شناسایی و تحلیل الگوهای جوی مولد گردوغبارهای غرب ایران (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

محمد پروین: *دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران*
حسن لشکری: *دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران*
رضا برنا*: *دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران*
مصطفی کرم‌پور: *استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم آباد*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۹)
DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0

چکیده

یکی از مشکلات زیست‌محیطی کشور ما، وقوع رخداد طوفان‌های گردوغبار به‌ویژه در استان‌های غربی و جنوب‌غربی کشور است؛ از این رو، در این پژوهش به بررسی و تحلیل سینوپتیکی چگونگی شکل‌گیری پدیدهٔ گردوغبار، شناخت مناطق منشأ و مسیر ورود آنها به نیمهٔ غربی ایران (مطالعه موردی: استان کرمانشاه) پرداخته شده‌است. پس از استخراج روزهای گردوغباری، داده‌های تراز دریا، ۷۰۰، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به همراه تاوایی متناظر با روزهای گردوغبار با استفاده از امکانات برنامه‌نویسی در محیط گردس استخراج شد. سپس به کمک تحلیل خوشه‌ای، روزهای نماینده و الگوهای گردوغباری غرب ایران در محیط متلب شناسایی شد. نتایج نشان داد که رخداد گردوغبارهای استان کرمانشاه تحت‌تأثیر پنج الگوی جوی مختلف است که بیشترین فراوانی به الگوی اول و دوم بازمی‌گردد که کم‌فشار موسمی هند کنترل‌کنندهٔ اصلی آن است؛ با این حال، شدیدترین رخدادهای گردوغباری کرمانشاه زمانی ایجاد می‌شود که گردش موسمی هند در جنوب و جنوب-شرق آسیا، جریان مداری غرب‌سو و مداومی در تراز زیرین جو ایجاد کند که محل اصلی همگرایی و نزول آن، چاهه گرمایی جنوب غرب آسیا تا شرق مدیترانه است؛ به‌طوری که هستهٔ پر ارتفاع آزور در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، با ایجاد همگرایی فوقانی و نزول قائم هوا به تشدید و تقویت کم‌فشار سطحی منجر می‌شود. علاوه بر این، کم‌فشار حرارتی سودان و دریای سرخ با تغییر حالت از ترمودینامیکی به دینامیکی به همراه سامانه‌های پرفشار اروپا، حداکثر میزان شیو فشاری را در نواحی خشک و بیابانی عربستان، عراق و شمال آفریقا ایجاد می‌کند؛ به‌گونه‌ای که کشیده شدن ناپایداری تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و استقرار ناوهٔ مدیترانه-ای، به تداوم و ماندگاری بیشتر روزهای گردوغباری منجر می‌شود. این شرایط همراه با شرایط دیگر نظیر خشکی شدید هوا، به برخاستن گردوغبار از نواحی بیابانی عربستان، عراق، سوریه و شمال آفریقا و انتقال آن به نواحی غربی ایران منجر می‌شود.

واژگان کلیدی: تراز فوقانی، سامانهٔ کم‌فشار، طوفان‌های گردوغبار، کرمانشاه، ناپایداری جو.

* نویسنده مسئول: bornareza@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

۱ـ مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به عنوان یک پدیدهٔ اقلیمی مهم، در چند دههٔ اخیر نظر سیاستمداران، اقتصاددانان، محققان و مردم عادی را به خود معطوف کرده‌است. هرکدام از این گروه‌ها از دیدگاه حرفه‌ای خود به این مسئله علاقه دارند. آنچه که هست این پدیده، تحول بزرگی را در زیست، فعالیت، سلامت، اقتصاد، کشاورزی و صنعت انسان‌ها ایجاد خواهد کرد (Takemi and Seino, 2005) و محیط‌های طبیعی به شدت از آن متأثر خواهند شد. پس همهٔ اکوسیستم‌ها می‌بایست در جهت سازگاری با شرایط جدید حرکت کنند؛ در غیر این صورت، آسیب جدی خواهند دید. در یک دههٔ اخیر، منطقهٔ پر فراز و نشیب خاورمیانه در کنار همهٔ حوادث طبیعی دیگر (سیل، زلزله، خشکسالی و ...)، با پدیدهٔ طوفان‌های شن و گردوغبار دست به گریبان بوده‌است. گرمایش و تغییرات اقلیمی، اکوسیستم‌های طبیعی این منطقهٔ آسیب‌پذیر و شکننده را بیش از هر نقطه‌ای در دنیا متأثر ساخته‌است. از دیدگاه هواشناسی سینوپتیک، توفان یک پدیدهٔ مخرب منحصر به فرد روی نقشه‌های سینوپتیکی است که ترکیبی از پدیده‌های فشار، ابر، بارندگی، باد و غیره را در برمی‌گیرد (Hosseini, 2000 & Alijani, 2006). این در حالی است که بیشترین گردوغبار موجود در جو، با منشأ ذرات ریزدانه اتفاق می‌افتد و این ذرات ریز در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان فراوانی بالاتری دارد (Arimoto, 2001)؛ به‌طوری که دامنهٔ اثرهای سوء گردوغبار بسیار فراوان است و بر کیفیت هوا (Chan et al, 2005)، سلامتی انسان (Meng and Zhang, 2006) و سیستم‌های اقلیمی تأثیر می‌گذارد (Arimoto, 2001). برحسب تداوم زمانی، این پدیده به دو نوع طوفان گردوخاک کوتاه‌مدت (تا نیم ساعت) و طولانی‌مدت (چند ساعت و حتی یک شبانه‌روز) تقسیم می‌شود (Çapraz and Doğan, 2017). به‌طورکلی، طوفان گردوخاک به باد شدیدی گفته می‌شود که ذرات ماسه را در هوا با خود حمل و آنها را از یک مکان به مکان دیگر منتقل می‌کند (Rodopoulou et al, 2014 & Maletsika et al, 2015). قطر ذرات ماسه‌های ذکر شده با سرعت باد رابطهٔ مستقیمی دارد؛ بدین‌ترتیب، بادهای با سرعت بیشتر می‌توانند مواد درشت‌تر را حمل کنند و برعکس (Faridi et al, 2017). در کل، موادی که حمل می‌شود قطری بین ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر دارد و عموماً در ارتفاع کمتر از سه متری (ده پایی) از سطح زمین مشاهده می‌شود (Fonts et al, 2017 & Wu and Wang, 2015).

طوفان گردوخاک معمولاً در نواحی بیابانی شکل می‌گیرد که در آن ماسه‌های سست و منفصل وجود دارد؛ مانند تپه‌های ماسه‌ای که با خاک مخلوط شده باشد (Leonard et al, 2017 & Chaturvedi, 2013). درواقع، ایجاد گردوغبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد که در این رابطه، باید نقش فعالیت‌های انسانی را در کنار شرایط طبیعی محیط‌های جغرافیایی در نظر گرفت (Arimoto, 2000). مدفون ساختن مناطق مسکونی در زیر ماسه‌ها، از بین بردن زمین‌های کشاورزی و گسترش نواحی بیابانی، ایجاد بارش‌های رنگین، ایجاد اخلال در سیستم حمل‌ونقل، آفت‌زدگی مزارع کشاورزی و باغ‌های میوه (Koren et al, 2015)، آلودگی هوا، بروز مشکلات و بیماری‌های تنفسی، شیوع بیماری‌های عفونی و ... از مهم‌ترین عوارض طوفان‌های گردوغباری است (Goudie and Midelton, 2002). از مهم‌ترین شرایط ایجاد گردوغبار در کنار هوای ناپایدار، وجود رطوبت یا فقدان آن است؛ به‌طوری‌که اگر هوای ناپایدار رطوبت داشته باشد، بارش و طوفان رعد و برق ایجاد می‌کند و اگر فاقد رطوبت باشد، طوفان گردوغبار (Yarnal, 1993 & Hkutile and Alpert, 2005).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

در همین راستا، مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در زمینهٔ شناسایی منشأ و تحلیل سینوپتیکی آن انجام شده‌است؛ به‌طوری که Barkhan و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی چگونگی انتقال گردوغبار صحرا به ایتالیا و مرکز اروپا، استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای روی جنوب‌شرق مدیترانه و کم‌فشار ناشی از تراف ایسلند در غرب آفریقا را به عنوان عامل اصلی وقوع گردوغبار و انتقال آن به ایتالیا و مرکز اروپا معرفی می‌کنند. علاوه بر این، Omidvar (۲۰۰۶) با مطالعهٔ توفان‌های ماسه‌ای در دشت یزد اردکان، کم‌فشارهای دینامیکی همراه با جبهه را عامل رخداد گردوغبار می‌داند. Kaviani (۲۰۰۷) نیز معتقد است که علت اصلی تشکیل گردوخاک در بیابان‌ها، ناپایداری هوا در سطح زمین و ترازهای بالایی است؛ در حالی که مطالعهٔ گردوخاک در استان خراسان رضوی نشان داد که ناپایداری ترمودینامیکی (Lashkari and Kaykhosravi, 2008) و در استان خوزستان، استقرار کم ارتفاع بر روی اروپا و دریای مدیترانه و نفوذ امواج غربی تا عرض‌های پایین به همراه ناوه‌های امواج غربی بر روی کانون‌های گردوغبار، عامل وقوع گردوغبار در این منطقه است (Ataei and Ahmadi, 2010). علاوه بر این، Heidari (۲۰۰۷) با بررسی یکی از سامانه‌های مولد گردوغبار در کرمانشاه نشان داد که سیکلون‌های بسته روی عراق و شمال عربستان، عامل اصلی برخاستن گردوغبار و فعال شدن کانون‌های گردوغباری است. Ezzatian و Bagheri (۲۰۰۹) با مطالعهٔ طوفان‌های گردوغبار در غرب و مرکز کشور نشان دادند که جریان‌های جوی، گردوغبار موجود در کشور را از صحرای شمال آفریقا منتقل می‌کنند و حاکمیت جوی پایدار در مرکز کشور، عامل ماندگاری آن در مجاورت زمین و ایجاد حالت بحرانی آلودگی هواست. در همین راستا، تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغبار خوزستان نشان داد که سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبههٔ قطبی در دورهٔ گرم سال و کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین در دورهٔ گرم سال، مهم‌ترین عامل ایجاد گردوغبار بوده‌است (Tavousi et al, 2010). بنابراین، با توجه به اینکه پدیدهٔ گردوغبار به‌ویژه طی سال‌های اخیر مشکلات بسیار زیادی را برای شهرهای غربی و جنوب غربی ایجاد کرده‌است، بررسی مکانیسم رخداد این پدیده و شناسایی این کانون‌ها اهمیت بالایی دارد؛ از این رو، در این مطالعه سعی شده‌است به کمک تصاویر ماهواره‌ای به بررسی شرایط همدیدی و تحلیل مسیر گردوغبارهای غرب کشور (کرمانشاه) پرداخته شود.

