

اثر متقابل شدت فعالیت موسمی تابستانه آسیا بر روی گردوغبارهای ایران و خاورمیانه

حسن حاجی محمدی^{۱*}، ته‌مین‌ه چهره آرا ضیابری^۲

^۱ دانشجوی دکترای آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران
^۲ استادیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

چکیده

سازوکار موسمی تابستانه آسیا و نقش واداشت‌های آن بر گردش جو منطقه‌ای از مباحث چالش برانگیز به حساب می‌آید. در این راستا سعی شد تا به بررسی اثر متقابل موسمی تابستانه در دوره‌های شدید افزایش گردوغبار در خاورمیانه و ایران پرداخته شود. برای رسیدن به این هدف از داده‌های ERA5 با توان تفکیک ۰.۲۵ درجه جغرافیایی استفاده شد. در ادامه با استفاده از شاخص‌های دینامیکی و فیزیکی اقدام به بررسی تغییرات کمیت‌های هواشناختی موسمی در ارتباط با شروع و خاتمه تابستان در منطقه شد. نتایج نشان داد که تابستان در منطقه بر اساس تغییرات تاوایی و شیب تغییرات دما از اوایل ماه جون شروع و تا اواخر ماه سپتامبر ادامه دارد. طی این دوره شروع فعالیت جت‌های تراز زیرین باد شمال و باد سیستان در منطقه بوده که نقش اصلی در انتقال و توزیع گردوغبار را در منطقه ایفا می‌کنند. با تقویت موسمی تابستانه پراتفاع‌های جنب حاره در وردسپهر میانی و فوقانی به ترتیب دارای جهشی بالاسو و گسترش مداری داشته و در این راستا به افزایش تاوایی منفی بر روی ایران منجر می‌شود. با افزایش جریان‌های نزولی گردش وردسپهر زیرین دچار دگرگونی شده و به افزایش سرعت باد جریان جت تراز زیرین نسبت به میانگین بلندمدت خود شده است. انتقال گردوغبار به عرض‌های پایین‌تر توسط این دو جت صورت گرفته و از طرفی با گسترش مداری ذرات گردوغبار بوسیله جت سومالی، شرایط را برای انتقال آن به شبه جزیره هند و سیستم موسمی فراهم می‌سازد. نتایج حاصل از همبستگی بین کمیت‌های هواشناختی و مقادیر AOD در خاورمیانه و ایران نشان داد که نقش واداشت‌های فوقانی به مانند افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال از معناداری و ارتباط بالایی برخوردار است. از طرفی برای درک سازوکار بهتر افزایش سرعت باد در جت‌های تراز زیرین و افزایش گردوغبار در منطقه، تغییرات مکانی تاوایی نسبی بر روی جنوب غرب آسیا مهم‌ترین عامل در منطقه به حساب می‌آید.

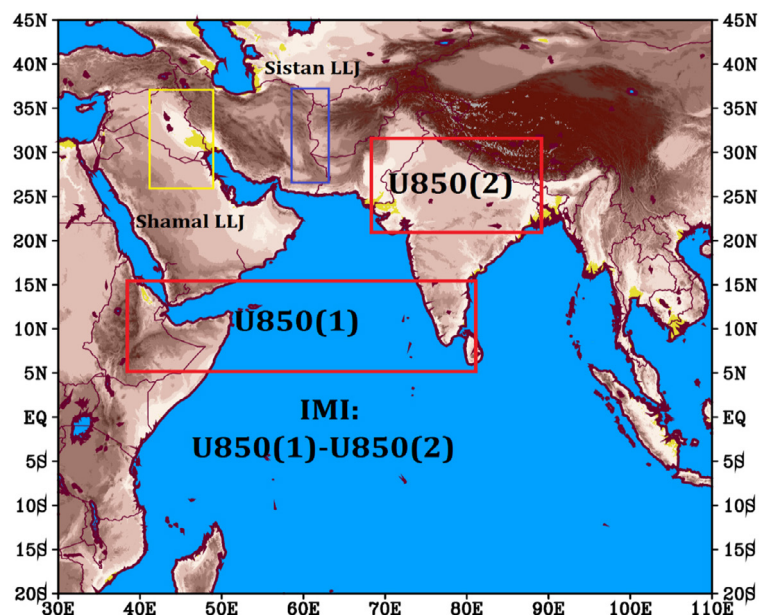
کلمات کلیدی: موسمی تابستانه آسیا، گردوغبار، باد سیستان، باد شمال، جت سومالی

مقدمه

در تعریف موسمی می‌توان گفت که تغییرپذیری جریان معکوس باد همراه با چرخه فصلی قوی از بارندگی می‌باشد (سیمپسون، ۱۹۲۱؛ رمیج، ۱۹۷۱؛ رائو، ۱۹۷۶؛ وبستر، ۱۹۸۷). اکثر سیستم‌های موسمی توسط تغییر فصلی در جابجایی نصف النهاری منطقه همگرایی درون استوایی (ITCZ) هدایت می‌شوند که تغییرات فصلی شمال به جنوب آن سبب به تاخیر افتادن ۱ الی ۲ ماهه خط بیلان تابش خورشیدی در منطقه می‌شود (چارنی، ۱۹۶۷؛ گادگیل، ۲۰۰۳؛ گوسوامی، ۲۰۰۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ گادگیل، ۲۰۱۸؛ هیل، ۲۰۱۹؛ گین و همکاران، ۲۰۲۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). قدرت موسمی به طور قابل توجهی توسط عدم تباین حرارتی خشکی-اقیانوس و تفاوت دمای بین نیمکره‌ای ایجاد می‌شود (هالی، ۱۷۵۳؛ وبستر، ۱۹۸۷؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ چیانگ و فریدمن، ۲۰۱۲؛ وو و همکاران، ۲۰۱۲؛ فریدمن، ۲۰۱۳؛ روکسی و همکاران، ۲۰۱۵؛ جین و وانگ، ۲۰۱۷). یکی از قوی‌ترین موسمی‌ها، موسمی تابستانه هند می‌باشد که در اوایل ماه جون شروع به فعالیت کرده و سبب افزایش جریان‌های همرفتی بر روی عمده مناطق شبه جزیره هند و شمال دریای عرب می‌شود (وانگ و لین هو، ۲۰۰۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷) که طی آن در ماه جولای با افزایش شار گرمای محسوس و بیشینه شیب تغییرات دما شمال به جنوب در وردسپهر میانی بویژه بر روی فلات تبت و فلات ایران سبب تقویت موسمی هند می‌گردد (گادگیل، ۲۰۰۳؛ ۲۰۱۸؛ وو و همکاران، ۲۰۱۲؛ وو و همکاران، ۲۰۱۷؛ هری و همکاران، ۲۰۲۰). گرمای محسوس همراه با گرمای نهان قوی آزاد شده حاصل از همرفت‌های عمیق در دل موسمی، سبب به اوج رسیدن آن در ماه‌های جولای و آگوست شده که در ماه سپتامبر با تغییرات جنوب سوی کمربند همگرایی حاره شرایط ذکر شده از بین می‌رود (سینگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ راجوان و همکاران، ۲۰۱۰؛ راتنامان و همکاران، ۲۰۱۷). جین و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که بیش از ۵۰ درصد گردوغبارها در شبه جزیره عربستان در طول دوره فعالیت موسمی تابستانه دارای منشأ معدنی می‌باشند که

توسط باد شمال^۲ به دریای عرب منتقل می‌شود. اخیراً مشاهده شد که همبستگی مثبتی بین گردش موسمی تابستانه هند و افزایش حجم گردوغبار در خاورمیانه و شبه جزیره عربستان و انتقال آن به دریای غرب وجود دارد (شارمال و ویلر، ۲۰۱۷؛ آتادا و همکاران، ۲۰۱۸) که این ارتباط با شدت یافتن موسمی به تقویت فرآیندهای ترمودینامیکی در خاورمیانه از طریق امواج راسی کمک می‌کند (رادول و هاسکینز، ۲۰۰۱؛ آتادا و همکاران، ۲۰۱۸). در این راستا تحقیقات نشان داد که شدت وضعف موسمی در گردش جو تابستانه خاورمیانه تاثیر مستقیم داشته و با فرونشست شاخه نزولی موسمی بر روی ایران و خاورمیانه سبب شکل‌گیری سامانه‌های شبه ساکن به مانند پارتفاع‌های جنب حاره در منطقه می‌شود (مفیدی و زرین، ۱۳۹۱). در همین راستا جین و همکاران (۲۰۲۱) عقیده دارند که در طول فعالیت موسمی تابستانه منابع گردوغباری توسط دو جت تراز زیرین در خاورمیانه به دریای عرب شارش یافته که در ادامه توسط جت سومالی به داخل شبه جزیره هند منتقل می‌گردد. در راستای سازوکار این جت تراز زیرین در ایران که در شرق و غرب فلات ایران در دوره تابستانه فعالیت می‌کنند مشاهده شد که این دو جت دارای سازوکار مقیاس منطقه‌ای-محلی می‌باشند. بدین صورت که باد سیستان با شکل‌گیری پارتفاع ترکمنستان و شمالی شدن جریانات و از طرفی افزایش نقش واداشت‌ها و سازوکار محلی همچون نوسان بلک آدار و کاهش تلاطم (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵) و تغییرپذیری فشار محلی و افزایش سرعت باد (کمالی و همکاران، ۲۰۱۷) به افزایش حجم انتقالی گردوغبار منتج می‌شود. بررسی‌ها بر روی باد شمال نشان داد که تشکیل باد و شدت یافتن آن حاصل برهمکنش بین واداشت‌های کوهستانی زاگرس و موسمی تابستانه هند می‌باشد (صداقت و حاجی محمدی، ۱۳۹۸؛ مفیدی و زرین، ۲۰۲۲) که از مناطق حوضه دجله-فرات و کویت سبب برداشت گردوغبار شده و یک رابطه متقابل بین فعالیت باد شمال و افزایش گردوغبار در خاورمیانه و به خصوص بر روی شبه جزیره عربستان بر قرار است (یو و همکاران، ۲۰۱۵).

