

آشکارسازی کانون‌های جدید گردوخاک گسترش یافته در شمال ایران

قاسم عزیزی^۱؛ استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

سمانه نگاه؛ مرکز تحقیقات هواشناسی گیلان، رشت، ایران.

نیما فریدمجتهدی؛ مرکز تحقیقات هواشناسی گیلان، رشت، ایران.

یوسف شجاعی؛ مرکز تحقیقات هواشناسی گیلان، رشت، ایران.

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

چکیده

فرایند مستمر و رو به گسترش گرمایش جهانی به‌ویژه در منطقه آسیا، شرایط را برای افزایش خشکی و گسترش پدیده بیابان‌زایی فراهم کرده است. بسیاری از بیابان‌هایی که تا چندی پیش در تعادل اکولوژیک، شرایط حفاظت خاک را داشتند، امروزه به‌عنوان کانون‌های تازه‌ای از ایجاد مخاطره گردوخاک گسترش یافته تبدیل شده‌اند. نمونه‌های متعددی در ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خاص‌اش، در میان برخی از بیابان‌های مهم دنیا، اتفاق افتاده است. ناهنجاری دمایی ۸ درجه‌ای در زمستان سال گذشته در حوضه آبخیز دریای کاسپین، کانون‌های گردوخاک جدیدی برای سواحل جنوبی این دریا فراهم کرده است. در تاریخ ۳۰ الی ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۰، گردوخاکی کم‌سابقه از لحاظ وسعت منطقه درگیر و همچنین غلظت، در ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان به ثبت رسید. اجرای مدل‌های پسگرد شیمیایی جو HYSPLIT نشان از گسیل گردوخاک از منطقه شمال‌غربی دریای کاسپین برای اولین بار به سواحل جنوبی دریای کاسپین (استان گیلان) با چنین شدتی دارد. کانون و منشاء این گردخاک بیابان راین در شمال‌غربی دریای کاسپین شناسایی شد. گرمایش مستمر و کم‌سابقه در منطقه و همراهی با جریان‌های قوی شمالی-جنوبی شرایط را برای گسیل این گردوخاک فراهم کرد. به‌دلیل منشاء گردوخاک گسیل شده و همچنین وضعیت جغرافیایی و توپوگرافیکی حوضه دریای کاسپین، تراز این گردوخاک از سطح زمین تا ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر ارزیابی شد. تحلیل شرایط همدید با استفاده از داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR با تفکیک مکانی ۱ درجه، بیانگر استقرار توده هوای پرفشار با مرکز ۱۰۱۸ هکتوپاسکال روی بخش‌های شمال‌غربی دریای کاسپین و نفوذ زبانه پرفشار تا سواحل جنوبی دریای کاسپین است. با توجه به گرادیان مناسب فشاری و افزایش سرعت باد، چشمه‌های مولد گردوخاک روی مناطق بیابانی راین شکل گرفته و با حاکمیت جریان‌های شمالی (جنوب سو) توده گردوخاک به سمت استان گیلان گسیل می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، گردوخاک گسترش یافته، بیابان راین روسیه، گیلان.

مقدمه

گرمایش جهانی و تغییر آب‌وهوایی تأثیرهای باقلوه‌ای در شرایط جوی و رفتارهای آب‌وهوایی می‌گذارد. با افزایش دمای سطحی جهانی به احتمال زیاد رخداد خشک‌سالی بیشتر و افزایش شدت توفان‌ها قابل پیش‌بینی است. با تزریق بیشتر دما در جو، سوخت برای ایجاد توفان‌های قوی‌تر مهیا می‌شود. گرمای بیشتر در جو و دمای بالای سطح اقیانوس می‌تواند منجر به افزایش سرعت باد در توفان‌های گرمسیری شود. بالا آمدن سطح دریا مکان‌های بیشتری را در معرض قدرت دریا و نیروهای فرسایشی امواج و جریان‌ها قرار می‌دهد، مناطقی که قبلاً این اتفاقات را تجربه نکرده بودند. مطابق جدیدترین آمار و اطلاعات براساس اطلس مرگ‌ومیر و زیان‌های اقتصادی ناشی از مخاطرات آب‌وهوا و آب‌شناسی (۱۹۷۰-۲۰۱۹) سازمان هواشناسی جهانی، بیش از ۱۱۰۰۰ مخاطره با کمی بیش از ۲ میلیون کشته و ۳/۶۴ تریلیون دلار خسارت به طی مدت ۱۹۷۰-۲۰۱۹ (WMO, ۲۰۲۱: ۸) در سطح جهان گزارش شده‌است. از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹، مخاطره‌های آب‌وهوایی و آب‌شناسی ۵۰ درصد از همه بلاها، ۴۵ درصد از کل مرگ‌ومیرهای و ۷۴ درصد از کل تلفات اقتصادی گزارش شده را شامل می‌شود. کشور ایران نیز به شکل قابل توجه‌ای در معرض برخی از مخاطره‌های آب‌وهوایی قرار گرفته که افزایش فراوانی و شدت پدیده و رفتارهای جدید آن‌ها تمامی گمانه‌ها را به سوی نقش پررنگ تغییر آب‌وهوا در این زمینه برده است. این پدیده‌ها شامل سیل‌های ویرانگر همچون سیل فروردین ۱۳۹۸ استان لرستان و سیل فراگیر اسفند ۹۷ استان گلستان، گردوخاک‌های پی‌درپی در ایران و خشک‌سالی دیرپایی است که گستره کشور را درگیر خود کرده است. پدیده گردوخاک به اشکال مختلف می‌تواند بر زندگی بشر اثرگذار باشد. در بخش سلامتی، با تاثیرگذاری بر بیماری‌های چون آسم، برونشیت، آمفیزم و سیلیکوزیس، در بخش انرژی از طریق کاهش راندمان نیروگاه‌های خورشیدی، هزینه پاک کردن نیروگاه‌ها و صنایع، در بخش حمل‌ونقل هوایی از طریق اختلال در خدمات‌رسانی به مسافران و حمل کالاها، کاهش دید افقی منجر به تاخیر یا لغو پرواز، آسیب به موتور هواپیما، و... در بخش کشاورزی، از طریق کاهش تابش خورشیدی، اختلال در رشد محصول، انسداد کانال‌های آبیاری، کاهش کیفیت خاک و آب، خسارت به تجهیزات کشاورزی و... و در بخش محیط‌زیست از جمله تسریع روند ذوب شدن یخچال‌ها که خود دارای تبعات گوناگونی بر منابع مورد نیاز جهت شرب و کشاورزی و... است (ESCAP, ۲۰۲۱: ۱۶).

گردوخاک از پدیده‌هایی است که به ویژه در یک دهه اخیر، شرایط زیستی را در بخش‌های عمده ای از کشور مورد تهدید قرار داده است. در حالی که فراوانی رویدادهای گردوخاک اندکی در مناطق گسیل گردوخاک شناخته شده افزایش یافته، در مناطق گردوخاکی نوظهور به‌طور قابل توجه‌ای افزایش یافته است (امیدنوی، ۲۰۱۶). مطابق پژوهش‌ها، سال‌هایی که بیشترین فعالیت گردوخاک را داشتند، با بارش کمتر، ناهنجاری‌های منفی شاخص سلامت پوشش گیاهی و شاخص متفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (در دشت‌های عراق و جنوب غربی ایران) و دینامیک هواشناسی مطلوب که بادهای قوی‌تر را ایجاد می‌کرد، همراه بوده است (حسین‌حمزه و همکاران، ۲۰۲۱). مطابق آخرین برآورد ESCAP (۲۰۲۱: ۲۱) ایران سومین کشور آسیا و اقیانوسیه در زمینه میزان افراد متأثر از پدیده گردوخاک است. ۱۱ میلیون ایرانی در معرض اثرهای شدید گردوخاک و ۵۱ میلیون نفر در معرض اثرهای متوسط آن قرار دارند (ESCAP, ۲۰۲۱: ۲۱). در زمینه گردوخاک در ایران مطالعه‌های فراوانی صورت پذیرفته بیانگر منابع و منشاء گسیل، سازکار گسیل و همچنین مطالعات آماری وقوع این پدیده هستند. گزارش ارزیابی جهانی شن و گردوخاک ۲۰ کانون گردوخاک را برای ایران شناسایی کرده است (برنامه سازمان ملل متحد، ۲۰۱۶).