۲ـ مواد و روش‌ها

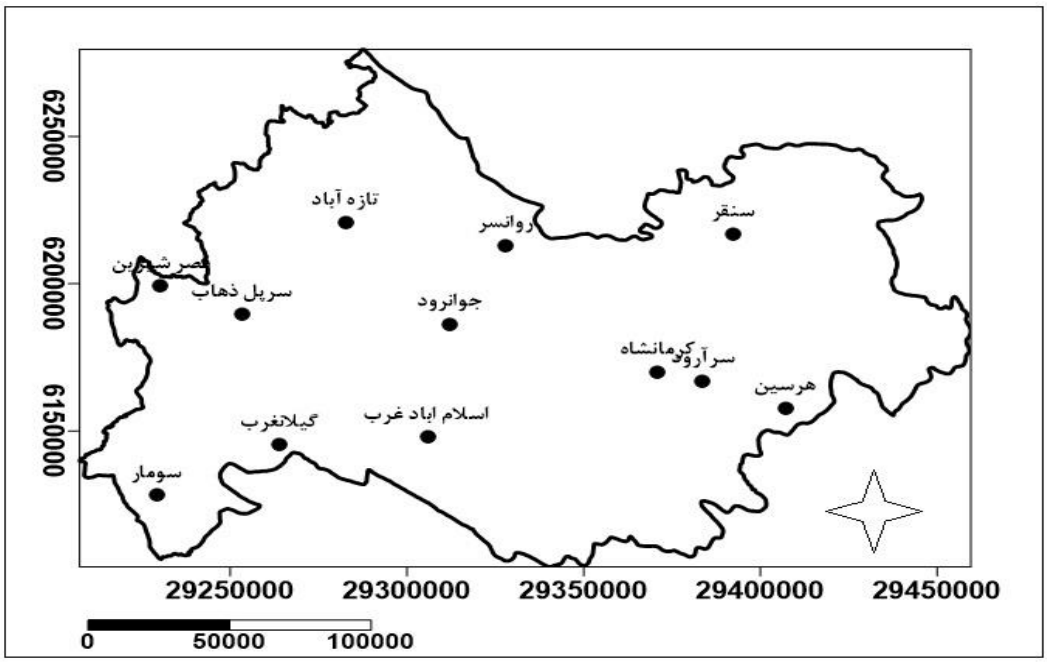
در این پژوهش به بررسی و تحلیل همدیدی گردوغبارهای استان کرمانشاه پرداخته شد. برای این منظور از دو پایگاه داده‌ای استفاده شد:

پایگاه داده‌ای محیطی: برای این منظور کدهای گردوغبار برای دوازده ایستگاه سینوپتیکی از جمله گیلان غرب، قصرشیرین، هرسین، سنقر، تازه‌آباد (کرمانشاه) جوانرود، اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، سرپل ذهاب و روانسر، طی یک دورهٔ بیست ساله (از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. ذکر این امر لازم است که در این بررسی، ایستگاه‌هایی انتخاب شدند که طول دورهٔ آماری مشترکی داشتند. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه، در شکل ۱ و کدهای گردوغبار مورد استفاده نیز در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

تحلیل‌های همدیدی ـ پویشی: در این بخش از پژوهش، با اجرای طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریای (SLP) روزهای توأم با گردوغبار، گروه‌های روزهای نماینده مشخص و با استفاده از نقشه‌های فشار تراز دریا و ارتفاع

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و الگوهای همدیدی، عامل ایجاد گردوغبار فراگیر در غرب ایران بررسی و تحلیل شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان کرمانشاه

جدول ۱: کدهای هواشناسی تعریف شده توسط سازمان جهانی هواشناسی WMO برای گردوغبار

کد هواشناسی	نام علمی	توضیحات
۰۶	گرد و غبار معلق	گرد و غبار معلق در هوا که مسافت زیادی را پوشانده است.
۰۷	گرد و خاک	گرد و غبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است
۰۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن
۰۹	طوفان	گرد و خاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود دارد یا در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است
۳۰	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۱	طوفان گرد وغبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۲	طوفان گرد وغبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی ۲۰۰- ۱۰۰۰ متر
۳۳	طوفان گرد وغبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی
۳۴	طوفان گرد وغبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۳۵	طوفان گرد وغبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۹۸	طوفان گرد و غبار یا ماسه خیلی شدید یا تندر	طوفان‌هایی که در محل ایستگاه یا اطراف آن بلند شده‌اند با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر

استخراج داده‌های جوی: در اولین گام به‌منظور اجرای عمل طبقه‌بندی و محاسبات بعدی، با اجرای برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Grads، دادهٔ فشار تراز دریا (SLP) و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای توأم با گردوغبار فراگیر استخراج شد. در گام بعدی با هدف اجرای طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا و شناسایی روزهای نماینده، به اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی روزهای توأم با گردوغبار فراگیر پرداخته شد. تحلیل خوشه‌ای

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

روشی است که در آن متغیرها بر اساس ویژگی‌های موردنظر ما در گروه‌های خاصی طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از این تحلیل، یافتن دسته‌های واقعی افراد و کاهش حجم داده‌ها است؛ به عبارت دیگر، هدف از آن شناسایی تعداد کمتری از گروه‌هاست؛ به‌طوری‌که داده‌های با شباهت بیشتر در یک گروه قرار گیرند (Farshadfar, 2010) و پراش درون‌گروهی کمینه و پراش بین گروهی بیشینه شود. در این روش، گروه‌بندی داده‌ها بر اساس فاصله یا شباهت بین آنها صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری فاصلهٔ بین داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آنها، روش فاصله‌ی اقلیدسی است که صورت ریاضی آن بدین شکل می‌باشد (Asakereh, 2011):

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij} - x_{ik})^2}$$ رابطهٔ ۱

در رابطه‌ی بالا d_{jk} بیانگر فاصلهٔ اقلیدسی، x_{ij} مقدار متغیر موردنظر در نقطهٔ اول و x_{ik} مقدار همان پارامتر در نقطهٔ دوم است که با به دست آمدن تفاضل آنها، میزان فاصلهٔ دو نقطه مشخص می‌شود و با محاسبهٔ فاصلهٔ اقلیدسی برای تمام نقاط موردنظر، ماتریس فاصله‌ها شکل می‌گیرد. بعد از به دست آمدن این ماتریس، باید عملیات ادغام روی مقادیر آن صورت گیرد. در پژوهش‌های اقلیمی معمولاً از روش ادغام وارد[1] (کمینه‌ی واریانس) استفاده می‌شود. در این روش طی هر مرحله از تحلیل، کمبود اطلاعاتی را که براثر دسته‌بندی افراد در دسته‌ها به وجود می‌آید، می‌توان توسط کل مجموع مربعات انحرافات هر نقطه از میانگین دسته‌ای که به آن تعلق دارد، به دست آورد؛ بدین‌صورت که ابتدا هر فرد به‌عنوان عضو واحد یک دسته با مجموع مربعات خطای صفر در نظر گرفته می‌شود؛ سپس در هر دسته‌بندی مجموع مربعات خطا (ESS)[2]، یک جفت دسته یا گروه ممکن تعیین می‌شود و افرادی که در یک جفت از دسته‌ها حداقل مجموع مربعات خطا را دارند، در یک دسته قرار می‌گیرند. با استفاده از روش وارد، مقدار ESS از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (Farshadfar, 2010):

$$E.S.S = \sum_{i=1}^{k}[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j}[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}]^2]$$ رابطهٔ ۲

در این رابطه X_{ij} امتیاز یا نمرهٔ فرد i ام است در دستهٔ j ام، k تعداد کل دسته‌ها در هر مرحله و n_j تعداد افراد دستهٔ i ام است. در ادامهٔ این بخش با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها توسط نرم‌افزار متلب، نمودار دارنمای[3] آنها ترسیم شد و با مقایسهٔ نقشه‌های گروه‌های مختلف و با استفاده از روش آزمون و خطا، محل مناسب برای برش نمودار و انتخاب تعداد گروه‌های نهایی مشخص شد. همان‌گونه که در بخش قبل به‌صورت مختصر اشاره شد، بعد از اجرای طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا برای روزهای توأم با گردوغبارهای فراگیر، محل مناسب برای برش و تعیین روزهای نماینده مشخص شد. بدین منظور با استفاده از اسکریپت‌نویسی در محیط متلب، همبستگی بین نقشه‌های روزهای مختلف هر طبقه با ضریب ۰/۵ محاسبه شد. برای محاسبهٔ همبستگی، از روش لوند ـ که در آن از روش

[1] Ward
[2] Error Sum of Squares
[3] Dendrogram

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

همبستگی گشتاوری پیرسون (r_{xy}) استفاده می‌شود ـ بهره گرفته شد و درجهٔ همانندی هر زوج نقشه از رابطهٔ زیـر بـه دست آمد (Yarnal, 1993):

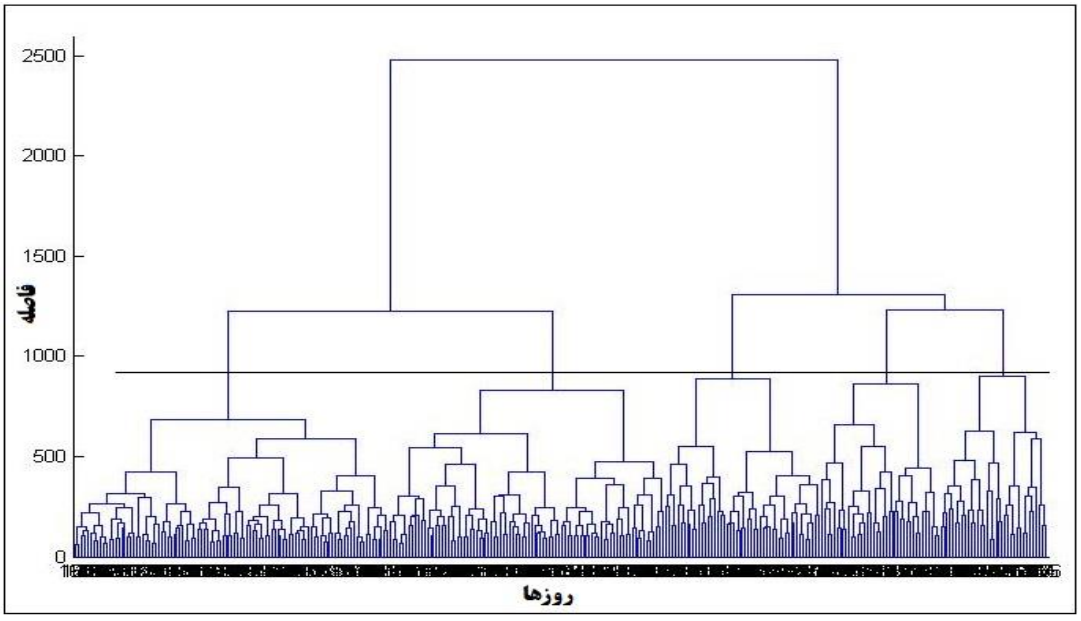
$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}$$

رابطهٔ ۳

در این رابطه X_i معرف متغیر موردنظر در هریک از N نقطهٔ نقشهٔ اول است، y_i مقدار همان متغیر در همان نقطه بر روی نقشهٔ دوم است و $\bar{x}$ و $\bar{y}$ نیز عبارتند از: میانگین همهٔ مقادیر روی نقشه‌های اول و دوم (Yarnal, 1993).

۳ـ یافته‌ها (نتایج)

با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی‌داده‌های فشار سطح دریا، پنج الگوی کم‌فشار موسمی هند ـ پرفشار مهاجر اروپـا / کم‌فشار ادغامی موسمی هند، دریای عمان ـ پرفشار شمال دریای خزر / کم‌فشار سودان، کم‌فشار اروپا ـ پرفشار شـمال آفریقا / کم‌فشار ادغامی سودان، عربستان ـ پرفشار سیبری / کم‌فشار قطبی، کم‌فشار سودان ـ پرفشار اروپا برای رخداد گردوغباری منطقهٔ غرب کشور قابل‌شناسایی است که نتایج آنها در شکل ۲ ارائه شده‌است. همان‌طور که مشاهده مـی‌شود بیشترین فراوانی الگوی رخداد گردوغبار، ناشی از الگوی اول (کم‌فشار موسمی هند ـ پرفشـار مهـاجر اروپـا) و کمترین فراوانی، مربوط به الگوی (کم‌فشار ادغامی سودان، عربستان ـ پرفشار سیبری) است.



