

پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲ (پیاپی ۸۰)، تابستان ۱۳۹۱  
صص. ۹۹-۱۲۴

## واکاوی همدید رخداد گردوغبار بهاره در غرب ایران

فرامرز خوش اخلاق\* - استادیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران  
محمد سعید نجفی - دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران  
مهدی صمدی - کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۸/۰۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۴/۱۲

### چکیده

غرب و جنوب‌غرب ایران، به دلیل همجواری با پهنه‌های وسیع بیابانی عراق و شمال عربستان، به‌طور پیوسته در معرض پدیده‌ی گردوغبار قرار دارد. در این مطالعه به‌منظور تعیین دوره‌های مورد مطالعه، از داده‌های پدیده‌ی گردوغبار و میزان دید افقی در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی مادیس استفاده شد. سپس برای شناسایی الگوهای همدید حاکم در زمان رخداد گردوغبار در فصل بهار با انتخاب ۱۵ دوره رخداد گردوغبار در فصل بهار، داده‌های شبکه‌بندی‌شده‌ی دما، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه و نسبی، سرعت قائم، مؤلفه‌ی باد زناری (U) و نصف‌النهاری (V)، برای ترازهای متفاوت از NCEP/NCAR تهیه و پس از تولید نقشه و پردازش‌های آماری، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شد. الگوهای همدید انتشار گردوغبار در فصل بهار در غرب ایران، به سه الگوی پویا، گرم‌پویا و گرمایی گروه‌بندی می‌شوند. در الگوی پویا، سیستم‌های مهاجر بادهای غربی در شکل‌گیری گردوغبار، نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. بدین صورت که شکل‌گیری ناوه غربی، الگوی بندالی زوجی یا بندالی آمگایی در تراز میانی و بیرو آن، ایجاد مرکز همگرایی سطحی و کنش دو مرکز واگرایی بالایی و همگرایی سطحی، همراه با جبهه‌زایی در منطقه، موجب تشدید ناپایداری‌ها و افزایش سرعت باد در مناطق خشک مجاور ایران شده که به دلیل عدم تغذیه‌ی رطوبتی کافی، گردوغبار ایجاد می‌شود. در الگوی گرم‌پویا، گردوغبار هم تحت تأثیر شرایط حرارتی سطح زمین در عرض‌های پایین در کشور عربستان ایجاد می‌شود و هم در اثر نفوذ ناوه غربی در تراز میانی جو در عرض‌های بالاتر که حاصل آن، افزایش ناپایداری در کشور عراق است. الگوی گرمایی مربوط به اواخر فصل بهار بوده که پُرفشار جنب‌حاره، پدیده‌ی غالب جو بالا در عرض‌های پایین به‌شمار می‌رود و گردوغبار در اثر شکل‌گیری کم‌فشارهای گرمایی و افزایش سرعت باد در مناطق خشک مجاور ایران ایجاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آب و هواشناسی همدید، گردوغبار، سامانه‌های جوی، سنجنده‌ی مادیس، غرب و جنوب‌غرب ایران.

## مقدمه

گردوغبار یکی از شایع‌ترین پدیده‌های اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (میری، ۲۰۱۰: ۳۴۳) و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در این مناطق به‌شمار می‌رود. در چند سال اخیر، روند رخداد گردوغبار در غرب و جنوب‌غرب ایران، به‌ویژه در فصول بهار و تابستان، افزایش چشم‌گیری داشته است (میری، ۱۳۹۰: ۹۷) و پیامد آن بروز مشکلات اجتماعی، اقتصادی، اختلال در سامانه‌های ترابری (گودی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۸۹) و در مجموع سبب پیدایش بحران‌های زیست‌محیطی در این منطقه از ایران است. پدیده‌ی گردوغبار در ارتباط با ویژگی‌های پوشش گیاهی و قطر اجزای متشکله‌ی مواد ساختاری سطح زمین، سرعت باد و میزان رطوبت در منطقه است (جیلت و هانسون<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹: ۱۹۸). به‌علاوه توزیع روزهای گردوغباری در طول ماه‌های سال، متأثر از شرایط دمایی، بارشی و گردشی جو در منطقه است (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۹). با توجه به اینکه منطقه‌ی مورد مطالعه در مجاورت مناطق خشک جهان (بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان) قرار گرفته است، به‌طور پیوسته در معرض هجوم گردوغبار قرار دارد.

گفتنی است که گردوغبار یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقلیمی است و نقش مهمی در تبادلات فیزیکی و بیوشیمیایی جو، زمین و آب دارد (شاین و فورستر<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹: ۲۰۷). مطالعات نشان می‌دهد که افزایش گردوغبار در جو، سبب تغییر الگوهای کاربری اراضی نواحی‌ای شده که در معرض آن قرار گرفته است (فانج<sup>۴</sup>، ۱۹۹۵: ۷۱۰). همچنین گردش ریزگردها در جهان، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انتشار آهن در اقیانوس‌هاست (مه‌والد<sup>۵</sup> و همکاران: ۲۰۰۵؛ گودی، ۲۰۰۶: ۹۱). ذرات گردوغبار در میزان تابش خورشیدی و زمین‌تاب، جذب و پخش تابش در جو، تأثیر داشته (مغربی<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹: ۲۱۶۶) و بدین ترتیب نوع و توزیع این ذرات در گرمایش و سرمایش جو دارای نقشی اساسی است.

از سوی دیگر، گردوغبار تأثیر مستقیمی بر سلامت انسان داشته و میکروارگانیزم‌ها و عناصر آلاینده‌ی موجود در طوفان‌های گردوغبار، مانند باکتری‌ها، گرده‌ها و قارچ‌های حساسیت‌زا، سبب بروز مشکلاتی همچون آسم، برونشیت، بیماری‌های تنفسی، مشکلات قلبی و عروقی و بروز حساسیت‌های چشمی می‌شود (الهربان<sup>۷</sup>، ۲۰۰۹: ۱۷۷، نیلسون<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۱۴۳). بر اساس مطالعات انجام شده از سوی (العباس<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۲۹؛ حجتی و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۳) طوفان‌های گردوغباری که در عراق ایجاد شده و ریزگردهای حاصل از آن در غرب ایران نیز مشاهده می‌شود، حامل عناصر سمی مانند (آهن، سرب، روی، نیکل، مس، کبالت و کادمیوم) و گونه‌هایی از باکتری‌ها، قارچ‌ها بوده که افزایش آنها در هوای شهرهای غربی ایران، سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی احتمالی در آتیه خواهد شد. از آثار غیرمستقیم گردوغبار بر سلامت انسان، می‌توان به کاهش میزان دید افقی و در نتیجه، افزایش تصادفات جاده‌ای و

1. Goudie
2. Gillette
3. Shine & Forster
4. Fung
5. Mahowald
6. Maghrabi
7. Al-Hurban
8. Nilson
9. Al-Dabbas

آسیب‌ها و مرگ‌ومیر حاصل از آن (گودی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۹۰) یا افزایش عناصر سمّی موجود در اندام گیاهان، حیوانات و حتی حتی انسان، اشاره کرد. برای مثال افزایش سرب در موادّ غذایی مورد استفاده‌ی انسان، سبب اختلال در سیستم عصبی و سردرد، احساس بی‌حالی و ضعف استخوان‌ها خواهد شد (الهربان، ۲۰۰۹: ۱۷۷).

منطقه‌ی خاورمیانه به‌عنوان یکی از بزرگترین چشمه‌های انتشار گردوغبار در جهان است (تاناکا<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶: ۹۲) و براساس مطالعات انجام شده، سرچشمه‌ی ریزگردهای غرب و جنوب‌غرب ایران، بیشتر فرامحلی بوده و تحت تأثیر جابه‌جایی سامانه‌های جوّی به غرب ایران انتقال می‌یابد (نجفی و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۰۳). آندرسون<sup>۳</sup> (۲۰۰۴: ۹) چهار منطقه‌ی اصلی گردوغبار را برای منطقه‌ی خاورمیانه تعیین کرده است که شامل: ۱- دشت حاصلخیز بین‌النهرین، فاصله‌ی میان رودخانه‌های دجله و فرات و دشتهای سیلابی مجاور آن؛ ۲- بیابان النفود<sup>۴</sup> در عربستان که قسمت شمالی شمالی آن نیز تا بیابان‌های سوریه کشیده می‌شود؛ ۳- بیابان الدهنا<sup>۵</sup> در مرکز و شرق شبه‌جزیره‌ی عربستان و ۴- بیابان رب‌الخالی<sup>۶</sup> در قسمت جنوب‌شرقی شبه‌جزیره‌ی عربستان. همچنین در مطالعه‌ی دیگری صمدی (۱۳۹۰) با استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر سنجنده‌ی مادیس، شش چشمه‌ی اصلی انتشار گردوغبار به غرب ایران را تعیین کرد که نتایج آن در شکل شماره‌ی ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. چشمه‌های اصلی انتشار گردوغبار به غرب ایران (صمدی، ۱۳۹۰: ۹۰)

1. Goudie
2. Tanaka
3. Anderson
4. An Nafud
5. Ad Dhana
6. Rub Al Khali

پدیده‌ی گردوغبار در ارتباط مستقیم با ویژگی‌های محیطی منطقه، الگوهای دینامیک و همید جو است. در ایران مطالعاتی با رویکردهای مختلف، در ارتباط با عوامل مؤثر بر وقوع گردوغبار، تعیین روندها و سرآغاز آن، انجام شده است. در این جا تنها برخی از مطالعاتی که با رویکرد همید انجام شده و همسو با مطالعه‌ی پیش رو است، ذکر می‌شود.

ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) سامانه‌های همید انتشار گردوغبار در غرب ایران را در یک دوره‌ی پنج‌ساله بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که ناو‌ها و چرخندهای مهاجر بادهای غربی و کم‌فشارهای گرمایی سطح زمین، عامل مؤثر در بروز گردوغبار و انتقال آن به غرب ایران است. لشکری (۱۳۸۷) به تحلیل آماری - همید طوفان‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی پرداخت و نتایج حاکی از آن است که طوفان‌های این منطقه، بیشتر بعد از ساعت ۱۲ شکل گرفته و عوامل ترمودینامیکی در شکل‌گیری و گسترش گردوغبار و عوامل محلی در تشدید آنها مؤثر هستند. خسروی (۱۳۸۹) با استفاده از مدل ناپز<sup>۱</sup> توزیع عمودی گردوغبار را در منطقه‌ی سیستان بررسی کرده و نتایج نشان می‌دهد که تغییرات مرزی توزیع قائم گردوغبار، دارای یک دوره‌ی شبانه‌روزی بوده که بیشینه‌ی آن تحت تأثیر حرکات انتقالی در ساعات میانی روز و کمینه‌ی آن در شب مشاهده می‌شود. در مطالعه‌ی دیگر، خسروی و همکاران (۱۳۸۹) با شناسایی الگوهای همید جو، به تعیین عوامل مؤثر بر رخداد گردوغبار در استان خوزستان در دوره‌ی آماری ۱۹۹۶ - ۲۰۰۵ پرداخته‌اند و با تقسیم الگوهای همید به دو دسته‌ی سرد و گرم به این نتیجه رسیدند که در دوره‌ی سرد، سامانه‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه‌ی قطبی و در دوره‌ی گرم سال نیز، کم‌فشارهای گرمایی سطح زمین عامل مؤثر در ایجاد گردوغبار هستند. همچنین نتایج مطالعه‌ی براتی و همکاران (۱۳۹۰) برای یک دوره‌ی ده‌ساله نشان می‌دهد که در تمامی موج‌های گردوغباری، دو سامانه‌ی کم‌فشار ایران - پاکستان از سوی شرق و زبانه یا کانون پُرفشار آزرورز از سمت غرب در ترازهای سطح دریا (۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال) همگرایی داشته و حاصل شیو فشار ایجاد شده در منطقه، ایجاد گردوغبار در منطقه است. کریمی احمدآباد و شکوهی رازی (۱۳۹۱) با نگرش همید و همچنین با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCm، به مطالعه‌ی سازوکار ایجاد و تشدید طوفان‌های گردوغبار در غرب ایران پرداخته‌اند. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان می‌دهد که تشکیل یک سامانه‌ی کم‌فشار روی خلیج فارس و پیش‌روی آن تا کشور ترکیه و کنش آن با ناو‌ی تراز میانی و در نتیجه تقویت این سامانه‌ی کم‌فشار، سبب افزایش ناپایداری‌ها در زمین‌های خشک و بیابانی در مجاور ایران است که دستاورد آن ایجاد گردوغبار در منطقه است. بارکان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی سازوکار انتقال گردوغبار از بیابان صحرا به ایتالیا پرداخته و استقرار پُرفشار جنب‌حاره‌ی جنوب‌شرق مدیترانه و نفوذ زبانه‌ای از کم‌فشار ایسلند، به غرب آفریقا را عامل ایجاد و انتقال گردوغبار به ایتالیا دانسته‌اند. ژائو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی ارتباط گسترش چرخندها با میزان شدت طوفان‌های گردوغبار در شرق آسیا پرداختند. از نظر آنها کاهش میزان فشار، سبب افزایش سرعت باد در سطح، کاهش شارش رطوبت و افزایش ناپایداری شده و تشدید حرکات قائم، سبب ایجاد طوفان‌های گردوغبار شدید در شرق چین می‌شود. مینگ لو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با واکاوی همید طوفان‌های گردوغبار در غرب چین و مغولستان، مشخص

