نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۳، تابستان ۱۴۰۳

استخراج و تحلیل الگوهای سینوپتیک و پایش منشأ و مسیر عبور توفان‌های گردوغبار مطالعه موردی: استان اردبیل، ایران

دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۱۰ **پذیرش نهایی**: ۱۴۰۲/۶/۲۹

صفحات: ۱۶۲- ۱۳۷

بهروز سبحانی: دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
Email: sobhani@uma.ac.ir
مهدی عالی جهان: دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
Email: mehdi_alijahan@yahoo.com

چکیده

امروزه ریزگردها و توفان‌های گردوغبار به یکی از مسائل و مشکلات مهم کشور ایران و سایر مناطق جهان تبدیل شده است. این پژوهش درصدد استخراج الگوهای سینوپتیک توفان‌های گردوغبار استان اردبیل و پایش و منشأیابی مکان برخواست آن به انجام رسیده است. بازه زمانی موردمطالعه ۳۴ ساله (۲۰۱۳ – ۱۹۷۹) می‌باشد. از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل و داده‌های سطوح فوقانی جو سازمان ناسا جهت انجام پژوهش پیش‌رو استفاده به عمل آمد. جهت نیل به اهداف پژوهش از روش‌های محیطی به گردشی، خوشه‌بندی سلسله مراتبی و مدل HYSPLIT بهره گرفته شد. با توجه به نتایج حاصل شده ۳ الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شناسایی گردید. الگوی شماره ۱ و ۲ تقریباً مشابه به یکدیگر بوده و بیانگر رخداد ناوه عمیق است که از اروپای مرکزی شکل‌گرفته و تا نیمه‌های دریای سرخ امتداد داشته است. در الگوهای یادشده منطقه مورد مطالعه در شرق ناوه مذکور قرار داشته است. الگوی سوم بیانگر رخداد بلوکینگ بریده کم‌فشار بر فراز دریای سیاه و مناطق هم‌جوار و قرارگیری استان اردبیل در شرق ناوه متشکل از بلوکینگ می‌باشد. منشأ ریزگردها در الگوهای ۱ و ۲ نواحی شرقی کشور عراق و غرب کشور ایران و در الگوی شماره ۳ در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال نواحی مرکزی کشور عراق و در ارتفاعات ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نواحی مرکزی کشور سوریه می‌باشد.

واژگان کلیدی: توفان گردوغبار، استخراج الگو، تحلیل سینوپتیک، مدل HYSPLIT، استان اردبیل.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

مقدمه

سازمان هواشناسی جهانی (WMO[1])، مک تینش و پیت بلیدو۲ (۱۹۸۷، ص ۴۱۵) و گودی و میدلتون۳ (۲۰۰۶، ص ۴) توفان‌های گردوغباری را چنین تعریف می‌کنند: توفان‌های گردوغبار به‌عنوان نوعی از رویداد غباری، در بیشتر موارد نتیجه بادهای متلاطم شامل بادهای قوی همرفتی هستند که ذرات زیادی از گردوغبار را از سطوح بیابانی بالا برده و با گسترش آن‌ها در نواحی وسیع، قدرت دید را به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهند. در رویدادهای شدید تمرکز گردوغبار به بیش از ۶۰۰۰ میکروگرم در مترمکعب می‌رسد (زینالی، ۲۰۱۳: ۱۰). در سال‌های اخیر نقش گردوغبارهای بیابان در سیستم آب‌وهوای جهانی بیشتر معلوم شده است. مسیرهای انتقالی گردوغبار (کینوشیتا۴ و همکاران، ۲۰۰۵، صص ۸۹-۱۰۰، جان۵ و همکاران، ۲۰۰۶، صص ۴۸۴-۴۸۶، طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹، صص ۹۷-۱۱۸)، تأثیرات آن‌ها در انسان، محیط و منابع جهانی (گودی، ۲۰۰۹، صص ۸۹-۹۰، هان۶ و همکاران، ۲۰۰۸ الف، صص ۱۴۷۶-۱۴۸۹)، فراوانی وقوع این پدیده در مقیاس‌های زمانی مختلف و دلایل متفاوت بودن فراوانی آن‌ها (گائو۷ و همکاران، ۲۰۱۱، ص ۲۶۵-۲۷۸، دودانگه و همکاران، ۲۰۱۲، ص ۹۱-۹۹، رسولی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۵-۲۸، ناتساگدرج۸ و همکاران، ۲۰۰۳، ص ۱۴۰۱-۱۴۱۱) از جمله مواردی هستند که در سال‌های اخیر بحث و بررسی پیرامون آن‌ها پیشرفت زیادی داشته‌اند.

توفان‌های گردوغبار معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک عرض‌های معتدله، حاره‌ای و جنب‌حاره‌ای رخ می‌دهند جایی که میانگین سالانه بارش، ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است (Indoitu et al, 2012, 63). در این رابطه، هواویزهای گردوغباری خاک، توزیع‌کننده اصلی در تشکیل هواویزهای جوی جهان بوده و عاملی مؤثر در میزان دید افقی است (Jiawei et al, 2011, 3955). رخداد یک گردوغبار در منطقه زایش آن، زمانی آغاز می‌شود که سرعت باد سطحی از یک حد بحرانی تجاوز کند (Han et al., 2004; Gong et al, 2003). برخلاف فرسایش بادی که در یک مقیاس محلی عمل می‌کند توفان گردوخاک قابلیت انتقال در سطح یک قاره و حتی فراتر از آن را دارد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که ذرات ریز و آزاد پوشش سطحی را تشکیل می‌دهند فرسایش بادی سبب افزایش توفان‌های گردوغبار می‌شود (Indoitu et al, 2012, 63). بر این اساس، تشکیل و تشدید توفان‌های گردوغبار با اندرکنش میان سه رخداد کنترل می‌شود: ۱- بادهای شدید، ۲- مهیایی مواد سطحی برای فرسایش بادی و انتقال، ۳- شرایط ناپایدار جوی (Xu, 2006, 279). رخداد این پدیده تأثیر بسزایی بر محیط اتمسفر و سلامت انسان از طریق پایین آوردن کیفیت هوا، مشکلات تنفسی، کاهش دید، تأثیر بر انتقال پرتوهای خورشیدی و عمل تراکم در ابرها دارد

[1]- World Meteorological Organization
2- McTainsh & Pitblado
3- Goudie and Middleton
4- Kinoshita
5- John J
6- Han
[7]- Gao
8- Natsagdorj

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

(Nickovic and Dobricic, 1996, 2542). با توجه به آثاری که این پدیده در بعد جهانی بر جای می‌گذارد، کارشناسان مربوطه به روش‌های متفاوت مانند تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های هوا و روش‌های آماری مختلف آن را بررسی می‌کنند تا با شناسایی منشأ و آثار آن‌ها اقدامات لازم برای کاهش آسیب‌های احتمالی ناشی از گردوغبارها را انجام دهند.

بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه توفان‌های گردوغبار نشان می‌دهد که مناطق مختلفی از کره زمین با این پدیده درگیر هستند. مطالعات متعددی در کشورهای آسیای مرکزی و شرقی به‌ویژه کشور چین انجام‌شده است (ناتساگدورج و همکاران، ۲۰۰۳؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۴) که نشان از رخداد مداوم پدیده توفان گردوخاک در این منطقه دارد. گونگ و همکاران (۲۰۰۳) تولید و انتقال گردوغبار خاک را در دوره مارس تا می ۲۰۰۱ بررسی کرده‌اند. مک گوان و کلارک (۲۰۰۸) با استفاده از مدل HYSPLIT به شناسایی مسیرهای انتقال ذرات گردوغبار از دریاچه ایره استرالیا پرداختند. لشکری و کیخسروی (۲۰۰۸) سامانه‌های منجر به توفان‌های گردوغبار در خراسان رضوی را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که شیو فشار و شیو گرمایی شدید میان سامانه چرخندی بر روی افغانستان و سامانه واچرخندی روی دریای خزر و ترکمنستان سبب وزش بادهای شدید به‌ویژه در نیمه جنوبی استان خراسان رضوی می‌شود.

خسروی و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه ۵۰ گردوغبار شاخص در خوزستان آن‌ها را از نظر شرایط همدید مؤثر بر ایجاد گردوغبار بررسی کردند. مسیر حرکت امواج گردوغباری نشان داد که منابع تشکیل و انتقال گردوغبار در بیابان‌های جنوب عراق، شمال عربستان، جنوب شرق سوریه و تا اندازه‌ای شمال افریقا است. عزیزی و همکاران (۲۰۱۲) به ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دو منطقه عمده منبع گردوغبار نیمه غربی کشور یکی در مرز بین سوریه و عراق و دیگری در غرب و جنوب غربی عراق است که از دو مسیر عمده‌ی شمال غربی- جنوب شرقی و غربی- شرقی به کشور وارد می‌شوند. توزیع زمانی و فضایی توفان‌های گردوغبار در آسیای مرکزی طی هفت دهه گذشته (ایندویتو و همکاران، ۲۰۱۲) نشان می‌دهد که منابع فعال تولید گردوغبار عمدتاً در بیابان‌های ماسه‌ای و دیگر قسمت‌های بیابان که نسبت به فعالیت‌های بشری حساس است قرار دارد. در یک پژوهش اقلیمی متوسط مقیاس در ایالت یوتا[9] امریکا، عوامل تولید و انتقال گردوغبار توسط نیکل و هاهنن برگر (۲۰۱۲) بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که میانگین سالانه روزهای غباری ۴/۷ روز در سال و بیشتر در فصل بهار و در ساعات بعدازظهر بوده است؛ اما عامل آغاز و انتقال گردوغبار و توفان یک سیکلون در حال تقویت است که از منطقه سیرانوادا به‌عنوان محل سیکلون‌زایی آغاز می‌شود. این چرخه‌های سیکلونی بادهای قوی جنوب غربی را در شرق حوضه بزرگ یوتا تولید می‌کنند که زمینه ایجاد گردوغبار است. همچنین چشمه‌های تولید گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس شناسایی شده است. فراوانی و خصوصیات طولانی-مدت رخداد گردوغبار در ایسلند توسط داگسون و همکاران (۲۰۱۳) بررسی شد.