شکل۲: دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار تراز دریا

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

جدول ۱: مشخصات الگوهای حاکم بر گردوغبار کرمانشاه

الگو	فراوانی
کم‌فشار موسمی هند ــ پرفشار مهاجر اروپا	۱۰۱
کم‌فشار ادغامی موسمی هند، دریای عمان ــ پرفشار شمال دریای خزر	۹۰
کم‌فشار سودان، کم‌فشار اروپا ــ پرفشار شمال آفریقا	۳۹
کم‌فشار ادغامی سودان، عربستان – پرفشار سیبری	۳۶
کم‌فشار قطبی، کم‌فشار سودان ــ پرفشار اروپا	۵۱

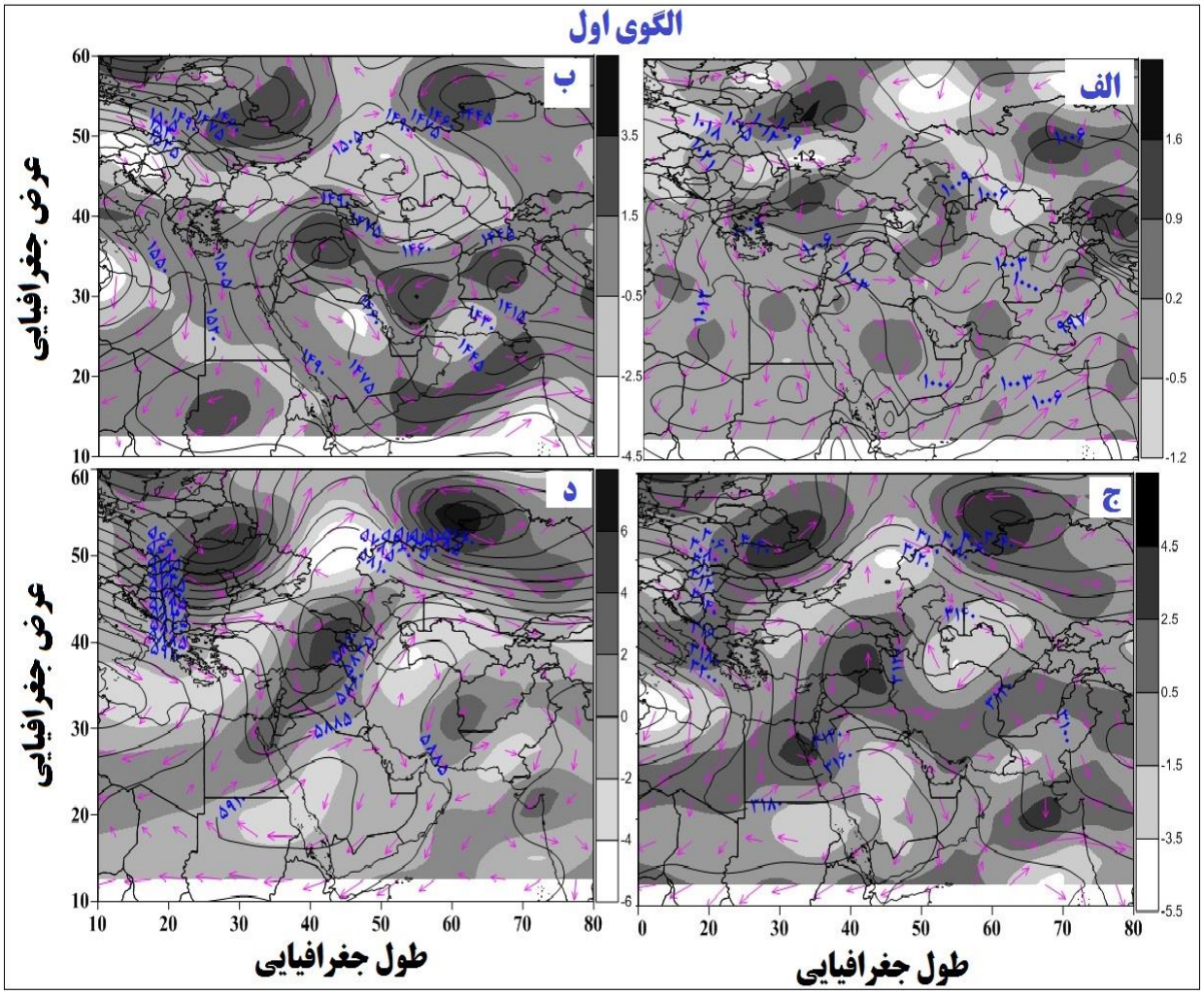
الگوی اول: کم‌فشار موسمی هند ـ پرفشار مهاجر اروپا (۲۰۰۹/۷/۲۶)

در شکل ۳، نقشهٔ فشار تراز دریا (شکل ۳: الف) نشان می‌دهد که تمامی مناطق واقع در جنوب غرب آسیا تا مرکز مدیترانه، به محل همگرایی جریان‌های منشأ یافته از منطقهٔ موسمی جنوب و جنوب شرق آسیا مبدل شده و با شکل‌گیری گردش موسمی تابستانه، منطقهٔ جنوب ــ جنوب‌شرق آسیا به عنوان چشمهٔ انرژی بزرگ مقیاس عمل کرده‌است؛ به طوری که مناطق واقع در جنوب‌غرب آسیا و مدیترانه، محدودهٔ اصلی همگرایی این جریان و در واقع چاهه‌های گرمایی محسوب می‌شود. این در حالی است که بخش عمده‌ای از شبه جزیرهٔ عربستان، عراق، خلیج‌فارس و ایران توسط هوای برخاسته از جانب غربی شبه قارهٔ هند تغذیه می‌شود و با آزاد شدن گرمای کم‌فشار موسمی، درجه حرارت هوای منطقه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با نفوذ و گسترش کم‌فشار مذکور، همگرایی جریان‌ها و صعود هوا شرایط ناپایداری جو را فراهم می‌کند و به فعال شدن کانون‌های گردوغباری جنوب غرب آسیا (عربستان، عراق و سوریه) منجر می‌شود. این در حالی است که واگرایی هوا در نواحی مرکزی و غربی اروپا، با استقرار پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۲۱ هکتوپاسکال همراه بوده‌است؛ به‌طوری که وجود این دو مرکز فشار در کنار یکدیگر از تراز دریا تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال سبب می‌شود که در اثر جریان‌های واچرخندی ناشی از پرفشار اروپا و جریان‌های چرخندی ناشی از زبانه‌های موسمی هند، یک منطقهٔ همگرایی در بین این دو مرکز فشار ایجاد شود که ضمن افزایش قابل ملاحظهٔ شیب فشار و تاوایی در ترازهای زیرین، با شکل‌گیری و تقویت ناپایداری جو بر فراز بیابان‌های مولد گردوغبار (شمال آفریقا و عربستان) همراه بوده‌است. علاوه بر این در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۳: ب)، هستهٔ کم ارتفاع حرارتی همچنان بر روی هندوستان و پاکستان مشاهده می‌شود و زبانه‌های غرب‌سوی آن نسبت به تراز دریا گسترش مداری و نصف‌النهاری بالاتری دارد و تمامی جو ایران را فراگرفته‌است که با ادامهٔ حرکت مداری خود تا عربستان، دریای سرخ و شمال آفریقا پیشروی می‌کند و با هسته‌ای از پرفشار جنب حاره روبه رو می‌شود. این مسئله، شیو فشاری شدیدی را در نواحی شمالی آفریقا، عربستان و منطقهٔ شامات ایجاد می‌کند؛ با این حال در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل۳: ج)، کم‌فشار حرارتی مذکور به دلیل ماهیت حرارتی آن، تضعیف و از گسترش مداری‌اش کاسته می‌شود و کاملاً به سمت شرق عقب‌نشینی می‌کند؛ در حالی که یک هستهٔ کم ارتفاع با پربند (۳۱۲۰ ژئوپتانسیل‌متر)، بر نواحی شمال‌غربی ایران و یک هستهٔ پرارتفاع با پربند (۳۱۴۰ ژئوپتانسیل‌متر)، در شرق دریای خزر و روی ترکمنستان مستقر شده‌است. بنابراین، علاوه بر شرایط همگرایی زیرین در تراز دریا در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، شیو فشاری بر نواحی غربی ایران (کرمانشاه) نیز حاکم است؛ با این حال، بر فراز نواحی بیابانی و کانون‌های گردوغباری جنوب غرب آسیا به جز

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

برقراری تاوایی مثبت به مقدار (0.9×10^{-5} متر بر ثانیه) در تراز دریا و منطبق بر کم‌فشار سطحی، در سایر ترازهای فوقانی جو تاوایی منفی برقرار است؛ به‌طوری که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به مقدار (-4.5×10^{-5} متر بر ثانیه)، در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (-3×10^{-5} متر بر ثانیه) و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (-4×10^{-5} متر بر ثانیه) بر فراز کانون‌های گردوغباری عربستان و عراق برقرار است؛ چراکه سلول بسته‌ای از هستهٔ پرارتفاع جنب حارهٔ آزور بر فراز جو، همگرایی بالا و جریان‌های نزولی را ایجاد می‌کند و با تقویت کم‌فشار سطحی، ریزگردها را به درون زبانه‌های کم‌ارتفاع نفوذی تا شمال عربستان انتقال می‌دهد و در راستای نصف‌النهاری به سمت غرب ایران هدایت می‌کند. علاوه بر این، ناوهٔ ضعیفی با محور شمال‌شرقی ـ جنوب‌غربی به واسطهٔ موج بادهای غربی و استقرار کم‌ارتفاع در شرق ترکیه ایجاد شده که پربند (۵۸۸۵ ژئوپتانسیل متر) آن تا شمال دریای سرخ کشیده شده‌است. ناوهٔ مذکور، با فروبار حرارتی تراز دریا ارتباط برقرار می‌کند و ضمن حمایت و تقویت آن، به تشدید فعالیت و فعال شدن بیش از حد کانون‌های گردوغباری و نفوذ آن به غرب کشور منجر می‌شود. برقراری تاوایی مثبت به مقدار (2×10^{-5} متر بر ثانیه) در شرق ناوه، بیانگر حرکت قائم صعودی در نواحی غربی ایران است که این حالت به پراکنده شدن و پخش‌شدگی بیش از حد ذرات گردوغبار در اتمسفر منطقهٔ کرمانشاه و غرب کشور منجر می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت کنترل‌کنندهٔ اصلی شرایط جوی در الگوی مذکور، حاکمیت زبانه‌هایی از کم‌فشار حرارتی موسمی هند است که با حرکت افقی و شدید باد در تراز دریا به همراه صعود قائم هوا تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، شرایط جوی ناپایداری را در تراز زیرین جو برقرار می‌سازد و با پیشروی به نواحی بیابانی و مولد گردوغبار خاورمیانه، به رخداد گردوغبار در منطقهٔ تحت سلطهٔ خود منجر می‌شود؛ با این حال، برقراری یک فرود در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل۳: د)، به تشدید و ازدیاد گردوغبار و پراکندگی بالای ریزگردها به درون جو کمک می‌کند. علاوه بر این، فاصلهٔ مناسب مراکز فشار حرارتی تراز دریا با جریان‌های تراز میانی و فوقانی جو به برقراری ارتباط مراکز فشاری منجر می‌شود؛ به‌طوری که ضمن حمایت و تقویت آنها، فعال شدن بیش از حد کانون‌های گردوغبار و در نهایت ایجاد توفان‌های گردوغباری، ریزگردها را در سطح وسیعی به درون منطقهٔ مطالعاتی (غرب ایران) منتقل می‌کند.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]



شکل ۳: نقشهٔ ترکیبی فشار سطح زمین، تاوایی و جریان باد (الف)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ب)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ج) و نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (د)

الگوی دوم: کم‌فشار ادغامی موسمی هند، دریای عمان ـ پرفشار شمال دریای خزر (۲۰۰۹/۶/۲۹)