1. NAAPS

2. Barkan

3. Zhao

4. Ming liu

کردند که گردش هوا در قسمت‌های زیرین و میانی پُراترفاع عمیق سیبری، سبب استقرار چرخندها در مغولستان و تشدید بادهای غربی در مرز مغولستان و چین می‌شود و با برقراری هوای سرد و خشک، سبب ایجاد گردوغبار در منطقه می‌شود. آنفورم<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) تغییرپذیری مکانی و زمانی رخداد گردوغبار را در سواحل غربی آفریقا برای یک دوره‌ی ۳۰ ساله بررسی کرده و عرض جغرافیایی و عامل فاصله از منشأ را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل معرفی می‌کند. یاکیانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعه‌ای با رهگیری مسیر باد، چهار منطقه‌ی آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را به‌عنوان مناطق با فراوانی بالای رخداد گردوغبار در جهان معرفی کردند. تا کنون مطالعاتی که در زمینه‌ی رخداد گردوغبار در غرب ایران با نگرش همدید انجام گرفته است، بیشتر به‌صورت تک‌رویدادی و با نگاهی کلی به عوامل همدید مؤثر بر وقوع این پدیده و همچنین بدون در نظر گرفتن فصل مشخصی از سال صورت گرفته است. به‌گونه‌ای که هنوز ابهام‌هایی در زمینه‌ی تعیین الگوهای اصلی رخداد گردوغبار در فصول مختلف باقی است. از آنجاکه در غرب کشور پس از ماه ژوئیه، ماه‌های می و ژوئن بیشترین فراوانی را در رخداد گردوغبار دارند (میری، ۲۰۱۲: ۴۷)، بنابراین هدف از این مطالعه، تعیین الگوهای همدید مؤثر بر رخداد گردوغبار با تأکید بر فصل بهار و در تکمیل مطالعات پژوهشگران پیشین انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

داده‌هایی که در این پژوهش استفاده شده است، شامل داده‌های گردوغبار طی هشت بار دیده‌بانی در روز، مربوط به ۴۵ ایستگاه همدید در غرب کشور، در دوره‌ی آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ است که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است (شکل شماره‌ی ۲). به‌دلیل در دسترس نبودن داده‌های مربوط به میزان دید افقی و گردوغبار در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های عمق اپتیکی<sup>۳</sup> مربوط به سنجنده‌ی مادیس<sup>۴</sup>، چند نمونه رخداد در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ در فصل بهار شناسایی و داده‌های دوره‌های مربوطه، به‌صورت موردی از سازمان هواشناسی دریافت و در کنار دوره‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفته شد. با توجه به اینکه به‌طور معمول رخداد گردوغبار با منشأ خارجی (با کد ۰۶) تداوم زمانی بیشتری نسبت به دوره‌های با منشأ داخلی دارد و در این پژوهش نیز رخداد‌های با منشأ خارجی در نظر گرفته شده است، برای بررسی بهتر موضوع و نیز برای شناسایی و انتخاب دوره‌های مورد مطالعه، چند معیار در نظر گرفته شد: اول، تداوم زمانی دو روزه‌ی پدیده در منطقه‌ی مورد مطالعه؛ دوم، گسترش مکانی گردوغبار دست‌کم در هفت ایستگاه؛ سوم، رسیدن دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر، دست‌کم در سه دیده‌بانی در یک روز، به‌گونه‌ای که حداقل در پنج ایستگاه شرط ذکر شده وجود داشته باشد (جدول شماره‌ی ۱).

به‌منظور نمایش شدت و میزان فراگیری هریک از این دوره‌ها، از ترکیب حقیقی ( $B=3$ ،  $G=4$  و  $R=1$ ) تصاویر

1. Anuform  
2. Yaqiang  
3. Optical Depth  
4. MODIS

سنجنده‌ی مادیس استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از اختلاف دمای درخشندگی (BTD)<sup>۱</sup> باندهای ۳۱ و ۳۲ این سنجنده، گردوغبار موجود در تصویر آشکارسازی شده است. از آنجا که باندهای ۳۱ و ۳۲ (۱۱ و ۱۲ میکرومتری) در محدوده‌ی طیف مادون قرمز حرارتی قرار دارند، بنابراین اختلاف دمای درخشندگی باندهای واقع شده در طیف ۱۱ و ۱۲ میکرومتری، می‌تواند برای آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار به کار رود (هوانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۸۷). اکرمین<sup>۳</sup> (۱۹۹۷) نشان داد که اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ برای گردوغبار منفی است؛ زیرا این پدیده بازتابش بالاتری در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ دارد. بنابراین تفاوت‌های منفی در اختلاف دمای درخشندگی طیف ۱۱ و ۱۲ میکرومتری، برای ردیابی طوفان‌های گردوغبار و تعیین منشأ آنها مفید است. همچنین در این حالت می‌توان گردوغبار را از پدیده‌های دیگر تفکیک کرد (شکل ۳- الف و ب). بنابراین با استفاده از تصاویر این سنجنده می‌توان جهت حرکت و توزیع گردوغبار را در منطقه شناسایی کرد (امان الهی و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۷۳).

پس از تعیین دوره‌های مورد مطالعه، داده‌های مربوط به دما، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌ی باد زناری و نصف‌النهاری ( $u, v$ )، نم نسبی و نم ویژه و حرکت قائم هوا (امگا)<sup>۴</sup> در ترازهای مختلف جو در فاصله زمانی ۶ ساعته و با قدرت تفکیک  $2/5 \times 2/5$  درجه، از تارنمای اینترنتی NOAA، بخش بازکاوی NCEP/NCAR، برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ استخراج شد. با بهره‌گیری از داده‌های بالا و اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار Grads، نقشه‌های ترکیبی متشکل از مؤلفه‌های بالا، ترسیم شدند.

با توجه به اینکه در دوره‌های مورد مطالعه، پدیده‌ی بندالی (بلاکینگ) نیز به‌عنوان الگوهای فرعی مؤثر بر تشدید گردوغبار در منطقه شناسایی شد، بنابراین در این پژوهش برای شناخت پدیده‌ی بندالی از یافته‌های عزیززی (۱۳۷۵: ۱۶) استفاده شده است:

۱. جریان اصلی بادهای غربی باید جدا شده و به دو شاخه تبدیل شود؛
  ۲. هر شاخه از جریان، توده‌ی مشخصی را منتقل کند؛
  ۳. جداشدگی جهت کمتر از ۳۰ درجه طول جغرافیایی نباشد؛
  ۴. این الگو دست کم، پنج روز توأم با پیوستگی مشخص، تداوم داشته باشد؛
  ۵. در این مدت، میزان جابه‌جایی در هر روز، بیشتر از ۷ درجه طول جغرافیایی به سمت شرق نباشد.
- همچنین برای بررسی ویژگی‌های توده‌های هوا، در روزهای وقوع گردوغبار و جبهه‌زایی در منطقه، از تابع جبهه‌زایی (Fn) شولتز و دوسول (1999) به شکل زیر استفاده شد:

$$Fn = -\frac{1}{|\nabla H\theta|} \left\{ \frac{\partial \theta}{\partial x} \left( -\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial y} \left( -\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial p} \left( -\frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \right\} \quad (۱)$$

1. Brightness Temperature Difference (BTD)  
 2. Huang  
 3. Ackerman  
 4. Omega ( $\omega$ )

تابع مذکور به صورت آهنگ تغییرات لاگرانژی گرادیان افقی دمای بالقوه، شامل بزرگی و جهت گرادیان دما، در سه جهت با در نظر گرفتن حرکات عمودی است و بر حسب  $10^{-4} K \cdot m^{-1} \cdot S^{-1}$  بیان می‌شود. در این پژوهش از معادله دو بُعدی جبهه‌زایی استفاده شد؛ یعنی از بُعد سوم رابطه‌ی شماره‌ی ۱ استفاده نشده است؛ زیرا رخداد جبهه‌زایی تنها در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مد نظر است.<sup>۱</sup>

در نهایت برای شناسایی الگوهای همدید و با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی (یارنال، ۱۹۹۳؛ علیجانی ۱۳۸۱: ۵-۲۰)، تمام نقشه‌ها به روش چشمی (دستی) از دو روز پیش از رخداد پدیده، تجزیه و تحلیل شده‌اند.<sup>۲</sup> با بررسی تمامی نقشه‌ها و داده‌ها، برای هر یک از دوره‌های رخداد گردوغبار، الگوهای اصلی رخداد گردوغبار در فصل بهار شناسایی شدند. در این پژوهش به منظور سهولت مطالعه، برای واکاوی هر الگو، یک دوره به صورت نمونه موردی، بررسی شده است. همچنین برای بررسی نحوه‌ی انتشار گردوغبار از مناطق مجاور به غرب ایران، از هر الگو یک نمونه به صورت موردی، تجزیه و تحلیل شد.

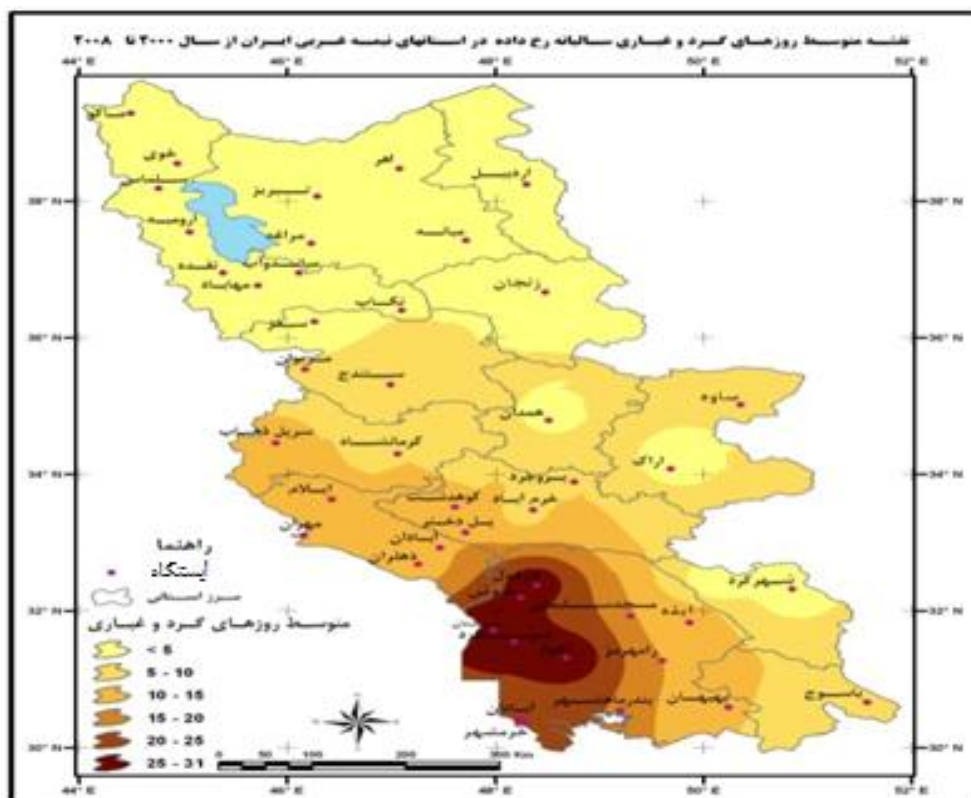
جدول ۱. دوره‌های منتخب گردوغبار

ردیف	سال	ماه	تاریخ آغاز	تاریخ پایان	تداوم (روز)	نوع الگو	الگوی ثانویه
۱	۲۰۰۳	می	۲۲	۲۴	۳	پویا	بندالی - اُمگایی
۲	۲۰۰۵	می	۵	۷	۳	پویا	ناوه
۳	۲۰۰۷	می	۱۶	۱۹	۴	پویا	بندالی - زوجی
۴	۲۰۰۸	آوریل	۱۷	۲۰	۴	پویا	ناوه
۵	۲۰۰۸	آوریل - می	۲۹	۱	۴	پویا	ناوه
۶	۲۰۰۸	می	۲۶	۲۷	۲	پویا	ناوه
۷	۲۰۰۸	ژوئن	۷	۱۰	۴	گرمایی	-
۸	۲۰۰۸	ژوئن	۱۶	۱۸	۳	پویا	ناوه
۹	۲۰۰۹	آوریل	۱۶	۱۹	۴	پویا	ناوه
۱۰	۲۰۰۹	می	۲	۴	۳	پویا	بندالی - زوجی
۱۱	۲۰۰۹	ژوئن	۱۷	۲۰	۴	پویا	ناوه
۱۲	۲۰۱۰	ژوئن	۲۳	۲۵	۳	پویا	بندالی - اُمگایی
۱۳	۲۰۱۱	آوریل	۲	۵	۴	پویا	ناوه
۱۴	۲۰۱۱	آوریل	۱۲	۱۴	۳	گرما - پویا	-
۱۵	۲۰۱۱	ژوئن	۲	۳	۳	گرمایی	-

منبع، نگارندگان

۱. با توجه به طولانی بودن روابط در رابطه‌ی (۱) و محدودیت در نگارش، برای آگاهی از نحوه‌ی محاسبات به مقاله‌ی شولتز و دوسول (۱۹۹۹) مراجعه شود.

۲. به دلیل محدودیت در نگارش مقاله و تعداد زیاد نقشه‌ها، تنها به نقشه‌های روز شکل‌گیری گردوغبار بسنده شده است.

