

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۶، شماره پیاپی ۲۱، بهار ۱۳۹۵

شاپای چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپای الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

<http://jzpm.miau.ac.ir>

شناسایی عوامل سینوپتیک و محلی مقیاس در رویدادهای گرد و غباری استان ایلام

محمد حسین ناصرزاده^۱: استادیار گروه جغرافیا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

حجت‌اله فتحی: کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۱ صص ۷۴-۵۷ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۲۵

چکیده

پدیده نامطلوب گردوغبار یکی از بلایای طبیعی است که استان ایلام را به دلیل موقعیت جغرافیایی و همجواری آن با پهنه‌های بزرگی از مناطق بیابانی تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق پس از استخراج ۴۰ سامانه‌ی گردوغباری شاخص و تفکیک آنها به دو دوره سرد و گرم سال طی دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۰)، با استفاده از نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و فشارسطح دریا، نقشه‌های بردار باد، خطوط هم سرعت و نقشه‌های اُمگا در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در محدوده ۱۵ تا ۴۵ درجه شمالی و ۲۰ تا ۶۵ درجه شرقی صورت گرفت. برای بررسی وضعیت جو بالایی با مراجعه به پایگاه داده‌های جوی دانشگاه ایومینگ، داده‌های رادیوسوند برای روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه‌های نیمه جنوب غربی ایران اخذ شده و با استفاده از نرم‌افزار *RAOB* و نمودارهای *SKEW-T* به صورت روزانه ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفتند، برای بررسی پایداری و ناپایداری جو از شاخص‌های *(LI)*، *(SI)*، *(CAPE)* و *TT* استفاده شد. بارسازی گردوغبار روی تصاویر *MODIS* با استفاده از ویژگی‌های دمای درخشایی و شاخص عمق نوری ذرات (*AOD*) انجام شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در دوره سرد سال سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه‌ی قطبی همراه آن و در دوره گرم سال کم فشارهای حرارتی سطح زمین مهم‌ترین عامل در ایجاد و شکل‌گیری پدیده‌ی مذکور در استان ایلام می‌باشند. هنگامی که یک فرود عمیق در غرب منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی بیابان‌های کشورهای همجوار قرار گیرد و سرعت باد در آن به سرعت رودباد برسد، در صورت فراهم بودن شرایط محیطی، با ایجاد ناپایداری در سطح زمین سبب گرد و غبار و انتقال آن به استان ایلام می‌شود. در دوره گرم سال نیز کم فشارهای حرارتی سطح زمین و بخصوص کم فشارخلیج فارس با مکش هوای بیابان‌های اطراف (شبه جزیره عربستان) یکی از عوامل ایجاد گردوغبار می‌باشد. مسیر حرکت امواج گردوغباری و نحوه‌ی استقرار محور فرود و مراکز کم فشار سطح زمین و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده نشان می‌دهد، مهم‌ترین منابع گردوغبارهای وارده به استان ایلام شامل بیابان‌های جنوبی عراق، شمال عربستان، جنوب سوریه و تا اندازه‌ای شمال صحرای آفریقا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار، کم فشار حرارتی، تحلیل سینوپتیکی، شاخص‌های ناپایداری، استان ایلام.

^۱. نویسنده مسئول: Nasserzadeh2100@yahoo.com، ۰۹۱۲۵۲۷۰۰۶۱

بیان مسأله:

گردوغبار از پدیده های جوی است که آثار و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی بر جای می گذارد. این پدیده اخیراً به دلیل افزایش در شدت و طول دوره در خط مقدم مطالعات اقلیمی و تغییر اقلیم قرار گرفته است (Barkan, 2008:354). یکی از حالات ایجاد گردوغبار وزش بادهای قوی در مناطق خشک و نیمه خشک است، اما گرد و غبار تنها در مناطق خشک و نیمه خشک مشاهده نمی شود، شرایط سیکلونی، آنتی سیکلونی و دمای سطح زمین از جمله عوامل دیگر در این رابطه هستند (Yamamoto, 2007: 98). کاهش قدرت دید یکی از ویژگی های اصلی سیستم های گردوغباری می باشد که علاوه بر آثار ناخوشایند بهداشتی مثل مشکلات تنفسی و ریوی برای انسان و آلوده کردن محیط زندگی انسان ها، اختلالاتی را نیز در سیستم های حمل و نقل زمینی و هوایی بوجود می آورد (حسین زاده، ۱۳۷۶:۱۲۳). در مناطق جنوب غربی و غرب کشور که در مجاورت بیابان های بزرگ می باشند؛ روزهای گردوغباری قابل توجه است. میانگین روزهای گردوغباری در این بخش از ایران حدود ۱۵ روز می باشد (علیجانی، ۱۳۷۶:۹۶). بیشتر گردوغبارهای فراگیر و گسترده ای که در منطقه غرب و جنوب غرب مشاهده می شود، فرامحلی بوده و از نواحی دور دست منشأ می گیرد. همچنین این مناطق در مسیر ورود سیکلون ها و سیستم های آورنده گردوغبار به کشور قرار دارد (ذوالفقاری، ۱۳۸۴:۱۷۵).

در مطالعه ای (یزدان پناه و مرادی، ۱۳۸۹:۴) بررسی شرایط ایجاد گردوغبار در سندج نشان داد، در شرایطی که در سطح زمین کم فشار سودان، کم فشار گنگ یا زبانه ای از آن روی کشورهای عربستان، عراق و سوریه فعالیت می کند و در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال یک ناه عمیق بین مدار ۲۵ تا ۴۵ درجه قرار دارد، زمینه تولید گردوخاک و انتقال آن به نیمه غربی ایران بوجود می آید و این شرایط در صورت همراهی رودباد جنب حاره می تواند تأثیر فزاینده داشته باشد. در حال حاضر، روش های اندازه گیری زمینی و تکنیک های سنجش از دور، دو روش عمده برای پایش توفان های گردوغبار هستند (Li Haiping et al, 2003: 45). در مطالعه ای تغییر پذیری توفان ها به نوعی فعالیت روزانه چرخندها در شرق آسیا ربط داده شد و به این نتایج به دست آمد که فراوانی توفان های گردوغباری با کاهش دما در فصل زمستان و تعدد بالای چرخندها در فصل بهار مرتبط است (Weihong et al, 2001:1228). در مطالعه ای تحلیل وضعیت همدیدی مؤثر در انتقال گردوغبار شمال آفریقا (صحرا) از روی دریای مدیترانه به جنوب و مرکز اروپا انجام شد؛ نتایج نشان داد که کاربرد روش های همدیدی در دامنه ای گسترده از موضوعات از قبیل پیش بینی آب و هوا، ایمنی رفت و آمد خودروها، کشاورزی، زیست شناسی، مسائل بهداشتی و مهم تر از همه در پیش بینی پدیده ی گردوغبار می تواند مفید باشد (Barkan et al, 2005: 13). در تحقیقی با عنوان عملکرد توفان گردوخاک بر روی فلات تبت، ثبت شده توسط هسته های یخ سطحی در شیب شمالی کوه قومولانگما (اورست)، منطقه زمستانی تبت، تغییرات توفان گردوغبار بر روی فلات تبت، ثبت شده توسط ذرات نامحلول و امکان ارتباط آن با نوسانات زمستانی آتلانتیک شمالی (NAO) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان (شدت) گرد و غبار فعال، بیانگر یک روند معنادار کاهش در طول ۵۰ سال گذشته می باشد. سری زمانی نرمال شده شاخص NAO در زمستان که ارتباط معکوس معنی داری با توده چگال از ذرات نامحلول نشان می دهد، بر ارتباطی احتمالی بین NAO در زمستان و توفان گرد و غبار فعال بر روی فلات تبت دلالت دارد (Xu et al, 2007:1). در پژوهش انجام شده توسط (Das et al, 2011:1650) با استفاده از داده های ماهواره ای، مشخص گردید که توفان های گردوغبار تغییرات قابل توجهی در درجه حرارت جو پایین ایجاد می کنند که می توانند به عنوان منابع امواج گرانشی مشاهده شده در جو در نظر گرفته شوند.

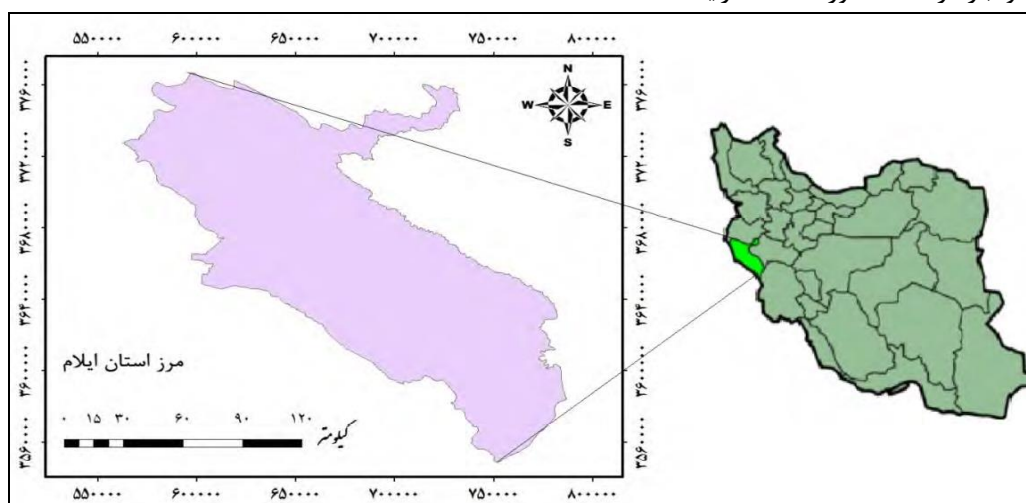
استان ایلام در جنوب غربی ایران جزء مناطقی می باشد که به طور گسترده تحت تأثیر توفان های گردوغباری قرار گرفته است. کثرت وقوع این پدیده در این منطقه و پیامدهای گوناگون ناشی از این پدیده، از جمله پیامدهای زیست محیطی، اختلال در ناوگان هوایی، ریلی، جاده ای، تأثیرات آن در سلامت انسان ها، نقش آن در کاهش تولید محصولات کشاورزی و ... ایجاب می کند بر روی این موضوع مطالعات گسترده ای صورت بگیرد. هدف از تحقیق حاضر مطالعه و تعیین شرایط همدید مؤثر بر

¹. Qomolangma

وقوع توفان‌های گردوغبار شدید در استان ایلام می‌باشد. تا با توجه به آن بتوان وقوع این پدیده را پیش بینی کرده و با ارائه راهکارها و اقدامات اساسی در این زمینه، اثرات زیانبار این پدیده را در منطقه مورد مطالعه کاهش داد.