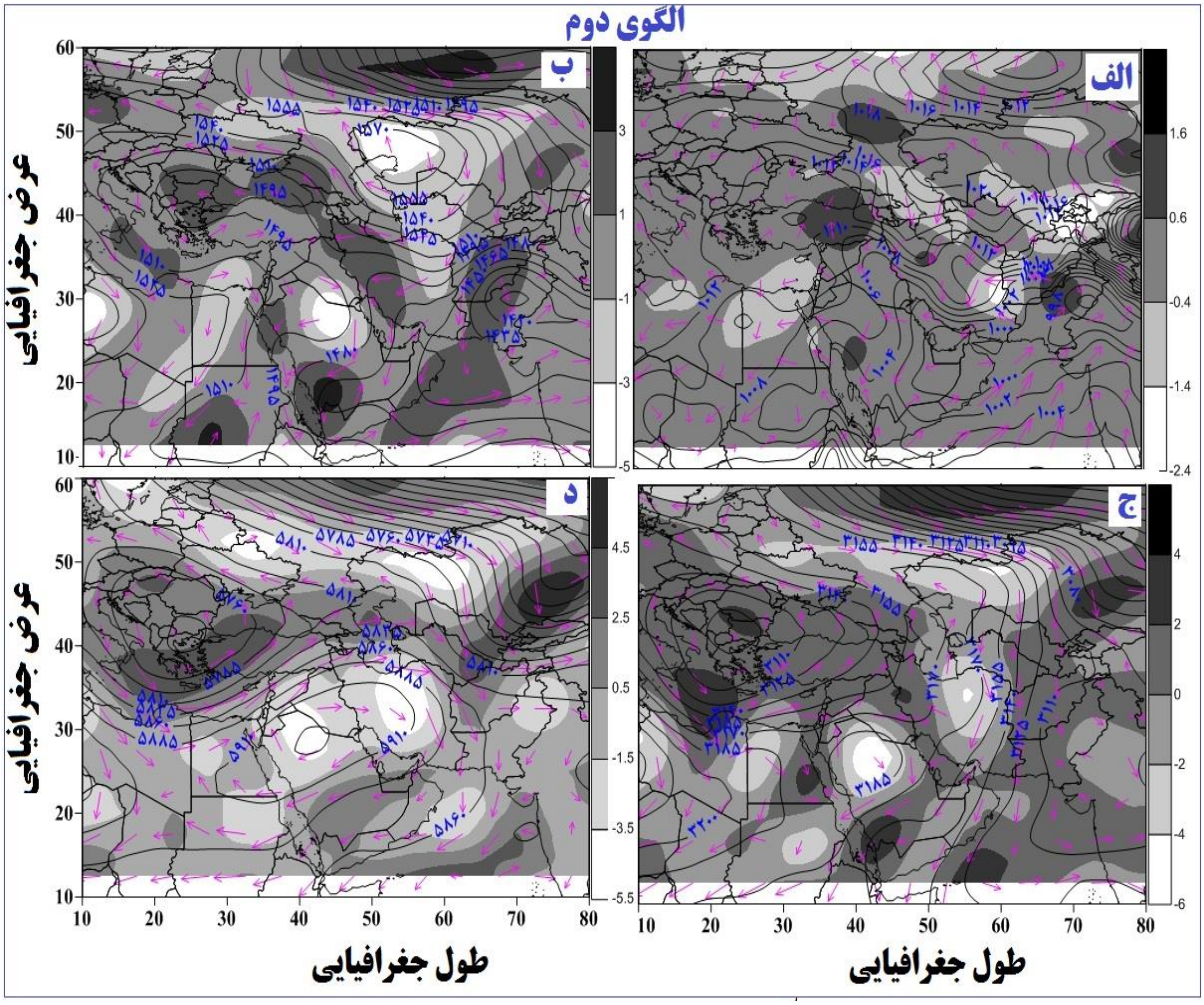
در شکل(۴: الف) نقشهٔ فشار تراز دریا نشان می‌دهد که همانند الگوی اول، سامانهٔ کم‌فشار موسمی هند بر روی نواحی شمال‌غرب هند و در مرز پاکستان تشکیل و با حرکت مداری، از دریای عمان و خلیج‌فارس به نواحی جنوب-غرب آسیا وارد می‌شود، سپس پهنهٔ بسیار زیادی را از منطقهٔ خاورمیانه تا شمال آفریقا در برمی‌گیرد و به‌صورت کاملاً تقویت شده، عرض‌های میانی تا شرق مدیترانه را تحت‌پوشش و گسترش خود قرار می‌دهد. به‌طور کلی، مؤلفه‌های گردشی تابستانه بر روی جنوب‌غرب آسیا در ترازهای میانی و زیرین در یک مقیاس همدید عمل می‌کند و ساختار نسبتاً پیچیده‌ای دارد؛ به‌طوری که هستهٔ کم‌فشار موسمی در بخش‌های مرکزی دریای عمان و خلیج‌فارس، نتیجهٔ انتقال زبانه‌های کم‌فشار موسمی مرکز هند و پاکستان است که با قرارگیری بر روی آب‌های گرم اقیانوس هند در اثر تقویت تاوایی و همگرایی سطحی به چرخند حاره‌ای تبدیل می‌شود. با این حال، می‌توان حرکت چرخندی کم‌فشار مذکور به همراه همگرایی زیرین، صعود قائم هوا در برخاستن ریزگردهای نواحی عربستان، عراق، سوریه و شمال

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

آفریقا و منقلب شدن هوای منطقهٔ غرب و جنوب‌غرب ایران را بارزترین عامل جوی دانست که به طوفانی شدن هوای منطقهٔ غرب به خصوص کرمانشاه منجر شده‌است. از آنجایی که علت تشکیل گردوغبار در بیابان‌ها، ناشی از ناپایداری هواست و شرایط تکوین پدیده‌های ناپایدار همانند پیچانه‌های کوچک در تشدید گردوغبار مؤثر است (Mofidi and Jafari, 2011) و با توجه به نقش اساسی صحرای آفریقا در شکل‌گیری بخش عظیمی از گردوغبارهای دنیا (Goudie and Midelton, 2002)، می‌توان گفت حاکمیت جوی ناپایدار بر روی بیابان‌های عربستان، عراق، سوریه و آفریقا، شرایط جوی را برای شکل‌گیری پدیدهٔ گردوغبار در مقیاس بزرگ فراهم می‌سازد. علاوه بر این، تشکیل پرفشار شمال دریای خزر با مرکز فشاری ۱۰۲۰ هکتوپاسکال و کشیده شدن زبانه‌های آن به درون ایران، به ناپایداری هر چه بیشتر جو ــ به‌واسطهٔ برخورد و تلاقی دو سامانه با ماهیت متفاوت ــ منجر می‌شود که با شیوفشاری بالا در نواحی شمالی و غربی ایران، نقش فعالی را در تشدید و تقویت ناپایداری جو در غرب ایران (کرمانشاه) ایفا می‌کند. این در حالی است که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۴: ب)، نواحی غربی و جنوبی ایران همچنان در زیر سلطه و حاکمیت کم‌ارتفاع موسمی هند قرار دارد؛ در حالی که هسته‌ای از پرارتفاع جنب حاره بر فراز نواحی شمالی آفریقا مستقر می‌شود و از پیشروی کم‌ارتفاع مذکور به تراز میانی جو در کانون‌های گردوغباری ممانعت می‌کند. بنابراین، وضعیت تاوایی جو به‌گونه‌ای است که در نواحی شرقی ایران تا نواحی جنوبی به واسطه‌ی زبانهٔ کم‌ارتفاع موسمی هند و برقراری جریان‌های قائم صعودی، تاوایی مثبت (0.6×10^{-5} متر بر ثانیه) و در نواحی شمالی عربستان به دلیل حضور زبانه‌ای از پرارتفاع دینامیکی شمال آفریقا، تاوایی منفی به مقدار (-4×10^{-5} متر بر ثانیه) برقرار است که این مسئله بیانگر، همگرایی فوقانی و حرکت قائم نزولی به سمت تراز پایین در عربستان است. از آنجایی که شکل‌گیری یک کم‌ارتفاع در نواحی شرقی مدیترانه و جنوب اروپا و حرکت زبانه‌های آن به درون ایران به علاوه پرفشار جنب حاره، از عوامل دخیل در شکل‌گیری گردوغبار نواحی داخلی ایران به شمار می‌رود (Azizi, 2012)، می‌توان گفت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۴: ب)، شعاع تأثیرگذاری سامانهٔ کم‌ارتفاع بر روی دریای مدیترانه، نواحی جنوبی اروپا تا ترکیه و نواحی عراق، سوریه و غرب ایران ادامه دارد؛ در حالی که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل۴: ج)، حرکت واچرخند پرارتفاع آزور مانع پیشروی کم‌ارتفاع مذکور می‌شود و درنهایت، آن را در منطقهٔ مدیترانه محدود می‌سازد. برقراری تاوایی منفی به مقدار (-6×10^{-5} متر بر ثانیه) در تراز ۷۰۰ و (-5.5×10^{-5}متر بر ثانیه) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل۴: د) از شمال عربستان تا نواحی مرکزی ایران، بیانگر همگرایی شدید جریان هوا در ترازهای میانی جو و نزول دینامیکی شدید آن است که با افزایش شیب فشاری بین پرفشار دینامیکی و کم‌فشار گرمایی زیرین و بیشینه شدن سرعت باد، از یک‌طرف مانع حرکت جریان‌های سیکلونی مدیترانه به سمت نواحی غربی می‌شود و از طرف دیگر، تداوم و ماندگاری بالایی را در رخداد روزهای گردوغباری غرب ایران ایجاد می‌کند. با این حال، شرایط دینامیکی جو بیانگر برتری و ایفای نقش پرارتفاع آزور در کنترل شرایط اقلیمی و تداوم بیش از حد گردوغبار در نواحی غربی ایران است؛ چرا که هستهٔ بسیار بزرگی از این پرارتفاع با گسترش مداری بالای خود، جو این منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، نتیجه‌ای که از تحلیل سینوپتیک موج گردوغباری در این الگو به دست می‌آید، این است که وجود پرفشار در سطوح میانی جو، از صعود هوای گرم و خشک همراه با گردوغبار در منطقهٔ مورد مطالعه ممانعت می‌کند و در سطح زمین، نفوذ زبانهٔ موسمی هند از سمت شرق به ایران، گرم و خشک بودن هوا در بیابان‌های

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

عربستان، عراق و شمال آفریقا و انتقال چنین هوایی به منطقهٔ مورد مطالعه، عامل ایجاد و تشدید گردوغبار در استان کرمانشاه می‌باشد.



شکل ۴: نقشهٔ ترکیبی فشار سطح زمین، تاوایی و جریان باد (الف)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ب)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ج) و نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسسل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (د)

الگوی سوم: کم‌فشار سودان، کم‌فشار اروپا ـ پرفشار شمال آفریقا (۲۰۰۸/۴/۹)

بررسی وضعیت دینامیکی و همدیدی جو نشان می‌دهد که در تراز دریا (شکل ۵: الف)، سامانهٔ کم‌فشار سودانی از نواحی جنوبی و مرکزی دریای سرخ با حرکت سیکلونی و نصف‌النهاری به سمت نواحی داخلی عربستان و بیابان ربع-الخالی حرکت می‌کند و تمامی نواحی بیابانی عربستان، عراق و سوریه را در برمی‌گیرد؛ به‌طوری که به برقراری همگرایی زیرین و صعود قائم جریان‌ها بر فراز کانون‌های گردوغباری (عربستان و عراق) منجر می‌شود. علاوه بر این، در راستای مداری و در مجاورت این سامانه در نواحی شمالی آفریقا (لیبی، مصر و الجزایر)، سامانهٔ پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۱۶ هکتوپاسکال حاکم است که این مسئله به اختلاف فشار شدید و تقویت ناپایداری در کانون‌های گردوغباری (شمال آفریقا تا نواحی از عربستان) منجر می‌شود و این حالت خیزش و بلند شدن ریزگردها از عربستان و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

