

تحلیل الگوی همیدی گردوغبارهای فراگیر دوره سرد استان خوزستان

فاطمه درگاهیان^{۱*}، محمدرضا پودینه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲

چکیده

پدیده گردوغبار در سال‌های اخیر در فصل سرد، به یکی از معضلات جدی استان خوزستان تبدیل شده است. هدف از این تحقیق، بررسی و تحلیل الگوی همیدی گردوغبارهای فراگیر استان خوزستان در دوره سرد سال است. برای این منظور داده‌های ۲۰ ایستگاه سینوپتیکی از سازمان هواشناسی برای یک دوره کامل اقلیمی ۱۹۸۸-۲۰۱۷ استخراج شده است. سپس با اجرای تحلیل خوشه‌ای به شناسایی الگوهای مؤثر بر گردوغبارهای خوزستان پرداخته شده است؛ نتایج نشان داد چهار الگوی جوی در ایجاد این پدیده در فصل سرد مؤثر بوده‌اند: ۱. کم‌فشار دریای خزر- پرفشار سبیری، پرفشار اروپا؛ ۲. پرفشار ادغامی اروپا، مدیترانه- کم‌فشار سودان، کم‌فشار شمال خزر؛ ۳. کم‌فشار دریای عرب و پرفشار شمال آفریقا؛ ۴. پرفشار سبیری- کم‌فشار سودان و کم‌فشار مدیترانه بوده است. الگوی اول (کم‌فشار دریای خزر- پرفشار سبیری، پرفشار اروپا) بیشترین میزان فراوانی و غالب‌ترین الگوی شناسایی شده است. با این حال، موقعیت مکانی فرود بلند مدیترانه در الگوهای شناسایی شده با تغییراتی همراه بوده و گاهی به سمت نواحی شمالی آفریقا کشیده شده است. بنابراین هنگامی که یک فرود عمیق در شرق مدیترانه ایجاد شود که جریانات شرق‌سوی آن با موج‌بادهای شمال آفریقا هم‌محور شوند و در نهایت در منطقه جنوب‌غرب کشور با واگرایی بالایی به هم ادغام شوند، در صورت فراهم بودن شرایط محیطی، با ایجاد ناپایداری در سطح زمین که ناشی از قرارگیری کم‌فشارهای تراز دریا بر روی بیابان‌های بزرگ خاورمیانه است، پدیده گردوغبار در استان خوزستان ایجاد خواهد شد. علاوه بر این، در تشدید و شکل‌گیری گردوغبار و فعال شدن کانون‌های گردوغباری در منطقه، اختلاف شیو فشاری از عوامل مؤثر و مهم بر رخداد این پدیده بوده است. شناخت الگوهای سینوپتیکی مولد طوفان‌های گردوغبار در فصول مختلف سال به پیش‌بینی رخداد گردوغبار و صدور پیش‌آگاهی در این زمینه برای آمادگی و پیشگیری از اثرات سوء آن تا حد امکان کمک می‌کند.

کلیدواژه‌ها: گردوغبار، فرارفت رطوبت، تاوایی جو، دوره سرد.

۱. عضو هیئت‌علمی بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، نویسنده مسئول؛ dargahian@riftr-ac.ir

۲. عضو هیئت‌علمی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان
این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است.

مقدمه

گردوغبار پدیده‌ای هواشناسی است (کیخسروی و حاصلی، ۲۰۱۷) و در مناطق خشک که بادهای شدید قادر باشند ذرات ریزغبار را از روی زمین جدا کنند و به بالا ببرند، تشکیل می‌شود (آرنس^۱، ۲۰۱۲). این پدیده در نتیجه سرعت زیاد باد و تلاطم آن بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد فرسایش به وجود می‌آید (ملونی^۲، ۲۰۱۵). گردوغبار در درجه اول، ترکیبی از ذرات معدنی بسیار کوچک است که در جو بالا رفته است. ابر غباری بسیار متراکم است به طوری که خورشید را پنهان می‌کند و می‌تواند میدان دید را در منطقه‌ای به وسعت صدها یا هزاران مایل، صفر کند. منشأ طوفان‌های گردوغبار بیشتر شامل مناطقی است که اقلیم آن‌ها بسیار خشک و میانگین بارندگی سالانه آن‌ها کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است (گودی و میدلتون^۳، ۲۰۰۱). گردوغبار به‌عنوان پدیده بارز در مناطق بیابانی، سبب اختلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، زیرساخت‌های اجتماعی، حمل‌ونقل و صنایع می‌گردد (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۲). حجم فراوان ذرات حمل‌شده به جو، بیلان انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که متعاقب آن شرایط اقلیمی نواحی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (تکامی و سینو^۴، ۲۰۰۵).

وقوع پدیده گردوغبار می‌تواند یکی از اثرات تغییر اقلیم باشد که در کشورهای حوضه خلیج فارس به وجود آمده است (یاراحمدی و همکاران، ۲۰۱۴). از طرف دیگر، سطح بزرگی از ایران در کمربند خشک زمین واقع شده و وقوع پدیده گردوغبار در نواحی مختلف آن به دفعات تکرار می‌شود. وقوع خشکسالی‌های متعدد در مناطق مختلف کشور نیز مزید بر علت شده و شرایط ایجاد طوفان‌های گردوغبار را در کشور، بیشتر فراهم می‌کند. طی دهه‌های اخیر به دلیل تغییر در اقلیم مناطق مختلف و نیز وقوع خشکسالی‌های متوالی، وقوع طوفان‌های گردوغبار افزایش داشته؛ از این رو مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است.

گائو و واشنگتون^۵ (۲۰۱۰) گردوغبار منشأگرفته از حوضه

رودخانه تارم در چین را مورد مطالعه قرار دادند؛ بررسی‌های آن‌ها نشان داد که در سال‌های با گردوغبار فرین، تغییرات گردش جوی نقش بسیار زیادی در کنترل حمل مواد داشته است. سناب و پاندیتورای^۶ (۲۰۱۵) تغییرات درون‌سالانه هواویزها و ارتباط آن با اقلیم محلی در شبه‌قاره هند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات در فصول پیش از موسمی و موسمی با دشت رودخانه گنگ، پاکستان و دریای عرب مرتبط است. آلوبادی^۷ و همکاران (۲۰۱۸) توزیع طوفان‌های گردوغبار در فصل مرطوب شبه‌جزیره عربی را بررسی کردند؛ نتایج حاکی از وجود روند افزایشی معنادار در قسمت شمال شرقی بوده که با روند افزایشی سرعت باد مرتبط است. مطالعه اقلیمی الگوهای سینوپتیک گردوغبار در شبه‌جزیره عربستان نشان داد که دو الگوی اصلی رویدادهای گردوغبار در منطقه را همراهی می‌کنند. گردوغبار در زمستان و پاییز به‌طور عمده تحت تأثیر الگوی آنتی سیکلونیک و در بهار و تابستان تحت تأثیر الگوی شمالی قرار می‌گیرد (ماشت^۸ و همکاران، ۲۰۲۰). انیسیمو^۹ و همکاران (۲۰۱۸) طوفان شن قوی آوریل ۲۰۰۷ در مرکز شبه‌جزیره عربی را بر اساس مدل WRF شبیه‌سازی کردند. این مدل توانست محل و الگوها را به‌خوبی شبیه‌سازی کند؛ هرچند میزان برآوردشده بر اساس مدل کمتر از طوفان مذکور بود. بررسی الگوهای سینوپتیک غالب برای پیش‌بینی وقایع گردوغبار و آلودگی هوا بر اساس پیش‌بینی الگوهای آب‌وهوایی مفید است؛ زیرا نتایج نشان داد که این حوادث در سراسر جزیره ایبری عمدتاً توسط الگوهای خاص ایجاد می‌شوند (روسو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰). استرونک و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر اقلیمی طوفان گردوغبار صحرا بر چرخندهای حاره‌ای را بر اساس مدل‌های اقلیمی جهانی بررسی کردند؛ مطالعه ایشان نشان داد که در تمامی شبیه‌سازی‌ها، گردوغبار باعث افزایش فعالیت چرخندها در اقیانوس اطلس شمالی شده است. هپکرافت و والدز^{۱۱} (۲۰۱۹)

6. Sanap and Pandithurai
7. Alobaidi
8. Mashat
9. Anisimov
10. Russo
11. Strong
12. Hopcroft and Valdes

1. Arnes
2. Meloni
3. Goudie and Middleton
4. Takemi and Sieno
5. Gao and Washington

گردوغبار در منطقه می‌شود. بررسی سینوپتیکی طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب کشور نشان از استقرار سلول‌های کم‌فشار در مرکز کشور دارد که موجب همگرایی و مکش هوا در سطح زمین شده و تاوایی منفی در جنوب عراق و تاوایی مثبت نسبتاً قوی در نواحی داخلی ایران سبب تقویت حرکات سیکلونی و وزش باد شدید با جهت غربی در نواحی جنوب غربی ایران شده که این امر موجب انتقال گردوخاک از روی بیابان‌های خشک مناطق مجاور به کشور شده است (اکبری و فرح‌بخشی، ۲۰۱۶). درگاهیان و دوستکامیان (۲۰۱۹) الگوی همدیدی رخدادهای گردوغبار دوره گرم خوزستان را مطالعه کردند؛ نتایج کار آن‌ها نشان داد پنج الگو نقش دارند و در سازوکارهای همدیدی رخداد گردوغبار در الگوهای اول تا چهارم نقش کم‌فشار گنگ که در فصل گرم سال با گرمایش شدید هوا و با ماهیت حرارتی بر روی جنوب آسیا شکل می‌گیرد، نقش اساسی در رخداد گردوغبار بر روی خوزستان داشته است. نیمه جنوبی کشور به دلیل شرایط اقلیمی خاص این قسمت‌ها، بیشتر مستعد وقوع طوفان‌های گردوغبار است. بنابراین مطالعه وقوع گردوغبار در این ناحیه اهمیت فراوانی دارد. از طرف دیگر، هیچ پدیده اقلیمی نیست که الگویی از فشار هوا در ایجاد آن دخیل نباشد؛ از این‌رو هدف از این مطالعه، شناسایی و بررسی الگو یا الگوهای همدیدی موجد طوفان‌های گردوغبار در دوره سرد سال در خوزستان است.

