شناسه: ۱۰۰۵۱

بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع طوفان‌های گرد و غباری تابستانه در جنوب غرب ایران

مفیدی عبّاس[۱*] و جعفری سجّاد[۲]
۱. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
Abbasmofidi@um.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به منظور تبیین علل وقوع طوفان‌های گرد و غباری تابستانه درجنوب غرب ایران و منابع اصلی گرد و غبار آن‌ها، ساختار گردش منطقه‌ای جو مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های ساعتی میزان دید در ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در استان‌های خوزستان و ایلام، تعداد ۳۰ مورد طوفان فراگیر برای یک دوره زمانی شش ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۸) استخراج شد. سپس با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی شده NCEP/NCAR و شاخص آیروسل سنجنده TOMS ویژگی‌های همدیدی هریک از طوفان‌های گرد و غباری از دو روز قبل از وقوع طوفان تا زمان اوج در مقیاس ۶ ساعته مورد بررسی قرار گرفت. تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای هر یک از طوفان‌های گرد و غباری نیز با بهره‌گیری از مدل لاگرانژینی HYSPLIT و با استفاده از روش ردیابی پسگرد به انجام رسید. نتایج تحقیق بیانگر آنست که پرفشار عربستان و تراف زاگرس بیش از هر مؤلفه گردشی دیگری در شکل گیری طوفان‌های مقیاس منطقه‌ای در منطقه خلیج فارس و جنوب غرب ایران نقش دارند. در بررسی الگوهای همدیدی طوفان‌های گرد و غباری، سه الگوی زوجی، ناوه موج غربی و پرفشار بعنوان الگوهای همدیدی اصلی در زمان وقوع طوفان‌ها تعیین گردید. در الگوی زوجی، بدنبال تقویت و گسترش جنوب سوی واچرخند ترکمنستان، شیو افقی باد در ترازهای زیرین جو افزایش می‌یابد که در ادامه با افزایش گردش چرخندی در تراف زاگرس همراه می‌گردد. این فرآیند در یک پسخور مثبت ضمن تقویت همزمان تراف زاگرس و پرفشار عربستان شکل‌گیری یک جت تراز زیرین موسوم به باد شمال را در منطقه همشارش دو سامانه در پی دارد. در الگوی ناوه موج غربی به جهت گسترش و نفوذ ناوه‌ای بر غرب خاورمیانه و شکل‌گیری یک منطقه گردش چرخندی بر شمال عراق و استقرار همزمان پرفشار عربستان بر جانب جنوبی آن، یک شیو افقی شدید باد در امتداد نصف النهاری با جریانات شرق سو از جانب عراق به سمت جنوب غرب ایران همراه می‌گردد. نهایتاً در الگوی پرفشار به سبب قرار گرفتن یک سامانه پرفشار بر روی منطقه جنوب غرب ایران، گرد و غبار از مرکز کم فشاری که در غرب سامانه پرفشار قرار گرفته به داخل سامانه منتقل شده و از طریق پرفشار در سطح منطقه نزول یافته و پخش می‌گردد. خروجی‌های مدل HYSPLIT نشان می‌دهد که بطور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان‌های گرد و غباری جنوب غرب ایران محدوده‌ای در حد فاصل مرکز تا شمال عراق، غرب سوریه تا شمال عربستان می‌باشد. مقایسه بین الگوها آشکار ساخت که الگوی پرفشار از محدودترین و کوچک‌ترین منطقه انتقال ذرات برخوردار است. بهره‌گیری از شاخص AAI نشان می‌دهدکه الگوی زوجی در قیاس با سایر الگوهای همدیدی، بیشترین گسترش افقی گرد و غبار را بر روی خاورمیانه تجربه می‌کند.

کلمات کلیدی:*طوفان گرد و غبار، پرفشار عربستان، تراف زاگرس، باد شمال، مدل HYSPLIT و جنوب غرب ایران.*

مقدمه

امروزه طوفان های گرد و غباری یکی از مخاطرات محیطی محسوب می گردند که آسایش ساکنین کره زمین را بویژه در مناطق خشک و کم بارش کاهش داده و به طور مستقیم و یا غیرمستقیم بخش گسترده ای از جامعه بشری را از خود متأثر می سازند. کشور ایران به دلیل قرارگیری در محل فرونشینی پرفشار دینامیکی جنب حاره در طول دوره گرم سال نزول مداوم هوا را در ترازهای میانی و فوقانی وردسپهر تجربه می کند. گسترش عمودی پرفشار جنب حاره همراه با تداوم درازمدت آن بر روی ایران ضمن پایدار نمودن جو، شکل گیری توده هوای گرم وخشک را بر روی این سرزمین فلاتی در پی دارد. وجود این شرایط بطور محسوسی بر میزان تبخیر و تعرق، پراکندگی زمانی و مکانی بارش و سایر متغیرهای جوی اثر گذاشته و به تبع آن سبب خشکی در کشور می‌شود. تضاد حرارتی شدید و شیب فشاری که بواسطه تفاوت در میزان انرژی دریافتی در سطح حاصل می گردد در ترازهای زیرین وردسپهر جریانات مداوم و بادهای شدیدی را در طول دوره گرم سال موجب می گردد. ساختار گردشی فوق در ترکیب با ویژگی‌های پوشش سطحی و آبرفت های ریزدانه فراوانی که در داخل کشور و کشورهای همسایه وجود دارد، منطقه خاورمیانه و ایران را به یکی از مهم‌ترین مناطق وقوع طوفان های گرد و غباری در دنیا مبدل ساخته است.

پدیده گرد و غبار به دلیل مشکلات و معضلاتی که برای انسان‌ها ایجاد می کند از گذشته های دور تا به امروز مورد توجه محققین بوده و مطالعات فراوانی نیز در این زمینه صورت گرفته است که جنبه های مختلف این پدیده را مورد توجه و بررسی قرار داده اند. قدمت مطالعه طوفان های گرد و غباری تا بدانجا می رسد که در روم باستان این پدیده را به اولیوس یا خدای بادها نسبت می‌دادند (گادی و میدلتون، ۲۰۰۱). انگلستادتر(۲۰۰۱؛ ۲۰۰۳) معتقد است میزان تراکم پوشش گیاهی و ساختار گیاهان نیز از عوامل اصلی کنترل کننده وقوع طوفان‌های گرد و غباری است که می تواند شدت و ضعف گرد و غبار در یک منطقه را تحت تاثیر قرار دهد. برخی دیگر علاوه بر علل محلی و موقعیت جغرافیایی منطقه بر وجود سیستم های گردشی حاکم بر منطقه و نقش آنها در میزان وقوع گرد و غبار در یک منطقه توجه نموده اند. به طور مثال بر اساس نظر ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) وقوع طوفان در منطقه جنوب غرب ایران بدلیل قرارگرفتن این منطقه در مسیر جریانات غربی است که گرد و غبار را از کشور عراق و مناطق خشک این کشور به مناطق غرب و جنوبغرب کشور انتقال می دهد. یا در نمونه های دیگر علت طوفان‌های گرد و غباری در شبه جزیره عربستان ناشی از کم فشاری دانسته شده که بر روی منطقه شکل می‌گیرد. بررسی سوابق تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در رابطه با وقوع طوفان های گرد و غبار درمنطقه خاورمیانه پژوهش های متعددی با بهره گیری از روش‌ها و داده‌های متفاوت صورت گرفته است. برای مثال گادی و میدلتون (۲۰۰۰) در بررسی پدیده گرد و غبار درمنطقه خاورمیانه با بهره گیری از داده‌های TOMSبه این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان وقوع طوفان‌های گرد و غباری در محدوده ایران، پاکستان و دریای عرب و در طول تابستان رخ می‌دهد. زمان آغاز این طوفانها ماه آوریل و می ذکر گردیده است. حداکثر میزان وقوع طوفان ها نیز در ماه جون و جولای مشاهده گردیده است (گادی و میدلتون، ۲۰۰۶). در همین زمینه بررسی های انجام شده نشان می‌دهد که در پاکستان، افغانستان، ایران و چین وقوع طوفان‌ها شدیداً از توپوگرافی منطقه متأثر می‌گردد، بطوری‌که با کاهش آن میزان طوفان‌های گرد و غباری افزایش پیدا می‌کند (پروسپرو و همکاران، ۲۰۰۲). هرچند مطالعات فراوانی در مورد جنبه‌های مختلف پدیده گرد و غبار بر روی ایران صورت گرفته است. اما به نظر می‌رسد که هنوز سازوکار اصلی حاکم در زمان وقوع طوفان های گرد و غباری در منطقه جنوب غرب کشور بخوبی شناسایی نشده است. همچنین گردش جو در مقیاس منطقه ای که در ایجاد طوفان‌های گرد و غباری نقش مهمی برعهده دارد مورد توجه دقیق واقع نشده است. بنابراین در این پژوهش سعی می‌گردد سازوکارهای اصلی حاکم بر ساختار گردش جو در زمان وقوع طوفان‌های گرد و غباری جنوبغرب ایران بررسی گردد و الگوهای همدیدی بوجود آورنده طوفان ها تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور تبیین علل وقوع طوفان های گرد و غباری تابستانه درجنوبغرب ایران، همچنین منابع اصلی گرد و غبار آنها، ساختار گردش منطقه ای جو مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا با بهره گیری از داده‌های ساعتی میزان دید در ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در استان های خوزستان و ایلام، تعداد ۳۰ مورد طوفان فراگیر برای یکدوره زمانی شش ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۸) استخراج شد. معیار انتخاب این ۳۰ روز تعریف سازمان هواشناسی جهانی بود که طبق این تعریف زمانی که دید افقی به زیر ۱۰۰۰ متر می رسد طوفان گرد و غبار خوانده می‌شود(میدلتون ،۱۹۸۶a ؛ ۱۹۸۶b). سپس با بهره گیری از داده‌های دوباره تحلیل شده با تفکیک افقی ۲/۵ درجه از مرکز ملی پیش بینی محیطی آمریکا (NCEP/NCAR)، (کالنی و همکاران، ۱۹۹۶) شرایط جوی حاکم از دو روز قبل از وقوع هر طوفان به صورت ۶ ساعته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌ها شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، مولفه های مداری(u) و نصف النهاری(v) باد و سرعت قائم برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۴۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. با بهره‌گیری از داده‌های فوق، نقشه‌های باد برداری، تاوایی نسبی، سرعت قائم همچنین نیمرخ های قائم و دیاگرام های هاومولر برای مؤلفه های مداری و نصف النهاری و تاوایی نسبی به صورت ترکیبی برای تمام روزهای طوفانی تولید شد. سپس نقشه ها مورد تجزیه وتحلیل و مقایسه قرار گرفت و در نهایت الگوهای همدیدی اصلی تعیین گردید. به منظور ارائه ویژگی ها و جنبه های مهم هر الگوی همدیدی با متوسط گیری از شرایط همدیدی حاکم در زمان اوج وقوع طوفان‌های گرد و غباری، نقشه‌های متوسط برای هر الگو تهیه شد. تهیه نقشه‌های متوسط برای هر الگو به نحو مناسب تری بررسی تطبیقی الگوهای همدیدی از نظر وضعیت فشار، شدت صعود و نزول هوا، جهت و شدت باد و شدت گردش هوا در مراکز فشار را امکان‌پذیر ساخته است (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین جهت تعیین میزان گستردگی و تمرکز گرد و غبار در هریک از الگوهای همدیدی، از داده‌های «*شاخص جذب آیروسل* AAI» (Absorbing Aerosol Index) بدست آمده از «*طیف سنج نقشه کش ازن کلی* TOMS» استفاده شده است (هرمان و همکاران، ۱۹۹۷؛ توروس و همکاران، ۱۹۹۸). شاخص یاد شده با بهره گیری از داده‌های روزانه سنجنده TOMS نصب شده بر روی ماهواره نیمبوس ۷ که طول موج های فرابنفش نزدیک (۳۸۰، ۳۶۰ و ۳۴۰ نانومتر) پخش شده به فضا را ثبت می کند به شکل زیر تهیه شده است (هرمان و همکاران، ۱۹۹۷):