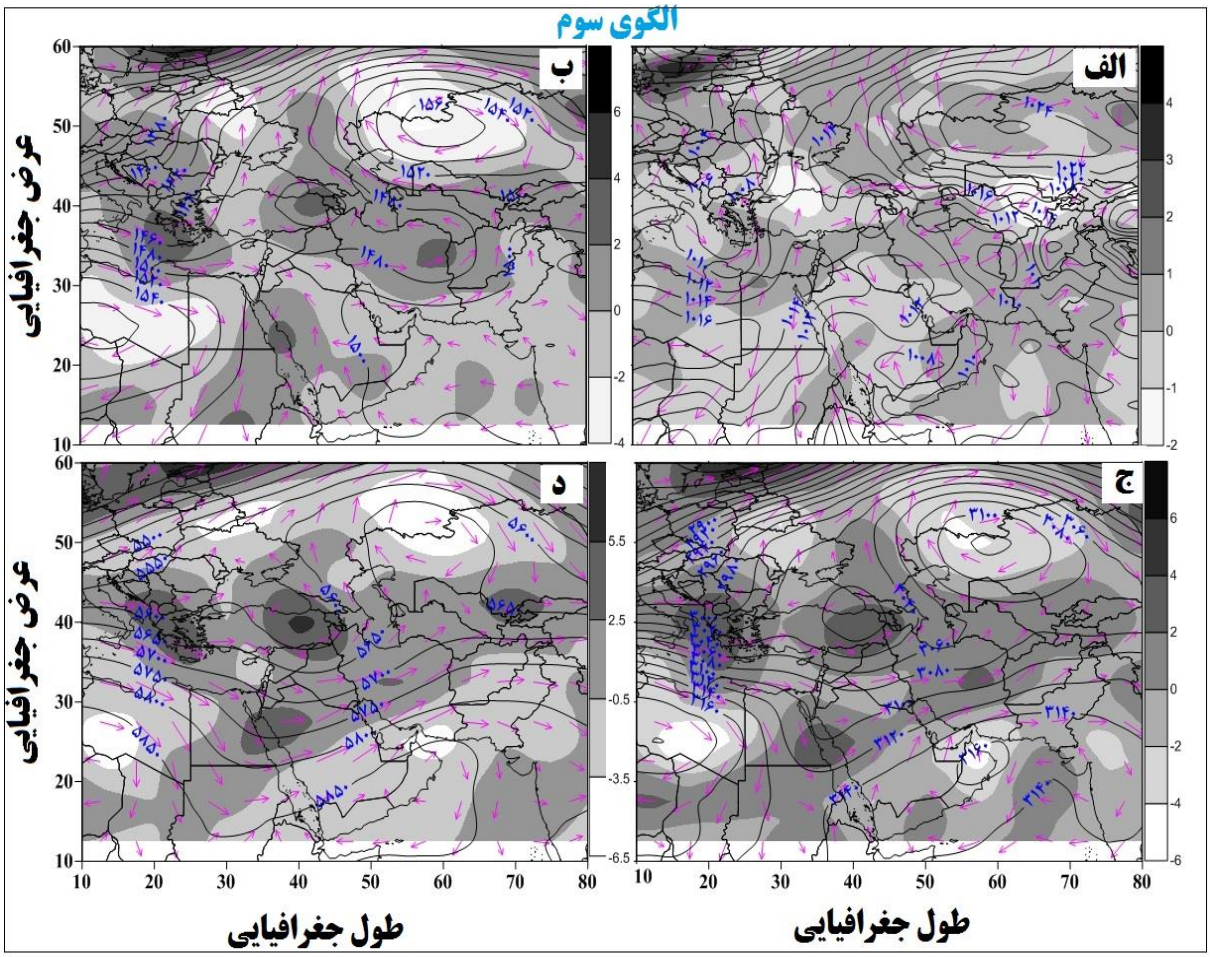
شمال آفریقا را در پی دارد. حاکمیت واگرایی، چرخندگی منفی ناشی از پرفشار آفریقا و مکش بالای ناشی از همگرایی کم‌فشار سودانی، ریزگردها را به درون کم‌فشار می‌کشد و به همراه جریان‌های نصف‌النهاری به سمت نواحی غربی ایران (کرمانشاه) جابه‌جا می‌کند. علاوه بر این، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۵: ب) جریان‌های شمالی، سیکلون غرب اروپا را پس از تشکیل و تقویت با حرکت در جهت بادهای غربی به سمت شرق جابه‌جا می‌کند و هستهٔ کم‌ارتفاعی با پربند ۱۴۸۰ ژئوپتانسیل‌متر بر روی نواحی غربی و مرکزی ایران تشکیل می‌دهد. از آنجایی که جریان‌های شمال سوی کم‌ارتفاع سودانی و دریای سرخ به سمت نواحی غربی ایران ادامه دارد، پس از طی مسیر طولانی در نواحی غربی ایران با جریان‌های کم‌ارتفاع اروپا همسو و هم جهت می‌شود و این حالت، تشدید جریان باد و تقویت و تشدید ناپایداری را به همراه می‌آورد؛ به‌طوری که تلاطم ناشی از برخورد جریان‌های یاد شده به صورت باد، خاک رس و سیلت منفصل موجود را پخش می‌کند و ادامهٔ تلاطم به سمت ترازهای بالایی ناشی از تقابل بادها، مواد را نیز به ترازهای بالا می‌کشد و به منطقهٔ غرب ایران منتقل می‌سازد. با این حال، نمی‌توان نقش پرارتفاع شمال آفریقا را در پخش‌شدن جریان هوا و انتقال ریزگردها به درون کم‌ارتفاع سودانی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نادیده گرفت (شکل ۵: ب). بنابراین، برقراری تاوایی مثبت به مقدار (1×10^{-5} متر بر ثانیه) در تراز دریا و (2×10^{-5} متر بر ثانیه) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، بیانگر تداوم جریان‌های صعودی تا لایهٔ میانی جو است؛ با این وجود در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵: ج)، جریان‌های غربی سرچشمه گرفته از غرب اروپا با تشکیل هستهٔ کم‌ارتفاع در نواحی شرقی ترکیه، به دو شاخه شدن جریان‌ها به‌صورت شمالی و جنوبی منجر می‌شود؛ به‌طوری که حرکت شاخهٔ جنوبی جریان‌ها بر روی ایران به‌صورت مداری، بیانگر شدت بسیار زیاد جریان هواست. در نواحی جنوبی مدیترانه نیز به ایجاد فرود نه‌چندان عمیق و قوی منجر می‌شود که دامنهٔ جنوبی آن تا مرکز دریای سرخ و شمال آفریقا پیشروی می‌کند و نقش عامل ناپایدار را در قلب منطقهٔ گردوغبار خیز جنوب غرب خاورمیانه برعهده دارد؛ با این وجود، وضعیت به‌گونه‌ای است که برقراری تاوایی مثبت به مقدار (2×10^{-5} متر بر ثانیه) از شمال آفریقا تا غرب ایران (کرمانشاه)، بیانگر تداوم تلاطم ناشی از برخورد بادها و جریان‌های ناشی از تشدید شیب فشاری در سطح زمین است که این تلاطم به پراکنش قائم گردوغبار منجر می‌شود و بر معلق ماندن گردوغبار بر فراز غرب ایران کمک می‌کند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵ : د)، جابه‌جایی ناوهٔ مدیترانه و قرارگیری محور آن با جهت شمال‌شرقی ـ جنوب‌غربی از نواحی ترکیه تا مرکز دریای سرخ، بر تداوم ناپایداری و جریان‌های صعودی در جلوی ناوه می‌افزاید. قرار گرفتن غرب ایران (کرمانشاه) در زیر منطقهٔ چرخندگی مثبت این ناوه نیز به برقراری تاوایی مثبت به مقدار (1.5×10^{-5} متر بر ثانیه) در منطقهٔ غرب ایران منجر می‌شود (شکل ۵: د). در نهایت، می‌توان گفت قرارگیری سامانهٔ کم‌فشار (حرارتی یا دینامیکی) بر روی عربستان و قرارگیری ناوه‌ای در تراز ۵۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال ـ که تا نواحی غربی ایران نفوذ می‌کند ـ از شرایط مورد نیاز و ضروری در زمینهٔ رخداد گردوغبار در منطقهٔ مطالعاتی است. بنابراین، تداوم همگرایی جریان هوا از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ـ که با تاوایی مثبت همراه است ـ و همراهی ناوهٔ مدیترانه‌ای در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، از یک‌طرف به بروز پدیدهٔ گردوغبار و از طرف دیگر به تداوم و پخش شدن آن منجر می‌شود و در ادامه، معلق ماندن هر چه بیشتر ریزگردها در منطقهٔ مطالعاتی را در پی دارد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

الگوی چهارم: کم‌فشار ادغامی سودان، عربستان – پرفشار سیبری (۲۰۰۸/۳/۳۱)

توزیع مکانی الگوی همدیدی ـ دینامیکی، فشار تراز دریا و تاوایی جو را برای الگوی چهارم (کم‌فشار سودان، عربستان ـ پرفشار سیبری) نشان می‌دهد. در شکل (۶: الف)، بررسی وضعیت اقلیمی منطقه نشان می‌دهد که سامانهٔ کم‌فشار سرچشمه گرفته از سودان با گسترش فضایی و مکانی بالا و عبور از روی دریای سرخ، از یک‌طرف با کم‌فشار عربستان ادغام می‌شود و از طرف دیگر، با حرکت به سمت عرض‌های شمالی با زبانه‌های گسترش‌یافتهٔ کم‌فشار شبه قارهٔ هند در نواحی شرقی و جنوبی ایران ادغام و کمربند گسترش‌یافتهٔ عظیمی از مراکز کم‌فشار را به وجود می‌آورد. علاوه بر این، سامانهٔ پرفشار ضعیفی با فشار مرکزی ۱۰۱۶ هکتوپاسکال بر بالای دریای مدیترانه و شمال آفریقا شکل می‌گیرد که به‌واسطهٔ اختلاف فشار، به ایجاد ناپایداری جوی بر روی نواحی بیابانی می‌پردازد و این نواحی، کانون‌های گردوغبار و مولد اصلی توفان‌های گردوغبار در منطقهٔ خاورمیانه به شمار می‌رود. از آنجایی که برقراری تاوایی مثبت در شمال‌شرق دریای سرخ، به جدا شدن سلول‌های کم‌فشار کوچکی از کم‌فشار دریای سرخ و حرکت به سمت نواحی غربی، جنوب‌غربی و جنوبی ایران منجر می‌شود (Meshkati and Moradi, 2004)، می‌توان گفت که این مسئله تأییدی بر یافته‌های تراز دریا در این الگوی مورد مطالعه است. این در حالی است که سامانهٔ پرفشار سیبری با مرکز فشاری ۱۰۳۶ هکتوپاسکال تشکیل شده که در حرکت آنتی‌سیکلونی، زبانه‌های غرب‌سوی خود را تا شرق اروپا و در حرکت جنوب‌سوی خود تا نوار شمالی ایران انتقال می‌دهد و مهم‌ترین تأثیرگذاری آن، محدود کردن کمربند کم‌فشار تراز دریا و برقراری شیوفشاری شدید بر فراز نواحی شمالی، شمال‌غربی و تا حدودی نواحی مرکزی ایران است؛ چرا که در این نواحی زبانه‌هایی از کم‌فشار ادغامی سودان و عربستان مستولی شده و به ناپایداری بیش از حد اتمسفر در نواحی داخلی ایران منجر شده‌است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]