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق به دو بخش گردش



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه شاخص موسمی هند (رنگ قرمز) و جت های تراز زیرین سیستان (رنگ آبی) و شمال (رنگ زرد) بر روی ایران

شروع و خاتمه تابستان در منطقه می باشد. در ادامه بر اساس شاخص های دینامیکی و فیزیکی ارائه شده توسط مفیدی و زرین (۱۳۹۱) ابعاد مختلف شروع و خاتمه تابستان ارائه گردید. در ادامه به بررسی وضعیت عمق ایتیکی آئروسول ها و جت های تراز زیرین در ماه های جون، جولای، آگوست و سپتامبر متوسط گیری شده برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ شد. پس از آن با استفاده از شاخص موسمی تابستانه هند^۳ دوره های شدت و ضعف موسمی تابستانه استخراج شد. با بررسی دوره های شدید در ماه های مختلف تابستان منطقه، اقدام به تهیه نقشه های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تلاوایی ترازهای ۲۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت باد برای دو جت تراز زیرین در منطقه (باد شمال و باد سیستان) شد. در نهایت به منظور اثبات این نظریه که آیا موسمی تابستانه بر روی گردوغبار منطقه تاثیر داشته یا خیر؟ برای محدوده های مشخص شده در شکل ۱ که دامنه فعالیت جت های تراز زیرین بوده، در ماه هایی که موسمی شدید بوده نقشه های همبستگی بین مقادیر AOD ایران و خاورمیانه و گردش و ردسپهر میانی و فوقانی موسمی تابستانه تهیه شد.

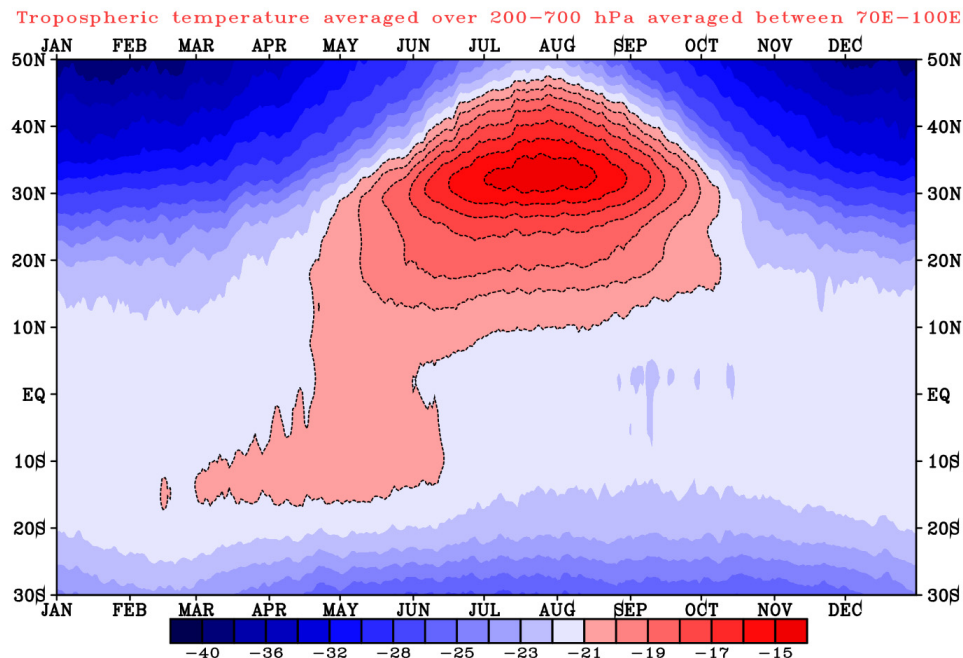
شاخص تابستانه آسیا نیز یک شاخص گردشی-دینامیکی

جو و مناطق متأثر از گردوغبار می باشد که در بخش نخست بین طول های ۳۰ تا ۷۰ درجه شرقی و عرض های ۲۰ تا ۴۵ درجه شمالی در نظر گرفته شد تا ایران و خاورمیانه را در بر گیرد. در بخش دوم برای تحلیل گردش جو بین طول های ۱۰ تا ۱۴۰ درجه شرقی و عرض های ۰ تا ۵۵ درجه شمالی در نظر گرفته شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی شدت فعالیت موسمی تابستانه و اثرگذاری آن بر روی گردوغبارهای ایران و خاورمیانه از داده های مرکز پیش بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) شامل دمای هوا، مرکز پیش بینی میان مدت جو اروپا (ECMWF) بخش ERA5 داده های ارتفاع ژئوپتانسیل، مولفه مداری و مولفه نصف النهاری باد و داده های مقادیر AOD سنجنده مودیس به ترتیب با توان تفکیک ۲،۵، ۰،۲۵ و ۱ درجه جغرافیایی اخذ شد. در قدم بعدی با استفاده از داده های بلندمدت (۱۹۹۱-۲۰۲۰) دمای هوا به بررسی شیب دمایی معکوس بین لایه های و ردسپهر زیرین و فوقانی شد. هدف از انجام این کار رسیدن به درک عمیقی از وضعیت فیزیکی

3 - Indian Summer Monsoon Index



شکل ۲. نمودار ها فمولر متوسط دمای بین طول های ۷۰ تا ۱۰۰ درجه شرقی بین ترازهای ۷۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال (متوسط بلندمدت ۳۰ ساله: ۱۹۹۱-۲۰۲۰)

ارائه گردد تا بتوان به درک عمیق تری از گردش تابستانه موسمی و اثرات آن بر روی خاورمیانه و ایران دست یافت.

-شروع و خاتمه تابستان در منطقه

در ابتدا بر اساس شاخص گاسوامی و خاویز (۲۰۰۵) و خاویز و همکاران (۲۰۰۷) اقدام به بررسی تفاوت دمای بین ترازهای مختلف جو بصورت روزانه در یک بازه زمانی بلندمدت شد. با بررسی شکل ۲ مشاهده شد که شیب نصف النهاری دما از ماه مارس در نیمکره جنوبی شروع شده و با نزدیک شدن به دوره گرم، مابین ماه های می تا جون با یک جهش بالاسو یک هسته بیشینه دما مابین عرض های ۲۰ تا ۴۰ درجه شمالی شکل گرفته است که هسته اصلی این گرمایش بر روی عرض ۳۰ درجه قرار دارد. همانطور که مشاهده شد از اواخر ماه می تا اوایل ماه اکتبر بیشینه دما در منطقه مشاهده می گردد که بر اساس مختصات جغرافیایی این بیشینه بر روی فلات تبت قرار گرفته است.

بر اساس یافته ها در شکل ۳ مشاهده شد که در طول ماه های گرم سال (جون تا سپتامبر) بین طول های ۳۰ تا ۱۰۵ درجه شرقی محدوده بیشینه دما در ورد سپهر مشاهده

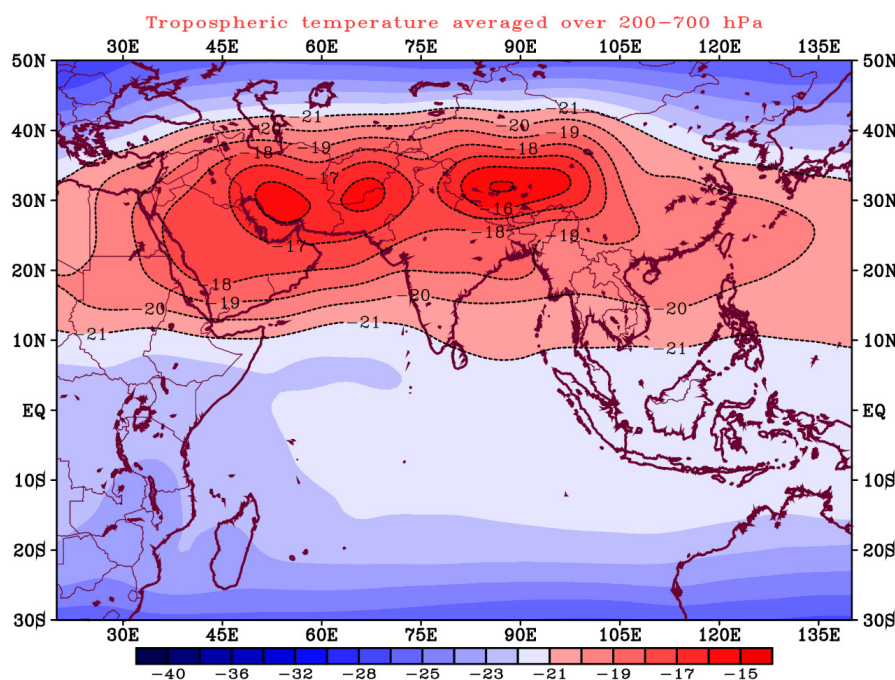
برای مانسون تابستانه هند (IMI⁴) است که با استفاده از اختلاف مؤلفه های مداری باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بین دو محدوده (20-30°N, 70-90°E) و (5-15°N, 40-80°E) تعریف می شود (رابطه ۱) (شکل ۱).

$$IMI = U850(40^{\circ}E - 80^{\circ}E, 15^{\circ}N - 30^{\circ}N) - U850(70^{\circ}E - 90^{\circ}E, 20^{\circ}N - 30^{\circ}N) \quad (1)$$

از آنجایی که در این شاخص برش باد نصف النهاری همبستگی ضعیفی با بارش دارد و فقط مؤلفه مداری در رابطه تاوایی حاکم است بنابراین از تاوایی استفاده نشده است (وانگ و فن، ۱۹۹۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۱). لازم به توضیح است که برای تولید تمامی خروجی ها از نرم افزار GrADS⁵ استفاده شد.