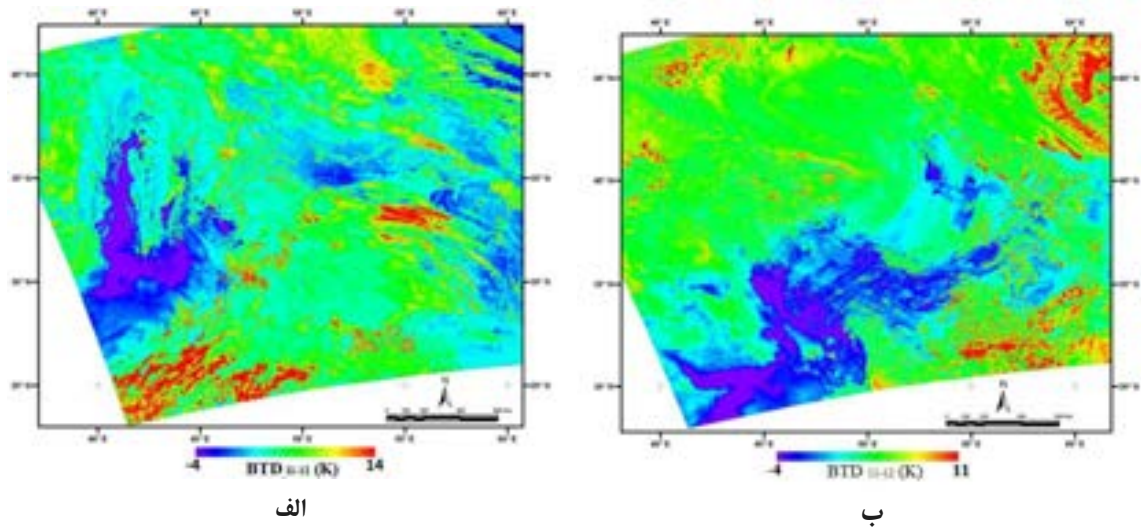


شکل ۲. موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی و توزیع گردوغبار سالانه (منبع: نگارندگان)

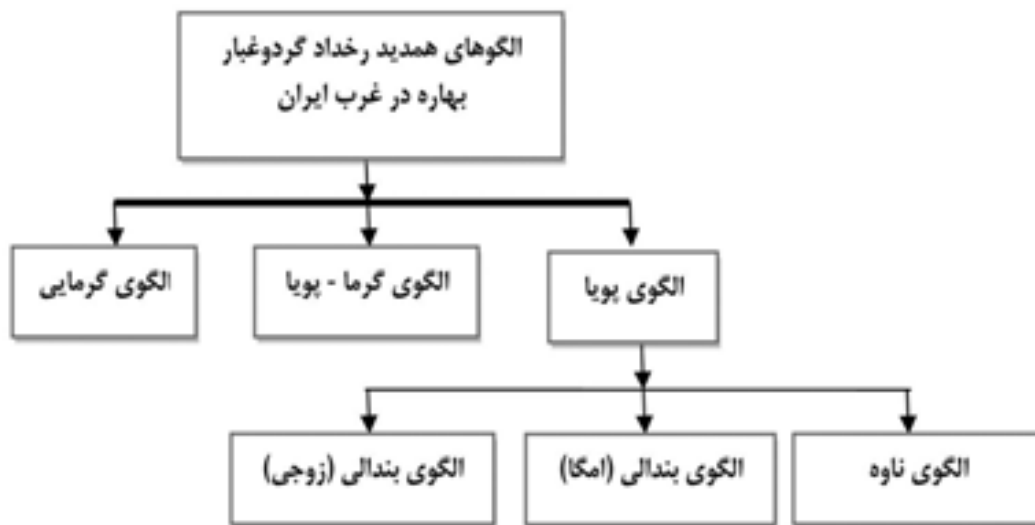
### یافته‌های تحقیق

در این پژوهش پس از بررسی ۱۵ رخداد گردوغبار غرب ایران در فصل بهار، سه الگوی پویا<sup>۱</sup>، گرم‌پویا و گرمایی، به‌عنوان الگوهای غالب این فصل برای ایجاد و انتشار گردوغبار شناسایی شدند. در الگوی پویا، گردوغبار به‌طور عمده تحت تأثیر ناپایداری‌های حاصل از نفوذ سیستم‌های مهاجر بادهای غربی در منطقه و ضعف رطوبت در مناطق خشک و بیابانی اطراف ایران، ایجاد می‌شود. در الگوی گرما - پویا، هم‌زمان دو سازوکار متفاوت، عامل شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است؛ یعنی از عرض‌های بالاتر از ۲۰ درجه (کشور عراق و شرق سوریه)، سازوکاری مشابه الگوی پویا، عامل شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است، در عین حال از عرض‌های مذکور به سمت عرض‌های پایین، ناپایداری‌های حاصل از کم‌فشارهای گرمایی عرض‌های پایین، عامل شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است. در نهایت، در الگوی گرمایی، افزایش دما در منطقه و ناپایداری حاصل از گسترش کم‌فشار گرمایی خلیج فارس و کشیده‌شدن زبانه‌های آن به بیابان‌های خشک منطقه، همچنین تشدید شیو فشار و افزایش سرعت باد، عامل شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است. در شکل شماره‌ی ۳، نمونه‌ای از تصاویر آشکارسازی‌شده‌ی پدیده‌ی گردوغبار با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی مادیس، نشان داده شده است.





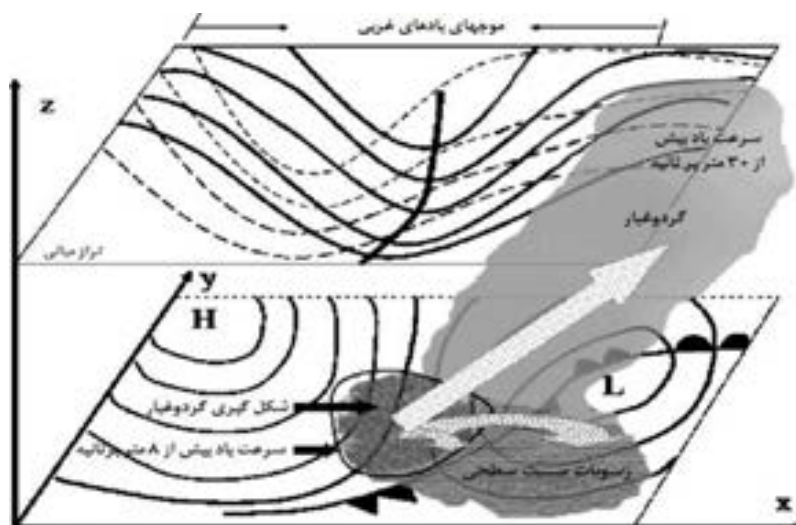
شکل ۳. الف) آشکارسازی گردوغبار در ۴ آوریل ۲۰۱۱. ب) ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ برگرفته از سنجنده‌ی مادیس مقادیر بنفش (یا همان منفی) نشان‌دهنده‌ی گردوغبار موجود در جو است.



شکل ۴. الگوهای همدید رخداد گردوغبار بهاره در غرب ایران

### الگوی پویا

این الگو که ۱۲ دوره از ۱۵ دوره‌ی انتخابی در این پژوهش را به خود اختصاص داده است، الگوی اصلی گردوغبارهای بهاره در غرب ایران به‌شمار می‌رود و خود به سه الگوی فرعی، شامل: الگوی ناوه، الگوی بندالی زوجی و الگوی بندالی اُمگایی دسته‌بندی می‌شود. به‌طورکلی در الگوی پویا، اثر پویایی سامانه‌های مهاجر بادهای غربی در تراز بالا و سطح زمین و ناپایداری‌های حاصل از آن، در ایجاد و انتشار گردوغبار مؤثر است (شکل شماره ۵).



شکل ۵. نمای ساده شده‌ی کلی از الگوی پویا

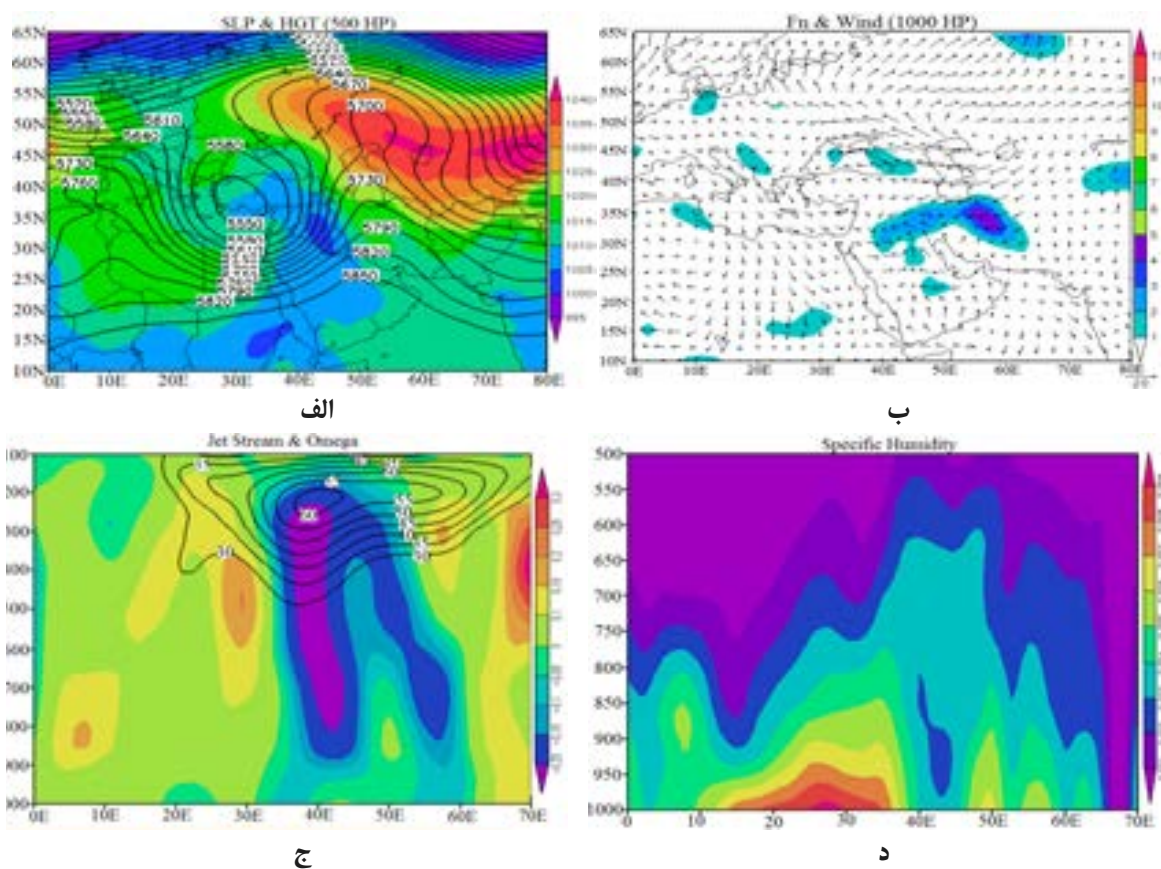
#### الف) الگوی ناوه (مطالعه‌ی موردی ۳ و ۴ آوریل ۲۰۱۱)

در این الگو، هنگام رخداد گردوغبار، در ترازهای میانی، استقرار یک سامانه‌ی کم‌ارتفاع در شرق دریای مدیترانه و شکل‌گیری یک ترف در شمال شرق آفریقا، سبب شکل‌گیری یک سلول چرخندی در جنوب شرق کشور عراق شده (شکل ۶-الف) و این شرایط سبب افزایش ناپایداری‌ها در منطقه شده است (شکل ۶-ج). شکل‌گیری ناوه‌ی مذکور، سبب ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به منطقه و استقرار پشته در شمال دریای خزر، سبب فرارفت هوای گرم از عرض‌های پایین به عرض‌های بالاتر شده و شرایط را برای رخداد جبهه‌زایی در منطقه به‌وجود آورده است (شکل ۶-ب). بنابراین از یک سو رخداد جبهه‌زایی و از سوی دیگر، شیو بالای فشار در تراز سطح دریا، بین هسته‌ی کم‌فشار در کشور عراق و هسته‌ی پرفشار در جنوب سیبری و شرق اروپا که زبانه‌های آن تا مرز عراق و سوریه پیش روی کرده است، افزایش سرعت باد (حدود ۱۲ متر بر ثانیه) را در منطقه‌ی خاورمیانه، در پی داشته است. گفتنی است که یکی از عوامل مؤثر در حرکت قائم هوا، وجود هسته‌ی پُرسرعت باد در ترازهای میانی و بالایی وردسپهر<sup>۱</sup> است. چنین شرایطی با ایجاد واگرایی بالایی، به‌ویژه در قسمت خروجی جت‌باد<sup>۲</sup> رخ می‌دهد. یادآور می‌شود که در بحث‌های پویایی، قسمت چپ خروجی جت‌باد و سمت راست ورودی آن، به‌واسطه‌ی داشتن تاوایی چینشی مثبت، به‌عنوان مناطق مستعد برای صعود هوا شناخته می‌شوند (اقتباس از علیجانی، ۱۳۸۲: ۱۱۹). همچنین جریان جت، به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات توزیع فراوانی چرخندها هستند (مائو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۳۴). بنابراین وجود حرکات صعودی (مقدار امگا ۰/۲۵-) در قسمت جلوی جت‌باد در ترازهای پایین و میانی جو، نشان‌دهنده‌ی شرایط مساعد برای فرازش و صعود هواست (شکل ۶-ج). برای ایجاد گردوغبار، افزون بر هوای ناپایدار و وجود بادهای شدید، رطوبت محیطی نیز مهم است. اگر این هوای

۱. تروپوسفر (Troposphere)

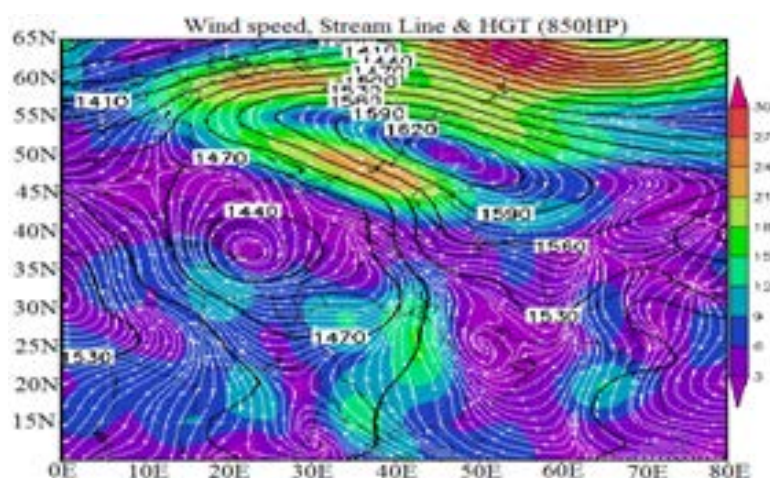
۲. رودباد (Jet Stream)

