

## بررسی سازوکار دینامیکی موسمی تابستانه ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) آسیا موثر بر بارش های سنگین ایران

حسن حاجی محمدی

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸

### چکیده

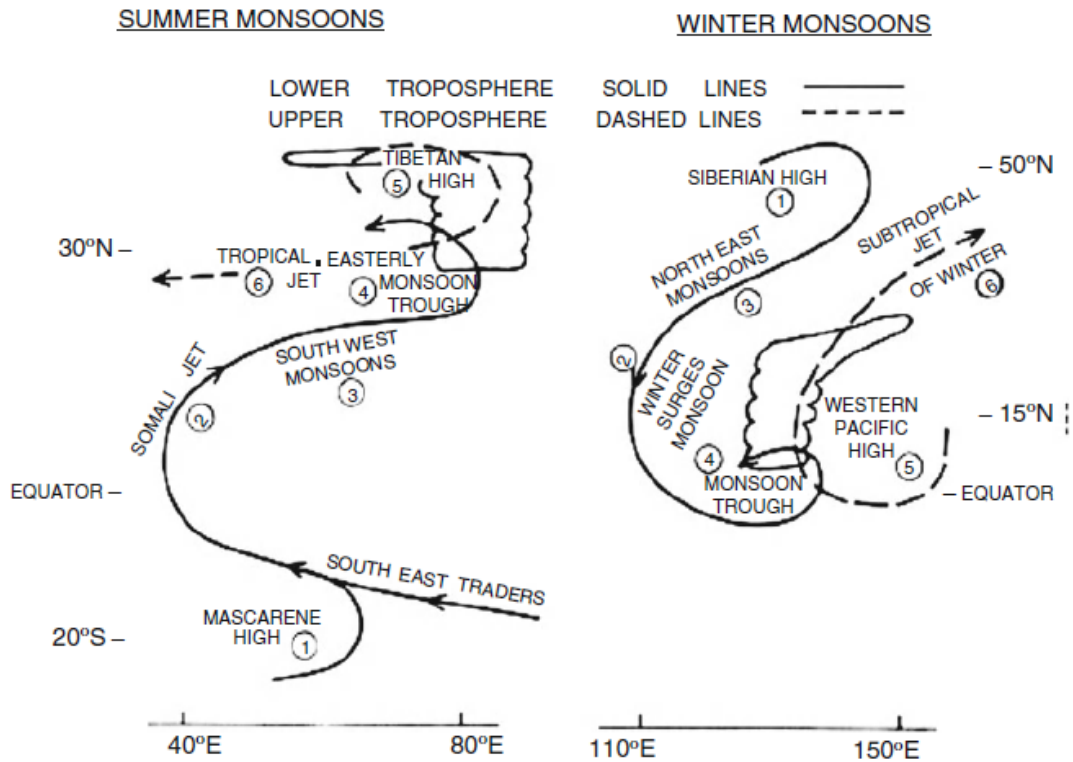
موسمی آسیا دارای ابعاد مختلفی برای بررسی می باشد و این موسمی بصورت مستقیم و غیرمستقیم شرایط جوی مناطق مختلف را متاثر می سازد. از این رو به بررسی سازوکار دینامیکی موسمی تابستانه آسیا در سال ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) در ارتباط با بارش های سنگین ایران پرداخته شد. بدین منظور از شاخص موسمی هند (IMI) برای بررسی شدت موسمی و داده های جوی مرکز ملی پیش بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) برای دوره اوج موسمی در ماه های جولای و آگوست استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص موسمی به شدت نسبت به میانگین بلندمدت خود نابهنجار بوده و دارای دو اوج در ماه های جولای و آگوست می باشد. با جابجایی غرب سوی موسمی تابستانه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هسته نابهنجار منفی پتانسیل سرعت باد بر روی جنوب آسیا شکل گرفته و تا مناطق جنوبی ایران کشیده شده است. با شکل گیری این چاهه انرژی و انتقال جرم به داخل آن، همرفت های عمیقی بر روی مناطق یاد شده بوقوع پیوسته است. در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال نیز چشمه انرژی بسیار عظیم بر روی جنوب آسیا تا جنوب ایران و شرق خاورمیانه شکل گرفته که واگرایی جرم و انتقال آن به چاهه های شکل گرفته بر روی شمال و جنوب اقیانوس آرام، جنوب اقیانوس هند، شمال غرب اروپا و جنوب اقیانوس اطلس در بر دارد. وجود بی هنجاری مثبت و بسیار قوی در تابع جریان، بی هنجاری منفی تاوایی در ترازهای ۱۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال و از هم گسیختگی هسته منفی تاوایی نسبی واقع بر روی فلات تبت و ایران در جابجایی مداری خود، از سازوکار اصلی موسمی تابستانه ۲۰۲۲ بود. افزایش سرعت در جت شرقی حاره ای در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال و جت سوماتالی در تراز زیرین و ردسپهر به ترتیب با ۷- و ۵ متر بر ثانیه نسبت به میانگین ۳۰ ساله خود رسیده است. افزایش نابهنجار دمای سطح دریا در مناطق شمالی اقیانوس آرام، شرق و غرب استرالیا و وجود نابهنجاری منفی دمای سطح دریا در منطقه NINO و هم فاز شدن با فاز لانینا، قرارگیری جانب صعودی چرخه واکر بر روی غرب اقیانوس آرام به شدت و قدرت موسمی تابستانه ۲۰۲۲ افزوده است.