بررسی میانگین فصلی و سالانه مقادیر عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر طی سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۸ در منطقه خاورمیانه مبین این مطلب است که تغییرات این پارامتر در فصول مختلف سال متأثر از الگوهای همدید خرد و میان مقیاس موثر بر شکل‌گیری و فعال‌سازی کانون‌های گردوخاک در منطقه است (صحت کاشانی و همکاران، ۱۳۹۸). پژوهش‌های موجود بیانگر افزایش فراوانی رخداد این پدیده در سال‌های اخیر است (عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷ و رفیعی‌مجمرد و همکاران، ۱۳۹۵). پژوهش‌های زیادی در زمینه گسیل گردوخاک به استان‌های ساحلی ایران از جمله نگاه و همکاران (۱۳۹۴)، نحوه گسیل گردوخاک از دره سفیدرود (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۲)، شناسایی کانون‌های جدید گردوخاک گسیل‌شده به سواحل جنوبی دریای خزر توسط نگاه و همکاران (۱۳۹۴)، نقش گرمایش جهانی در گسیل گردوخاک عابد و همکاران (۱۳۹۷) و نگاه و همکاران (۱۳۹۸)، کرمی و همکاران (۱۳۹۹)، نگاه و همکاران (۱۴۰۰) و... فریدمجتهدی و همکاران (۱۳۹۶) پدیده گردوخاک را یکی از مخاطره‌های جوی مهم استان گیلان دسته‌بندی کرده‌اند. در این مطالعه، با استفاده از انواع منابع و ابزارهای در دسترس، از جمله نقشه‌های همدید، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، اجرای مدل‌های پسگرد و بررسی داده‌های ایستگاه‌های مشاهداتی نسبت به آشکارسازی کانون جدید گسیل گردوخاک به شمال ایران (گیلان) اقدام شد.

داده‌ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه شامل استان گیلان در کرانه‌های جنوبی دریای کاسپین است. در گستره استان گیلان ۱۲ ایستگاه همدید وجود دارد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

الف) داده‌ها: جهت پایش و شناسایی سازکار و کانون گردوخاک گسترش یافته در تاریخ ۳۰ الی ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۰، از چند نوع داده استفاده شد.

۱- داده‌های ایستگاه‌های همدید منطقه مورد مطالعه: جهت شناسایی اولیه ویژگی کمیت‌های هواشناختی و تحلیل آماری آماری آن‌ها از داده‌های تعداد ۱۱ ایستگاه هواشناسی استان در فواصل یک ساعته و در بازه ۲۸ اردیبهشت الی ۳ خرداد استفاده شده است. بدین منظور داده‌های سه ساعته گزارش سینوپ اصلی و فرعی ایستگاه‌های هواشناسی ذکرشده، به شکل SCDATA از اداره کل هواشناسی استان گیلان دریافت شدند. با استفاده از کد نویسی‌های به زبان ویژوال بیسیک، داده‌ها از حالت کد شده خارج و رمزگشایی و استخراج شد. ساعاتی که طی آن‌ها در گروه ۷ گزارش ساعات همدید (گزارش هوای حاضر)، کد (۰۵) مربوط به پدیده‌های هواشناسی (غبار، حالتی از تیره‌گی هوا است که در نتیجه وجود ذرات جامد و معلق در هوا ایجاد می‌شود که با حروف اختصاری (HZ) مشخص می‌شود) و کد (۰۶) مربوط به گردوخاک گسترش‌یافته (گردوخاک معلق در هوا و گسترده که به وسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی ایستگاه بلند نشده است و از مناطق دور دست منتقل شده است که با حروف اختصاری (DU) مشخص می‌شود)، گزارش شده بود انتخاب شد. هم‌زمان با این داده‌ها سایر عناصر جوی مرتبط با این پدیده نظیر جهت باد، سرعت باد و دید افقی نیز استخراج شده است.

۲- برای تایید وقوع پدیده گردوخاک و به منظور پایش نحوه گسیل و حرکت غبار به منطقه (دامنه‌های شمالی البرز)، با توجه به کاربرد تصاویر سنجنده مودیس در پایش غبار و تاکید مطالعات قبلی در این زمینه (اورچی‌خویاگ و همکاران،

۲۰۰۸، لوزیانگ و همکاران، ۲۰۰۸، دودا و همکاران، ۲۰۰۶، هاتیکسون، ۲۰۰۳ و زینجو و همکاران، ۲۰۰۷)، تصاویر روزانه سنجنده مودیس ماهواره‌های ترا (TERRA) و آکوا (AQUA) در باندهای مرئی و ۱-۲-۷ (که در دسترس کاربران است) و سنجنده ویرس در ماهواره سوآمی (SUAMI)، و نووا (VIIRS) مورد استفاده قرار گرفت. ۳- در گام بعد، داده‌های میانگین روزانه و ۶ ساعته مربوط به فراسنج‌های هواشناسی از قبیل میادین فشار سطح دریا، مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری میدان باد مربوط به تاریخ‌های استخراج شده در مراحل قبل با فرمت netCDF از NCEP/NCAR دریافت و توسط اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرافیکی GRADS نقشه‌های مربوط به آن ترسیم شد.

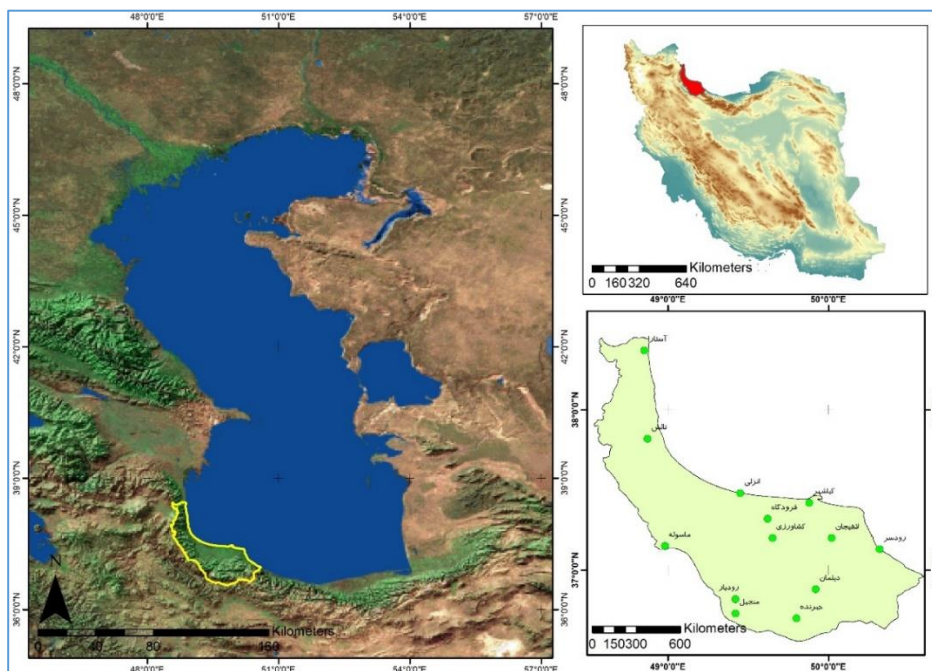
۴- یکی از روش‌های مهم در مقوله کنترل آلودگی‌هایی نظیر گردوغبار، تعیین چشمه‌های تولید آن با استفاده از مدل‌های پسگرد شناسایی مسیر جریان هوا و انتقال آلاینده‌هاست. بدین ترتیب مکان هوای نمونه‌گیری شده با استفاده از برگشت در زمان محاسبه می‌شود. مدل HYSPLIT امکان ردیابی پسگرد ذرات را در ترازهای مختلف جو فراهم می‌سازد. در این پژوهش جهت تعیین و تایید منابع اصلی توفان گردو خاک از نسخه ۴/۹ مدل لاگرانژی^۲ HYSPLIT در سه تراز مختلف جو استفاده شد (دراکسلر و رلف، ۲۰۱۲).

۵- داده‌های رقمی ارتفاع (DEM) ۹۰ متری مدل‌های رقمی ارتفاعی SRTM در محیط نرم‌افزار Arc GIS ۱۰٫۵ تحلیل‌های هندسی بر روی آن انجام گرفت.