ناپایدار از لحاظ رطوبتی در ترازهای پایین و میانی به اندازه‌ی کافی تغذیه نشود، طوفان گردوغبار ایجاد خواهد شد (علیچانی به نقل از ذوالفقاری، ۱۳۸۴: ۱۷۴). میزان نم ویژه (شکل ۶-د) در ترازهای مختلف جو در طول جغرافیایی ۳۷ تا ۴۷ درجه‌ی شرقی (منطقه‌ی چشمه‌ی گردوغبار) و در عرض ۳۵ درجه‌ی شمالی، حدود ۰/۰۰۲ گرم بر کیلوگرم است که نشان‌دهنده‌ی میزان ناچیز رطوبت در منطقه است. وجود چنین هوای ناپایداری به جای بارش، در مناطق خشک و بیابانی کشور عراق، گردوغبار ایجاد کرد. بنابراین شیو زیاد فشار در تراز ۵۰۰ و همچنین در تراز سطح دریا، وجود یک هسته جت‌باد در تراز میانی و بالای جو و تشدید ناپایداری‌ها به واسطه‌ی وجود این هسته، از ترازهای پایین تا میانی جو (شکل ۶-ج)، شرایط مناسب را برای ناپایداری‌ها فراهم کرده است. همچنین کمبود رطوبت محیطی، شرایط مناسب را برای ایجاد گردوغبار در مناطق خشک کشور عراق و شرق سوریه به وجود آورده است. گردوغبار ایجاد شده به دلیل وجود ناپایداری شدید در منطقه‌ی جبهه، به هوای پایدارتر در قسمت پسین و پیشین جبهه انتقال پیدا کرده که در آن، میزان ناپایداری کمتر بوده و در نتیجه، گردوغبار برای مدّت زمانی در جو به صورت معلق خواهد ماند و بر اثر سرعت زیاد باد، بیشتر از طریق ترازهای جوی ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، سبب انتقال و انتشار گردوغبار به غرب ایران می‌شود.



شکل ۶: (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منحنی‌های ممتد)، فشار سطح دریا (سطوح رنگی) در ۳ آوریل ۲۰۱۱. (ب) تابع جبهه‌زایی بر حسب  $10^{-4} K \cdot m^{-1} \cdot S^{-1}$  و بردار باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در ۳ آوریل. (ج) امگا به پاسکال بر ثانیه (سطوح رنگی) و موقعیت جت‌باد (منحنی‌های هم سرعت به متر بر ثانیه)، در عرض ۳۵ درجه در ساعت ۰۰ زولو، ۴ آوریل ۲۰۱۱. (د) نمایه‌ی قائم رطوبت ویژه به گرم در کیلوگرم (سطوح رنگی).

از روز ۴ آوریل ۲۰۱۱، گردوغبار از شمال غرب تا جنوب غرب ایران را فرا گرفته و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر گزارش شده است. جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد (شکل شماره ۷) که وجود هسته‌ی کم‌ارتفاع در شرق مدیترانه، چرخش پاد ساعت‌گرد هوا در این منطقه و تعامل این هسته با هسته‌ی پُراارتفاع در شمال دریای خزر - که حرکت ساعت‌گرد دارد - و شارش جریان هوا از هسته‌ی پراارتفاع به کم‌ارتفاع، سبب شکل‌گیری مسیر جنوب شرق - شمال غرب هوا در امتداد پربند ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر، در داخل مرزهای ایران شده است. از سوی دیگر، در شکل‌گیری جریان جنوب شرق - شمال غربی، افزون بر تعامل دو هسته‌ی مذکور، وجود یک ناوه‌ی ضعیف در شمال دریای خزر و ایجاد یک قوس در پربندهای ۱۴۷۰ تا ۱۵۳۰ نیز، دارای نقشی اساسی است که سبب امتداد جریان در داخل ایران به صورت جنوب شرق - شمال غربی و در راستای کوه‌های زاگرس شده است. این جریان در کشور عراق تحت تأثیر جریان چرخندی، جنوبی - شمالی بوده و بر اثر وجود ناوه‌ی مذکور، در مرزهای ایران به صورت جنوب شرق - شمال غرب پدیدار شده است. بنابراین جریان جنوب شرق - شمال غربی باد و سرعت بالای آن در داخل کشور عراق و در مرز با ایران (تا ۱۵ متر بر ثانیه)، توجیه‌کننده‌ی نحوه‌ی انتشار گردوغبار از مناطق خشک کشور عراق به داخل مرزهای جنوبی ایران است و سبب انتقال گردوغبار از این ناحیه تا شمال غرب ایران شده است.

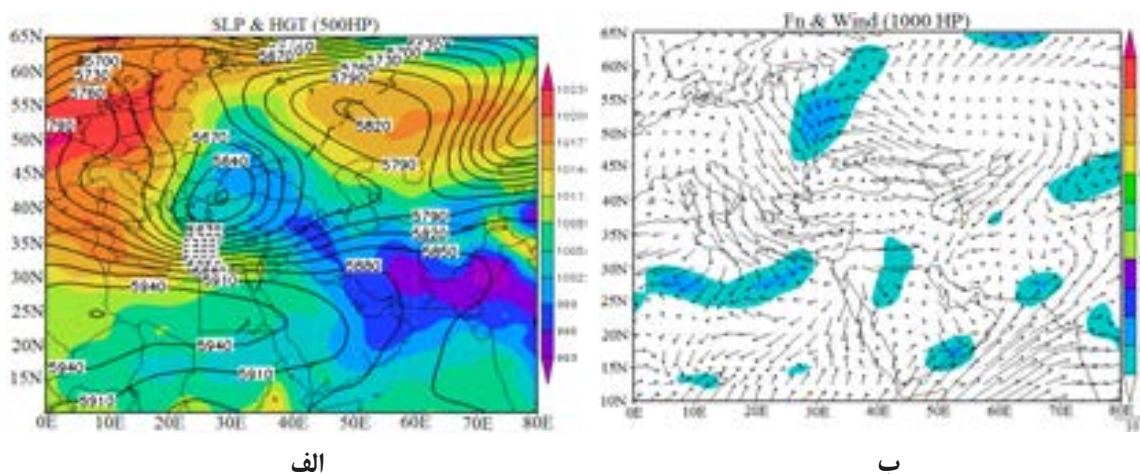


شکل ۷. ارتفاع ژئوپتانسیل (منحنی‌های ممتد)، سرعت باد به متر بر ثانیه (سطوح رنگی) و خطوط جریان هوا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ زولو در ۴ آوریل ۲۰۱۱

### ب) الگوی بندالی (امگا) (مطالعه‌ی موردی ۲۳ تا ۲۵ ژوئن ۲۰۱۰)

این الگو ۲ مورد از ۱۲ مورد الگوی پویا را به خود اختصاص داده است. هم‌زمان با شکل‌گیری هسته‌های اولیّه‌ی گردوغبار در کشور عراق در ترازهای میانی، حرکت شرق سوی هسته‌ی کم‌ارتفاعی که از سه روز پیش در اروپا شکل گرفته است، سبب شکل‌گیری یک سامانه‌ی بندالی امگایی در تراز میانی جو شده است که هسته‌ی پُراارتفاع آن روی شمال دریای خزر و هسته‌ی کم‌ارتفاع آن، در غرب دریای سیاه است. این هسته‌ی کم‌ارتفاع، سبب ایجاد یک ناوه روی شرق دریای مدیترانه شده است. در تراز سطح دریا، ناوه‌ی مذکور سبب شکل‌گیری هسته‌ی چرخندی همگرا شده است

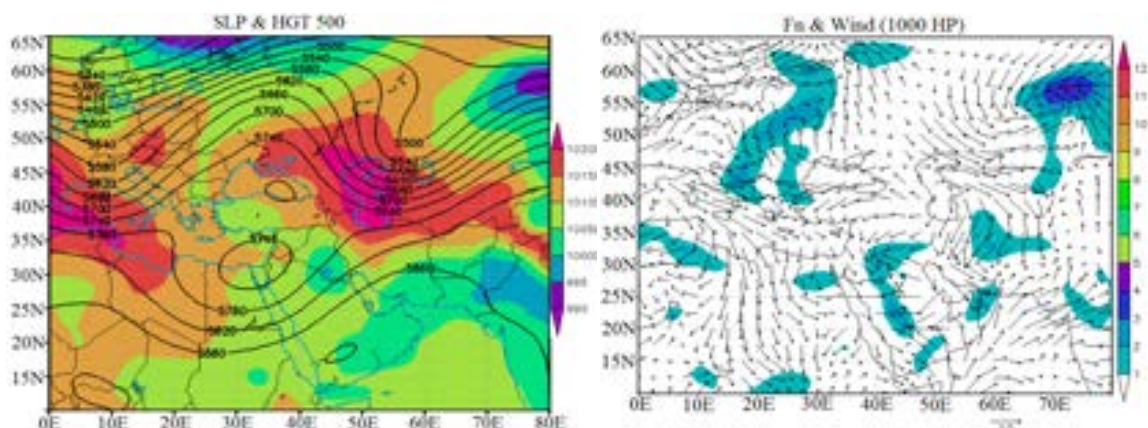
(شکل ۸-الف). وجود چنین شرایطی موجب حرکات صعودی در تراز سطح دریا در قسمت واگرایی بالایی، روی خلیج فارس تا شمال دریای سیاه شده است. در قسمت چپ ناوه نیز حرکات نزولی، سبب افزایش فشار در تراز سطح دریا در شمال آفریقا تا اروپا شده است (مشابه شکل ۶-ج). بنابراین، از یک سو در اثر ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به منطقه و ایجاد شرایط جبهه‌زایی، و از سوی دیگر بر اثر پیش روی پُرفشار سطحی تا مرز سوریه و عراق و ایجاد شیو شدید فشار در منطقه، سرعت باد به بیش از ۱۲ متر بر ثانیه افزایش یافته است (شکل ۸-ب). وجود چنین شرایطی همراه با ضعف رطوبت (مشابه شکل ۶-د)، باعث شکل‌گیری هسته‌ی اولیه‌ی گردوغبار در کشور عراق و شرق سوریه شده است.



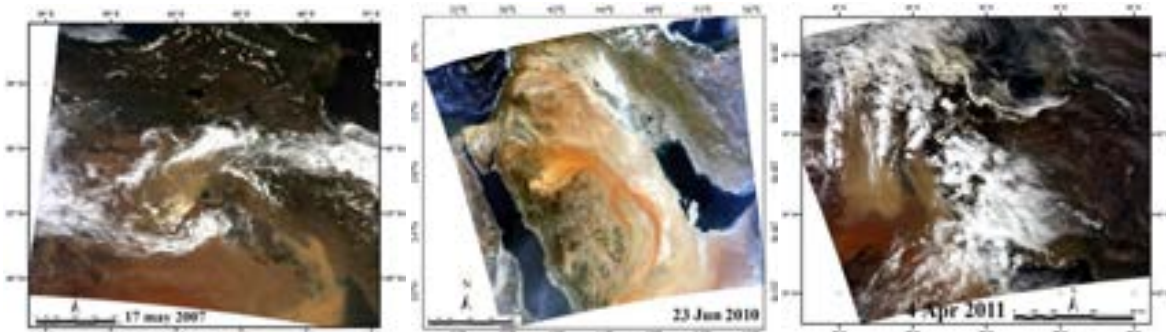
شکل ۸. الف) ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منحنی‌های ممتد)، فشار سطح دریا (سطوح رنگی) در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۰. ب) تابع جبهه‌زایی بر حسب  $10^{-4} K \cdot m^{-1} \cdot S^{-1}$  و بردار باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای همان تاریخ.

### ج) الگوی بندالی (زوجی) (مطالعه‌ی موردی ۱۶ تا ۲۰ می ۲۰۰۷)

از آنجاکه دو روز پیش از رخداد گردوغبار و تا روز آغاز آن، نحوه‌ی آرایش سامانه‌ی بندالی، زوجی بوده است، این الگو بندالی زوجی معرفی شده است؛ گرچه از روز دوم رخداد گردوغبار، سامانه‌ی مذکور (در هر دو مورد) به اُمگایی تغییر یافته است. در این الگو دو شاخه‌شدن موج‌های بادهای غربی، سبب شکل‌گیری سامانه‌ی بندالی زوجی در تراز میانی شده است که حرکت شرق سوی آن و استقرار آن روی شرق مدیترانه در تاریخ ۱۶ می، باعث فرارگیری منطقه‌ی جنوبی عراق در جلوی ناوه شاخه‌ی جنوبی سامانه‌ی بندالی است. فرارگیری یال شرقی ناوه این سامانه روی عراق و عربستان، سبب ایجاد یک سیستم چرخندی و در نتیجه همگرایی در منطقه‌ی جنوب عراق و شمال عربستان شده است (شکل ۹-الف). بنابراین برهم کنش واگرایی بالایی و همگرایی سطحی، سبب تشدید ناپایداری‌ها در منطقه‌ی چشمه‌ی اولیه‌ی گردوغبار شده است. از سوی دیگر، نحوه‌ی آرایش پشته در تراز میانی و فرارگیری آن روی دریای مدیترانه، سبب ایجاد یک منطقه با فشار بیشتر در شمال آفریقا شده که زبانه‌های آن تا مرز کشور عراق پیش‌روی کرده است. افزایش شیو فشار در منطقه همراه با رخداد جبهه‌زایی، افزایش سرعت باد (شکل ۹-ب) و ضعف رطوبت (مشابه شکل ۶-د)، باعث شکل‌گیری گردوغبار در منطقه شده است. (گفتنی است که در تمامی موارد الگوی پویا، جت جبهه قطبی نقش تعیین‌کننده‌ای در ناپایداری‌های تراز میانی جو داشته است).