9- Utah

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

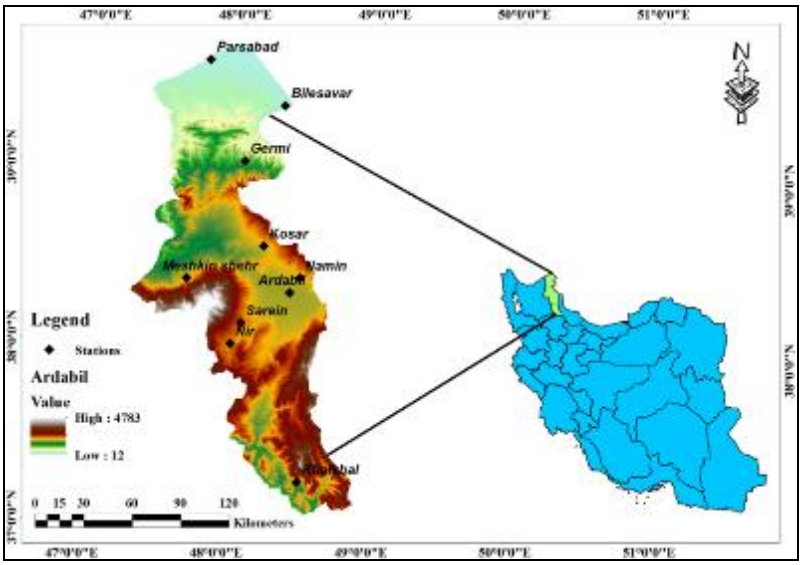
محمدی و همکاران (۲۰۱۴) به ردیابی توفان‌های گردوغباری رخداده با استفاده از مدل HYSPLIT در تهران پرداختند. بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که وجود سیستم پرفشار بر فراز عربستان و شکل‌گیری سیستم کم‌فشار در شمال ایران و خزر عامل اصلی تشکیل این توفان‌ها می‌باشد. همچنین منشأ توفان‌های گردوغباری رخداده در تهران را محدوده‌ای در حد فاصل بین کشورهای عراق، سوریه و عربستان می‌دانند. فلاوناس و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی تأثیر سیکلون بر حمل ذرات گردوغبار بر فراز منطقه مدیترانه پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از تأثیر ۲۰ درصدی سیکلون‌ها در مجموع رخدادهای گردوغباری و تأثیر بالاتر از ۷۰ درصدی سیکلون‌های جوی در توفان‌های گردوغباری شدید دارد. زینالی و اصغری (۲۰۱۶) توفان‌های گردوغباری رخداده در ایران را طی ۲۶ سال موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد منشأ توفان‌های گردوغباری ایران مناطق خشک و بیابانی کشورهای عراق و عربستان می‌باشد.

همچنین از دیگر تحقیقات انجام شده پیرامون توفان‌های گردوغبار در کشور ایران می‌توان به کارهای لشکری (۲۰۰۲) در تحلیل آماری- همدیدی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی، خسروی (۲۰۱۰) در بررسی جهت جریانات باد در سطوح مختلف جو در هنگام وزش بادهای صدوبیست روزه سیستان، علیجانی (۲۰۱۱) در تحلیل آماری- همدیدی توفان گردوخاک در جنوب شرق ایران، کرمی و همکاران (۲۰۱۱) در شناسایی خاستگاه توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، ذوالفقاری و عابدزاده، (۲۰۰۵) و ذوالفقاری (۲۰۱۱) در بررسی الگوهای همدیدی گردوغبار در نیمه غربی کشور، اشاره کرد. پژوهش پیش‌رو در جهت تحلیل سینوپتیک و منشأیابی توفان‌های گردوغباری و ذرات حمل شده به استان اردبیل انجام شده است. با توجه به اهمیت این پژوهش و اثرات غیرقابل‌انکار ریزگردها و نبود پژوهشی در راستای ارزیابی شرایط سینوپتیکی و الگوهای تأثیرگذار بر شکل-گیری توفان‌های گردوغبار و منشأیابی دقیق ذرات حمل شده، انجام پژوهش موردنظر امری ضروری تلقی می‌شود.

داده‌ها و روش پژوهش

استان اردبیل در شمال غرب ایران با مساحتی معادل ۱۷۹۵۰ کیلومترمربع (۱/۱ ٪ از مساحت کشور) قرار دارد. همچنان که در شکل (۱) نشان داده شده است، این استان از لحاظ جغرافیایی در ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در شمال غرب ایران واقع شده و این گستردگی در محور عرض جغرافیایی، همراه با عامل ارتفاع دشت‌ها و کوهستان‌های آن در ترکیبی هماهنگ با هم‌جواری دریای خزر، موقع خاصی به استان بخشیده است. سیمای طبیعی استان اردبیل با سایر نواحی فلات آذربایجان تفاوت زیادی دارد. این استان بخشی از فلات مثلثی شکل ایران در شرق فلات آذربایجان بوده که حدود ۲/۳ آن دارای بافت کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد و بقیه را مناطق هموار و پست تشکیل می‌دهند (قویدل رحیمی، عالی جهان و اوجی، ۱۳۹۴: ۲۱۲).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]



شکل (۱). نقشه استان اردبیل و ایستگاه‌های موردبررسی

برای انجام دادن این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به توفان‌های گردوغبار استان اردبیل از سازمان هواشناسی کل استان اردبیل اخذ شد. از کدهای ۳۰ تا ۳۵ سازمان هواشناسی مبنی بر رخداد توفان‌های گردوغبار طی بازه زمانی ۳۴ ساله (از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۳) استفاده گردید. لازم به ذکر است که کدهای ۳۰ تا ۳۵ مربوط به توفان‌های گردوغباری محلی به ترتیب ضعیف تا شدید می‌باشد (سازمان هواشناسی جهانی، گودی، ۲۰۰۶: ۸) ولی در این مطالعه برای تشخیص توفان‌های گردوغباری (محلی و فرامحلی) از فاکتور قدرت دید افقی ۱۰۰۰≤ متر برای همه کدهای هواشناسی گردوغبار استفاده شده است (گودی، ۲۰۰۶: ۴؛ مک تینش و پیت بلادو، ۱۹۷۸: ۴۱۵؛ سازمان هواشناسی جهانی WMO؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۱:۲۶۸؛ ذوالفقاری و عابدزاده،۱۳۸۴: ۱۷۸). در این تحقیق روز گردوغباری روزی می‌باشد که طی ۸ بار دیده‌بانی عناصر جوی در شبانه‌روز حداقل یک‌بار در هر ایستگاه گزارش شود و اگر در یک روز معین، گردوغبار چندین بار در طی هشت بار دیده‌بانی شبانه‌روزی عناصر جوی مشاهده گردد، ساعتی که کمترین دید افقی را به همراه داشت به‌عنوان روز گردوغباری انتخاب گردید.

با توجه به داده‌های اخذشده از سازمان هواشناسی کل استان اردبیل طی ۳۴ سال بازه زمانی مورد مطالعه ۵۳ روز شناسایی شد که پدیده توفان گردوغبار در این روزها در استان اردبیل به وقوع پیوسته است. جهت انجام این پژوهش از تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در استان اردبیل استفاده به عمل آمد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های موردبررسی در شکل (۱) و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) به‌وضوح توضیح داده شده است. با توجه به داده‌های اخذشده می‌توان گفت بیشترین رخداد توفان‌های گردوغبار مربوط به ایستگاه‌های اردبیل، مشکین‌شهر و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

نمین هرکدام به ترتیب با تعداد ۳۸، ۱۳ و ۲ توفان می‌باشد. در صورتی‌که در سایر ایستگاه‌های موردبررسی به‌هیچ‌وجه توفان گردوغبار به ثبت نرسیده است شکل (۲).

جدول (۱). ایستگاه‌های مورد مطالعه

Row	Station	Code(INT)	Lon	Lat	Altitude
1	Ardabil	88107	48.25	38.20	1316.4
2	Parsabad	40700	47.46	39.36	72.6
3	Khalkhal	40717	48.32	37.17	17.37
4	Meshkin shehr	40705	47.41	38.23	1561
5	Germi	40714	48.03	39.03	749
6	Bilesavar	99202	48.19	39.22	101.4
7	Namin	99232	48.29	38.25	1479.4
8	Nir	99233	48.01	38.02	1593
9	Kosar	99263	48.13	38.35	1185.7
10	Sarein	99231	48.05	38.09	1658.3

سپس برای الگوبندی و استخراج الگوهای سطوح فوقانی جو، داده‌های مربوط به ارتفاع ژئوپتانسیل از تارنمای مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP)[۱۰] اخذ شد. برای انجام دادن این پژوهش، از روش محیطی به گردشی استفاده شد؛ به این صورت که ابتدا بر اساس داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک استان اردبیل، توفان‌های گردوغبار رخداده شناسایی شد و سپس با استفاده از خوشه‌بندی به استخراج و شناسایی الگوهای سطوح فوقانی جو که به رخداد این پدیده منجر شدند، اقدام شد. برای طبقه‌بندی و استخراج الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، انواع روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی آزمایش شد و درنهایت، براساس نتایج روش خوشه‌بندی وارد با فاصله اقلیدسی، بهترین روش شناخته شد و نتایج آن در پژوهش پیش‌رو منعکس شد. برای ترسیم نقشه الگوها ابتدا نقشه‌های روزهای پژوهش با برنامه‌نویسی در محیط گردس[۱۱] به داده‌های رقومی تبدیل شد و پس از خوشه‌بندی، به نرم‌افزار Surfer منتقل شد و درنهایت، با استفاده از روش کریجینگ، میان‌یابی شد و آنگاه نقشه‌ها ترسیم شد.

بعد از استخراج و ترسیم و تحلیل الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جهت تحلیل‌های سینوپتیک و بررسی دقیق نحوه رخداد توفان‌های گردوغبار و منشأ یابی آن با استفاده از روش همبستگی یک روز از هر الگوی جوی که دارای بیشترین ارتباط و نزدیک‌ترین همبستگی با الگوی استخراجی را داشت انتخاب گردید. سپس به‌صورت دقیق از نظر سینوپتیکی موردبررسی قرار گرفت.

12. www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalisis
11. GrADS

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

خوشه‌بندی سلسله مراتبی

روش کار الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، ادغام نزدیک‌ترین خوشه‌ها در روش پایین به بالا (خوشه‌بندی تجمعی) یا تقسیم خوشه‌ها در داخل خوشه‌های مجزا در روش بالا به پایین (خوشه‌بندی شکافتی) است. در الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تجمعی، ابتدا هریک از الگوها در یک خوشه قرار می‌گیرند، سپس دو خوشه بسیار نزدیک به همدیگر، باهم ادغام می‌شوند و این فرایند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که یک خوشه شامل تمام الگوها تشکیل شود (راشدی و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۸۷).