- داده‌های ایستگاه آلودگی سنجی اداره کل محیط زیست استان گیلان در منجیل. استان گیلان به دلیل قرارگیری در جنوب دریای کاسپین و قرارگیری در دامنه‌های شمالی البرز دارای وجه مشخصه رطوبت و بارش بالا و دمای معتدل است (فریدمجتهدی و همکاران: ۱۳۹۶). در این استان ۱۱ گونه آب‌وهوایی به روش دمارتن گسترش یافته شناسایی شده است (فریدمجتهدی و همکاران: ۱۳۹۷). تنها بخش‌های جنوبی این استان در محدوده شهرستان رودبار در شرایط آب‌وهوایی نیمه خشک واقع شده است و وجود دریاچه سد منجیل و وزش دائمی باد امکان ایجاد گردو خاک را فراهم آورده است (فریدمجتهدی، ۱۳۹۶). به طوری که در منتهی‌الیه مرزهای جنوبی استان در محدوده دریاچه سد سفیدرود انواع اشکال تراکم ماسه ای قابل مشاهده است. در محدوده مورد مطالعه ۱۱ ایستگاه همدید به طور ساعتی اطلاعات جوی را ثبت می‌کنند (شکل ۱).

^۲ Lagrangian

^۳ Draxler and Rolph



شکل ۱: موقعیت استان گیلان در حوضه کاسپین، ایران و موقعیت ایستگاههای همدید مورد مطالعه در این پژوهش.

شرح و تفسیر نتایج

• نتایج داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها

روز سه‌شنبه مورخ ۱۴۰۰/۲/۲۸ از سه ایستگاه هواشناسی لاهیجان، رودسر و کشاورزی رشت پدیده گردوخاک گزارش شد (جدول ۱). ایستگاه هواشناسی رودسر ۷ ساعت پیوسته پدیده گردوخاک گزارش کرده و در لاهیجان دید افقی تا ۵۰۰۰ متر کاهش داشت. سمت باد در این سه ایستگاه و همچنین در سایر نقاط استان شمال غرب تا شمال شرق بوده بنابراین سوی جریان‌های کاملاً از سمت دریا به خشکی بوده است. روز چهارشنبه مورخ ۱۴۰۰/۲/۲۹ تنها از ایستگاه هواشناسی آستارا پدیده گردوخاک گزارش شد (جدول ۱). گردوخاک گزارش شده رقیق بوده به مدت ۹ ساعت تداوم داشته و دید افقی در این شهرستان تا ۸۰۰۰ متر کاهش داشت. سمت باد غالب در این ایستگاه جنوب شرق تا جنوب غرب بوده است. روز پنجشنبه مورخ ۱۴۰۰/۲/۲۰ به جز ایستگاه‌های کوهستانی استان از سایر ایستگاه‌های هواشناسی گیلان پدیده گردوخاک گزارش شد. آستارا ۱۶، بندرانزلی ۱۴، تالش و ایستگاه فرودگاهی رشت ۱۲، بندر کیشهر ۹ ساعت پیوسته پدیده گردوخاک گزارش کرده‌اند. در این روز گردوخاک غلیظ تقریباً کل نقاط جلگه‌ای را دربر گرفته بود طوری که در بندر کیشهر در بعضی ساعات دید افقی به ۸۰۰ متر، ایستگاه فرودگاهی رشت ۱۵۰۰ متر، آستارا ۲۰۰۰ متر و سایر نقاط غالباً دید افقی تا ۳۰۰۰ متر کاهش داشت (جدول ۲).

جدول ۱: گزارش پدیده‌های گرد و خاک گسترش یافته (DU) و غبار (HZ) در روز چهارشنبه ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۰.

ردیف	نام ایستگاه	وجود گرد و خاک	ساعت وقوع پدیده گرد و خاک	کمترین دید افقی در این مدت (متر)	سمت باد
۱	آستارا	دارد	۹ ساعت پیوسته	۸۰۰۰	جنوب شرق تا جنوب غرب
۲	تالش	ندارد	۰	-	شرق تا جنوب شرق
۳	انزلی	ندارد	۰	-	شرق تا جنوب غرب
۴	فرودگاه رشت	ندارد	۰	-	شمال تا شمال شرق
۵	کیاشهر	ندارد	۰	-	شرق تا جنوب
۶	لاهیجان	ندارد	۰	-	شمال شرق تا جنوب شرق
۷	منجیل	ندارد	۰	-	جنوب تا شمال غرب
۸	رودسر	ندارد	۰	-	شمال شرق تا جنوب شرق
۹	جیرنده	ندارد	۰	-	غرب تا شمال غرب
۱۰	کشاوری	ندارد	۰	-	شرق تا شمال شرق
۱۱	ماسوله	ندارد	۰	-	شمال شرق

روز جمعه مورخ ۱۴۰۰/۲/۳۱ از اکثر ایستگاه هواشناسی در جلگه گیلان پدیده گردو خاک گزارش شد (جدول ۳). منجیل ۱۵، آستارا و تالش ۱۰، بندر کیاشهر ۹، لاهیجان ۷، رودسر و بندرانزلی ۶ ساعت پیوسته و منقطع پدیده گردو خاک گزارش کرده‌اند. در نواحی غربی و برخی نقاط مرکزی استان پدیده گردو خاک غلیظ بوده به طوری که دید افقی در آستارا تا ۱۵۰۰ متر، در بندر کیاشهر ۲۰۰۰ متر، تالش و منجیل ۳۰۰۰ متر کاهش داشت. روز شنبه مورخ ۱۴۰۰/۳/۱ از اکثر ایستگاه هواشناسی در جلگه گیلان پدیده گردو خاک گزارش شد. منجیل ۱۲، فرودگاه رشت ۸/۵، لاهیجان و کشاوری رشت ۷ و بندر انزلی ۶ ساعت پیوسته و منقطع پدیده گردو خاک گزارش کرده‌اند. در نواحی غربی و برخی نقاط مرکزی استان پدیده گردو خاک غلیظ بوده به طوری که دید افقی بعضی ساعات در بندر کیاشهر ۲۰۰۰ متر، در آستارا تا ۳۰۰۰ متر کاهش داشت. روز یکشنبه مورخ ۱۴۰۰/۳/۲ از اکثر ایستگاه هواشناسی در جلگه گیلان بجز بندرانزلی و رودسر پدیده گردو خاک گزارش شد. منجیل ۱۶، فرودگاه رشت، لاهیجان و کشاوری رشت ۱۰ و بندر کیاشهر ۸، آستارا و تالش ۶ ساعت پیوسته و منقطع پدیده گردو خاک گزارش کرده‌اند. در نواحی غربی استان پدیده گردو خاک غلیظ بوده به طوری که دید افقی بعضی ساعات در آستارا تا ۳۰۰۰ متر کاهش داشت. در این روز از ایستگاه‌های هواشناسی آستارا، تالش، رودسر، ماسوله و جیرنده پدیده رعدوبرق همراه با یاران نیز گزارش شده است.

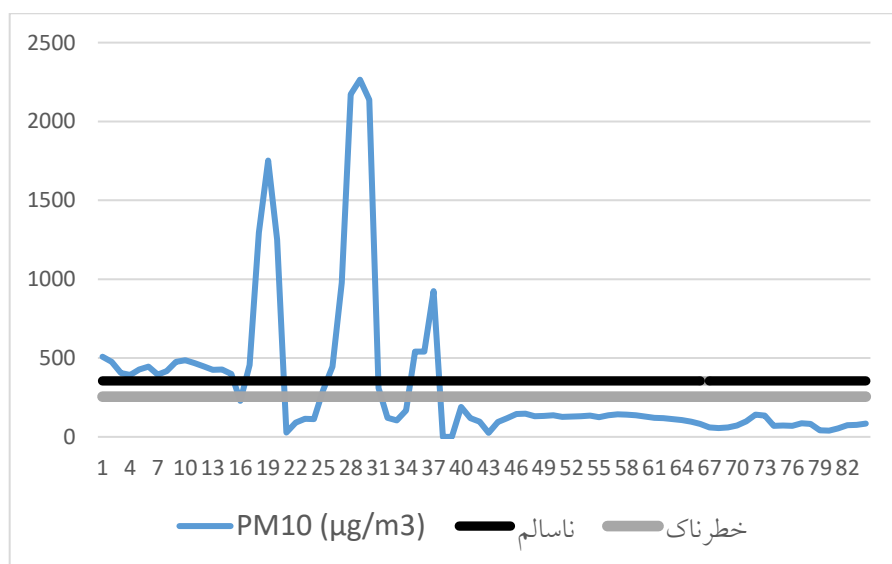
جدول ۲: گزارش پدیده‌های گردوخاک گسترش یافته (DU) و غبار (HZ) در روز پنجشنبه ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۰.