مواد و روش‌ها

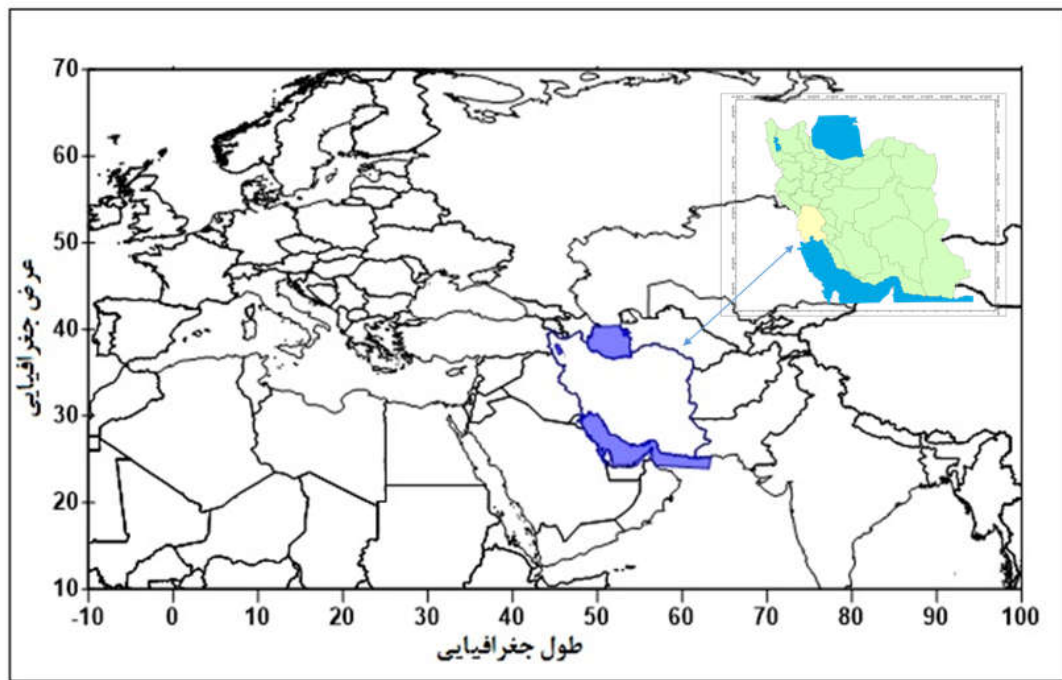
منطقه مورد مطالعه

با توجه به موضوع مورد تحقیق و به‌منظور نمایش کامل سامانه‌های مؤثر در ایجاد گردوغبارهای محدوده مطالعه سامانه‌های جوی از ۱۰- درجه طول غربی تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی تعیین شده است (شکل ۱). در این مطالعه، نقش الگوهای گردوغبار در فصل سرد در استان خوزستان به‌عنوان منطقه هدف با موقعیتی در جنوب غربی ایران و بین ۳۱° ۴۷' تا ۳۹° ۵۰' طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۵۸° ۲۹' تا ۴° ۳۳' عرض شمالی از خط استوا مورد بررسی قرار گرفته است.

نقش بازخوردهای اقلیمی گردوغباری را در طول هولوسن میانی بررسی کردند؛ مطالعه ایشان نشان می‌دهد که کاهش گردوغبار در شمال آفریقا در دوره هولوسن با افزایش ۲۰ تا ۵۰ درصدی بارش همراه بوده است. همچنین افزایش قطر ذرات گردوغبار به بیش از ۱ میکرومتر، کاهش بارش را به دنبال داشته است. رید^۱ و همکاران (۲۰۱۹) اثر گردوغبار بر توفندهای اطلس شمالی در یک مدل اقلیمی با تفکیک بالا را مورد مطالعه قرار دادند؛ بررسی‌های ایشان نشان داد که با کاهش گردوغبار، فراوانی چرخندهای حاره‌ای در اطلس شمالی افزایش می‌یابد. الگوی همدیدی مرتبط با وقایع گردوغباری با غلظت شدید PM10 در کره جنوبی، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۱ نشان داد دو رویداد با آلودگی زیاد گردش‌های جوی مختلف را همراهی می‌کنند (جونگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۹).

ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۱) موج فراگیر طوفان گردوغبار در تیرماه ۱۳۸۸ را به‌صورت همدیدی مورد مطالعه قرار دادند؛ نتایج نشان داد که استقرار سامانه کم‌فشار بر منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها و وجود موج کم‌فشار دینامیک بر فراز منطقه، زمینه انتقال ریزگردها به جو منطقه را فراهم می‌کند. خوش‌اخلاق و همکاران (۲۰۱۲) رخدادهای گردوغبار بهاره در غرب ایران را به‌صورت همدیدی مورد مطالعه قرار دادند؛ نتایج نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده سیستم‌های مهاجر بادهای غربی در شکل‌گیری بخشی از طوفان‌های گردوغباری است. نوحه‌گر و همکاران (۲۰۱۳) گردوغبار معلق در ایستگاه سرپل ذهاب را بررسی کردند؛ مطالعه ایشان نشان می‌دهد که وقوع طوفان‌های گردوغبار به‌سمت انتهای دوره سیر صعودی داشته است. همچنین در سال‌هایی که فراوانی طوفان‌ها بیشینه بوده، جهت بادهای میل به غربی شدن داشته است. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر نوسانات آب‌وهوایی را بر گردوغبار غرب و جنوب غرب ایران بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که هرگاه یک ناوه عمیق در سطح فوقانی جو منطقه مستقر و در سطح زمین هم سیکلون‌های سطحی ایجاد شود، باعث پدیده

1. Reed
2. Jung



شکل (۱): موقعیت سامانه‌های مؤثر و موقعیت منطقه هدف (خوزستان)

Figure (1): Location of effective systems and location of target area (Khuzestan)

می‌باشد. با توجه به موضوع پژوهش و به منظور نمایش کامل سامانه‌های مؤثر در ایجاد گردوغبارهای محدودۀ مطالعه سامانه‌های جوی از ۱۰- درجه طول غربی تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی تعیین شده است. در پژوهش حاضر تلاش شده تا با استفاده از رویکرد محیطی به گردش، الگوهای مؤثر در ایجاد گردوغبارهای استان خوزستان شناسایی شوند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. در مرحله بعد به کمک تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار متناظر با این روزها به شناسایی الگوی روزهای گردوغبار پرداخته شده است. بعد از استخراج داده‌های فشار متناظر با این روزها به منظور شناسایی الگوهای گردوغبار استان خوزستان از تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. در گام بعدی، با هدف انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار سطح زمین و شناسایی روزهای نماینده اقدام به انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی این داده‌ها شد. تحلیل خوشه‌ای روشی است که در آن متغیرها بر اساس ویژگی‌های مورد نظر در گروه‌های خاصی طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از انجام تحلیل خوشه‌ای، پیدا کردن دسته‌های واقعی افراد و کاهش حجم داده‌هاست؛ به عبارت دیگر هدف، شناسایی تعداد کمتری از گروه‌هاست به طوری که

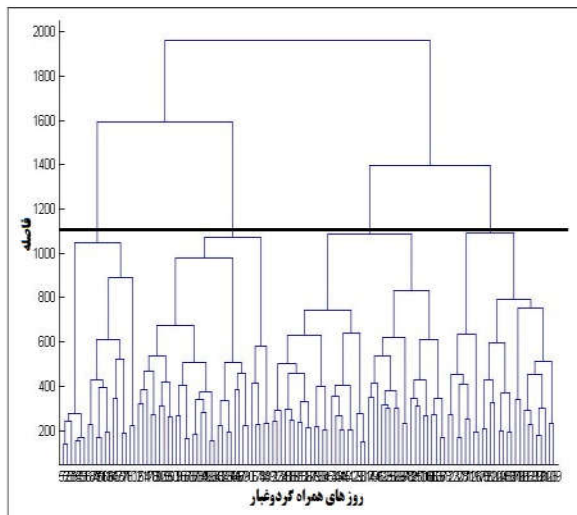
در این مطالعه به بررسی و تحلیل الگوی سینوپتیکی گردوغبارهای استان خوزستان در دوره سرد سال پرداخته شده است که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، دوره سرد یعنی ماه‌های دی، بهمن و اسفند در نظر گرفته شده است. در این راستا از دو پایگاه داده‌ای بهره گرفته شده است:

الف. پایگاه داده محیطی: در این رویه، داده‌های کد گردوغبار ۲۰ ایستگاه سینوپتیکی به صورت روزانه از سازمان هواشناسی کشور از سال ۱۹۸۸-۲۰۱۷ برای استان خوزستان استخراج شده است.

ب. پایگاه داده‌های جوی: بعد از استخراج کدهای گردوغبار، روز فراگیر گردوغبار به روزی گفته شد که حداقل ۵۰٪ پوشش مکانی و دو روز تداوم داشته باشد. بعد از استخراج روزهای گردوغبار فراگیر داده‌های فشار متناظر با این روزها استخراج شده است. این بخش از داده‌ها شامل داده‌های فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، فرارفت رطوبت و تاوایی جو برای ترازهای ۱۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد که از پایگاه داده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) دریافت شده است. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها $2/5 \times 2/5$ درجه قوسی

نتایج

با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار همراه با روزهای همراه با گردوغبار فراگیر خوزستان در دوره سرد سال، ۴ الگوی شناسایی شده است که نتایج آن در شکل (۲) و جدول (۲) آورده شده است.



شکل (۲): دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار سطح زمین

Figure (2): Dendrogram from cluster analysis on ground pressure data

در ادامه، پس از شناسایی روزهای گردوغبار و انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشاری سطح دریا، چهار الگوی همدیدی شناسایی شد: ۱. الگوی کم‌فشار دریای خزر - پرفشار سبیری، پرفشار اروپا؛ ۲. الگوی پرفشار ادغامی اروپا، مدیترانه - کم‌فشار سودان، کم‌فشار شمال خزر؛ ۳. الگوی کم‌فشار دریای عرب و پرفشار شمال آفریقا؛ ۴. الگوی پرفشار سبیری - کم‌فشار سودان و کم‌فشار مدیترانه؛ در این بین بیشترین میزان فراوانی را الگوی اول دارد. نقشه‌ها در تمام الگوها عبارت‌اند از: نقشه الف: نقشه فشار تراز دریا و تاوایی نسبی و جریان باد؛ نقشه ب: نقشه وزش رطوبتی تراز دریا؛ نقشه پ: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ و تاوایی نسبی و جریان باد؛ نقشه ت: نقشه وزش رطوبتی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰. نقشه ث: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۷۰۰ و تاوایی نسبی و جریان باد؛ نقشه ج: نقشه وزش رطوبتی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰. نقشه چ: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ برحسب هکتوپاسکال و

داده‌هایی که شباهت بیشتری با یکدیگر دارند، در یک گروه قرار گیرند به‌صورتی که پراش درون‌گروهی کمینه و پراش بین‌گروهی بیشینه شود. در این روش گروه‌بندی داده‌ها بر اساس فاصله یا شباهت بین آن‌ها صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری فاصله بین داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آن‌ها، روش فاصله اقلیدسی است. به‌منظور انتخاب روزهای نماینده گروه‌های به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی داده‌های مربوط به گردوغبارها از روش همبستگی لوند استفاده شده است. به این ترتیب، برای انتخاب روز نماینده روزی که بیشترین شباهت را با بیشترین تعداد روزهای گروه دارد، انتخاب می‌شود. ضریب همبستگی معرف درجه همانندی الگوهای دو نقشه با همدیگر است. برای این کار باید ضریب همبستگی آستانه معینی را پذیرفت. مقدار ضریب همبستگی در این‌گونه موارد نوعاً بین ۰/۵ تا ۰/۷ تغییر می‌کند. روزهای نماینده بر پایه آستانه ۰/۵ استخراج شد. بدین ترتیب آن روزی که با تعداد روزهای بیشتری ضریب همبستگی ۰/۵ داشته باشد، به‌عنوان روز نماینده انتخاب می‌شود (درگاهیان و دوستکامیان، ۲۰۱۹).