کلمات کلیدی: موسمی تابستانه، باد واگرا، پتانسیل سرعت باد، تابع جریان، بارش تابستانه

منطقه موسمی آسیا متشکل از دو زیربخش مهم موسمی جنوب آسیا و شرق آسیا است که طی فعالیت آن، زندگی مناطق همجوار با موسمی از آن متاثر می‌گردد (وبستر و یانگ، ۱۹۹۲). از این رو پایش و پیش بینی تغییرات موسمی تابستانه آسیا امری مهم در زمینه وقوع پدیده های حادی مانند خشکسالی و سیل می باشد (کریشنا و همکاران، ۲۰۱۱؛ لی و همکاران، ۲۰۲۰؛ یین و ژنگ، ۲۰۲۱). تغییرات سیستم موسمی تابستانی آسیا تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارد و دارای سازوکار پیچیده ای است (یانگ و لو، ۱۹۹۸؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۱ و ژیانو و همکاران، ۲۰۱۶) از اجزای این سازوکار می توان به تغییرات ناوه موسمی بر روی هند (پرتی و همکاران، ۲۰۱۷)، پرفشار شمال اقیانوس آرام و جت شرقی حاره ای (ژنگ و هوآنگ، ۲۰۱۱؛ ژنگ و چن، ۲۰۱۷) و پرفشار جنوب آسیا (پرفشار ماسکارین) با عنوان سازوکار و اجزای اصلی این سیستم اشاره کرد. از طرفی تباین ترمودینامیکی بین اقیانوس و خشکی، عامل اصلی واداشت و نیروی محرکه در تشکیل موسمی بر روی آسیا به شمار می رود. در این بین وجود فلات تبت و از سویی شکل گیری پراترفاع بر روی آن نقش حیاتی در ترمودینامیک و گردش دینامیک موسمی دارد (لی و یانی، ۱۹۹۶؛ آن و همکاران، ۲۰۰۱؛ چو، ۲۰۰۴؛ دوآن و وو، ۲۰۰۵؛ دینگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ گو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۸؛ لی و همکاران، ۲۰۲۱؛ سان و همکاران، ۲۰۲۱). اخیراً تحقیقاتی در زمینه پیش بینی و پایش موسمی صورت گرفته که از آن جمله می توان به تحقیق ژیاوین و همکاران (۲۰۲۲) اشاره کرد به پیش بینی فصلی موسمی آسیا با استفاده از مدل های مقیاس منطقه ای پرداخته اند. نتایج گویای جفت شدگی بین دمای اقیانوس هند و جو بالای آن بوده که شاخص مهمی برای پیش بینی موسمی برای فصول مختلف می باشد. ژو و همکاران (۲۰۲۲) به دلیل نبود داده های منسجم برای پایش موسمی تابستانه بود که در پیش بینی ها خطاهای حاصل از سایر مدل های مقیاس جهانی در صدور پیش آگاهی به مزایای وجود یک مدل دینامیک جو جهانی با توان تفکیک متفاوت در بررسی تکامل فصلی موسمی تابستانه

آسیا پرداختند. وو و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی واکنش های موسمی تابستانه آسیا در ارتباط با تغییرات تباین دمایی خشکی و دریا پرداختند. نتایج نشان داد با تغییرات فشار بخار آب و تقویت گردش نصف النهاری موسمی تابستانه شرق آسیا، افزایش بارش موسمی را نسبت به میانگین بلندمدت را در عرض های بالاتر به همراه دارد.

از تحقیقات داخلی نیز می توان به علیجانی و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد. ایشان در تحلیل همیدی الگوهای گردشی بارش های موسمی جولای ۱۹۹۴ در ایران دریافتند که استقرار پرفشار جنب حاره تراز فوقانی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بر روی فلات تبت و ایران، نفوذ ناوه امواج غربی بر غرب ایران، گسترش شرق سو و در عین حال مداری پرفشار جنب حاره ایران در ترازهای میانی تروپوسفر و کشیده شدن زبانه ای از پرفشار تا شمال هند، تشکیل کم فشار موسمی در خلیج بنگال، جابجایی غرب سوی کم فشار موسمی و استقرار آن بر نیمه شمالی دریای عرب، تقویت گردش چرخندی و افزایش تاوایی مثبت در منطقه دریای عرب، تقویت و گسترش مرکز کم فشار در مرکز تا غرب ایران، ورود سیکلونی با منشأ کم فشار موسمی دریای عرب به منطقه جنوب شرق ایران، صعود همرفتی از سازوکار اصلی وقوع بارش در منطقه به حساب می آید. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تحت عنوان الگوهای گردش جو بارش های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه ژوئیه ۱۹۹۴ نشان دادند که به دنبال گسترش شرق سوی مرکز پرفشار جنب حاره ای ایران در ترازهای میانی وردسپهر و افزایش گردش و اچرخندی بر جانب شمالی شبه قاره هند و پاکستان، جابه جایی غرب سوی کم فشارهای موسمی و ورود آنها به منطقه دریای عرب امکان پذیر شده است. در پی آن کم فشارهای موسمی با ایجاد و یا تقویت مراکز همگرایی روی جنوب و جنوب شرق کشور، در افزایش گردش چرخندی و وقوع بارش نقش داشته اند. مفیدی و زرین (۱۳۹۱) به بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا پرداختند. نتایج نشان داد گردش جو و تشکیل پراترفاع ها در منطقه حاصل از فرونشست شاخه نزولی موسمی بر روی منطقه بوده و سازوکار گردش تابستانه مستقیماً متاثر از موسمی شرق آسیا می باشد. برهانی



شکل ۱. اجزای موسمی در دوره تابستانه (سمت چپ) و دوره زمستانه (سمت راست) خطوط مستقیم (گردش تراز زیرین وردسپهر) و خطوط منقطع (گردش تراز فوقانی وردسپهر) (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۱۳)

۲۰۲۲ از دو دسته داده شبکه بندی شده مرکز ملی پیش بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) با توان تفکیک ۲٫۵ درجه جغرافیایی و مقادیر بارش روزانه GPM با توان تفکیک ۱۰ کیلومتر برای دوره جولای تا آگوست ۲۰۲۲ استفاده شد. برای بررسی گردش نابهنجار جو نیز به منظور تهیه مقادیر نابهنجاری هریک از پارامترها برای ارکان اصلی موسمی تابستانه بر پایه داده های ۲۰۲۰-۱۹۹۱ تهیه گردید. برای بررسی دینامیکی گردش موسمی تابستانه ابتدا از شاخص فعالیت موسمی استفاده شد.