$$AAI = 100 \log_{10} [(I_{340nm} / I_{380nm})_{means} - (I_{340nm} / I_{380nm})_{Calc}]$$

در این شاخص I_{means} تابش برگشتی اندازه گیری شده درطول موج معین و I_{calc} تابش محاسبه شده در همان طول موج با استفاده از یک مدل جوی است. مقادیر حاصل از تفاوت تابش اندازه گیری شده و محاسبه شده بعنوان شاخص AAI مورد استفاده قرار می گیرد. در این رابطه آیروسل های بدون جذب (همچون ذرات نمک دریا و سولفات) دارای مقادیر AAI منفی هستند، درحالیکه آیروسل های جذب کننده طول موج های کوتاه فرابنفش (همچون گرد و غبار و دود) دارای مقادیر AAI مثبت می باشند. ابرها نیز از مقادیر AAI نزدیک صفر برخوردارند. عمده محققین به هنگام استفاده از شاخص AAI مقادیر برابر یا بیشتر از ۱+ را بعنوان روزهای وقوع طوفان های گرد و غباری در نظر می گیرند تا بدین ترتیب روزهای صرفاً دارای هوای غباری را حذف نموده و تنها روزهای طوفانی را مورد بررسی قرار دهند (پروسپرو و همکاران، ۲۰۰۲؛ واشنگتن و همکاران، ۲۰۰۳).

جهت تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای هر یک از طوفان های گرد و غباری نیز از یک مدل لاگرانژینی با امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT[1] استفاده شد (دراکسلر و رالف، ۲۰۱۱). برای مسیریابی پسگرد، ذرات در ایستگاه آبادان در زمان اوج وقوع هر یک از طوفان های گرد و غباری در نظر گرفته شد. در این مطالعه نسخه ۴.۹ مدل HYSPLIT مورد استفاده قرار گرفت و ذرات در دو سطح ۱۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سطح

[1] the HYbrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT)

زمین و در حدفاصل زمانی ۶ ساعته تا ۴۸ ساعت قبل ردیابی شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شده است (ساندرز، ۱۹۹۷).

نتایج و بحث

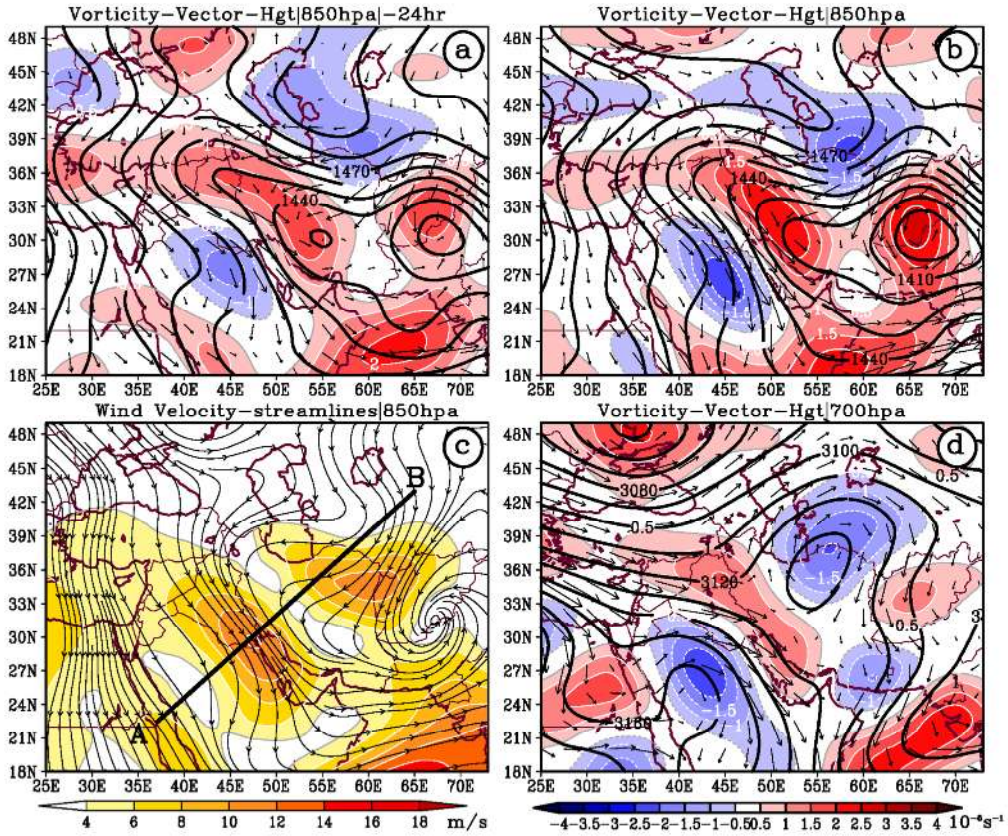
الگوهای همدیدی طوفان های گرد و غباری جنوب غرب ایران

پس از بررسی وضعیت فشار، تاوایی نسبی، مقادیر سرعت قائم، شدت و جهت جریان و مناطق همگرایی و واگرایی هوا در ترازهای مختلف جو برای دوره های دارای طوفان های گرد و غباری، الگوهای همدیدی اصلی طوفان‌های گرد و غباری شدید جنوب غرب ایران در دوره گرم سال به شرح زیر تعیین و مقایسه گردید.

