انجام شده است. طیف وسیع این مطالعه‌ها متوجه سامانه‌هایی بوده که از کانون‌های موجود در مناطق همجوار در جنوب، جنوب‌غرب و غرب کشور وارد می‌شدند. تا کنون تحقیقی در زمینه‌ی ریزگردهای فراگیر ورودی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

به کشور ایران از بیابان های همجوار واقع در شمال‌شرقی کشور، شامل صحرای قره‌قوم و مناطق بیابانی ترکمنستان (در کرانه‌های جنوب‌شرقی دریای خزر)، در داخل کشور انجام نشده است. مطالعه‌ی حاضر نشان‌دهنده‌ی شکل‌گیری کانونی جدید جهت گسیل ریزگردها به کشور است، که می‌تواند استان‌های واقع در کرانه‌ی جنوبی دریای خزر را متاثر کند. گرمایش جهانی و اثرات آن، می‌تواند منشاء ایجاد مخاطرات جدیدی در زمینه‌ی آب و هوایی برای استان‌های شمالی کشور به ویژه، مازندران و گیلان باشد. با توجه به اینکه سامانه‌ی جوی که منجر به رخداد این پدیده شده است، گسترش قائم چندانی درون جو نداشته و به ترازهای زیرین جو محدود بوده و همچنین با توجه به وجود رشته کوه البرز در کرانه‌های جنوبی خزر، امکان نفوذ این پدیده به دیگر مناطق شمال کشور در آینده بعید به نظر می‌رسد.

۲- اجرای مدل لاگرانژی پسگردHYSPLIT، برای شناسایی کانون‌های تولید ریزگردها و مسیر گسیل آن‌ها به منطقه نشان می‌دهد که سواحل جنوبی دریای خزر طی روزهای مذکور، متاثر از شارش ذره‌های معلق از جانب پهنه‌های بیابانی کشورهای شمال‌شرق ایران مانند صحرای ترکمنستان، صحرای قره‌قوم و مناطق خشک اطراف دریاچه آرال هستند که با جریان‌های شمال شرقی به منطقه گسیل یافته است.

۳- ذره‌های موجود در سه تراز ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری ناشی از اجرای مدلHYSPLIT، طی ۴۸ ساعت قبل، از لایه‌های مجاور سطح به منطقه گسیل یافته و نفوذ قائم چندانی به درون ستون هوا ندارند.

۴- الگوی تجمع غلظت ریزگردها طی روزهای مذکور، با استفاده از شبیه‌سازی سامانه به کمک اجرای مدل عددی WRF_Chem با تفکیک ۳۰ و ۱۰ کیلومتر تایید می‌کند که کانون شکل‌گیری ریزگردها، بخش‌های بیابانی ترکمنستان و صحرای قره‌قوم در شرق دریای خزر است. منشأ خیزش ریزگردها، شکل‌گیری چرخند حرارتی (چرخند حرارتی ترکمنستان) در مقیاس محلی در منطقه و همگرایی سطحی ناشی از گردش چرخندی این مرکز کم فشار است که با توجه به پوشش بیابانی منطقه، موجب انتقال ریزگردها به درون ستون جو می‌شود.

۵- الگوی دمای ۲ متری، شکل‌گیری این مرکز کم فشار حرارتی را منطبق با پهنه‌ی دمایی گرم با دمای سطحی بیش از ۳۵ درجه سلسیوس روی بخش‌های شرقی دریای خزر نشان می‌دهد.

۶- واقع شدن توده هوای پرفشار با مرکز ۱۰۳۰ هکتوپاسکال روی شمال دریای خزر و گردش واچرخندی ناشی از تاوایی منفی آن با شکل‌گیری جریان‌های شمال شرقی از سوی بخش‌های شرقی خزر به سمت سواحل جنوبی آن همراه است. الگوی میدان باد ۱۰ متری، مولفه‌ی منفی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

مداری و نصف‌النهاری میدان باد و افزایش سرعت وزش باد (افزایش اندازه بردار باد سطحی به ویژه روز ۲۰ سپتامبر) روی بخش‌های بیابانی شرق خزر، منجر به گسیل ریزگردها به سمت پهنه‌ی خزر جنوبی و کرانه‌های جنوبی آن می‌شود. این شرایط در تصاویر باند مرئی سنجنده مودیس ماهواره‌های ترآ و آکوا مشهود است.