در روش خوشه‌بندی وارد، با فرض اینکه N عنصر در خوشه وجود دارد، شروع با خوشه N که دقیقاً شامل یک عنصر است، جست‌وجوی ماتریس مشابه برای خوشه‌های جفت که بسیار شبیه همدیگرند و کاهش تعداد خوشه‌ها به یک خوشه از طریق ادغام خوشه‌های جفت که بسیار شبیه به همدیگرند صورت می‌گیرد. هدف روش وارد در هر مرحله از خوشه‌بندی، پیدا کردن کمترین افزایش مربع خطای درون‌گروهی در دو خوشه‌ای است که باهم ادغام می‌شوند (فاصله بین مرکز خوشه‌های ادغام شده است). مجموع مربع خطای درون‌گروهی $v_T(\mathrm{K})$ در یک مرحله با گروه‌های K، متغیرهای j و با وجود N_i عنصر در هریک از گروه‌ها، براساس رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$v_T(\mathrm{K}) = \sum_{k=1}^{K}\left(\sum_{j=1}^{J}\left(\sum_{i=1}^{N_i}\left((x_{ijk} - \bar{x}_{jk}(i))^2\right)\right)\right) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$\bar{x}_{jk}(i) = \frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N_i} x_{ijk}$$

$$\sum_{i=1}^{K} N_i = N$$

که در آن، x_{ijk} ارزش متغیر j ام، از مشاهده‌های i ام در گروه k ام و $\bar{x}_{jk}(i)$ میانگین ارزش درون‌گروهی است. فاصله اقلیدسی بین نقاط Z_i, Z_j برای نمونه N تا عنصر، مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$d^2_M(Z_i, Z_j) = (Z_i - Z_j)^T C^{-1}(Z_i - Z_j) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$C = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \bar{Z})(Z_i - \bar{Z})^T \quad , \mathrm{i, j} = 1, 2, \ldots, \mathrm{N}$$

در رابطه (۲)، $\bar{Z}$ به معنای میانگین است.

سپس برای تعمیم دادن فاصله‌های متغیرهای منطقه‌ای از رابطه (۳) استفاده می‌شود:

$$d^{۲}_{MG}\left(Z_i, Z_j\right)=\left(Z_i-Z_j\right)^T\left[C\left(\cdot\right)+C\left(h\right)\right]$$
$$\left(Z_i-Z_j\right), \mathrm{i, j}=۱,۲,\ldots,\mathrm{N}, (i\neq j)$$

رابطه (۳)

که در آن، $C(0)$ ماتریس واریانس- کوواریانس نمونه است و $C(h)$ ماتریس اتوکوواریانس با لاگ $h=\left\|Z_i-Z_j\right\|$ است. با استفاده از این رویکرد، مجموع تغییرپذیری برابر است با رابطه (۴):

$$V_T\left(K\right)=\sum_{k=۱}^{K}\left(\sum_{i,j\varepsilon C_k} d^{۲}_{MG}\left(Z_i, Z_j\right)\right)$$

رابطه (۴)

در هر مرحله، دو خوشه‌ای که متغیرهای ازدست‌رفته آن‌ها به کمترین حد رسید، با همدیگر ادغام می‌شوند. سپس مجموع متغیرها، با رابطه (۵) اندازه‌گیری می‌شود:

$$V_T\left(K-۱\right)=\sum_{k=۱}^{K-۱}\left(\sum_{i,j\varepsilon C_k} d^{۲}_{MG}\left(Z_i, Z_j\right)\right)+\sum_{i,j\varepsilon C_{(k_۱,k_۲)}} d^{۲}_{MG}\left(Z_i, Z_j\right), k\neq k_۱, k_۲$$

رابطه (۵)

و متغیرهای ازدست‌رفته نیز با رابطه (۶) محاسبه می‌شود (هرواداسالا و خراوتا براقولات، ۲۰۰۴: ۸۸۲).

$$\Delta V\left(K, K-۱\right)=V_T\left(K-۱\right)-V_T\left(K\right)$$

رابطه (۶)

مدل HYSPLIT

جهت تعیین منابع اصلی گردوغبار برای توفان گردوغبار مورد مطالعه از مدل لاگرانژینی یا امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT استفاده شد (علی آبادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ دراکسلر و رولپ، ۲۰۱۱؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). در هواشناسی دینامیک و به‌طریق‌اولی در مکانیک سیالات دو رهیافت اصلی در مطالعه سیالات وجود دارد. رهیافت اویلری و رهیافت لاگرانژی (لاگرانژینی). در چارچوب لاگرانژی بسته‌هوا به‌مثابه یک حباب فرضی است که آن را در هنگام حرکت در اتمسفر دنبال می‌کنیم (قالهری، ۲۰۱۴). مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه برای محاسبات حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای پف و ذرات است (دراکسلر و حسس، ۱۹۹۸؛ دراکسلر و رولپ، ۲۰۱۱). ازآنجایی‌که رهیافت لاگرانژینی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژینی این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت آینده (روش Forward) و یا به سمت زمان‌های گذشته (روش Backward) ردیابی نمایند. برای مسیریابی پسگرد، ذرات در ایستگاه‌های استان اردبیل در زمان اوج هر یک از توفان‌های گردوغبار در نظر گرفته شد. در این مطالعه ذرات در سطح ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از سطح زمین در حد فاصل زمانی ۶ ساعته تا ۴۸ ساعت قبل ردیابی شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) درواقع داده‌های NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرارگرفته است. این داده‌ها با قدرت تفکیک ۱*۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰ – ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می‌باشند. داده‌های FNL (Final) از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی (GDAS) برای تهیه داده‌های ورودی سیستم خود استفاده می‌کنند. خود سامانه GDAS نیز از جمع‌آوری داده‌های مشاهداتی سراسر جهان با استفاده از سامانه ارتباطات از راه دور (GTS) و سایر منابع که به‌صورت بی‌وقفه جمع-آوری می‌گردد تشکیل می‌شود. در نهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز پیش‌بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی (GFS) استفاده می‌کند تولید می‌گردد (استوندر، ۱۹۹۷).

بحث و نتایج

از بین ایستگاه‌های موردبررسی در سطح استان اردبیل توفان‌های گردوغبار فقط در ۳ ایستگاه از مجموع ۱۰ ایستگاه موجود در سطح استان مشاهده شد که ازاین‌بین ایستگاه اردبیل با ۳۸ روز رخداد توفان دارای بیشترین تعداد و شهرستان‌های مشکین‌شهر و نمین هرکدام با ۱۳ و ۲ روز توفانی در رده‌های بعدی از این نظر قرار دارند شکل (۲). جدول (۲) روزهای توأم با توفان گردوغبار را در ایستگاه‌های موردبررسی در استان اردبیل از سال ۱۹۷۹ تا سال ۲۰۱۳ میلادی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور می‌توان گفت در طول بازه زمانی موردبررسی مجموعاً ۵۳ توفان گردوغبار در ایستگاه‌های استان اردبیل به ثبت رسیده است. از مجموع ۵۳ روز توأم با روزهای گردوغباری، توفان‌هایی که یک‌روزه نبوده و چندین روز در منطقه تداوم داشت فقط یک روز از آن به‌عنوان روز نماینده انتخاب شد تا مورد خوشه‌بندی قرار بگیرد. در نهایت ۲۴ روز از بین روزهای توأم با توفان‌های گردوغباری جهت خوشه‌بندی و استخراج الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل انتخاب گردید.

Table 2: Stations, date and time of dust storm event in Ardabil province in 1979 to 2013 Year.

Row	Time	Data	Stations	Row	Time	Data	Stations
1	6:00	11/7/1979	Ardebil	27	9:00	1/20/2007	Ardebil
2	12:00	1/29/1984	Ardebil	28	12:00	1/20/2007	Ardebil
3	9:00	12/31/1986	Ardebil	29	15:00	1/20/2007	Ardebil
4	9:00	2/25/1987	Ardebil	30	9:00	1/28/2007	Ardebil
5	9:00	4/12/1990	Ardebil	31	9:00	1/28/2007	Ardebil
6	12:00	5/2/1990	Ardebil	32	12:00	1/28/2007	Ardebil

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

7	12:00	10/14/1990	Ardebil	33	15:00	1/28/2007	Ardebil
8	6:00	12/5/1990	Ardebil	34	21:00	1/28/2007	Meshkinshahr
9	6:00	4/19/1993	Ardebil	35	0:00	1/29/2007	Ardebil
10	9:00	11/8/1995	Meshkinshahr	36	0:00	1/29/2007	Meshkinshahr
11	12:00	11/8/1995	Meshkinshahr	37	3:00	1/29/2007	Meshkinshahr
12	15:00	11/8/1995	Meshkinshahr	38	3:00	1/29/2007	Ardebil
13	12:00	2/23/2001	Ardebil	39	12:00	3/25/2008	Ardebil
14	0:00	2/16/2004	Ardebil	40	15:00	3/25/2008	Ardebil
15	6:00	3/6/2004	Meshkinshahr	41	9:00	1/1/2009	Meshkinshahr
16	9:00	3/6/2004	Ardebil	42	21:00	3/14/2009	Ardebil
17	9:00	3/6/2004	Meshkinshahr	43	3:00	1/3/2010	Meshkinshahr
18	12:00	3/6/2004	Ardebil	44	9:00	1/4/2010	Meshkinshahr
19	12:00	3/6/2004	Ardebil	45	3:00	2/16/2010	Ardebil
20	12:00	3/6/2004	Meshkinshahr	46	9:00	3/16/2010	Ardebil
21	15:00	3/6/2004	Ardebil	47	9:00	3/16/2010	Namin
22	15:00	3/6/2004	Ardebil	48	9:00	3/16/2010	Ardebil
23	12:00	10/10/2004	Ardebil	49	12:00	3/16/2010	Ardebil
24	12:00	3/9/2005	Ardebil	50	15:00	3/16/2010	Ardebil
25	12:00	10/2/2006	Ardebil	51	18:00	10/8/2012	Ardebil
26	6:00	1/20/2007	Ardebil	52	9:00	3/4/2013	Meshkinshahr
				53	9:00	10/19/2013	Namin

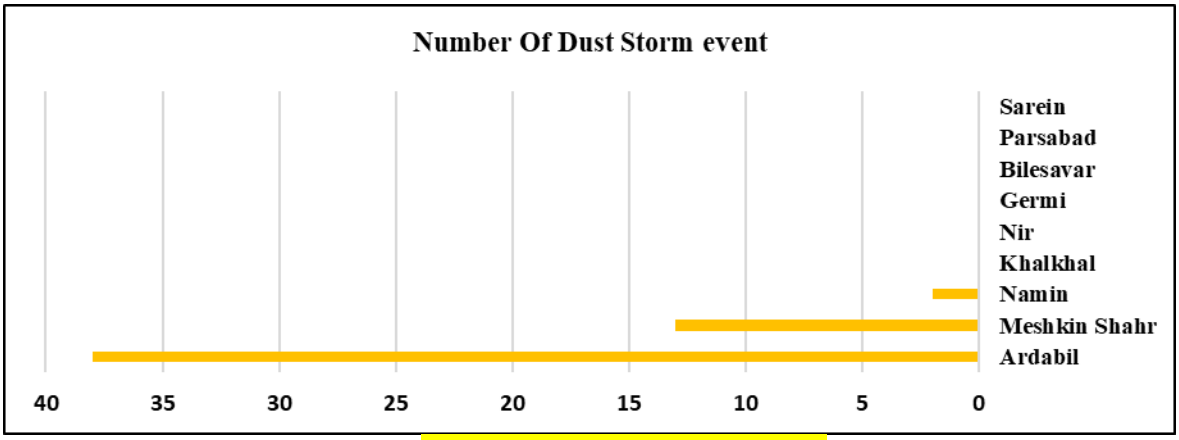


Fig 2. Graph of Number of dust storm

جهت شناسایی الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال توفان‌های گردوغبار رخداده در استان اردبیل ابتدا داده‌های مربوط به ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای توأم با گردوغبار استخراج شد. سپس با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی و با بهره‌گیری از روش فاصله اقلیدسی خوشه‌بندی انجام شد. در نهایت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

با توجه به نتایج حاصل شده از نمودار دندروگرام با یک برش ۳ خوشه‌ای الگوهای منجر به رخداد توفان‌های گردوغبار استخراج گردید. نتایج حاصل شده از خوشه‌بندی در شکل (۳) و جدول (۳) ذکر گردیده است.