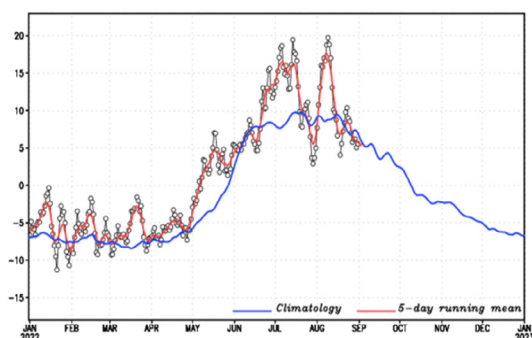
از آنجایی که هدف تحقیق بررسی سازوکار دینامیکی موسمی آسیا در سال ۲۰۲۲ بود با استفاده از شاخص موسمی هند به بررسی دوره های شدت و ضعف آن پرداخته شد و در نهایت مقادیر بلندمدت آن و مقادیر مربوط به سال ۲۰۲۲ نیز محاسبه شد.

و احمدی گیوی (۱۳۹۷) به تحلیل آماری -دینامیکی ناشدگی های وردایست منطقه جنوب غرب آسیا پرداختند. نتایج آن ها نشان داد در فصل تابستان، فعالیت موج عرض های میانی به شدت تضعیف شده است و همزمان با تقویت موسمی هند، در عرض های جنب حاره و روی اقیانوس هند، چشمه ها و چاهه های موج ضعیف تری شکل می گیرند.

در شکل ۱ اجزای موسمی توسط کریشنامورتی و همکاران (۲۰۱۳) به نمایش در آمده است. در این شکل شماتیک که برای دوره زمستانه و تابستانه فعالیت موسمی طراحی شده، مشاهده می شود که اجزای اصلی موسمی بصورت یک سری متوالی در وردسپهر زیرین و فوقانی بوده و با شکل گیری پرفشار ماسکارین در تابستان و پرفشار سبیری در زمستان شروع موسمی در این دو دوره اعلام می گردد.

### مواد و روش ها

به منظور بررسی سازوکار دینامیکی موسمی تابستانه



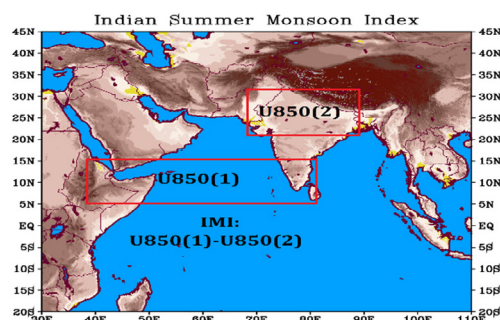
ب: سری زمانی شاخص موسمی تابستانه آسیا (آبی: متوسط بلندمدت، قرمز میانگین ۵ روزه و مشکی مقادیر سال ۲۰۲۲)

شکل ۲. شاخص موسمی هند

پتانسیل سرعت و باد واگرا، تابع جریان و جریان باد، تاوایی نسبی و ارتفاع ژئوپتانسیل برای ترازهای مختلف محاسبه شد.

### نتایج و بحث

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود شدت موسمی آسیا در سال ۲۰۲۲ نسبت به مقادیر بلندمدت خود از شدت بالاتری برخوردار بوده و این شدت با پرش ناگهانی از اواخر ماه جون شروع شده و اختلافی بیش از ۱۰ متر برثانه نسبت به بلندمدت خود نشان داده است. موج دوم و کوتاه موسمی شدید از اوایل آگوست شروع و تا اواخر آن ادامه داشته است. وجود این ناپهنجاری بسیار بزرگ سبب شده تا موسمی ضمن تغییرات در گردش خود، دچار جابجایی مداری نیز گردد. نتیجه این جابجایی وقوع بارش های شدید و سیل آسیا در مناطق مختلف بوده است. در همین راستا مقادیر بارش برای دو ماه جولای و آگوست در شکل ۳ تهیه شده است. در شکل ۳ الف در محدوده فعالیت موسمی بارش های بسیار شدید و سنگینی در دوره فعالیت حداکثری خود در ماه های جولای و آگوست به وقوع پیوسته است. بطوریکه بیشینه بارش در این محدوده به بیش از ۲۰۰۰ میلیمتر می رسد. در شکل ۳ ب مقادیر بارش برای ایران به نمایش در آمده که تمامی استان ها از گردش موسمی و نزول بارش بی تاثیر نبوده و از سوئی با وقوع بارش های بیش از ۳۰۰ میلیمتر در استان های جنوبی منجر به شکل گیری سیلاب های شدید بوسیله جابجایی غرب



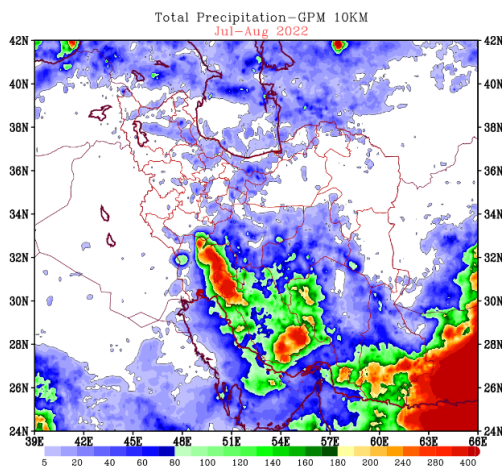
الف: محدوده محاسبه شاخص موسمی تابستانه آسیا

شاخص تابستانه آسیا نیز یک شاخص گردشی- دینامیکی برای مانسون تابستانه هند (IMI<sup>۱</sup>) 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) محاسبه می شود (رابطه ۱) (شکل ۲).

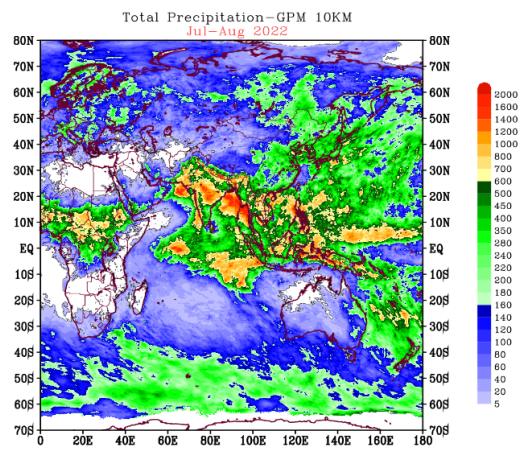
$$IMI = U850(40^{\circ}E - 80^{\circ}E, 15^{\circ}N - 20^{\circ}N) - U850(70^{\circ}E - 90^{\circ}E, 5^{\circ}N - 15^{\circ}N) \quad (1)$$

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).

