

## تحلیل همدید الگوهای انتقال گردوغبار به جو استان خوزستان

کمال امیدوار، استاد آب و هواشناسی، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

مریم علی زاده بنوتی، کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه یزد، ایران

راضیه مهرآفرین، کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه یزد، ایران

### چکیده

توفان‌های گرد و غبار، یکی از پدیده‌های چیره در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌رود و با توجه به اثرات شگرف در مسائل اقتصادی-اجتماعی، سلامتی انسان و محیط زیست، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است. این توفان‌ها در بیشتر موارد از بادهای آشفته (جبهه‌ها و همرفت‌ها) و نیرومند و سایش سطوح بیابانی حاصل می‌شوند و مقادیر زیادی گرد و غبار را از سطوح نرم و ریز بیابان بلند می‌کنند و توانایی دید را به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌رسانند. به علت گستردگی و فراوانی رخداد گرد و غبار در استان خوزستان و مناطق غربی ایران در پژوهش حاضر به تحلیل سینوپتیک شرایط و الگوهای رطوبتی و فشاری، روزهای گرد و غبار (با دید افقی کمتر از ۱ کیلومتر) در سطح استان خوزستان در دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰) و دوره مطالعاتی فصلی (گرم و سرد) پرداخته شده است. جهت تحلیل و مطالعه داده‌ها در بازه زمانی، ساعتی (میزان دید افقی، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت و جهت وزش باد) از اداره کل هواشناسی استان خوزستان اخذ شده است. همچنین جهت منشأیابی و جهت حرکت پدیده، تصاویر ماهواره‌ای در روز اوج رخداد مورد تحلیل قرار گرفته است. برای شناسایی دقیق الگوهای پایدار و ناپایدار جو، مقادیر شاخص‌های ناپایداری بر اساس نمودارهای اسکویوتی تعیین و تحلیل قرار گرفته است. واکاوی نقشه‌ها حاکی از حاکمیت الگوهای پراتفاح سطوح میانی جو، پشته مدیترانه‌ای و گسترش مداری آن در جهت شرق و افزایش شیب فشاری پرفشار غربی همراه با کاهش رطوبت و افزایش گرادیان هسته‌های پرسرعت است که در تشدید کاهش دید افقی در دوره اول تأثیرگذار بوده است. در دوره دوم (الگوهای فشاری پدیده گرد و غبار، پشته شرق آفریقا همراه با گردش و اچرخندی، جوی پایدار را حاکم ساخته است. در بازه سوم مورد مطالعه، با کاهش فشار در ساعاتی از شبانه روز، در برخی از ایستگاه‌ها بارندگی به ثبت رسیده که علت آن تمرکز هسته‌ی بیشینه تاوایی نسبی بر جو جنوب غرب ایران می‌باشد.

تصاویر ماهواره‌ای نیز جهت حرکت و گسترش ریزگردها از مناطق جنوبی عراق و شمال و مرکز عربستان را نشان داده است.

**کلمات کلیدی:** گردوغبار، الگوهای فشاری، تحلیل همدید، استان خوزستان.

#### مقدمه

ذرات ریزگردها این قابلیت را دارند که مانع از رسیدن نور خورشید و تابش مستقیم آن بر سطح زمین شوند. گیاه برای تولید گل، میوه و دانه به نور مستقیم خورشید نیاز دارد، اما ریزگردها مانع از رسیدن نور مستقیم به گیاه می‌شوند. گیاه دچار نوعی رشد سبزینه‌ای که در آن رشد دانه، گل و میوه را به همراه ندارد، می‌شود؛ چرا که طول موج‌های نوری لازم برای گیاه توسط ریزگردها بازتاب می‌شود و به زمین نمی‌رسند، در نتیجه عمل فتوسنتز انجام نمی‌شود و کاهش تولید محصول را در پی دارد (کائو، ۲۰۱۵). نشست ریزگردها بر روی برگ‌ها را که به انسداد روزنه‌های تنفسی منجر می‌شود، از دیگر آثار مخرب گرد و غبار می‌توان، عنوان کرد. این عمل سبب می‌شود تا تبادلات گازی گیاه متوقف شود و در نتیجه اثر نامطلوبی روی عمل فتوسنتز گذارد. بنابراین بر هم خوردن توازن گازهای موجود را می‌توان از دیگر آثار مخرب ریزگردها عنوان کرد. ازدیاد آفت 'کنه' در درختان، این آفت با تنیدن تار بر درختان، سبب جذب ریزگردها برای مدت طولانی می‌شود که هم به توقف عمل فتوسنتز و هم به کاهش تولید منجر می‌شود، بادهای و جریان‌های جوی در ترازهای مختلف در هر تیپ هوای غالب دارای ویژگی‌های خاصی هستند که یکی از این عناصر موثر در تقویت بارش، سرعت باد در ترازهای پایین جوی است. یکی از مهمترین شرایط ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار، وجود یا عدم رطوبت است، به طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت کافی داشته باشد، بارش و توفان رعد و برق و اگر فاقد رطوبت باشد، توفان گرد و غبار ایجاد می‌کند (کائو، ۲۰۱۵). بررسی علل وقوع توفان‌های گرد و غبار از جمله مواردی است که محققان به آن توجه داشته‌اند. موهلفی (۱۹۹۸) عامل گسترش ریزگردها در منطقه عربستان را امواج گرمایی حاصل از کم فشار حرارتی عربی می‌داند. در سطوح

میانی جو نیز استقرار ناوه کم عمق بر بیابان ربع الخالی در شرایط فشاری سطح زمین موثر بوده است. هامش و همکاران (۲۰۰۱) گرد و غبارهای تروپوسفری استرالیا را مطالعه کرده اند. نتایج آن‌ها حاکی از این است که گرد و غبارهای قاره استرالیا همراه با فرودهای سطح بالا و جبهه‌های سرد سیکلون‌های زمینی است، به طوری که در صورت وجود شرایط مذکور، گرد و غبارهای بیابانهای مرکزی استرالیا می‌تواند تا هزاران کیلومتر فراتر از این قاره در نیمکره جنوبی پخش شود. پراسپرو و همکاران (۲۰۰۲)، در تحلیل و بررسی کانون‌های اصلی گردوغبار خاورمیانه، بیابانهای ربع الخالی در عربستان و زمینهای خشک کرانه‌ی رودهای دجله و فرات به عنوان عامل تولید گرد و غبار منطقه تعیین شده است. وای هانگ (۲۰۰۲) با بررسی ۵۰ ساله الگوهای فشاری در سطح چین، فراوانی وقوع در بازه زمانی ۱۹۷۰-۱۹۵۰ را به دلیل گرمایش سطح زمین در مغولستان و سرمایش در مناطق شمالی دانسته است. کاهش قدرت دید یکی از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های گرد و غبار هستند که علاوه بر آثار ناخوشایند بهداشتی مانند مشکلات تنفسی و ریوی برای انسان و آلوده کردن محیط زندگی انسانها، اختلالاتی را نیز در سیستم‌های حمل و نقل زمینی و هوایی به وجود می‌آورد. اورولوسکی و همکاران (۲۰۰۵)، علت توفان‌های گرد و غبار ترکمنستان را توزیع شنی - رسی بیابان در منطقه، خشکسالی، بادهای شدید و کمبود پوشش گیاهی مشخص کرده است. میدلتون (۲۰۰۶)، به بررسی بازه زمانی رخداد پدیده گرد و غبار در منطقه خاورمیانه پرداخته است. نتایج حاکی از آن است که بیشترین میزان رخداد در فصل تابستان در ایران، پاکستان و دریای عرب رخ داده است. مینگ و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه گرد و غبار ماههای مارس تا آوریل سال ۲۰۰۳ در سطح کشور عراق و پیش بینی رخدادهای آتی پرداخته اند. از نظر همدیدی و شرایط جوی استقرار جبهه سرد و الگوهای کم فشاری را نتیجه پایداری ۷۲ ساعته توفان گرد و غباری دانسته اند که مناطق جنوب غرب کشور به دلیل مجاورت با بیابان‌های بزرگ همسایگان غربی، دارای روزهای گرد و غباری قابل توجه ای هستند. رئیس پور و همکاران (۲۰۱۶)، بر پایه اطلاعات سینوپتیکی و تصاویر ماهواره ای مودیس در دوره