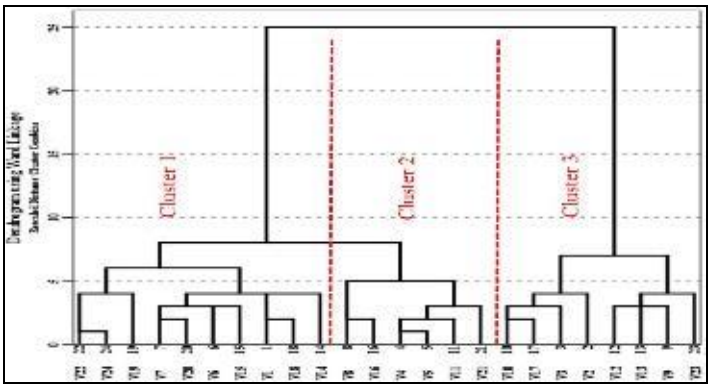


Fig 3. Dendrogram

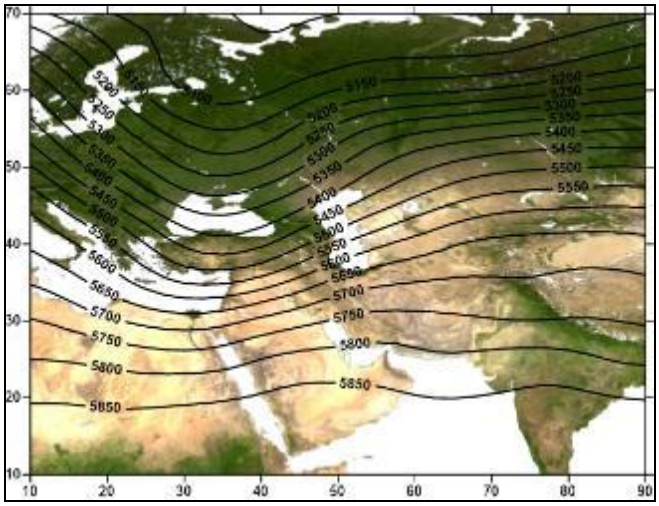
Table 3. Clusters

Cluster 1			Cluster 2			Cluster 3		
Day	VB(M)	WS(M/S)	Day	VB(M)	WS(M/S)	Day	VB(M)	WS(M/S)
28Jan2007	900	15	19Apr1993	800	25	19Oct2013	1000	17
29Jan2007	200	10	7Nov1979	500	-	8Oct2012	300	25
25Feb1987	800	20	9Mar2005	800	25	12Apr1990	800	25
5Dec1990	800	30	3Jan2010	1000	25	14Mar2009	800	18
4Mar2013	900	25	4Jan2010	1000	9	8Nov1995	900	16
1Jan2009	400	10	-	-	-	29Jan1984	800	5
16Mar2010	700	22	-	-	-	2May1990	800	25
-	-	-	-	-	-	2Oct2006	800	11

الگوی شماره ۱

الگوی اول ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیانگر وقوع ناوه عمیقی است که از شمال اروپای مرکزی شکل‌گرفته و تا وسط دریای سرخ امتداد دارد. ناوه مذکور در مسیر جریانی خود از روی مناطق بیابانی و خشک عراق و سوریه عبور کرده و وارد منطقه مورد مطالعه می‌شود. قرارگیری منطقه مورد مطالعه در شرق ناوه مذکور آب‌وهوای متفاوتی را به آن می‌بخشد. چراکه شرق ناوه محل حداکثر جریانات چرخندگی مثبت بوده و جریان هوا به‌صورت پادساعت‌گرد و کاملاً صعودی می‌باشد. با عبور فرودهای ناوه مذکور از روی مناطق کویری و بیابانی و جذب ذرات گردوغبار با حرکت پادساعت‌گرد و سیکلونی ذرات جذب‌شده را با خود حمل کرده و به‌صورت وسیع وارد مناطق غربی ایران و شمال غرب آن کرده است شکل (۴).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]



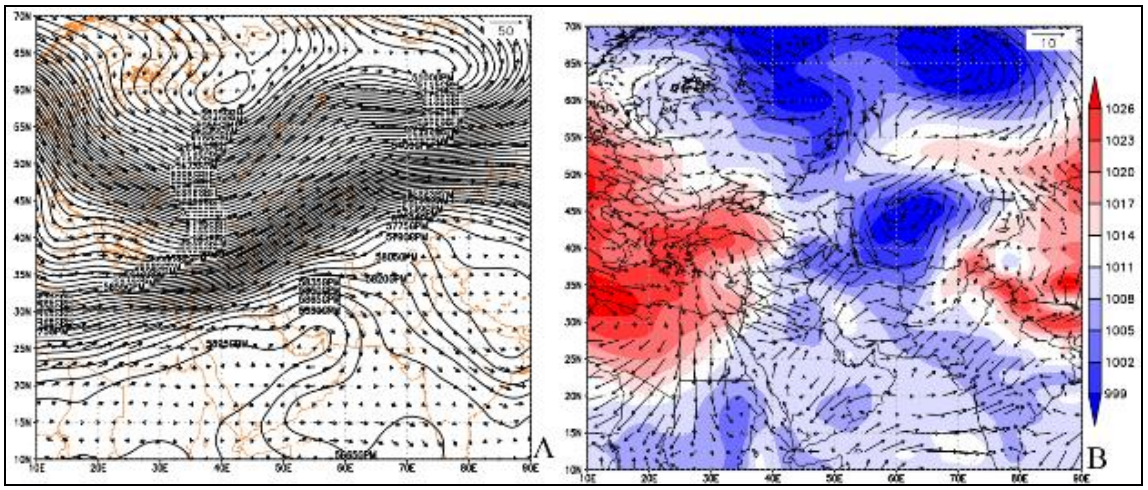
شکل (۴). الگوی شماره ۱ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال توفان‌های گردوغباری استان اردبیل

از روز ۱۶ مارس سال ۲۰۱۰ به‌عنوان روز نماینده الگوی اول جهت تحلیل‌های سینوپتیکی استفاده به عمل آمد. نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همراه با جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال اثبات‌کننده الگوی مستخرج می‌باشد. در این روز ناوه عمیقی از شمال اروپای مرکزی شکل‌گرفته و منطقه مورد مطالعه دقیقاً در شرق ناوه مذکور که محل حداکثر جریانات واگرایی و صعودی می‌باشد قرارگرفته است. فشردگی خطوط کنتوری بر فراز کشورهای اردن، سوریه، عراق و شمال غرب ایران بیانگر شیو شدید فشاری و جریان باد شدید و آشفتگی جوی در این مناطق دارد که جریان باد شدید بر فراز آن (۳۰ متر بر ثانیه) گواهی به این مدعاست. حاکمیت این الگوی جوی منجر به جذب گردوغبار و در نهایت حمل و انتقال آن به مناطق شمال غرب ایران و مخصوصاً استان اردبیل شده است.

نقشه ترکیبی فشار سطح زمین و جریان باد نشانگر حاکمیت سیستمی کم‌فشار بر فراز منطقه مورد مطالعه و سیستمی پرفشار بر فراز اروپای مرکزی، ترکیه و شمال آفریقا دارد. در این روز یک هسته به‌شدت کم‌فشار با فشاری کمتر از ۹۹۹ هکتوپاسکال بر فراز کشورهای قزاقستان، ازبکستان و قرقیزستان و بخشی از شمال شرق ایران شکل‌گرفته که به‌عنوان مکنده شدید هوای اطراف ایفای نقش می‌کند. از طرفی هسته کم‌فشار نه‌چندان قوی در شرق عراق شکل‌گرفته است که در تقابل با سیستم بسیار پرفشار اروپای مرکزی و سیستم‌های پرفشارتر اطراف قرار دارد و نقش مکش هوا از این سیستم‌های پرفشار را دارد. در نتیجه فرآیند ذکرشده برشدت جریانات سیکلونیک در منطقه خشک و بیابانی افزوده‌شده در نهایت با حرکت پادساعت‌گرد خود منجر به جذب گردوغبار از سطح زمین و نهایتاً با حرکت همگرایی خود منجر به انتقال آن به جو شده است. از طرفی وجود سیستم به‌شدت کم‌فشار در کشورهای شرقی حاشیه دریای خزر منجر به مکش شدید هوای اطراف به مرکز سیستم سیکلونی شده و هوای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

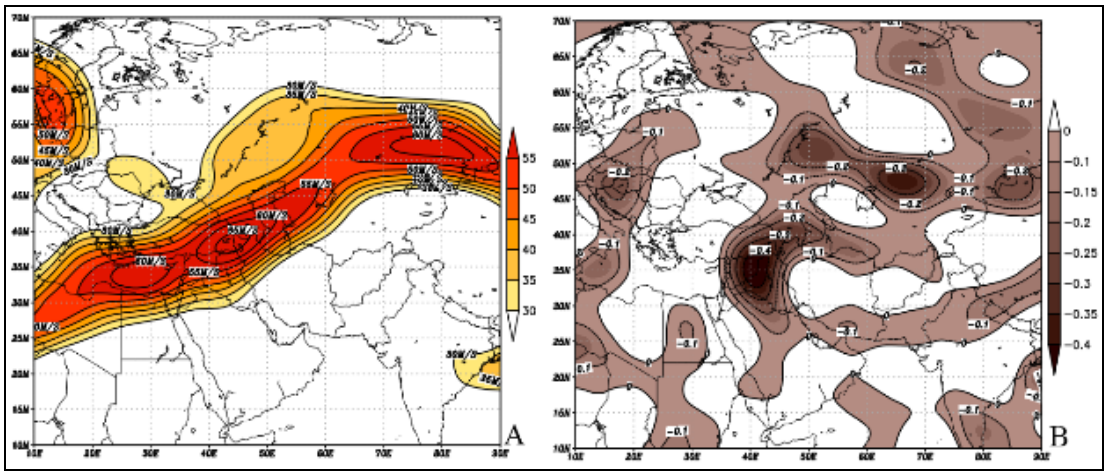
غبارآلود شکل‌گرفته بر فراز کشور عراق را به سمت نواحی شمال غربی و شمالی کشور ایران که منطقه مورد مطالعه را هم شامل می‌شود، کرده است شکل (۵).