برای بررسی گردش دینامیکی موسمی تابستانه ۲۰۲۲ اقدام به محاسبه ناپهنجاری کمیت های دینامیکی باد واگرا، پتانسیل سرعت باد، تابع جریان و تاوایی نسبی شد. بررسی ها بر اساس نظر کریشنامورتی و همکاران (۲۰۱۳) که ارکان اصلی موسمی تابستانه آسیا را در شکل ۱ نمایش داده اند انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت. برای محاسبه کمیت های دینامیکی از مؤلفه های مداری و نصف النهاری باد استفاده شد. در ادامه پس از اخذ داده ها مقادیر هریک از کمیت های دینامیکی بصورت فایل متنی محاسبه و در نهایت خروجی هر یک بصورت نقشه های ترکیبی تهیه گردید. در نقشه های تهیه شده کمیت های



ب: مجموع بارش ایران برای جولای و آگوست ۲۰۲۲



الف: مجموع بارش محدوده فعالیت موسمی برای جولای و آگوست ۲۰۲۲

شکل ۳. مجموع بارش GPM با توان ۱۰ کیلومتر

شده است. به گونه ای که در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال با تشکیل مقادیر مثبت پتانسیل سرعت و کاهش رطوبت به دلیل نزول بارش، یک چشمه<sup>۲</sup> انرژی بر روی منطقه شکل گرفته و با شدت بالا به چاه<sup>۳</sup> واقع بر روی جنوب اقیانوس اطلس شارش یافته است (شکل ۴ الف و ب). در این شکل در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال چشمه انرژی بر روی جنوب اقیانوس اطلس و بخش هایی از جنوب اقیانوس هند بوده که با انتقال جریان به داخل چاه شکل گرفته بر روی محدوده وسیعی از غرب تا شرق آسیا سازوکار گردش وردسپهر زیرین و فوقانی را در دوره فعالیت موسمی تابستانه به خوبی تبیین می نماید. لازم به توضیح است که در شکل ۴ مقادیر به نقش بردار باد مقدار بیش از ۱ واحد و مقادیر ارغوانی رنگ نیز مقدار بیش از ۵ واحد را برای باد واگرا نشان می دهد. شارش های بسیار قوی از روی مناطقی همچون جنوب اقیانوس آرام، شمال استرالیا و جنوب اقیانوس هند که از شدت بالاتری در تراز زیرین وردسپهر برخوردار بودند حاکی از آن بود که در مناطق یاد شده نابهنجاری های بسیار قوی در شکل گیری چشمه و چاه انرژی بوقوع پیوسته است. تشکیل هسته منفی پتانسیل سرعت در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بین طول های ۶۰ تا ۱۸۰ درجه شرقی و عرض های ۴۰- جنوبی تا ۳۰ درجه شمالی نشان داد با

سوی موسمی تابستانه شده است.

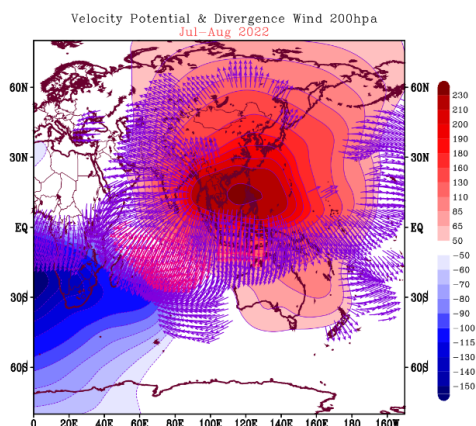
نتایج حاصل از بررسی متوسط گردش جو برای ماه های جولای و آگوست ۲۰۲۲ حاکی از الگوی نابهنجار جو در ترازهای مختلف جوی بر روی مناطق حاره ای و جنب حاره ای محدوده فعالیت موسمی آسیا بود. بر اساس خروجی شاخص موسمی هند (شکل ۲ ب) با جهش بالاسوی شاخص و شدت یافتن آن بارش های بسیار سنگینی بر روی مناطق غربی آسیا بوقوع پیوست (شکل ۳). وجود چنین نابهنجاری بزرگ در منطقه نیازمند بررسی های دقیق در ابعاد مختلف بود که در این پژوهش سعی شد با استفاده از معادلات دینامیکی و بررسی ارکان اصلی موسمی تابستانه در منطقه به این مقوله پرداخته شود.

#### -پتانسیل سرعت باد و باد واگرا

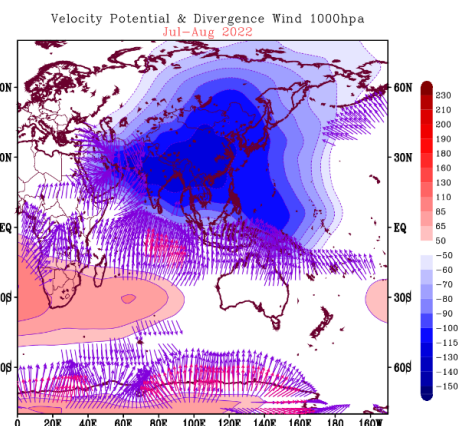
بررسی پتانسیل سرعت باد و باد واگرا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان داد همگرایی بسیار قوی در محدوده طول های ۴۰ تا ۱۸۰ درجه شرقی و ۱۰- درجه جنوبی تا ۷۰ درجه شمالی بوقوع پیوسته و بیشینه انتقال جرم به داخل این هسته همگرا از نیمکره جنوبی بوده است. وجود همگرایی بر روی دریا و خشکی و تشکیل همرفت های عمیق بر روی محدوده فعالیت موسمی تابستانه سبب انتقال رطوبت به ترازهای فوقانی