ردیف	نام ایستگاه	وجود گرد و خاک	مدت وقوع پدیده گرد و خاک	کمترین دید افقی در این مدت (متر)	سمت باد
۱	آستارا	دارد	۱۶ ساعت پیوسته	۲۰۰۰	شرق تا جنوب شرق گاهی شمال غرب
۲	تالش	دارد	۱۲ ساعت پیوسته	۳۰۰۰	شمال شرق تا جنوب
۳	انزلی	دارد	۱۴ ساعت پیوسته	۳۰۰۰	شمال شرق تا جنوب
۴	فرودگاه رشت	دارد	۱۲ ساعت پیوسته	۱۵۰۰	شمال غرب تا شمال شرق
۵	کیاشهر	دارد	۹ ساعت پیوسته	۸۰۰	شرق تا شمال
۶	لاهیجان	دارد	۸ ساعت پیوسته	۳۰۰۰	شمال شرق تا شمال
۷	منجیل	دارد	۷ ساعت پیوسته	۳۰۰۰	شمال شرق تا شمال غرب
۸	رودسر	دارد	۷ ساعت پیوسته	۴۰۰۰	شرق تا شمال
۹	چیرنده	ندارد	۰	-	جنوب غرب تا شمال غرب
۱۰	کشاوری	دارد	۷ ساعت پیوسته	۲۰۰۰	شمال شرق تا جنوب
۱۱	ماسوله	ندارد	۰	-	شمال شرق

طی مدت گسیل این گردوخاک به استان گیلان، به دلیل از کار افتادن ایستگاه آلودگی سنجی رشت، عملاً آماری از غلظت گردوخاک در مناطق جلگه‌ای گیلان به دست نیامد. اما با توجه به قرارگیری دره سفیدرود در جنوب جلگه مرکزی گیلان، شاهد انتشار گردوخاک تا منطقه لوشان و منجیل بودیم. خوشبختانه ایستگاه آلودگی سنجی منجیل در طی ساعات‌های مختلف میزان این آلاینده را ثبت کرده است (شکل ۲). بیشترین تمرکز PM_{10} بالغ بر ۲۲۶۵ بوده است که چندین برابر استانداردهای هوای بسیار خطرناک و ناسالم برای منطقه بوده است. بدون شک وضعیت جلگه مرکزی گیلان که در معرض مستقیم این گردوخاک بوده، بسیار وخیم‌تر بوده است.

جدول ۳: گزارش پدیده‌های گردو خاک گسترش یافته (DU) و غبار (HZ) در روز پنجشنبه ۲۱ اردیبهشت ۱۴۰۰

ردیف	نام ایستگاه	وجود گرد و خاک	مدت وقوع پدیده گرد و خاک	کمترین دید افقی در این مدت (متر)	سمت باد
۱	آستارا	دارد	۱۰ ساعت پیوسته	۱۵۰۰	جنوب شرق
۲	تالش	دارد	۱۰ ساعت پیوسته	۳۰۰۰	شرق تا جنوب شرق
۳	انزلی	دارد	۶ ساعت پیوسته	۷۰۰۰	شمال شرق تا شرق
۴	فرودگاه رشت	دارد	۲.۵ ساعت پیوسته	۶۰۰۰	شمال غرب تا شمال
۵	کیاشهر	دارد	۹ ساعت ناپیوسته	۲۰۰۰	شرق تا جنوب شرق
۶	لاهیجان	دارد	۷ ساعت پیوسته	۷۰۰۰	شمال شرق تا جنوب شرق
۷	منجیل	دارد	۱۵ ساعت ناپیوسته	۳۰۰۰	شمال شرق تا شمال غرب
۸	رودسر	دارد	۶ ساعت پیوسته	۸۰۰۰	شرق
۹	چیرنده	ندارد	۰	-	جنوب شرق تا شمال
۱۰	کشاوری	ندارد	۰	-	شرق
۱۱	ماسوله	ندارد	۰	-	شمال شرق

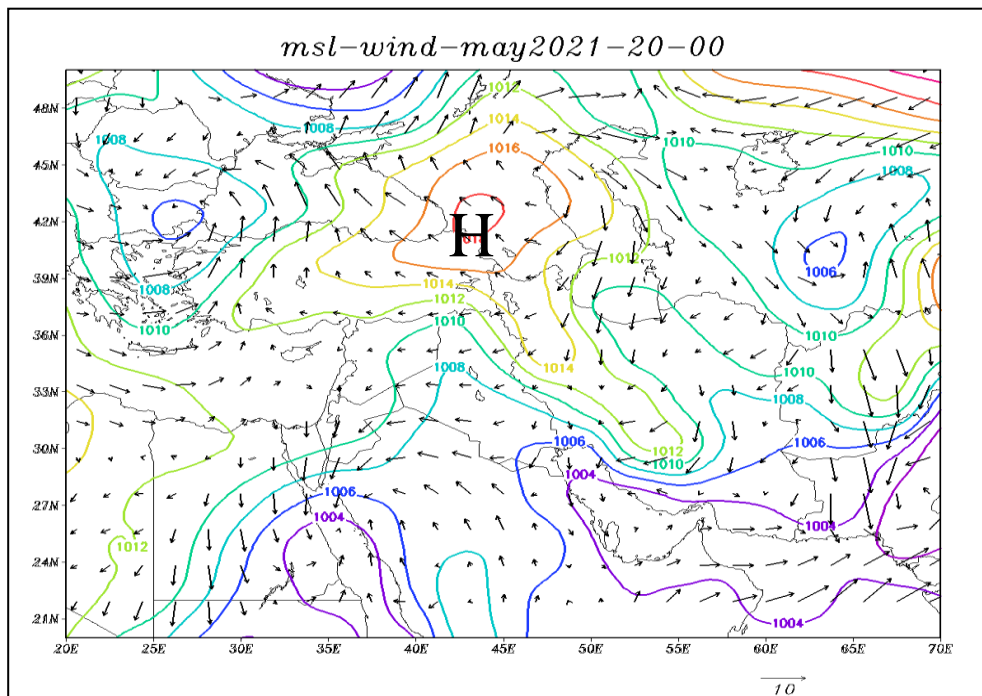


شکل ۲: نمودار میزان آلاینده‌های PM_{10} براساس استاندارد EPA. خط زرد نشان دهنده استاندارد هوای ناسالم و خط قرمز هوای خیلی ناسالم و خطرناک.

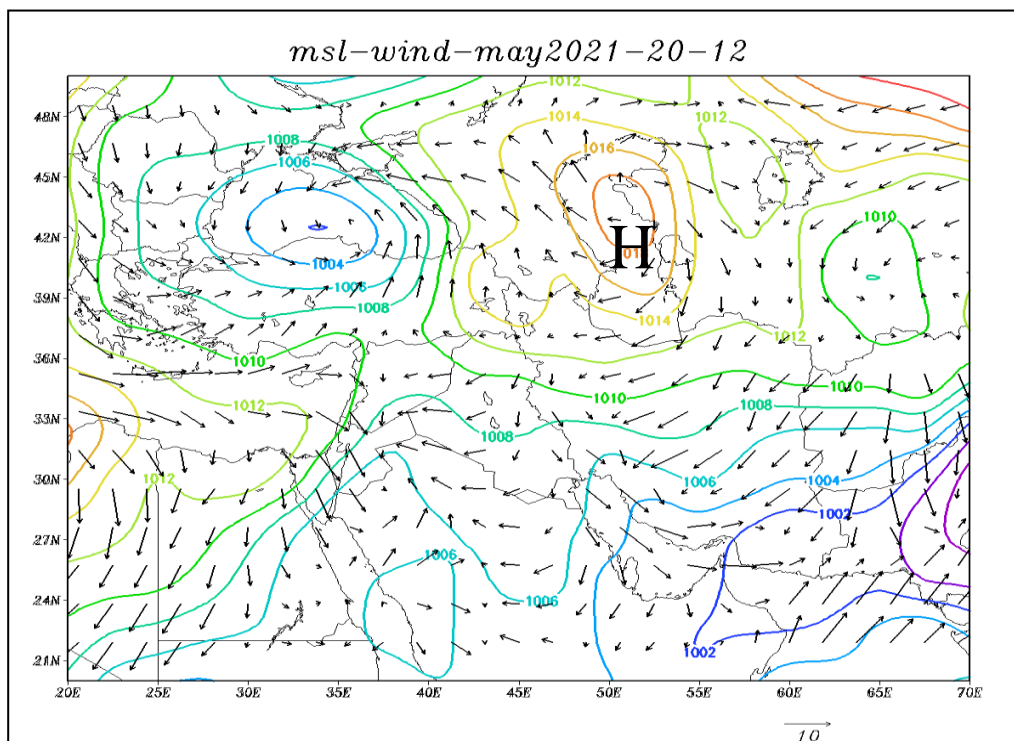
• تحلیل همدید پدیده گردوخاک روز ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۰