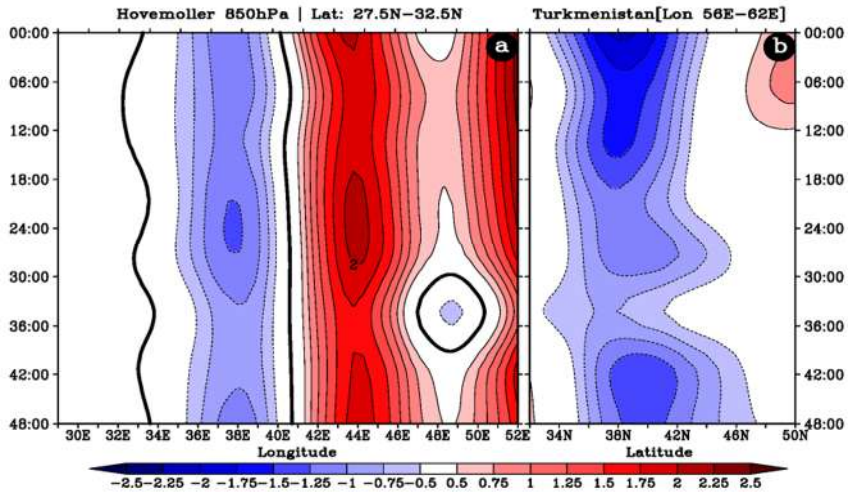
الگوی زوجی

الگوی زوجی الگوی اصلی و غالب طوفان های گرد و غباری در فصل تابستان در جنوب غرب ایران می‌باشد. در این الگو با استقرار یک مرکز پرفشار بر جانب شمال غرب خلیج فارس و شمال عربستان یک گردش واچرخندی در ترازهای زیرین جو بر روی مناطق غربی و شمال غربی خلیج فارس ایجاد می گردد. از سوی دیگر وجود تراف زاگرس که تقریبا تمام طول رشته کوههای زاگرس را در برگرفته است شکل گیری گردش چرخندی در شمال سوی پرفشار عربستان را در پی داشته است (شکل ۱- الف). وجود این دو مرکز فشاری در کنار یکدیگر سبب میگردد که در اثر جریانات واچرخندی ناشی از پرفشار عربستان و جریانات چرخندی ایجاد شده توسط تراف زاگرس یک منطقه همشارش و همگرایی جریانات در بین این دو مرکز فشاری ایجاد گردد (شکل ۱- ب). چنین آرایشی از مراکز فشار ضمن افزایش قابل ملاحظه شیب فشار و تاوایی در ترازهای زیرین با شکل گیری و یا تقویت بادهای نسبتاً شدیدی با جهت شمال غرب – جنوب شرق همراه می گردد (شکل ۱- ج). نکته قابل توجه در این زمینه آنست که این دو مرکز فشاری در طول دوره گرم سال ویژگی های غالب گردش جو زیرین بر روی خاورمیانه محسوب می گردند، در حالیکه در در دوره گرم سال هر روز طوفان گرد و غباری رخ نمی دهد.

در بررسی‌ها آشکار گردید که عمدتاً به دنبال تقویت و گسترش جنوب سوی واچرخند ترکمنستان (شکل ۲- ب)، شیو افقی باد در ترازهای زیرین جو افزایش یافته، که در ادامه سبب تقویت گردش چرخندی در تراف زاگرس گردیده است (شکل ۲- الف). چنین سازوکاری بطور همزمان پرفشار عربستان را نیز تقویت نموده که در نهایت در یک فرآیند پسخور مثبت ضمن تقویت تمامی سامانه های گردشی در ترازهای زیرین جو (شکل ۱- ب، ۱- د)، شکل گیری یک جت تراز زیرین موسوم به باد شمال را در منطقه همشارش تراف زاگرس و پرفشار عربستان در پی دارد (شکل ۱- ج) . بدین ترتیب تقویت سامانه های یاد شده با تقویت جریانات شمال – شمالغربی بر روی غرب خلیج فارس امکان برداشت گرد و غبار از مناطق آبرفتی واقع در عراق، سوریه و شمال عربستان را ممکن می‌سازد. شکل ۳ یک برش عرضی از شدت متوسط وزش باد شمال و تاوایی نسبی را در امتداد قائم برای زمان اوج وقوع طوفان‌ها نشان می‌دهد (خط A-B درشکل ۱- ج).

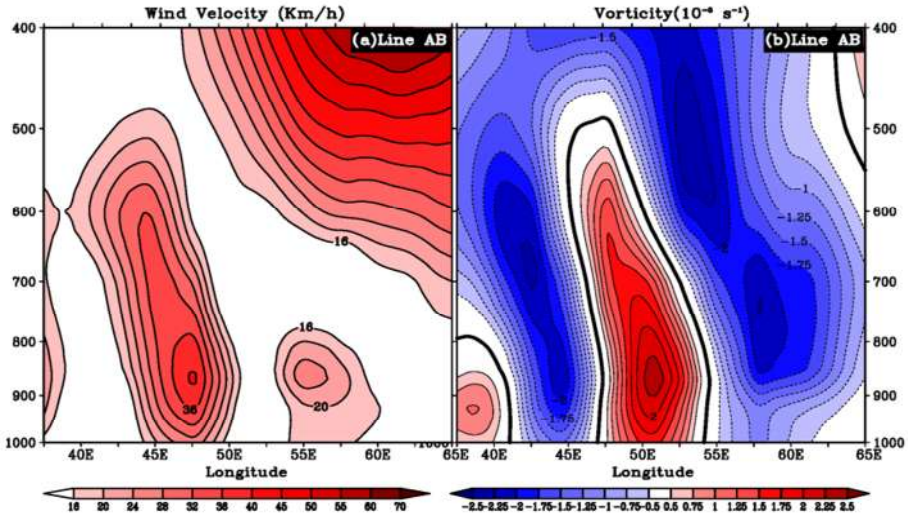


شکل ۱. نقشه‌های متوسط برای الگوی زوجی تابستانه. (a) متوسط تاوایی نسبی (رنگ‌ها s^{-1} 10^{-5}*)، ارتفاع ژئوپتانسیل (فاصله پربندها ۵ ژئوپتانسیل متر) و باد برداری (پیکانها $m\ s^{-1}$) در تراز ۸۵۰ ه. پ. ۲۴ ساعت قبل از زمان اوج وقوع طوفان ها. (b) وضعیت همدیدی متوسط در زمان اوج وقوع طوفان ها. (c)نقشه متوسط سرعت باد و الگوی متوسط خطوط جریان در تراز ۸۵۰ ه . پ در زمان اوج وقوع طوفان ها. (d) وضعیت همدیدی متوسط در زمان اوج وقوع طوفان ها در تراز ۷۰۰ ه.پ (فاصله پربندها۱۰ ژئوپتانسیل متر).



شکل ۲. تغییرات تاوایی نسبی به ترتیب از چپ به راست در مرکز پرفشار عربستان، تراف زاگرس و واچرخند ترکمنستان در الگوی زوجی تابستانه. (a) روند تغییرات تاوایی نسبی در منطقه مورد مطالعه از ۴۸ ساعت قبل از وقوع طوفان ها تا زمان اوج وقوع آنها (ساعت صفر) در تراز ۸۵۰ ه.پ. تاوایی مثبت (رنگ بندی قرمز) تغییرات گردش چرخندی در محدوده تراف زاگرس (غرب ۴۸°E) و تاوایی منفی (رنگ بندی آبی) تغییرات گردش واچرخندی در محدوده پرفشار عربستان را نشان می دهد. (b) تغییرات شدت متوسط گردش واچرخندی در مرکز پرفشار ترکمنستان در شرایط زمانی مشابه از ۴۸ ساعت قبل از وقوع طوفان ها تا زمان اوج آنها (ساعت صفر) نشان داده شده است.

مقایسه دو شکل ۳-الف و ۳-ب بیانگر آنست که باد شمال در محدوده تاوایی صفر (خط سیاه پر رنگ در ۳- ب) و در ارتفاعی حدود ۱۵۰۰ متر (۸۵۰ ه. پ) به بیشینه سرعت خود می‌رسد. به عبارتی بالاترین شیب افقی تاوایی بین دو مرکز گردش چرخندی (کمینه در طول ۵۰°E) و واچرخندی (بیشینه درطول ۴۵°E) در ارتفاعی حدود ۱۵۰۰ متر بوقوع می‌پیوندد که منجر به شکل گیری یک جت تراز زیرین بر روی منطقه خلیج فارس (طول ۴۷/۵°E) می‌گردد.