جدول (۱): کدهای پدیده گردوغبار (علیجانی، ۲۰۰۲)

Table (1): Dust phenomenon codes (Alijani, 2002)

کد	شرح پدیده گردوغبار
۰۶	کاهش دید در اثر انتشار گردوغبار معلق در هوا که به‌وسیله باد بلند شده است.
۰۷	گردوغبار یا شن زمان دیدبانی در اطراف ایستگاه که به‌وسیله باد بلند شده است.
۰۸	گسترش گردبادهای گردوغبار و ماسه در ایستگاه یا اطراف آن.
۰۹	طوفان گردوغبار و ماسه در اطراف ایستگاه در زمان دیدبانی و یا ساعت پیش.
۳۰	طوفان گردوغبار که در طول ساعت قبل کاهش یافته است.
۳۱	طوفان گردوغبار که در طول ساعت قبل تغییر قابل ملاحظه‌ای پیدا نکرده است.
۳۲	طوفان گردوغبار که در طول ساعت قبل شروع شده یا افزایش پیدا کرده است.
۳۴	طوفان گردوغبار در طول ساعات گذشته تغییر قابل ملاحظه‌ای نکرده است.
۳۵	طوفان گردوغبار در طول ساعات گذشته شروع یا افزایش یافته است.

تاوایی نسبی و جریان باد؛ نقشه ح: نقشه وزش رطوبتی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰.

جدول (۲): فراوانی الگوهای شناسایی شده رخداد گردوغبار خوزستان

در دوره سرد سال

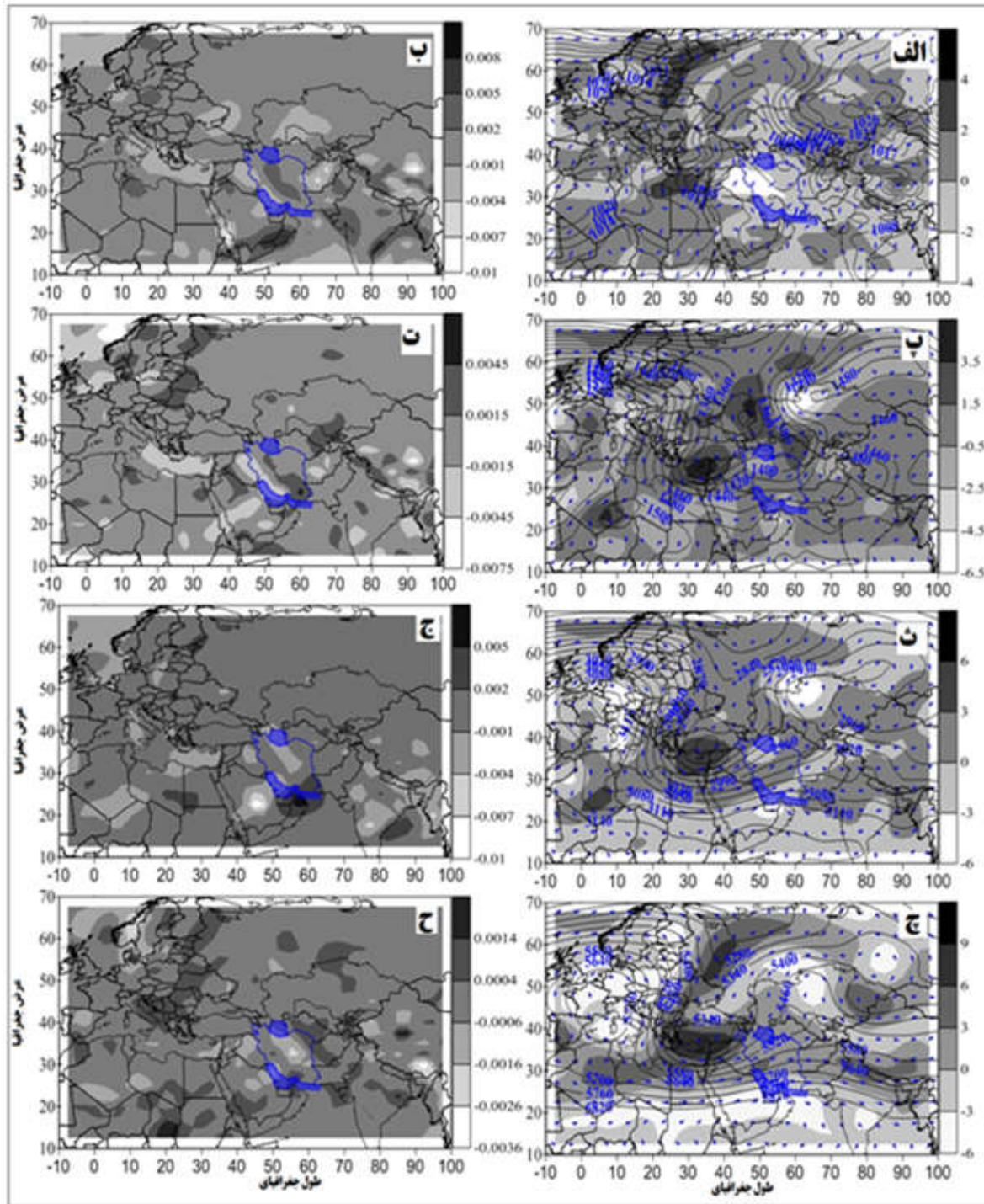
Table (2): The frequency of identified patterns of dust in Khuzestan during the cold period of the year

الگوی	الگوی	الگوی	الگوی	
اول	دوم	سوم	چهارم	الگوی
-	۳	۱	۲	دی
۱۱	۶	۴	۱۲	بهمن
۳۰	۱۷	۱۱	۱۶	اسفند

الگوی اول: کم فشار دریای خزر- پرفشار سبیری، پرفشار اروپا

شکل (۳) توزیع مکانی الگوی همدیدی- دینامیکی فشار تراز دریا به همراه تاوایی نسبی و وزش رطوبتی را برای الگوی اول نشان می‌دهد. در شکل (۳-الف) نقشه فشار تراز دریا به همراه تاوایی جو نشان می‌دهد که در روز نماینده مورد نظر، سامانه پرفشار بسیار گسترده‌ای از نواحی مرکزی اروپا تا نواحی شمالی آفریقا را در بر گرفته و با حرکت آنتی سیکلونی و شرق سوی خود تا نواحی شمالی عربستان و سودان نفوذ کرده است؛ به گونه‌ای که این مسئله به دلیل دو شاخه شدن سامانه پرفشار و حرکت زبانه آن به سمت نواحی شمالی خاورمیانه و زبانه دیگر آن به سمت عربستان است. زبانه نفوذی به سمت بیابان‌های عربستان به دلیل ایجاد واگرایی پایینی در کانون‌های اصلی گردوغبار منجر به فعال شدن بیش از حد گردوغبار در این منطقه می‌شود. سامانه کم فشاری نیز بر روی دریای خزر تشکیل شده که با چرخش سیکلونی زبانه‌های نفوذی آن تمامی نواحی داخلی ایران را در بر گرفته و نواحی داخلی عربستان، عراق و ترکیه را تحت تأثیر خود قرار داده است. این مسئله اختلاف فشار شدید و ایجاد کژفشاری گسترده و عمیق را در نواحی مجاور ایران در پی

داشته است؛ به گونه‌ای که این شیو فشاری دقیقاً منطبق بر نقاط بیابانی و صحراهای بزرگ دنیاست. در همین راستا نیز سامانه پرفشار سبیری با ایجاد خطوط هم فشار ۱۰۲۶ هکتوپاسکال بر روی سبیری و قزاقستان سبب نفوذ زبانه‌ای تا روی ازبکستان و ترکمنستان شده که این مسئله سبب ایجاد شیو فشاری شدیدی در مناطق شمالی کشور و تشدید ناپایداری جو شده است. با این حال، وضعیت تاوایی و دینامیکی روز نماینده به تبعیت از وضعیت همدیدی جو در تراز دریا نشان دهنده واگرایی و برقراری تاوایی منفی به مقدار $10^{-5} \times 2$ متر بر ثانیه از روی اروپا تا نواحی شمالی آفریقا و عربستان منطبق بر حضور زبانه‌های نفوذی پرفشار اروپا به این مناطق است؛ این در حالی است که بیشینه تاوایی منفی بر روی نواحی غربی و شمال غربی کشور به مقدار $10^{-5} \times 4$ متر بر ثانیه برقرار است. علاوه بر این، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۳-پ) بارزترین و مهم‌ترین پدیده جوی حضور سامانه بلوکینگ امگایی شکلی است که در متتالیه جنوب روسیه و در شرق اوکراین ایجاد شده است. با توجه به خاصیت بلوکینگ نوع امگایی شکل، همان طور که در مطالعه صالحی و عالی جهان (۲۰۱۳) نیز نشان داده شده، در قسمت‌های جنوب شرقی و جنوب غربی که دارای ناوه است، حرکت چرخندی و واگرایی شدید در این قسمت‌ها حاکم بود و به واسطه همین شرایط چرخندی در ناوه، سبب ایجاد شرایط طوفانی در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب شرقی خود می‌شوند. بدین ترتیب قرارگیری ناوه جنوب غربی بلوکینگ با محور شمال شرقی- جنوب غربی بر روی نواحی شرقی مدیترانه که با حداکثر میزان تاوایی به مقدار $10^{-5} \times 1/5$ متر بر ثانیه برقرار است، از یک طرف سبب ایجاد اتمسفر باروکلینیک و از طرف دیگر سبب ایجاد انحراف در موج بادهای غربی و نفوذ آن‌ها تا نواحی شمالی عربستان، عراق و سوریه شده که این مسئله به معنای شارش و انتقال ناپایداری تا عرض‌های پایین در عمق جو (واقع در مناطق دارای کانون‌های گردوغباری) است.