به منظور تحلیل همدید شرایط جوی منجر به وقوع پدیده گردوخاک، از داده‌های بازتحلیل بانک داده‌ای NCEP/NCAR با تفکیک ۱ درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی و با تفکیک زمانی ۶ ساعته استفاده شده است. داده‌ها با فرمت NETCDF تهیه و با اسکریپت نویسی در محیط نرم‌افزار گرافیکی GRADS اجرا شد. بدین منظور از داده‌های فشار تراز دریا، مولفه مداری و نصف‌النهار باد ۱۰ متری، ارتفاع ژئوپتانسیلی و تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی استفاده شده است. بررسی الگوی فشار تراز دریا بیانگر استقرار توده هوای پرفشار با مرکز ۱۰۱۸ هکتوپاسکالی روی شمال غرب دریای کاسپین (بخش‌های جنوب‌غربی روسیه) در ساعت ۰۰ گرینویچ است (شکل ۳). بتدریج با حرکت به سمت شرق این توده هوا و افزایش گرادیان فشاری روی بخش‌های جنوبی روسیه (منطقه بیابانی راین) سرعت وزش بادهای سطحی در منطقه افزایش یافته و با توجه به شرایط پوشش سطحی (منطقه بیابانی و فاقد پوشش گیاهی)، چشمه‌های تولید گردوخاک به صورت محلی در منطقه شکل گرفته و موجب گسیل آن به سمت شرق‌های گابین تر شده است. با حرکت به سمت شرق این توده هوای پرفشار و استقرار آن روی دریای کاسپین، جریان‌های شمالی روی کاسپین جنوبی تقویت شده و توده وزشی گردوخاک با جریان‌های جنوب‌سو، توده گردوخاک برخواست‌ه شده به سواحل جنوبی دریای کاسپین منتقل می‌شود (شکل ۴). الگوی میدان باد نیز شکل‌گیری بادهای قوی (بردارهای بزرگ‌تر) به صورت جنوب‌سو روی پهنه کاسپین به سمت سواحل جنوبی کاسپین نشان می‌دهد. بنظر می‌رسد با توجه به ماهیت توده هوای پرفشار که با فرونشینی هوا همراه است. توده گردوخاک به دلیل حرکات نزولی هوا، گسترش زیادی در عمق و رده‌سپهر نداشته باشد و گسیل عمدتاً در راستای افقی به کاسپین جنوبی انتقال یابد. مشاهده حرکت پسگرد ذرات در نتیجه اجرای مدل لاگرانژی HYSPLIT، حرکت افقی توده هوا را در لایه‌های زیرین و رده‌سپهر همراه با جریان‌ات جنوب سو و عدم صعود آن به و رده‌سپهر میانی تایید می‌کند.

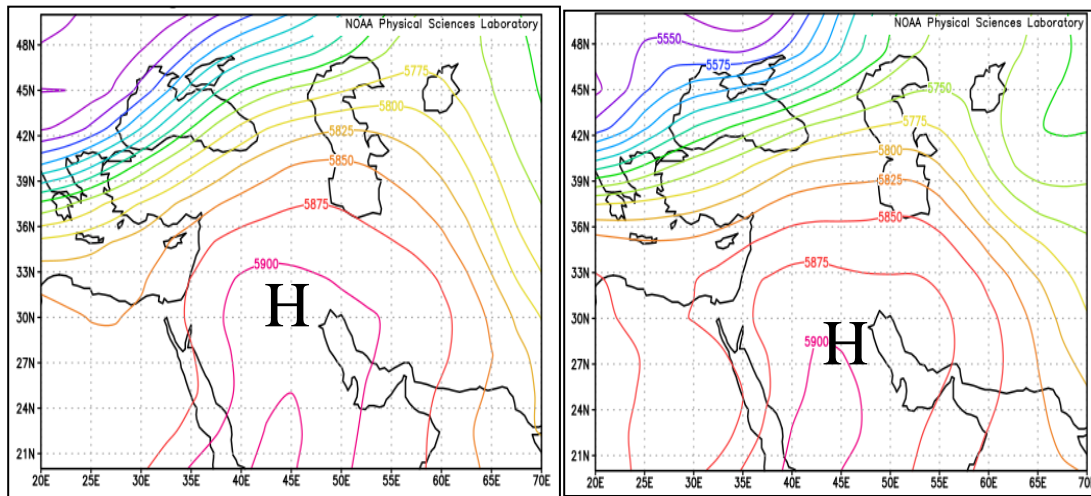
در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی حاکمیت پشته ارتفاعی و فرارفت تاوایی منفی موجب پایداری و حرکات نزولی در لایه‌های زیرین می‌شود. در واقع گسترش زبانه پراتفعا با مرکز ۵۹۰ دکامتر که بخش‌های وسیعی از ایران راتحت تاثیر قرار داده است و تا بخش‌های شمالی کشور توسعه یافته است موجب فرونشینی هوا و کاهش حرکات قائم و عدم شکل‌گیری جریان‌ات همرفتی در لایه‌های زیرین و رده‌سپهر می‌شود. بنابراین توده گردوخاک گسیل شده با جریان‌های شمالی (جنوب‌سو) در لایه‌های زیرین تروپوسفر انباشت شده و با کاهش دید افقی و کاهش کیفیت هوا در سواحل جنوبی دریای کاسپین می‌شود (شکل ۵).



شکل ۳: نقشه فشار سطح تراز دریا (خطوط هم مقدار رنگی بر حسب هکتوپاسکال)، الگوی باد ۱۰ متری (برداری) ساعت ۰۰ روز ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۰



شکل ۴: نقشه فشار سطح تراز دریا (خطوط هم مقدار رنگی بر حسب هکتوپاسکال)، الگوی باد ده متری (برداری) ساعت ۱۲ روز ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۰.

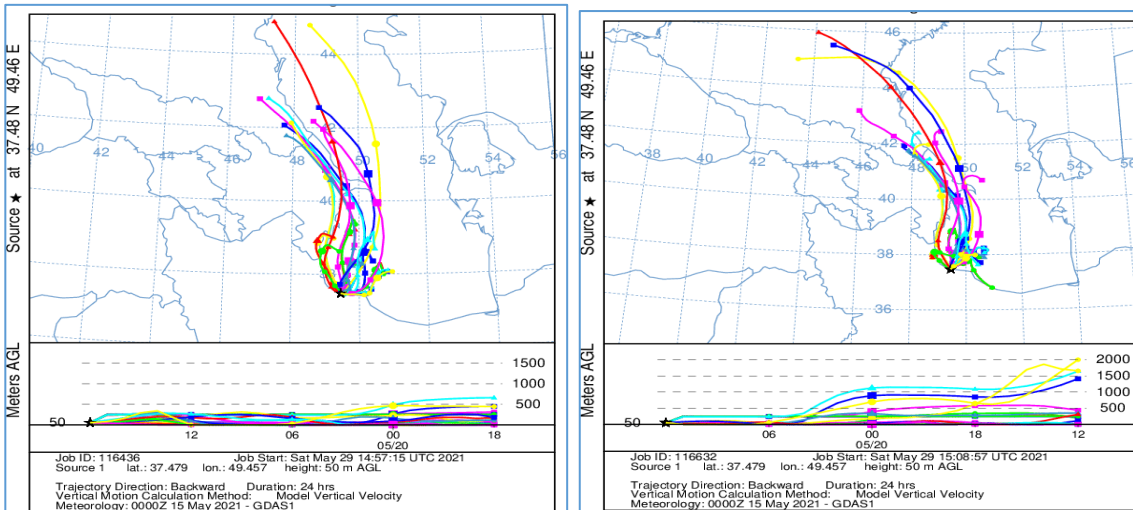


شکل ۵: الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی روز ۲۰ مه سال ۲۰۲۱ سمت راست: ساعت ۰۰ گرینویچ، سمت چپ: ساعت ۱۲ گرینویچ.