نتایج و بحث

همانطور که در بخش مواد و روش ها اشاره شد، برای بررسی موسمی تابستانه در منطقه نیاز بود تا شروع و خاتمه تابستان در منطقه بر اساس شاخص های دینامیکی و فیزیکی



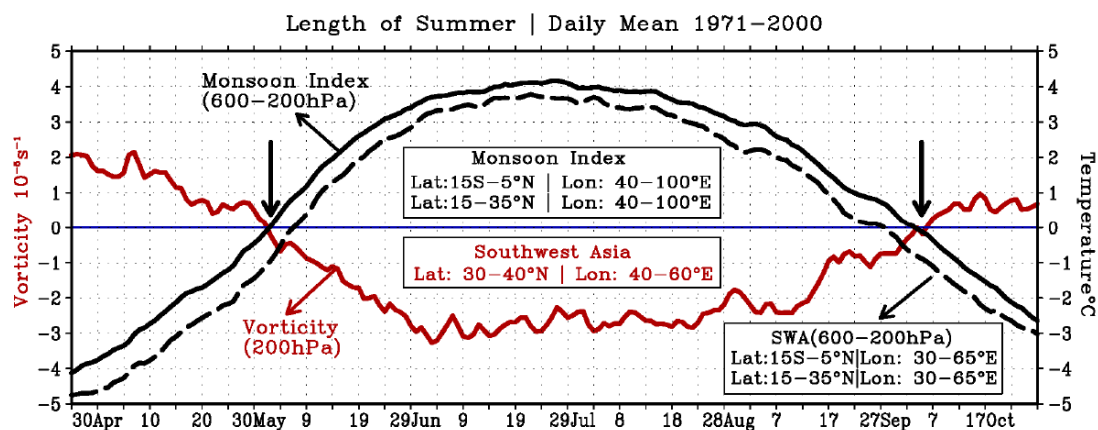
شکل ۳. متوسط دمای بین ترازهای ۷۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال متوسط گیری شده برای ماه های جون، جولای، آگوست و سپتامبر (متوسط بلندمدت ۳۰ ساله: ۱۹۹۱-۲۰۲۰)

بر اساس شکل ۵ مشاهده می شود که متوسط توزیع و انتشار گردوغبار در منطقه در ماه های جون و جولای دارای بیشترین مقدار بوده و پس از آن ماه های آگوست و سپتامبر از این حیث در رده های بعدی قرار دارند. نتایج حاکی از آن است که در تابستان منطقه مابین دریای خزر و دریاچه آرال هسته گردوغباری شکل گرفته که در مرزهای شرقی ایران بصورت نواری باریک به عرض های پایین تر منتقل شده است. این وضعیت در غرب فلات ایران نیز نشان داد که از قسمت های شمالی عراق جریان گردوغباری شروع و تا جنوب شبه جزیره عربستان توسعه یافته است. همانطور که مشاهده می شود در نواحی شرقی ایران و در ماه های جون و جولای با افزایش غلظت گردوغبار بر روی ترکمنستان، این شرایط در نواحی شرقی ایران که دامنه فعالیت باد سیستان بوده نیز افزایش می یابد و با نزدیک شدن به ماه سپتامبر این شرایط تضعیف می گردد. با بررسی وضعیت گردوغبار در غرب فلات ایران که دامنه فعالیت باد شمال بوده نیز وضعیتی مشابه بر قرار می باشد. به طوریکه در ابتدای تابستان منطقه و به خصوص در ماه جون بیشینه غلظت گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران؛ قسمت

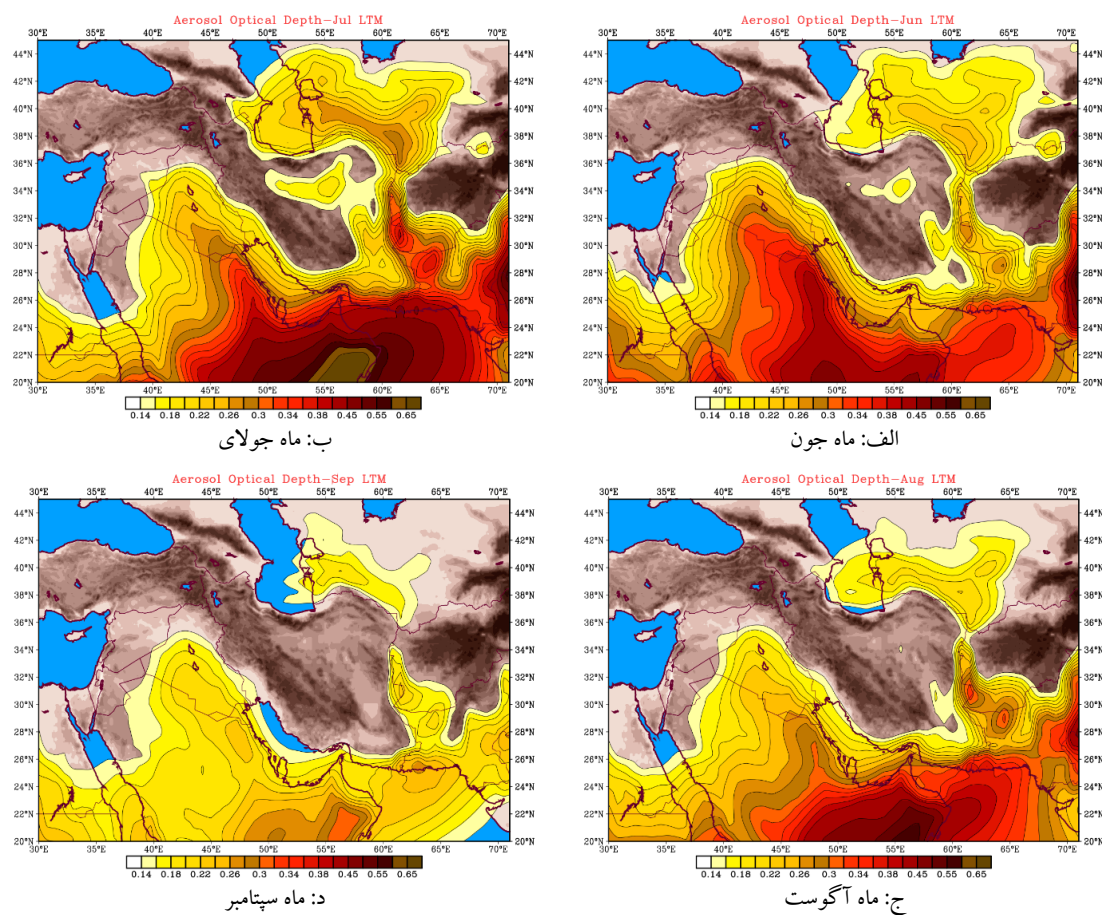
می شود که در دل آن ۳ هسته بر روی ایران، افغانستان و ارتفاعات شمالی هند با متوسط ۱۶- درجه سلسیوس شکل گرفته است. وجود این بیشینه در منطقه حاصل برهمکنش بین ارتفاعات تبت، هندوکش و زاگرس بوده و از طرفی با شروع تابستان در منطقه و همزمان با فعالیت موسمی این مقدار به بیشینه خود رسیده است.

بر اساس آنچه که گفته شد سعی شد تا بر اساس یافته های مفیدی و زرین (۱۳۹۱) شروع و خاتمه تابستان منطقه بر اساس شاخص های دینامیکی که بر پایه تاوایی نسبی و اختلاف دما در راستای مدارات و نصف النهارات بود پرداخته شود. نتایج حاکی از آن است که شروع و خاتمه تابستان بر اساس شاخص های یاد شده از اواخر می تا اوایل اکتبر بوده که چگونگی شیب معکوس نصف النهاری دما بر روی جنوب غرب آسیا و گردش واپرخندی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال با تاخیری ۱۰ روزه شاخص های مناسبی برای تعیین زمان آغاز، پایان و طول فصل گردش تابستان در منطقه جنوب غرب آسیا به حساب می آید (شکل ۴).