آماری ۲۰۱۲ - ۱۹۹۸ به بررسی تأثیرات رودباد جبهه قطبی بر رخداد گرد و غبار در جنوب غرب ایران در دوره سرد سال پرداخته است که بیش از ۲۰ درصد گرد و غبارهای جنوب غرب ایران همزمان با گسترش و استقرار رودباد قطبی بوده است. علیجانی (۱۳۷۶) میانگین گرد و غبار در کشور را حدود ۱۵ روز محاسبه کرده که فراوانی وقوع آنها در مرداد ماه بیش از ماه‌های دیگر است. ذوالفقاری (۱۳۸۴) عوامل تأثیرگذار بر سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران را پرفشار آזור و سیستم‌های مهاجر بادهای غربی تعیین کرده است. لشکری (۱۳۸۷) عوامل سینوپتیکی توفانهای استان خراسان رضوی را الف: استقرار کم فشار در جنوب خراسان و کشور افغانستان و در مقابل شکل‌گیری مرکز پرفشاری در بخش جنوبی دریای خزر. ب: در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی قرارگیری مرکز چرخندی در بخش شرقی و شمال شرقی افغانستان تأثیر گذار دانسته است. طاوسی (۱۳۸۹)، در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶ به تحلیل سیستم‌های پدیده آورنده گرد و غبار در خوزستان پرداخته است که نتایج حاکی از استقرار سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه قطبی در دوره سرد سال و در دوره گرم، کم فشارهای حرارتی سطح زمین مهمترین عامل محسوب می‌شوند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۰)، در تحلیل و بررسی رژیم فصلی بادهای همراه با گرد و خاک در سبزوار به این نتیجه رسیده است که با آغاز دوره سرد سال، وزش بادهای همراه با گرد و خاک از نیمه غربی به سمت شهر سبزوار شدت گرفته و در زمستان به بیشترین حد می‌رسد، اما با شروع فصل بهار و عقب نشینی سیستم‌های غربی، وزش این بادهای از نیمه غربی کاهش می‌یابد، به طوری که در فصل تابستان وزش آنها از سمت غرب تقریباً به صفر رسیده و از نیمه شرقی به سمت منطقه می‌وزد. شمسی پور و همکاران (۱۳۹۱)، بر اساس تصاویر ماهواره ای MOD02 به بررسی کانون‌های گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸ پرداخته است. نتایج حاکی از مکان‌گزینی محور ناوه و منطقه‌ی واگرایی بالایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شکل‌گیری سلول کم فشار حرارتی در سطح زمین نقش اصلی در هدایت گرد و غبار به سمت ایران داشته است. نوحه گر و همکاران (۱۳۹۲)، از ترسیم گل‌غبارهای سالانه و ماهانه

و تحلیل داده های هواشناسی در سالهای ۲۰۰۹ - ۱۹۸۶ مشخص شده است که رخداد توفان‌ها سیر صعودی داشته است. همچنین در بررسی‌ها مشخص شد لزوماً بادهای همراه با گرد و غبار دارای بیشینه سرعت نبوده و جهت غالب بادهای غربی است. بابایی فینی و همکاران (۱۳۹۵)، بر اساس آزمون‌های آماری تفاوت معناداری بین فراوانی رخداد گرد و غبار در دوره گرم و سرد وجود دارد. همچنین ساز و کار ایجاد کننده گرد و غبار در دو فصل متفاوت است. در فصل سرد دو الگو بر اساس استقرار یک کم ارتفاع یا پرارتفاع در سمت غرب کم ارتفاع شمالی و پر ارتفاع جنوبی سبب رخداد گرد و غبار می شود، ولی در فصل گرم همزمان با استقرار پرفشار جنب حاره روی ایران، تشکیل کم فشار حرارتی بر کانون های گرد و غبار و استقرار یک کم ارتفاع در تراز ۸۵۰ بر فراز آن سبب همگرایی جریان هوا در سطح زمین و حرکت ذرات می شود. از دیگر پژوهش‌ها می‌توان، تاکمی و سینو (۲۰۰۵)، بارکن و آلبرت (۲۰۱۰)، گانور و همکاران (۲۰۱۰)، حسین زاده (۱۳۷۶)، امیدوار (۱۳۸۵)، براتی (۱۳۹۰)، خوش اخلاق (۱۳۹۱)، گندمکار (۱۳۹۶) برشمرد. به طور کلی توفان‌های گرد و غبار در ایران در دو فصل گرم و سرد سال رخ می‌دهند که ساز و کارهای شکل گیری آن‌ها در این دو فصل متفاوت است. در فصل گرم سال که کم فشارهای گرمایی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده می‌شوند، در اثر برخورد با کم فشارها و پرفشارهای فوقانی اختلاف فشار حاصل شده، خشکی شدید منطقه نیز مزید بر علت شده و پدیده گرد و غبار در منطقه شدت می‌یابد. در دوره گرم سال نیز کم فشارهای گرمایی سطح زمین به خصوص کم فشار خلیج فارس (با مکش هوای بیابان های اطراف شبه جزیره عربستان) یکی از عوامل ایجاد گرد و غبار هستند (مبارک حسن و همکاران، ۱۳۹۳). استان خوزستان در جنوب غرب ایران واقع شده و در مجاورت عراق و کویت قرار دارد. سامانه‌های مدیترانه‌ای و دریای سرخ در فصل سرد سال و کم فشار گرمایی در فصل گرم سال استان خوزستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این سامانه‌ها اگر به اندازه کافی رطوبت داشته باشند، همراه با بارش بوده و در صورتی که شرایط محیطی خشک باشد، می‌توانند با توفان های گرد و غبار همراه باشند.

### داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش که بر مبنای روش همدید است، علاوه بر ترسیم نقشه‌های روزانه جو، داده‌ها در بازه زمانی ساعتی برای عناصر مختلف جوی از جمله: دما، بارندگی، رطوبت نسبی، روزهای همراه با گرد و غبار، دید افقی، ابرناکی آسمان و دمای نقطه شبنم در دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰) برای استان خوزستان در فصل سرد سال (زمستان) و فصل بهار (فصل گذر و تغییرات الگوهای فشاری جو)، اخذ و مورد تحلیل قرار گرفته است. موقعیت مکانی داده‌ها در استان خوزستان، با تأکید بر (ایستگاه‌های اهواز، آبادان و دزفول) از سازمان هواشناسی اخذ شده است. با توجه به این که افزایش یا کاهش دید افقی به عنوان مهم‌ترین فاکتور در شناسایی میزان شدت پدیده گرد و غبار به شمار می‌آید، در این پژوهش عامل اصلی در تعیین دوره‌های توفان‌های گرد و غباری محسوب شده است. بررسی ارتباط بین سرعت و جهت باد، دید افقی و فشار با فراوانی توفان‌های گرد و غبار در دوره‌های فراز و فرود این پدیده در بلندمدت، شناخت نسبتاً کاملی از ماهیت این پدیده به دست می‌دهد (ذوالفقاری، ۱۳۸۴). توفان گرد و غبار، وضعیتی است که در آن قدرت دید به کمتر از ۱ کیلومتر تقلیل یابد، اطلاق می‌شود (امیدوار، ۱۳۸۵). اگر چه گرد و غبار در ایران به ویژه در بخش‌های مرکزی و غربی، پدیده ناشناخته‌ای نیست، ولی فراوانی وقوع و غلظت آن که طی سال‌های اخیر گاهی باعث افت دید به زیر ۵۰ متر رسیده، پدیده‌ای جدید و نوظهور است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰) که با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و به ویژه نواحی غربی و مجاورت با نواحی خشک، منابع اصلی گرد و غبار نواحی گرم و خشک و صحرايي سوریه و عربستان است (ذوالفقاری، ۱۳۸۴). با توجه به کثرت تعداد روزهای گرد و غباری در ایستگاه‌های مورد مطالعه و کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متری، سه دوره