شکل (۵). نقشه ترکیبی جریان باد و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف) و نقشه ترکیبی جریان باد و فشار سطح زمین (ب) روز ۱۶ مارس سال ۲۰۱۰ میلادی

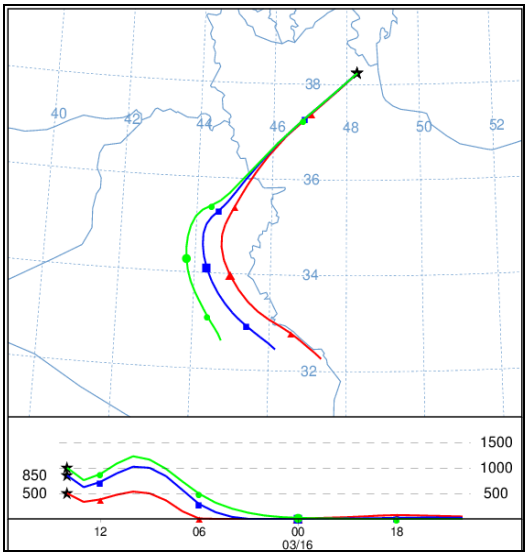
وجود این الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل و فشار سطح زمین در روز شاخص بیانگر وجود تنش فشاری بسیار شدید بر فراز منطقه مورد مطالعه و انتقال گردوغبار از کشور عراق به سمت منطقه مورد مطالعه دارد. نقشه امگا، رودباد و نمودار هایسپلیت گفته‌های مذکور را اثبات می‌کند. در این روز رودباد بسیار وسیعی با سرعتی بیش از ۶۰ متر بر ثانیه منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف را درنوردیده که برشدت ناپایداری‌های منطقه و انتقال گردوغبار از کشور همسایه به منطقه مورد مطالعه را افزوده است. مخصوصاً قرارگیری منطقه واگرایی رودباد بر روی استان اردبیل تنش حاصل شده را دوچندان کرده است. از طرفی در این روز وضعیت امگای جو بر فراز منطقه مورد مطالعه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کاملاً منفی می‌باشد. منفی بودن امگا نشان از جریانات صعودی و سیکلونیک جو دارد. قرارگیری هسته مرکزی امگا بر روی کشورهای عراق و سوریه و کشیده شدن آن بر روی استان اردبیل منجر به جذب و حمل ذرات گردوغبار از کشور عراق شده است شکل (۶).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]



شکل (۶). نقشه رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۶ مارس سال ۲۰۱۰ میلادی

نمودار هایسپلیت این روز شاخص در ترازهای ۵۰۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به‌خوبی منشأ شکل‌گیری و انتقال ذرات گردوغبار را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار در تمامی ترازهای ذکرشده منشأ ذرات گردوغبار از مناطق شرقی کشور عراق به استان اردبیل بوده است. با جذب ذرات گردوغبار از جنوب شرق عراق و گذر این سیستم جوی از شرق و شمال شرق کشور عراق منجر به‌شدت یافتن و جذب هر چه بیشتر ذرات معلق شده و نهایتاً مناطق شمال غربی و غربی کشور ایران را تحت تأثیر قرار داده است؛ که دقیقاً شرایط جوی حاکم در این روز و این الگوی جوی را تفسیر و تحلیل می‌کند و گواهی بر شرایط جوی حاکم و مسیر انتقالی ذرات گردوغبار بر منطقه مورد مطالعه دارد شکل (۷).

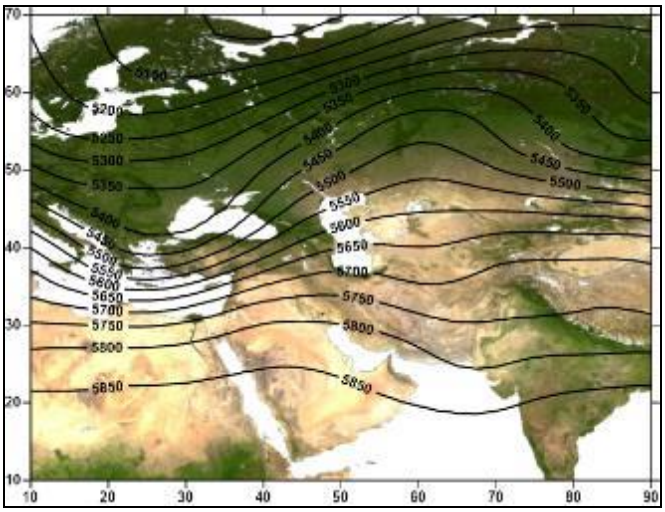


شکل (۷). نمودار هایسپلیت روز ۱۶ مارس سال ۲۰۱۰ میلادی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

الگوی شماره ۲

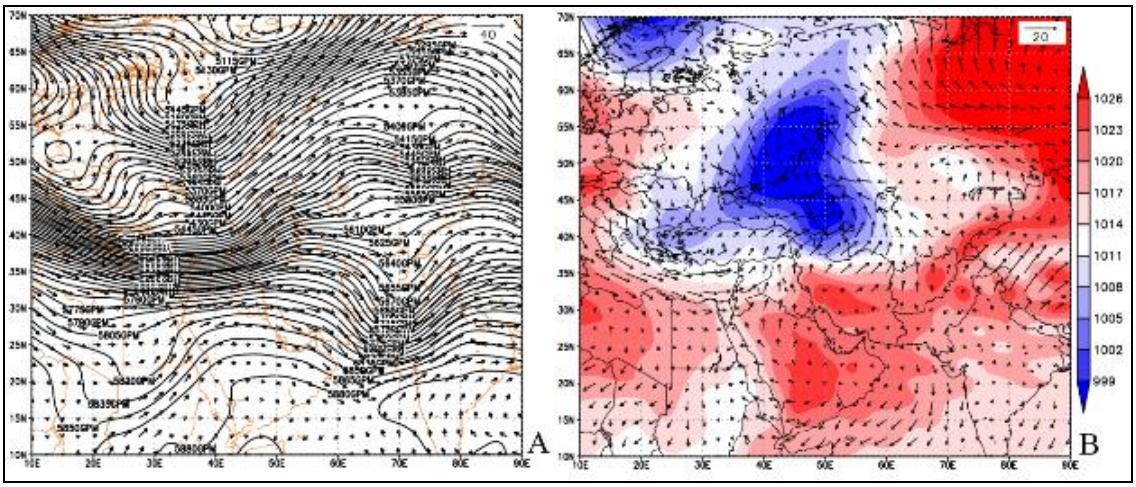
الگوی شماره ۲ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال توفان‌های گردوغبار استان اردبیل شباهت زیادی به الگوی اولیه دارد. با تفاوت اینکه محور فرود در این الگوی جوی از میانه دریای مدیترانه عبور پیدا می‌کند. در این الگوی جوی منطقه مورد مطالعه دقیقاً در شرق ناوه شکل‌گرفته قرارگرفته است. جایی که محل حداکثر جریانات صعودی هوا بوده و حداکثر اغتشاشات جوی در این منطقه صورت می‌پذیرد. با عبور ناوه مذکور از روی کشور عراق و سوریه و قرارگیری این مناطق دقیقاً در محل حداکثر جریانات چرخندگی مثبت ناوه، منجر به جذب ذرات گردوغبار از این مناطق شده و نهایتاً با عبور آن از روی منطقه مورد مطالعه آسمانی غبارآلود و سرشار از ریزگرد را برای آن ایجاد کرده است شکل (۸).



شکل (۸). الگوی شماره ۲ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال توفان‌های گردوغباری استان اردبیل

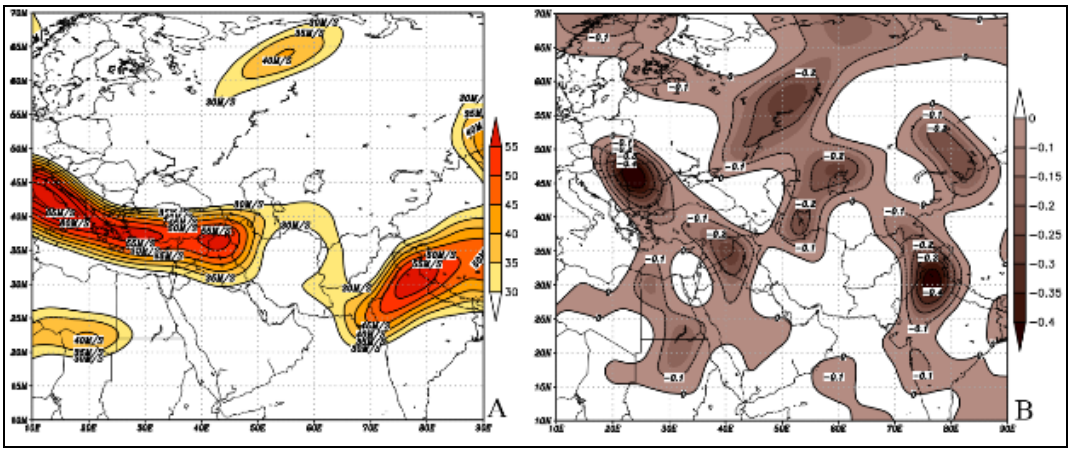
شرایط ذکرشده در نقشه شکل (۹) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز شاخص (۳ ژانویه سال ۲۰۱۰) الگوی مذکور مشخص می‌باشد که در فرود شکل‌گرفته بر روی مدیترانه، ترکیه، سوریه، اردن به‌شدت دارای خطوط کنتوری فشرده می‌باشد که نشان از شیوفشاری و جریان باد شدید در این منطقه دارد. با گذر فرود مذکور از روی سرزمین‌های خشک عراق، سوریه و جذب ذرات گردوغبار و حمل آن به اتمسفر در مسیر گذری خود به کشور ایران و نهایتاً استان اردبیل رسیده و منجر به رخداد پدیده توفان گردوغبار در این منطقه شده است. نقشه جریان باد و فشار سطح زمین این روز توفانی نیز نشان‌دهنده انتقال ذرات گردوغبار از کشورهای غربی و جنوب‌غربی ایران به سمت منطقه مورد بررسی دارد. در این روز پدیده‌ای که دیده می‌شود شکل‌گیری سیستمی بسیار کم‌فشار بر فراز دریای خزر و روسیه و ترکیه و تسلط سیستم پرفشار بر نواحی جنوبی ایران، عربستان، عراق، شمال‌شرق آفریقا می‌باشد. شکل‌گیری چنین سیستمی به معنای مکش هوای نواحی جنوبی و جنوب‌غربی کشورهای همسایه به سمت منطقه یا به عبارتی جریان هوا از سمت پرفشارهای شکل‌گرفته بر فراز استان اردبیل می‌باشد شکل (۹).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]