شکل ۹. (الف) نقشه‌ی میانگین‌گیری شده‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منحنی‌های ممتد) و فشار سطح دریا (سطوح رنگی) از تاریخ ۱۴ تا ۱۷ می ۲۰۰۷. (ب) تابع جبهه‌زایی بر حسب  $10^{-4} K \cdot m^{-1} \cdot S^{-1}$  و بردار باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال.

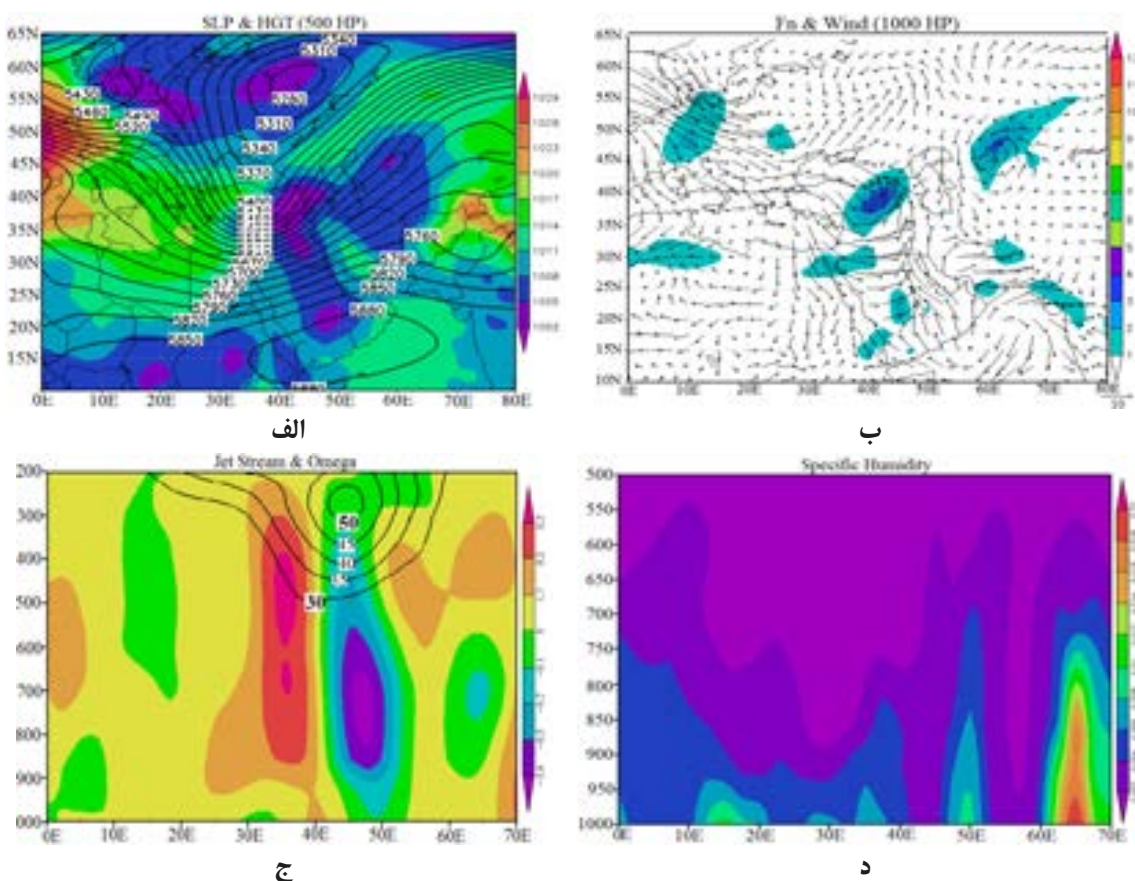


شکل ۱۰. تصاویر ماهواره‌ای دوره‌های مورد مطالعه در الگوی پویا (برگرفته از سنجنده‌ی مادیس)

### الگوی گرمایویا (مطالعه‌ی موردی ۱۲ تا ۱۴ آوریل ۲۰۱۱)

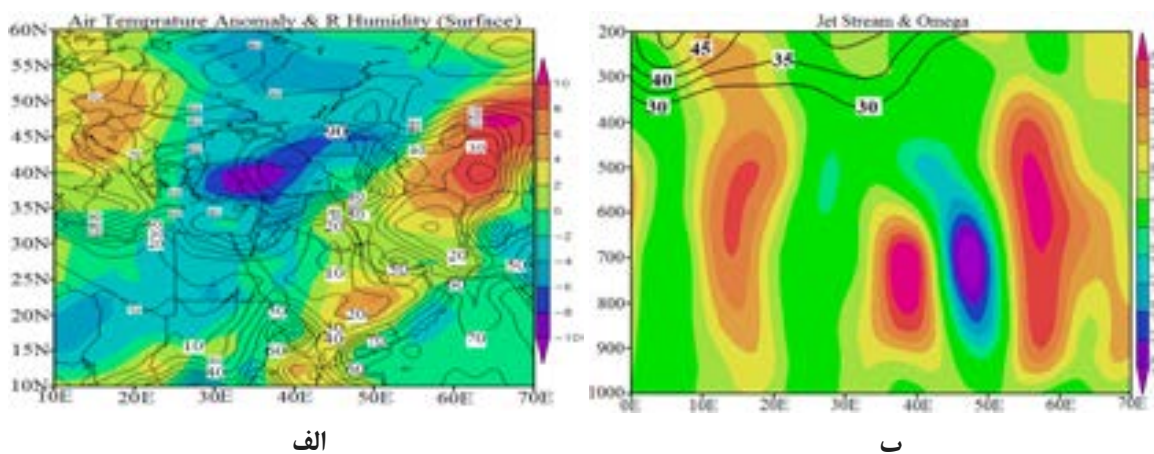
در این الگو، از یک سو سیستم‌های مهاجر بادهای غربی عامل ایجاد گردوغبار در کشور عراق است (مشابه الگوی پویا) و از سوی دیگر به دلیل استقرار پُرفشار جنب‌حاره در شبه‌جزیره عربستان و ایجاد شرایط پایدار در ترازهای میانی جو در جنوب خلیج فارس، الگوهای گرمایی سطح زمین سبب ایجاد گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران می‌شود. برای بررسی این الگو از داده‌های پدیده‌ی گردوغبار در ۱۳ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۱ در غرب ایران استفاده شده است. در تصاویر ساعت ۷:۲۵ سنجنده‌ی مادیس، یک چشمه‌ی ضعیف گردوغبار در عرض ۳۷ درجه در شمال عراق دیده می‌شود (شکل ۱۴-الف). الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نشان‌دهنده‌ی وجود یک هسته‌ی کم‌ارتفاع با بلندای ۵۲۸۰ ژئوپتانسیل متر در عرض ۶۰ درجه شمالی است که با بیرونی‌ترین پربند آن در شمال شبه‌جزیره عربستان، حدود ۶۰۰ ژئوپتانسیل متر اختلاف ارتفاع وجود دارد. در قسمت جلو ناوه، قسمت واگرایی بالایی، یک هسته‌ی کم‌فشار با فشار مرکزی کمتر از ۱۰۰۲ هکتوپاسکال در تراز سطح دریا در شمال عراق دیده می‌شود که زبانه‌های آن تا جنوب عراق نیز کشیده شده است (شکل ۱۱-الف). سرعت باد در سطح زمین نیز به دلیل شیو بالای فشار و جبهه‌زایی در شمال غرب

عراق در مرز عراق و سوریه، حدود ۱۲ متر بر ثانیه است (شکل ۱۱-ب). شکل‌گیری این چرخند در شمال عراق و جبهه‌زایی در این منطقه، سبب تمرکز هسته‌ی پُرسرعت باد در سطح زمین در مرکز عراق تا جنوب ترکیه و مکش هوای اطراف به سوی مرکز چرخند شده است. شیو شدید فشار در تراز میانی جو، سبب ایجاد یک هسته‌ی پُرسرعت باد در تراز میانی جو (جریان جت) و جریان قائم هوا در سمت جلو هسته‌ی جت باد، نشانگر شرایط مساعد برای صعود و ناپایداری هوا در طول جغرافیایی ۴۳ تا ۵۳ درجه است (شکل ۱۱-ج) که پهنه‌های دشت بین‌النهرین نیز، به‌عنوان یکی از چشمه‌های گردوغبار برای غرب ایران، در این طول جغرافیایی قرار دارد. به‌علاوه، میزان ناچیز رطوبت ویژه (۰/۰۰۲ گرم در کیلوگرم) در ترازهای مختلف روی کشور عراق، سبب شده که چنین هوای ناپایداری، به جای بارش در پهنه‌های خشک کشور عراق، گردوغبار ایجاد کند (۱۱-د). بدین ترتیب افزایش حرکات قائم و سرعت زیاد باد در سطح زمین و میزان ناچیز رطوبت، سبب ایجاد و انتقال گردوغبار به ترازهای میانی جو می‌شود که بیشتر همراه با جریان هوای تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به غرب ایران انتقال می‌یابد. این شرایط مشابه الگوی پویا است.



شکل ۱۱. (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منحنی‌های ممتد)، فشار سطح دریا (سطوح رنگی) در ۱۲ آوریل ۲۰۱۱. (ب) تابع جبهه‌زایی بر حسب  $10^{-4} K \cdot m^{-1} \cdot S^{-1}$  و بردار باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال. (ج) نمایه قائم امگا به پاسکال بر ثانیه (سطوح رنگی) و موقعیت جریان جت (خطوط ممتد هم سرعت به متر بر ثانیه) در عرض ۳۵ درجه شمالی، در ۱۲ آوریل ۲۰۱۱. (د) نمایه قائم رطوبت ویژه به گرم در کیلوگرم (سطوح رنگی) و در امتداد عرض ۳۵ درجه شمالی در ساعت ۰۰ زولو، ۱۳ آوریل ۲۰۱۱.

از سوی دیگر با بررسی تصاویر ماهواره‌ای در روز ۱۳ آوریل مشخص شد (شکل ۱۴-ب) که علاوه بر عراق، شمال شرق عربستان نیز منشأ دیگری برای ایجاد و انتقال گردوغبار به جنوب غرب ایران است. با توجه به استقرار پُرفشار جنب‌حاره در این موقع از سال در جنوب شبه‌جزیره عربستان (پربند ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر در شکل ۱۱-الف)، سیستم‌های مهاجر غربی و ناپایداری‌های حاصل از آن در عرض‌های جغرافیایی پایین، بسیار محدود است. در نتیجه برای تبیین علت ایجاد گردوغبار، شرایط گرمایی سطح زمین نیز باید مورد توجه قرار گیرد. بررسی ناهنجاری‌های دما در سطح نشان می‌دهد که میزان دما در شمال شرق عربستان در روز ۱۲ آوریل، حدود ۷ درجه نسبت به میانگین بیشتر است. میزان رطوبت نسبی نیز در سطح کمتر از ۲۰ درصد است (شکل ۱۲-الف). افزایش دما سبب ایجاد یک هسته‌ی کم‌فشار گرمایی و در نتیجه یک چرخند گرمایی در سطح متوسط دریا، در شرق شبه‌جزیره عربستان شده است و ایجاد این چرخند، سبب تشدید سرعت باد در سطح (حدود ۱۵ متر بر ثانیه) شده است (شکل ۱۱-الف، ب). تصاویر فرارفت قائم هوا نشان می‌دهد که تنها عامل صعود هوا در شرق کشور عربستان، کم‌فشار گرمایی است و وجود هسته‌ی پُرسرعت باد در ترازهای بالا در صعود هوا در تراز پایین و میانی دارای تأثیر بسیار ناچیزی است (شکل ۱۲-ب). گردش هوا در اطراف این چرخند گرمایی و ایجاد ناپایداری سطحی، همچنین سرعت زیاد باد و کمبود رطوبت در سطح زمین - در اثر افزایش دما و وجود پهنه‌های بیابانی وسیع در کشور عربستان - دلیل وقوع گردوغبار بوده و سبب کاهش میزان دید افقی در روز ۱۳ آوریل در جنوب غرب ایران تا حدود ۲۰۰ متر شده است.

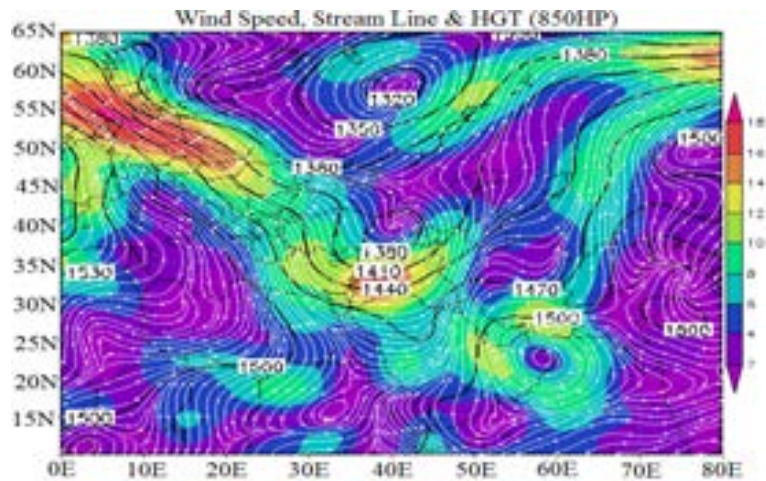


شکل ۱۲. الف) ناهنجاری‌های دما و رطوبت نسبی در روز ۱۲ آوریل ۲۰۱۱، (ب) نمایه‌ی قائم امگا به پاسکال بر ثانیه (پهنه‌ی رنگی) و جریان جت به متر بر ثانیه (منحنی‌های ممتد) در امتداد عرض ۲۰ درجه شمالی در روز ۱۲ آوریل ۲۰۱۱.