شکل (۳): الگوی اول: کم فشار دریای خزر- پرفشار سیبری، پرفشار اروپا

Figure (3): First pattern: low pressure of the Caspian Sea - Siberian high pressure, European high pressure

با این حال زبانه ۱۴۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب غرب (خوزستان) قرار گرفته است که وزش تاوایی به مقدار $10^{-5} \times 1/5$ متر بر ثانیه، نشان دهنده عمق و شدت سامانه ناوه هم ارتفاع بر روی منطقه در تشدید جریانات بالاسو بر روی خوزستان می باشد. چرخندهای مدیترانه نقش اساسی در کنترل آب و هوای ایران دارند و از آنجایی که منشأ ایجاد و تغذیه برخی از آنها از سمت نواحی شمالی و مرکزی اروپاست که در نواحی دریای مدیترانه سبب فعال شدن بیش از حد این چرخندها می شوند، در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال فرود بلند مدیترانه سبب ایجاد ناوه بسیار عمیق در شرق مدیترانه شده است (شکل ۳-ث و ج). با این حال وضعیت آن به گونه ای است که محور فرود آن با جهت شمال

با این حال زبانه ۱۴۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب غرب (خوزستان) قرار گرفته است که وزش تاوایی به مقدار $10^{-5} \times 1/5$ متر بر ثانیه، نشان دهنده عمق و شدت سامانه ناوه هم ارتفاع بر روی منطقه در تشدید جریانات بالاسو بر روی خوزستان می باشد. چرخندهای مدیترانه نقش اساسی در کنترل آب و هوای ایران دارند و از آنجایی که منشأ ایجاد و تغذیه برخی از آنها از سمت نواحی شمالی و مرکزی اروپاست که در نواحی دریای مدیترانه سبب فعال شدن بیش از حد این چرخندها می شوند، در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال فرود بلند مدیترانه سبب ایجاد ناوه بسیار عمیق در شرق مدیترانه شده است (شکل ۳-ث و ج). با این حال وضعیت آن به گونه ای است که محور فرود آن با جهت شمال

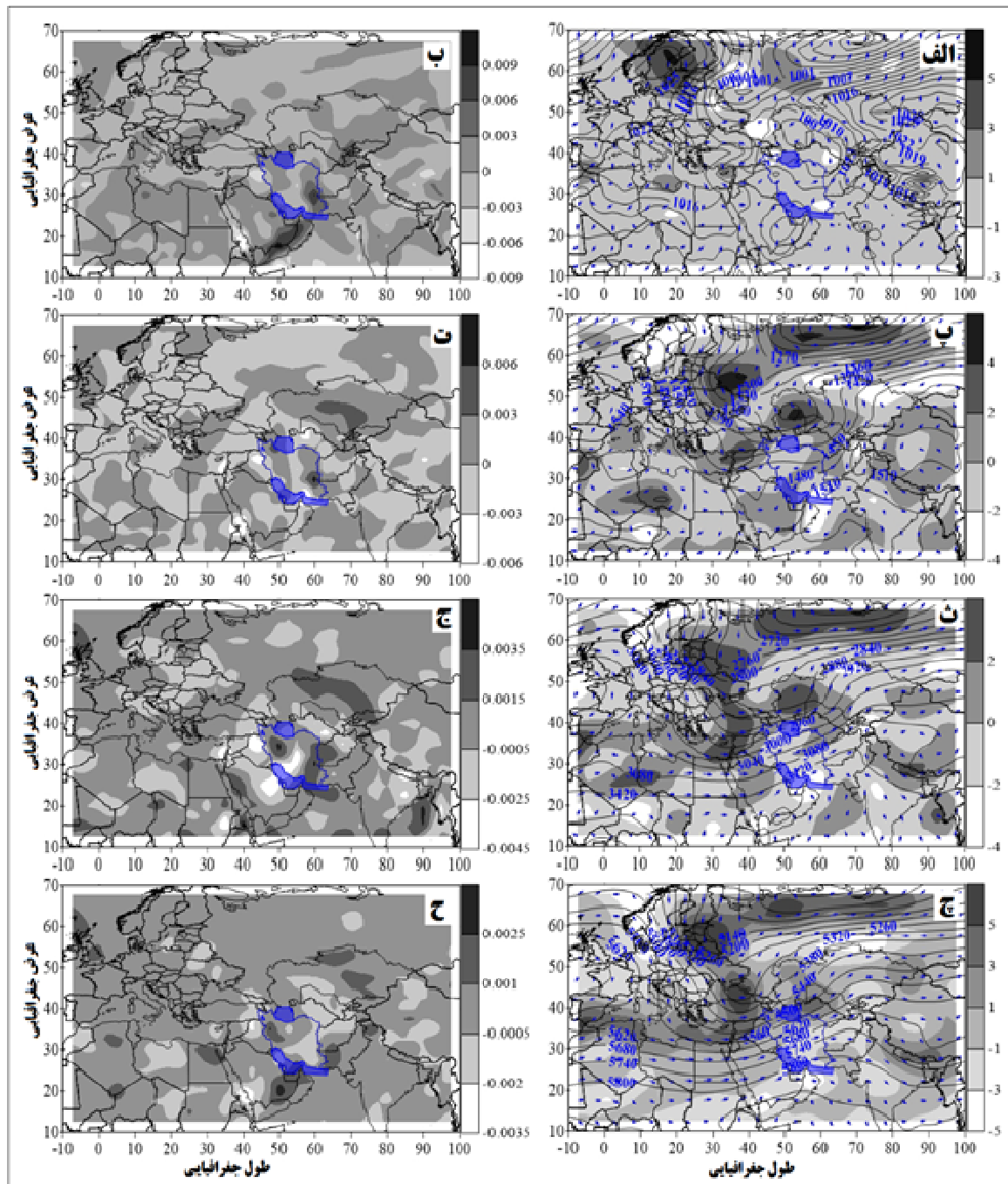
**الگوی دوم: پرفشار ادغامی اروپا، مدیترانه - کم فشار
سودان، کم فشار شمال خزر**

شکل (۴) توزیع مکانی الگوی همدیدی - دینامیکی فشار تراز دریا به همراه تاوایی نسبی و وزش رطوبتی را برای الگوی دوم را نشان می‌دهد. در شکل (۴-الف) نقشه فشار تراز دریا به همراه تاوایی نسبی مشاهده می‌شود که سامانه کم فشار سودانی از نواحی جنوبی سودان با حرکت مورب جنوب غربی - شمال شرقی از نواحی جنوبی سودان حرکت کرده و با گذر از نواحی جنوبی دریای سرخ منجر به ایجاد هسته کم فشاری بر روی جنوب شرق صحرای عربستان و ربع الخالی شده است؛ به گونه‌ای که با حرکت سیکلونی خود می‌تواند ذرات گردوغباری زیادی را وارد مناطق حوضه خلیج فارس و نواحی جنوب غربی ایران کند؛ علاوه بر این سامانه پرفشار ادغامی بر روی مدیترانه و اروپا از یک طرف در حال شارش و انتقال هوای سرد عرض‌های شمالی به نواحی شمالی آفریقا و خاورمیانه است که با ایجاد واگرایی و حرکت واچرخندی خود بر روی کانون‌های گردوغبار سبب حمل و جابه‌جایی حجم بسیار زیادی از ریزگردها به درون کم فشار مستقر بر روی عربستان شده، و از طرف دیگر سبب ایجاد شیو فشاری شدید در منطقه‌ای شده است که از کانون‌های اصلی گردوغبار خاورمیانه به حساب می‌آید. علاوه بر این در نواحی شمالی دریای خزر و در متهاالیه غرب قزاقستان هسته کم فشاری ایجاد شده که زبانه‌های آن تا نواحی مرکزی ایران پیشروی کرده که موجبات صعود هوا را فراهم کرده است. از آنجایی که این ناپایداری در مجاور شرایط ناپایدار عرض‌های جنوبی‌تر به واسطه زبانه کم فشار سودانی قرار گرفته، می‌توان گفت منطقه مطالعاتی عرصه تاخت‌وتاز جریان هوای ناپایداری شده که شرایط حرارتی تراز دریا موجبات آنرا فراهم کرده است. در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-الف و پ) ناوهای با دامنه موج بسیار زیاد از شروع مدیترانه تا نواحی شرقی ایران بر فراز جو مستقر شده که محور اولیه آن از شرق مدیترانه تا شمال ایران را در بر گرفته و از آنجایی که محور ناوهای حادتر میزان تاوایی به میزان 2×10^{-5} متر بر ثانیه و ناپایداری جو

شرقی - جنوب غربی از نواحی شرق مدیترانه شروع شده تا شمال اروپا ادامه داشته و از آنجایی که بیشینه میزان تاوایی به مقدار 3×10^{-5} متر بر ثانیه برقرار شده و بیانگر حداکثر میزان ناپایداری جو است، دقیقاً منطبق بر کانون‌های گردوغبار است که تا تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) ادامه داشته؛ که این مسئله سبب تقویت و تشدید ناپایداری جو از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مناطق بیابانی شده است. با این حال نزدیک شدن ناوهای در غرب ایران و منطقه خاورمیانه سبب فرارفت شدید هوای سرد و گرادیان شدید فشار می‌شود که به همراه چرخندهای مهاجر و ناوهای مدیترانه که تا مرکز عربستان و عراق نفوذ کرده سبب ایجاد شرایط ناپایداری و صعود قائم هوا می‌شوند؛ که این مسئله مقدمه‌ای بر رخداد پدیده گردوغبار در مناطق جنوب غرب ایران (خوزستان) است (جهانبخش اصل و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر شرایط دینامیکی وضعیت رطوبتی جو در قالب وزش رطوبتی نشان می‌دهند که از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط فقر رطوبتی حاکم است؛ به گونه‌ای که در تراز دریا در منطقه مطالعاتی به مقدار $0/004$ گرم بر کیلوگرم، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به مقدار $0/015$ گرم بر کیلوگرم، در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به مقدار $0/01$ گرم بر کیلوگرم و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به مقدار $0/026$ گرم بر کیلوگرم برقرار است؛ که این وضعیت بیانگر فراهم بودن شرایط جوی برای ایجاد پدیده گردوغبار است؛ هرچند که رطوبت بالا در منطقه به معنای عدم ایجاد گردوغبار نیست و هوای شرجی به همراه روزهای گردوغباری در نواحی خوزستان و نوار سواحلی خلیج فارس زیاد رخ می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت قرارگیری سامانه کم فشار دریای خزر مابین دو سامانه پرفشار اروپا و سیبری سبب ایجاد اتمسفر باروکلینک در تروپوسفر شده، به گونه‌ای که فرود عمیق مدیترانه و سامانه بلوکی‌نگ امگایی شکل که تا نواحی عربستان و شمال آفریقا نفوذ کرده به همراه شرایط فقر رطوبتی حاکم بر منطقه منجر به ایجاد روز گردوغباری در خوزستان شده است.