بر پایه شدت و گستردگی رخداد گزینش شده است. به منظور بررسی منشاء سیستم‌های جوی گرد و غباری، داده‌های جوی در سطوح مختلف فشاری، سطح زمین، تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، رودباد جنب حاره در سطح فشاری ۳۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت و جهت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی از مرکز ملی پیش بین محیطی (NCEP) با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی در بازه زمانی ۱۱ ساله تهیه شده است. داده‌ها در نرم افزار Grads وارد و خروجی آن نقشه‌های جو، در طول مدت یک روز قبل از رخداد، پدیده گرد و غبار و روزهای اوج و انتهای پدیده ترسیم و مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تصاویر ماهواره ای از روز اوج پدیده، تهیه و به تفسیر و واکاوی عوامل جوی شکل گیری و تشدید کننده آن‌ها می پردازد. سپس جهت بررسی شرایط دینامیکی و رطوبتی جو و تعیین استقرار شرایط پایداری و ناپایداری نمودارهای اسکویوتی ترسیم شده و از شاخص‌های ناپایداری SI و KI استفاده شده است.

## نتایج و بحث

با توجه به کثرت تعداد روزهای گرد و غبار، بر اساس وسعت رخداد در کل استان خوزستان و تداوم شرایط غباری روزهایی با کمترین دید افقی گزینش شده است. جهت تحلیل آماری و همدید و ترسیم نقشه‌های جو، سه دوره رخداد گرد و غبار که در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه شدت بیشتری داشته است، به عنوان نمونه انتخاب و سپس تحلیل‌های مربوطه صورت گرفته است. در جدول ۱ میانگین روزانه داده‌های اقلیمی در روزهای اوج پدیده گرد و غبار در دوره‌های انتخابی مورد نظر در ایستگاه‌های اهواز، آبادان و دزفول در طول دوره آماری سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ دیده می‌شود.

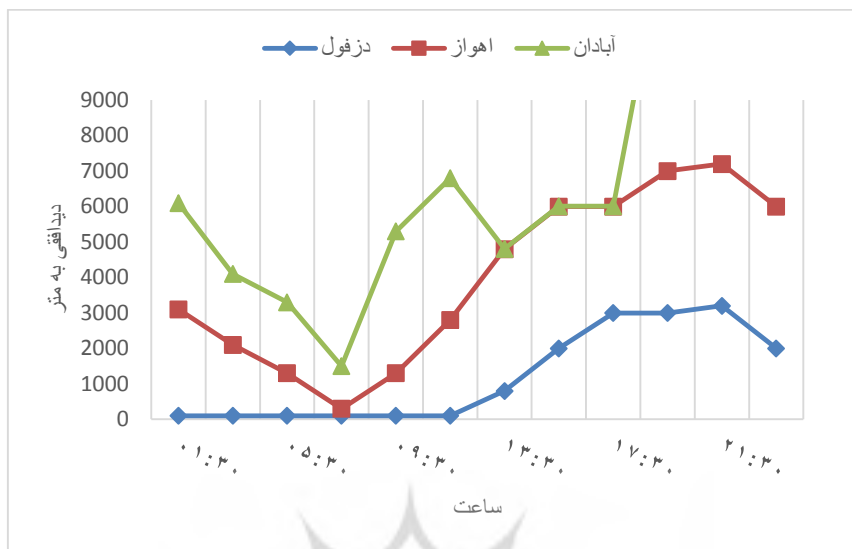
در نمودار دید افقی در شکل ۱ دیده می‌شود که در روز ۲ ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاه دزفول از ساعات اولیه تا اواسط روز میزان دید افقی کمتر از ۱ کیلومتر بوده، ولی از اواسط روز تا اواخر شب میزان دید افقی روندی افزایشی پیدا می‌کند، به طوری که به

بیش از ۲ کیلومتر رسیده است. در ایستگاه اهواز به جز ساعات ۷:۳۰ تا ۱۲ به وقت محلی که دید افقی کمتر از ۱ کیلومتر بوده، تمامی ساعات، دید افقی بیش از ۲ کیلومتر رخ داده و در ایستگاه آبادان تمامی ساعات روز دید افقی بالای ۲ کیلومتر ثبت شده است (شکل ۱). جدول ۱. میانگین روزانه داده های اقلیمی در روز اوج پدیده گرد و غبار دوره های آماری

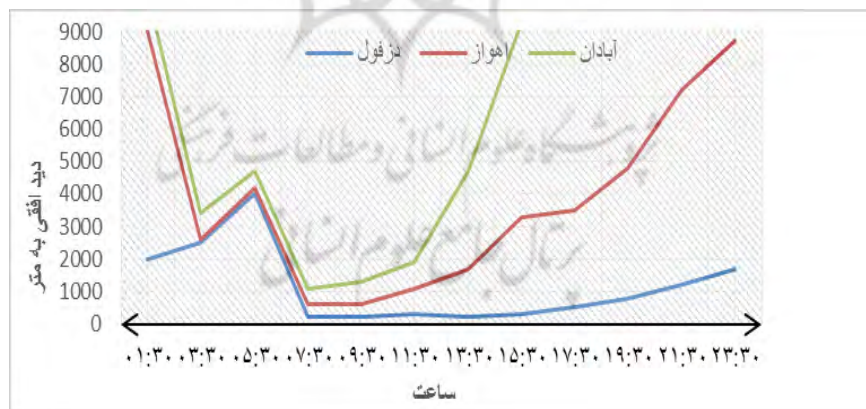
منتخب در سطح ایستگاههای اهواز، آبادان و دزفول در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۰

ایستگاه	اهواز			آبادان			دزفول		
	عناصر جوی	۲۰۰۷/۳/۳	۲۰۰۸/۴/۱۸	۲۰۱۰/۱/۳	۲۰۰۷/۳/۳	۲۰۰۸/۴/۱۸	۲۰۱۰/۱/۳	۲۰۰۷/۳/۳	۲۰۰۸/۴/۱۸
دید افقی / متر	۱۹۸۴	۲۵۷۴	۱۹۴۷/۲	۱۷۴۶/۱	۳۵۹۷/۲	۲۶۰۲/۱	۱۷۴۴/۲	۷۳۱/۴	۲۳۶۳/۶
سرعت باد / سانت	۱۱/۵	۱۲/۹	۱/۶	۱۰/۵	۳/۳	۵/۵	۱۴/۴	۴/۶	۲/۶
فشار / hpa	۱۰۱۵	۱۰۰۷/۵	۱۰۲۰/۹	۱۰۱۳	۱۰۱۲/۴	۱۰۲۰	۱۰۱۴/۹	۱۰۰۷/۶	۱۰۲۱/۲
رطوبت / درصد	۱۵/۱	۲۶/۵	۱۰/۷	۱۶/۵	۲۵/۷	۱۲	۱۳/۴	۲۵/۲	۱۱/۸