-وضعیت مقادیر AOD و جت های تراز زیرین در تابستان منطقه



شکل ۴. نمودار هافمولر شاخص های فیزیکی و دینامیکی بر روی آسیا در زمان فعالیت موسمی و شدت آن (منبع: مفیدی و زرین، ۱۳۹۱)



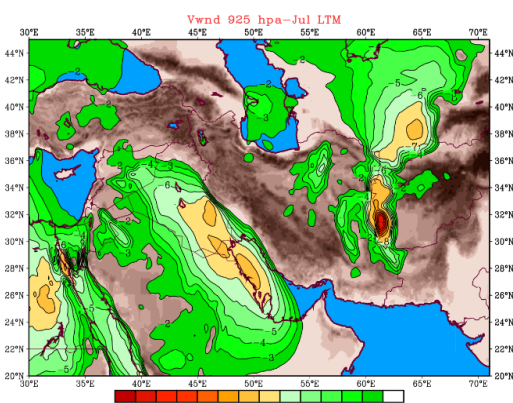
شکل ۵. وضعیت متوسط مقادیر AOD برای تابستان منطقه (متوسط گیری شده برای سال های ۲۰۲۰-۲۰۰۰)

حاکمی از آن است که یک جریان شمالی از جنوب شرق دریایچه آرال شروع و در مرزهای شرقی ایران به بیشینه خود رسیده است. جهت قرارگیری باد شمال در راستای ارتفاعات زاگرس و در قسمت رو به باد این رشته کوه بوده که هسته بیشینه آن غالباً در قسمت جنوب شرق عراق بوده که در برخی موارد بصورت مشترک بیشینه سرعت این جت نیز بر روی خلیج فارس شکل می گیرد. وجود این دو سازوکار در شرق و غرب فلات ایران سبب انتقال گردوغبار به عرض های پایین تر شده است (شکل ۶).

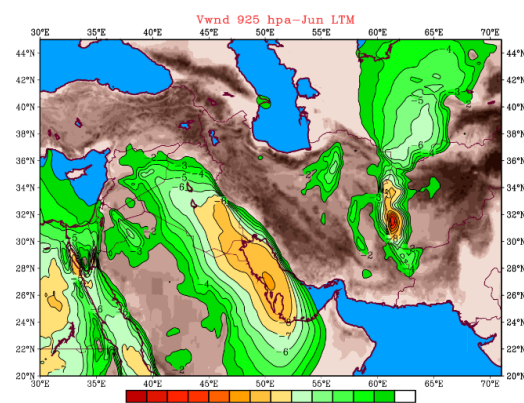
-بررسی شدت و ضعف شاخص موسمی هند

پس از بررسی بلندمدت جت های تراز زیرین و مقادیر AOD سعی شد تا با استفاده از شاخص موسمی تابستانه هند دوره های شدت و ضعف آن شناسایی شود. در این راستا

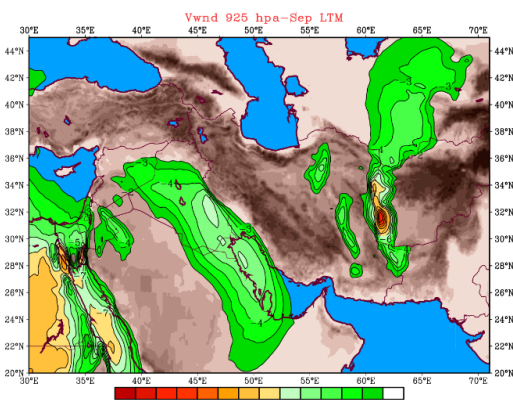
های جنوبی عراق و عمده مناطق شبه جزیره عربستان قابل مشاهده می باشد. بر اساس الگوی انتشار گردوغبار که بیشتر بصورت نصف النهاری بوده و طی حاکمیت جریان شمالی که توسط دو جت تراز زیرین گردوغبار شکل گرفته در منطقه تا عرض های ۲۱ الی ۲۲ درجه شمالی منتقل می گردد و پس از آن دارای توزیعی مداری می شود که این وضعیت بر روی دریای عرب و جنوب شبه جزیره عربستان بر قرار است. به منظور بررسی جت های تراز زیرین در منطقه از مولفه نصف النهاری باد در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال استفاده شد. بررسی ها نشان داد با شروع تابستان در منطقه این دو جت در شرق و غرب فلات ایران شروع به فعالیت کرده که باد شمال در محدوده وسیع تری اما با متوسط سرعت در هسته بیشینه خود ۱۱- متر بر ثانیه بوده اما باد سیستان در هسته بیشینه خود به بیش از ۱۵- متر بر ثانیه می باشد. سازوکار باد سیستان



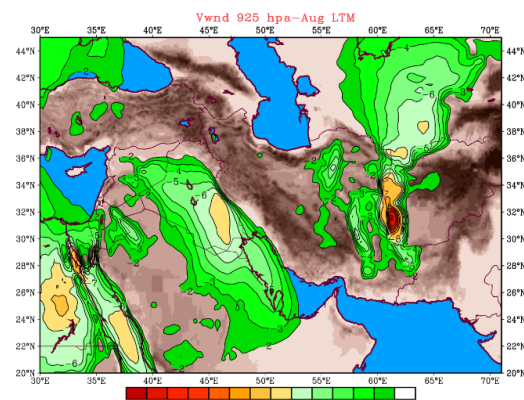
ب: ماه جولای



الف: ماه جون

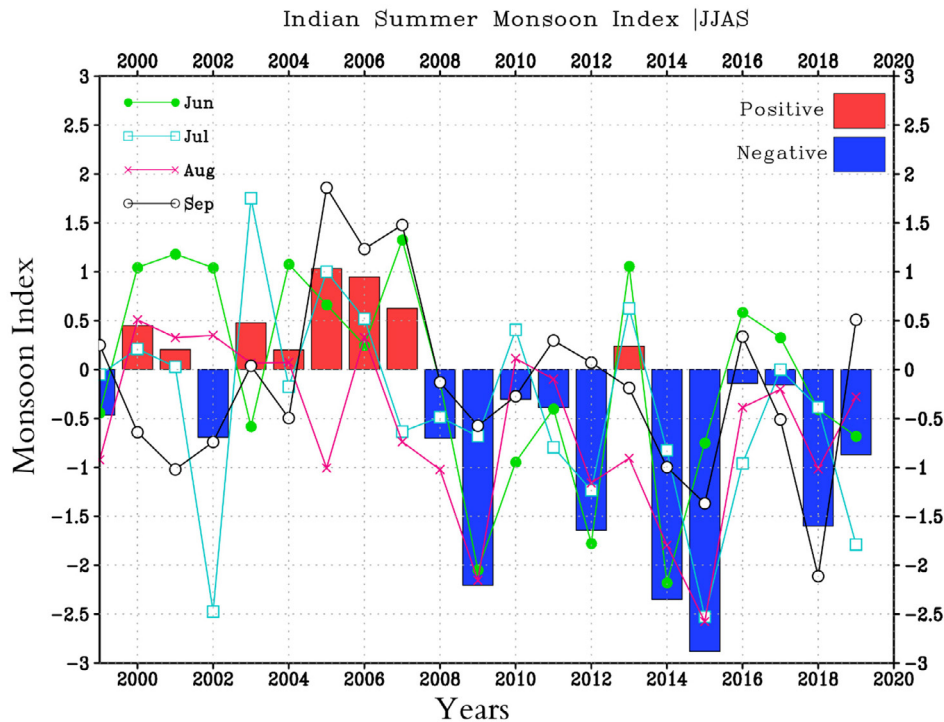


د: ماه سپتامبر



ج: ماه آگوست

شکل ۶. وضعیت متوسط سرعت باد نصف النهاری تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال برای تابستان منطقه (متوسط گیری شده برای سال های ۲۰۲۰-۲۰۰۰)



شکل ۷. نمودار سری زمانی شاخص موسمی تابستانه هند (۲۰۲۰-۲۰۰۰)