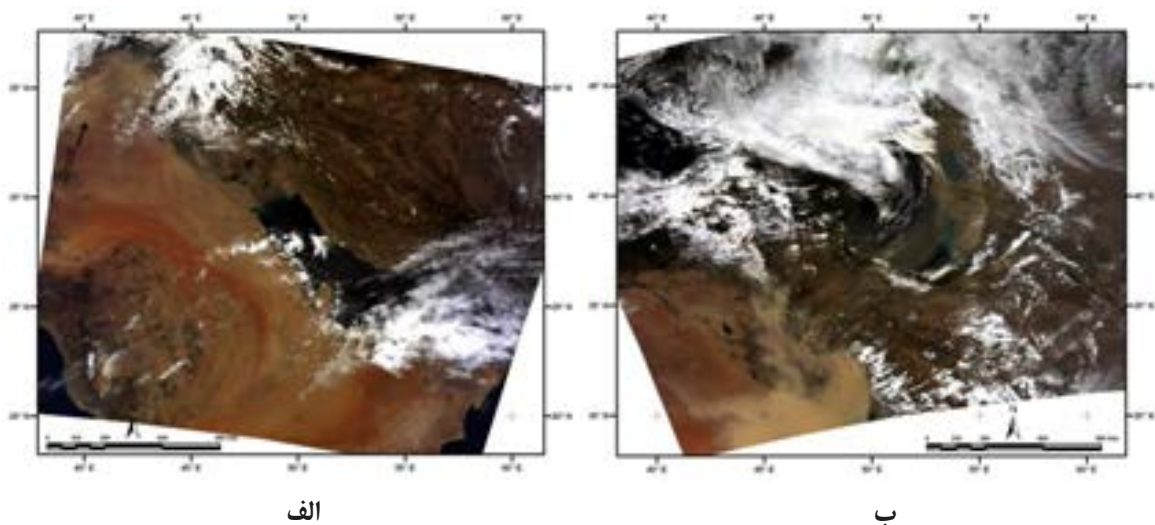
خطوط جریان هوا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ روز ۱۲ آوریل (شکل شماره‌ی ۱۳) نشان می‌دهد که جهت باد از جریان چرخندی (پاد ساعت‌گرد) به‌وجود آمده در اثر وجود هسته‌ی کم‌ارتفاع روی ترکیه، پیروی می‌کند. بنابراین جریان هوا در مرزهای جنوبی ایران در اثر ناوه‌ی ایجاد شده در پربند ۱۴۷۰، جنوبی - شمالی است و این جریان توجیه‌کننده‌ی چگونگی انتشار گردوغبار از پهنه‌های بیابانی شرق شبه‌جزیره عربستان به نواحی جنوبی ایران است. اما جریان هوا در جنوب غرب ایران، به پیروی از پشته‌ی ایجاد شده در پربند ۱۴۷۰ جنوب غربی - شمال شرقی است و نیز این



جریان سبب انتقال گردوغبار به نواحی داخلی تا شمالی ایران می‌شود. همچنین سرعت باد در منطقه، به دلیل افزایش شیو فشار روی کشور عراق تا شمال عربستان، به بیش از ۱۰ متر بر ثانیه افزایش یافته است. بنابراین سرعت باد در تراز ۸۵۰، توانایی انتقال گردوغبار به داخل کشور را دارد. از سوی دیگر در عرض‌های جغرافیایی بالاتر و روی کشور عراق، به دلیل وجود هسته‌ی کم‌ارتفاع روی ترکیه، جریان شمال غربی - جنوب شرقی هوا سبب انتقال گردوغبار ایجاد شده در کشور عراق و مرز سوریه، به نواحی مرزی غرب ایران شده است. در مرز ایران جهت جریان جنوب غرب - شمال شرق بوده و وجود ناپایداری‌ها در منطقه (شکل ۱۱-ج)، سبب انتقال گردوغبار به ترازهای میانی جو شده است. وجود گردوغبار در ترازهای میانی و جریان جنوب غرب - شمال شرق هوا، توجیه‌کننده‌ی انتقال گردوغبار به تهران و سواحل غربی دریای خزر است.



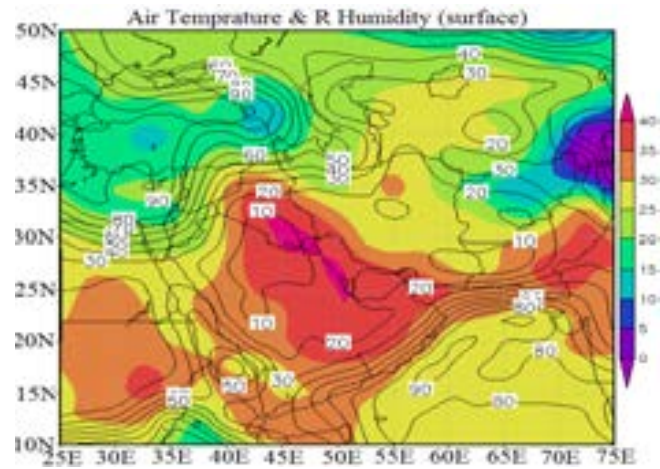
شکل ۱۳. ارتفاع ژئوپتانسیل (منحنی‌های ممتد)، سرعت باد به متر در ثانیه (پهنه‌ی رنگی) و خطوط جریان هوا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ زولو، ۱۲ آوریل ۲۰۱۱



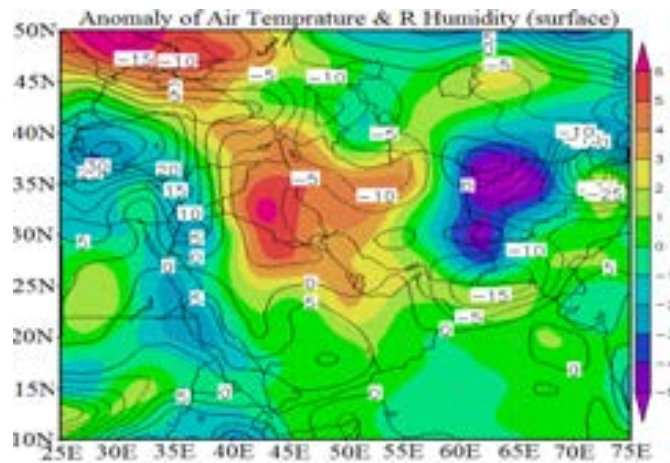
شکل ۱۴. (الف) تصویر ماهواره‌ای در روز ۱۲ آوریل. (ب) تصویر ماهواره‌ای در روز ۱۳ آوریل (برگرفته از سنجنده‌ی مادیس)

### الگوی گرمایی (مطالعه‌ی موردی: ۲ تا ۴ ژوئن ۲۰۱۱)

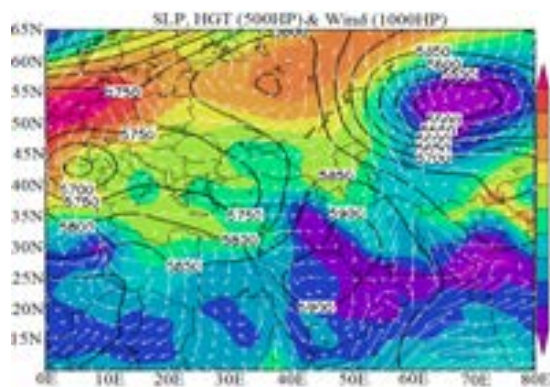
همان‌طور که اشاره شد، در الگوی گرمایی استقرار پُرفشار جنب‌حاره در تراز میانی جو، سبب ایجاد شرایط پایدار و گرم در منطقه شده و ناپایداری حاصل از موج بادهای غربی در منطقه بسیار ضعیف می‌شود. این الگو که دو دوره از دوره‌های مورد مطالعه را شامل می‌شود، مربوط به دوره‌ی گرم فصل بهار است که پُرفشار جنب‌حاره به عرض‌های بالاتر پیش‌روی کرده و در این بین شرایط حرارتی سطح زمین، نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد ناپایداری‌ها در منطقه دارد. برای بررسی این الگو، رخداد گردوغبار در ۲ تا ۴ ژوئن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. هسته‌ی اولیه‌ی گردوغبار در این دوره از اول ژوئن در کشور عراق تشکیل شده است. میزان دمای این روز سطح زمین در عراق و عربستان، بیش از  $42^{\circ}\text{C}$  است و میزان رطوبت نسبی نیز، کمتر از ۱۰ درصد است. ناهنجاری دمای سطح در روز اول ژوئن نشان می‌دهد که دما حدود ۷ درجه نسبت به میانگین، افزایش و میزان رطوبت نسبی در سطح نیز، حدود ۱۵ درصد کاهش داشته است (شکل ۱۵-الف، ب). بدین ترتیب وجود شرایط خیلی خشک در منطقه، بستر اولیه را برای ایجاد گردوغبار فراهم کرده است. افزایش دما سبب تشدید کم‌فشار خلیج فارس و کشیده شدن زبانه‌های آن تا شمال عراق و افت فشار به کمتر از  $1002$  هکتوپاسکال شده است. از سوی دیگر، حرکت چرخندی این کم‌فشار سبب مکش هوای مناطق خشک کشور عراق، جنوب‌شرق سوریه و شبه‌جزیره‌ی عربستان شده و شرایط لازم را برای ناپایداری و صعود شدید هوا فراهم می‌کند (شکل ۱۵-ج). وجود سلول پُرفشار با  $1028$  هکتوپاسکال در شمال غرب اروپا و گردش ساعت‌گرد هوا، سبب حرکت هوا به سوی سلول کم‌فشار شده که شیو شدید فشار، سبب تشدید سرعت باد در سطح زمین شده است. سرعت باد در سطح در غرب تا مرکز عراق بیش از ۱۰ متر بر ثانیه است و این سرعت زیاد با توجه به وجود زمین‌های رسوبی خشک و ناپایدار در کشورهای همسایه، می‌تواند یکی از علل اصلی برداشت ذرات ریز و ایجاد گردوغبار در کشور عراق باشد. از سوی دیگر، در تراز  $500$  هکتوپاسکال، وجود سلول پُرفشار در شبه‌جزیره‌ی عربستان تا جنوب عراق، باعث ایجاد شرایط پایدار در منطقه در تراز میانی شده است. به‌علاوه، وجود یک سلول کم‌ارتفاع در شرق اروپا و امتداد مداری پربند  $5750$  ژئوپتانسیل متر، سبب شکل‌گیری یک ناوه‌ی ضعیف در شرق دریای مدیترانه شده است که بیرونی‌ترین پربند آن در شمال غرب عراق، نمی‌تواند عامل ناپایداری هوا در این مناطق خشک باشد. در دوره‌ی گرم سال، به‌دلیل تضعیف جت جبهه‌ی قطبی در منطقه و انتقال آن به عرض‌های بالاتر و در مقابل، انتقال جت جنب‌حاره به منطقه‌ی خاورمیانه و ایجاد شرایط پایدار در منطقه، ناپایداری‌های این منطقه به کم‌فشارهای گرمایی محدود می‌شود. وجود چنین شرایطی همراه با ضعف رطوبت سبب بروز پدیده‌ی گردوغبار می‌شود (شکل ۱۵-د). در طول این دوره، فرارفت قائم‌هوا ( $0/2$  پاسکال بر ثانیه) در عرض  $35$  درجه، نشان‌دهنده‌ی وجود ناپایداری و حرکات صعودی روی کشور عراق و غرب ایران، در منطقه‌ی کم‌فشار است که به‌دلیل عدم وجود رطوبت کافی برای ایجاد بارش و سرعت زیاد باد، این ناپایداری سبب ایجاد گردوغبار و انتقال آن به ترازهای میانی جو شده است. بنابراین عاملی که می‌تواند توجیه‌کننده‌ی علت ایجاد گردوغبار در روز اول ژوئن (در الگوی گرمایی) باشد، افزایش دما در منطقه و گسترش زبانه‌ی کم‌فشار خلیج فارس روی عراق بر اثر افزایش دما، ضعف رطوبت و سرعت زیاد باد در سطح زمین با توجه به شیو شدید فشار است (شکل ۱۷-ب).



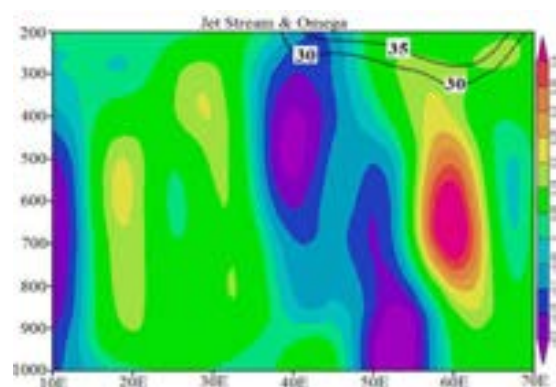
الف



ب



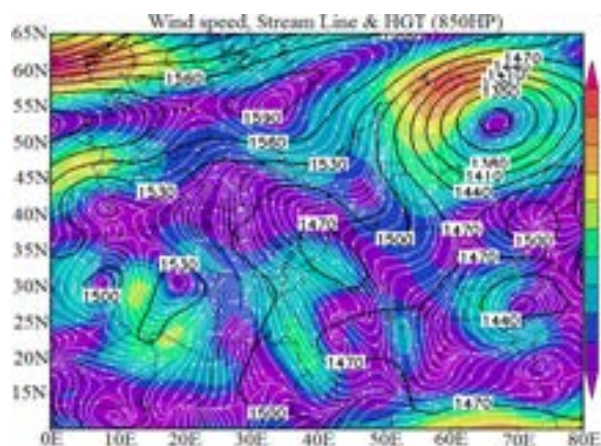
ج



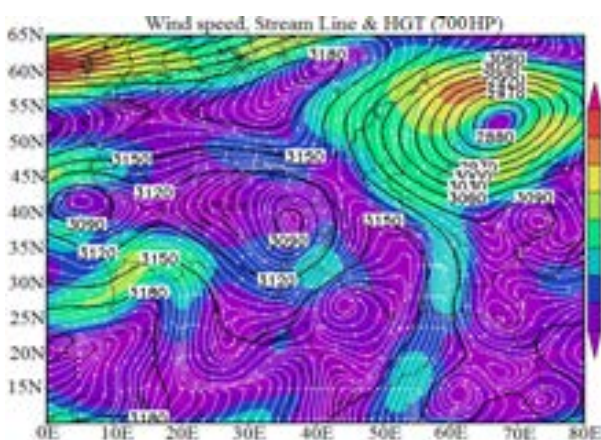
د

شکل ۱۵. الف) الگوی دما و نم نسبی. ب) الگوی ناهنجاری‌های دما و نم نسبی در روز اول ژوئن ۲۰۱۱. ج) ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منحنی‌های ممتد)، الگوی فشار سطح دریا (سطوح رنگی) و بردار باد در سطح زمین. د) نمایه قائم امگا به پاسکال بر ثانیه (پهنه‌ی رنگی) و جریان جت به متر بر ثانیه (منحنی‌های ممتد) در امتداد عرض ۳۵ درجه شمالی در اول ژوئن ۲۰۱۱.