شکل (۹). نقشه ترکیبی جریان باد و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف) و نقشه ترکیبی جریان باد و فشار سطح زمین (ب) روز ۳ ژانویه سال ۲۰۱۰ میلادی

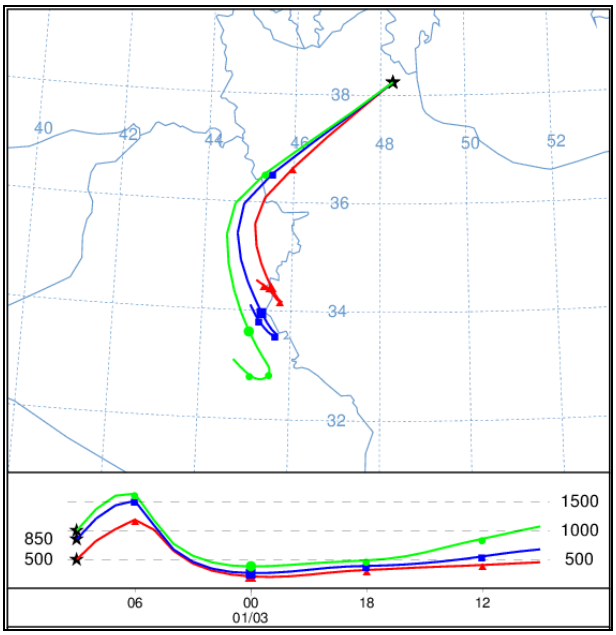
کم‌فشار شکل‌گرفته بر شمال کشور ایران به‌عنوان سیستمی مکنده عمل کرده و منجر به مکش هوای پرفشارها به خود شده است. با توجه به شیو فشار زیاد ۲۰ هکتوپاسکالی در حد فاصل بین این دو سیستم بر شدت ناپایداری‌ها و جریانات همگرایی سطح زمین افزوده‌شده و با عبور از روی سرزمین‌های خشک عربستان و عراق که فاقد رطوبت هستند، ذرات گردوغبار جذب‌شده با جریانات همگرایی سطحی به‌شدت صعود پیداکرده و وارد کشور ایران و منطقه مورد مطالعه شده است. وجود رودباد قوی و استقرار آن بر فراز منطقه و منفی بودن امگا در این روز گواهی بر ناپایدار بودن جو در این روز توفانی دارد. وجود رودباد جوی در منطقه مورد مطالعه و منفی بودن امگا بر شدت ناپایداری‌ها افزوده و بر رخداد توفان گردوغبار در استان اردبیل بسیار تأثیرگذار بوده است شکل (۱۰).



شکل (۱۰). نقشه رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۳ ژانویه سال ۲۰۱۰ میلادی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

شکل (۱۱) نمودار هایسپلیت ردیابی توفان این روز را نشان می‌دهد. براساس نمودار مذکور در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منشأ ریزگردها منطقه جنوب غرب کشور یا شمال استان خوزستان می‌باشد که در سال‌های اخیر به دلیل سوء مدیریت‌های انجام شده و تغییرات اقلیمی بر میزان مناطق خشک این ناحیه افزوده‌شده است و یکی از منابع و منشأ ریزگردهای ایران شناخته می‌شود؛ اما در ترازهای ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال منشأ ریزگردها مناطق شرقی کشور عراق که هم‌مرز با ایران می‌باشد هست؛ که همانند الگوی قبلی تقریباً منشأ یکسانی را دارد. در هر دو الگو منشأ ریزگردها شرق کشور عراق می‌باشد با این تفاوت که در الگوی اول فاصله بیشتری با کشور ایران داشته و در الگوی دوم منشأ آن در داخل کشور ایران و نزدیک به مرز ایران می‌باشد. وجود این منشأ ریزگردی در این روز دور از انتظار نمی‌باشد. چراکه با توجه به سیستم‌های جوی حاکم در این روز شاخص و وجود شیوفشاری جنوبی - شمالی در این روز اختلاف فشار حاصل شده منجر به انتقال ریزگردها از این منطقه خشک و بیابانی به کشور ایران و منطقه مورد مطالعه شده است.



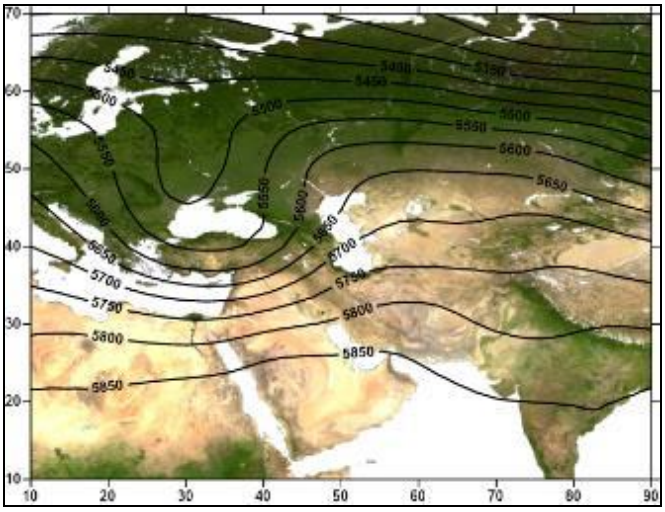
شکل (۱۱). نمودار هایسپلیت روز ۳ ژانویه سال ۲۰۱۰ میلادی

الگوی شماره ۳

الگوی شماره ۳ روزهای گردوغباری استان اردبیل متفاوت از دو الگوی قبلی می‌باشد. در این الگوی جوی پدیده‌ای که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ارتفاع ژئوپتانسیل به چشم می‌خورد رخداد بلوکینگ بریده کم‌فشار می‌باشد. بلوکینگ ذکر شده بر فراز اروپای مرکزی و دریای سیاه شکل‌گرفته است. به دنبال این بلوکینگ جوی ناوه‌ای عمیق از شمال

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

دریای سیاه تا شمال دریای سرخ شکل‌گرفته است. در این الگوی جوی منطقه مورد مطالعه دقیقاً در محل حداکثر جریانات صعودی و یا به عبارتی در قسمت شرق ناوه شکل‌گرفته یا جنوب شرق بلوکینگ قرارگرفته است. جایی که جریانات واگرایی و ناپایداری جوی در حداکثر ممکن خود قرار دارد. توده هوای عبور پیدا کرده در مسیر حرکت خود به سمت شرق رطوبت خود را تخلیه کرده و نهایتاً با ورود به مناطق خشک و بیابانی سوریه و عراق و جذب ذرات گردوغبار و حمل آن به اتمسفر با جریان پیدا کردن به سمت شرق نهایتاً وارد کشور ایران و منطقه مورد مطالعه شده است شکل (۱۲).

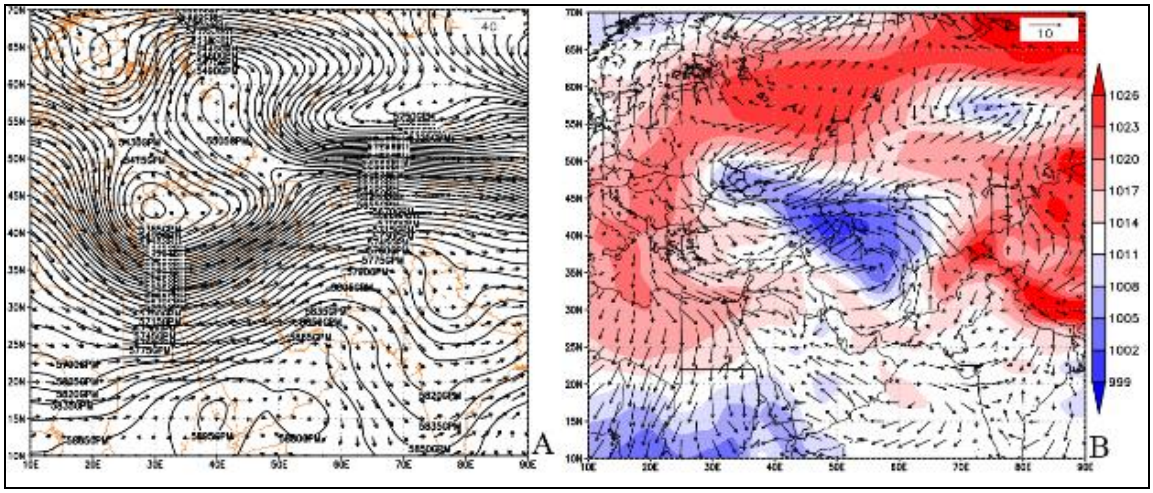


شکل (۱۲). الگوی شماره ۳ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال توفان‌های گردوغباری استان اردبیل

با نگاهی به نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز شاخص (۱۴ مارس سال ۲۰۰۹) الگوی مذکور پدیده بلوکینگ رخ‌داده در الگوی موردنظر به‌خوبی در این نقشه نیز قابل‌شناسایی می‌باشد. در این روز دقیقاً بر فراز دریای سیاه بلوکینگ بریده کم‌فشاری شکل‌گرفته است که ناوه حاصل از بلوکینگ مذکور تا نواحی جنوبی دریای سرخ هم کشیده شده است. قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق بلوکینگ مذکور هوایی بسیار متشنج را متحمل آن می‌کند. به‌عبارتی‌دیگر با عبور سامانه ناپایدار مذکور از فراز منبع رطوبتی مدیترانه منجر به جذب و حمل آن به سمت شرق سوی ناوه که محل حداکثر جریانات صعودی می‌باشد، می‌شود. این سامانه مذکور در مسیر عبوری خود رطوبت جذب‌شده خود را تخلیه کرده و با عبور از فراز کشورهای سوریه و عراق که مناطق خشک و بیابانی محسوب می‌شوند ذرات گردوغبار موجود را جذب کرده و به دلیل ماهیت سیکلونی سامانه با حرکت واگرایی به اتمسفر انتقال می‌دهد و با جریان پیدا کردن سامانه مذکور به سمت شرق وارد کشور ایران شده و پدیده گردوغبار را متحمل شهرهای شمال غربی ایران و مخصوصاً اردبیل کرده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