۷- توزیع فضاییAOD، نیز بیشینه مقادیر این کمیت که منطبق با منطقه‌ی تجمع ریزگردها در شرق دریای خزر هستند را تایید می‌کند.

منابع و ماخذ

۱. اسعدی‌اسکوئی، ابراهیم، نگاه، سمانه و فریدمجتهدی، نیما. (۱۳۹۲). **سازوکار نفوذ غبار به کرانه جنوب غربی دریای خزر**، دومین کنفرانس بین‌المللی زمین، آب، خاک و هوا، دانشگاه کرمان.

۲. مومن‌پور، فروغ (۱۳۹۲). **مخاطره گردوغبار در نواحی جنوب‌غربی دریای کاسپین**، دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی تهران، دانشگاه خوارزمی، صص ۸ .

۳. ذولفقاری، حسن و عابدزاده، حیدر(۱۳۸۴). **تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردو غبار در غرب ایران**.مجله جغرافیا و توسعه، پائیز و زمستان، صص ۱۷۹-۱۸۸.

۴. طاووسی،تقی، خسروی، محمودو رییس پور، کوهزاد(۱۳۸۹). **تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغباری در استان خوزستان**،جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰،۱۳۸۹،۹۷-۱۱۸.

۵. غفاریان، پروین، اولاد، الهه و مبارک حسن، الهام(۱۳۹۳). **پایش و تحلیل رخداد گرد و خاک ۹ تیرماه ۱۳۹۳ تهران**. سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا. دانشگاه شریف، تهران، ایران.

۶. فرح‌بخشی، ملودی، علیجانی، بهلول و فتاحی، ابراهیم(۱۳۹۴). **تحلیل سینوپتیکی مخاطره گردوغبار (۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲) ایران**، دانش مخاطرات، دوره ۲، شماره ۱، ص۲۰-۵.

۷. ناصرپور، سمیه، علیجانی، بهلول، ضیائیان، پرویز(۱۳۹۴). **منشایابی توفان های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های هوا**، فصلنامه پژوهش های جغرافیای طبیعی ، سال چهل و هفتم، شماره۰۹۱ بهار ۱۳۹۴.

Binkowski, F. S., & Shankar, U. (۱۹۹۵). ***The regional particulate matter model ۱. Model description and preliminary results***. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ALL SERIES-, ۱۰۰, ۲۶-۱۹۱.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

Chen, Y. S., Sheen, P. C., Chen, E. R., Liu, Y. K., Wu, T. N., & Yang, C. Y. (۲۰۰٤). ***Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan***. Environmental research, ۹٥(۲), ۱٥۱-٥٥٥.

Chen, F., & Dudhia, J. (۲۰۰۱). ***Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM ٥ modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity***. Monthly Weather Review, ۱۲۹(٤), ٥٦۹-٥۸٥.

Chin, M., Ginoux, P., Kinne, S., Torres, O., Holben, B. N., Duncan, B. N., Martin, R. V., Logan, J. A., Higurashi, A., Nakajima, T.,(۲۰۰۲). ***Tropo-spheric aerosol optical thickness from the GOCART model and compar-isons with satellite and sun photometer measurements***. Journal of the At-mospheric Sciences ٥۹ (۳), ٤٦۱-٤۸۳.

Chin, M., Rood, R. B., Lin, S. J., Müller, J. F., & Thompson, A. M. (۲۰۰۰). ***Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model description and global properties***. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (۱۹۸٤–۲۰۱۲), ۱۰٥(D۲۰), ۲٤٦۷۱-۲٤٦۸۷.

Draxler, R. R., & Rolph, G. D. (۲۰۱۲). ***HYSPLIT (hybrid single particle Lagrangian integrated trajectory) model access via NOAA ARL***. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Springer, MD.