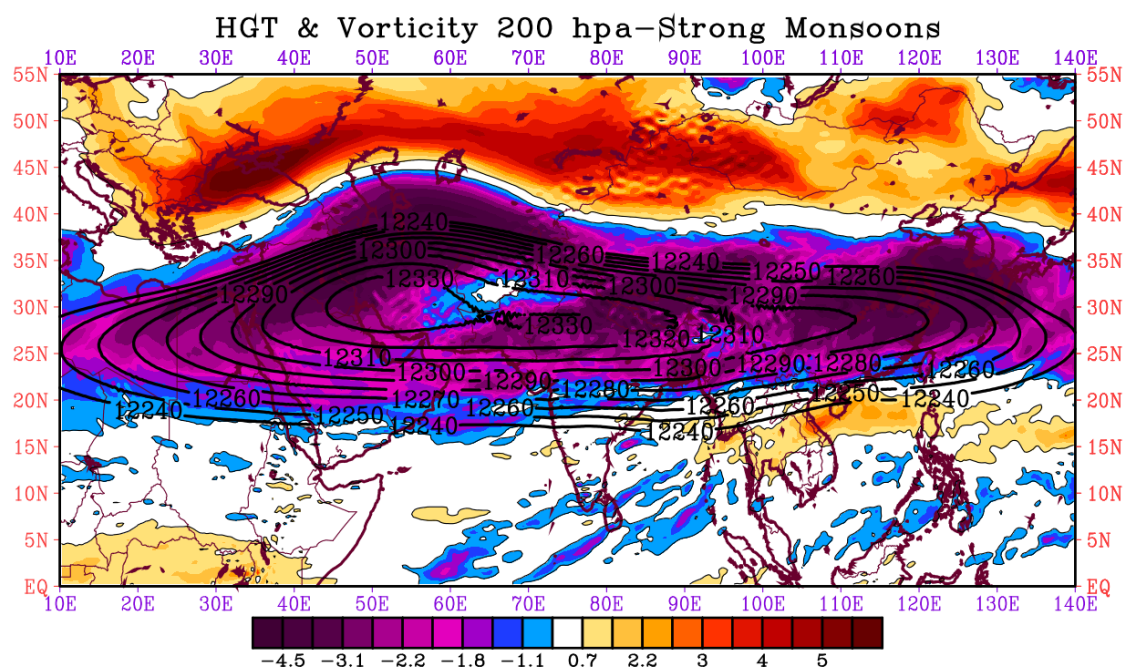
وردسپهر فوقانی از شمال شرق آفریقا تا مناطق غربی اقیانوس آرام کشیده است. با تقویت این سامانه منطقه وسیعی با گردش و اچرخندی در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال همراه شده و در عین حال هسته اصلی این پراتفاح بر روی ایران شکل گرفته که مد ایران در زمان تقویت موسمی قدرتمندتر از مد تبت می باشد. بیشینه تاوایی منفی بر روی فلات ایران و در محدوده شرق دریای مدیترانه تا شرق ترکمنستان ادامه دارد (شکل ۸). در بخش بعدی سعی شد تا تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به شکل ۹ گردش وردسپهر میانی حاکی از تقویت پراتفاح‌های جنب حاره بر روی منطقه بود. بدین صورت که هسته‌های پراتفاح بر روی شمال غرب آفریقا، ایران، قسمت های جنوب غرب عربستان و غرب اقیانوس آرام تقویت شده اند و جریان نزولی بسیار قوی حاکم شده است. در این بین ناوه موسمی بسیار تقویت شده و محدوده وسیعی از روی اقیانوس هند تا شبه جزیره هند را در بر گرفته است. بر روی ایران پراتفاح جنب حاره ایران بسیار تقویت شده و ارتفاع آن به

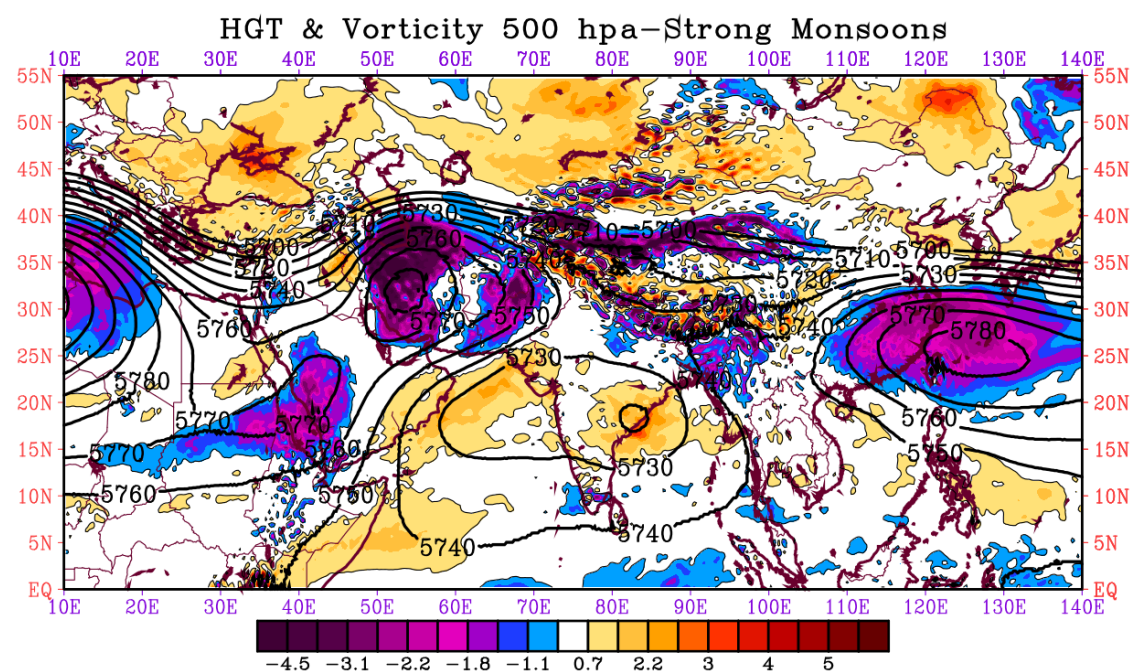
بصورت ماه به ماه شاخص محاسبه گردید. بررسی سری زمانی نشان داد که طی ۲۱ سال فقط ۸ سال موسمی تابستانه در فازهای مثبت قرار داشته و در این بین ۱۳ سال شاخص منفی بوده است. از این رو برای شناسایی دوره های شدید، ماه هایی که شاخص مثبت بود در نظر گرفته شد. از شدیدترین دوره ها می توان به جولای ۲۰۰۳، سپتامبر ۲۰۰۵، سپتامبر ۲۰۰۷، جون ۲۰۰۷، جون ۲۰۰۱ و جون ۲۰۱۳ اشاره نمود (شکل ۷). پس از استخراج دوره های شدید مثبت مقادیر کمیت های هواشناختی برای دوره های یاد شده متوسط گیری شد.

سازوکار جوی کمیت های هواشناختی در دوره موسمی تابستانه قوی

در این بخش سعی شد تا به بررسی کمیت های هواشناختی در وردسپهر فوقانی، میانی و زیرین پرداخته شود. با متوسط گیری کمیت ها در دوره هایی که موسمی تابستانه قوی بود نقشه های ترکیبی تولید شد. بررسی ها نشان داد که در دوره ای که موسمی تابستانه قوی می باشد، پراتفاح



شکل ۸. متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال برای دوره های موسمی قوی



شکل ۹. متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دوره های موسمی قوی

نیز از شرایط ذکر شده متاثر گردد. با بررسی مولفه نصف النهاری باد در ترازهای زیرین و ردسپهر مشاهده شد که در دوره های شدید موسمی تابستانه، باد شمال و باد سیستان نسبت به

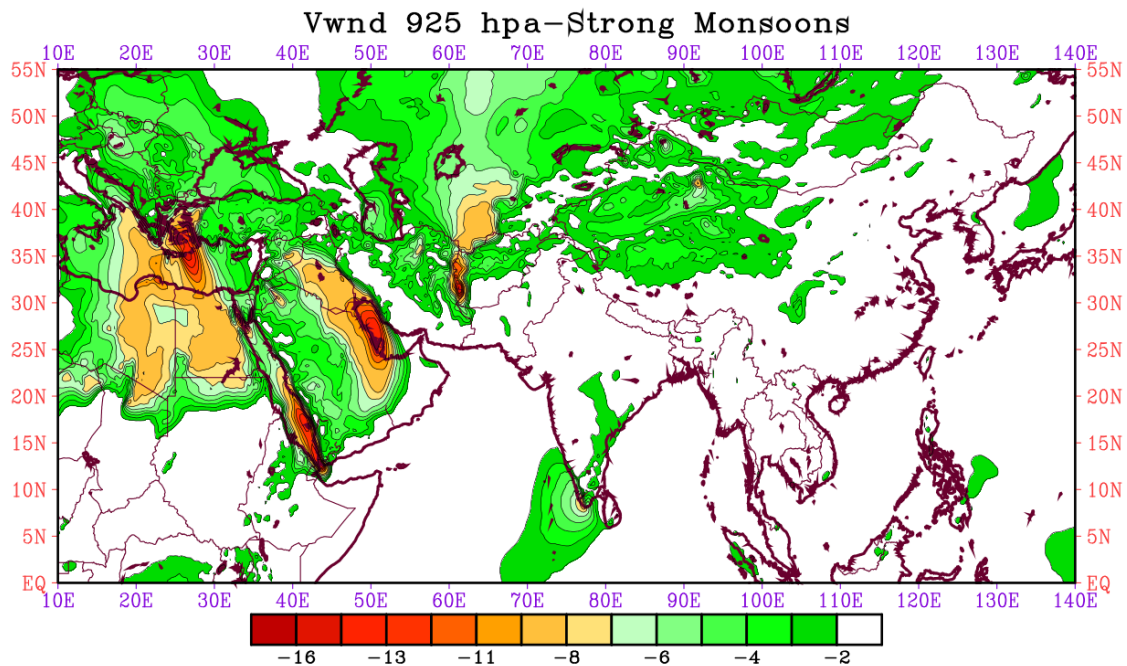
۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر رسیده است. نزول شدید بر روی فلات ایران طی دو جریان منفی تاوایی نسبی که بر روی ارتفاعات زاگرس و افغانستان تشکیل شده سبب شده تا ترازهای زیرین

میانگین بلندمدت خود افزایش ۲- الی ۴- متر بر ثانیه را در بر داشته است. همانطور که اشاره شد افزایش جریان نزولی در ترازهای میانی و فوقانی و رددسپهر سبب شده تا گردش تراز زیرین نیز متاثر گردد و با افزایش جریانات شمالی به تقویت جت های تراز زیرین ختم شده و از سویی طی تحقیقات صورت گرفته مشخص شد که برهمکنش جو تابستانه تاثیر بالایی را از ارکان موسمی داشته و با قدرت یافتن موسمی واداشت های آن بر روی گردش جو بر روی جنوب غرب آسیا تاثیر مستقیم داشته است (شکل ۱۰).