2 - Source

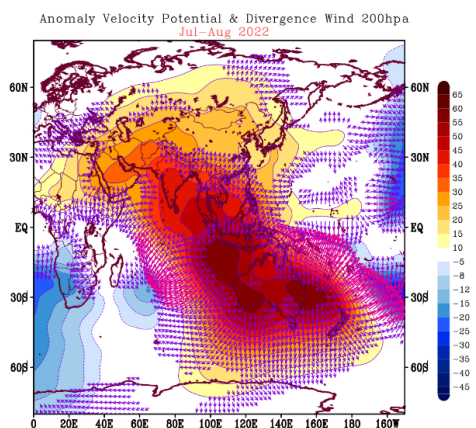
3 - Sink



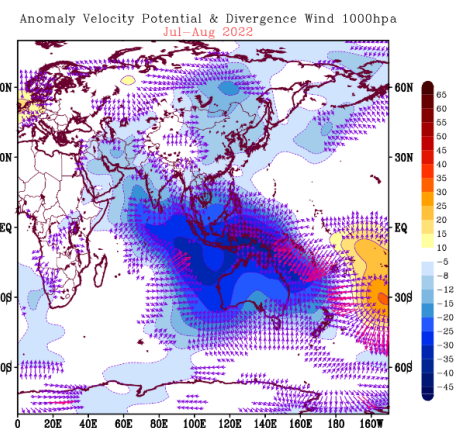
ب: نقشه پتانسیل سرعت و باد واگرا تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال



الف: نقشه پتانسیل سرعت و باد واگرا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال



د: نقشه نابهنجاری پتانسیل سرعت و باد واگرا تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال



ج: نقشه نابهنجاری پتانسیل سرعت و باد واگرا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۴. نقشه های پتانسیل سرعت باد و باد واگرا ترازهای ۱۰۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال و نابهنجاری آن

بر شرق استرالیا متمرکزتر بوده اما از شدت بالاتری بر خودار است که بیشینه انتقال جرم را به چاهه شکل گرفته بر روی جنوب اقیانوس آرام را رقم زده است. هسته واقع بر قسمت های غربی استرالیا نیز از وسعت بالاتری برخوردار بوده و همین امر سبب شده تا انتقال جرم از داخل این چشمه به سایر نواحی صورت پذیرد. بیشینه انتقال جرم که از شدت بالاتری نیز برخوردار است به داخل چاهه شکل گرفته در جنوب اقیانوس هند شارش یافته که محدوده شکل گیری پرفشار ماسکارین در سطح دریا می باشد و طی این فرآیند به تقویت آن قوت بخشیده است. گسترش نابهنجاری مثبت پتانسیل سرعت بر روی ایران نیز حاکی از آن بود که قسمت های جنوبی و به خصوص جنوب شرق ایران دارای بیشترین مقدار نابهنجاری

تشکیل چشمه قوی انرژی بر روی جنوب اقیانوس آرام و چشمه دیگری بر روی جنوب اقیانوس هند فرآیند انتقال جرم به داخل این نابهنجاری منفی فراهم شده است. از طرفی بر روی ایران نیز هسته منفی نابهنجاری پتانسیل سرعت باد شکل گرفته که منطبق بر جنوب ایران است. بردار باد واگرا نیز حاکی از آن است که از شمال و غرب منطقه، به دلیل شکل گیری چشمه در تراز فوقانی وردسپهر و یک چاهه در تراز زیرین وردسپهر بر روی ایران، سبب انتقال جرم به داخل هسته نابهنجار بر روی مناطق جنوبی ایران شده است. در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال نابهنجاری های نشان داد که دو هسته چشمه انرژی بر روی شرق و غرب استرالیا تشکیل شده و بیشینه انتقال جرم از مرکز این دو هسته به ترتیب به شرق و غرب خود هستند. هسته واقع

مثبت یعنی ۳۰ واحد می باشد. از چشمه شکل گرفته بر روی ایران در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال به چاهه شکل گرفته بر روی شمال غرب اروپا و قسمت هایی از آفریقا انتقال جرم صورت پذیرفته است (شکل ۴ ج ۵).

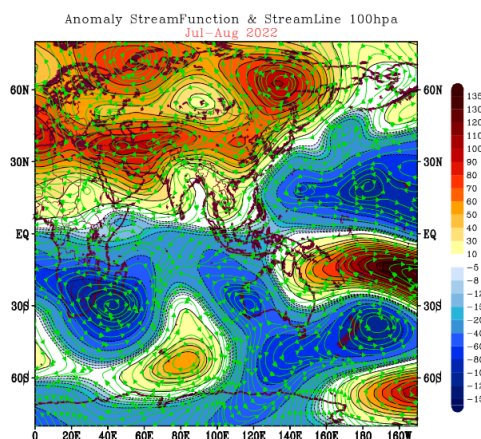
#### -تابع جریان و جریان باد

در بررسی تابع جریان در تراز فوقانی وردسپهر مشاهده شد که مقادیر مثبت این تابع نشان از وجود یک جریان آنتی سیکلونی بسیاری قوی در محدوده ۲۰ تا ۱۴۰ درجه شرقی و ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی بوده که دارای دو هسته یکی بر روی ایران و دیگری بر روی فلات تبت می باشد. وجود این دو هسته با مقدار بیش از ۳۴۰ واحد در منطقه حاکی از تقویت قوی ترین پراارتفاع تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال بوده که از ارکان اصلی گردش وردسپهر فوقانی موسمی تابستانه به حساب می آید. از طرفی بر روی جنوب اقیانوس هند وجود یک سلول منفی تابع جریان منطبق بر شرق ماداگاسکار یک چاهه انرژی را در منطقه نشان می دهد که در شکل گیری و تقویت پرفشار سطحی ماسکارین نقش اصلی را بازی می کند. بررسی نابهنجاری تابع جریان نشان داد بین طول های ۰ تا ۱۵۰ درجه شرقی و عرض های ۲۰ تا ۷۰ درجه شمالی ۵ هسته مثبت نابهنجاری در دوره اوج موسمی تابستانه ۲۰۲۲ شکل گرفته است که قوی ترین هسته های نابهنجاری بر روی ایران و شمال شرق آسیا شکل گرفته