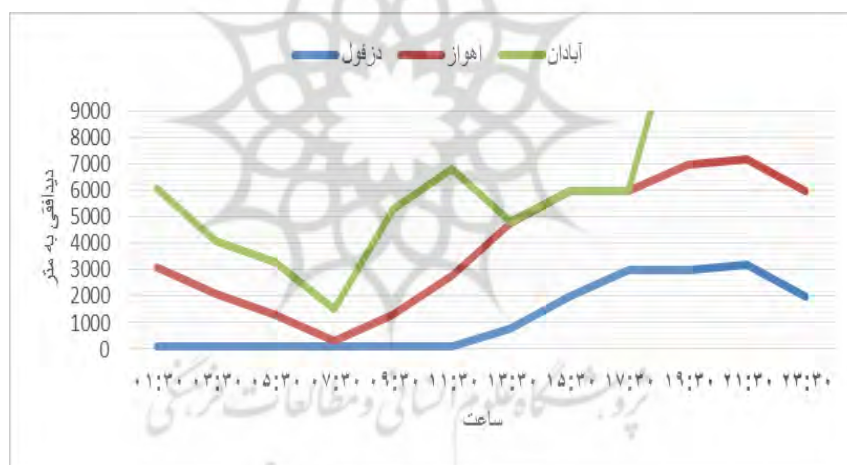
شکل ۱. نمودار دید افقی در روز ۲ ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاههای منتخب استان خوزستان به استناد شکل (۲) در دو ایستگاه اهواز و دزفول از ساعت ۷:۳۰ تا ۱۷:۳۰ به وقت محلی، میزان دید افقی پایین و کمتر از ۱ کیلومتر ثبت شده و در بقیه ساعات این میزان روند افزایشی داشته است. در ایستگاه آبادان مقدار دید افقی بیش از ۲ کیلومتر بوده است.



شکل ۲. نمودار دید افقی در روز ۱۸ آوریل ۲۰۰۸ در ایستگاه های منتخب استان خوزستان

براساس نمودار (شماره ۳) در ایستگاه دزفول از ساعات اولیه روز تا ساعت ۱۳:۳۰ به وقت محلی دید افقی روندی کاهشی و کمتر از ۱ کیلومتر داشته، ولی در بقیه ساعات، روز روندی افزایشی را به ثبت رسانده است، ولی در اهواز فقط از ۵:۳۰ تا ۸:۳۰ به وقت محلی روندی کاهشی داشته و ایستگاه آبادان میزان دید افقی در تمام طول روز بالای ۲۰۰۰ متر بوده است.

بنابراین از ترسیم نمودارهای رسم شده این نتایج به دست می‌آید که در دوره‌های منتخب، ایستگاه دزفول دارای دید افقی کمتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر است و بیشتر در معرض توفان‌های گرد و غبار بوده، ولی ایستگاه آبادان با داشتن بیشترین دید افقی، تعداد دفعات کمتری در معرض توفان گرد و غبار قرار داشته است.



شکل ۳. نمودار دید افقی در روز ۲ مارس ۲۰۰۷ در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

تحلیل همدید در دوره‌های انتخابی مورد نظر

الف: الگوهای فشاری پدیده گرد و غبار روزهای ۱-۳ ژانویه ۲۰۱۰ (۱۱-)

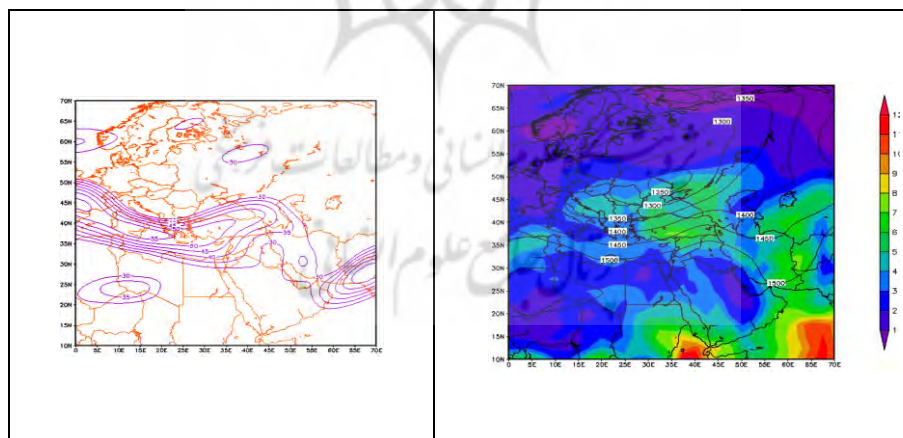
(۱۳/دی/۱۳۸۸)

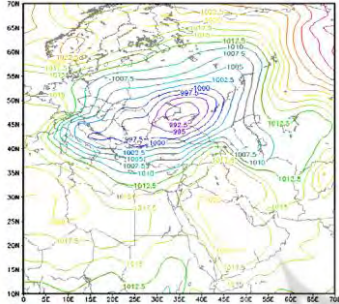
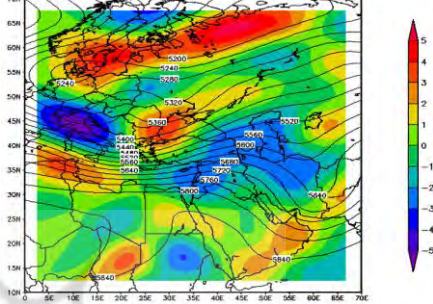
بر طبق آرایش الگوها در سه روز اول ژانویه ۲۰۱۰، سامانه پرفشاری در نواحی مرکزی عربستان (۱۰۲۰ هکتوپاسکال) در جهت غربی- شرقی به سمت مناطق جنوب غربی ایران روانه است (شکل ۷) که هم جهت با پشته ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکالی با منشاء شمال آفریقا موجب وزش بادهای خشک نواحی مجاور شده است. وزش بادهای بیش از ۳۵ متر بر ثانیه، هم جهت با حرکت پربندهای کم فشار دریای سیاه (شکل ۵)، با گذر از مناطق سرد شمالی در جهت جنوب شرق به سمت استان خوزستان در حرکت است که باعث کاهش فشار ایستگاه های دیده بانی و استقرار شرایط ناپایداری در منطقه شده است. حرکت سامانه های پرفشار و پشته از جنوب و کم فشار مدیترانه ای از شمال و کمبود رطوبتی جو، شرایط حرکت ذرات گرد و غباری را منطقه موجب شده است. الگوی جوی در سطوح ۵۰۰ و ۸۵۰ ارتفاع ژئوپتانسیل شرایط پرارتفاع در خاورمیانه با منشاء شمال آفریقا است. در روز اول رخداد، استان خوزستان در منطقه NVA پشته دریای سرخ که محل فرونشینی هواست، قرار گرفته است (شکل ۶). متعاقب آن زبانه های پرارتفاع دیگری در شرق آفریقا با محور جنوب غربی - شمال شرقی بوده و به سمت مناطق شرقی در حرکت و مستقر گردیده است. در روزهای دوم و سوم پدیده، جهت وزش باد از شمال غرب به شمالی همراه با افزایش ۱۰ ناتی سرعت است که منطبق با افزایش شیب خطوط هم سرعت بوده، همچنین شیب پرفشار عربی افزایش یافته که با گذر از خلیج فارس به علت کمبود رطوبتی (گسترش پهنه رطوبتی حداقل ۲ گرم بر کیلوگرم)، (شکل ۴) و وزش بادهای پرسرعت موجب توفان های گرد و غباری در منطقه شده است. همزمان با استقرار سامانه فشاری و فرونشینی و حرکت هوا از نواحی جنوب عربستان، تغییرات حرارتی و رطوبتی صورت گرفته است و پایین ترین میزان دید افقی به ثبت رسیده است که شدت حجم گرد و غبار در ساعات آغازین روز بوده است. در سطوح میانی جو پشته شرق مدیترانه با حرکت به سوی شرق و استقرار بر غرب ایران، با کاهش شیب فشاری و تغییر جهت از نصف النهاری به مداری، همچنین فرونشینی هوا موجب تشدید شرایط پایداری شده است. وزش بادهای با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه از سمت جنوب عراق، موجب