مواد و روش تحقیق:

برای مطالعه حاضر متناسب با ضرورت از روش‌های همدیدی و سنجش از دور استفاده شد. برای تحقیق، یک دوره آماری ۱۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار گرفت. پس از بررسی تعداد زیادی موج گردوغبار با قدرت دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های هواشناسی استان ایلام طی دوره انتخاب شده (که در برخی موارد حتی به زیر ۱۰۰ متر نیز می‌رسید) از بین این آمار، ۴۰ سامانه گردوغباری شاخص که کمترین دید افقی را در منطقه داشتند، مورد شناسایی قرار گرفتند. در نهایت تعداد ۲ موج گردوغبار که از اهمیت بیشتری از نظر غلظت یا گستردگی داشته‌اند، انتخاب گردیدند. در پایان رخداد گردوغبار ۲۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۰۳ در اواخر دوره سرد و ۲۹ ژوئن تا ۳ جولای ۲۰۰۸ در دوره گرم سال، انتخاب و مورد واکاوی همدیدی و سنجش از دوری قرار گرفتند. برای بررسی وضعیت جو بالایی با مراجعه به پایگاه داده‌های جوی دانشگاه وایومینگ، داده‌های رادیوسوند برای روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه‌های نیمه جنوب غربی ایران اخذ شد. با استفاده از نرم‌افزار *RAOB* و نمودارهای *SKEW-T* به صورت روزانه ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفتند. برای بررسی پایداری و ناپایداری جو از شاخص‌های *(LI)*، *(SI)*، *(CAPE)* و *TT* استفاده شد. در ادامه برای شناسایی وضعیت همدیدی در روزهای همراه با گردوغبار با مراجعه به تارنمای *NECP/NCAR/NCAR* داده‌ای روزانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، مؤلفه بادهای نصف‌النهاری و مداری (*v,u*)، نقشه‌های اُمگا، با فرمت *netcdf* دریافت و با استفاده از نرم‌افزار *Grads* نقشه‌های مورد نیاز در ترازهای سطح زمین، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه و مورد تحلیل قرار گرفتند. جهت شناخت بهتر، تصاویر ماهواره‌ای روز اوج گردوغبار در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان ایلام

شاخص‌های دینامیکی (ناپایداری) جو:

شاخص موجودی انرژی پتانسیل فرارفتی (*CAPE*)^۱: این شاخص، نشان دهنده‌ی بیشینه انرژی جنبشی ممکن بسته هوای ناپایدار، بدون در نظر گرفتن اثر بخار آب و آب متراکم شده در اثر صعود، می‌باشد. محاسبه‌ی این شاخص با فرض عدم اختلاط بسته هوا با محیط در هنگام صعود و انقباض فشار آن با فشار محلی محیط صورت می‌گیرد (*Holton, 1993:511*). مقدار شاخص موجودی انرژی پتانسیل فرارفتی درحقیقت برابر مساحت ناحیه مثبت بین دمای بسته هوا با دمای محیط است که با انتگرال گیری عمودی از نیروی شناوری بسته هوا، از سطح همرفت آزاد (*FCL*) تا سطح تعادل (*EL*)^۲ و با استفاده از

^۱ convective Available potential Energy

^۲ Equilibrium Level

رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CAPE = g \int_{FCL}^{EL} \frac{\theta_p - \theta_E}{\theta_E} dz \quad (1)$$

که در این رابطه: $CAPE$ شاخص موجودی انرژی پتانسیل فرارفتی (ژول بر کیلوگرم)، g شتاب جاذبه (متر بر مجذور ثانیه)، θ_p دمای پتانسیل بسته هوا (درجه سانتی گراد)، θ_E دمای پتانسیل محیط (درجه سانتی گراد) و dz ارتفاع صعود بسته هوا (متر) می‌باشد (مک کلونین، ۱۹۹۲). به طور کلی مقادیر مثبت این شاخص، نشان دهنده وجود ناپایداری است و هرچه مقدار آن زیادتر باشد اختلاف دمای بسته هوا با دمای محیط بیش‌تر شده و در نتیجه نیروی شناوری آن قوی‌تر بوده و بنابراین شتاب بالارو نیز بیش‌تر خواهد شد (Manchylf Vgryn, 1972; Miller, 1972:190).

شاخص شوالتر ($SHOW$): این شاخص توسط شوالتر (۱۹۵۳) و به صورت ارتباط زیر بیان شده است:

$$SHOW = T_{E500} - T_{P500} \quad (2)$$

در این رابطه $SHOW$ شاخص شوالتر (درجه سانتی گراد)، T_{E500} دمای محیط در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی (درجه سانتی گراد) و T_{P500} دمای بسته هوا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی (درجه سانتی گراد) است به شرط آن‌که بسته‌ی هوای اولیه از سطح ۸۵۰ هکتوپاسکالی شروع به صعود کرده باشد. به طور کلی مقادیر صفر تا (-۳) این شاخص نشان دهنده ناپایداری کم و (۴) تا (-۷) گویای ناپایداری زیاد می‌باشد و در صورتی‌که مقادیر محاسبه شده کمتر از (-۸) باشد، ناپایداری خیلی شدید وجود خواهد داشت و در نتیجه بسته هوا بیشتر صعود خواهد کرد (صادقی حسینی و رضائیان، ۱۳۸۵:۸۶). مقیاس طبقه‌بندی شاخص شوالتر برای تعیین میزان پایداری و ناپایداری و نیز احتمال وقوع توفان به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد:

جدول ۱- مقیاس طبقه بندی شاخص SI برای تعیین میزان ناپایداری و احتمال وقوع توفان

ردیف	محدوده شاخص شوالتر	وضعیت احتمالی جو
۱	۰ تا -۴	ناپایداری کم
۲	-۴ تا -۸	ناپایداری زیاد
۳	-۸ و بیشتر	ناپایداری شدید

منبع: صادقی حسینی و رضائیان، ۱۳۸۵.

شاخص K ($KINX$): مقدار این شاخص با استفاده از ارتباط زیر به دست می‌آید:

$$KINX = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700}) \quad (3)$$

که در آن T و T_d به ترتیب دما و دمای نقطه شبنم (درجه‌ی سانتی گراد) در سطح ذکر شده هستند. در صورتی‌که مقدار این شاخص کمتر از ۱۵ باشد، هوا پایدار است و در حقیقت مقادیر بالای ۱۵ این شاخص، گویای ناپایداری هوا است، به گونه‌ای که مقادیر ۱۵ تا ۲۰ ناپایداری بسیار کم، ۲۱ تا ۲۵ ناپایداری کم، ۲۶ تا ۳۰ ناپایداری متوسط، ۳۱ تا ۳۵ ناپایداری زیاد و ۳۶ تا ۴۰ ناپایداری بسیار زیاد را نشان می‌دهند و مقادیر بزرگ‌تر از ۴۰ نشان دهنده‌ی هوای کاملاً ناپایدار است (George, 1960:673). (جدول شماره ۲).

جدول ۲- احتمال وقوع توفان های تندری براساس شاخص KI - منبع: جرج، ۱۹۶۰.

ردیف	محدوده شاخص KI	وضعیت احتمالی جو
۱	کمتر از ۱۵	پایدار
۲	۱۵ تا ۲۰	ناپایداری بسیار کم
۳	۲۱ تا ۲۵	ناپایداری کم
۴	۲۶ تا ۳۰	ناپایداری متوسط
۵	۳۱ تا ۳۵	ناپایداری زیاد
۶	۳۶ تا ۴۰	ناپایداری بسیار زیاد

شاخص هوای مخرب (*SWEAT*)^۱: این شاخص بیش‌تر در مناطقی که در معرض توفان‌های سهمگین قرار دارند، کاربرد دارد و مقدار آن با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SWEAT = 12(T_{d850}) + 20(TT - 49) + (2F_{850} + F_{500}) + 125[\sin(WD_{500} - WD_{850})] \quad (3)$$

که در آن T_{d850} دمای نقطه شبنم در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکالی (درجه سانتی‌گراد)، F سرعت باد در سطوح ذکر شده (نات)، WD جهت باد در سطوح ذکر شده (درجه) و TT شاخص مجموع مجموع‌ها بوده و برابر است با:

$$TT = (TT_{850} - T_{500}) + (T_{d850} + T_{d500}) \quad (4)$$

در این رابطه نیز T و T_d به ترتیب دما و دمای نقطه شبنم (درجه‌ی سانتی‌گراد) در سطوح ذکر شده هستند. در مورد این شاخص، مقادیر کمتر از ۳۰۰ نشان دهنده ناپایداری ضعیف، ۳۰۰ تا ۳۹۹ ناپایداری متوسط، ۴۰۰ تا ۵۹۹ ناپایداری زیاد و بیشتر از ۶۰۰ ناپایداری خیلی زیاد می‌باشد (*McIntosh Vtam*، ۱۹۶۹؛ *Mc Kelvin*، ۱۹۹۲؛ ۴۹۷). (جدول شماره ۳).

جدول ۳- مقیاس طبقه بندی شاخص *SWEAT* برای احتمال وقوع توفان

ردیف	مقدار شاخص <i>SWEAT</i>	وضعیت احتمالی جو
۱	کمتر از ۳۰۰	ناپایداری ضعیف
۲	۳۰۰ تا ۳۹۹	ناپایداری متوسط
۳	۴۰۰ تا ۵۹۹	ناپایداری متوسط
۴	بیشتر از ۶۰۰	ناپایداری خیلی زیاد

منبع: مک اینتاش وتام، ۱۹۶۹؛ مک کلونین، ۱۹۹۲.