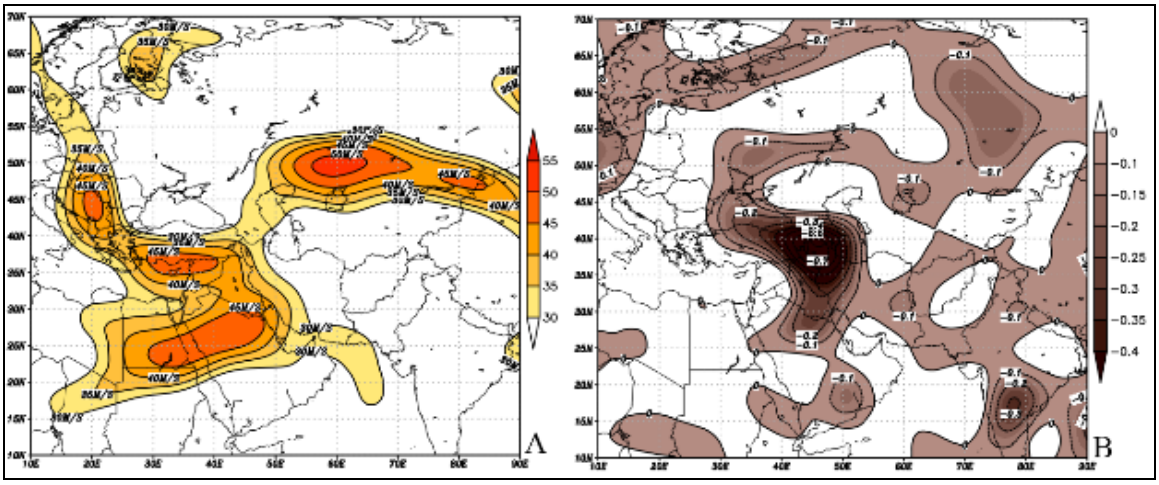
نقشه فشار این روز شاخص بیانگر شکل‌گیری سیستم کم‌فشاری با فشار هسته مرکزی کمتر از ۹۹۹ هکتوپاسکال بر فراز دریای خزر می‌باشد که نواحی شمالی کشور را هم تحت تأثیر قرار داده است. سیستم کم‌فشار ذکرشده دقیقاً در زیر ناحیه حداکثر جریانات واگرایی سطوح فوقانی در سمت چپ ناوه متشکل از بلوکینگ شکل‌گرفته است. شکل‌گیری این سامانه کم‌فشار منجر به مکش هوای سامانه‌های پرفشار شکل‌گرفته در اطراف سیستم کم‌فشار به سمت خود شده است. در این روز شاخص بخش‌هایی از نواحی شمال غربی ایران و غرب و جنوب غرب و کشورهای عراق و سوریه و شمال آفریقا و روسیه و ترکیه دارای سیستم پرفشار هستند. این اختلاف فشار و تنش فشاری حاصل شده بین سامانه کم‌فشار مستقر بر روی خزر و سیستم پرفشار نواحی اطراف منجر به ایجاد شیو فشاری شدید بین این سامانه شده و نهایتاً منجر به هدایت هوای این سامانه‌های پرفشار به سمت سامانه کم‌فشار شده است. با نگاهی به نقشه مذکور مکانیزم گفته شده کاملاً مشخص می‌گردد. اختلاف فشار حاصل شده منجر به مکش هوای کشورهای عراق و سوریه به منطقه شمال غرب کشور شده است. با شکل‌گیری این جریان هوا به دلیل ماهیت خشک و بیابانی بودن این مناطق جریان همگرایی شکل‌گرفته منجر به جذب ذرات گردوغبار از این مناطق شده و با حرکات دورانی خود این ذرات به اتمسفر منتقل‌شده و نهایتاً با جریان هوای شکل‌گرفته وارد کشور ایران و استان اردبیل شده است شکل (۱۳).



شکل (۱۳). نقشه ترکیبی جریان باد و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف) و نقشه ترکیبی جریان باد و فشار سطح زمین (ب) روز ۱۴ مارس سال ۲۰۰۹ میلادی

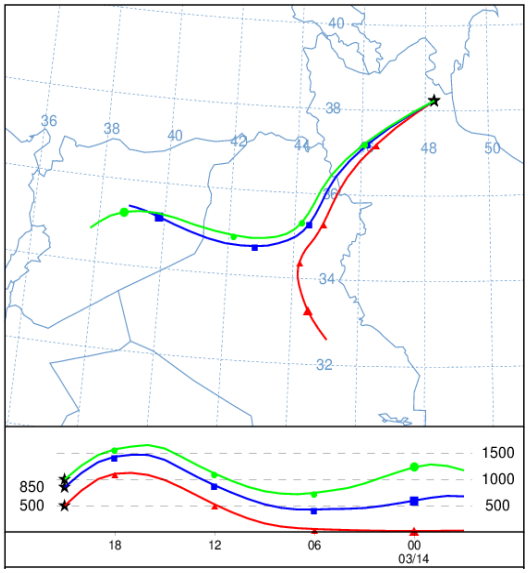
با نگاهی به نقشه‌های هایسپلیت، رودباد و امگای این روز توفانی تحلیل‌های نوشته‌شده به‌روشنی اثبات می‌گردد. در این روز بر فراز منطقه مورد مطالعه و کشورهای عراق و سوریه رودباد مستقر بوده که نشانگر وجود تنش فشاری شدید، جریان باد شدید که نقش تولید ناپایداری و انتقال ذرات گردوغبار را دارد، است. همچنین منفی بودن نقشه امگای این روز و قرارگیری هسته اصلی و مرکزی این امگای منفی دقیقاً بر فراز منطقه مورد مطالعه جوی بسیار ناپایدار به آن بخشیده و منجر به تشدید جریانات صعودی شده است شکل (۱۴).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]



شکل (۱۴). نقشه رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۴ مارس سال ۲۰۰۹ میلادی

نقشه هایسپلیت این روز توفانی در ترازهای، ۵۰۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال وجود دو منشأ متفاوت از ریزگردها را نشان می‌دهد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نواحی شرقی کشور عراق و در ترازهای ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نواحی داخلی کشور سوریه به‌عنوان منشأ اصلی توفان گردوغباری این الگوی جوی ردیابی شده است؛ که با توجه به الگوی جوی حاکم در این روز و سیستم‌های فشاری مسلط بر فراز اتمسفر منطقه مورد مطالعه ردیابی انجام‌گرفته دور از انتظار نمی‌باشد شکل (۱۵).



شکل (۱۵). نمودار هایسپلیت روز ۱۴ مارس سال ۲۰۰۹ میلادی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

نتیجه‌گیری

پژوهش پیش‌رو در جهت تحلیل و استخراج الگوهای جوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ردیابی و منشأ یابی رخداد توفان‌های گردوغبار استان اردبیل به انجام رسیده است. با توجه به آنالیزهای صورت گرفته و نتایج حاصل شده از مدل خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد، ۳ الگوی جوی منجر به رخداد توفان گردوغبار در استان اردبیل شناسایی شد. الگوهای شماره ۱ و ۲ توفان گردوغبار نشان از شکل‌گیری ناوه عمیقی از اروپای مرکزی تا نواحی مرکزی دریای سرخ می‌باشد. طی شکل‌گیری این الگوی جوی منطقه مورد مطالعه دقیقاً در ناحیه شرق ناوه مذکور و یا به عبارتی در محل حداکثر جریانات تاوایی مثبت، ناپایداری شدید و صعود سریع هوا قرا گرفته است. این الگوی مذکور با جریانات واگرایی شدید و متعاقب آن با جریانات همگرایی سطحی شدید ابتدا منجر به جذب و حمل ذرات گردوغبار از سرزمین‌های گذری خود (عراق و سوریه) شده و نهایتاً با چرخش پادساعت‌گرد خود ذرات جذب‌شده را به سطوح فوقانی انتقال داده و توسط جریان باد شکل‌گرفته در ترازهای فوقانی به سمت منطقه مورد مطالعه هدایت کرده است. در الگوی شماره ۳ جریان به نحو دیگری تفاوت پیدا می‌کند. در این الگوی جوی بر فراز دریای سیاه و اروپای مرکزی بلوکینگ بریده کم‌فشاری شکل‌گرفته و ناوه عمیقی به دنبال بلوکینگ مذکور تا دریای سیاه کشیده شده است. در این الگو منطقه مورد مطالعه در شرق ناوه شکل‌گرفته مذکور قرارگرفته است. با توجه به این الگو و گذر منحنی‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از روی کشورهای گرم و خشک و بیابانی (عراق و سوریه) و نهایتاً وارد شدن آن به شمال غرب ایران و منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت موج بادهای غربی در مسیر گذری خود با وجود ناپایداری شدید در شرق ناوه ذرات گردوغبار را از مسیر گذری خود و کشورهای عراق و سوریه جذب کرده و با حرکات سیکلونیک خود در شرق ناوه ذرات معلق را به ترازهای فوقانی جو انتقال داده و نهایتاً با وجود جریان بادهای شدید غربی – شرقی در این ناحیه منجر به انتقال این ذرات به منطقه مورد مطالعه شده است. شکل‌گیری الگوهای مذکور همراه با همراهی سایر شرایط جوی از قبیل مساعد بودن شرایط فشار سطح زمین، رودباد جوی و امگا منجر به تقویت شدید جریانات جوی شده و رخداد توفان‌های گردوغبار در این منطقه را سبب شده است.