افزایش غلظت ریزگردها و کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰ متر در ایستگاه‌های استان شده است.

**ب: الگوهای فشاری پدیده گرد و غبار در روزهای ۱۹-۱۷ آوریل ۲۰۰۸ (۳۱-۲۹ / فروردین/۱۳۸۷)**

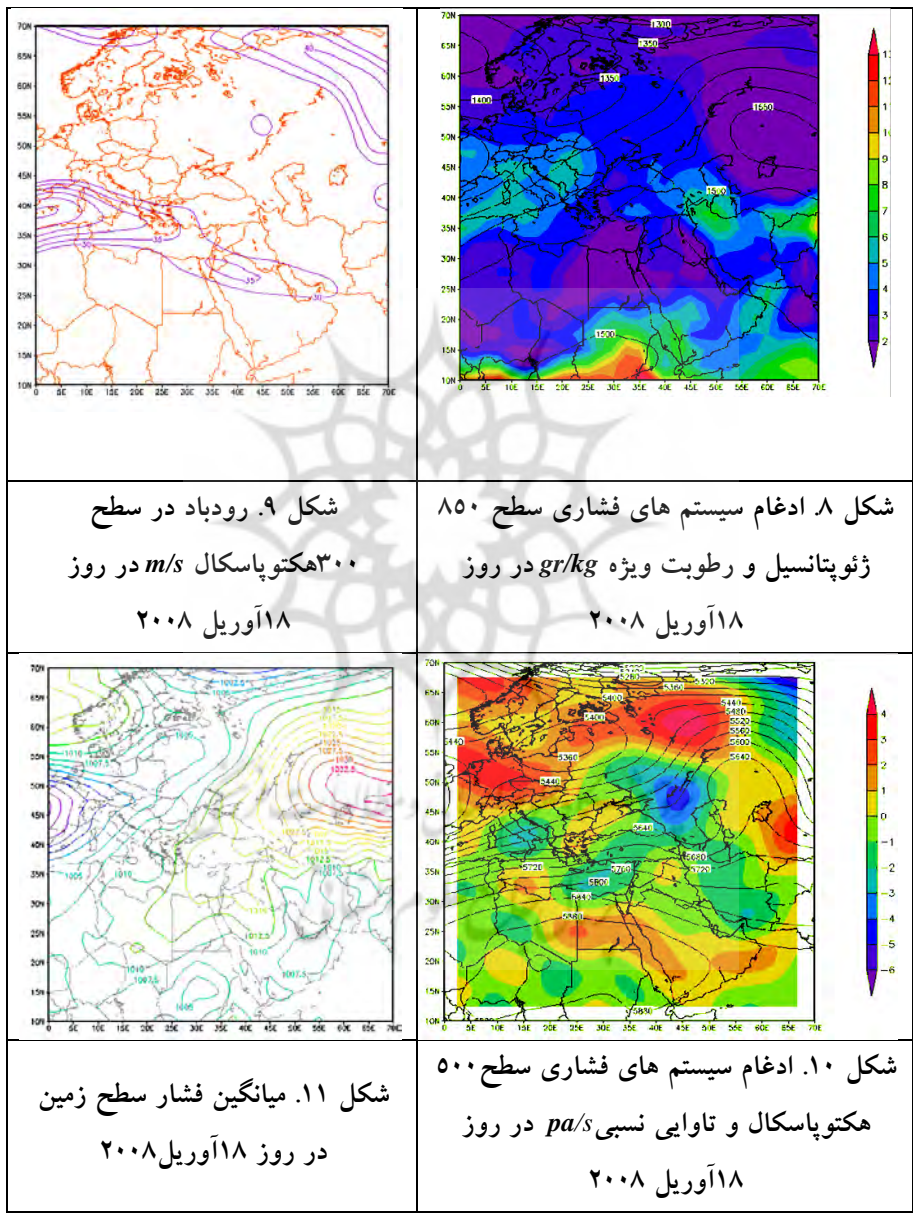
در سطوح میانی جو پشته شرق آفریقا با گسترش به سمت خاورمیانه بر جو منطقه جنوب غرب ایران مستولی شده و منطبق با آن الگوهای گردشی و اچرخندی با شدت منفی، شرایط گردشی جو را تأیید می‌کند (شکل ۱۰). در روزهای دوم و سوم نیز جو پایدار بوده و الگوهای گردش و اچرخندی و فرونشینی هوا تشدید یافته است. از سمت جنوب غرب و غرب وارد ایران می‌شوند و در طول مسیر با گذر از بیابانهای عراق و عربستان و مکش هوا و به دلیل قرارگیری در فصل بهار و گرمای زودرس در این مناطق، در ادامه روند حرکتی تبدیل به کم فشار حرارتی شده و هم جهت با پربندهای پرسرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه (شکل ۹)، و به دلیل جهت حرکت زبانه‌ها و نبود فرارفت رطوبتی از خلیج فارس و الگوهای گردشی منفی که حاکی از چرخش آنتی سیکلونی و نبود عامل صعود، توفان‌های گرد و غباری ایجاد شده است.

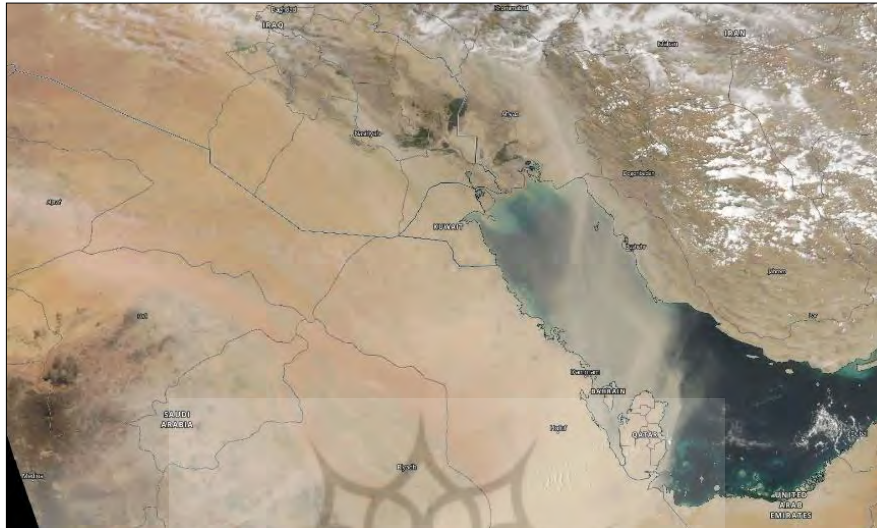


<p>شکل ۵. رودباد در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال <math>m/s</math> در روز ۲ ژانویه ۲۰۱۰</p>	<p>شکل ۴. ادغام سیستم های فشاری سطح ۸۵۰ ژئوپتانسیل و رطوبت ویژه <math>gr/kg</math> در روز ۲ ژانویه ۲۰۱۰</p>
	