بحث و یافته‌های تحقیق:

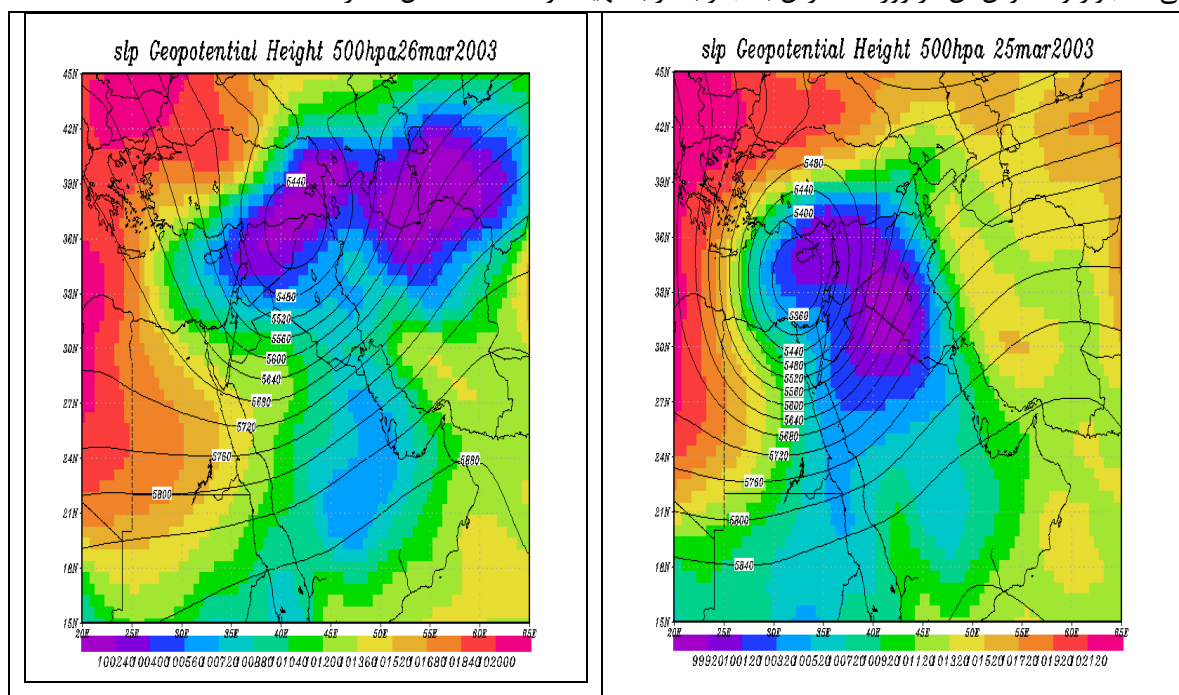
تحلیل مقیاس همدید رویداد گرد و غبار:

بررسی شرایط مقیاس همدید رویداد گردوغباری مارس نشان می‌دهد که، همزمان با شکل‌گیری اولین هسته گردوغبار در عراق و شرق سوریه (روز ۲۵)، ناوه عمیقی با ارتفاع هسته مرکزی ۵۳۵۰ متر مشخص است که اختلاف آن با بیرونی‌ترین هم ارتفاع ۵۰۰ دکامتر می‌باشد. (شکل ۲- الف)، این اختلاف ارتفاع زیاد سبب ایجاد گرادیان شدید و ناپایداری قابل ملاحظه‌ای گردیده و فشردگی منحنی‌های هم ارتفاع بیانگر شیب حرارتی زیاد و بالا بودن سرعت باد می‌باشد. این ناوه دارای محوری با امتداد تقریباً نصف‌النهاری که از جنوب دریای سیاه تا بیابانهای آفریقا (سودان) کشیده شده و همراه خود هوای سرد عرض‌های بالا را به سوی منطقه سرازیر می‌نماید. در این روز بیابان‌های شمال صحرائ عربستان و جنوب عراق در زیر شرق محور فرود (ناپایدارترین قسمت آن) قرار داشته، این فرود با کمی جابجایی به سمت شرق، مرکز آن بر شمال عراق مستقر می‌باشد. محور فرود در این روز به صورت نسبتاً نصف‌النهاری از غرب سوریه تا شمال شرق آفریقا کشیده شده است. استقرار محور فرود در این روز بر این مناطق و قرارگیری بیابان‌های شمال عربستان و نواحی جنوب عراق در زیر ناپایدارترین بخش فرود، شرایط برای برداشت و انتقال گردوغبارهای ناشی از این بیابان‌ها به منطقه‌ی جنوب غرب ایران فراهم می‌آورد. (شکل ۲- ب). در روز ۲۵ هوای سرد عرض‌های شمالی به سمت عرض‌های جنوبی سرازیر گردیده و پس از رسیدن بر بالای بیابان‌های شمال صحرائ آفریقا و گرم شدن به سمت شمال شرق هدایت شده است. در این روز سرعت باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه رسیده و منجر به شکل‌گیری رودباد جبهه قطبی^۲ درون سیستم‌های مهاجر بادهای غربی شده است. این رودباد توانسته است با ایجاد ناپایداری در سطح زمین منجر به شکل‌گیری پدیده‌ی گردوغبار با منشأ بیابان‌های شمال آفریقا، شمال عربستان، عراق و گسترش آن در ۲۶ مارس به سمت جنوب غرب ایران شود. در این روز هسته پیشینه رودباد با سرعت ۳۵ متر بر ثانیه از شمال دریای سرخ تا جنوب غرب ایران کشیده شده و شرایط را برای انتقال گردوغبار فراهم نماید که بردارهای سرعت باد نیز، این وضعیت را به روشنی نشان می‌دهند. (شکل شماره ۳). در سطح زمین جریان باد با سرعت حداکثر ۱۰ متر بر ثانیه (۳۶

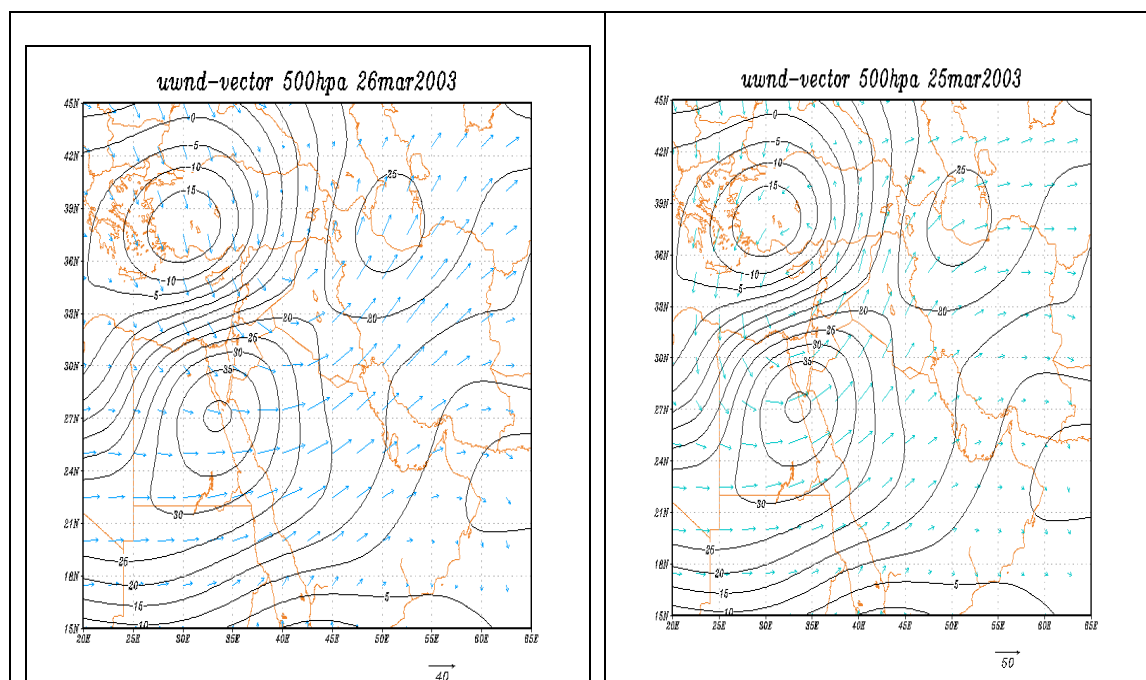
^۱. Storm Weather

^۲. polar front Jet (stream)

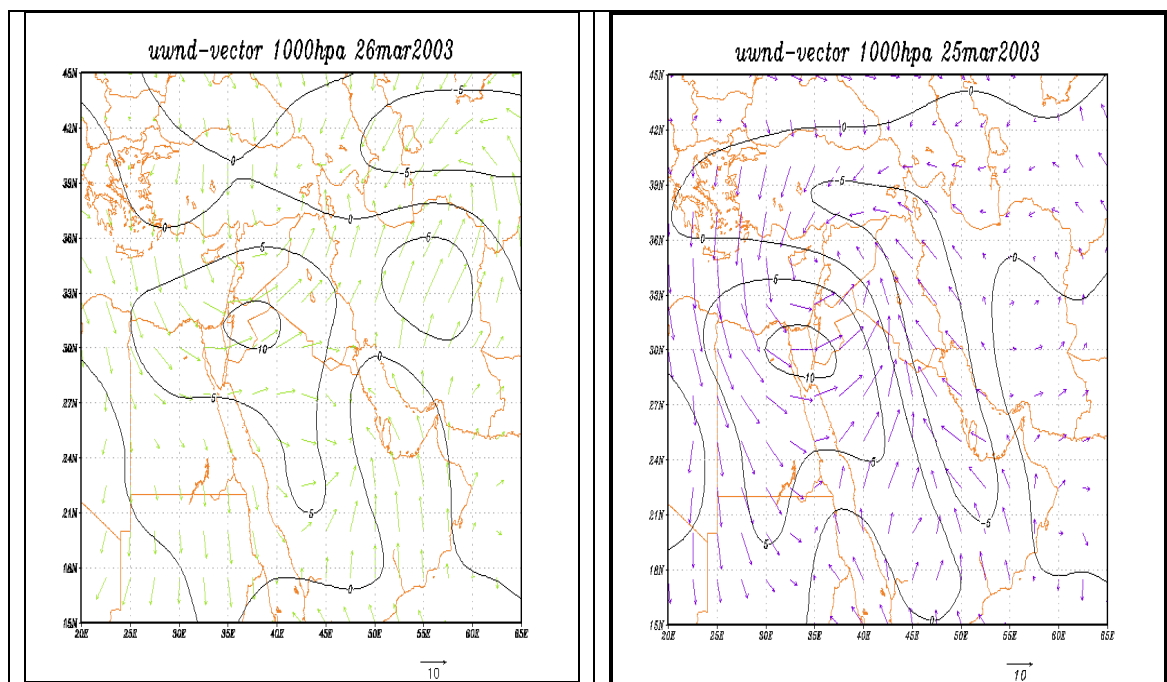
کیلومتر بر ساعت) از سمت بیابان‌های شمال آفریقا به سمت عراق در حال وزش می‌باشد. فراهم بودن شرایط محیطی سطح زمین از جمله خشک و ریزدانه بودن ذرات خاک مناطق مذکور، زمینه را برای ایجاد پدیده‌ی گرد و غبار روز ۲۵ در کشورهای عربی همجوار و گسترش آن در روز ۲۶ مارس به جنوب غرب مهیا نموده است. (شکل شماره ۴).