جریانات جوی افزوده شد؛ به گونه‌ای که علاوه بر ناوه شرق مدیترانه، جریانات شدید شمال آفریقا که بنا به دلایل شدت و سرعت بسیار بالا و عدم اختلاف دما به صورت مداری درآمده‌اند، با هم محور شدن با جریانات محور ناوه مدیترانه، بر شدت ناپایداری جو افزوده‌اند و از آنجایی که ناحیه شرقی فرود کاملاً بر روی نواحی غربی و جنوب غربی ایران قرار گرفته، می‌توان گفت وضعیت ناپایداری جو تمامی منطقه را در بر گرفته؛ به گونه‌ای که تاوایی نسبی از شمال دریای سیاه تا شمال دریای سرخ به مقدار $10^{-5} \times 3$ متر بر ثانیه برقرار است و به سمت نواحی عربستان و غرب ایران از شدت آن کاسته شده و به مقدار $10^{-5} \times 1$ متر بر ثانیه رسیده است. بنابراین ناپایداری تا عمق جو به شکل کاملاً بارزی در منطقه دیده می‌شود و از آنجایی که وضعیت وزش رطوبتی به خوبی فراهم نشده است، این وضعیت با ایجاد گردوغبار همراه بوده که جریانات جوی و سامانه‌های همدید از جمله فرود مدیترانه و ناوه‌های همراه آن مهم‌ترین و بارزترین نقش را ایفا کرده‌اند. در نهایت می‌توان گفت در منطقه جنوب غرب کشور حاکمیت ناپایداری و ایجاد تاوایی مثبت به همراه وزش رطوبتی منفی از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مناطق مجاور خوزستان از عربستان تا آفریقا و مدیترانه شرایط را برای ایجاد پدیده گردوغبار فراهم کرده است. در ضمن باید گفت وضعیت جوی نشان‌دهنده فعالیت سامانه‌ها و ایجاد شرایط اقلیمی برای ایجاد بارش است با این تفاوت که وضعیت شار رطوبتی در منطقه کاملاً ضعیف است و فقر رطوبتی تمامی محاسبات مربوط به این مسئله را از بین برده است.

است، با قرارگیری بر روی بیابان‌های و صحاری آفریقا، عربستان، سوریه و عراق موجبات تشدید ناپایداری و تداوم ناپایداری تا عمق جو را سبب شده است. این در حالی است که نواحی شمالی عراق و سوریه در ایجاد گردوغبار در روز نماینده مورد مطالعه نقش بسزایی در ایجاد گردوغبار داشته‌اند. با این حال مشاهده می‌شود که ناوه مدیترانه از جریانات عرض‌های جنب قطبی و نواحی شمالی اروپا تغذیه شده و با ایجاد ناوه در این مناطق، از سرعت و شدت جریان هوا به سمت عربستان تا حدودی کاسته شده است. علاوه بر این، وضعیت وزش رطوبتی جو از تراز دریا تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ت) به گونه‌ای است که وزش رطوبتی مثبتی در نوار ساحلی دریای عمان تا روی خلیج فارس به مقدار $0/003$ تا $0/006$ گرم بر کیلوگرم برقرار است، در حالی که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ج) وزش رطوبتی مثبتی در منطقه مطالعاتی دیده نمی‌شود و در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روی نواحی بیابانی از جمله عربستان، عراق، سوریه، اردن و شمال آفریقا وضعیت رطوبتی در قالب وزش رطوبتی منفی به میزان $0/003$ گرم بر کیلوگرم نمایان است. با وجود این می‌توان گفت بیشتر گردوغبار منطقه مطالعاتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از نواحی و عرض‌های شمالی تری نسبت به نواحی جنوب‌تر که شامل بیابان ربع‌الخالی و نواحی مرکزی عربستان است، تأمین و تغذیه می‌شود و بیابان‌های سوریه و عراق و اردن به همراه نقش عوامل داخلی از منابع اصلی گردوغباری به حساب می‌آیند. در حالی که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی نواحی مرکزی و جنوبی عربستان در ایجاد گردوغبار و حمل آن به سمت نواحی داخلی ایران نیز دخالت داشته است. با این حال در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-چ) بر شدت و قدرت



شکل (۴): الگوی دوم، پرفشار ادغامی اروپا، مدیترانه - کم فشار سودان، کم فشار شمال خزر

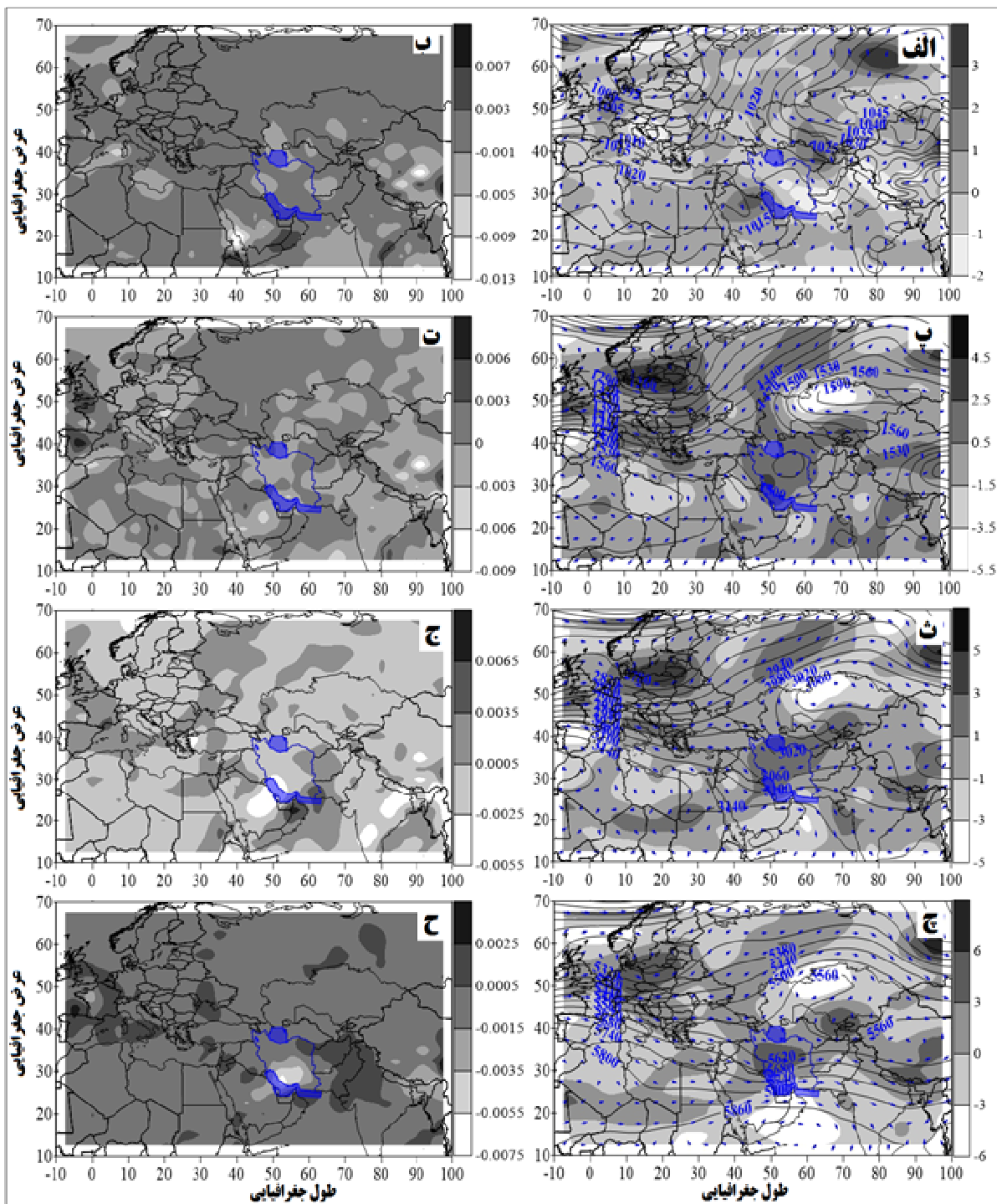
Figure (4): The second model, European Integration Pressure, Mediterranean - Sudan Low Pressure, North Caspian Low Pressure

کشور برقرار کرده؛ به گونه‌ای که از جریان باد می‌توان مشاهده کرد که این سامانه از سمت نواحی جنوبی دریای سرخ نیز در حال تقویت است. با این حال با نفوذ زبانه‌ای پرفشار از شمال آفریقا تا شمال عربستان، عراق و نواحی از مصر و لیبی که از اقیانوس اطلس جنوبی تقویت و تغذیه شده از یک طرف سبب ایجاد واگرایی زیرین در حالت واچرخندی شده و از طرف دیگر سبب ایجاد جو ناپایداری

الگوی سوم: کم فشار دریای عرب و پرفشار شمال آفریقا در این روز در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵- الف) برای الگوی سوم شرایط همدیدی حاکم بر منطقه را نشان می‌دهد. در شکل (۵- ب) نقشه فشار تراز دریا به همراه تاوایی جو نشان می‌دهد که سامانه کم فشاری از روی دریای عرب و عمان به سمت نواحی داخلی ایران نفوذ کرده و منحنی هم فشار ۱۰۱۵ هکتوپاسکال را بر روی نواحی جنوب غربی

تداوم صعود هوا تا ارتفاعات بالای جو است. با این حال در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵-چ) بر شدت و قدرت جریان هوا افزوده شده و جریان هوا تقریباً به صورت مداری ولی با همگرایی و هم‌محوری بالایی در منطقه جنوب غرب ایران حاکمیت یافته؛ زیرا جریان هوای نواحی شمالی آفریقا با جریانات نواحی اروپا و مدیترانه در منطقه جنوب غرب ایران کاملاً هم‌محور و مماس شده و سبب تشدید جریان باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی شده است که می‌تواند منجر به تشدید گردوغبار و ایجاد هوای منقلب در این نواحی شود. با این حال وضعیت ناپایداری جو به واسطه برقراری تاوایی نسبی بالا همانند ترازهای پایین جو در این تراز نیز برقرار است و به مقدار 3×10^{-5} متر بر ثانیه در منطقه جنوب غرب ایران رسیده است که بیانگر شدت ناپایداری و صعود هوا تا تراز میانی جو است. در بررسی وضعیت رطوبتی جو در قالب وزش رطوبتی نیز مشاهده می‌شود که در تراز دریا به سمت نواحی داخلی ایران، شار رطوبتی دیده نمی‌شود و فقر رطوبتی به مقدار $0/001$ گرم بر کیلوگرم بر روی ایران برقرار است، در حالی که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال همانند تراز دریا $0/006$ گرم بر کیلوگرم برقرار است که نشان‌دهنده عدم وجود رطوبت کافی در منطقه مطالعاتی و شار رطوبت از نواحی مجاور به سمت نواحی جنوب غرب ایران است. در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال وضعیت رطوبتی جو بیانگر کمترین میزان وزش رطوبتی در منطقه جنوب غرب به مقدار $0/0055$ و $0/0075$ گرم بر کیلوگرم است که نشان‌دهنده فقر رطوبتی از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی است.