در حالت کلی قرارگیری و تشکیل سیکلون بسیار کم‌فشار بر فراز دریای خزر و نواحی اطراف آن و شکل‌گیری پرفشار و استقرار سیستم‌های پرفشار بر روی کشورهای اروپای مرکزی، ترکیه، سوریه، عراق، مدیترانه و بخش‌هایی از شمال آفریقا منجر به شکل‌گیری شیو فشاری جنوب غربی – شمال شرقی شده و منجر به شکل‌گیری جریان هوا از پرفشارها به سمت کم‌فشارها گشته است. با توجه به اختلاف فشار شدید بین سیکلون‌ها و آنتی سیکلون‌ها بر شدت همگرایی بین این دو سامانه به‌شدت افزوده‌شده است. با شکل‌گیری جریان همگرایی بین این سامانه‌ها و گذر مسیر جریانی این سامانه از روی سرزمین‌های گرم و خشک و بیابانی سوریه و عراق با حرکات دورانی پادساعت‌گرد خود منجر به جذب ذرات گردوغبار و انتقال آن به جو شده و نهایتاً با شدت یافتن جریان باد شدید در سطوح فوقانی منجر به انتقال آن به مناطق شمال غربی ایران و منطقه مورد مطالعه شده است. وجود رودباد قوی در روزهای توفانی همراه با منفی بودن امگا شرایط جو از نظر ناپایداری را جهت جذب و حمل ذرات گردوغبار کاملاً

مهیا کرده است. با توجه به نتایج حاصل شده از منشأیابی توفان‌های گردوغبار استان اردبیل براساس آنالیزهای صورت گرفته می‌توان گفت در دو الگوی اول و دوم منشأ ریزگردها نواحی شرقی کشور عراق در ترازهای نزدیک به سطح زمین و نواحی غربی ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد؛ اما در الگوی شماره ۳ در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال نواحی مرکزی کشور عراق و در ترازهای فوقانی ریزگردهای آمده از کشور سوریه نقش بسزایی در رخداد توفان‌های گردوغبار در استان اردبیل را داشته است. نتایج حاصل شده از این پژوهش با نتایج حاصل شده از پژوهش سایر محققان (خسروی و همکاران، ۲۰۱۰، عزیزی و همکاران، ۲۰۱۲، محمدی و همکاران، ۲۰۱۴، زینالی و اصغری، ۲۰۱۶) از نظر نوع سیستم‌های سینوپتیکی تأثیرگذار بر رخداد توفان‌های گردوغباری و همچنین منشأ و محل شکل‌گیری آن کاملاً همسو بوده و به نحوی تأییدکننده و تکمیل‌کننده کار آن‌ها می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

منابع

خسروی، محمود، کاووسی، تقی، رئیس‌پور، کوهزاد، (۱۳۸۹)، **"تحلیل همدید سامانه‌های گردوغباری در استان خوزستان"**، مجله جغرافیا و توسعه، ۸ (۲۰): ۹۷-۱۱۸.

خسروی، محمود، (۱۳۸۹)، **"بررسی توزیع عمودی گردوغبار ناشی از توفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS مورد: سیستان ایران، ۲۰۱۰"**، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ایران.

ذوالفقاری، حسن، معصوم‌پور، جعفر سماکوش، شایگان مهر، شاپور، احمدی، محمد، (۱۳۹۰)، **"بررسی همدید توفان‌های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸) مطالعه موردی موج فراگیر تیرماه ۱۳۸۸"**، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲ (۴۳): ۱۷-۳۴.

ذوالفقاری، حسن، عابدزاده، حیدر، (۱۳۸۴)، **"تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران»**. مجله جغرافیا و توسعه، ۳ (۶): ۱۷۳-۱۸۸.

رسولی، علی‌اکبر، بهروز ساری صراف و غلام حسن محمدی، (۱۳۸۹)، **تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر**، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۳ (۹): ۱۵-۲۸.

زینالی، بتول، (۱۳۹۲)، **شناسایی و پایش توفان‌های شاخص گردوغباری ایران با استفاده از سنجنده‌های MODIS و AVHRR**، رساله دکتری رشته جغرافیای طبیعی – اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیای طبیعی. تبریز، ایران.

عزیزی، قاسم علی‌اکبر شمسی‌پور، مرتضی میری، طاهر صفرراد، (۱۳۹۱)، **"تحلیل آماری - همدیدی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران "**، محیط‌شناسی، ۳۸ (۳): ۱۲۳-۱۳۴.

علیجانی، بهلول، رئیس پور، کوهزاد، (۱۳۹۰)، **"تحلیل آماری، همدیدی توفان‌های گردوخاک در جنوب شرق ایران مطالعه‌ی موردی :منطقه‌ی سیستان)"**، مجله مطالعات جغرافیای مناطق خشک، ۲ (۵): ۱۰۷-۱۳۲.

علی آبادی، کاظم، اسدی زنگنه، محمدعلی، داداشی رودباری، عباسعلی، (۱۳۹۴)، **ارزیابی و پایش توفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور**، فصلنامه علمی – پژوهشی امداد و نجات، ۷ (۱): ۲۰ – ۱.

فلاح‌قالهری، غلامعباس، (۲۰۱۴)، **مبانی هواشناسی**، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، مشهد.

قویدل رحیمی، یوسف، عالی جهان، مهدی، اوجی، روح‌الله، (۱۳۹۴)، **بررسی مدل‌های جبری و زمین آماری در پهنه‌بندی بارش استان اردبیل**، فصلنامه علمی – پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۵ (۵۰): ۲۳۱ – ۲۰۹.

کرمی، خدیجه، طاهری شهرآیینی، حمید، حبیبی نوخندان، مجید، حافظی مقدس، ناصر، (۱۳۹۰) **"شناسایی خاستگاه تولید توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش‌ازدور "**، دو فصلنامه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲ (۷ و ۸): ۵۷-۷۲.

لشکری، حسن، کیخسروی، قاسم، (۱۳۸۷)، **"تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)"**، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۶۵): ۱۷-۳۳.

محمدی، فهیمه، کمالی، سمیه، اسکندری، مریم. (۲۰۱۵). **ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT**. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۴(۴).

Dagsson, Pavla -Waldhauserova, Olafur Arnalds, Haraldur Olafsson, (2013), **"Long-term frequency and characteristics of dust storm events in Northeast Iceland (1949e2011"),** Atmospheric Environment,VOL.77, PP 117-127.

Dodangeh, E., Shao, Y., and Daghestani, M. (2012), **L-Moments and fuzzy cluster analysis of dust storm frequencies in Iran,** Aeolian Research (5), and pp 91–99.

Draxler R, Rolph G. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland. Model access via NOAA ARL READY Website. 2011.

Draxler, R. R., & Hess, G. D. (1998). **An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories**. Australian meteorological magazine, 47(4), 295-308.

Draxler, R. R., & Rolph, G. D. (2003). **HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (http://www. arl. noaa. gov/ready/hysplit4. html).** NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring.

Flaounas, E., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Kazadzis, S., Gkikas, A., & Hatzianastassiou, N. (2015). **Cyclone contribution to dust transport over the Mediterranean region**. Atmospheric Science Letters, 16(4), 473-478.

Gong, S.L., Zhang, X.Y., Zhao, T.L., McKendry, I.G., Jaffe, D.A., Lu, N.M., (2003). **"Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 2. Model simulation and validation",** Journal of Geophysical Research, VOL.108, PP 4-1 4-19.

Gao, T.; Han, J.; Wang, Y.; Pei, H., and Lu, Sh., (2011), **Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001–2008,** Meteorological Applications, pp 265-278.

Goudie, A. S., and Middleton, N. J., (2006), **Desert Dust in the Global System**, Springer, pp 1-287.

Goudie, A.S., (2009), **Dust storms: Recent developments**, Journal of Environmental Management, 90, pp 89–94.

Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y., and Kang, F., (2008a), **Dust aerosols: a possible accelerant for an increasingly arid climate in North China,** J. Arid Environ, 72, 1476–1489.

Hahnenberger, Maura, Kathleen Nicoll, (2012), "**Meteorological characteristics of dust storm events in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A."**, Atmospheric Environment, VOL.60, PP 601- 612.

Han, Z., Ueda, H., Matsuda, K., Zhang, R., Arao, K., Kanai, Y., Hasome, H., (2004), "**Model study on particle size segregation and deposition during Asian dust events in March 2002",** Journal of Geophysical Research VOL.109, PP 1-22.

Hervada-Salaa, C. and Jarauta-Bragulat, E. (2004). "**A program to perform Ward's clustering method on several regionalized variables**". Computers & Geosciences. 30. pp. 881–886.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]

Indoitu, R., L. Orlovsky, N. Orlovsky, (2012), "**Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations",** Journal of Arid Environments, VOL.85, PP 62-70.

John J. Qu., and Kafatos M., (2006), **Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements,** Geosciences and Remote Sensing letters, 3(4), pp 484-486.

Kinoshita, K., Ning, W., Gang, Z., Tupper, A., Iino, N., Hamada, S., and Tsuchida, S., (2005), **Long-Term Observation of Asian Dust Inchangchun and Kagoshima, Water, Air, and Soil Pollution:** Focus 5: 89–100.

Li, Jiawei, Zhiwei Han, Renjian Zhang, (2011), **"Model study of atmospheric particulates during dust storm period in March 2010 over East Asia",** Atmospheric Environment, VOL.45, PP 3954 -3964.

Liu, Chung-Ming, Zheng-An Qian, Ming-Chin Wu, (2004), **"A Composite Study of the Synoptic Differences between Major and Minor Dust Storm Springs over the China-Mongolia Areas"**, TAO, Vol. 15, No. 5, PP 999-1018.

McGowan, H., & Clark, A. (2008). I**dentification of dust transport pathways from Lake Eyre,** Australia using Hysplit. Atmospheric Environment, 42(29), 6915-6925.

McTainsh, GH. And Pitblado JR., (1987), **Dust storm and related phenomena measured from meteorological record in Australia,** Earth Surf Process Landforms 12:415-424.

Natsagdorj, L., Jugder, D., and Chung, Y.S., (2003), **Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937–1999,** Atmospheric Environment, 37, 1401–1411.

Natsagdorj, L., D. Jugder, Y.S. Chung, (2003), **"Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937–1999",** Atmospheric Environment, VOL. 37, PP 1401–1411.

-Nickovic, S., Dobricic, S., (1996), "**A model for long-range transport of desert dust",** Mon. Wea. Rev., VOL.124, PP 2537–2544.

Rashedi, E., Mirzaei, A. and Rahmati, M. (2015). **"an information theoretic approach to hierarchical clustering combination"**. Neurocomputing. 148. pp. 487–497.

Stunder, B. J. B. (1997). **NCEP Model Output–FNL ARCHIVE DATA, TD-6141. Prepared for National Climatic Data Center (NCDC).** This document and archive grid domain maps are also available at http://www. arl. noaa. gov/ss/transport/archives. html.

Wang, F., Chen, D. S., Cheng, S. Y., Li, J. B., Li, M. J., & Ren, Z. H. (2010). **Identification of regional atmospheric PM 10 transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis.** Environmental Modelling & Software, 25(8), 927-934.

-Xu, J., (2006), **"Sand-dust storms in and around the Ordos Plateau of China as influenced by land use change and desertification**", Catena, VOL.65, PP 279-284.

Zeinali, B., & Asghari, S. (2016). **Mapping and monitoring of dust storms in Iran by fuzzy clustering and remote sensing techniques.** Arabian Journal of Geosciences, 9(9), 1-10.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.31.4]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.137]