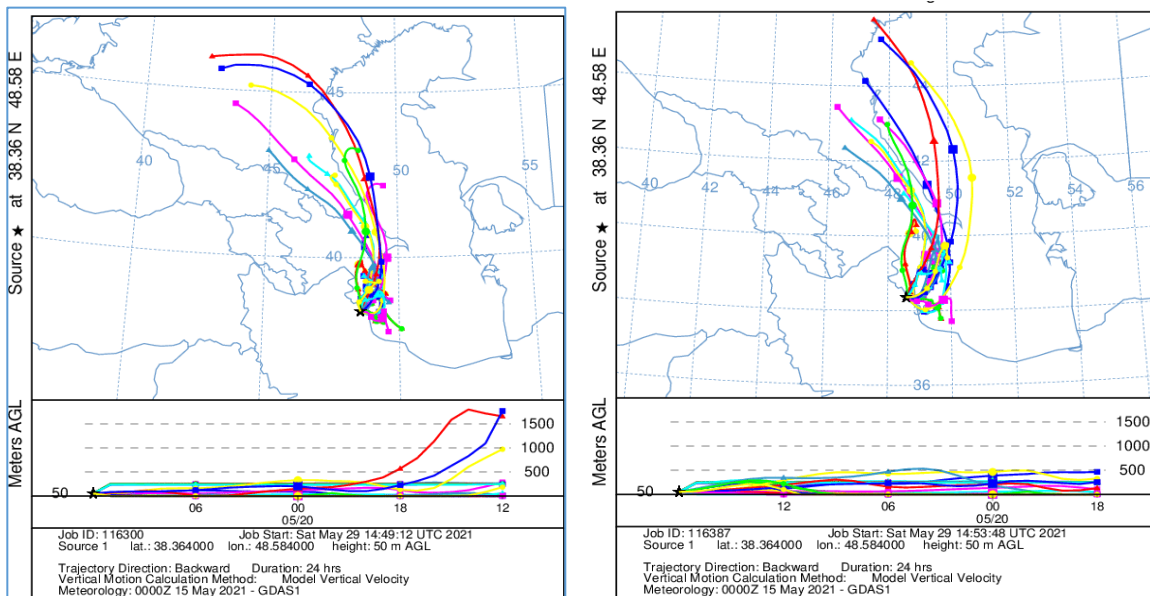
• نتایج اجرای مدل HYSPLIT

در این بخش، جهت تعیین منابع تولید گردوخاک و مسیر انتقال آن برای شرایط منجر به گسیل به سواحل جنوبی دریای کاسپین در این دو روز، از اجرای مدل لاگرانژی HYSPLIT به صورت پسگرداستفاده شده است. خروجی‌های بدست آمده از اجرای این مدل، امکان ردیابی ذرات گردوخاک را در فواصل زمانی ۶ ساعته برای نقاط هدف فراهم می‌سازد. در این پژوهش نتایج اجرای مدل برای ایستگاه‌هایی مانند بندرانزلی و آستارا که بیشترین ساعات پیوسته درگیری با گردوخاک را در این دو روز داشتند به‌عنوان نمونه ارائه شده‌اند (شکل‌های ۶، ۷). بنابراین، با استفاده از ردیابی افقی حرکت ذرات، چگونگی شارش ذرات در راستای قائم در لایه‌های وردسپهر (سطح زمین تا لایه‌های بالاتر) نیز شبیه‌سازی می‌شود. اجرای این مدل، امکان نمایش مسیر ردیابی شده را در دو نمای افقی (بخش بالا در هر شکل) و قائم (بخش پایین در هر شکل) فراهم می‌کند. علامت ستاره در تمامی شکل‌ها، موقعیت ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. مسیریابی پسگرد ذرات به صورت ماتریسی (انتخاب تعداد زیادی ذره هدف به‌طور هم‌زمان) برای هر دو ایستگاه طی ساعات ۱۲ و ۱۸ گرینویچ نشان می‌دهد به‌طور عمده منشأ گردوخاک طی ساعات قبل (۲۴ ساعت قبل) برای ایستگاه‌های یادشده، از عرض‌های بالاتر و با جریانات شمالی است. بخش‌هایی از مناطق بیابانی جنوب‌غربی روسیه و بخش‌هایی از کشور آذربایجان با توجه به وزش باد شدید (در بخش تحلیل همدیدی اندازه و جهت بردارهای باد روی منطقه ملاحظه شود)، مولد زایش گردوخاک بوده همراه با جریان‌های جنوب‌سو به سمت سواحل جنوبی کاسپین انتقال می‌یابد. این نتیجه با داده‌های مشاهداتی سمت باد، پدیده دیده بانی شده و دید افقی در ایستگاه‌های سواحل جنوبی دریای کاسپین (جداول ۱۱ و ۲ و ۳) تطابق دارد. نکته حائز اهمیت آن است که جریان‌های شمالی مذکور در لایه‌های زیرین جو (زیر ۲۰۰۰ متر) به منطقه (سواحل جنوبی کاسپین) گسترش می‌یابند و محور عمودی (بخش پایینی تصاویر خروجی های مدل) نشان می‌دهد که دسته ذرات انتخاب شده بصورت همادی (آنسامل) در حرکت طی ساعات گذشته در چه تراز از ابتدا نشات گرفته و حرکت کرده‌اند. مسیر حرکت ذرات نیز ثابت می‌کند که طی ساعات گذشته این

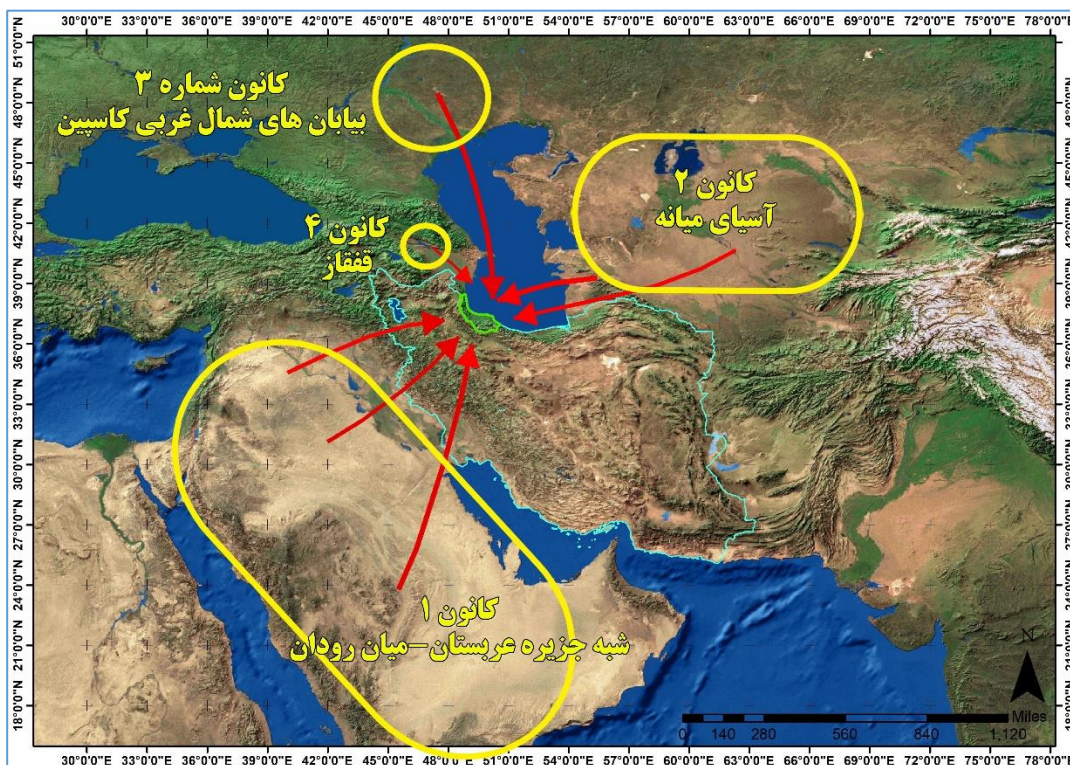
ذرات عمدتاً دارای حرکت افقی بوده اند و گسترش قائم درون جو ندارند. این شرایط الگوی حاکم بر شرایط همدید را تایید می‌کند.