در نواحی از عربستان شده است؛ زیرا این وضعیت سبب ایجاد شیو فشاری شدید و اختلاف فشار زیاد در حالت افقی شده که می‌تواند زمینه‌ساز فعالیت و فعال شدن بیش از حد کانون‌های گردوغباری شود که از منابع و مراکز اصلی ایجاد گردوغبار در منطقه محسوب می‌شوند. در همین راستا بیشینه تاوایی مثبت به مقدار 2×10^{-5} متر بر ثانیه در مرز نواحی برخورد دو زبانۀ کم‌فشار و پرفشاری اتفاق افتاده که دقیقاً منطبق بر نواحی جنوب غرب کشور است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۵-پ) با فرارگیری منحنی ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه مورد مطالعه که در قالب ناوه جداشده از عرض‌های بالایی است، علاوه بر گسترش ناپایداری‌های ترازهای زیرین منجر به حفظ کژفشاری و اختلاف فشار بالا به واسطه تداوم حضور و عمق بالای پراارتفاع نفوذی شمال آفریقا در منطقه مورد مطالعه شده است. با این حال بالاترین میزان تاوایی مثبت به مقدار $2/5 \times 10^{-5}$ متر بر ثانیه دقیقاً منطبق بر فعالیت سامانه کم‌ارتفاع نواحی مرکزی ایران است که مرکز فعالیت کم‌ارتفاع جداشده است؛ این وضعیت بیانگر تداوم صعود و ناپایداری هوا تا عمق جو در منطقه است. علاوه بر این در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال وضعیت به گونه‌ای است که سامانه پراارتفاع شمال آفریقا و کم‌ارتفاع نواحی مرکزی ایران کاملاً از بین رفته و جریانات نواحی عرض‌های بالاتر به منطقه نفوذ کرده‌اند و سبب ایجاد ناوه بسیار ضعیفی در نواحی جنوب غربی ایران شده که سبب جریان یافتن هوای عرض‌های بالاتر به منطقه مطالعاتی و حاکمیت تاوایی مثبت به مقدار 3×10^{-5} متر بر ثانیه شده است. این امر بیانگر تداوم همگرایی جریان هوا از تراز دریا تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و



شکل (۵): الگوی سوم، کم فشار دریای عرب و پرفشار شمال آفریقا

Figure (5): The third pattern, the low pressure of the Arabian Sea and the high pressure of North Africa

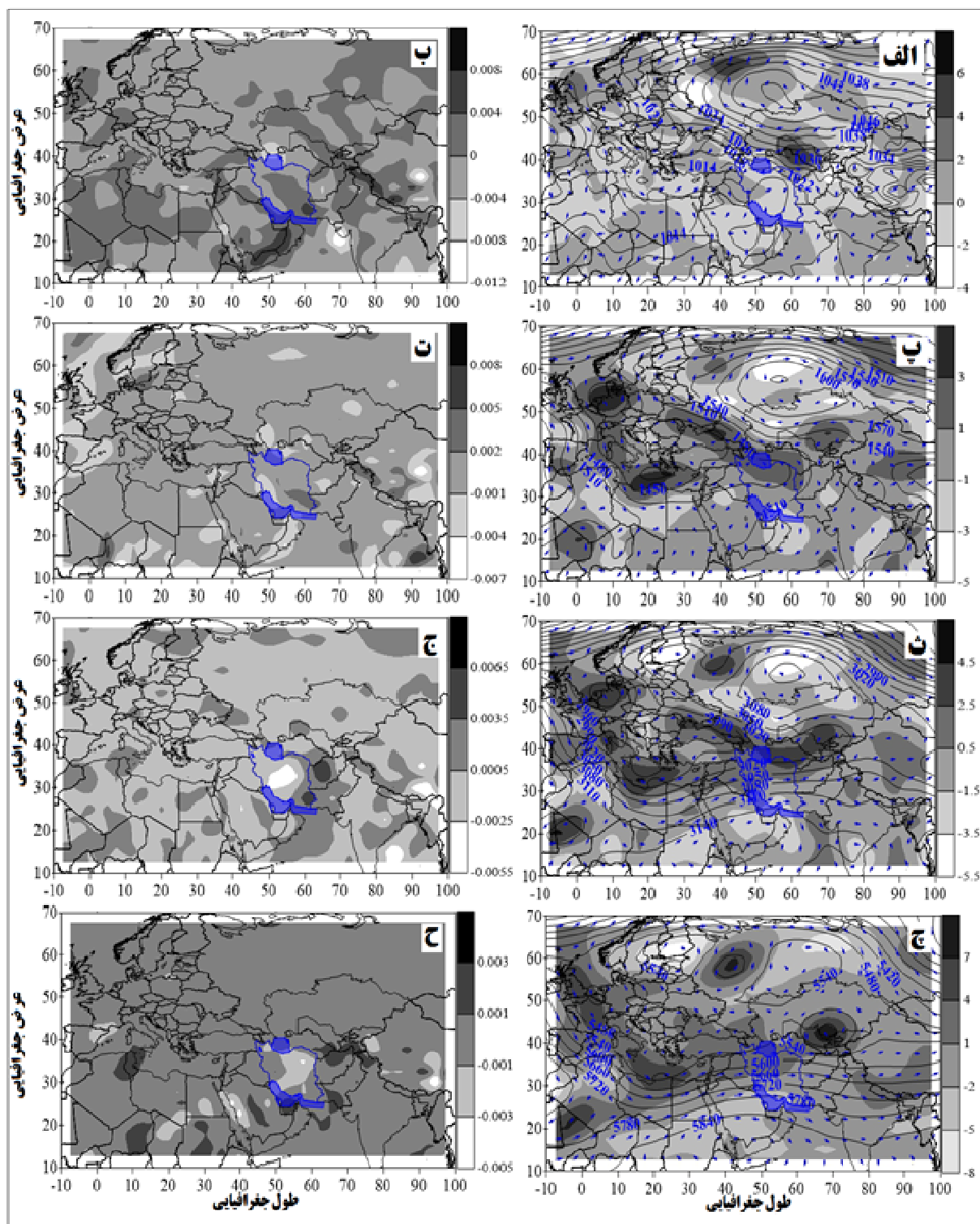
کم فشار سودان است که از نواحی جنوبی سودان با حرکت مورب جنوب غربی - شمال شرقی با گذر از روی دریای سرخ وارد بیابانهای بزرگ عربستان، عراق و سوریه شده و در نهایت از نواحی جنوب غربی ایران وارد خوزستان شده است؛ به گونه ای که هسته بسیار بزرگی از این سامانه بر روی

الگوی چهارم: پرفشار سیبری - کم فشار سودان و کم فشار مدیترانه

بررسی و تحلیل نقشه فشار تراز دریا به همراه تاوایی جو (شکل ۶) در روز نماینده مذکور نشان می دهد که بارزترین و مهم ترین سامانه ای که اقلیم ایران را تحت تأثیر خود قرار داده،

جنوب غربی ایران بوده و می‌توان گفت اوج همگرایی جریان هوا و متعاقباً اوج ناپایداری جو در منطقه جنوب غرب (خوزستان) برقرار است؛ به گونه‌ای که میزان تاوایی مثبت به مقدار 3×10^{-5} متر بر ثانیه که بیانگر همگرایی و صعود قائم هواسست، در مناطق بیابانی عربستان، عراق و نواحی شمالی آفریقا حاکمیت دارد. با این حال می‌توان گفت شرایط همدیدی- دینامیکی جو به گونه‌ای است که در صورت شار رطوبتی قوی و اشباع هوا از بخار آب بارش‌های در سطح کشور ایجاد خواهد شد. وضعیت وزش رطوبتی به مقدار $0/004$ - گرم بر کیلوگرم در تراز دریا و $0/001$ - گرم بر کیلوگرم در تراز 850 هکتوپاسکال نشان‌دهنده فقر رطوبتی و عدم تغذیه مناسب جو منطقه مطالعاتی به لحاظ رطوبتی از منابع آبی مجاور است که در نهایت منجر به فراهم شدن شرایط جوی جهت ایجاد گردوغبار و تشدید آن در منطقه جنوب غرب کشور شده است. در تراز 700 هکتوپاسکال فرود عمیقی در نواحی شمالی آفریقا در نواحی بیابانی لیبی قرار گرفته که از نواحی غربی اروپا و اقیانوس اطلس شمالی تغذیه و تقویت می‌شود. با این حال قرارگیری محور فرود با جهت شمالی- جنوبی بر فراز بیابان‌های آفریقا که دارای بیشترین میزان تاوایی و ناپایداری هواسست، می‌تواند منجر به فعال شدن بیش از حد کانون‌های گردوغبار و حرکت آن‌ها به سمت شرق شود؛ به طوری که مسیر حرکت جریان هوا به گونه‌ای است که مسیر بسیار طولانی را از روی بیابان‌های آفریقا، عربستان، عراق، سوریه و... طی کرده و از نواحی غربی و جنوب غربی ایران وارد خوزستان شده است.