<p>شکل ۷. میانگین فشار سطح زمین در روز ۲ ژانویه ۲۰۱۰</p>	<p>شکل ۶. ادغام سیستم های فشاری سطح ۵۰۰ hpa و تاوایی نسبی <math>pa/s</math> در روز ۲ ژانویه ۲۰۱۰</p>

در سطح زمین زبانه های کم فشار مدیترانه ای هم جهت با حرکت پربندهای پشته، به سمت مناطق شرقی در حرکت است (شکل ۱۰) که با نشست هوا و فرارفت حرارتی در تشدید شرایط فشاری و حرارتی تأثیر گذار بوده است. زبانه ها با جهتی غربی- شرقی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکالی (شکل ۸)، استقرار زبانه ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر و حرکت آن منطبق با پهنه های رطوبتی ضعیف و تداوم آن در دوره، در تثبیت شرایط فشاری و حرکت ریزگردها نقشی بسزا ایفا کرده است. کم فشار نواحی جنوبی خلیج فارس در روز دوم شکل گرفته و در شمال تنگه هرمز مستقر گردیده است. که به علت وزش بادهای کم سرعت ۱۰ نات، شرایط حرکتی و فشاری جهت تأثیرگذاری بر جنوب غرب را نداشته و در روزهای پایانی نیز تضعیف شده و به سمت شرق حرکت کرده است. تصویر ماهواره

ای (شکل ۱۲) در روز اوج پدیده نیز حاکمیت ریزگردها را بر جو نشان می دهد که با منشاء مناطق مرکزی و شمالی عربستان است.



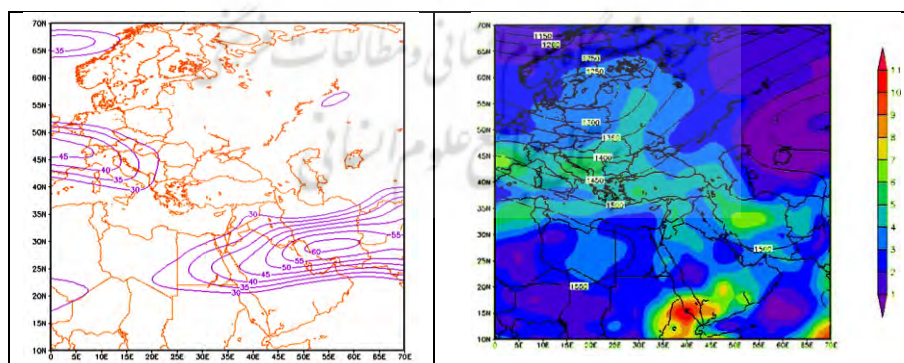


شکل ۱۲. تصویر ماهواره ای محدوده وزش گردوغبار در تاریخ ۱۸ آوریل ۲۰۰۸  
(Aqua / Modis, Pix: 1 km)

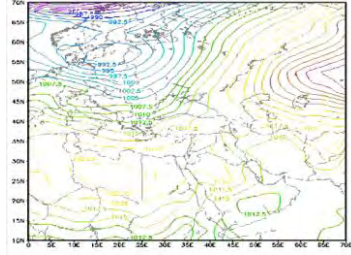
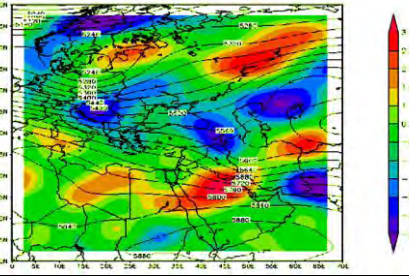
ج: الگوهای فشاری پدیده گرد و غبار در روزهای ۳-۱ مارس ۲۰۰۷ (۱۲-۱۰ / اسفند / ۱۳۸۵)

در این دوره پربندهای پر ارتفاع سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۳) با حرکت و گذر از مناطق خشک، شرایط رطوبتی مناسبی جهت حرکت ریزگردها و انتقال به مناطق شرقی مهیا ساخته اند. در روز اوج پدیده، هسته ی بیشینه تاوایی نسبی مثبت گردش سیکلونی و الگوهای فشاری کم ارتفاع و شرایط صعود هوا، حاکی از جوی ناپایدار که موجب بارش است (شکل ۱۵). بر طبق آمار روزانه در ایستگاه های اهواز و دزفول بارش به ترتیب ۴/۹ و ۱۳/۲ میلی متر رخ داده است. این بارش ها در ساعات پایانی شب و همراه با کاهش ۳ هکتوپاسکالی فشار بوده است که تداوم چندانی نداشته و با گذر زبانه های

پرفشار (۱۰۲۰ هکتوپاسکالی) و کاهش شیب فشاری زبانه‌ها در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و تغییر جهت از نصف‌النهاری به مداری الگوها، افزایش فشار و پایداری هوا همراه با کاهش رطوبت را نشان می‌دهد. زمان بارش به علت وزش بادهای پرسرعت و قرارگیری هسته پرسرعت بیش از ۵۵ متر بر ثانیه بر منطقه (شکل ۱۴)، موجب تشدید ناپایداری موقت و ریزش‌های جوی شده است. زبانه‌های پرفشار مرکز آفریقا (شکل ۱۶) با جابه‌جایی و حرکت زبانه‌های پرسرعت بیش از ۴۵ متر بر ثانیه به منطقه جنوب غرب ایران گسیل شده و به دلیل منشاء آن که از مناطق خشک مرکزی آفریقا است و استقرار پهنه‌های رطوبتی فاقد منابع آبی مناسب، در ساعات میانی روز تا ظهر شرایط بارشی تغییر داشته است و ریزش گرد و غبار در سطح منطقه به ثبت رسیده است. در روز اول میزان سرعت باد ۳۰ ناتی به ثبت رسیده است که با استقرار الگوهای پرفشاری و فرونشینی هوا، میزان سرعت باد کاهش ۱۵ ناتی داشته و شرایط مکش و فرارفت رطوبتی از پهنه جنوب دریای سرخ (هسته بیشینه ۱۱ گرم بر کیلوگرم)، که یکی از منابع اصلی رطوبت بارش‌ها در جنوب غرب و جنوب ایران می‌باشد، مهیا نبوده است. وزش باد از سطح بیابان‌های خشک همجوار ایران (تصویر ماهواره ای، ۱۷) منطبق با حرکت زبانه‌ها، جنوب غرب - شمال شرق در تشدید پدیده گرد و غبار در منطقه موثر بوده است.