شکل ۲- نقشه ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به روزه های گردوغبار

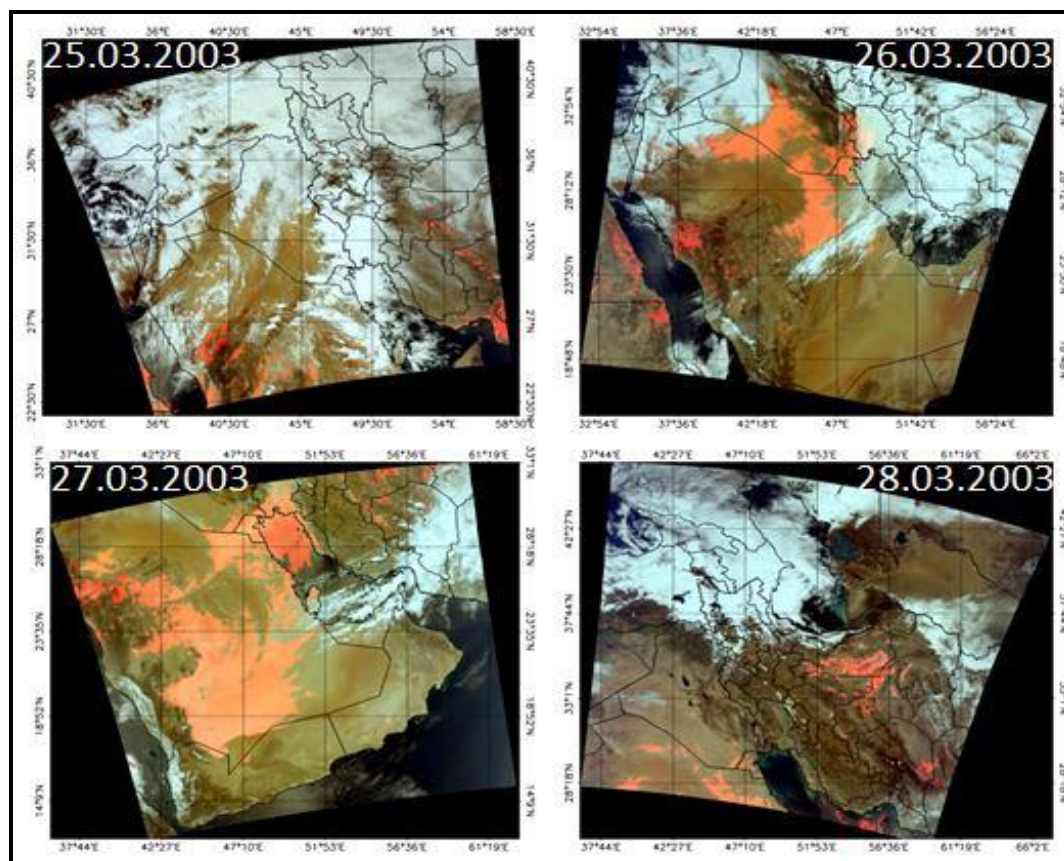


شکل ۳- نقشه بردار باد و خطوط هم سرعت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به روزه های گردوغباری



شکل ۴- نقشه بردار باد و خطوط هم سرعت متوسط تراز سطح دریا مربوط به روزهای گردوغباری

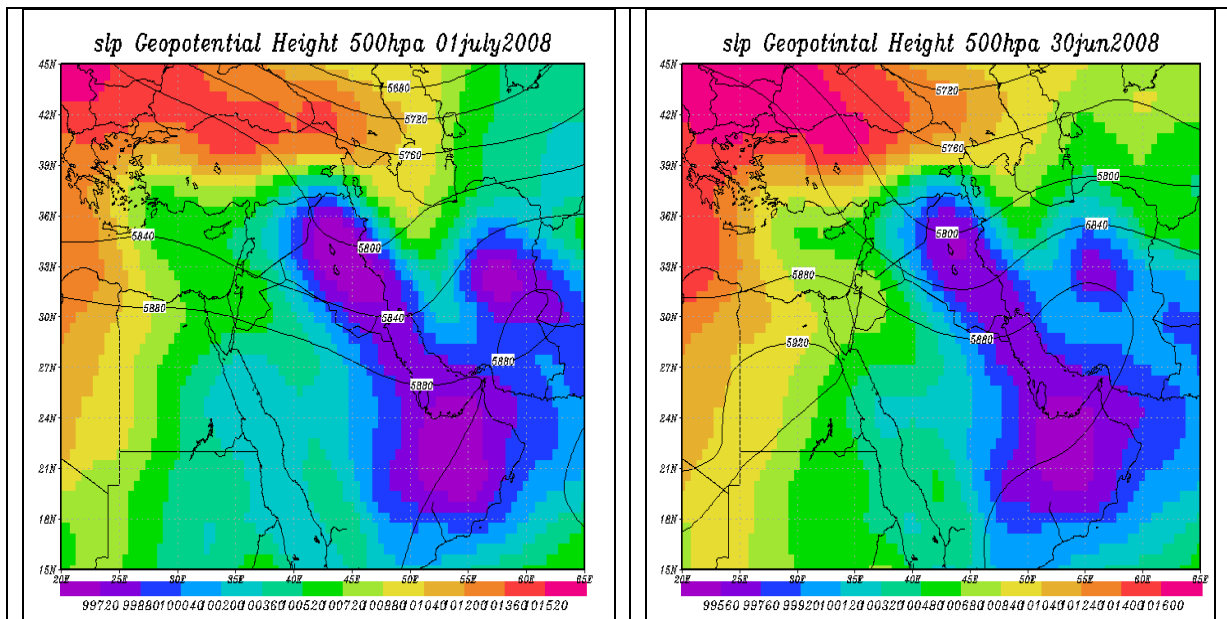
برای بارزسازی پدیده‌ی گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه همزمان با شکل‌گیری اولین هسته گرد و غبار در نواحی خارج از منطقه‌ی تصاویر ماهواره‌ای از سایت *MODIS* اخذ گردید و طی مدت زمان حضور این پدیده در منطقه تا خروج آن، مورد پردازش قرار گرفت و در نهایت پدیده‌ی گردوغبار روی تصاویر به رنگ قرمز نشان داده شد. (شکل شماره ۵). تصاویر حاصل از بارزسازی گرد و غبار در منطقه‌ی منشأ و ورود آن به منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در ابتدا هسته‌های اولیه گرد و غبار در غرب عربستان مشاهده می‌شود. با توجه به جهت حرکت ابرها بر روی این تصاویر جهت باد به سمت شرق است که باعث انتقال گرد و غبار به این سمت شده است. در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳ سیکلونی بر روی ترکیه شکل گرفته است؛ که حرکت پادساعت گرد این سیستم باعث انتقال گرد و غبارهای بلند شده از نواحی بیابانی عربستان و عراق به سمت شرق شده است. به طوری که در این روز در جهت حرکت ابرها از شرق عربستان گرد و غبار به نواحی مرزی استان خوزستان و جنوب ایلام نفوذ کرده است. در ادامه با جابه‌جایی این سیکلون به عرض‌های بالاتر، گرد و غبار وارد شده به منطقه‌ی محدود به نواحی جنوبی خوزستان و قسمتی از بوشهر و خلیج فارس می‌شود. در نهایت با قطع جریان‌های ورودی از منبع تغذیه گرد و غبار این پدیده در روز ۲۸ مارس به پایان رسیده است.



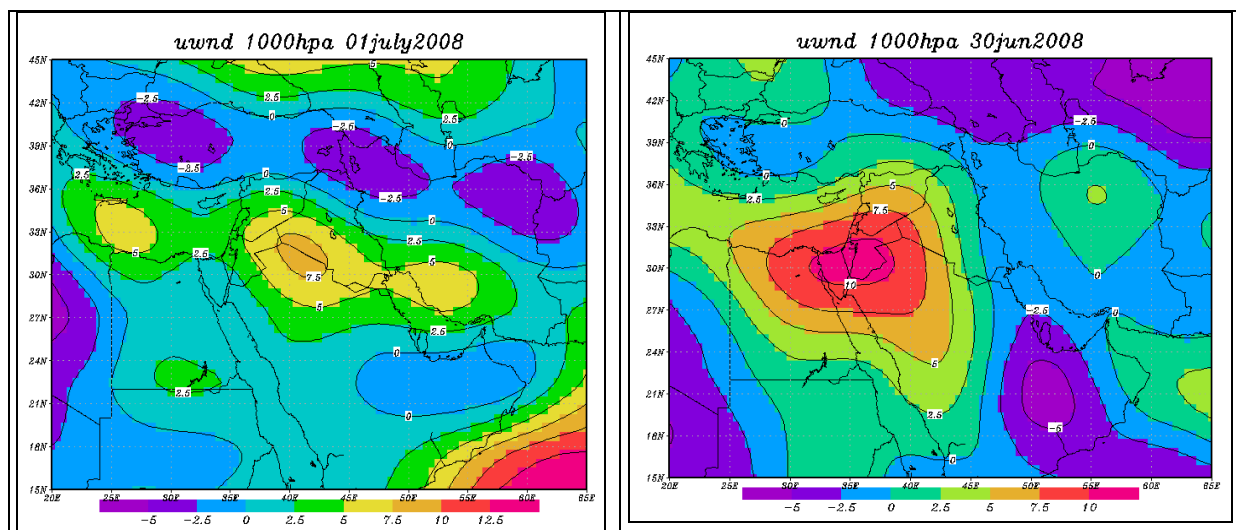
شکل ۵- بارزسازی گرد و غبار از طریق ویژگی‌های دمای درخشایی سنجنده MODIS (مورد ۲۵ الی ۲۸ مارس ۲۰۰۳).

بررسی شرایط مقیاس همدید رویداد گردوغباری در نمونه جولای ۲۰۰۸ نشان می‌دهد، در روز ۳۰ ژوئن بر روی نقشه فشار تراز دریا یک هسته کم فشار بر روی مناطق شرقی عراق با مرکز ۹۹۵ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. زبان‌های این کم فشار از روی عربستان و دریای سرخ عبور می‌کند. همزمان سامانه کم فشار حرارتی بر روی شرق عربستان و جنوب خلیج فارس با مرکز ۹۹۲٫۵ هکتوپاسکال مستقر است. همچنین یک هسته کم فشار در شرق کشور با مرکز ۹۹۵ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که زبان‌های آن شمال کشور را تحت تأثیر قرار داده است. در شمال ایران نیز زبان‌های سامانه پرفشار مشاهده می‌شود که تا مرکز کشور نفوذ کرده است. گرادیان فشاری شدیدی بر روی شمال عراق و شرق سوریه دیده می‌شود که خود باعث ایجاد باد در سطح زمین خواهد شد. بر روی مناطق جنوب غرب ایران گرادیان فشار بسیار ضعیف می‌باشد. با توجه به وجود مرکز کم فشار بر روی عراق، همگرایی و حرکات صعودی در منطقه وجود داشته و موجب صعود ذرات گردوغبار از سطح زمین می‌شود. الگوی نقشه نشان می‌دهد که بر روی سوریه، اردن، عربستان و شرق عراق جریانات شمال غربی حاکم می‌باشد. در غرب عراق و مناطق غربی ایران نیز جریانات جنوبی حاکم است. در این روز ناوه نسبتاً عمیقی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مناطق شرقی دریای مدیترانه با مرکز ۵۶۰۰ ژئوپتاسیل در شمال شرق دریای سیاه مشاهده می‌شود. خط ناوه آن به حالت نصف النهاری به سوی جنوب کشیده شده است و از روی مناطق مرکزی عراق و شرق عربستان عبور می‌کند. امواج متأثر از این سامانه حرکت غرب به شرق دارد. مناطق شرقی عراق و غربی ایران در جلوی خط ناوه این سامانه کم ارتفاع می‌باشند که مطابق اثر دینامیکی مورد انتظار برای این الگو، این مناطق درگیر فرارفت تاوایی مثبت می‌باشند که سبب توسعه چرخند در لایه زیرین و حرکت در راستای قائم می‌شود. این شرایط سبب شد تا شرایط برای شکل‌گیری چشمه گردوغبار در عراق فراهم شود. زبان‌های سامانه پر ارتفاع جنب حاره‌ای نیز بخش‌های مرکزی و جنوبی کشور را تحت تأثیر قرار داده است. از سوی دیگر گذر امواج غرب به شرق در سطوح فوقانی جو سبب می‌شود تا امکان انتقال ذرات گردوغبار به سمت نواحی جنوب غرب و غرب ایران فراهم گردد. (شکل شماره ۶).