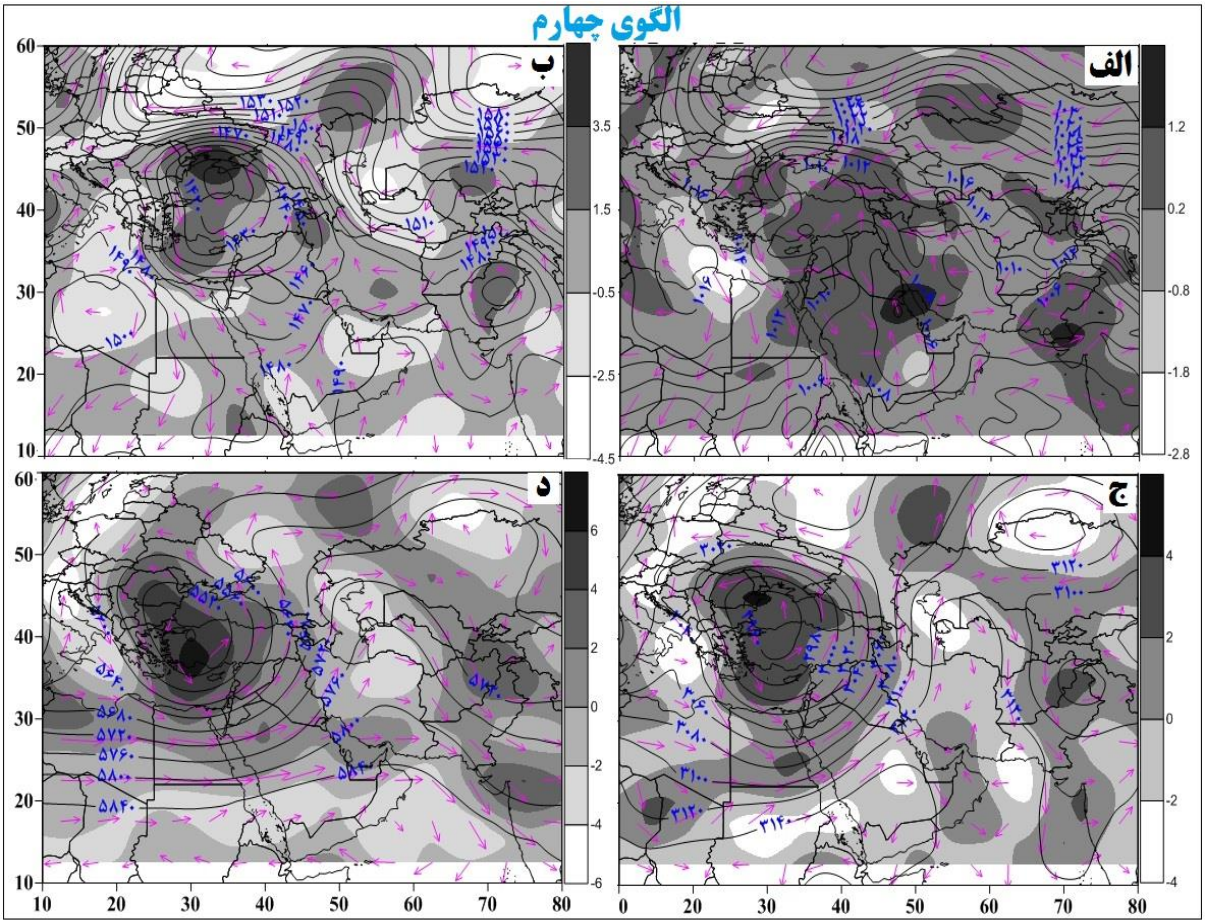
شکل ۵: نقشهٔ ترکیبی فشار سطح زمین، تاوایی و جریان باد (الف)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ب)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ج) و نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (د)

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۶: ب) بارزترین سامانهٔ فشاری، کم‌فشار دریای سیاه است که با فشار مرکزی ۱۴۲۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای سیاه قرار گرفته و با گذر از روی ترکیه، زبانه‌های خود را در ناحیهٔ غرب سیکلون (منطقهٔ واگرایی سیکلون) به سمت عرض‌های پایین‌تر هدایت می‌کند. نفوذ زبانه‌های این سامانه بر فراز کم‌فشار سودانی ــ عربستانی، از یک‌طرف به تقویت و فعال شدن بیش از حد کم‌فشار و از طرف دیگر به ایجاد ناپایداری و اغتشاش در جو منجر می‌شود که مقدمهٔ صعود دینامیکی جو و در نهایت، فعال شدن کانون‌های گردوغبار آفریقا، عربستان و عراق را دوچندان می‌کند. بررسی وضعیت تاوایی جو، بیانگر واگرایی شدید جریان هوا در نواحی مرکزی مدیترانه و شمال آفریقا در تراز دریا به مقدار (-2.8×10^{-5} متر بر ثانیه) است که این امر، پخش ذرات گردوغباری به درون زبانهٔ کم‌فشار نفوذی به سمت دریای سرخ و عربستان را نشان می‌دهد؛ در حالی که بیشینه تاوایی مثبت و صعود قائم هوا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (3.5×10^{-4} متر بر ثانیه)، دقیقاً منطبق بر مرکز سلول کم‌ارتفاع دریای سیاه است که حداکثر صعود قائم را ایجاد می‌کند و به سمت نواحی اطراف، از میزان همگرایی و صعود کاسته می‌شود (شکل ۶: ب). با این حال، در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶: ج) سیکلون ایجاد شده در محدودهٔ دریای سیاه و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

مدیترانه، ناوهٔ قوی و عمیقی ایجاد می‌کند که محور آن، منطبق بر نواحی دریای سرخ است و از آنجایی که منطقهٔ غرب ایران در ناحیهٔ شرقی ناوه قرار دارد، بیشینه تاوایی مثبت در این ناحیه برقرار است که این امر، ادامه‌دار بودن جریان‌های قائم صعودی در منطقهٔ غرب ایران (کرمانشاه) را نشان می‌دهد؛ در حالی که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶: د)، محور این ناوه کمی به سمت شرق جابه‌جا شده و بر فراز نواحی عربستان قرار گرفته است. از آنجا که ناوه‌های تراز بالا، شرط ضروری برای ناپایداری جو و ترغیب کم‌فشارهای سطحی است؛ ناپایداری ناشی از این ناوه ــ که به دامنهٔ (امتداد شمالی ــ جنوبی) ناوه مربوط می‌شود ــ و بادهای قوی درون آن، آمیختگی سطحی را افزایش می‌دهد و به تعیین مسیر و هدایت کم‌فشار سطحی سودان ــ عربستان به سمت نواحی جنوب‌غربی و غربی ایران و منطقهٔ مطالعاتی (کرمانشاه) می‌پردازد. وضعیت و شرایط فعالیت ناوهٔ مدیترانه‌ای در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌گونه‌ای است که ناحیهٔ شرقی فرود (واگرایی فوقانی)، منطبق بر همگرایی سطحی است که نتیجهٔ آن، صعود قائم هوا و ناپایداری شدید تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است. این امر، پخش‌شدن گردوغبار و شدت آن را در نواحی غربی ایران (کرمانشاه) افزایش می‌دهد؛ بنابراین، می‌توان گفت سیکلون‌زایی قوی و گسترش فضای بالای آن در نواحی دریای سیاه و مدیترانه، در ایجاد طوفان‌های گردوغبار نقش اصلی دارد؛ به طوری که قرارگیری کم‌فشار حرارتی واقع در کانون‌های گردوغباری به تنهایی عامل اصلی در بروز پدیدهٔ گردوغبار نیست، بلکه باید فرودی عمق یا ناوه‌ای گستردهٔ ناشی از سیکلون‌زایی، در منطقهٔ عرض‌های میانی و بالایی در جو فوقانی تروپوسفر حاکمیت داشته باشد تا نقش عامل ناپایدار و تداوم ناپایداری را در رخداد پدیدهٔ گردوغبار ایفا کند.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]



شکل ۶: نقشهٔ ترکیبی فشار سطح زمین، تاوایی و جریان باد (الف)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال،تاوایی و جریان باد (ب)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ج)؛ نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (د)

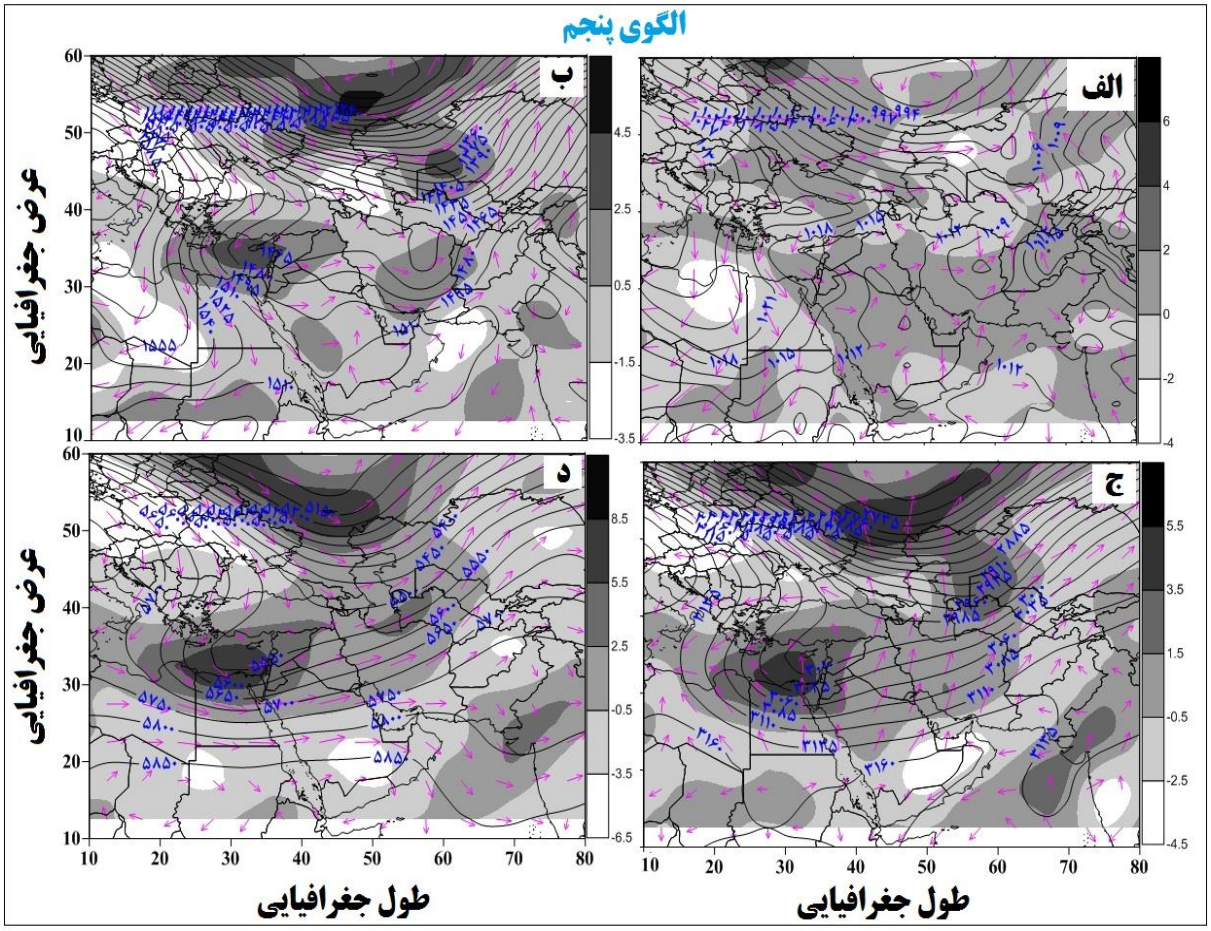
الگوی پنجم: کم‌فشار قطبی، کم‌فشار سودان ـ پرفشار اروپا (۲۰۱۱/۳/۲۴)

در شکل (۷: الف)، بررسی وضعیت جو نشان می‌دهد که سامانهٔ کم‌فشار قطبی به همراه کم‌فشار نفوذی سودان و دریای سرخ، کنترل‌کنندهٔ اصلی جو ایران در تراز دریاست؛ به‌گونه‌ای که حرکت سیکلون‌وار جریان‌های سرد نواحی قطبی به سمت عرض‌های پایین و نفوذ آن از شمال‌شرق به درون ایران و ادغام زبانه‌های آن با زبانه‌های کم‌فشار دریای سرخ و سودان، به ایجاد دالان و کریدوری از جریان‌های ناپایدار در دو منطقهٔ قطب و حاره یا به عبارتی جنب‌قطبی و جنب حاره منجر شده که جریان‌های قائم صعودی را در محدوده بسیار زیادی از ایران حاکم کرده‌است. برقراری بیشینه تاوایی به مقدار (2×10^{-5} متر بر ثانیه) بر روی ایران و منطبق بر حضور زبانه‌های کم‌فشار نفوذی، تأییدی بر این مسئله است (شکل ۷: الف). با این وجود، حاکمیت سامانهٔ پرفشار اروپا و نفوذ آن تا شرق ترکیه در راستای مداری و شمال آفریقا در راستای نصف‌النهاری و تقابل آن با کم‌فشار نفوذی، به ایجاد شیو فشاری شدید، ایجاد ناپایداری و انتقال و حمل ریزگردها به درون کم‌فشار سودان و دریای سرخ منجر می‌شود. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۷- ب)، کم‌فشار دریای سرخ ــ سودان کاملاً تضعیف و با برقراری پربند ۱۵۱۰ ژئوپتانسیل‌متر کاملاً به جنوب عربستان محدود می‌شود؛ با این حال، جریان‌های ناشی از کم‌ارتفاع عرض‌های جنب قطبی و شمال اروپا، ناوهٔ وارون را بر روی دریای مدیترانه با محور شمال‌شرقی - جنوب‌غربی به وجود آورده‌است که جریان‌های نصف‌النهاری با سرعت بالا را بر فراز