ایران تشکیل شده و اقلیم منطقه را تحت کنترل خود درآورده است. علاوه بر این، سامانه کم‌فشاری بر روی دریای مدیترانه تشکیل شده که خطوط هم‌فشار 1014 هکتوپاسکال آن تا نواحی شمال غربی ایران حرکت کرده و در نهایت در نواحی شمالی عراق با کم‌فشار سودانی ادغام شده است. با این حال می‌توان گفت تمامی منطقه خاورمیانه عرصه تاخت و تاز سامانه‌های کم‌فشاری است که بر روی بیابان‌های گسترده سبب تشکیل هسته‌های فشاری شده‌اند. این در حالی است که سامانه پرفشار حرارتی سبیری با تشکیل هسته فشاری 1042 هکتوپاسکال با حرکت و اچرخندی در قالب حرکت نصف‌النهاری وارد بخش‌های جنوبی دریای خزر شده که با این زبانه‌ها با برخورد به زبانه‌های سامانه‌های کم‌فشار نواحی داخلی ایران، علاوه بر ایجاد شیو فشاری شدید می‌تواند منجر به ایجاد جبهه در نواحی شمالی کشور شود که با ناپایداری و کژفشاری شدیدی همراه است. در تراز 850 هکتوپاسکال (شکل ۶-پ) هسته کم‌فشار سودانی که بر روی ایران مستقر بود، به سمت عرض‌های پایین‌تر حرکت کرده و با هسته مرکزی 1530 ژئوپتانسیل متر بر روی دریای عرب قرار گرفته درحالی‌که به وسیله جریان‌ات کم‌فشار سودانی در حال تغذیه و تقویت است. با این حال حرکت سیکلون‌های مدیترانه و اروپا به سمت نواحی داخلی ایران و جابه‌جایی زبانه کم‌ارتفاع سودانی به سمت عرض‌های پایین‌تر تفاوت اساسی تراز 850 هکتوپاسکال با تراز دریاست؛ با این تفاوت که مسیر ورودی بخش جنوبی زبانه سیکلون مدیترانه و بخش شمالی زبانه کم‌ارتفاع سودانی از سمت نواحی



شکل (۶): الگوی چهارم، پرفشار سبیری - کمفشار سودان و کمفشار مدیترانه

Figure (6): Fourth pattern, Siberian high pressure - Sudan low pressure and Mediterranean low pressure

مشخص است؛ زیرا بیشینه تاوایی مثبت در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-ث و چ) به مقدار $10^{-5} \times 0.5$ متر بر ثانیه تا $10^{-5} \times 2$ متر بر ثانیه، دقیقاً در محور ناوه واقع در شمال آفریقا برقرار است که این صعود و ناپایداری هوا به

با این حال وضعیت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دارای شرایط یکسان و مشابه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال است و فرود شمال آفریقا نقش غالب و مؤثر را در ایجاد پدیده گردوغبار ایفا می‌کند که این مسئله با بررسی وضعیت تاوایی نسبی معلوم و

در فصل زمستان مؤثر بوده‌اند که عبارت‌اند از: ۱. کم‌فشار دریای خزر- پرفشار سیبری، پرفشار اروپا؛ ۲. پرفشار ادغامی اروپا، مدیترانه- کم‌فشار سودان، کم‌فشار شمال خزر؛ ۳. کم‌فشار دریای عرب و پرفشار شمال آفریقا؛ ۴. پرفشار سیبری- کم‌فشار سودان و کم‌فشار مدیترانه. الگوی اول بیشترین میزان فراوانی و غالب‌ترین الگوی شناسایی شده را دارد. با این حال می‌توان گفت که در ایجاد پدیده گردوغبار کم‌فشار سودانی و پرفشارهای منطقه مدیترانه از سامانه‌های جوی غالب و تأثیرگذار در ایجاد گردوغبار محسوب می‌شوند. در خصوص موقعیت جغرافیایی رخداد گردوغبار مشاهده می‌شود که در عرض بالاتر از ۲۰ درجه، کشور عراق، شمال عربستان و شرق سوریه مسبب اصلی شکل‌گیری گردوغبار در منطقه است؛ به‌گونه‌ای که این وضعیت به همراه بادهای غربی در نواحی از منطقه خاورمیانه که از نقاط مستعد تأمین و تولید گردوغبار به شمار می‌رود که در نهایت صحاری شمال آفریقا سبب تقویت و تشدید این پدیده می‌شوند. در همین راستا نیز شرایط محیطی به همراه افزایش دما، رطوبت کم و سرعت باد و عدم چسبندگی کامل ذرات خاک به همراه عوامل جوی که سبب گسترش ناپایداری در این مناطق می‌گردد، در ایجاد این پدیده کاملاً مؤثرند؛ کشیده شدن زبانه‌های کم‌فشار حرارتی سودان به عرض‌های بالاتر و تغییر ماهیت آن به دینامیکی در زمان ورود فرود مدیترانه یا دریای سرخ به بیابان‌های عربستان و آفریقا به همراه شیو فشاری ناشی از ناوه عمیق تشکیل شده در شرق مدیترانه در لایه میانی تروپوسفر عامل عمده تولیدکننده گردوغبار در جنوب غرب کشور است؛ به‌گونه‌ای که هر زمانی که پدیده گردوغبار رخ داده است، ناوه عمیق مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ایجاد این پدیده نقش اساسی ایفا کرده که این مسئله با مطالعه خوشحال دستجردی و همکاران (۲۰۱۲) و همین‌طور مطالعه طاووسی و همکاران (۲۰۱۰) با تحلیل همدید سامانه‌های گردوغبار استان خوزستان مطابقت دارد؛ زیرا فرود بلند مدیترانه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره سرد سال و ادغام آن با فرود دریای سرخ باعث تشدید و انتقال گردوغبار به سمت نواحی داخلی ایران شده و زمانی که در تراز دریا سامانه‌های کم‌فشار ایجاد

همراه فقر رطوبتی حاکم بر جو منطقه مطالعاتی و نواحی مجاور آن، منجر به ایجاد گردوغبار شدید در منطقه خوزستان شده است. به هر حال حضور سامانه کم‌فشار سوانی و کم‌فشار نواحی مدیترانه به همراه اختلاف فشار شدید در نواحی شمالی کشور وضعیت همدیدی- دینامیکی غالب تراز دریاست که به همراه ناوه عمیق تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی شمال آفریقا منجر به ایجاد ناپایداری شدیدی در گستره زیادی از منطقه خاورمیانه شده است؛ و از آنجایی که وضعیت رطوبتی حاکم بر منطقه دارای وزش رطوبتی منفی از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است، منجر به فعال شدن بیش از حد کانون‌های گردوغباری و برخاستن آن‌ها در صحاری عربستان، شمال آفریقا، سوریه و عراق شده که به‌وسیله موج‌بادهای غربی به سمت نواحی جنوب غرب ایران حرکت کرده و منجر به ایجاد پدیده گردوغبار در خوزستان شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی و مطالعه وضعیت اقلیمی نواحی جنوب غرب ایران به‌خصوص استان خوزستان نشان‌دهنده رخداد پدیده گردوغبار در تعداد روزهای زیادی از سال است که بنا به دلایل اقلیمی هر چند گاهی در این مناطق ایجاد می‌شود. شناسایی منشأ و علل و عوامل این مسئله، مطالعه همه‌جانبه‌ای را طلب می‌کند؛ به‌گونه‌ای که عوامل داخلی و عوامل خارجی در ایجاد این پدیده نقش‌های متفاوت و گوناگونی در زمان‌های مختلف و متناسب با شرایط جوی ایفا می‌کنند. هرچند که نقش عوامل محلی به اندازه نقش عوامل خارجی مانند بیابان‌ها و صحاری بزرگ نیست، می‌توان گفت نقش اصلی عوامل داخلی در ایجاد پدیده گردوغبار تشدید و تقویت این پدیده و بالا رفتن غلظت گردوغبار در منطقه مطالعاتی است. در همین راستا و از آنجایی که این مطالعه بر پایه شناسایی و بررسی عوامل اقلیمی در مقیاس بزرگ را مورد مطالعه قرار داده است، نقش عوامل محلی در ایجاد این پدیده نادیده گرفته شده است. با این حال اقدام به بررسی وضعیت اقلیمی منطقه به‌لحاظ همدیدی- دینامیکی شده است. در همین راستا ابتدا شناسایی الگوهای مؤثر در ایجاد پدیده گردوغبار در استان خوزستان انجام گرفت؛ نتایج نشان داد چهار الگوی جوی در ایجاد این پدیده

فشاری ناشی از سامانه‌های عرض‌های شمالی مانند پرفشار سیبری، کم‌فشار دریای خزر با سامانه‌های نواحی حاره و جنب‌حاره مانند کم‌فشار سودانی، کم‌فشار دریای عرب و... منجر به ایجاد ناپایداری و تشدید آن در منطقه و در نهایت ایجاد پدیده گردوغبار شده است که با جریانات شرق‌سوی بادهای غربی وارد نواحی جنوب غربی ایران (خوزستان) شده است. گفتنی است که قرارگیری کوه‌های زاگرس در مسیر حرکت گردوغبارهای نفوذی به منطقه به‌عنوان یک مانع عمل کرده و شرایط ناپایداری جو را به یک جو پایدار با اغتشاش بسیار پایینی درآورده که سبب ماندگاری و تداوم بیشتر روزهای گردوغباری در استان خوزستان شده است. شناخت الگوهای سینوپتیکی مولد طوفان‌های گردوغبار در فصول مختلف سال به پیش‌بینی رخداد گردوغبار و صدور پیش‌آگاهی در این زمینه برای آمادگی و پیشگیری از اثرات سوء آن تا حد امکان کمک می‌کند.