گردوغبار ایجاد شده در روز اول ژوئن در کشور عراق، در ساعات آخر همان روز در غرب ایران نیز مشاهده شده است. چگونگی انتشار گردوغبار به غرب ایران در این دوره، تنها با مسیر جریان هوا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال قابل توجیه نبود و دلیل آن جهت شمال غرب - جنوب شرق باد در کشور عراق است که تنها توجیه‌کننده‌ی جابه‌جایی گردوغبار به استان خوزستان است. این جریان بر اثر وجود هسته‌ی کم ارتفاع همگرا روی کشور عراق ایجاد شده و سبب انتقال گردوغبار به غرب ایران شده است (شکل ۱۷-الف). با این حال، در این دوره، شمال غرب ایران نیز تحت تأثیر پدیده‌ی گردوغبار قرار گرفته است. بنابراین در این دوره برای تحلیل چگونگی انتشار گردوغبار، به تحلیل خطوط جریان در تراز ۷۰۰ نیز است (شکل ۱۷-ب). وجود هسته‌ی کم ارتفاع در شرق دریای مدیترانه و شمال عراق در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، باعث ایجاد حرکت چرخندی هوا به شکل پاد ساعت گرد شده است. در زیر هسته و در مرکز تا شمال کشور عراق، جهت باد جنوب غرب - شمال شرقی بوده و سرعت باد نیز بیش از ۱۰ متر بر ثانیه است. بنابراین بر اثر جریان مذکور، گردوغبار موجود در جو کشور عراق، به غرب و شمال غرب ایران انتقال یافته است. در جنوب کشور عراق و شمال شبه‌جزیره عربستان نیز، جهت جریان کمابیش شرقی - غربی است و موجب انتقال گردوغبار به جنوب غرب ایران شده است.

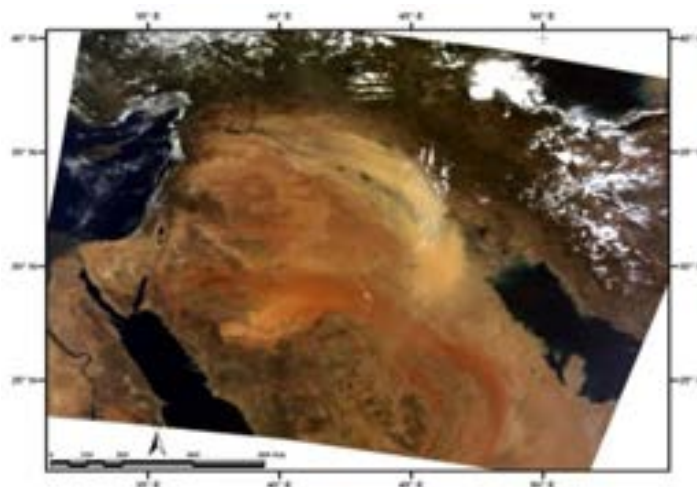


الف

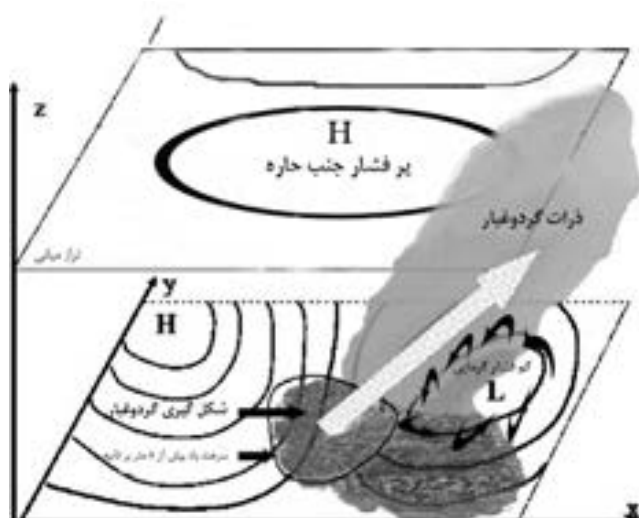


ب

شکل ۱۶. الف) ارتفاع ژئوپتانسیل (منحنی‌های ممتد)، سرعت باد  $m s^{-1}$  (سطوح رنگی)، خطوط جریان هوا در تراز ۸۵۰. ب) ۷۰۰ هکتوپاسکال، در ساعت ۰۰ زولو، دوم ژوئن ۲۰۱۱.



شکل ۱۷. الف) تصویر ماهواره‌ای روز ۲ ژوئن ۲۰۱۱ (برگرفته از سنجنده‌ی مادیس)



شکل ۱۷. ب) الگوی گرمایی ایجاد ریزگردها در غرب ایران  
(برگرفته از سنجنده‌ی مادیس)

## بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعات پیشین به‌صورت کلی به نقش سامانه‌های حرارتی سطح زمین، پویایی تراز میانی جو، پوشش سطح زمین و الگوهای فشار در سطح زمین، در شکل‌گیری و تشدید گردوغبار، بدون در نظر گرفتن فصل مشخصی از سال پرداخته شده است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۳۹۰؛ براتی، ۲۰۱۱) و به تعیین الگوهای غالب رخداد گردوغبار اشاره‌ای نشده است. در این پژوهش، به‌دلیل پیچیدگی الگوهای همدید رخداد گردوغبار غرب و جنوب‌غرب ایران در فصل بهار، به‌تفصیل به تعیین الگوهای همدید مؤثر بر ایجاد و انتشار گردوغبار در این فصل پرداخته شد و نتایج زیر به‌دست آمد:

۱. الگوهای بهاره‌ی ایجاد و انتشار گردوغبار در غرب و جنوب‌غرب ایران به سه الگوی پویا، گرم‌پویا و گرمایی

دسته‌بندی می‌شود که الگوی پویا خود به سه الگوی فرعی ناوه، بندالی زوجی و بندالی اُمگایی تقسیم می‌شود.

۲. در الگوی پویا که دارای بیشترین فراوانی است، ناپایداری‌های حاصل از سیستم‌های مهاجر بادهای غربی، عامل اصلی شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است. این سیستم‌ها در ترازهای میانی، شامل الگوی جت جبهه‌ی قطبی و نقش آن در تشدید ناپایداری‌ها و همچنین شکل‌گیری الگوهای ناوه و بندالی در تراز میانی جو است. در تراز سطح زمین و سطح دریا می‌توان به شکل‌گیری سلول‌های چرخندی، جبهه‌زایی در منطقه، افزایش شیو فشار بر اثر نحوه‌ی آرایش موج‌ها در تراز میانی و افزایش سرعت باد در منطقه، اشاره کرد. هنگامی که آرایش موج‌های غربی به شکل‌گیری یک ناوه یا یک سامانه‌ی بندالی در تراز میانی جو بیانجامد، سبب ایجاد یک هسته‌ی کم‌فشار و جبهه‌زایی در سطح زمین می‌شود که با رخداد جبهه‌زایی و افزایش سرعت باد تا بیش از ۸ متر بر ثانیه همراه است. ناپایداری حاصل از استقرار این سیستم و عدم تغذیه‌ی رطوبتی کافی، باعث ایجاد گردوغبار در منطقه می‌شود.

۳. در الگوی گرم‌پویا، از یک سو در عرض‌های (۲۵ تا ۴۰ درجه)، عامل ایجاد گردوغبار ناپایداری‌های حاصل از سیستم‌های مهاجر بادهای غربی است که به سبب تشدید ناپایداری‌ها و ضعف رطوبت، باعث شگل‌گیری گردوغبار در منطقه می‌شود (مشابه الگوی دینامیک). در عین حال، به‌طور هم‌زمان در عرض‌های پایین‌تر (جنوب شبه‌جزیره‌ی عربستان)، به دلیل استقرار پُرفشار جنب‌حاره در مرکز و جنوب شبه‌جزیره‌ی عربستان، شرایط پایدار بر این منطقه حکمفرماست. در این شرایط افزایش دما در این منطقه، سبب ایجاد کم‌فشارهای حرارتی در سطح زمین شده و با افزایش سرعت باد، هسته‌های اولیه‌ی گردوغبار در شرق و شمال شرق شبه‌جزیره‌ی عربستان را ایجاد می‌کند.

۴. الگوی گرمایی مربوط به دوره‌ی گرم فصل بهار است؛ یعنی زمانی که پُرفشار جنب‌حاره سبب ایجاد شرایط پایدار در ترازهای میانی جو در عرض‌های بالاتر کرده و عامل ایجاد ناپایداری تنها کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین است که بر اثر افزایش دما در منطقه، باعث تقویت کم‌فشار خلیج فارس و کشیده‌شدن زبانه‌های آن روی کشور عراق شده و شیو بالای فشار را در منطقه ایجاد می‌کند. در نتیجه پیامد افزایش سرعت باد در پهنه‌های خشک و بیابانی کشورهای مجاور ایران، رخداد گردوغبار است.

۵. مسیر انتشار گردوغبار به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از نقشه‌های خطوط جریان هوا در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال قابل توجیه است. اگرچه تحلیل مسیر انتشار ریزگردها با استفاده از نقشه‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مربوط به دوره‌هایی است که شدت و حجم گردوغبار زیاد بوده و گردوغبار به ترازهای بالاتر جو انتقال یافته باشد.

۶. چشمه‌های انتشار گردوغبار برای غرب و جنوب غرب ایران، شامل پهنه‌های دشت بین‌النهرین در کشور عراق، شرق و شمال شرق شبه‌جزیره‌ی عربستان، شرق و جنوب شرق سوریه و در پاره‌ای از موارد صحرای آفریقا است.

۷. از آنجاکه در شکل‌گیری گردوغبار در منطقه خاور میانه، علاوه بر عوامل همدید، عوامل محلی مانند باد شمال دارای نقشی اساسی هستند، بنابراین بررسی سازوکارهای محلی مؤثر بر شکل‌گیری این پدیده با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای، می‌تواند یک موضوع پژوهش فراروی پژوهشگران در آتیه باشد.

## منابع

- براتی، غلامرضا؛ لشکری، حسن؛ کرمی، فریبا، ۱۳۹۰، نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد طوفان‌های گردوغباری استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، صص. ۵۶-۳۹.
- خسروی، محمود، ۱۳۸۹، بررسی توزیع عمودی گردوغبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS (مورد: سیستان ایران)، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام، زاهدان، ایران.
- خسروی، محمود؛ طاووسی، تقی؛ رئیس‌پور، کوهزاد، ۱۳۸۹، تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغباری در استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص ۹۷-۱۱۸.
- ذوالفقاری، حسن و عابدزاده، حیدر، ۱۳۸۴، تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغباری در غرب ایران، جغرافیا و توسعه، سال ۳، شماره ۶، صص. ۱۸۷-۱۷۳.
- ذوالفقاری، حسن؛ معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ شایگان‌مهر، شاپور؛ احمدی، محمد، ۱۳۹۰، بررسی همدید طوفان‌های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۸۸ (مطالعه‌ی موردی: موج فراگیر تیر ماه ۱۳۸۸)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۴۳، شماره ۳، صص. ۳۴-۱۷.
- صمدی، مهدی، ۱۳۹۰، آشکارسازی و شناسایی چشمه‌های طوفان‌های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- عزیزی، قاسم، ۱۳۷۵، بلوکینگ و اثرات آن بر بارش‌های ایران، رساله‌ی دکترا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- علیجانی، بهلول، ۱۳۸۱، شناسایی تیپ‌های هوایی باران‌آور تهران بر اساس محاسبه‌ی تاوایی، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌های ۶۴ و ۶۳، ۱۳۲-۱۱۴.
- علیجانی، بهلول، ۱۳۸۵، اقلیم شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت، تهران.
- کریمی احمدآباد، مصطفی؛ شکوهی رازی، کامیار، ۱۳۹۰، اندرکنش گردش جو و پوشش سطح زمین در سازوکار تشکیل و گسترش طوفان‌های گردوغبار تابستانه‌ی خاورمیانه (طوفان گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صص. ۱۳۰-۱۱۳.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم، ۱۳۸۷، تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله‌ی زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۵، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص. ۳۳-۱۷.
- میری، مرتضی، ۱۳۹۰، تحلیل آماری و سینوپتیکی پدیده‌ی گردوغبار در نیمه‌ی غربی ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، به راهنمایی قاسم عزیزی، دانشگاه تهران، دانشکده‌ی جغرافیا.
- Ackerman, S.A., 1997, **Remote Sensing Aerosols Using Satellite Infrared Observations**, Journal of Geophysical Research, Vol. 102, PP. 17069-17080.
- Al-Dabbas, M. A., Ayad Abbas, M., Al-Khafaji, R. M., 2011, **Dust Storms Loads Analyses-Iraq**, International Journal of Water Resources and Arid Environments, Vol. 1, No. 2, PP.129-141.