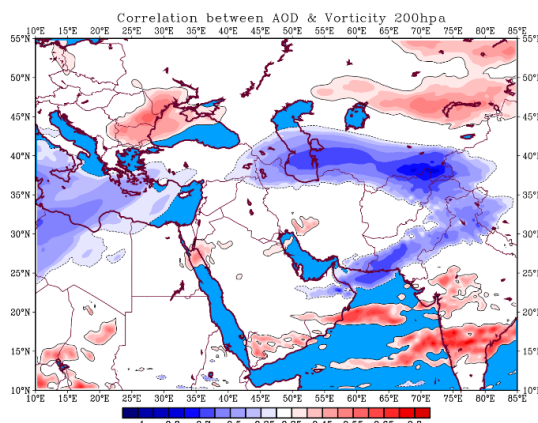
-نقشه های همبستگی فضایی بین مقادیر AOD و کمیت های هواشناختی

به منظور درک سازوکار حاکم بر رخداد گردوغبارهای تابستانه در ایران و خاورمیانه سعی شد تا متوسط مقادیر منطقه ای مقادیر AOD برای محدوده های فعالیت جت های تراز زیرین شمال و سیستان که در شکل ۱ مشخص شده است، تهیه گردد تا در ادامه نقشه های همبستگی کمیت های هواشناختی با متوسط AOD منطقه ای تهیه

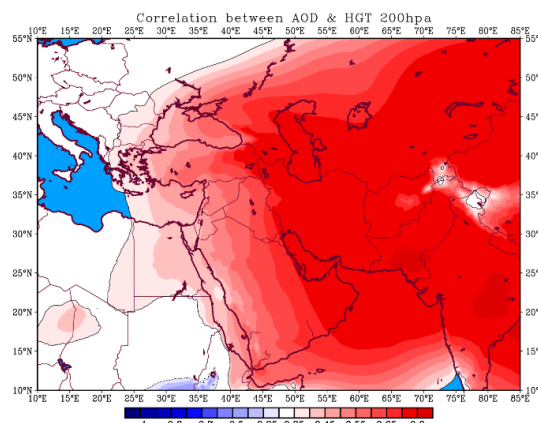
گردد. نتایج نشان داد که ارتباط قوی و مثبتی بین افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی جنوب غرب آسیا و افزایش مقادیر AOD در منطقه وجود دارد. همانطور که در شکل ۸ مشاهده شد با تقویت مد ایران در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال و افزایش مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل ارتباط مستقیمی با تقویت سامانه های تشکیل شده در و رددسپهر زیرین داشته و همین امر در افزایش غلظت گردوغبار در منطقه نقش دارد (شکل ۱۱ الف). با بررسی شکل ۱۱ ب مشاهده شد که تاوایی نسبی دارای همبستگی منفی بین طول های ۴۰ تا ۷۵ درجه شرقی با افزایش مقادیر AOD داشته است. بدین معنی که افزایش جریان نزولی و حاکمیت جریان و اچرخندی در منطقه شرایط برای افزایش واداشت های ترازهای فوقانی برای ترازهای زیرین فراهم شده است که ارتباط نزدیک به ۰,۶- را نشان می دهد. از طرفی بیشینه همبستگی مثبت مربوط به دریای عرب، هند و بخش هایی از اقیانوس هند بوده که با تقویت موسمی افزایش تاوایی مثبت در منطقه و وقوع همرفت های عمیق یک الگوی زوجی از برهمکنش موسمی قوی در ارتباط با افزایش گردوغبار



شکل ۱۰. متوسط باد نصف النهاری تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال برای دوره های موسمی قوی

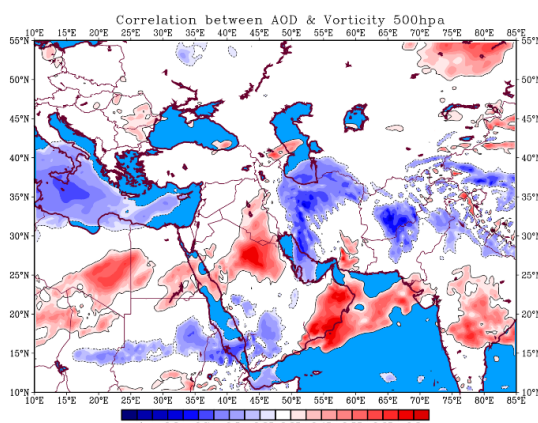


ب: نقشه همبستگی بین AOD و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

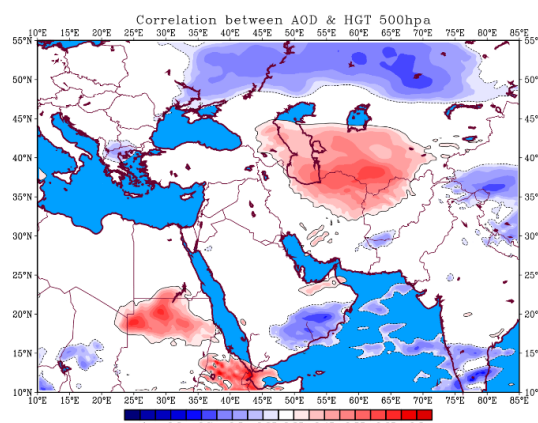


الف: نقشه همبستگی بین AOD و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۱. نقشه های همبستگی بین مقادیر AOD و کمیت های هواشناختی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال



ب: نقشه همبستگی بین AOD و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

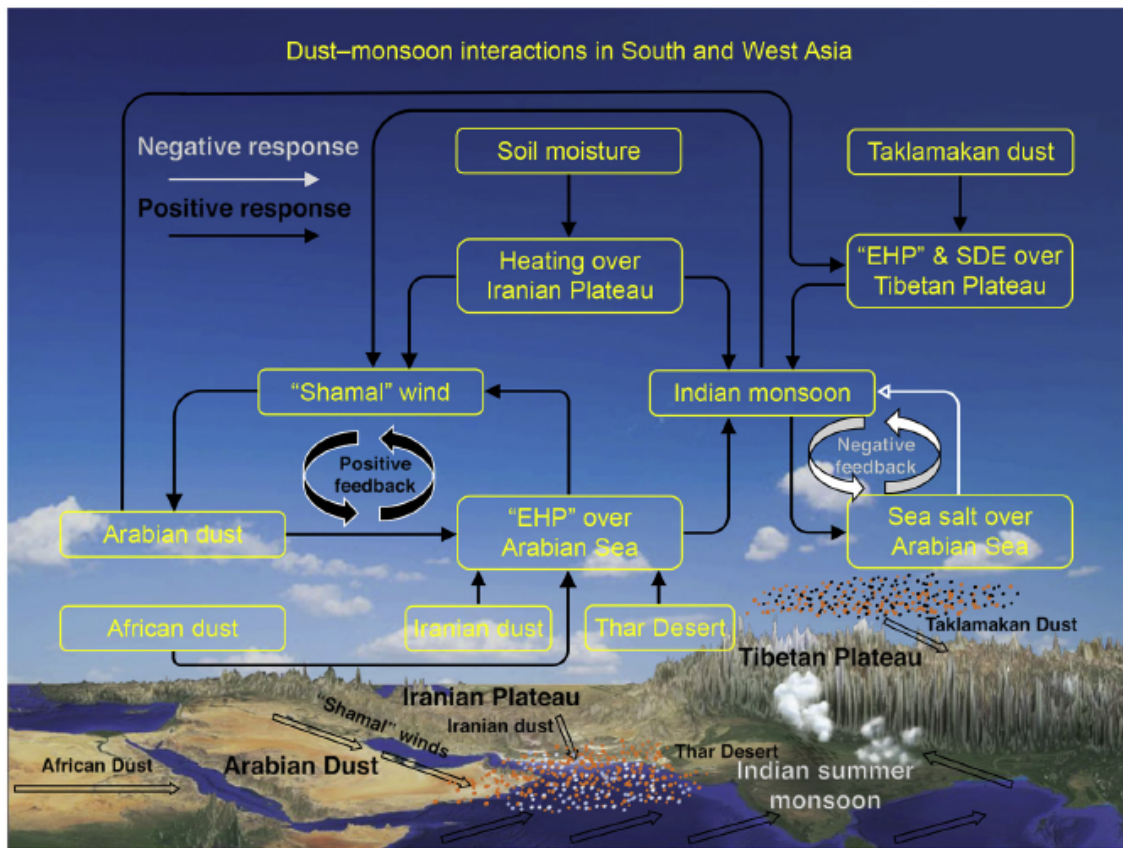


الف: نقشه همبستگی بین AOD و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۲. نقشه های همبستگی بین مقادیر AOD و کمیت های هواشناختی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