در روز ۱ جولای زبانه‌های سامانه کم فشار حرارتی مستقر بر روی عربستان و جنوب خلیج فارس، مناطق جنوب غرب و غرب کشور و بخش وسیعی از کشور عراق را تحت تأثیر قرار داده است، که شرایط ایجاد گردوغبار در جنوب غرب کشور را فراهم می‌سازد. در این روز هسته کم فشار ۹۹۵ هکتوپاسکالی بر روی عراق ضمن تضعیف تبدیل به هسته ۹۹۷٫۵ هکتوپاسکالی شده که زبانه‌های آن تا جنوب خلیج فارس کشیده شده است. با توجه به تضعیف این سامانه کم فشار بر روی عراق حرکت فرونشینی هوا را در این منطقه داریم، به عبارتی چشمه تشکیل گردوغبار در عراق قطع شده است. هسته کم فشار بر روی ایران نیز به سمت شرق حرکت کرده که زبانه‌های آن مناطق شرقی و جنوب و غرب کشور را تحت تأثیر قرار داده است. بر روی جنوب غرب کشور گرادیان فشار وجود دارد که خود باعث ایجاد باد در سطح زمین و صعود ذرات گردوغبار می‌شود. در این روز ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی ضمن تقویت به سمت شرق حرکت کرده است که امواج ناپایدار آن از شمال غرب تا جنوب غرب کشور را تحت تأثیر قرار داده است. محور ناوه در امتداد نصف‌النهار از مرزهای غربی کشور به سمت جنوب تا روی کویت و شرق عربستان ادامه دارد. این شرایط سبب می‌شود تا بیشتر ایستگاه‌ها گزارش کاهش دید ناشی از توفان گردوغبار را اعلام نمایند و ذرات گردوغبار محدوده وسیعی از نواحی غربی و جنوب غربی کشور را در برگیرد. این تغییر وضعیت نشان می‌دهد که منطقه تاوایی مثبت از روی عراق عبور کرده و وارد نیمه غربی کشور شده است و عملاً بر روی عراق فرارفت تاوایی منفی حاکم است. بنابراین چشمه تولید گردوغبار بر روی عراق غیرفعال شده است. به طور کلی با عمیق شدن ناوه سطح میانی جو و با توجه به موقعیت و توان کم فشار سطح زمین گردوغبارها در جنوب غرب شدت گرفت. با نزدیکی و تأثیر بیشتر ناوه، شاهد تقویت ارتفاع ژئوپتانسیلی بر روی مناطق جنوب غرب هستیم، با توجه به اینکه خط هم‌تراز ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متری آن روی جنوب غرب کشور تقویت شده است. محور پشته از مرزهای شرقی کشور عبور کرده و شاهد نفوذ پشته در نیمه شرقی کشور می‌باشیم. (شکل ۶). در روز ۳۰ ژوئن در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، که عملاً در مجاورت سطح زمین قرار دارد؛ مؤلفه باد مداری غربی با مقدار حداکثر 10 m/s بر روی غرب عراق مشاهده می‌شود. هرچه از سمت غرب عراق به سمت شرق حرکت کنیم مؤلفه باد مداری ضعیف می‌شود. بر روی مناطق غربی کشور مؤلفه باد مداری با حداکثر 8 m/s دیده می‌شود (بادهای مداری غربی). در این روز مناطق غرب کشور تحت تأثیر بادهای مداری غربی است. در روز ۱ جولای در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مؤلفه باد مداری غربی بر روی عراق کاهش نشان داده است و با حداکثر 8 m/s در مناطق جنوب غرب عراق مشاهده می‌شود که نشان دهنده غیرفعال شدن چشمه گردوغبار بر روی عراق می‌باشد. همچنین در این روز شاهد گسترش بادهای مداری غربی بر روی مناطق مرکزی و جنوبی کشور هستیم. (شکل شماره ۷).

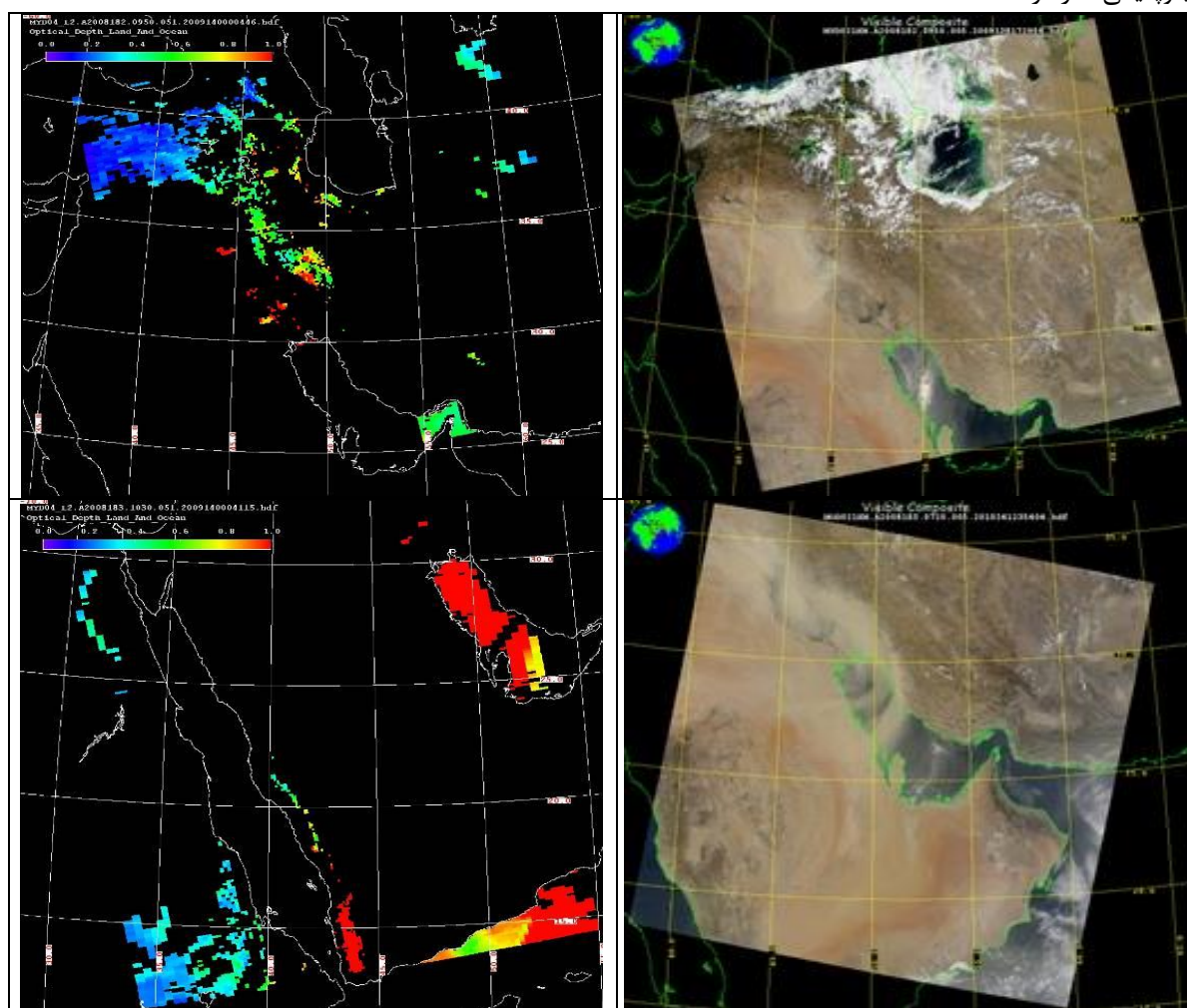


شکل ۶- نقشه ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به روزه های گردوغبار



شکل ۷- نقشه ترکیبی باد مداری تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال، روزهای گردوغباری

شکل شماره ۸ تصویر ماهواره‌ای سنجده مودیس قوی گردوغباری را نشان می‌دهد که در جنوب غرب کشور مستقر و باعث ایجاد گردوغبار شدید در این منطقه شده و منجر به دید بسیار کم شده که این امر با مشاهدات زمینی و تحلیل‌های سینوپتیکی سازگار است.



شکل ۸- تصویر ماهواره ای سنجنده مادیس در روز ۳۰ ژوئن (بالا) و ۱ جولای ۲۰۰۸ (پایین) (سمت راست RGB و سمت چپ AOD)

مطالعه شاخص‌های ناپایداری:

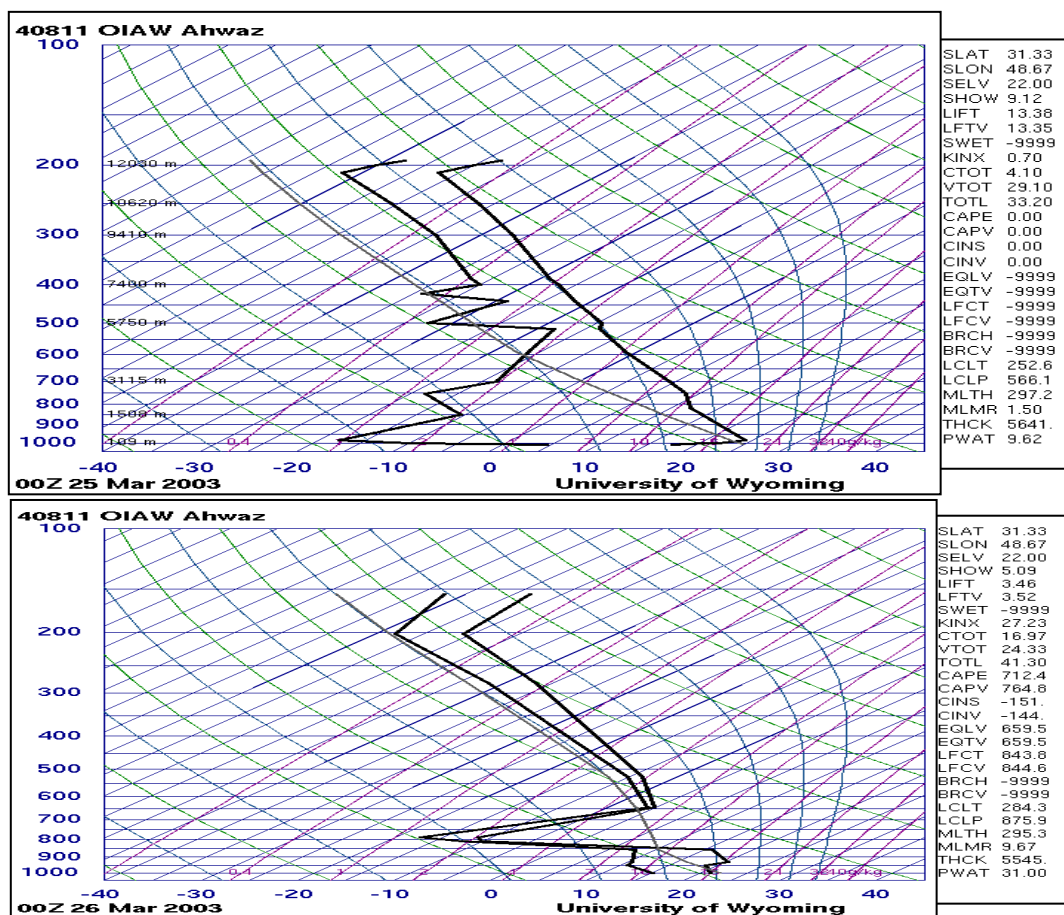
محاسبه شاخص‌های یاد شده برای ایستگاه اهواز نشان می‌دهد که در روز ۲۶ مارس ناپایداری هوا در این ایستگاه شدید است. مقادیر عددی این شاخص‌ها برای نمونه اول، در روز قبل از توفان و روز توفان در جدول شماره ۴ ذکر شده است. نمودار اسکویوتی ترسیم شده برای این ایستگاه نشانگر ناپایداری متوسط هوا در روز رخداد توفان است. نتایج نشان می‌دهد ارتفاع سطح LCL در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳ نسبت به روز ۲۵ مارس ۲۰۰۹/۸ میلی بار پایین‌تر بوده این شرایط بیان کننده وضعیت مناسب ناپایداری در روز وقوع توفان می‌باشد. بنابراین در روز ۲۶ مارس اختلاف ارتفاع سطح همرفت آزاد ($843/8$) و سطح تراکم صعود ($875/9$) بسیار کم می‌باشد که نشان از وجود همرفت شدید در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به مقدار عددی شاخص شوالتر (SI) در روز ۲۵ و ۲۶ مارس عدم وقوع بارش‌های همرفتی پیش‌بینی شده است. با توجه به شاخص KI احتمال وقوع توفان در ایستگاه اهواز در ساعت $OOUTC$ روز ۲۵ مارس نزدیک به صفر بوده است که احتمال مذکور در روز وقوع توفان بین ۴۰ تا ۶۰ درصد افزایش یافته است. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده تشدید حرکات همرفتی در روز وقوع توفان (۲۶ مارس) می‌باشد. و این شاخص توانسته است حداکثر ۶۰ درصد وقوع توفان را برای ۲۶ مارس پیش‌بینی نماید. بر اساس محاسبات انجام گرفته مقدار عددی THI در ۲۵ و ۲۶ مارس ۲۰۰۳ نشان دهنده حرکات همرفتی ضعیف برای ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد. مقادیر مورد محاسبه برای شاخص (LI) گویای پایداری هوا در روزهای ۲۵ و ۲۶ مارس است. البته در روز ۲۶ مارس مقدار عددی شاخص LI نسبت به روز قبل کاهش چشمگیری داشته است و این موضوع بیانگر مناسب بودن شرایط ناپایداری در روز وقوع توفان می‌باشد. میزان آب قابل بارش در روز ۲۵ مارس برابر با ۹/۶۲ میلی متر و در روز ۲۶ مارس برابر با ۳۱ میلی متر بوده این وضعیت نشان می‌دهد که توفان بوقوع پیوسته از نوع توفان‌های بسیار مرطوب می‌باشد. با توجه به اطلاعات فوق در خصوص ناپایداری جوی در ایستگاه اهواز معلوم می‌شود که احتمال وقوع توفان در روز ۲۶ مارس مهیا بوده و به تدریج شرایط ناپایداری از روز قبل از توفان تقویت و تشدید شده است.

با توجه به شکل شماره ۹ نمودار اسکویوتی معلوم می‌شود که در ساعت $OOUTC$ ، ۲۶ مارس ۲۰۰۳، به علت قطع شدن خط دمای محیط و خط دمای نقطه شبنم در ترازهای ۸۵۰۰، ۸۰۰۰ و ۹۰۰ هکتوپاسکال، هوا ناپایدار گردیده است. که از نقاط یا ترازهای فوقانی جوی مذکور به عنوان ترازهای ناپایداری جوی در ساعت OO می‌توان یاد کرد. در سه تراز یاد شده حرکات قائم و همرفتی جو در شدیدترین حالت خود بوده است. با توجه به نمودار، ناپایداری جو تشدید شده و تا ارتفاعات بالای جو گسترش یافته که این امر حاکی از تشدید حرکات همرفتی و قائم جوی است که زمینه ساز اصلی وقوع توفان می‌باشد. از میان شاخص‌های پیش‌بینی کننده توفان در این تحقیق شاخص صعود (LI) نسبت به دیگر شاخص‌ها برای منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد. نمودار اسکویوتی ترسیم شده برای ایستگاه جو بالای کرمانشاه نشانگر این است، مقادیر عددی این شاخص‌ها گویای پایداری هوا در روزهای ۲۵ و ۲۶ مارس می‌باشد البته مقدار شاخص (LI) در روز ۲۶ مارس نسبت به روز قبل افزایش پیدا کرده؛ این موضوع بیانگر مناسب بودن شرایط پایداری در روز وقوع توفان می‌باشد. در شکل ۱۰ نیز مشاهده می‌شود اختلاف بین منحنی سونداژ دمایی با دمای نقطه شبنم حاکی از خشکی شدید هوا و آب بارش شوی ناچیز هوا ($3/6$ میلی‌متر) در ستون هوای صعودی است. شرایط پایداری هوا تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال افزایش می‌یابد فقط از این تراز به بالاست که از شدت پایداری هوا بتدریج کاسته می‌شود. نکته قابل توجه دیگر در این نمودار وقوع بادهای سطح فوقانی زمین در ترازهای ۹۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال و بادهای خیلی شدید در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. با توجه به نقشه‌های امگا در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۶ مارس مشخص می‌کند، در این روز یک ناپایداری خیلی شدیدی بر روی شمال عربستان، خلیج فارس و بخشی از جنوب غرب ایران دیده می‌شود. ناپایداری و تمایل به صعود هوای زیر قسمت جلوی فرود به دلیل واگرایی بالایی آن زیاد بوده و هوای خشکی را که فاقد رطوبت بوده و بر روی بیابان‌های شمال عربستان و عراق مستقر بوده است، در زیر منطقه‌ی وزش چرخندگی مثبت این فرود صعود نموده و ایجاد گردوخاک شدید در این مناطق و منطقه‌ی مورد مطالعه نموده است. (شکل شماره ۱۱).

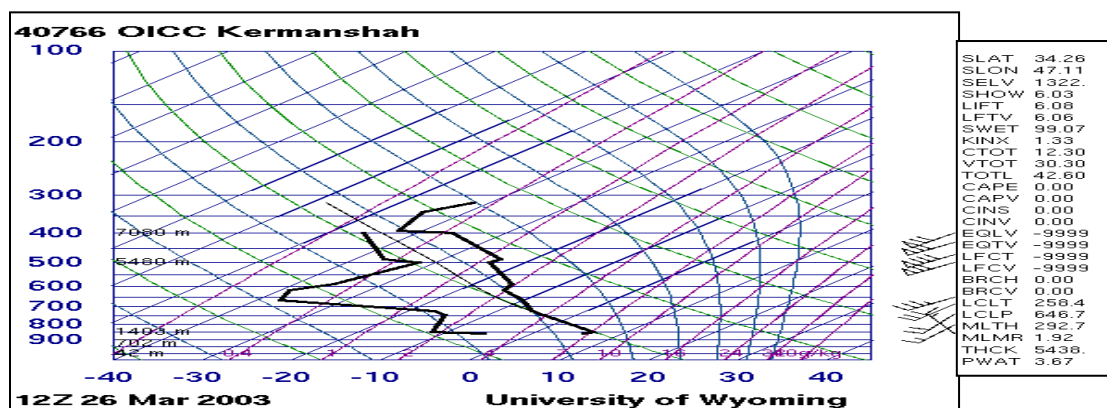
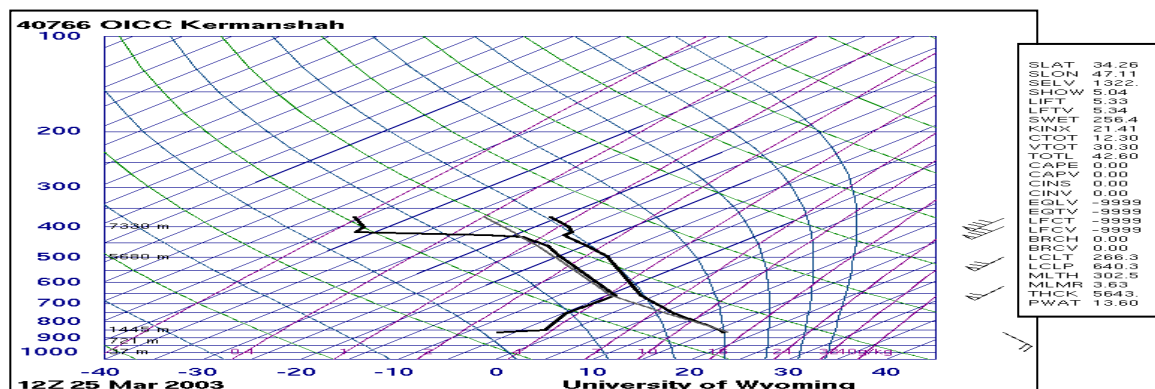
جدول ۴- مقادیر شاخص های ناپایداری محاسبه شده با استفاده از نمودارهای اسکیتوی در روزهای ۲۵ و ۲۶ مارس ۲۰۰۳ ایستگاه جوبالا کرمانشاه واهواز