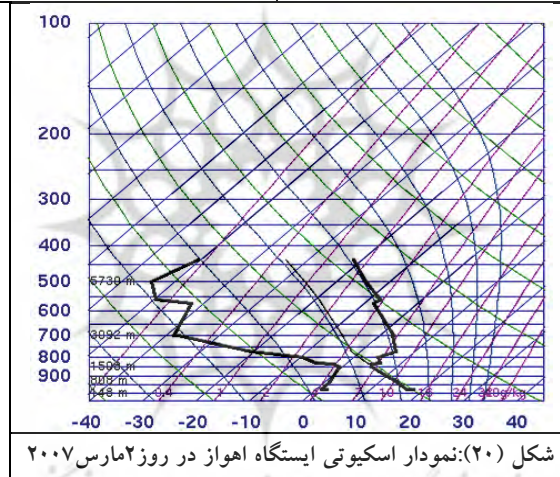
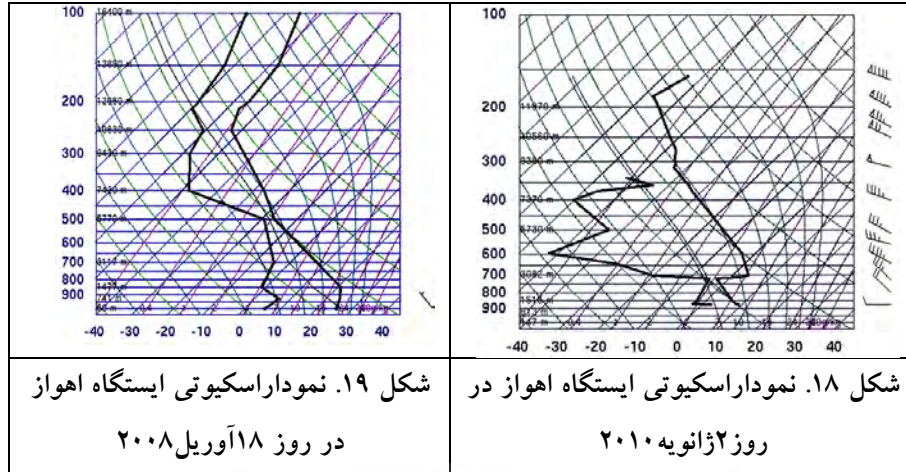
<p>شکل ۱۳. رودباد در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال <math>m/s</math> در روز ۲ مارس ۲۰۰۷</p>	<p>شکل ۱۳. نقشه ترکیبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ورطوبت ویژه <math>gr/kg</math> در روز ۲ مارس ۲۰۰۷</p>
	
<p>شکل ۱۶. نقشه میانگین فشار سطح زمین در روز ۲ مارس ۲۰۰۷</p>	<p>شکل ۱۵. ادغام سیستم های فشاری سطح <math>500 hpa</math> و تاوایی نسبی <math>pa/s</math> در روز ۲ مارس ۲۰۰۷</p>



شکل (۱۷): تصویر ماهواره ای محدوده وزش در روز ۲ مارس ۲۰۰۷  
(Terra / Modis, Pix: 1 km)

## بررسی نمودار ترمودینامیک و شاخصهای ناپایداری در سه دوره انتخابی در طول دوره آماری

نمودار ترمودینامیکی با بررسی متغیرهای اقلیمی در رابطه با شاخصهای مختلف پایداری و ناپایداری، تأیید کننده الگوهای حاکم بر نقشه هاست. برای روزهای اوج پدیده گرد و غبار، جهت شناسایی شرایط پایداری و حرکات عمودی متغیرهای رطوبت و دما به مطالعه این نمودارها و بررسی مقادیر شاخص های ناپایداری هوا KI و شولتر (SI) پرداخته شده است. جهت تعیین میزان ناپایداری، مقادیر به ثبت رسیده این دو شاخص می بایستی به ترتیب بیش از ۲۰ و کمتر از ۳ باشند. با توجه به نمودار اسکیوتی در روز اوج پدیده (شکل ۱۸) مشاهده می شود که خطوط دمای نقطه شبنم و دمای محیط در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال به هم نزدیک شده و شرایط ناپایداری و چگالش رطوبت در این سطح را به همراه داشته است، اما تداوم نداشته و جوی پایدار به ثبت رسیده است. بر اساس اطلاعات مندرج در نمودار شاخص شولتر با میزان ۱۱/۴۸ و شاخص K 30/6- جوی کاملاً پایدار را نشان می دهد. این مقادیر مبین جوی پایدار همراه با افزایش دما در ایستگاه اهواز است. در شکل ۱۹، نمودار روز ۱۸ آوریل ۲۰۰۸ را نشان می دهد. که مقادیر شاخص ها حاکی از جوی ناپایدار است. مقادیر دمای نقطه شبنم و درجه حرارت محیط در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تقریباً به مجاورت یکدیگر رسیده اند و مبنی بر این است که شرایط الگوها در این سطح بر روی زمین تأثیر گذار هستند. شاخص ها با مقادیر، شولتر ۰/۴۲- و شاخص K 90/23 نشان دهنده جوی ناپایدار است. در روز ۲ مارس ۲۰۰۷ الگوهای جوی نسبتاً ناپایدار است (شکل ۲۰). همان گونه که در تحلیل نقشه های همدیدی مشاهده شد. در این روز در برخی ایستگاه ها مقادیر بارندگی به ثبت رسیده و در ساعات میانی روز الگوها تغییر داشته و پرفشار همراه با پایداری مستولی بوده است. مقادیر شاخص ها، شولتر ۵/۳۳ و شاخص K 10/24 است.



### نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحلیل همدید الگوهای فشاری و واکاوی نقشه های هوا در سه دوره انتخابی مورد نظر در منطقه نشان از حاکمیت الگوهای پراتفعا سطوح میانی جو، پشته مدیترانه ای و گسترش مداری آن در جهت شرق همراه با زبانه های پر ارتفاع دریای سرخ (نواحی شمال آفریقا) و افزایش شیب فشاری پرفشار عربی همراه با کاهش رطوبت و افزایش گرادیان هسته ی پرسرعت است که در تشدید کاهش دید افقی در دوره اول (الگوهای فشاری پدیده گرد و غبار ۳-۱ ژانویه ۲۰۱۰) (۱۳۸۸/۱۰/۱۲)، تأثیرگذار بوده

است. بر اساس مطالعه ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰)، الگوهای جوی موجب گرد و غبار در فصل گرم در بازه زمانی (۱۳۸۷/۰۴/۱۴) هماهنگی سامانه کم فشار سطحی و فرود موج کوتاه بادهای غربی که در روزهای فعالیت موج گرد و غبار در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی به وضوح مشاهده شده است. با تقویت جریان چرخندی در روی بیابان های عراق و سوریه باعث تقویت سیستم‌های بادی سطح بالا گردیده و توانسته انبوهی از گرد و غبار را بر بخش های وسیعی از جنوب غرب و غرب ایران پخش کند. در دوره دوم (الگوهای فشاری پدیده گردوغبار ۱۹-۱۷ آوریل ۲۰۰۸)، پشته شرق آفریقا همراه با گردش و چرخندی، جوی پایدار را نشان می دهد. در این بازه زمانی به دلیل قرارگیری در فصل بهار که الگوهای فشاری در تغییر هستند، هنوز سامانه های کم فشار وارد منطقه می شوند، اما به علت گذر از بیابان های گرم و خشک و همزمانی با روزهای پایانی فروردین ماه و آغاز دوره میانی فصل بهار که در این منطقه، زمان آغاز فصل تابستان طبیعی و واقعی است، شرایط حرارتی افزایش و مجموع این عوامل در موجد، تشدید و تداوم پدیده منشاء اثر هستند. در بازه سوم (الگوهای فشاری پدیده گردوغبار ۳-۱ مارس ۲۰۰۷) مورد مطالعه، با کاهش فشار در ساعاتی از شبانه روز، در برخی از ایستگاه ها بارندگی به ثبت رسیده که به علت تمرکز هسته ی بیشینه تاوایی نسبی بر جو جنوب غرب ایران است، ولی با حرکت زبانه‌ها و تأثیرات پرفشار مرکز آفریقا و گذر از مناطق خشک مرکزی این قاره، تغذیه رطوبتی سامانه رخ نداده و با استقرار در منطقه خاورمیانه در ساعات میانی روز الگوهای فشاری تغییر و وزش بادهای غباری به ثبت رسیده است. در این رابطه بر پایه مطالعه رخداد گرد و غبار در بازه زمانی ماه می ۲۰۰۷، براساس نتایج بررسی توسط خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۱)، آرایش پشته در تراز میانی جو و قرارگیری آن روی دریای مدیترانه، سبب ایجاد یک منطقه همراه با فشار بیشتر در شمال آفریقا شده که زبانه های آن تا مرز کشور عراق پیش روی کرده است. افزایش شیوه فشار در منطقه همراه با رخداد جبهه زایی، افزایش سرعت باد و کمبود رطوبت، باعث شکل گیری گرد و غبار شده است.