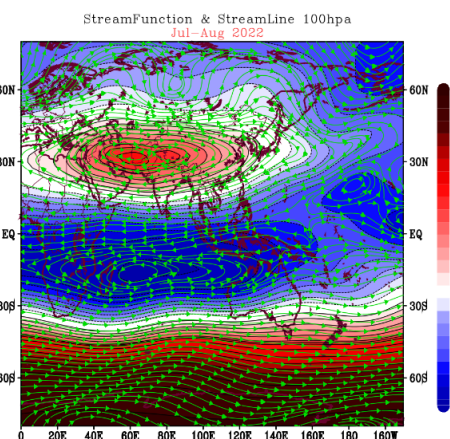
است. در قسمت های شمالی اقیانوس آرام نیز هسته منفی شکل گرفته که تبیین کننده سازوکار پرفشار واقع در این منطقه است. در نیمکره جنوبی نیز ۳ هسته نابهنجاری بسیار قوی شکل گرفته که هسته واقع بر روی ماداگاسکار به ۱۰۰- واحد رسیده است. دو هسته دیگر بر روی غرب استرالیا و شرق نیوزلند بوده که این دو هسته منفی نابهنجاری در قسمت های جنوبی استرالیا با یکدیگر ادغام شده اند. بر اساس خروجی های مورد نظر مشاهده شد که گردش وردسپهر فوقانی نسبت به میانگین بلندمدت خود دچار یک نابهنجاری بزرگ در ارکان اصلی موسمی تابستانه شده و سبب تشدید سامانه های مذکور شده است (شکل ۵).

#### -ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

گسترش مداری هسته پر ارتفاع در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بین طول های ۰ تا ۱۴۰ درجه شرقی و عرض های ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی نشان داد که پر ارتفاع های شکل گرفته بر روی فلات تبت که در بخش پیشین اشاره شد در این تراز جوی نیز مشهود بوده و از شدت و قدرت بالاتری نیز برخوردار است. در دل این پر ارتفاع ۳ هسته تاوایی منفی بر روی مناطق شمال غربی ایران، شرق فلات تبت و شرق آسیا تشکیل شده است. با گسترش مداری پراارتفاع مذکور و انتقال هسته های تاوایی در قسمت شمال شرق بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل و از



ب: نقشه نابهنجاری تابع جریان و جریان باد تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال



الف: نقشه تابع جریان و جریان باد تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۵. نقشه های تابع جریان تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال و نابهنجاری آن

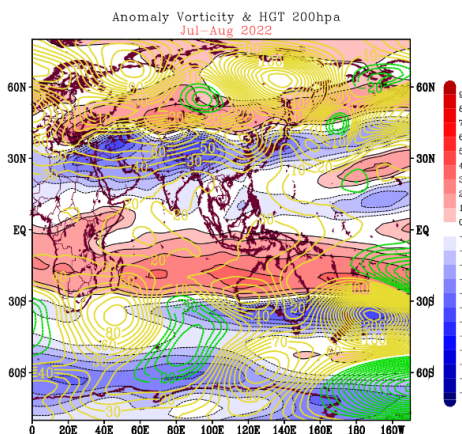
شد که از عرض ۲۵ درجه جنوبی تا ۲۳ درجه شمالی جریان جت تراز زیرین شمالی شدت یافته و طی یک جریان جنوب شرقی در سواحل شمال شرق آفریقا به جنوب غربی تغییر جهت داده و هسته بیشینه سرعت این جت به بیش از ۲۳ متر بر ثانیه رسیده است. طی این جریان افزایشی ۵ متر بر ثانیه در جت شمالی بوقوع پیوسته که بیشینه آن منطبق بر سواحل شرق و شمال شرق آفریقا می باشد. لازم به توضیح است که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جریان بسیار قوی دیگری بر روی اقیانوس آرام با جهت شرقی تشکیل شده که سرعت آن ۱۲ متر بر ثانیه و نابهنجاری آن به بیش از ۶ متر بر ثانیه رسیده است. وجود این دو جریان در شرق و غرب همگرایی شدیدی را در جنوب شرق آسیا در برداشته است (شکل ۷ الف).

با بررسی باد مداری تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال مشاهده شد که مابین عرض های ۲- جنوبی تا ۲۷ درجه شمالی بر روی آفریقا تا شرق سواحل آسیا بیشینه سرعت باد مداری تشکیل شده که هسته اصلی آن بر روی دریای عرب با سرعتی معادل ۳۰ متر بر ثانیه قرار دارد. با افزایش سرعت این جت در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال در شمال و جنوب خود دو نابهنجاری منفی سرعت باد مداری شکل گرفته که نابهنجاری واقع در نیمکره شمالی به کمتر از ۷- متر بر ثانیه بر روی فلات تبت رسیده و نابهنجاری واقع در نیمکره جنوبی به ۴- بر روی ماداگاسکار

هم گسیختگی بوجود آمده در دو جریان تاوایی منفی از نشانه های نابهنجاری بزرگ در گردش موسمی تابستانه به شمار می رود. به گونه ای که در خروجی نابهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال مشاهده شد، بیشینه نابهنجاری مثبت با مقدار ۷۰ ژئوپتانسیل متر بر روی شمال فلات تبت شکل گرفته که این وضعیت نابهنجاری مثبت بین طول های ۰ تا ۱۸۰ درجه شرقی در مناطق جنب حاره نیمکره شمالی در دو ماه جولای و آگوست ۲۰۲۲ به شمار می رود. ۳ هسته تاوایی منفی در نیمکره شمالی به ترتیب شدت با مقادیر ۳،۵-، ۳- و ۲،۵- واحد در هسته منفی خود بر روی ایران، فلات تبت و شرق آسیا را در بر داشته اند (شکل ۶ الف ب). در مقابل و در نیمکره جنوبی بین عرض های ۵ تا ۲۸ درجه جنوبی مقادیر تاوایی مثبت افزایش یافته است. در محدوده یاد شده ۳ هسته قوی تاوایی مثبت بر روی جنوب شرق آفریقا، غرب استرالیا و جنوب غرب اقیانوس آرام شکل گرفته است که با توجه به خروجی نابهنجاری تاوایی مشاهده می شود مقدار ۲ الی ۳ واحد در دوره یاد شده به مقدار تاوایی در هسته های شکل گرفته افزوده شده است (شکل ۶ الف ب).