TOTL	SWEAT	SHOW	KINX	CAPE	LIFT	FCL	LCL	ساعت	زمان	ایستگاه
۳۳/۲۰	-	۹/۱۲	.۷۰	-	۱۳/۳۸	-	۵۶۶/۱	۰	روز قبل طوفان	اهواز
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۲		
۴۱/۳۰	-	۵/۰۹	۲۷/۲۳	۷۱۲/۴	۳/۴۶	۸۴۳/۸	۸۷۵/۹	۰	روز طوفان	
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۲		
-	-	-	-	-	-	-	-	۰	روز قبل طوفان	کرمانشاه
۴۲/۶۰	۲۵۶/۴	۵/۰۴	۲۱/۴۱	-	۵/۳۳	-	۶۴۰/۳	۱۲		
-	-	-	-	-	-	-	-	۰	روز طوفان	
۴۲/۶۰	۹۹/۰۷	۶/۰۳	۱/۳۳	-	۶/۰۸	-	۶۴۶/۷	۱۲		

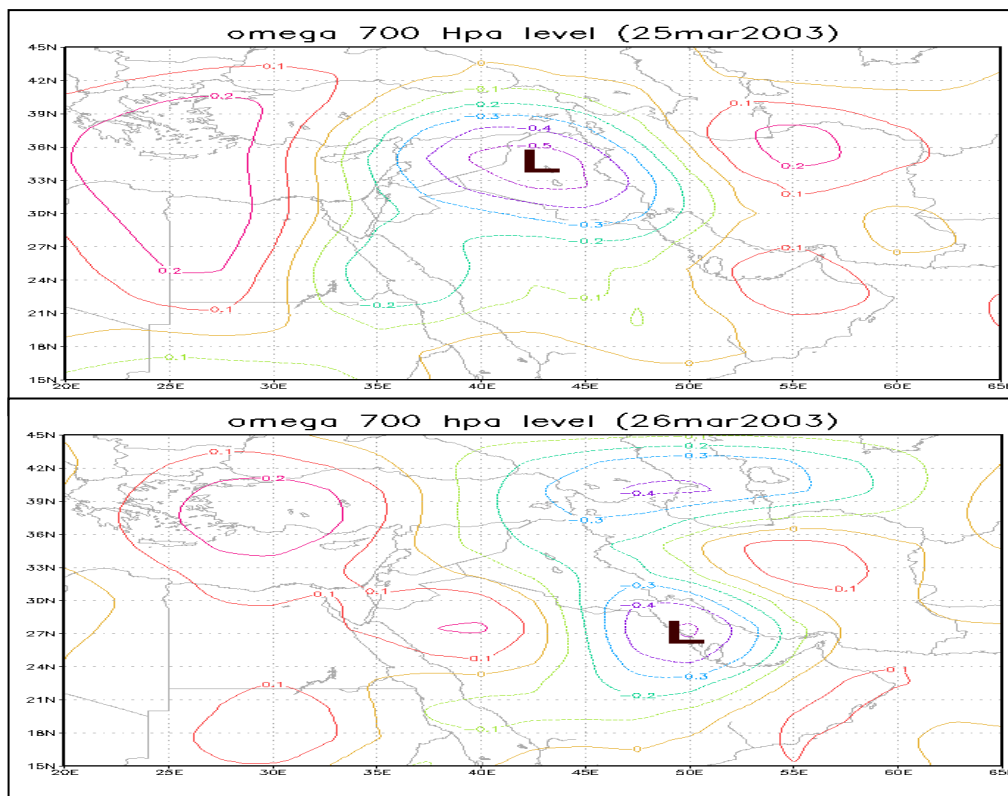
منبع: یافته های تحقیق، ۱۳۹۳.



شکل ۹- نمودار اسکیتوی ایستگاه جوبالا اهواز در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۳ برای ساعت ۰۰outc، روز قبل از توفان ۲۶ مارس ۲۰۰۳ برای ساعت ۰۰outc، روز اوج توفان



شکل ۱۰- نمودار های اسکیتوی ایستگاه جوپالا کرمانشاه در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۳ برای ساعت 12utc، روز قبل از توفان و در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳ برای ساعت 12utc، روز اوج توفان



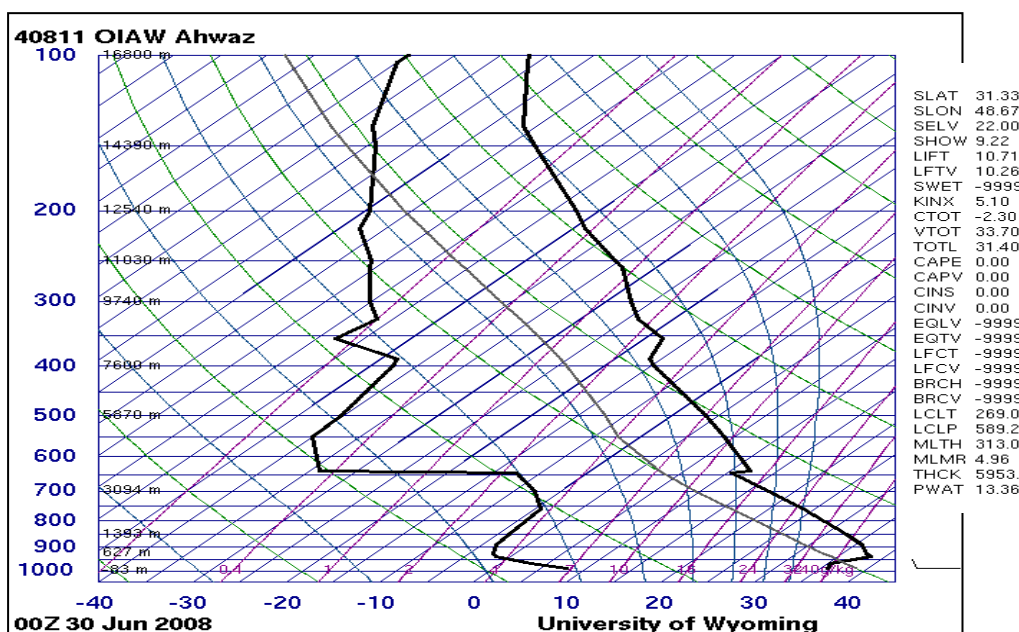
شکل ۱۱- نقشه ی آمگای (ω) سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۵ و ۲۶ مارس ۲۰۰۳

در موج گردوغباری ۳۰ ژوئن تا ۱ جولای ۲۰۰۸ با مطالعه شاخص‌های ناپایداری با استفاده از نموداراسکیوتی ایستگاه جو بالا اهواز، پایداری هوا در روز ۳۰ ژوئن محاسبه گردید ولی در روز ۱ جولای ۲۰۰۸ بدلیل نقص فنی و یا عدم گزارش دیده بانی، برای ساعت 00UTC و 12UTC محاسبات صورت نگرفته است. (شکل شماره ۱۲). در ایستگاه جو بالا کرمانشاه، در روز ۳۰ ژوئن وضعیت برای ناپایداری جو مناسب بوده و بعضی از شاخص‌ها مثل آب قابل بارش و سطح LCL مشخص کننده ناپایداری ضعیف در این روز می‌باشد، برای ۱ جولای شاخص KI و LI بیان کننده ناپایداری ضعیف بوده که احتمال وقوع توفان در این روز می‌باشد. (شکل ۱۳). در تکمیل این شرایط نقشه‌های اُمگای سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای ۱ جولای ۲۰۰۸ نشان می‌دهد، ناپایداری از سمت غرب و جنوب غرب کاهش یافته و ناپایداری به سمت شرق کشور کشیده شده است. ایجاد ناپایداری و صعود هوا توسط این سامانه‌ی باعث بلند شدن مقدار زیادی گردوغبار از بیابان‌های شمال عربستان و جنوب عراق شده و پس طی مسافتی بر منطقه ی مورد مطالعه وارد شده است. (شکل شماره ۱۴).

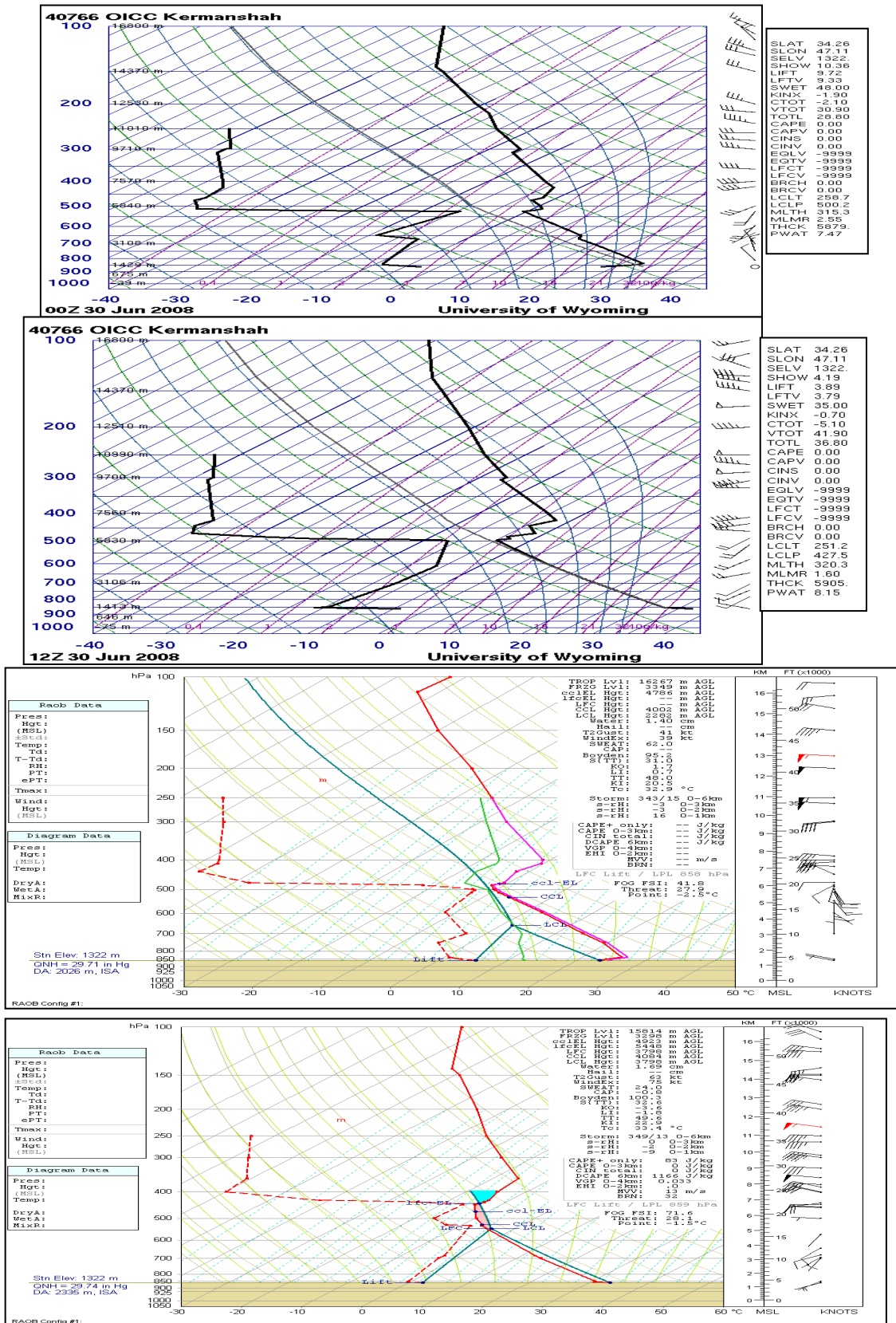
جدول ۵- مقادیر شاخص های ناپایداری محاسبه شده با استفاده از نقشه های اسکیوتی در روزهای ۳۰ ژوئن تا ۱ جولای ۲۰۰۸ ایستگاه جو بالا کرمانشاه