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

نواحی بیابانی عربستان و عراق تا نواحی غربی ایران ایجاد کرده‌است؛ به‌طوری که پربند ارتفاعی ۱۴۸۰ ژئوپتانسیل‌متر بر روی نواحی غربی ایران حاکمیت یافته‌است. با این حال زبانه‌های پرارتفاع غرب اروپا، در واگرایی جریان هوا بر فراز کانون‌های گردوغباری نقش اصلی ایفا می‌کند و زبانهٔ کم‌ارتفاع نفوذی قطب، نقش تشدیدکنندگی دارد و به برقراری شیو فشاری بالا در غرب کشور می‌پردازد که این امر، عاملی مؤثر بر معلق ماندن و شناور شدن گردوغبار در جو و نفوذ ذرات گردوغباری به عمق تروپوسفر است. بنابراین، عمیق شدن ناوهٔ مدیترانه تا منطقهٔ دریای سرخ، در تقویت کم‌فشار سودانی و حرکت آن به سمت شمال‌شرق مؤثر است و پرفشار مستقر بر روی نواحی شمالی آفریقا، عامل اصلی انتقال ریزگردهای این منطقه به درون کم‌فشار سودانی واقع در غرب عربستان است. علاوه بر این، استقرار یک سامانهٔ کم‌فشار بر منطقهٔ خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها به همراه تأثیر هماهنگ ناوهٔ مدیترانه در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۷: ج و د) بر فراز جو منطقه، زمینهٔ مناسب را برای تقویت و هدایت کم‌فشار سطحی ایجاد می‌کند. علاوه بر این، برقراری جریان‌های مداری بر فراز بیابان‌های شمال آفریقا و عربستان در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ناشی از ناوهٔ مذکور با دامنهٔ بالا، بیانگر سرعت بالای جریان هواست که بر شدت رخداد طوفان گردوغباری و سرعت حمل ریزگردها به غرب کشور می‌افزاید. علاوه بر این، برقراری بیشینهٔ همگرایی و تاوایی مثبت به مقدار (3.5×10^{-5} متر بر ثانیه) در محور ناوهٔ واقع در شرق مدیترانه و (1.5×10^{-5} متر بر ثانیه) از شمال آفریقا تا نواحی مرکزی عربستان و کشیده شدن آن تا نواحی غربی ایران، همگی از برقراری جوی ناپایدار و جریان‌های صعودی حکایت دارد (شکل ۷: ج و د)؛ در حالی که از نواحی جنوبی عربستان تا نیمهٔ جنوبی دریای سرخ به دلیل حضور هستهٔ پرارتفاع، تاوایی منفی به مقدار (-4.5×10^{-5} متر بر ثانیه) برقرار است. بنابراین وضعیت همدیدی - دینامیکی حاکم بر الگوی مذکور، بیانگر فراهم شدن شرایط برای رویداد گردوغبار است؛ چرا که از یک‌طرف، زبانه‌هایی از سامانه‌های کم‌فشار مولد ناپایداری جو بر فراز کانون‌های گردوغباری و بیابان‌های بزرگ آفریقا و عربستان شکل می‌گیرد و از طرف دیگر، موج بادهای ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد ناوهٔ عمیق بر فراز مدیترانه، به تقویت و هدایت کم‌فشارهای سطحی منجر می‌شود که با جابه‌جایی ریزگردها از کانون‌های گردوغباری جنوب غرب آسیا همراه می‌باشد و آن را به سمت نواحی غربی ایران منتقل که درنهایت، رخداد گردوغبار را در منطقهٔ غرب کشور (کرمانشاه) ایجاد می‌کند.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]



شکل ۷: نقشهٔ ترکیبی فشار سطح زمین، تاوایی و جریان باد (الف)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ب)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (ج)؛ نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی و جریان باد (د)

۴ـ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه طوفان‌های گردوغبار اتفاق افتاده، با شرایط جوی و سامانهٔ مولد ناپایداری هوا ارتباط مستقیمی دارد، بررسی و شناخت وضعیت سینوپتکی و دینامیکی جو همچنین شناخت شرایط محلی و ژئومورفولوژی هر منطقه به یکی از موضوعات قابل‌توجه در مطالعات جوی تبدیل شده‌است. در بررسی‌های مربوط به عوامل مولد رخداد گردوغبار و نفوذ آنها به غرب کشور به‌خصوص منشأ شکل‌گیری و عوامل دخیل در آن، نوسانات و تغییراتی مشاهده شده‌است؛ به‌گونه‌ای که در این بین نقش کم‌فشارهای حاکم و سیکلون‌های مهاجر که در نهایت، مسیر آنها به کانون‌های گردوغباری منطقه (عربستان، عراق و شمال آفریقا) ختم می‌شود، در ایجاد طوفان‌های گردوغبار نقش اساسی ایفا می‌کند. بنابراین، توفان‌های گردوغباری ناحیهٔ غربی ایران عمدتاً تحت‌تأثیر شرایط جوی خاصی ایجاد می‌شود؛ به‌طوری که مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین، نقش اصلی را در وقوع طوفان‌های گردوغباری ایفا می‌کند؛ به‌طوری که در الگوهای دورهٔ گرم سال، تسلط جریان غرب‌سو با منشأ موسمی هند همگرایی زیرین را در اطراف کانون‌های گردوغباری جنوب غرب و غرب آسیا ایجاد می‌کند که به‌وسیلهٔ همگرایی فوقانی ناشی از حاکمیت پرفشار آزور یا ناوهٔ موج غربی تشدید می‌شود؛ به گونه‌ای که این مسئله با فعال شدن و برخاستن ریزگردها در کانون‌های

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

گردوغباری منطقه همراه است که در نهایت، به‌وسیلهٔ جریان‌های شرق‌سو و مداری به منطقهٔ غرب ایران کشیده می‌شود. در روزهای گردوغباری که در فصل سرد رخ می‌دهد، کم‌فشارهای حرارتی سودان و دریای سرخ بر روی عربستان، عراق و سوریه در تراز دریا و هسته‌های کم‌ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و دریای مدیترانه در تراز میانی جو، کنترل‌کنندهٔ اصلی شرایط جوی در منطقه به شمار می‌رود؛ به‌طوری که در صورت وجود رطوبت در جو، این الگو در فصل سرد به بارش منجر می‌شود؛ اما در مواقعی که رطوبت لازم برای بارش مهیا نباشد، به تولید باد و گردوغبار می‌پردازد. بنابراین در دورهٔ سرد سال، هوای سرد به علت سنگینی به خوبی در عرض‌های پایین نفوذ می‌یابد و با قرارگیری ناحیهٔ شرقی ناوه بر روی بیابان‌های عربستان، عراق، سوریه و اردن با ایجاد ناپایداری و حرکت به سمت شرق، گردوغبار ایجاد شده را به سمت غرب ایران هدایت می‌کند؛ به‌طوری که در بین الگوهای همدیدی، ناوهٔ موج غربی انتقال گردوغبار را در سطحی گسترده به مناطق غربی ایران فراهم کرده‌است. بنابراین، هر زمان که زبانه‌هایی از کم‌فشار موسمی هند و کم‌فشار سودان در تراز دریا به منطقهٔ غرب آسیا وارد شود و ناوهٔ مدیترانه‌ای یا پرفشار جنب حاره در ترازهای میانی جو فعالیت داشته باشد، همگرایی فوقانی و نزول دینامیکی جریان هوا به تقویت شیب فشار در مقیاس افقی و قائم و درنهایت، فعالیت بیش از حد کم‌فشارهای سطحی منجر می‌شود که این مسئله با فعال شدن کانون‌های گردوغباری و برخاستن ریزگردهای منطقه همراه است. به طور کلی پرفشار آزور به همراه سیستم‌های مهاجر بادهای غربی، مهم‌ترین عامل همدیدی تأثیرگذار در سیستم‌های گردوغبار منطقهٔ غرب ایران محسوب می‌شود که یافته‌های Lashkari و Kaykhosravi در سال ۲۰۰۸ تأییدی بر این مسئله است. علاوه بر این، مقایسهٔ یافته‌های تحقیق نشان داد که فرایندهای ترمودینامیکی در فصل گرم و فرایندهای دینامیکی در فصل سرد، مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری و انتقال گردوغبار به نیمهٔ غربی کشور (استان کرمانشاه) است؛ به طوری که استقرار کم‌فشار حرارتی در سطح زمین و کم‌ارتفاع تراز ۸۵۰ تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در مجاورت با غرب ایران، در ایجاد گردوغبار شناسایی شدهٔ دورهٔ گرم سال مؤثر است که این مسئله با یافته‌های Azizi و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعهٔ همدید گردوغبار غرب کشور مطابقت دارد. همچنین، مطالعهٔ Khoshakhlagh و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که از عرض جغرافیایی ۲۰ درجه به سمت عرض‌های پایین ناپایداری حاصل از افزایش دما در منطقه و ناپایداری حاصل از گسترش کم‌فشارهای گرمایی در این منطقه و کشیده شدن زبانه‌های آن به بیابان‌های خشک منطقه به همراه تشدید شیوفشاری و افزایش سرعت باد، عامل شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است که با نتایج الگوهای دورهٔ گرم این پژوهش همخوانی دارد. در نهایت، می‌توان گفت گرادیان‌های شدید فشار و فعالیت بیش از حد زبانه‌های کم‌فشارهای موسمی هند، سودان و خلیج فارس در تراز دریا، از عوامل اصلی برخاستن گردوغبار از کانون‌های گردوغباری واقع در قلب بیابان‌های عربستان، عراق و شمال آفریقا است که با مکش ایجاد شده در جریان هوا، ریزگردها را در مسیر حرکت سیکلون‌های مهاجر قرار می‌دهد و درنهایت، با تقویت کژفشاری و تاوایی شدید ناشی از سیکلون‌زایی مدیترانه و پرفشار آزور، به تشدید طوفان‌های گردوغبار و تداوم و دوام بالای آن در نواحی غربی کشور منجر می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