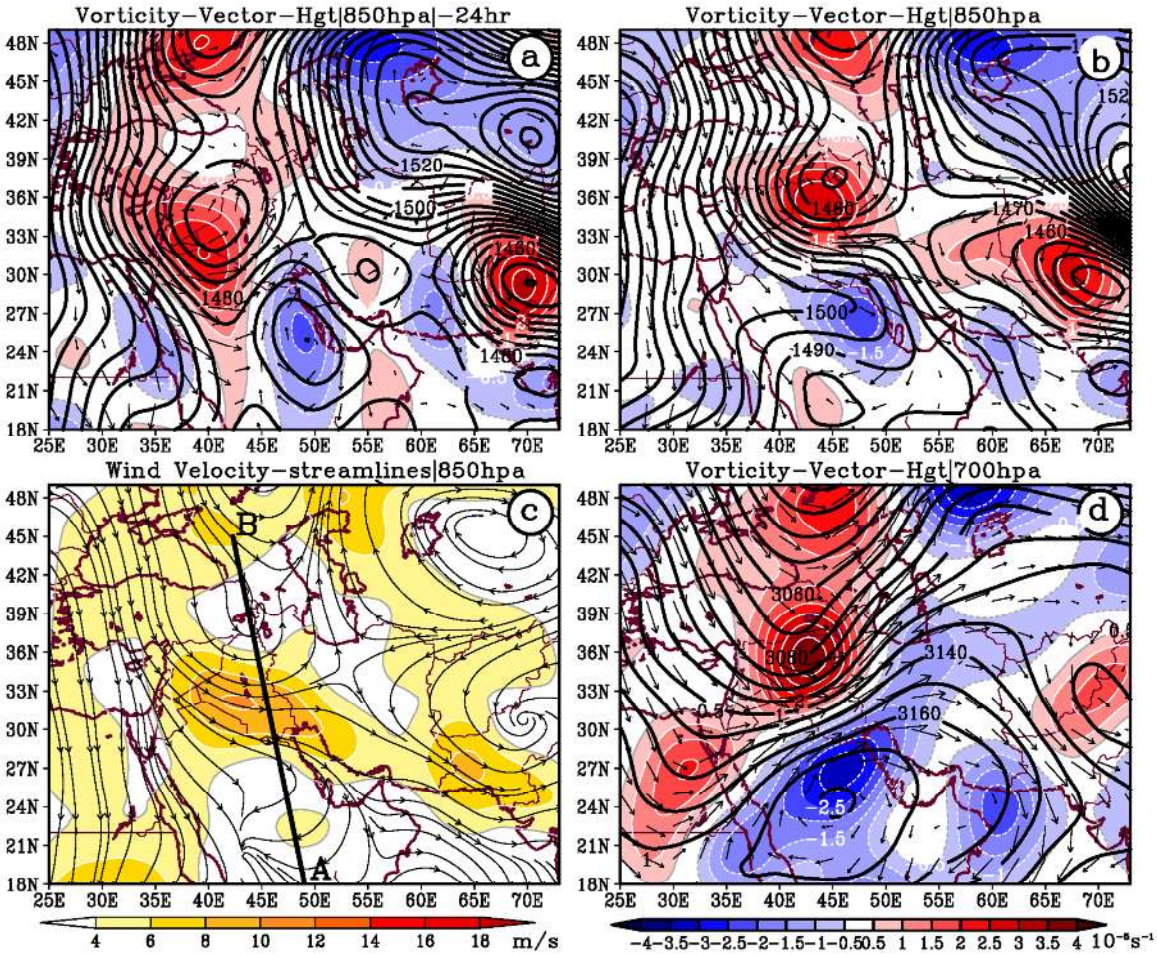


شکل۳. نیمرخ های قائم برای شدت متوسط باد (a) و تاوایی نسبی (b) در برش عرضی تعیین شده در شکل ۱-ج (خط A-B) برای الگوی زوجی تابستانه. محور قائم ترازهای فشاری (۱۰۰۰ تا ۴۰۰ ه.پ.) و محور افقی طول جغرافیایی.

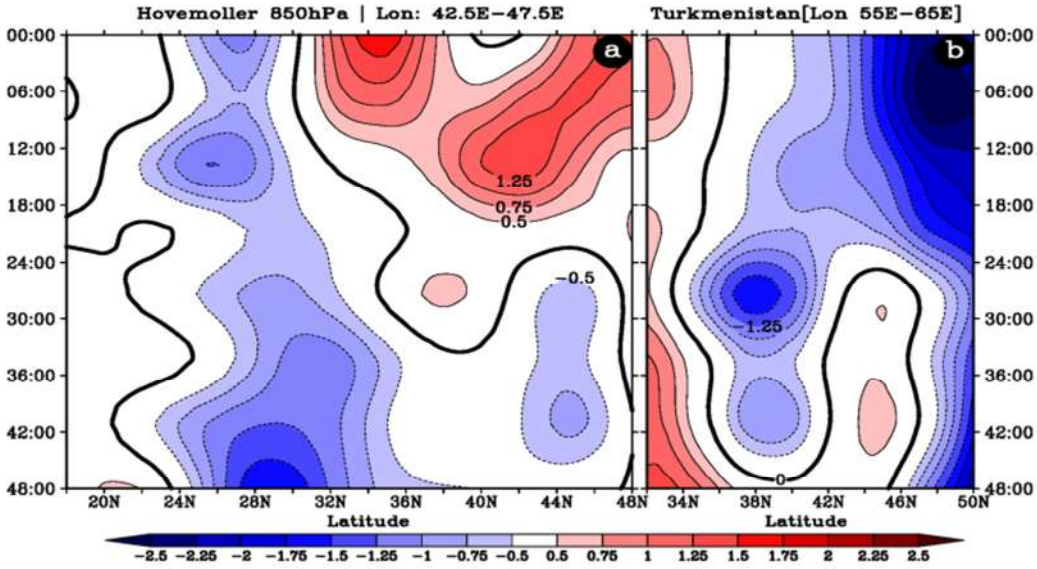
الگوی ناوه غربی

این الگو به سبب گسترش یک ناوه تراز میانی که از عرض های بالاتر به غرب خاورمیانه نفوذ نموده و موجب شکل‌گیری یک مرکز کم فشار یا مرکز گردش چرخندی بر جانب شمالی عراق و شرق سوریه گردیده قابل شناسایی است (شکل۴-الف). استقرار هم‌زمان پرفشار عربستان در جایگاه تابستانه خود در غرب خلیج فارس و بر جانب جنوبی ناوه موج غربی موجب شکل‌گیری یک شیو افقی نصف النهاری شدید باد همراه با اختلاف فشار نصف النهاری زیاد بین ناوه و پرفشار عربستان می‌گردد. در چنین شرایطی کنتورهای ارتفاعی بسیار به هم نزدیک شده (شکل۴- ب و۴- د) و جریانات شرق سوی قوی در ترازهای میانی شکل می‌گیرد (شکل۶- الف). در همین زمان در ترازهای میانی جو بادهای قوی جهت جنوب غربی-شمال شرقی بخود می‌گیرند (شکل۴- د). در زمان اوج وقوع طوفان‌های گرد و غباری جریانات زیرین جو در یک حرکت شرق سو از جانب عراق به سمت جنوب غرب ایران می وزند (شکل۴- ج). در واقع در الگوی ناوه غربی، جریان تابستانه غالب بر روی منطقه (باد شمال) برای مدتی با یک جریان غرب- جنوب‌غربی در ترازهای میانی و زیرین جایگزین می‌گردد. جریان یاد شده در ترازهای زیرین جو آنقدر قوی هست که بواسطه وجود کم فشار در سطح زمین و جریانات صعودی ناشی از همگرایی هوا و گردش چرخندی، بلند شدن و انتقال ذرات گرد و غبار از منطقه عراق و سوریه به مناطق جنوب غربی و داخلی ایران را امکان‌پذیر سازد.

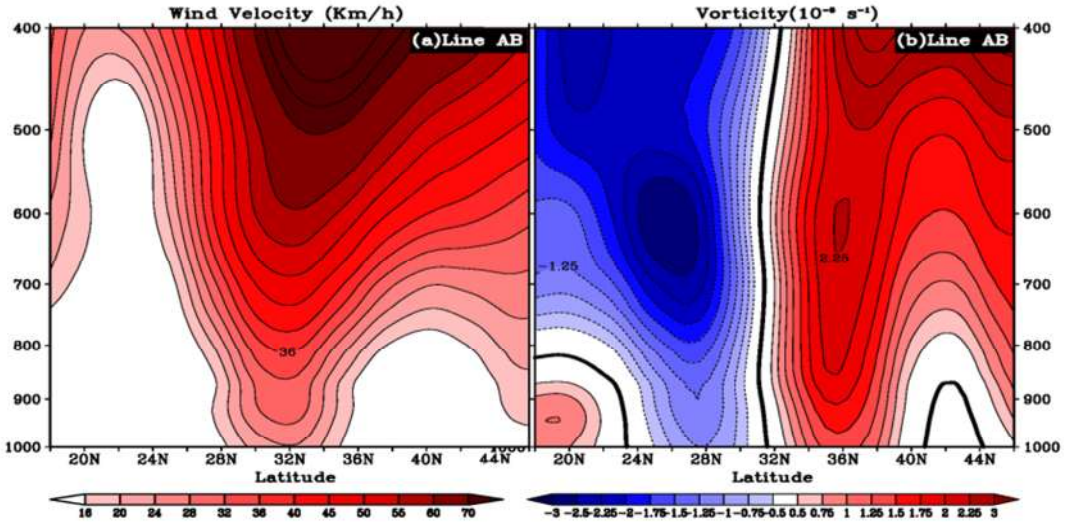
از سوی دیگر در حالیکه الگوهای زوجی تابستانه و زوجی انتقالی تنها انتقال گرد و غبار را در منطقه خلیج فارس ممکن می‌سازند، در مقابل الگوی ناوه غربی بواسطه حرکت شرقی سوی ناوه، پخش فراگیر ذرات گرد و غبار را در سطح کشور ممکن می‌سازد. بدین ترتیب این الگو علاوه بر مناطق جنوب غربی، مناطق غربی و حتی مرکزی ایران را نیز تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. در این الگو جابجایی شمال سوی واچرخند ترکمنستان و تقویت آن در عرض های بالاتر با ایجاد نوعی مانع در مسیر حرکت موج غربی، عمیق شدن ناوه ی موج بر غرب خاورمیانه را ممکن می سازد (شکل۴).