شده باشند، روزهای فرین گردوغباری در استان خوزستان ایجاد شده است. علاوه بر این شرایط رخداد پدیده گردوغبار در منطقه به‌گونه‌ای است که استقرار یک سامانه کم‌فشار بر روی منطقه خاورمیانه در تراز دریا برای فعال شدن کانون‌های گردوغبار منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها با تأثیر هماهنگ یک موج کم‌فشار دینامیک به‌خصوص در شرق مدیترانه یا شمال آفریقا بر فراز جو منطقه، کاملاً ضروری و از عوامل اصلی ایجاد پدیده گردوغبار در منطقه به‌شمار می‌رود. شایان ذکر است که شرایط همدیدی-دینامیکی جو در روزهای گردوغباری با شرایط روزهای بارشی یکسان است با این تفاوت که در بعضی از مواقع، دو عامل رطوبت جو و پایداری هوا در برخی از لایه‌های جوی شرایط را برای رخداد گردوغبار فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان گفت حضور سامانه کم‌فشار بر روی بیابان‌ها و صحاری بزرگ خاورمیانه تا شمال آفریقا در تراز دریا به فرود بلند مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به همراه شیو

منابع

1. Alobaidi, R., Morgan, C., Basu, R.K., Stenson, E., Featherstone, R., Majumdar, S.R. and Bagshaw, S. M., 2018. Association between fluid balance and outcomes in critically ill children: a systematic review and meta-analysis. *JAMA pediatrics*, 172(3), 257-268.
2. Alijani, b., 2002. *Synoptic Climatology*, Samat Publications, Tehran.
3. Anisimov, A., Axisa, D., Kucera, P. A., Mostamandi, S., & Stenchikov, G. (2018). Observations and Cloud-Resolving Modeling of Haboob Dust Storms over the Arabian Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(21), 12-147.
3. Arnes, D., 2012. *Modern Meteorology Introduction to Air, Climate, and the Environment*. Translated by Mohammad Reza Babaei, Aige Publishing, First Edition, and eighth Edition.
4. Azizi, Gh., Miri, M., Nabavi, S.A., 2012. Dust Tracking in the Western North of Iran, *Geographical Studies of Arid Regions*, 7 (7), 63-81.
5. Akbari, M., Farahbakhshi, M., 2016, Synoptic analysis and simulation of the path of severe dust storms, *Journal of Geographical Space*, 55 (16): 273-291.
6. Dargahian, F. and Doostkamian, M., 2019. Identifying the sympathetic pattern of all-round hot dust in Khuzestan province, *Dangers of the natural environment*, 8(21):165-188.
7. Gao, H. and Washington, R., 2010. Arctic oscillation and the interannual variability of dust emissions from the Tarim Basin: a TOMS AI based study. *Climate dynamics*, 35(2-3), 511-522.
8. Goudie, A.S. and Middleton, N.J., 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-science reviews*, 56(1-4), 179-204.
9. Hopcroft, P.O. and Valdes, P.J., 2019. On the Role of Dust-Climate Feedbacks during the Mid-Holocene. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1612-1621.
10. Jahanbakhsh asl, S., Zainali, B. and Jalali, T., 2012. The Influence of Mediterranean Sea Surface Temperature Fluctuations on Precipitation of Eastern Zagros Footprints and Central Pits of Iran. *Journal of Geography and Planning*, 16 (39), 25-49.
11. Jung, M.I., Son, S.W., Kim, H.C., Kim, S.W., Park, R.J. and Chen, D., 2019. Contrasting synoptic weather patterns between non-dust high particulate matter events and Asian dust events in Seoul, South Korea. *Atmospheric Environment*, 214, 116864.
12. Kaykhosravi, Gh. and Hassali, M., 2017. Simulation of Some Trends of Severe Dust Storms in Kermanshah Province from Synoptic View and HYSPLIT Model, *Journal of Natural*

- Geography, 10 (37), 82-59.
13. Khoshakhlagh, F., Najafi, M. and Samadi, M., 2012. Synoptic Analysis of Spring Dust Occurrence in Western Iran. *Natural Geography Research*, 44 (2), 124-99.
 14. Khoshhal Djerjerdi, J., Mousavi, S.H. and Kashki, A., 2012. Synchronous analysis of Ilam dust storms (1987 - 2005). *Geography and Environmental Planning*, 23 (2), 15-34.
 17. Meloni, D., Junkermann, W., Di Sarra, A., Cacciani, M., De Silvestri, L., Di Iorio, T. and Sferlazzo, D.M., 2015. Altitude-resolved shortwave and longwave radiative effects of desert dust in the Mediterranean during the GAMARF campaign: Indications of a net daily cooling in the dust layer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(8), 3386-3407.
 18. Mashat, A.W.S., Awad, A.M., Alamoudi, A.O. and Assiri, M.E., 2020. Monthly and seasonal variability of dust events over northern Saudi Arabia. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1607-1629.
 19. Noahegar, A., Khorani, A. and D Tamasoki, E., 2013. Climatic Analysis of Suspended Dust at Sarp Zahab Meteorological Station (1986-2009), *Geography and Environmental Hazards*, 2 (6), 102-89.
 20. Reed, K.A., Bacmeister, J.T., Huff, J.J.A., Wu, X., Bates, S.C. and Rosenbloom, N.A., 2019. Exploring the Impact of Dust on North Atlantic Hurricanes in a High-Resolution Climate Model. *Geophysical Research Letters*, 46(2), 1105-1112.
 21. Russo, A., Sousa, P.M., Durão, R.M., Ramos, A.M., Salvador, P., Linares, C. and Trigo, R.M., 2020. Saharan dust intrusions in the Iberian Peninsula: Predominant synoptic conditions. *Science of the Total Environment*, 717, 137041.
 22. Sanap, S.D. and Pandithurai, G., 2015. Inter-annual variability of aerosols and its relationship with regional climate over Indian subcontinent. *International Journal of Climatology*, 35(6), 1041-1053.
 23. Strong, J.D., Vecchi, G.A. and Ginoux, P., 2018. The climatological effect of Saharan dust on global tropical cyclones in a fully coupled GCM. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(10), 5538-5559.
 24. Salahi, B. and Ali Jahan, M., 2013. Synoptic Analysis of Climatic Hazards in Yasuj, (Case Study: Heavy Precipitation 20 Mar 2010). *Geography and Environmental Hazards* 2 (5), 73-89.
 25. Tawassi, T., 2010. Synoptic analysis of dust collection systems in Khuzestan province. *Geography and Development Quarterly*, 8 (20), 98-117.
 26. Takemi, T. and Seino, N., 2005. Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D18).
 28. Yar Ahmadi, D., Nasiri, B., Khosh Kish, A. and Nikbakht, H., 2014. The Impact of Climate Change on Dust Occurrence (Case Study of Dust West and Southwest Iran), *Journal of Desert Ecosystem Engineering Research*, 3 (5), 19 to 28.
 29. Zolfaghari, H., Masoum Poursmakoush, J., Shayegan Mehr, S. and Ahmadi, M., 2011. Synoptic study of dust storms in western Iran during 2005 to 2009 (Case Study: July 2009 Widespread Wave), *Journal of Geography and Planning Environmental*, 22 (3), 17-17.

Analyzing Synoptic Pattern of Cold Dust Occurrences in Khuzestan Province

Fatemeh Dargahian^{1*}, Mohammadreza Pudineh²

Received: 07/07/2020

Accepted: 22/11/2020

Extended Abstract

Introduction: In recent years, dust storms have turned into a serious problem in Khuzestan province during the cold season. Therefore, this study sought to investigate and analyze the sweeping dusts' synoptic pattern in Khuzestan province during the cold season.

1. Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran; dargahian@rifr-ac.ir

2. Assistant Professor of Geography, University of Sistan and Baluchistan
DOI: 10.22052/deej.2021.10.30.51

Materials and methods: In order to study and analyze the synoptic pattern of dust in Khuzestan province in the cold period of the year, two databases were used, and the dust codes were extracted, according to which an all-out dust was defined as a situation in which the dust covers at least 50 percent of the spatial area and lasts for two days. After identifying the all-out dust days, the corresponding pressure data of such days were extracted. These data included ground pressure data, geopolitical altitude, moisture depletion, and atmospheric precipitation for 100 to 500 hpa levels, obtained from NCEP / NCAR. The data's spatial resolution was 2.5*2.5 arc degrees.

According to the research topic and in order to fully display the effective systems involved in creating dusts within the study range, atmospheric systems were determined from -10 degrees west longitude to 100 degrees east longitude, and from 10 to 70 degrees north latitude. This study attempted to identify and analyze the effective patterns involved in creating dusts in Khuzestan province by using a Perimeter Environmental approach. In the next step, the dust days' pattern was identified, administering a cluster analysis on the corresponding pressure data of such days. Following the extraction of the corresponding pressure data regarding those days, cluster analysis was used for identifying Khuzestan province's dust patterns.

Then, to classify the ground surface pressure data and identify the representative days, cluster analysis was performed on the data. Cluster analysis is a method in which variables are classified into specific groups based on their characteristics so that real representative groups are identified and the data volume is reduced. In other words, cluster analysis seeks to reduce the number of identified groups, with similar cases being grouped in the same category where intra-group variance is minimum and inter-group variance is maximum. In this method, grouping is made based on group's similarity or interval. There are different methods for measuring the distance among the data, a most commonly-used of which is the Euclidean Distance method.

To select the representative days of the groups obtained from the classification of dust-related data, the Lund correlation method was used. The correlation coefficient in such cases typically varies between 0.5 and 0.7. Therefore, the representative days were extracted based on 0.5 threshold. So, the day with correlation coefficient of 0.5 with more days was selected as the representative day.

Results: After identifying the dusty days and performing cluster analysis on pressure data, four synoptic patterns were identified, including 1) Caspian Sea low pressure – Siberian high pressure, European high pressure pattern, 2) European-Mediterranean Integral high Pressure- Sudan low Pressure, North Caspian low Pressure pattern, 3) The Arabian Sea low pressure and North African high pressure pattern, and 4) Siberian high pressure - Sudan low pressure, and low Mediterranean pressure pattern, with the first pattern having the highest frequency.

Discussion and Conclusion: According to the study's findings, in latitudes over 20 degrees, Iraq, northern Saudi Arabia, and eastern Syria are the main sources of dust formation in the region, that, together with western winds emanating from those areas of the Middle East which are prone to dust generation, including the Sahara Desert in northern Africa exacerbate the situation. Environmental conditions along with increasing temperature, low humidity, wind speed, soil particles' lack of complete adhesion, and atmospheric factors that develops instability in these areas, are also fully involved in the occurrence of such a phenomenon.

The Sudan's low-temperature thermal tabs that are stretched to higher ranges, the dynamic change in their nature when the Mediterranean or Red Sea pressures land in the deserts of Saudi Arabia and Africa, and the deep pressure dust formed in the eastern Mediterranean within the troposphere's middle layer are the main generators of dust in south-west Iran and Khuzestan province. Therefore, it could be argued that when a deep landing in the eastern Mediterranean is created, the flows of the east side coincide with the North African currents which will eventually merge with the high divergence in the southwestern part of Iran, provided that environmental conditions are provided. The ground level instability due to the low sea-level pressures on the great deserts of the Middle East will lead to the phenomenon of dust in Khuzestan province.

Keywords: Dust, Moisture advection, Atmospheric Vorticity, Cold period.