#### جت شمالی و جت شرقی حاره ای

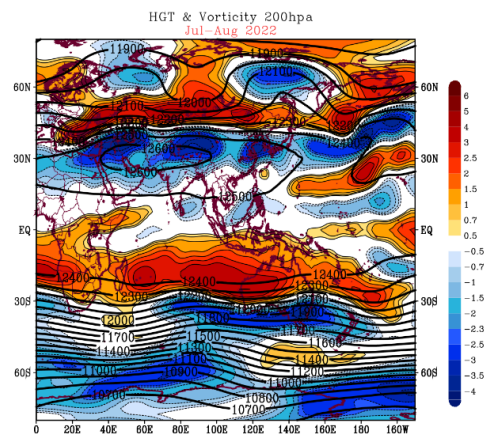
با بررسی سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده



ب: نقشه نابهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال مقادیر رنگی: نابهنجاری تاوایی - خطوط زرد رنگ: نابهنجاری ارتفاع

ژئوپتانسیل

شکل ۶ نقشه های ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال و نابهنجاری آن



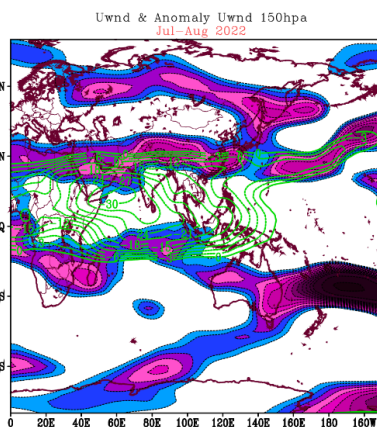
الف: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

رسیده است. لازم به توضیح است که ناپهنجاری بسیار قوی دیگری بر روی شرق و شمال شرق نیوزلند شکل گرفته که به ۲۰- متر بر ثانیه رسیده است که نتیجه آن انتقال شرق به غرب جریان هوا در تراز مورد نظر و در محدوده یاد شده به مناطق شرقی و شمالی استرالیا می باشد (شکل ۷ ب).

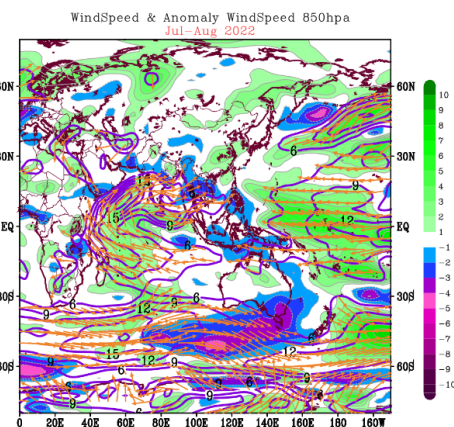
#### - تغییرات دمای سطح آب اقیانوس

با بررسی دمای سطح اقیانوس مشاهده شد که افزایش دمای در سواحل جنوب شرقی آسیا که به بیش از ۳۰ درجه سلسیوس رسیده و افزایش دمای سطح اقیانوس هند و آرام غربی به بیش از ۲۷ درجه سلسیوس سبب انتقال رطوبت و انرژی به داخل سامانه موسمی را رقم زده است. با افزایش دما در شمال استرالیا و جنوب آسیا که هسته اصلی همرفت های عمیق موسمی بوده، شرایط برای شار قائم رطوبت فراهم شده است (شکل ۸ الف). با بررسی خروجی ناپهنجاری دمای سطح اقیانوس چندین الگوی ناپهنجاری مثبت دمای سطح اقیانوس مشاهده شد. بیشینه ناپهنجاری در شمال اقیانوس آرام بوده که دمای سطح آب در این منطقه افزایشی ۴ الی ۵ درجه ای را داشته است که این وضعیت در سواحل شرقی و جنوب شرق

آسیا نیز با شدت کمتری ادامه داشته است. ناپهنجاری مثبت دیگری که در محدوده بسیار وسیع شکل گرفته مربوط به جنوب اقیانوس آرام بوده که سواحل شرقی منطقه اقیانوسیه و نیمه شرقی اقیانوس هند را در بر گرفته است. لازم به توضیح است که افزایش دما در سواحل شرقی استرالیا و جنوب شرق آسیا از شدت بالاتری نسبت به سواحل غربی استرالیا برخوردار است. در قسمت های شمالی ماداگاسکار و شمال دریای عرب نیز وجود هسته های ناپهنجاری به ترتیب منفی و مثبت سبب شده تا ضمن برهمکنش تباین دمایی بین آب و خشکی در گردش تراز زیرین منطقه و به خصوص جت سومالی نقش عمده ای را ایفا کند. نکته مهم دیگری که در ناپهنجاری دمای سطح آب اقیانوس مشاهده شد، وجود ناپهنجاری منفی در منطقه NINO بود که با قرار گیری این منطقه در فاز لائینا، ناپایداری های به مقدار کمینه خود در منطقه یاد شده رسیده و بیشینه فعالیت و جریانات بالاسو در قسمت های غربی اقیانوس آرام تشکیل شده است. با قدرت یافتن چرخه واکر و افزایش جریان های بالاسو در غرب این چرخه تاثیر مستقیم و افزایشی بر روی موسمی ۲۰۲۲ داشته و سبب رخداد ناپهنجاری های جوی بسیار شدید در منطقه شده است (شکل ۸ ب).