TOTL	SWEAT	SHOW	KINX	CAPE	LIFT	FCL	LCL	ساعت	زمان
۲۸/۸۰	۴۸/۰۰	۱۰/۳۶	-۱/۹۰	-	۹/۷۲	-	۵۰۰/۲	۰	روز قبل از توفان
۳۶/۸۰	۳۵/۰۰	۴/۱۹	-۰/۷۰	-	۳/۸۹	-	۴۲۷/۵	۱۲	
۴۸/۰۰	۶۱/۹۹	۱/۲۷	۲۰/۵۰	-	۰/۹۳	-	۵۸۸/۰	۰	روز توفان
۴۹/۶	۲۴/۰	-	۲۲/۹	-۱/۸	-	-	-	۱۲	

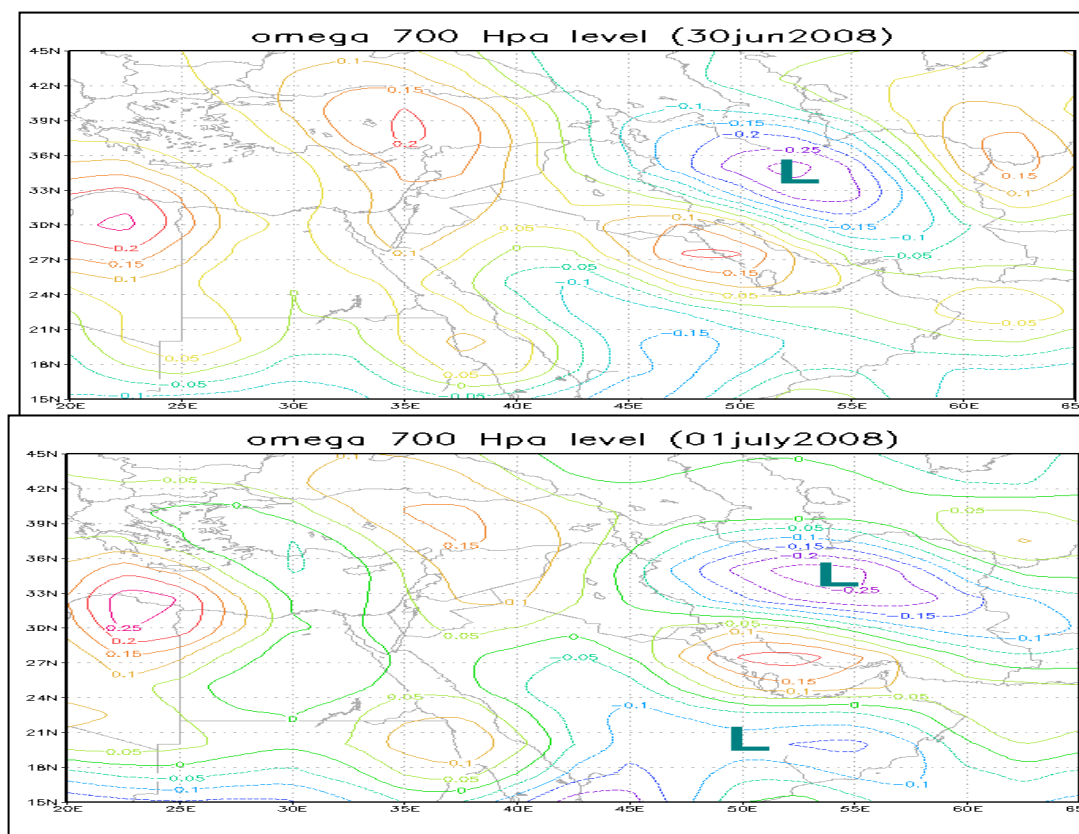
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳.



شکل ۱۲- نمودار اسکیوتی ایستگاه جو بالا اهواز در روز ۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ ساعت 00UTC



شکل ۱۳- نمودار اسکیتونی ایستگاه جو بالا کرمانشاه در روز ۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ ساعت ۰۰ UTC و ۱۲ UTC و ۱ جولای ۲۰۰۸ ساعت ۰۰ UTC (با استفاده از نرم افزار RAOB)



شکل ۱۴- نقشه اُمگای (ω) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، روز ۳۰ ژوئن و ۱ جولای ۲۰۰۸

نتیجه گیری:

تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل سینوپتیکی از وقوع پدیده گردوغبار در استان ایلام در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ ارائه داده است. به طور کلی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل الگوهای همدیدی سطوح میانی جو و سطح زمین، و نمودارهای ترمودینامیک در روزهای قبل از شروع گردوغبار، روز اوج آن نشان داد که:

- در سامانه های گردوغباری که در ماه مارس و ماه های سرد سال به وقوع پیوسته اند الگوهای همدیدی تراز میانی جو (سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال) عامل مهم ایجاد کننده پدیده گردوغبار در منطقه ی مورد مطالعه بوده است. البته در صورتی که رطوبت کافی برای ایجاد بارش وجود نداشته باشد.

- در دوره گرم سال، سامانه های همدیدی مؤثر بر وقوع توفان در سطح زمین سامانه های کم فشار مستقر بر روی عراق و کم فشار حرارتی عربستان شناسایی شد که زبانه های آنها جنوب غرب کشور را تحت تأثیر قرار می دهند. در تراز میانی جو سامانه پراتفاح جنب حاره ای روی جنوب غرب ایران همزمان با فعالیت ناوه روی شرق مدیترانه، عامل شکل گیری این پدیده در این منطقه است. استقرار کم فشار حرارتی عربستان و کم فشار مستقر بر روی عراق سبب صعود ذرات گردوغبار به جو منطقه می شود که با توجه به غربی بودن جریانات مداری این ذرات به مناطق غربی و جنوب غرب کشور منتقل می شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پیشروی ناوه به سمت نیمه غربی کشور ناپایداری جوی در مناطق بیابانی را تولید می کند و جاگیری مرکز پراتفاح جنب حاره روی ایران شرایط ایجاد و نشست گردوغبار را در جنوب غرب کشور فراهم می آورد.

منابع و مآخذ:

۱. حسین زاده، رضا (۱۳۷۶): «بادهای ۱۲۰ روزه سیستان»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، اصفهان، صص ۱۰۳-۱۲۷.
۲. ذوالفقاری، حسن و حیدر عابدزاده (۱۳۸۴): «تحلیل سینوپتیک سیستم های گردوغبار در غرب ایران»، دو فصلنامه جغرافیا و

- توسعه، دوره ۳، شماره پیاپی ۶، زاهدان، صص ۱۷۳-۱۸۸.
۳. قائمی، هوشنگ و محمود عدل (۱۳۸۵): جزوء ناپایداری و طوفانهای رعد وبرق، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
 ۴. عطایی، هوشمند (۱۳۸۹): «بررسی گردوغبار به عنوان یکی از معضلات زیست محیطی جهان اسلام (مطالعه موردی استان خوزستان)»، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.
 ۵. علیجانی، بهلول (۱۳۷۶): آب وهوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ نهم، تهران
 ۶. صادقی حسینی، علی و رضائیان، محسن (۱۳۸۵): «بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری ابرهای همرفتی اصفهان»، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک جلد دوم، تهران، صص ۸۳-۹۸.
 ۷. یزدان پناه، حجت اله و مسعود مرادی (۱۳۸۹): «بررسی شرایط سینوپتیکی ایجاد گردوغبار در سنجندج»، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفانهای گردوغبار، دانشگاه یزد.
 8. Barkan, J., et al. (2005): *Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe*, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110, pp: 1-14.
 9. Haiping, L., X. Liya and Zh. Dafang., (2003): *Research Progress and Future Development of Remote Sensing Monitoring on Sand-dust Disaster in China. Progress in Geography*. Vol. 22(1). pp: 45-52.
 10. Das, S.K., A. Taori and A. Jayaraman., (2011): *on the role of dust storms in triggering atmospheric gravity waves observed in middle atmosphere. Ann. Geophys.*, 29, doi: 10.5194/angeo-pp:1647-1654.
 11. Barkan, J., (2008): *synoptics patterns associated with dusty and non-dusty seasons in the Sahara. theor. appl. climatolo. vol: 10 pp: 354-364.*
 12. Xu, J., S. Hou, D. Qin, S. Kang, J. Ren, and J. Ming., (2007): *Dust storm activity over the Tibetan Plateau recorded by a shallow ice core from the north slope of Mt. Qomolangma (Everest), Tibet-Himal region” Geophys. Res. Lett.*, 34, L17504, doi: 10.1029/2007GL030853. pp: 1-5.
 13. www.universityofwyoming.edu/departmentofatmosphericscience/weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html. (Mar 2014).
 14. NOAA Earth System Research Laboratory: www.esrl.noaa.gov. (Mar 2014).
 15. Yamamoto, T., M. Yoshino, J. Suzuki, (2007): *The relationship between occurrence of dust events and synoptic climatological condition in East Asia, 1999–2003. J Meteo Soc Japan.*, 85, pp: 81-99.
 16. Weihong, Q., Q. Lingshen and S. Shaoyin., (2001): *Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control. Journal of Climate*, Vol 15, pp: 1216–1229.
 17. Holton J. R., (1993): *An introduction to dynamic meteorology: 3rd edition*, Academic, Press, pp: 511.
 18. Miller R.C., (1972): *Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. Tech. Report 200(R)*, Headquarters, Air Weather Service, Scott Air Force Base, IL 62225, pp: 190.
 19. George J. J., (1960): *Weather Forecasting for Aeronautics*. Academic Press, New York, Vol 87, pp: 673.
 20. McIlveen R., (1992): *Fundamentals of Weather and Climate*, published by Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK, Vol 13, pp: 497.
 21. McInthosh D. H., and Thom A. S., (1969): *Essentials of Meteorology*, Wickham Publications (London) LTD, Vol 96, and pp: 239.