شکل ۶: ردیابی مسیر گردو خاک برای ایستگاه بندرانزلی طی روز ۲۰ مه ۲۰۲۱.



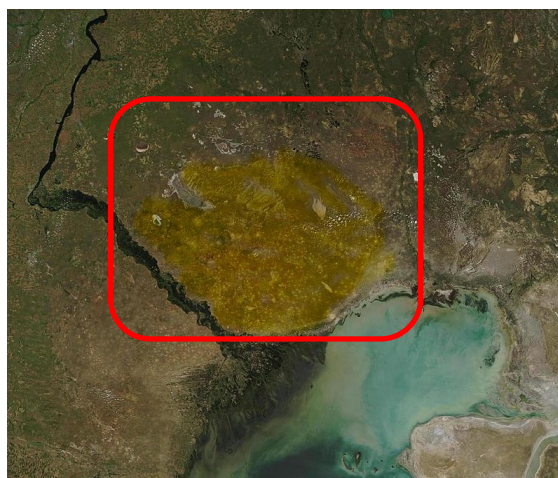
شکل ۷: ردیابی مسیر گردو خاک برای ایستگاه آستارا طی روز ۲۰ مه ۲۰۲۱.



شکل ۸: کانون های گردوخاک شناسایی شده استان گیلان مطابق آخرین ویرایش.

• کانون

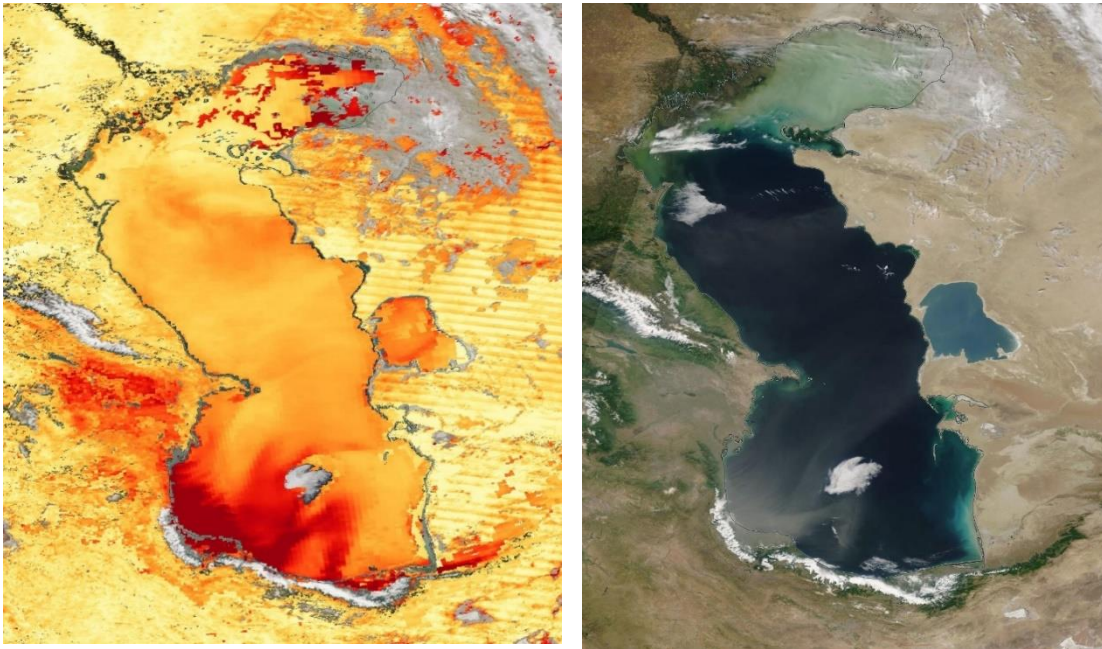
تحلیل مدل های پس گرد و ردیابی تصاویر پردازش شده گردوخاک نشان دهنده گسیل گردوخاک از مناطق شمال غربی دریای کاسپین است. مطالعه در زمینه آب و هوای روسیه و شرایط اکولوژیک آن نشان می دهد که از وسعت نزدیک به ۱۸ میلیون کیلومترمربعی فدراسیون روسیه، بنا به همه طبقه بندی های آب و هوایی، اکولوژیک یک منطقه بیابانی معرفی شده است آن هم منطقه بیابانی همراه به آب و هوای نیمه خشک در شمال غربی دریای کاسپین. نام این بیابان راین (RYN) است. این منطقه بیابانی از قضا در مسیر یکی از دالان های عمده جریان هوا به مناطق جنوبی دریای کاسپین، یعنی استان های گیلان، مازندران و گلستان قرار دارد. تحلیل مدل های پس گرد و ردیابی تصاویر پردازش شده گردوخاک نشان دهنده گسیل گردوخاک از مناطق شمال غربی دریای کاسپین است. مطالعه در زمینه آب و هوای روسیه و شرایط اکولوژیک آن نشان می دهد که از وسعت نزدیک به ۱۸ میلیون کیلومترمربعی فدراسیون روسیه، بنا به همه طبقه بندی های آب و هوایی، اکولوژیک یک منطقه بیابانی معرفی شده است آن هم منطقه بیابانی همراه به آب و هوای نیمه خشک در شمال غربی دریای کاسپین. نام این بیابان راین (RYN) است (شکل ۹ و ۱۰). این منطقه بیابانی از قضا در مسیر یکی از دالان های عمده جریان هوا به مناطق جنوبی دریای کاسپین، یعنی استان های گیلان، مازندران و گلستان قرار دارد.



شکل ۹: تصویری ماهواره‌ای از تنها بیابان روسیه، بیابان راین در شمال غربی دریای کاسپین (منبع: ویکی پدیا).



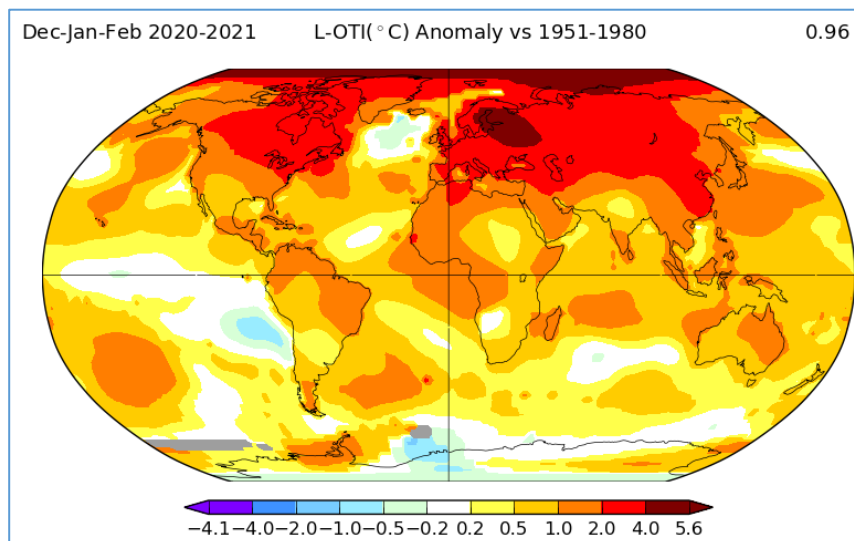
شکل ۱۰: موقعیت بیابان راین در کشور روسیه در طبقه‌بندی آب‌وهوایی و گیاهی (منبع: <https://maps-russia.com/russia-vegetation-map>).