Ek, M. B., Mitchell, K. E., Lin, Y., Rogers, E., Grunmann, P., Koren, V., Gayno, G & Tarpley, J. D. (۲۰۰۳). ***Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model***. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (۱۹۸٤–۲۰۱۲), ۱۰۸(D۲۲).

Gillette, D. A., & Passi, R. (۱۹۸۸). ***Modeling dust emission caused by wind erosion***. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (۱۹۸٤–۲۰۱۲), ۹۳(D۱۱), ۱٤۲۳۳-۱٤۲٤۲.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., & Lin, S. J. (۲۰۰۱). ***Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model***. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (۱۹۸٤–۲۰۱۲), ۱٦٦(D۱۷), ۲۰۲٥٥-۲۰۲۷۳.

Ginoux, P., Prospero, J. M., Torres, O., & Chin, M. (۲۰۰٤). ***Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation***. Environmental Modelling & Software, ۱۹(۲), ۳۳۳-۱۲۸.

Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., & Lin, S. J. (۲۰۰۱). ***Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model***. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (۱۹۸٤–۲۰۱۲), ۱٦٦(D۱۷), ۲۰۲٥٥-۲۰۲۷۳.

Grell, G. A. (۱۹۹۳). ***Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations***. Monthly Weather Review, ۱۲۱(۳), ۷٦٤-۷۷۷.

Grell, G. A., Peckham, S. E., Schmitz, R., McKeen, S. A., Frost, G., Skamarock, W. C., & Eder, B. (۲۰۰٥). ***Fully coupled "online" chemistry within the WRF model***. Atmospheric Environment, ۳۹(۳۷), ٦۹٥۷-٦۹۷٥.

Hong, S. Y. (۲۰۱۰). ***A new stable boundary- layer mixing scheme and its impact on the simulated East Asian summer monsoon***. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, ۱۳٦(٦٥۱), ۱٤۸۱-۱٤۹٦.

Hong, S. Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (۲٦٦٦). ***A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes***. Monthly Weather Review, ۳۳٤(۹), ۲۱۱۸-۲۳٤۱.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]

Lin, Y. L., Farley, R. D., & Orville, H. D. (۱۹۸۳). ***Bulk parameterization of the snow field in a cloud model***. Journal of Climate and Applied Meteorology, ۲۲(٦), ۱۰٦٥-۱۰۹۲.

Iversen, J. D., & White, B. R. (۱۹۸۲). ***Saltation threshold on earth, mars and venus***. Sedimentology, ۲۹(۱), ۱۱۱-۱۱۹.

Marticorena, B., & Bergametti, G. (۱۹۹٥). ***Modelling the atmospheric dust cycle***. Journal of Geophysical Research, ۱۰۰(۸), ۱٦٤۱٥-۱٦٤۳۰.

Obukhov, A. M. (۱۹۷۱). ***Turbulence in an atmosphere with a non-uniform temperature***. Boundary-layer meteorology, ۲(۱), ۷-۲۹.

Rolph, G. D. (۲۰۰۳). ***Real-time Environmental Applications and Display system (READY)*** Website (http: //www. arl. noaa. Gov /ready/hysplit٤. html). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring. Md.

Stunder, B. J. (۱۹۹۷). ***NCEP model output—FNL archive data. NOAA-Air resources laboratory***. Document available at http://www. arl. noaa. gov/ss/transport/archives. html.

Wang, J., & Christopher, S. A. (۲۰۰۳). ***Intercomparison between satellite- derived aerosol optical thickness and PM ۲. ٥ mass: implications for air quality studies***. Geophysical research letters, ۳۰(۲۱).

Wild, O., Zhu, X., & Prather, M. J. (۲۰۰۰). ***Fast-J: Accurate simulation of in-and below-cloud photolysis in tropospheric chemical models***. Journal of Atmospheric Chemistry, ۳۷(۳), ۲٤٥-۲۸۲.

World Meteorological Organization (WMO), ۱۹۹٥, Manual on Codes, Suppl. ٦(VIII.۲۰۰۷), WMO, Geneva, Switzerland. http://www.arl.noaa.gov/documents/workshop/NAQC۲۰۰۷/HTML_Docs/compmeth.html.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.38.8.8]