شکل۴. نقشه‌های متوسط برای الگوی ناوه غربی. ویژگی ها و واحدها همچون شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۵. تغییرات تاوایی نسبی به ترتیب از چپ به راست در مرکز پرفشار عربستان، ناوه غربی و واچرخند ترکمنستان در الگوی ناوه غربی. ویژگی ها و واحدهای بکار گرفته شده همچون شکل ۲ می باشند.

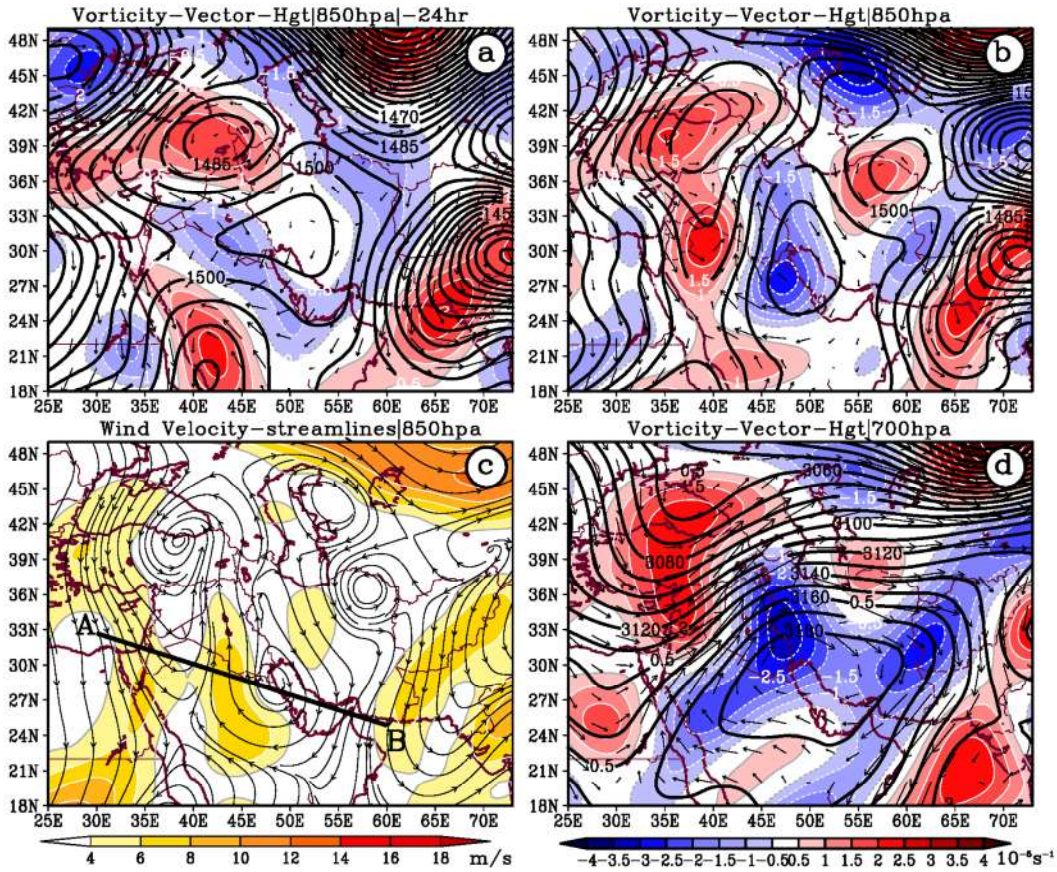


شکل۶. نیمرخ های قائم برای شدت متوسط باد (a) و تاوایی نسبی (b) در برش عرضی تعیین شده در شکل ۴-ج (خط A-B) برای الگوی ناوه غربی. محور قائم ترازهای فشاری (۱۰۰۰ تا ۴۰۰ ه.پ.) و محور افقی طول جغرافیایی.

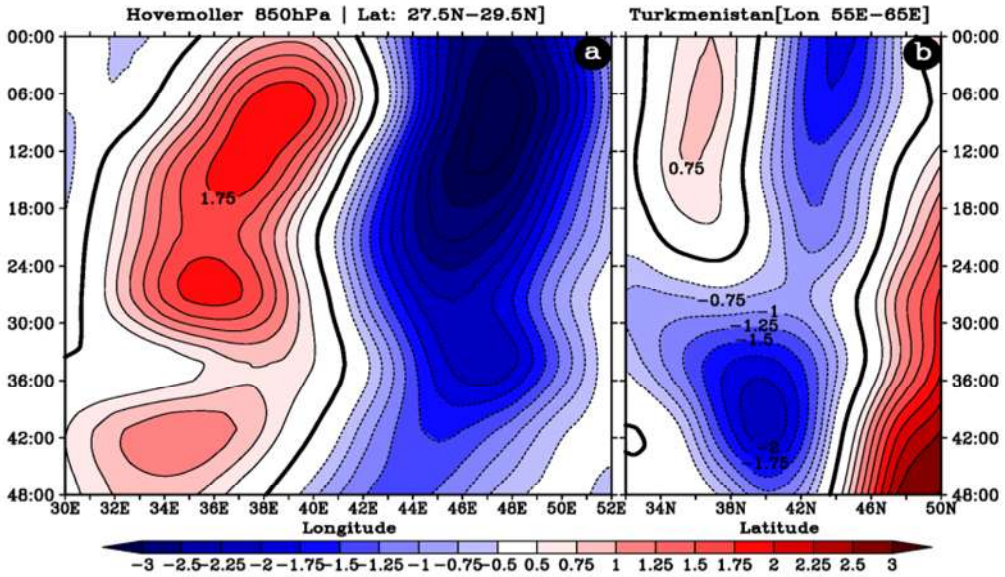
در حقیقت جابجایی شمال سوی واچرخند ترکمنستان تا عرض ۵۰°N حدود ۲۴ ساعت قبل از شکل گیری طوفان ها (شکل۵- ب)، نفوذ ناوه‌ی غربی را بر غرب خاورمیانه درپی داشته است (شکل۵- الف). نفوذ ناوه ی تراز میانی با افزایش قابل ملاحظه ی شیب فشار و تاوایی در امتداد نصف النهاری در محدوده عراق تا سوریه همراه گشته که در نهایت جریان شرق سوی قویی را در تمام وردسپهر تا سطح زمین موجب گردیده است (عرض ۳۲°N- شکل۶).

الگوی پرفشار

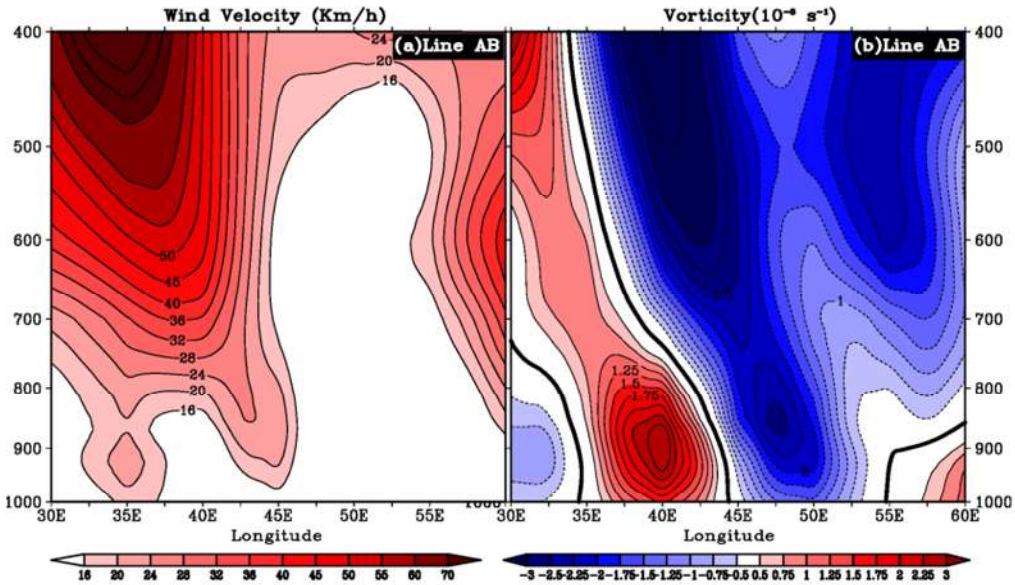
الگوی پرفشار در قیاس با سه الگوی قبلی ساختار کاملاً متفاوتی را نشان می دهد. در این الگو در زمان اوج وقوع طوفان‌ها پرفشار عربستان بر تمامی مناطق غربی کشور تسلط دارد و یک نزول گسترده را بر روی منطقه خلیج فارس و جنوبغرب ایران ایجاد می نماید (شکل ۷). در این الگو مرکز کم فشاری نیز بطور همزمان برجانب غربی پرفشار بر روی غرب عراق، سوریه و اردن شکل می گیرد (شکل ۷- ب). تنها سازوکاری که میتواند این الگو را به گرد و غبارهای جنوبغرب ایران مرتبط سازد وجود کم فشار برجانب غربی پرفشار است. می توان سازوکار حاکم را این چنین تشریح کرد که شکل گیری گردش چرخندی و صعود هوا در محدوده غرب عراق تا سوریه و شمال عربستان برداشت ذرات ریز گرد و غبار را از این مناطق بیابانی و خشک ممکن می سازد. در ادامه کم فشار مذکور سبب انتقال گرد و غبار به درون پرفشار عربستان که در این زمان بر روی مناطق جنوبغرب و غرب ایران جای گرفته است می‌شود. پرفشار عربستان نیز سبب نزول ذرات گرد و غبار و پخش آنها بر روی منطقه می‌شود (شکل ۷- ب و ۷- د). در این الگو بواسطه استقرار مرکز پرفشار، بادها در جنوبغرب ایران از شدت کمتری برخوردارند (شکل ۷- ج و ۹- الف). گردش واچرخندی مسلط بر روی منطقه در ترازهای میانی و فوقانی وردسپهر از شدت و گستردگی بیشتری برخوردار است (شکل ۹- ب). نحوه استقرار و تکوین پرفشار عربستان (تاوایی منفی) و مرکز گردش چرخندی واقع در غرب آن از ۴۸ ساعت قبل تا زمان آغاز طوفان ها در شکل ۸-الف نشان داده شده است. در این الگو واچرخند ترکمنستان نقشی ایفاء نمی‌نماید (شکل ۸- ب).