- Al-Hurban, A.E., Al-Ostad, A.N., 2009, **Textural Characteristics of Dust Fallout and Potential Effect on Public Health in Kuwait City and Suburbs**, Earth and Environmental Science, Vol. 60, PP. 169-181.
- Alijani, B., 2001, **Determination of the Rain Producing Weather Types in Tehran Using Vorticity Computation Method**, Geography Research Quarterly, No. 64-63, PP. 115-132.
- Alijani, B., 2002, **Synoptic Climatology**, 1st Edition, SAMT Organization, Tehran.
- Amanollahi, J., Kaboodvandpour, S., Abdullah, A.M., Ramli, M.F., 2011, **Accuracy Assessment of Moderate Resolution Image Spectroradiometer Products for Dust Storms in Semiarid Environment**, Int. J. Environ. Sci. Tech., Vol. 8, No. 2, PP. 373-380.
- Anderson, J. W., 2004, **An Analysis of a Dust Storm Impacting Operation Iraqi Freedom**, Master Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey California, USA.
- Anuforum, A.C., 2007, **Spatial Distribution and Temporal Variability of Harmattan Dust Haze Insub-Sahel West Africa**, Atmos Environ, No. 41, PP. 9079-9090.
- Azizi, GH., 1996, **Blocking and Its Effect on Iran Precipitations**, Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University.
- Baker, A.R., Mahowald, N.M., Bergametti, G., Brooks, N., Duce, R.A., et al., 2005, **Atmospheric Global Dust Cycle and Iron Inputs to the Ocean**, Global Biogeochem, Cycles 19, GB4025, doi:10.1029/2004GB002402.
- Barati, GH. R., Lashkari, H., Karami, F., 2011, **Convergence Role of Pressure Systems on the Occurrence of Sand Storms in Khuzestan Province**, Geography and Development Iranian Journal, No. 22, PP. 36-51.
- Barkan, J., Alpert, P., Kutiel, H., Kishcha, P., 2005, **Synoptics of Dust Transportation Days from Africa toward Italy and Central Europe**, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, PP. 1-14.
- Fung, I., Tegen, I., 1995. **Contribution to the Atmospheric Mineral Aerosol Load from Land Surface Modification**, Journal of Geophysical Research, No. 100, PP.18707-18726.
- Gillette, D.A., Hanson, K.J., 1989, **Spatial and Temporal Variability of Dust Production Caused by Wind Erosion in the United States**, Journal of Geophysical Research, Vol. 94, PP. 2197-2206.
- Goudie, A.S., 2006, **Dust Storms: Recent Developments**, Journal of Environmental Management, Vol. 90, PP. 89-94.
- Hojati, S., Khademi, H., Faz Cano, A., Landi, A., 2011, **Characteristics of Dust Deposited along a Transect between Central Iran and the Zagros Mountains**. Catena J., Vol. 88, PP. 27-36.
- Huang, J., Jinming, G., Weng, F., 2007, **Detection of Asia Dust Storms Using Multisensor Satellite Measurements**, Remote Sensing of Environment, Vol. 110, PP. 186-191.
- Kalderon-Asael, B., Erel, Y., Sandler, A., Dayan U., 2009, **Mineralogical and Chemical Characterization of Suspended Atmospheric Particles over the East Mediterranean Based on Synoptic-scale Circulation Patterns**, Atmospheric Environment doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.03.057.



- Karimi Ahmad Abad, M., Shakouhi Razi, K., 2012, **Interaction between Atmospheric Circulation and Land Cover in the Mechanism of Creation of Summertime Dust Storms in Middle East (Case Study: July 2009)**, Physical Geography Research Quarterly, No. 78. PP. 113-130.
- Khosravi, M., 2010, **A Survey on the Vertical Distribution of Dust and Particle to Arise from Storms in Middle East (Case Study: Sistan, Iran)**, the Forth International Congress of the Islamic World Geographers, Zahedan, Iran.
- Khosravi, M., Tavooosi, T., Raeespur, K., 2010, **Synoptical Analysis of Dust Systems in Khozestan State**, Geography and Development Journal, No. 20, PP. 97-118.
- Lashkari, H., Keykhosravi, G., 2008, **Synoptic and Statistical Analysis Dust Storm in Khorasan Province**, Physical Geography Research Quarterly, No. 65, PP. 17-33.
- Maghrabi, A., Alharbi, B., Tapper, N., 2009, **Impact of the March 2009 Dust Event in Saudi Arabia on Aerosol Optical Properties, Meteorological Parameters, Sky Temperature and Emissivity**, Atmospheric Environment, Vol. 45, PP. 2164-2173.
- Mao, R., Ho, CH. H., Shao, Y., Gong, D. Y., Kim, J., 2011, **Influence of Arctic Oscillation on Dust Activity over Northeast Asia**, Atmospheric Environment, No. 45, PP. 326-337.
- Ming Liu, Ch., Zheng, A.Q., Wu, M. Ch., Song M. H. & Liu, J.T., 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.
- Miri, A., Ahmdi, H., Ekhtesasi, M. R., Panjehkeh, N., Ghanbarie, A., 2009, **Environmental and Socio-economic Impacts of Dust Storms in Sistan Region, Iran**, Journal of Environmental Studies, Vol. 66, No. 3, PP. 343- 355.
- Miri. M., 2012, **Synoptic and Statistical Analysis of Dust Phenomena in Half West of Iran**, M.A. Thesis, Guided by Azizi, Gh., Dep. of Physical Geography, University of Tehran.
- Najafi, M.S., Khoshakhlagh, F., Samadi, M., 2012, **Analysis of Synoptic Conditions of Dust Occurrence in Summer at the Western Iran**, The First International Congress on Dust Haze and Combating its Adverse Effects, Khuzestan Ramin Agriculture & Natural Resource University, Ahwaz, Iran.
- Nilsson, A., Lagesson, V., Bornehag, C., Sundell, J., Tagesson, C., 2005, **Quantitative Determination of Volatile Organic Compounds in Indoordust Using Gas Chromatography-UV Spectrometry**, Environment International, Vol. 31, PP. 1141-1148.
- Rasoli, A.A, Sari Saref, B., Mohammadi, GH., 2010, **Analysis of Dust Occurrence Trend in West of Iran in Last 55 Years with Nonparametric Tests**, Physical Geog, Quarterly J. No. 9, PP. 15-27.
- Samadi, M., 2011, **Dust Storm Detection and Source Identification by Using Satellite Imagery**, M.A, Thesis, University of Tehran.
- Schultz, M. D., Doswell, A. CH., 1999, **Conceptual or Models Upper-level Frontogenesis in South-westerlyzand North-Westerly Flow**, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, No. 125, PP. 2535-2562.
- Shine, K.P., Forster, P.M.D., 1999, **The Effect of Human Activity on Radiative Forcing of Climate Change: A Review of Recent Developments**, Global and Planetary Change, Vol. 20, PP. 205-225.

- Tanaka, T.Y., Chiba, M. A., 2006, **Numerical Study of the Contribution of Dust Source Regions to the Global Dust Budget**, Glob Planetary Change, Vol. 52, PP. 88-104.
- Wang X., Zhou Z. and Dong Z., 2006, **Control of Dust Emissions by Geomorphic Conditions, Wind Environments and Land Use in Northern China: An Examination Based on Dust Storm Frequency from 1960 to 2003**, Geomorphology, Vol. 81, PP. 292-308.
- Yaqiang, W., Stein, A. F., Roland R.D., de La Rosa, J. D., Xiaoye, Z., 2011, **Global Sand and Dust Storms in 2008: Observation and HYSPLIT Model Verification**, Atmospheric Environment, No. 45, PP. 6368-6381.
- Yarnal, B., 1993, **Synoptic Climatology in Environmental Analysis**, Belhaven Press, London.
- Zhao, L., Zhao, S., 2006, **Diagnosis and Simulation of a Rapidly Developing Cyclone Related to a Severe Dust Storm in East Asia**, Global and Planetary Change, Vol. 52, PP. 105-120.
- Zoalfaghari, H., Abedzade, H., 2005, **Synoptical Analysis of Dust Systems in West of Iran**, Geography and Development Journal, Vol. 6, No. 3, PP. 173-188.
- Zolfaghari, H., Masoumpour Samakosh, J., Shaygan Mehr, SH., Ahmdi, M., 2011, **A Synoptic Investigation of Dust Storms in Western Regions of Iran During 2005- 2010 (A Case Study of Widespread Wave in July 2009)**, Geography and Environmental Planning Journal, Vol. 43, No. 3, PP. 17-34.

*An Analysis on Synoptic Patterns of Springtime Dust Occurrence in  
West of Iran*

**Khoshakhlagh F.\***

Assistant Prof. of Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran

**Najafi M.S.**

MSc. Student of Climatology, Faculty of Geography, University of Tehr

**Samadi M.**

MSc. Student of Remote Sensing & Geographic Information System, Faculty of Geography,  
University of Tehran

Received: 24/10/2011

Accepted: 02/07/2012

**Extended Abstract**

**Introduction**

Dust storm is one of the most important natural phenomena and a kind of severe natural disaster that begins and diffuses under the influence of atmospheric systems. It occurs frequently in deserts and their surrounding areas in arid and semi arid regions. So, the major and most persistent sources for dust scattering in the Northern Hemisphere are located in the “dust belt” which extends from 20°N to 30°N and are developed under the subtropical high-pressure subsidence (Kalderon et al., 2009). In the recent years, there has been an increase in the trend of dust storms in the west and southwest of Iran, especially in spring and summer. Now it is going to change into a persistent environmental problem in Iran and the Middle East region. Dust storms have an impact on many aspects of society, such as the quality of the inhabitants' lives, transportation, air pollution, communication systems and consequent crisis such as, eco-social and biological problems. Additionally, dust can play multiple roles in mediating physical and biogeochemical exchanges among the atmosphere, land and water. So the dust storms affect many aspects of Iranian inhabitants especially who live in the western region. There are many reasons for dust scattering in the atmosphere, including the composition and moisture content of soils, wind velocity and distribution of pressure at the surface and atmospheric levels. The aim of this study is to analyze the different synoptic patterns of springtime dust occurrence in the west and southwest of Iran.

**Methodology**

In this research, for determining the synoptic patterns of dust occurrence in west and southwest of Iran, three types of data were used including: 1) hourly data of dust phenomena and horizontal visibility for 2000-2011 years for 45 meteorological stations in west and southwest of Iran. 2) In order to detect dust, the data of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor from NASA's Aqua and Terra satellites were used. Since in (MODIS) sensor, bands 31 and 32 (11 and 12 micrometer) are within the thermal infrared range, so the brightness temperature difference between 11 and 12 micron bands in the spectrum can be used for the detection of dust storms from other climatic phenomenon such as clouds. 3) Six-hourly global data analysis with  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  resolution from the NCEP/NCAR reanalysis, including air temperature, sea level pressure, geo-potential height, U-wind and V-wind components, relative and specific humidity and omega from 1000hPa to 200hPa, were used for the preparation of maps and identify the synoptic patterns. The method of the research was based on the synoptic approach. After clarification of the most patterns of dust occurrences, we identified 15 widespread storms in 11-years period.

### Results and Discussion

In this paper, by investigating the synoptic patterns of the dust storms, we identified three main synoptic patterns including:

**Dynamic pattern:** This pattern is the main pattern for creation of dust storm in the Middle East and division to westerly trough, coupling block and omega block. When, the emigrant systems of westerly waves are dominant atmospheric phenomena in Iran and its neighbors, the formation of a trough or blocking in the waves in east Mediterranean cause ascendant weather in Iraq or north of Arabian Peninsula which also cause the formation of a cyclone under the upper divergence part in the surface. Increased pressure gradient and formation of the cold or warm front which cause an increase in wind speed in Iraq and north eastern Arabian Peninsula, are basic sources for generating dust in west and southwest of Iran. Finally the lack of humidity in this region will cause dust storm in these regions.

**Dynamic-Thermal pattern:** In this pattern, westerly waves and the emigrant systems caused creation of dust in higher latitude (Iraq), similar to dynamic pattern, but at the same time in lower latitude, in Arabian Peninsula, Sub Tropical high-pressured are dominated and cause stable atmosphere in this region. So, the pattern of dust creation is different from upper latitudes. In this region, dust creation is under the influence of the increase of air temperature and reduction of relative humidity in the surface in east and northeast of Arabian Peninsula. Thus, it causes the development of Persian Gulf low pressure and an increase in wind's speed and creation of dust. The dusts generated with wind stream line in 700 or 850 HP scatter in southwest on Iran.

**Thermal pattern:** When sub tropical high-pressured are dominated in the Middle East, the increase of air temperature and reduction of relative humidity in the surface in Iraq and Arabian Peninsula cause the development of Persian Gulf low pressure and increase of wind's speed in

this region that is suitable for dust creation

### **Conclusion**

In recent years dust occurrence is an important natural hazard in west and southwest of Iran. The annual dust cycle in the Middle east are associated with seasonal occupation changes in westerly winds, rainfall and soil moisture, downward flowing jet stream in cold period and thermal cyclone in warm period. This paper includes the following results:

- a) When westerly waves and their emigrant systems are dominant atmospheric phenomenon in low latitudes (Iraq and Arabian Peninsula), these ascendants cause the creation of dust in west and southwest of Iran.
- b) At the same time westerly waves and their ascendant in upper latitudes cause dust occurrence in Iraq. But in Arabian Peninsula, Sub Tropical high-pressure is dominant and creation of dust is affected by thermal surface low pressure.
- c) At the end of spring, the Middle East is dominated by subtropical high pressure and subtropical jets stream, but the circulation of the atmosphere during dust storm, shows that a low pressure extends over Persian Gulf and south of Turkey. So, the surface low pressure is the cause of dust occurrence in Iraq or Arabian Peninsula.

Basic sources for scattering of dust in west and southwest of Iran are Iraq, desert lands in north and northeast of Arabian Peninsula, East and southeast of Syria, also in some times is Sahara desert.

***Keywords: Synoptic Climatology, Dust, Atmospheric Systems, MODIS Sensor, West and Southwest of Iran.***