## منابع

- امیدوار، کمال (۱۳۸۵)، بررسی و تحلیل سینوپتیکی توفانهای ماسه در دشت یزد - اردکان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۴۳-۵۸.
- امیدوار، کمال و زری نکونام (۱۳۹۰)، کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل پدیده‌ی گردوغبار و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه‌ی موردی: شهر سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص ۱۰۴ - ۸۵.
- بابایی فینی، ام‌السلمه و طاهر صفرراد و مصطفی کریمی (۱۳۹۵)، تحلیل و شناسایی الگوهای همدیدی توفانهای گردوغبار غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۷، صص ۱۱۹ - ۱۰۵.
- براتی، غلامرضا و حسن لشکری و فریبا کریمی (۱۳۹۰)، نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد توفانهای غباری استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، صص ۵۳-۳۹.
- حسین زاده، سید رضا (۱۳۷۶)، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱۲۷-۱۰۳.
- خوش اخلاق، فرامرز و محمدسعید نجفی و مهدی صمدی (۱۳۹۱)، واکاوی همدید رخداد گرد و غبار بهاره در غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲ (پیاپی ۸۰)، صص ۱۲۴ - ۹۹.
- خوشحال دستجردی، جواد و تیمور علی زاده (۱۳۸۹)، بررسی همدیدی و ترمودینامیک رگبار موجد سیلاب ۱۳۸۸/۶/۲۴ در استان خراسان رضوی، مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۴ (پیاپی ۶۸)، صص ۱۰۹-۸۷.
- ذوالفقاری، حسن و حیدر عابدزاده (۱۳۸۴)، تحلیل سیستم‌های سینوپتیک گردوغبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۳، شماره پیاپی ۶، صص ۱۸۸-۱۷۳.

ذوالفقاری، حسن و جعفر معصومپور سماکوش و شاپور شایگان مهر و محمد احمدی (۱۳۹۰)، بررسی همدید توفانهای گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی: موج فراگیر تیرماه ۱۳۸۸)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۳۴ - ۱۷.

شمسی پور، علی اکبر و طاهر صفرراد (۱۳۹۱)، تحلیل ماهواره ای - همدیدی پدیده‌ی گردوغبار، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، صص ۱۲۶ - ۱۱۱.

علیچانی، بهلول (۱۳۷۶)، آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور، تهران.  
طاووسی، تقی و محمود خسروی و کوهزاد رئیس پور (۱۳۸۹)، تحلیل همدیدی سامانه‌های گرد و غباری در استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص ۹۷ - ۱۱۸.

گندمکار، امیر، فنایی، راضیه و فاطمه دانشور و حسین کاردان و مریم السادات احدی نژاد و نجمه رضایی (۱۳۹۶)، بررسی و ارتباط سنجی روند سری‌های دمایی و روزهای همراه با گرد و غبار استان خوزستان، جغرافیا، سال ۱۵، شماره ۵۳، صص ۲۹۳ - ۲۷۷.

مبارک حسن، الهام و پروین غفاریان و کتایون ورشوساز و مجید آزادی (۱۳۹۳)، شبیه سازی گردوغبار در استان خوزستان با استفاده از مدل WRF/Chem (مطالعه موردی: ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰)، نیوار، شماره ۸۵ - ۸۴، صص ۵۶ - ۴۵.

لشکری، حسن و قاسم کیخسروی (۱۳۸۷)، تحلیل آماری سینوپتیکی توفانهای گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۱۹۹۳-۲۰۰۵)، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۳۳ - ۱۷.

نوحه گر، احمد و اسدالله خورانی و احسان تمسکی (۱۳۹۲)، تحلیل اقلیمی گرد و غبار معلق در ایستگاه هواشناسی سرپل ذهاب (۲۰۰۹ - ۱۹۸۶)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۶، صص ۱۰۲ - ۸۹.

- Barkan, J. & Alpert, P., 2010, Synoptic Analysis of a Rare Event of Saharan Dust Reaching the Arctic Region, *Weather*, Vol. 65, No. 8, PP. 208-211.
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J. and Zhou, N., 2015, Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502: 224–235.
- Ganor, E., Stupp, A., Osetinsky, I., & Alpert, P., 2010, Synoptic Classification of Lower Troposphere Profiles for Dust Days, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, No. D11, PP. 1-8.
- Goudie, A S. & Middleton, N J. 2006, *Desert Dust in the Global System*, Springer, Heidelberg. 90 1.
- Hamish A. McGowan, Grant H. McTainsh , Andrew P. Sturman, Peyman Zavar. Reza, 2001, Inter-regional Transport of Australian Dust storm, in *Soil Erosion Research for the 21st Century*, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA). Eds. J.C. pp 310-313 .
- Ming LIU, Douglas L. Westphal, Annette L. Walker Teddy R. Holt, Kim A. Richardson, and Steven D. Miller (2007) COAMPS Real-Time Dust Storm Forecasting during Operation Iraqi Freedom. *Weather and Forecasting*. VOL 22.
- Mohalfi, saad. H. S. Bedi, T. N. Krishnamurti, and Steven D. Cocks (1998) Impact of Shortwave Radiative Effects of Dust Aerosols on the Summer Season Heat Low over Saudi Arabia. *Monthly Weather Review*. VOL 126.
- Orolouvsy, N. orlovsky, A. & Durdye, V. (2005), Dust storm in Turkmenistan, *Journal of Arid Environments* 60.(۸۳-۹۷)
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E. & Gill, T. E., 2002, Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product, *Reviews of Geophysics*, Vol. 40, No. 1, 1002 .
- Raispour, Koohzad. Khosravi, Mahmood & Tavousi, Taghi & Sharifikiya, Mohammad, 2016, The influence of the polar front jet stream on the formation of dust events in the southwest of Iran, *Air Quality, Atmosphere & Health*, Volume 9, Issue 1, pp 15–23 .
- Takemi, T. & Seino, N., 2005, Dust Storms and Cyclone Tracks Over the Arid Regions in East Asia in Spring, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110, (D18), D18S11, PP. 11.
- Walters, K. R., and W. F. Sjoberg,( 1988) The Persian Gulf region—A climatologically study. USA FETAC TN-88/002, USAF Environmental

Technical Application Center, Scott Air Force Base, IL, 62 pp. [Available from USAF Environmental Technical Application Center, Scott Air Force Base, IL 62225.]

Weihong Q and Shaoyinshi, (2002) Variations of the dust storm in china and its climate control, journal 1 of climate.

[www.weather.uwo.edu](http://www.weather.uwo.edu).

[www.Modis.gsfc.nasa.gov](http://www.Modis.gsfc.nasa.gov).

[www.noaa.gov](http://www.noaa.gov).