شکل۷. نقشه‌های متوسط برای الگوی پرفشار. ویژگی ها و واحدهای بکار گرفته شده در نقشه ها همچون شکل ۱ می باشند.



شکل ۸. تغییرات تاوایی نسبی به ترتیب از چپ به راست در مرکز کم فشار، پرفشار عربستان و واچرخند ترکمنستان در الگوی پرفشار. ویژگی ها و واحدهای بکار گرفته شده همچون شکل ۲ می باشند.



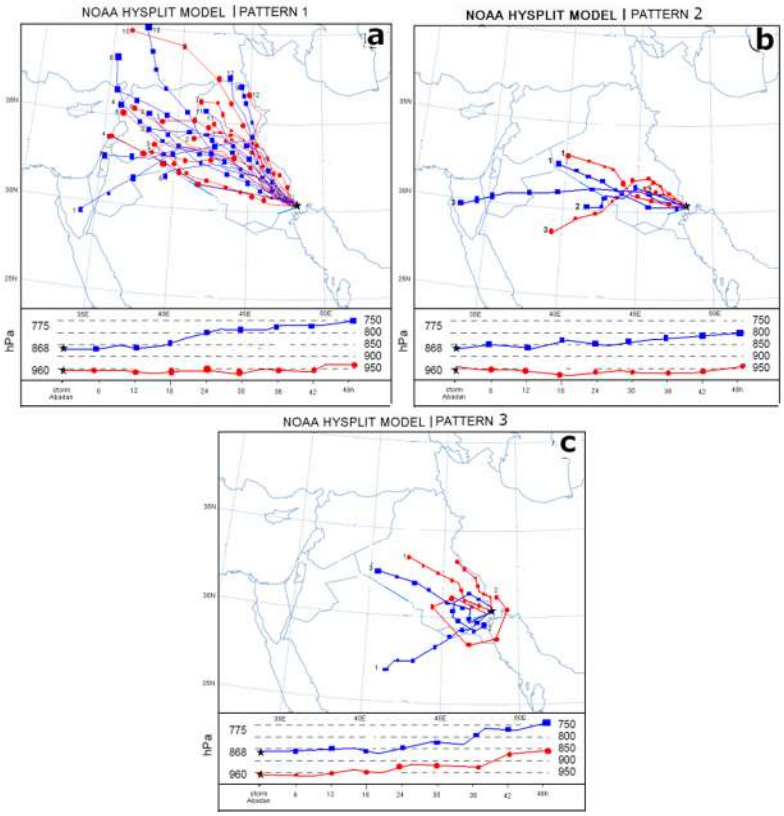
شکل۹. نیمرخ های قائم برای شدت متوسط باد (a) و تاوایی نسبی (b) در برش عرضی تعیین شده در شکل ۷-ج (خط A-B) برای الگوی پرفشار. محور قائم ترازهای فشاری (۱۰۰۰ تا ۴۰۰ ه.پ.) و محور افقی طول جغرافیایی.

بررسی منابع گرد و غبار با استفاده از مدل HYSPLIT

جهت تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای هریک از طوفان های گرد و غباری از مدل HYSPLIT استفاده شد. مدل لاگرانژینی یادشده امکان ردیابی پسگرد ذرات گرد و غبار در ایستگاه آبادان را تا ۴۸ ساعت قبل از زمان وقوع هر یک از طوفان ها فراهم نمود. برای تمامی طوفان ها، ذرات در دو ارتفاع ۱۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سطح زمین در حدفاصل زمانی۶ ساعت ردیابی شدند. مدل امکان نمایش مسیر ردیابی شده را در دو نمای افقی (بخش بالا در هر شکل) و قائم (بخش پایین در هر شکل) فراهم می نماید. در نهایت خروجی های مدل در قالب سه الگوی همدیدی ارائه گردیده است.

بررسی مسیرهای انتقال ذرات در طوفان‌های مربوط به الگوی زوجی بیانگر آنست که در تمامی طوفان های گزارش شده، ذرات غبار مسیر مشابهی را از شمالغرب به جنوبشرق تا ایستگاه آبادان پیموده اند. به عبارتی دیگر با درنظر گرفتن بررسی های همدیدی انجام شده و خروجی مدل HYSPLIT، باد شمال سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار از محدوده ایی در حدفاصل عراق، سوریه تا شرق مدیترانه به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به همین جهت در الگوی زوجی مسیرهای انتقال ذرات غبار در هر دو سطح ۱۰۰ و ۱۰۰۰ متری تابعی از مسیر و جهت حرکت باد شمال محسوب می گردد (شکل ۱۰- الف). نکته مهم دیگری که از بررسی خروجی های مدل حاصل می گردد آنست که ذرات گرد و غبار در لایه ای کم عمق و در پایین ترین لایه های جو به منطقه منتقل می گردد. خط قرمز در شکل ۱۰-الف (بخش پایینی شکل) مسیر حرکت متوسط ذرات غبار در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین را از ۴۸ ساعت قبل تا زمان وقوع طوفان‌ها نشان می‌دهد. در واقع شکل یاد شده از وجود یک جت تراز زیرین خبر می‌دهد که موجب انتقال افقی ذرات گرد و غبار در یک لایه کم عمق گردیده و از پخش عمودی آن در لایه های بالاتر جو جلوگیری می‌کند. پیدایش چنین شرایطی، همان‌طوری‌که در بررسی‌های همدیدی ارائه شد، ناشی از شیب فشار زیاد بین تراف زاگرس و پرفشار عربستان می‌باشد. یافته فوق توضیح مناسبی را برای این سوال فراهم می آورد که چرا داده‌های سنجنده های ماهواره‌ای، پدیده گرد و غبار و گسترگی و شدت آنرا در منطقه عراق و خلیج فارس در قیاس با سایر مناطق خاورمیانه بخوبی آشکار نمی‌سازند. بر این اساس می‌توان گفت اگر چه سنجنده‌های ماهواره‌ای، غبار مسن و ارتفاع یافته را در طول موج های برگشتی از زمین بخوبی آشکار می‌سازند (مهووالد و دافرسنه، ۲۰۰۴؛ انگلستادتر و همکاران، ۲۰۰۶؛

واکر و همکاران، ۲۰۰۹)، اما در کشف تمرکز بالای گرد و غبار در لایه مرزی، چنانکه بواسطه تسلط باد شمال در طول تابستان در محدوده خلیج فارس و عراق اتفاق می افتد، کارایی لازم را نداشته اند (مهووالد و دافرسنه، ۲۰۰۴). همین امر تناقص آشکار بین بررسی های پایه مشاهداتی (میدلتون، ۱۹۸۶a؛ ۱۹۸۶b) و ماهواره‌ای (گادی و میدلتون، ۲۰۰۰؛ ۲۰۰۶؛ پروسپرو و همکاران، ۲۰۰۲؛ واشنگتن و همکاران، ۲۰۰۳) را در تبیین فضایی فراوانی و شدت طوفان های گرد و غباری در خاورمیانه موجب گردیده است.