منابع

1. Alijani, B., 2006. Synoptic Climatology, 1nd edition, SAMT, 232 p. (in Persian)
2. Arimoto, R., 2001. Dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition, *Earth- Science Review*, 54, 29-42.
3. Arimoto, R., 2000. Relationships to source, tropospheric chemistry, transport and deposition. Earth science, 30 p.
4. Asakereh, H., 2011. Fundamentals of Statistical Climatology. 1nd edition, Zanjan University. (in Persian)
5. Ataei. H., & f. Ahmadi., 2010. Dust as one of the environmental problems of the Islamic world case study: Khuzestan province. Proceedings of the 4th International Congress of Geographers of the Islamic World, Sistan and Baluchestan University, Zahedan pp. 1- 19. (in Persian)
6. Azizi, Gh., 1999. Blocking, *Geography Researches Journal*, 39, 37-50. (in Persian)
7. Azizi, Gh.; Miri, M.; & SO. Nabavi, 2012. Tracing the dust phenomenon in the western half of Iran, *Geographical studies of arid regions*, 7, 81-63. (in Persian)
8. Barkan, J.; Alpert, P.; Kutiel, H.; & P. Kishcha, 2005. Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe, *Journal of Geophysical Research*, 110, 1-14.
9. Çapraz, Ö.; Deniz, A.; & N. Doğan, 2017. Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015, *Chemosphere*, 181, 544-550.
10. Chan, Y. C.; McTainsh, G.; Leys, J.; McGowan, H.; & K. Tews, 2005. Influence of the 23 October 2002 dust storm on the air quality of four Australian cities, *Water, Air and soil pollution*, 164, 329-348.
11. Chaturvedi, R. K.; Prasad, S.; Rana, S.; Obaidullah, S. M.; Pandey, V.; & H. Singh, 2013. Effect of Dust Load on the Leaf Attributes of the Tree Species Growing Along the Roadside, *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (1), 383-391.
12. Davis, J. C., 1986. Statistics and Data Analysis in Geology, New York: Wiley.
13. Ding, R.; Li, J.; Wang, S.; & F. Ren, 2005. Decadal change of the spring dust storm in northwest China and the associated atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett*, 32.
14. Ezzatian, V., & A. Bagheri., (2009). Analysis of Soil Storm Occurrence in Iran Using Satellite Images, Proceedings of the National Conference on Reducing the Impact of Atmospheric and Climatic Disasters. April 2009. Ardabil. (in Persian)
15. Faridi, S.; Naddafi, K.; Kashani, H.; Nabizadeh, R.; Alimohammadi, M.; & F. Momeniha, 2017. Bioaerosol exposure and circulating biomarkers in a panel of elderly subjects and healthy young adults, *Science of the Total Environment*, 593, 380-389.
16. Farshadfar, E., 2010. Principles and Statistical Methods of Multivariate, 3nd edition, Taq Bostan Publications, Kermanshah. (in Persian)
17. Fontes, T.; Li P.; Barros, N.; & P. Zhao, 2017. Trends of PM 2.5 concentrations in China: A long term approach, *Journal of Environmental Management*, 196, 719-732.
18. Goudie, A., & A. Midelton., (2002). Saharan dust storms, nature and consequences. *Earth science review*. pp: 56.
19. Heidari, M. T., 2007. Dust and its productive atmospheric pattern in the west of the Iran, *Kermanshah Meteorological Journal*, 1, 1-12. (in Persian)
20. Hosseini, S. B., 2000. Synoptic Study of Severe Storms in Tehran. M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran. (in Persian)
21. Kaviani, M. R., 2007. Microclimateology. 1nd edition, SAMT. (in Persian)
22. Khoshakhlagh, F.; Najafi, M.; & M. Samadi, 2012. An Analysis on Synoptic Patterns of Springtime Dust Occurrence in West of Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 44(2), 99-124. (in Persian)
23. Koren, I., & Y. Kaufman., (2006). The Bode'le' depression: a single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest, pp: 1- 4.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

24. Kutiel, H., & P. Alpert., (2005). Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe. pp: 1 – 14.
25. Lashkari, H., & Gh. Kaykhosravi., (2008). Synoptic Statistical Analysis of Dust Storms in Khorasan Razavi Province in the Period of 1993-2005. *Natural Geographical Research*. 65, 17-33. (in Persian)
26. Leonard, R. J.; Arthur, C.; & D. F. Hochuli, 2017. A Multistressor, Multitrait Approach to Assessing the Effects of Wind and Dust on Eucalyptus tereticornis, *American Journal of Botany*, 103 (8), 1466-1471.
27. Maletsika, P. A.; Nanos, G. D.; & G. G. Stavroulakis, 2015. Peach leaf responses to soil and cement dust pollution, *Journal of Environmental Science and Pollution Research International*, 22, 15952-15960.
28. Meng, Z. Q., & Q. X. Zhang., (2006). Oxidative damage of dust storm fine particles instillation on lungs, hearts and livers of rats. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 22, 277-282.
29. Meshkati, A., & H. Moradi., (2004). The red sea trough investion from dynamic point of view. Nivar. 52, 53-74. (in Persian)
30. Mofidi, A., & S. Jafari., (2011). Study of the role of atmospheric circulation in the Middle East in the occurrence of summer dust storms in southwestern Iran. *Geographical Studies of Arid Areas*. 5, 19-40. (in Persian)
31. Omidvar, K., 2006. Synoptic Analysis of Sandstorms in Yazd Ardakan Plain, *Geographical Research*, 43, 58-81. (in Persian)
32. Rodopoulou, S.; Chalbot. M. C.; Samoli. E.; DuBois, DW.; San Filippo, BD.; & IG. Kavouras, 2014. Air pollution and hospital emergency room and admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Doña Ana County, New Mexico, *Environmental research*, 129: 39-46.
33. Takemi, T., & N. Seino., (2005). Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring. *Journal of geophysical research*. vol.110, D18S11.
34. Tavousi, T.; Khosravi, M.; & K. Reispour, 2010. Synoptic analysis of dust systems in Khuzestan province, *Geography and development*, 20, 118-97. (in Persian)
35. Wu, C., & X. Wang., (2015). Effect of Different Foliar Dust Contents on Reflectance Spectroscopy of Euonymus japonicas. *Journal of Scientia Silvae Sinica*. 51, 49-56.
36. Yarnal, B., 1993. Synoptic climatology in environmental analysis. London, a primer: Belhaven press.
37. Zolfaghari, H., & H. Abedzadeh., (2006). Synoptic analysis of dust storms in western of Iran. *Journal of Geography and Development*. 6, 173-188. (in Persian)

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

Identification and Analysis of Atmospheric Patterns of Dust in West of Iran (Case Study: Kermanshah Province)

Mohammad Parvin: *PhD student in Climatology, Department of Geography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran*
Hasan Lashkari: *Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Shahid Beheshti University, Tehran*
Reza Borna[1]: *Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz*
Mostafa Karampour: *Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Lorestan University, Khoramabad*

Article History (Received: 2021/7/26 Accepted: 2021/8/31)

Extended abstract

1- Introduction

In the last decade, the volatile region of the Middle East, along with all other natural hazards, has been plagued by dust storms. More than anywhere else in the world, global warming and climate change have affected the natural ecosystems of this vulnerable and fragile region. From a synoptic meteorological point of view, storm is a unique destructive phenomenon on synoptic maps that includes a combination of pressure, cloud, rain, wind, et.c (Alijani, 2006; Hosseini, 2000). Dust can be a reaction to changes in land vegetation, according to which the role of human activities along with the natural conditions of geographical environments should be considered (Arimoto, 2000). Burial of residential areas under sand, destruction of agricultural lands and expansion of desert areas (Wang 2005), creation of colored rainfall, disruption of transportation system, disruption of agricultural fields and orchards (Koren *et al*., 2015), air pollution, respiratory problems and diseases, and the prevalence of infectious diseases are the most important complications and problems caused by dust storms (Goudie and Midelton, 2002). Therefore, it is necessary to identify and analyze dust-generating patterns of prognostic aspects.

2- Methodology

In this research, the synoptic analysis of dust in Kermanshah province has been studied. For this purpose, dust codes for 12 synoptic stations over a period of 30 years (from 1990 to 2017) were received from the Iranian Meteorological Organization. Then, in order to perform the classification operation and further calculations, sea level pressure (SLP) and geopotential height of 500 hPa level data were extracted for grading days by programming in GrADS software. In the next step, in order to classify sea level pressure data and identify representative days, cluster analysis was performed on dusty days and dust generating atmospheric patterns were extracted, and finally the synoptic and dynamic analysess and interpretation of these patterns were performed

.3- Results

By performing cluster analysis on sea level pressure events, five patterns for dust occurrence in the western region of Iran can be identified as follows:
Pattern1: Indian monsoon low pressure - European migratory high pressure: A study of this model shows that all regions located in southwest Asia to the center of the Mediterranean have become the convergence of currents originating from the monsoon region of South and Southeast Asia. Summer monsoon rotation, the region of South-Southeast Asia, has acted as a large-scale energy source. The regions located in Southwest Asia and the Eastern Mediterranean are the main area of convergence of this flow and, in fact ,are heat wells.
Pattern2: Indian monsoon low pressure integration, Oman Sea - North Caspian high pressure: Like the first pattern, Indian monsoon low pressure system is formed on the northwestern regions of India and on the border with Pakistan, which moves in orbit through the Oman Sea and the Persian Gulf. It has entered the regions of

[1] **Corresponding Author: bornareza@yahooo.com**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

Southwest Asia and covers a large area from the Middle East to North Africa, and has strengthened its coverage of the central to eastern Mediterranean.

Pattern3: Sudan low pressure, European low pressure - North African high pressure: A study of this model shows that at sea level, the Sudanese low pressure system travels from the southern and central parts of the Red Sea to cyclonic and meridional directions. The interior region of Saudi Arabia and the desert of Ruba'at al-Khali have moved and covered all the desert areas of Saudi Arabia, Iraq and Syria in such a way that it has caused the bottom convergence and vertical ascent of the currents over the dust centers. In addition, in the orbital direction and in the vicinity of this system in North Africa (Libya, Egypt and Algeria), a high-pressure system with a central pressure of 1016 hPa prevails, which leads to severe pressure differences and increased instability in dust centers and over-activation. It has resulted in dust hotspots in Saudi Arabia and North Africa.

Pattern4: Sudan low-pressure integration Sudan, Saudi Arabia - Siberian high-pressure: Sudan-origin low-pressure system with high spatial and spatial expansion across the Red Sea is integrated with Saudi low-pressure on one side and on the other; moving northwards with expanded tabs and Indian influence in the eastern and southern parts of Iran has created a huge expanded belt of low pressure centers. In addition, a weak high-pressure system with a central pressure of 1016 hPa over the Mediterranean Sea and North Africa has created atmospheric instability due to the pressure difference created over desert areas.These areas are the focal points of dust and the main generator of dust storms in the Middle East.

Pattern5: Polar low pressure, Sudan low pressure - European high pressure: A study of this model shows that the polar low pressure system along with Sudan and Red Sea penetration low pressure are the main controllers of Iran's atmosphere at sea level in such a way that the cyclonic movement of cold currents in the polar regions towards the lower latitudes and its penetration from the northeast into Iran and then the integration of its tabs with the low pressure tabs of the Red Sea and Sudan cause the corridor to have unstable currents in the polar and tropical regions, or in other words, the polar and subtropical regions, which have dominated the upward vertical currents in a very large area of Iran. However, the dominance of the European high pressure system and its penetration to eastern Turkey in the orbital direction and North Africa in the meridional direction and its confrontation with the infiltration low pressure cause severe compression pattern, instability and transport of dust into the low pressure Sudan and the Red Sea.

4- Discussion & Conclusions

Studying and understanding the synoptic and dynamic state of the atmosphere as well as understanding the local conditions and geomorphology of each region is one of the key topics of interest in atmospheric studies. Dust storms in the western part of Iran are mainly caused by certain weather conditions. Thus, the components of the atmospheric circulation scale at the lower levels play a major role in the occurrence of dust storms. In the patterns of the warm periods of the year, the dominance of the west current with the monsoon origin of India has created the following convergence around the dust centers of southwest and west Asia, which are intensified by the upper convergence caused by the high pressure of the Azores or the western wave. This issue is accompanied by the activation and rising of dust in the dust centers of the region, which eventually extends to the western region of Iran by eastward and orbital currents. On dusty days occuring in the cold seasons, Sudan and Red Sea thermal low pressures on Saudi Arabia, Iraq and Syria at sea level, and low-lying nuclei and western waves on Europe and the Mediterranean Sea at mid-atmospheric level are the main controllers of climatic conditions in the region. Therefore, in the cold period of the year, due to the heaviness of the cold weather in these days, they are allowed to penetrate to low offerings and place the eastern part of trough on the deserts of North Africa, Saudi Arabia, Iraq and Syria. By creating instability and moving to the east, they direct the generated dust to the west of Iran. However, whenever tabs of Indian monsoon low pressure and Sudan low pressure enter the West Asian region at sea level and the Mediterranean subtropical or high-pressure submarine operates in mid-atmosphere, the upper convergence and the dynamic decrease of air flow causes the amplification and over-activity of surface low pressures, which is accompanied by the activation of dust centers and the rise of dust in the area. In general, Azores high pressure along with migratory systems of western winds is the most important synoptic factor in dust systems in the western regions of Iran. Comparison of research findings showed that thermodynamic processes in the hot season and dynamic processes in the cold season are the most important factors in the formation and transfer of dust to the western half of the country (Kermanshah). Thus, the establishment of low thermal pressure at ground level and low altitude of 850 to 500 hPa in the vicinity of western Iran is effective in generating identified dust during the

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]

warm periods of the year, which is consistent with the findings of Azizi *et al* (2012) in the synoptic study of dust in the western part of the country.

Key Words: Upper level, Low pressure system, Dust storms, Kermanshah, Atmospheric instability.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.6.0]