تابستانه در تحقیق اخیری که توسط حاجی محمدی (۱۴۰۱) صورت گرفت نشان داد که نقش واداشت های موسمی تابستانه در تشکل و تقویت این سامانه کاملاً موثر می باشد و از طرفی در این تحقیق نیز مشاهده می شود که با شدت یافتن موسمی پر ارتفاع های جنب حاره نیز بر روی جنوب غرب آسیا تقویت می گردد. در شکل ۱۲ ب همبستگی منفی بین تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و مقادیر AOD بر روی عمده مناطق ایران قابل مشاهده می باشد که مقدار آن به ۰٫۸- می رسد. با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و افزایش

منطقه شکل گرفته است. در شکل ۱۲ الف مشاهده شد که همبستگی مثبت نزدیک به ۰٫۷ در محدوده شمال شرق فلات ایران بین مقادیر AOD و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است. این درحالی است که در مناطق شمال شرق آفریقا نیز چنین وضعیتی بوجود آمده که بر اساس خروجی شکل ۹ با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز میانی و ردسپهر در دو منطقه یاد شده در دوره موسمی تابستانه قوی شرایط برای افزایش حجم گردوغبار در منطقه مشاهده می گردد. اثرگذاری موسمی



شکل ۱۳. شماتیکی از برهمکنش بین موسمی تابستانه آسیا و انتقال گردوغبار در غرب و جنوب غرب آسیا (منبع: جین و همکاران، ۲۰۲۱)

تابستانه حاکی از انتقال گردوغبار در جنوب غرب آسیا بوسیله دو جت تراز زیرین بوده که حاصل از گرمایش محسوس در فلات ایران و سامانه‌های شکل گرفته در منطقه می باشد. از طرفی با انتقال گردوغبار به دریای عرب، توسط جت سوماتی ذرات گردوغبار به داخل سیستم موسمی تابستانه وارد شده و با شدت یافتن موسمی در منطقه حجم انتقالی گردوغبار نیز افزایش می یابد.

جمع‌بندی

به منظور بررسی اثر متقابل شدت فعالیت موسمی تابستانه بر روی گردوغبارهای ایران و خاورمیانه نتایج زیر حاصل گردید: در بخش نخست پس از بررسی شاخص‌های دینامیکی و فیزیکی در محدوده جنوب غرب آسیا شروع و خاتمه تابستان بر اساس ماهیت ساختاری جو که برهمکنشی بین موسمی و

جریان‌های واپرخندی در این تراز موجبات شکل‌گیری جت‌های تراز زیرین و سامانه تقویت‌کننده آن‌ها در منطقه به حداکثر مقدار خود رسیده است. نکته جالب اینکه در مناطق شمال شرق آفریقا نیز به دلیل تشکیل پراارتفاع نیز همبستگی منفی نسبتاً قوی بوجود آمده است. ارتباط مثبت و قوی در محدوده‌های شمالی آفریقا، شمال و شرق عربستان و قسمت‌های مرکزی هند حاکی از تشکیل ناوه و افزایش چرخندگی بوده که در شکل ۹ بدان اشاره شد. افزایش مقادیر همبستگی در این تراز نشان داد که این وضعیت برای کمیت تلاوایی از درصد بالایی برخوردار می باشد.

در شکل ۱۳ شماتیکی از سازوکار انتقال گردوغبار در زمان فعالیت موسمی در جنوب غرب آسیا به نمایش درآمده که بازخوردهای تمامی سامانه‌های جوی که حاصل از واداشت موسمی و گردش جو تابستانه در منطقه بوده و اجزای موسمی

شد که نتیجه آن حاکی از تقویت جریان نزولی و در نهایت افزایش سرعت جریان جت های تراز زیرین است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشینه ارتباط مستقیم با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز مذکور و جهش بالاسوی پراارتفاع ایران می باشد. نکته بسیار با اهمیت در این تراز ارتباط بالا و جالب توجه بین مقادیر مثبت و منفی تاوایی نسبی در بررسی سازوکار و نقش پراارتفاع ایران در افزایش و کاهش مقدار سرعت باد جریان جت های تراز زیرین و در نهایت غلظت گردوغبار در خاورمیانه می باشد که به درک صحیحی از گردش جو تابستانه بر روی منطقه و نحوه اثرگذاری آن بر گردش جو تراز زیرین ختم شد.

در مقام مقایسه تحقیقی در این راستا، در ایران یافت نشد که بصورت مستقیم به تاثیر موسمی تابستانه و نقش آن در افزایش و کاهش گردوغبار در منطقه پرداخته باشد اما در تحقیقاتی بصورت مجزا به سازوکار جت های تراز زیرین و تقویت و تضعیف آن پرداخته شد که می توان به تحقیقات صداقت و حاجی محمدی (۱۳۹۸) و مفیدی و زرین، (۲۰۲۲) اشاره نمود. از طرفی حاجی محمدی (۱۴۰۱) به بررسی نقش موسمی تابستانه در شکل گیری پراارتفاع جنب حاره ایران پرداخته که در راستای سازوکار حاکم بر موسمی و نقش واداشت های آن بر گردش منطقه ای جو خاورمیانه می توان نظریه ارائه شده را به اثبات رساند.

مراجع

- حمیدیان پور، محسن؛ مفیدی، عباس؛ سلیقه، محمد (۱۳۹۵). تحلیل ماهیت و ساختار باد سیستمات. مجله ژئوفیزیک ایران. جلد ۱۰، شماره ۲.
- صداقت، مهدی؛ حاجی محمدی، حسن (۱۳۹۸). بررسی نقش ناوه پارسی و باد شمال در تشدید طوفان های گردوغبار فراگیر دوره گرم سال غرب ایران. نشریه مخاطرات محیط طبیعی. سال هشتم، شماره ۲۱.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر (۱۳۹۱). بررسی ماهیت، ساختار و وردایی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی. سال سوم، شماره ۱۱.
- حاجی محمدی، حسن (۱۴۰۱). بررسی نقش گردش وردسپهر فوقانی موسمی شرق آسیا و واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند تابستانه وردسپهر میانی ایران. نشریه هواشناسی و علوم جو. (پذیرفته شده برای چاپ)
- Jin, Q., Wei, J., Lau, W. K., Pu, B., & Wang, C. (2021). Interactions of Asian mineral dust with Indian summer monsoon: Recent advances and challenges. *Earth-Science Reviews*, 215, 103562.

واداشت های محلی بوده صورت می پذیرد. شروع تابستان بر اساس بررسی های انجام شده در منطقه بطور متوسط از اوایل ماه جون تا اواخر سپتامبر بوده که اساس این موضوع در برخی تحقیقات همچون مفیدی و زرین (۱۳۹۱) نیز اشاره شده است که در اینجا با بررسی تغییرات دما و اختلاف آن در محدوده فعالیت موسمی تابستانه اثبات گردید.

توزیع گردوغبار در خاورمیانه و ایران در دوره گرم سال حاصل از تقویت و تضعیف دو جت تراز زیرین سیستان و شمالی می باشد. دامنه فعالیت این دو جت حاکی از تغییرپذیری آن در دو ماه جون و جولای بوده که بیشینه سرعت را داشته و از طرفی نقش واداشت های محلی در توسعه مداری و نصف النهاری آنها تاثیر به سزایی را دارد. بیشینه سرعت باد و بیشینه گردوغبار در خاورمیانه بدون تاخیر زمانی و همزمان شروع شده و انتقال گردوغبار به مناطق جنوبی عربستان و شمال دریای عرب توسط دو جت نامبرده صورت می پذیرد که در نهایت توسط جت سومالی وارد شبه جزیره هند می شود.

بررسی ها نشان داد در مواقعی که موسمی تقویت می شود سامانه های جوی در منطقه نیز متاثر از آن می گردد. از اصلی ترین سامانه ها می توان به پراارتفاع های جنب حاره در وردسپهر میانی و فوقانی اشاره نمود که با گسترش مداری محدوده وسیعی را در بر گرفته و همین امر به تقویت تاوایی منفی بر روی جنوب غرب آسیا منجر می گردد. در طرف دیگر طی این وضعیت ناوه موسمی عمیق تر شده و محدوده وسیعی از اقیانوس و شبه جزیره هند را در بر می گیرد. جهش بالاسوی هسته های پراارتفاع های جنب حاره بر روی ایران در وردسپهر میانی و فوقانی سبب افزایش تاوایی منفی بر روی منطقه شده که سامانه وردسپهر زیرین را در تابستان منطقه متاثر می سازد که در نهایت در وردسپهر زیرین در دوره موسمی تابستانه قوی، جت های تراز زیرین نیز تقویت شده و میانگین سرعت آن ها نسبت به بلندمدت به بیش از ۲- متر بر ثانیه می رسد. بررسی ها نشان داد که ارتباط بالایی بین افزایش گردوغبار در منطقه و تقویت پراارتفاع جنب حاره و افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال وجود دارد که ضریب همبستگی آن ها به بیش از ۰٫۸۵ رسیده است. در این تراز همبستگی منفی بین تاوایی و افزایش گردوغبار مشاهده