شکل ۱۰. خروجی مدل HYSPLITبرای مناطق منشأ گرد و غبار در الگوهای همدیدی. (a) الگوی زوجی (b) الگوی ناوه غربی و (c) الگوی پرفشار. علامت ستاره در تمامی شکل ها موقعیت ایستگاه آبادان را نشان می دهد. ذرات در ایستگاه آبادان برای ارتفاع ۱۰۰ متری (خط قرمز) و ۱۰۰۰ متری (خط آبی) از سطح زمین از ۴۸ ساعت قبل تا زمان اوج وقوع هر طوفان در حدفاصل زمانی ۶ ساعت ردیابی شدند. در پایین هر شکل ردیابی پسگرد ذرات تا ۴۸ ساعت قبل در نیمرخ قائم جو به نمایش در آمده است.

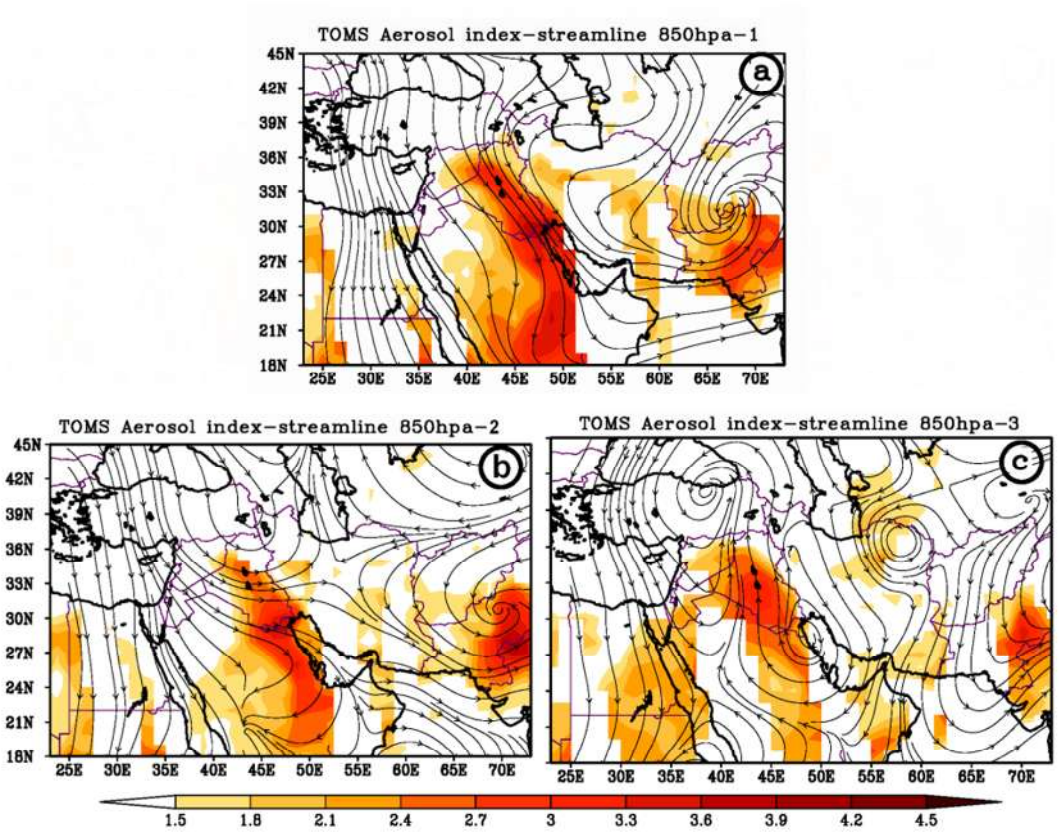
ذرات در الگوی ناوه غربی نیز شرایطی تقریباً مشابه الگوی زوجی را تجربه نموده‌اند. با این تفاوت که مسیر حرکت طوفان های گرد و غباری به تبعیت از جریانات شرق سو کاملاً از غرب به شرق بوده و برخلاف الگوی زوجی، علیرغم وجود ناوه، در ارتفاع ۱۰۰۰ متری تغییر در ارتفاع ذرات در طول مسیر حرکتشان مشاهده نمی‌گردد (شکل ۱۰-ب). شاید بتوان چنین استدلال نمود که در دو الگوی ناوه غربی سهم پرفشار عربستان در کنترل ذرات ورودی به منطقه جنوبغرب ایران بیش از سهم این مرکز پرفشار در الگوی زوجی است.

در نهایت بررسی مسیرهای انتقال ذرات در الگوی پرفشار بر محدود بودن طوفان های گرد و غباری در این الگو اشاره دارد (شکل ۱۰- ج). نتایج کلی تحقیق بیانگر آنست که در میان الگوهای همدیدی، تنها الگوی ناوه موج غربی انتقال گرد و غبار را در سطحی گسترده‌تر به مناطق داخلی ایران فراهم می‌آورد. خروجی های مدل HYSPLIT نشان داد که بطور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان های گرد و غباری جنوبغرب ایران از محدوده ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، غرب سوریه تا شمال عربستان منشأ می‌یابد. در دو الگوی زوجی و ناوه موج غربی ذرات گرد و غبار در لایه

ای کم عمق و در پایین ترین لایه های جو به منطقه منتقل می گردد. این در حالیست که در الگوی پرفشار ابتدا ذرات گرد و غبار توسط یک سامانه کم فشار به ترازهای بالاتر انتقال داده شده و سپس در مرکز پرفشار مستقر بر روی منطقه به سمت زمین نزول می‌یابد. مقایسه بین الگوها همچنین آشکار ساخت که الگوی پرفشار از محدودترین و کوچکترین منطقه انتقال ذرات برخوردار بوده و در عین حال در الگوی زوجی ذرات گرد و غبار اساساً یک مسیر شمال غرب-جنوب شرق سو را تا رسیدن به منطقه مطالعه طی می‌نمایند.

بررسی طوفان های گرد و غباری با استفاده از داده‌های سنجنده TOMS

در این قسمت از مقاله یک بررسی کلی از میزان گستردگی و تمرکز گرد و غبار در هریک از الگوهای همدیدی صورت می گیرد. برای انجام بررسی از داده‌های شاخص جذب آیروسل (AAI) بدست آمده از سنجنده TOMS استفاده شده است (هرمان و همکاران، ۱۹۹۷؛ توروس و همکاران، ۱۹۹۸). در الگوی زوجی بیشینه متوسط تمرکز گرد و غبار به میزان ۳/۹ بر جانب غربی خلیج فارس (آبادان،کویت و منتهی الیه جنوب شرقی عراق) مشاهده می گردد. گستره طوفان منطقه وسیعی را در برمی گیرد که شامل منطقه ای از شمال عراق و شرق سوریه تا سواحل شرقی دریای سرخ در جنوب غرب عربستان می گردد. خطوط جریان نحوه انتقال گرد و غبار را در این الگو نشان می‌دهند (شکل ۱۱-الف). این الگو در قیاس با سایر الگوهای همدیدی بالاترین گسترش منطقه ای گرد و غبار را بر روی خاورمیانه نشان می‌دهد و در عین حال در بین الگوهای همدیدی از بالاترین تمرکز منطقه ای گرد و غبار نیز برخوردار است.



شکل ۱۱. گستره افقی و میزان تمرکز آیروسل ها بر اساس شاخص AAI بهمراه خطوط جریان در تراز ۸۵۰ ه.پ. بر روی خاورمیانه. رنگ ها مقادیر متوسط شاخص را در هر الگوی همدیدی نشان می‌دهند. (a) الگوی زوجی (b) الگوی ناوه غربی و (c) الگوی پرفشار.

این در حالیست که طوفان ها در دو الگوی ناوه غربی و پرفشار از گسترش افقی کمتری برخوردار بوده و مناطق دارای مقادیر بالای گرد و غبار در این دو الگو محدوده کوچکتری را در بر می گیرد (شکل ۱۱-ب و ۱۱-ج). متأسفانه قدرت تفکیک پایین داده‌های سنجنده TOMS به همراه شکاف های مشاهداتی در گذر روزانه ماهواره از روی منطقه ارائه یک تحلیل دقیق تر را ناممکن می سازد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق بیانگر آنست که پرفشار عربستان و تراف زاگرس به همراه واچرخند ترکمنستان بیش از هر مولفه گردشی دیگری در شکل گیری طوفان های مقیاس منطقه ای در منطقه خلیج فارس و جنوبغرب ایران نقش ایفاء می نمایند.