شکل ۱۱: سمت راست. تصویر مرئی از منطقه مورد مطالعه. تصویر پردازش شده سنجنده مادیس عمق اپتیکی آتروسول

نتیجه‌گیری

طی سال‌های اخیر سواحل جنوبی دریای کاسپین به تناوب متاثر از گسیل گردوخاک ناشی از چشمه‌های مولد آن در بیابان‌های اطراف در مناطق دور و نزدیک بوده است. این کانون‌ها شامل مناطق بیابانی خاورمیانه (عربستان، عراق، روسیه) و بیابان‌های ترکمنستان و قره‌قوم در منطقه آسیای میانه هستند. علاوه بر چشمه‌های مذکور، طی روزهای پایانی اردیبهشت ۱۴۰۰، سواحل جنوبی دریای کاسپین متاثر از گسیل توده گردوخاک بود که با جریان‌های قوی شمالی از سمت کشور روسیه و آذربایجان به سمت جنوب منتقل شد. با استفاده از داده‌های بازتحلیل کمیت‌های هواشناسی (میدان‌های مداری و نصف‌النهاری باد، فشار، ارتفاع ژئوپتانسیلی)، اجرای مدل لاگرانژی پس‌گرد HYSPLIT، تصاویر سنجنده مادیس ماهواره‌های ترآ و آکوا، داده‌های رقومی ارتفاع (DEM) ۹۰ متری مدل‌های رقومی ارتفاعی SRTM و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی به شبیه‌سازی و بررسی الگوی جریان‌های جوی حاکم به تبیین شرایط پرداخته شد. کانون شکل‌گیری توده گردوخاک طی این روزها، بیابان راین شمال‌غرب دریای کاسپین (جنوب‌غرب کشور روسیه) بوده است و عامل زایش این چشمه گردوخاک علاوه بر ویژگی‌های ساختمان خاک که متاثر از شرایط تغییر آب‌وهوای جهانی طی دهه‌های اخیر دچار فقدان شدید رطوبت شده است، از نظر شرایط همدید استقرار مرکز پرفشار با مرکز ۱۰۱۸ هکتوپاسکال است که زبانه آن تا سواحل جنوبی کاسپین امتداد یافته است. گرادیان قوی فشاری موجب افزایش سرعت وزش باد و برخاستن توده گردوخاک از سطح می‌شود. این توده با جریان‌های شمالی (جنوب‌سو) به سواحل جنوبی کاسپین منتقل شد. اجرای مدل لاگرانژی پس‌گرد HYSPLIT، مسیر حرکت و گسترش قائم ذرات را درون جو طی ۲۴ ساعت گذشته نشان می‌دهد و تایید می‌کند کانون شکل‌گیری روی مناطق بیابانی راین روسیه بوده و نتایج الگوی همدید باد مورد استناد است.



شکل ۱۲: ناهنجاری دما در زمستان ۲۰۲۰-۲۰۲۱ در مقایسه با میانگین ۱۹۵۱-۱۹۸۰ (ناسا، ۲۰۲۱).

منابع

- اداره کل محیط زیست گیلان. داده‌های ساعتی ایستگاه آلودگی‌سنجی منجیل. تاریخ ۲۸ اردیبهشت الی ۵ خرداد ۱۴۰۰.
- اداره کل هواشناسی گیلان. داده‌های ساعتی ایستگاه همدید استان گیلان. تاریخ ۲۸ اردیبهشت الی ۵ خرداد ۱۴۰۰.
- اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ سمانه نگاه، نیما فریدمجتهدی. ۱۳۹۲. سازوکار نفوذ و گسترش غبار به کرانه جنوب‌غربی دریای کاسپین، دومین کنفرانس گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ارائه سخنرانی.
- رفیعی مجومرد، زهره؛ محمدرضا یزدانی و محمد رحیمی. ۱۳۹۵. تحلیل روند روزهای همراه با گردوغبار در ایران، خشک بوم. ۶(۲): ۱۱-۲۳.
- صحت کاشانی، صحت؛ مهدی رهنما، سارا کرمی، عباس رنجبر و سحر تاجبخش. ۱۳۹۸. بررسی عوامل هواشناختی موثر بر تاب آوری در مقابله با گردوخاک در منطقه خاورمیانه. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۰(۴۰): ۴۹-۵۹.
- عابد، حسین؛ نیما فریدمجتهدی، سمانه نگاه، یوسف شجاعی. ۱۳۹۷. پدیده بی‌سابقه گردوخاک گسترش‌یافته به استان گیلان ۸ الی ۲۴ شهریور ۱۳۹۷ و چشم‌انداز آینده جنوب دریای خزر. همایش ملی پدافند غیرعامل مردم محور.
- عراقی‌نژاد، شهاب؛ محمد انصاری قوجقار، مسعود پورغلام آمیچی، عبدالمجید لیاقت، جواد بذرافشان. ۱۳۹۷. تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایران. نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، ۷(۲۱): ۱۳-۳۲.
- غفاریان، پروین؛ سمانه نگاه، نیما فریدمجتهدی، حسین عابد. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی گردوغبار گسیل شده از صحرای ترکمنستان به کرانه‌های جنوبی دریای خزر (مطالعه موردی ۱۹ و ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۴). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۳۸: ۱۶۴-۱۴۱.
- فریدمجتهدی، نیما؛ حسین عابد، سمانه نگاه، فروغ مومن‌پور، شبنم هادی‌نژاد، روح الله اوجی. ۱۳۹۶. کتاب آب‌وهوای گیلان، چاپ اول، نشر فرهنگ ایلیا، رشت.
- فریدمجتهدی، نیما؛ سمانه نگاه، حسین عابد. ۱۳۹۷. کتاب آب‌وهوای گیلان، دانشنامه فرهنگ و تمدن گیلان. چاپ اول، نشر فرهنگ ایلیا، رشت.
- کرمی، سارا؛ نسیم حسین حمزه، ساویز صحت‌کاشانی، مهدی رهنما، عباس رنجبرسعادت آبادی. ۱۳۹۹. بررسی پدیده گردوخاک و عوامل موثر بر آن در منطقه خاورمیانه با رویکرد لزوم انجام اقدامات کاهش‌ی تغییر اقلیم. نیوار، ۴۴ (۱۰۸): ۶۷-۵۹.
- نگاه، سمانه؛ نیما فریدمجتهدی. ۱۴۰۰. گیلان، سبز خاکی، روزنامه گیلان امروز، سال بیست‌وچهارم، شماره ۵۷۵۷.
- نگاه، سمانه؛ نیما فریدمجتهدی، حسین عابد. ۱۳۹۸. پیامدهای تغییر آب‌وهوا در منطقه آسیای میانه و اثر آن بر محیط‌زیست کرانه جنوبی دریای کاسپین، ششمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران.
- نگاه، سمانه؛ امیرحسین مشکواتی، سهراب حجام، غلامعلی کمالی، نیما فریدمجتهدی، حسین عابد. ۱۳۹۴. واکاوی ارتباط تغییرات غلظت هواویزه‌های جوی با فراسنج‌های هواشناسی در شرایط گسیل مخاطره گردوغبار به استان گیلان، کنفرانس ملی هواشناسی ایران، دانشگاه یزد.

ESCAP, ۲۰۲۱. Sand and Dust Storms Risk Assessment in Asia and the Pacific. Asian and Pacific Centre for the Development of Disaster Information Management.

<https://www.wxmaps.org>

<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov.subsets>

<http://landsat.visibleearth.nasa.gov>

www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.pressure.html

<https://www.usgs.gov/>

<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps>

https://en.wikipedia.org/wiki/Ryn_Desert

<https://maps-russia.com/russia-vegetation-map>

Hossein Hamzeh; Nasim, Kaskaoutis, Dimitris, Rashki, Alireza and Mohammadpoour, Kaveh. ۲۰۲۱. Long-Term Variability of Dust Events in Southwestern Iran and Its Relationship with the Drought, ۲۰۲۱, *Atmosphere*, Volume ۱۲: ۱-۲۱.

Nabavi, Seyed Omid; Haimberger, Leopold and Samimi, Cyrus. ۲۰۱۶. Climatology of dust distribution over West Asia from homogenized remote sensing data. *Aeolian Research*, Volume ۲۱: ۹۳-۱۰۷.

Warner, Thomas T. ۲۰۰۴. *Desert Meteorology*. Cambridge University Press.

WMO, ۲۰۲۱. *WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (۱۹۷۰ – ۲۰۱۹)*. World Meteorological Organization (WMO).