- cooling, interhemispheric thermal gradients, and tropical climate change. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 40, 383–412.
- Wu, G.X., Liu, Y.M., He, B., Bao, Q., Duan, A.M., Jin, F.F., 2012. Thermal controls on the Asian Summer Monsoon. *Sci. Rep.* 2.
- Friedman, A.R., Hwang, Y.-T., Chiang, J.C., Frierson, D.M., 2013. Interhemispheric temperature asymmetry over the twentieth century and in future projections. *J. Clim.* 26, 5419–5433.
- Roxy, M.K., Ritika, K., Terray, P., Murtugudde, R., Ashok, K., Goswami, B.N., 2015. Drying of Indian subcontinent by rapid Indian Ocean warming and a weakening land-sea thermal gradient. *Nat. Commun.* 6.
- Jin, Q., Wang, C., 2017. A revival of Indian summer monsoon rainfall since 2002. *Nat. Clim. Chang.* 7, 587–594.
- Wang, B., LinHo, 2002. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J. Clim.* 15, 386–398.
- Wang, P.X., Wang, B., Cheng, H., Fasullo, J., Guo, Z.T., Kiefer, T., Liu, Z.Y., 2014. The global monsoon across timescales: coherent variability of regional monsoons. *Clim. Past* 10, 2007–2052.
- Wang, P.X., Wang, B., Cheng, H., Fasullo, J., Guo, Z., Kiefer, T., Liu, Z., 2017. The global monsoon across time scales: mechanisms and outstanding issues. *Earth Sci. Rev.* 174, 84–121.
- Gadgil, S., 2018. The monsoon system: land-sea breeze or the ITCZ? *J. Earth Syst. Sci.* 127, 1.
- Wu, G.X., Liu, Y.M., He, B., Bao, Q., Duan, A.M., Jin, F.F., 2012. Thermal controls on the Asian Summer Monsoon. *Sci. Rep.* 2.
- Wu, G., He, B., Duan, A., Liu, Y., Yu, W., 2017. Formation and variation of the atmospheric heat source over the Tibetan Plateau and its climate effects. *Adv. Atmos. Sci.* 34, 1169–1184.
- Hari, V., Villarini, G., Karmakar, S., Wilcox, L.J., Collins, M., 2020. Northward propagation of the intertropical convergence zone and strengthening of Indian summer monsoon rainfall. *Geophys. Res. Lett.* 47.
- Singh, A.P., Mohanty, U.C., Sinha, P., Mandal, M., 2007. Influence of different land-surface processes on Indian summer monsoon circulation. *Nat. Hazards* 42, 423–438.
- Rajeevan, M., Gadgil, S., Bhate, J., 2010. Active and break spells of the Indian summer monsoon. *J. Earth Syst. Sci.* 119, 229–247.
- Ratnam, M.V., Santhi, Y.D., Kishore, P., Rao, S.V.B., 2014. Solar cycle effects on Indian summer monsoon dynamics. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 121, 145–156.
- Jin, Q., Wei, J., Pu, B., Yang, Z.L., Parajuli, S.P., 2018. High summertime aerosol loadings over the Arabian Sea and their transport pathways. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 123, 10568–10590.
- Sharma, D., Miller, R.L., 2017. Revisiting the observed correlation between weekly averaged Indian monsoon
- Yu, Y., Notaro, M., Kalashnikova, O. V., & Garay, M. J. (2016). Climatology of summer Shamal wind in the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(1), 289–305.
- Mofidi, A., & Zarrin, A. (2022). On the existence of summer Shamal wind induced by the Zagros Mountains in the Middle East. *Geophysical Research Letters*, 49(18), e2022GL100151.
- Kamali, S., Mofidi, A., Zarrin, A., & Nazari-pour, H. (2017). Sensitivity studies of the forth-generation regional climate model simulation of dust storms in the Sistan plain, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(2), 769–781.
- Goswami B. N, Xavier P. K. 2005, ENSO control on the South Asian monsoon through the length of the rainy season. *Geophys. Res. Lett.* 32 (L18717). DOI: 10.1029/2005GL023216.
- Xavier, P. C., Marzina, C. and Goswami, B. N., 2007, An objective definition of the Indian summer monsoon season and a new perspective on the ENSO–monsoon relationship, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 133:749–764.
- Simpson, G., 1921. The south-west monsoon. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 47, 151–171.
- Ramage, C.S., 1971. Monsoon meteorology. In: *International geophysics series*. Academic Press.
- Rao, Y., 1976. Southwest Monsoon. *Meteorological Monograph, Synoptic Meteorology*, Vols. 366, 379. India Meteorological Department, New Delhi.
- Webster, P.J., 1987. The elementary monsoon. In: *Monsoons*. John Wiley and Sons, pp. 3–32.
- Charney, J.G., 1967. The Intertropical Convergence Zone and the Hadley Circulation of the Atmosphere. *Department of Meteorology, Massachusetts Institute of Technology*.
- Gadgil, S., 2003. The Indian monsoon and its variability. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 31, 429–467.
- Hill, S.A., 2019. Theories for past and future monsoon rainfall changes. *Curr. Clim. Change Rep.* 5, 160–171.
- Geen, R., Bordoni, S., Battisti, D.S., Hui, K., 2020. Monsoons, ITCZs, and the concept of the global monsoon. *Rev. Geophys.* 58 e2020RG000700.
- Wang, B., Biasutti, M., Byrne, M.P., Castro, C., Chang, C., Cook, K., Fu, R., Grimm, A.M., Ha, K., Hendon, H., Kitoh, A., Krishnan, R., Lee, J., Li, J., Liu, J., Moise, A., Pascale, S., Roxy, M.K., Seth, A., Sui, C.H., Turner, A., Yang, S., Yun, K.S., Zhang, L., Zhou, T., 2021. Monsoons Climate Change Assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society* 102, E1–E19.
- Halley, E., 1753. An historical account of the trade winds, and monsoons, observable in the seas between and near the Tropicks, with an attempt to assign the physical cause of the said winds. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* 16, 153–168.
- Wang, B., Ding, Q., Liu, J., 2011. Concept of global monsoon. In: *The Global Monsoon System: Research and Forecast*. World Scientific, pp. 3–14.
- Chiang, J.C.H., Friedman, A.R., 2012. Extratropical

- summer monsoon indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 629-638.
- Wang, B., R. Wu, K.-M. Lau, (2001). Interannual variability of Asian summer monsoon: Contrast between the Indian and western North Pacific-East Asian monsoons. *J. Climate*, 14, 4073-4090.
- precipitation and Arabian Sea aerosol optical depth. *Geophys. Res. Lett.* 44, 10006-10016.
- Attada, R., Dasari, H.P., Parekh, A., Chowdary, J.S., Langodan, S., Knio, O., Hoteit, I., 2018. The role of the Indian Summer Monsoon variability on Arabian Peninsula summer climate. *Clim. Dyn.* 52, 3389-3404.
- Rodwell, M.J., Hoskins, B.J., 2001. Subtropical anticyclones and summer monsoons. *J. Clim.* 14, 3192-3211.
- Wang, B. and Z. Fan, (1999). Choice of South Asian

The reciprocal effect of the intensity of the Asian summer monsoon activity on the dusts of Iran and the Middle East.

NHasan Haji mohammadi^{1*}, Tahmine chehreara ziabari²

¹ PhD of Synoptic Climatology, Geography Department, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran

² Assistant Professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, Payame Noor University, Iran

*Corresponding Author Email: Ha.hajimohammadi@stu.um.ac.ir

Received: 05 December 2021 , accepted: 27 February 2022

ABSTRACT

The Asian summer monsoon mechanism and the role of its forcing's on regional atmospheric circulation are considered challenging topics. Based on this issue, it was tried to investigate the interaction effect of summer monsoon in severe periods in connection with the increase of dust in the Middle East and Iran. To achieve this goal, ERA5 data with a resolution of 0.25 degrees was used. In the following, using dynamic and physical indicators, changes in monsoon meteorological parameters were investigated in relation to the beginning and end of summer in the region. The results showed that summer in the region starts from the beginning of June and continues until the end of September based on the Vorticity changes and the slope of the temperature changes. During this situation, two Low level jet streams of Sistan and North have been operating in the east and west of the Iranian plateau, which play the main role in the transfer and distribution of dust in the region. With the strengthening of the summer monsoon, the subtropical highs in the middle and upper troposphere have an upward jump and expansion in the direction of longitude, and in this direction, negative Vorticity increases over Iran. With the increase in negative Vorticity of the circulation of the lower troposphere, it has changed and increased the wind speed of the low level jet stream compared to its long-term average. The dust is transported to lower latitudes by these two jets, and on the other hand, by expanding along the longitude of Somali jet dust particles, it provides the conditions for its transportation to the Indian peninsula and the monsoon system. The results of the correlation between meteorological parameters and AOD values in the Middle East and Iran showed that the role of upper forcing such as the increase of geopotential height above 200 hPa is highly significant and related. On the other hand, for a better understanding of the mechanism of increasing wind speed in the low level jets and increasing dust in the region, the spatial changes of wind over Southwest Asia are considered to be the most important factor in the region.

Keywords: Asian summer monsoon, dust, Sistan wind, Shamal wind, Somali jet.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Haji mohammadi, H.; chehreara ziabari, T. (2022). The reciprocal effect of the intensity of the Asian summer monsoon activity on the dusts of Iran and the Middle East.. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 5(1): 53-67

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