در تعیین الگوی همدیدی طوفان‌های گرد و غباری، سه الگوی همدیدی اصلی شامل: زوجی، ناوه ی موج غربی و پرفشار برای وقوع طوفان ها استخراج شد. در الگوی زوجی بدنبال تقویت و گسترش جنوب سوی واچرخند ترکمنستان، شیو افقی باد در ترازهای زیرین جو افزایش یافته که در ادامه با افزایش گردش چرخندی در تراف زاگرس همراه می گردد. این فرآیند در یک پسخور مثبت ضمن تقویت همزمان تراف زاگرس و پرفشار عربستان شکل گیری یک جت تراز زیرین موسوم به باد شمال را در منطقه همشارش دو سامانه ایجاد می نماید. بر این اساس باد شمال عامل اصلی وقوع بسیاری از طوفان های گرد و غباری تابستانه جنوبغرب ایران بشمار می رود. در الگوی ناوه موج غربی نیز به جهت گسترش و نفوذ ناوه ای بر غرب خاورمیانه و شکل گیری یک منطقه گردش سیکلونی بر شمال عراق و استقرار پرفشارعربستان بر جانب جنوبی آن یک شیو افقی شدید باد در امتداد نصف النهاری با جریانات شرق سو از جانب عراق به سمت جنوبغرب ایران همراه می گردد. نهایتا در الگوی پرفشار نیز به سبب قرار گرفتن یک سامانه پرفشار بر نواحی جنوبغربی ایران انتقال گرد و غبار از مرکز کم فشاری که در غرب سامانه پرفشار قرار گرفته سبب انتقال گرد و غبار به داخل مرکز پرفشار شده و از طریق پرفشار در سطح منطقه نزول یافته و پخش می‌گردد.

نتایج تحقیق بیانگر آنست که در میان الگوهای همدیدی، تنها الگوی ناوه موج غربی انتقال گرد و غبار را در سطحی گسترده تر به مناطق داخلی ایران فراهم می آورد. خروجی های مدل HYSPLIT نشان داد که بطور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان‌های گرد و غباری جنوبغرب ایران محدوده ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، غرب سوریه تا شمال عربستان می‌باشد. در دو الگوی زوجی و ناوه موج غربی ذرات گرد و غبار در لایه ای کم عمق و در پایین ترین لایه های جو به منطقه منتقل می گردد. با این تفاوت که در دو الگوی ناوه غربی سهم پرفشار عربستان در کنترل ذرات ورودی به منطقه جنوبغرب ایران از سهم این مرکز پرفشار در الگوی زوجی بیشتر است. در عین حال در الگوی پرفشار، ابتدا ذرات گرد و غبار توسط یک سامانه کم فشار به ترازهای بالاتر و به داخل مرکز پرفشار مستقر بر روی منطقه جنوب غرب ایران انتقال داده شده و سپس در مرکز پرفشار به سمت زمین نزول می کنند. مقایسه بین الگوها همچنین آشکار ساخت که الگوی پرفشار از محدودترین و کوچکترین منطقه انتقال ذرات برخوردار بوده و در عین حال در الگوی زوجی ذرات گرد و غبار اساساً یک مسیر شمالغرب-جنوبشرق سو را تا رسیدن به منطقه مطالعه طی می‌نمایند.

بهره گیری از شاخص AAI آشکار ساخت که الگوی زوجی در قیاس با سایر الگوهای همدیدی، بیشترین گسترش افقی گرد و غبار را بر روی خاورمیانه تجربه می کند و در عین حال در بین سه الگوی همدیدی از بالاترین تمرکز منطقه ای گرد و غبار نیز برخوردار است.

منابع

۱. ذوالفقاری، ح.، عابدزاده، ح.۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار در غرب ایران. جغرافیا و توسعه، ۶: ۱۷۳-۱۸۸.

۲. مفیدی، ع.، زرین، آ. و فاسولو، ج. ۱۳۸۹. گردش جو تابستانه در وردسپهر فوقانی بر روی جنوبغرب آسیا و وردایی زمانی آن در طی نیم قرن گذشته. چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، تهران، ۲۹ آذر الی ۱ دی ماه ۱۳۸۹، ۱۴۹-۱۶۰.

3. Draxler RR., and Rolph GD.2011. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (http://ready.arl.noaa.gov/ HYSPLIT.php). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
4. Engelstaedter S. 2001. Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Diploma thesis, Inst. Geosci. Friedrich-Schiller-University, Jena, Germany.
5. Engelstaedter S., Kohfeld KE., Tegen I., and Harrison SP. 2003. Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions: An evaluation using dust storm frequency data. Geophys. Res. Lett., 30(6): 1294, doi:10.1029/2002GL016471.
6. Engelstaedter S., Washington R., and Tegen I. 2006. North African dust emissions and transport. Earth Sci. Rev., 79: 73–100, doi:10.1016/j.earscirev.2006.06.004.
7. Goudie A., and Middleton NJ. 2000. Dust storms in South West Asia. Acta Univ Car., XXXV: 73–83.
8. Goudie A, and Midelton NJ. 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. Earth science review. 56: 179-204.
9. Goudie A, and Mideleton NJ. 2006. Desert Dust in the Global System. Springer, Heidelberg. 1-90.
10. Herman, JR., Bhartia PK., Torres O., Hsu NC., Seftor CJ., and Celarier E. 1997. Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data. J. Geophys Res., 102: 16,911-16,922.
11. Kalnay E., and 21Co-authors. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amr. Met. Soc. 77: 437-471.
12. Mahowald NM., and Dufresne J-L. 2004. Sensitivity of TOMS aerosol index to boundary layer height: Implications for detection of mineral aerosol sources. Geophys. Res. Lett., 31, L03103, doi:10.1029/ 2003GL018865.
13. Middleton NJ. 1986a. Dust storms in the Middle East. J. Arid Environ. 10: 83–96.
14. Middleton NJ. 1986b. A geography of dust storms in south-west Asia. Int. J. Climatol. 6: 183–196.
15. Prospero JM., Ginoux P., Torres O., Nicholson SE., Gill TE. 2002. Environmental 480 haracterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. Rev. Geophys. 40: 2–31.
16. Stunder BJB. 1997. NCEP Model Output – FNL ARCHIVE DATA, TD-6141. Prepared for National Climatic Data Center (NCDC). This document and archive grid domain maps are also available at http://www.arl.noaa.gov/ss/transport/archives.html
17. Torres O., Bhartia P. K., Herman JR., Ahmad Z., and Gleason J. 1998. Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. J. Geophys. Res., 103(D14): 17,099– 17,110, doi:10.1029/98JD00900.
18. Walker AL., Liu M., Miller S. D., Richardson K. A., and Westphal D. L. 2009. Development of a dust source database for mesoscale forecasting in southwest Asia. J. Geophys. Res., 114: D18207, doi:10.1029/2008JD011541.
19. Washington R., Todd M., Middleton NJ., and Goudie AS. 2003. Duststorm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and surface observations. Ann. Assoc. Am. Geogr., 93(2): 297–313, doi:10.1111/1467-8306.9302003.

Code: 10051

The Role of Regional Atmospheric Circulation over the Middle East on the Occurrence of Summer Dust-Storms in Southwest Iran

Mofidi A.[1*] and Jafari S.[2]
1 and 2. Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
*Abbasmofidi@um.ac.ir

Abstract

In this research, we investigated the structure of regional atmospheric circulation to explain the causes of summertime dust storms occurrence in southwest of Iran as well as their main sources of dust. We used the hourly visibility data of eight synoptic stations located in the Khuzestan and Ilam provinces to extract the widespread dust storms. We identified 30 widespread storms in a 6-year (1998-2003) period. The NCEP/NCAR reanalysis data and also TOMS aerosol index (AAI) were used to clarify the synoptic characteristics of each dust storm for a time from 2 days before storm started until the pick time of the dust storm occurrence in a 6-hour time period. We applied the HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model to determine the main sources of dust by using a backward trajectory approach. The results show that the Arabian High and the Zagros trough play the key role in the formation of regional scale dust storms in the Persian Gulf region and southwest of Iran. Investigating the synoptic patterns of the dust storms, we identified three main synoptic patterns including the Coupling, the Westerly trough, and the High-pressure patterns. In the Coupling pattern, the horizontal wind shear increases in the lower atmosphere due to the intensification and southward expansion of the Turkmenistan anticyclone, which is associated with the enhanced cyclonic circulation of the Zagros trough. The positive feedback of this procedure in return intensifies both the Zagros trough and the Arabian high and forms a low-level jet so-called Shamal wind in the confluence zone of two pressure systems. In the Westerly trough pattern, there is seen a strong horizontal shear along with the latitudes which is associated with the eastward flow from Iraq to the southwest of Iran. This strong horizontal shear is the result of the expansion and penetration of a trough over the western Middle East as well as formation of cyclonic circulation over northern Iraq and the existence of the Arabian high southward of it instantaneously. In the High pressure pattern, an anticyclone locates over southwest of Iran and the dust transports from a low pressure over the west of high pressure system into the area and subsides over the region by anticyclone. The HYSPLIT model outputs show that the main sources of dust for southwest of Iran is a region located over the central-northern part of Iraq and western Syria through northern Saudi Arabia. Comparing between the three patterns, it reveals that the High-pressure pattern has the smallest amount of dust transportation in a confined region. Using AAI index, it shows that the Coupling pattern experiences the most horizontal expansion of dust over the Middle East.

Keywords: *Dust storm, Arabian high, Zagros trough, Shamal wind, HYSPLIT model and South-western Iran.*