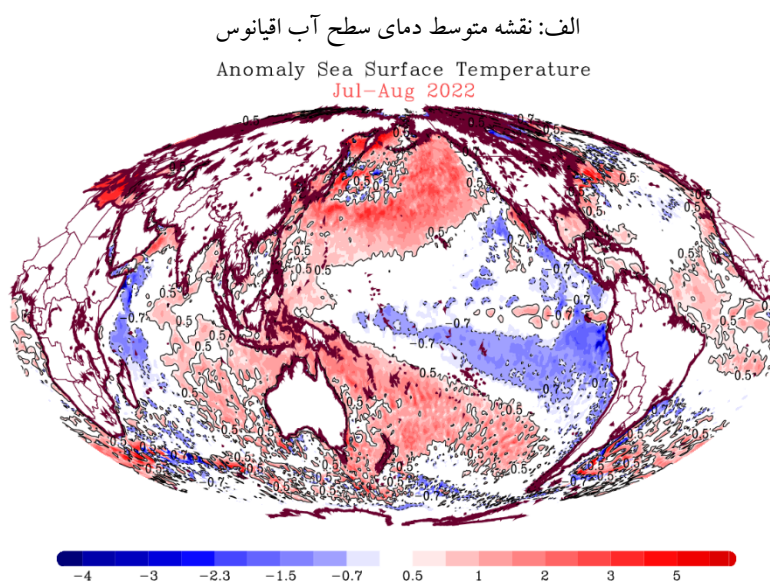
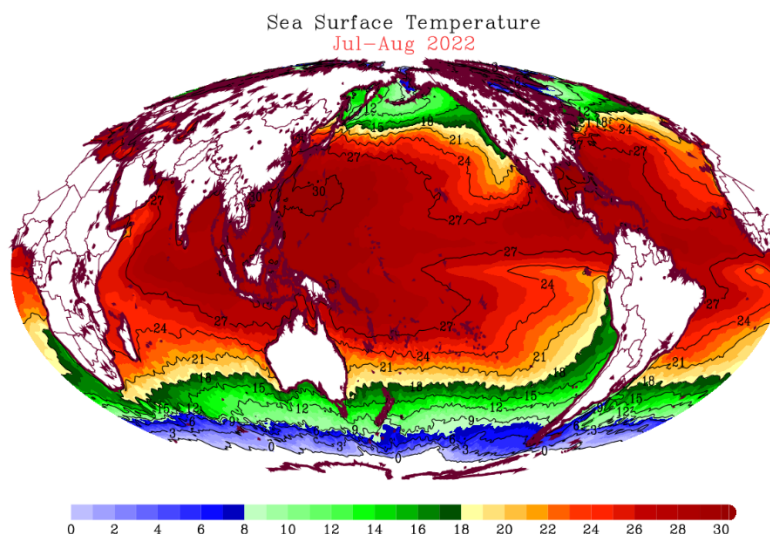


ب: نقشه مولفه مداری باد و ناپهنجاری آن در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال  
مقادیر رنگی: ناپهنجاری باد مداری - مقادیر خطوط سبز: جت شرقی  
حاره ای



الف: نقشه سرعت باد و ناپهنجاری آن در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال  
مقادیر رنگی: ناپهنجاری سرعت باد - مقادیر خطوط بنفش: سرعت باد -  
بردار باد: حداقل سرعت ۶ متر بر ثانیه

شکل ۷. نقشه های جت های تراز زیرین (جت سومالی) و جت تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال (جت شرقی حاره ای) و ناپهنجاری آن



شکل ۸. وضعیت دمای سطح آب و ناهمبجاری آن

### جمع‌بندی

ایران در سال ۲۰۲۲ می باشد. نتایج حاصل از بررسی شاخص موسمی هند نشان داد که یکی از قوی ترین موسمی ها در تابستان ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) در آسیا تشکیل و مناطق جنوب غرب آسیا را متاثر ساخته است. شاخص موسمی هند گویای جهشی ناگهانی در گردش جو تابستانه در منطقه بوده که نسبت به میانگین بلندمدت خود اختلاف زیاد را نشان می داد. وجود این اختلاف زیاد در شاخص موسمی سبب بوجود آمدن ناهمبجاری

نتایج حاصل از بررسی گردش دینامیکی موسمی تابستانه ۲۰۲۲ آسیا در زمان وقوع بارش های شدید در ایران نشان داد که در دوره فعالیت این سامانه بزرگ مقیاس گردش جو تابستانه ایران بصورت مستقیم و غیر مستقیم متاثر شده است. وقوع بارش های بیش از ۴۰۰ میلیمتر در ایران و سیلابی شدن نیمه جنوبی کشور از نتایج فعالیت موسمی تابستانه در

های گردش جو در ترازهای مختلف وردسپهر شده است. بررسی پتانسیل سرعت باد و باداگرا نشان داد در زمان فعالیت موسمی تابستانه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال جابجایی غرب سو در گردش موسمی بوقوع پیوسته و با انتقال هسته های همگرایی سطحی به مناطقی همچون جنوب ایران و قسمت هایی از خاورمیانه نابهنجاری های بسیار بزرگی را در پی داشته است. به گونه ای که در این تراز هسته منفی نابهنجاری پتانسیل سرعت باد بر روی جنوب ایران شکل گرفته و ضمن تشکیل یک چاهه انرژی از مناطق مختلف جرم به داخل این هسته نابهنجر شارش یافته است. بیشینه نابهنجاری در گردش موسمی در محدوده بین استرالیا و قسمت های جنوبی آسیا بوده که بیشینه همگرایی سطحی را در پی داشته است. در تراز فوقانی به دلیل وجود همرفت های عمیق، یک منطقه چشمه انرژی بسیار قوی از جنوب شرق استرالیا تا نیمه جنوبی ایران شکل گرفته که شاخه های نزولی این چشمه انرژی مناطق مختلفی از جمله شمال غرب اروپا، شمال و جنوب اقیانوس آرام، جنوب اقیانوس هند و جنوب اقیانوس اطلس می باشد. تقویت پر ارتفاع های قوی و نابهنجر در ترازهای ۱۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال و از هم گسیختگی هسته های این پر ارتفاع ها و افزایش مقادیر تاوایی منفی در دوره فعالیت موسمی از نتایج اصلی در گردش نابهنجر منطقه بوده که با افزایش تاوایی منفی و تقویت مد ایران و فلات تبت همراه شده است. با افزایش قدرت پر ارتفاع های تراز ۱۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال جت شرقی حاره ای نیز تقویت شده و به بیشترین مقدار سرعت خود طی ۳۰ سال اخیر رسیده است. به گونه ای که سرعت این جت در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال نسبت به میانگین بلندمدت خود بیش از ۵ متر بر ثانیه افزایش یافته است. برهمکنش جو در این تراز نشان داد که در نیمکره جنوبی نیز یک جریان شرقی حاره ای بوجود آمده که سبب انتقال غرب سوی سامانه های جوی در منطقه حاره شده است. در تراز زیرین و در بررسی گردش جت سومالی مشاهده شد که این جت یک الگوی هلالی شکل را به خود گرفته و با جهتی جنوب شرقی به مسیر خود در شرق سواحل آفریقا ادامه داده و در شمال دریای عرب جهتی جنوب غربی به خود گرفته است. افزایش سرعت به بیش از ۲۳ متر بر ثانیه و از طرفی افزایش بیش

از ۵ متر بر ثانیه ای آن نسبت به میانگین ۳۰ ساله و در نهایت گسترش فضایی بالای این جت در شرق آفریقا سبب انتقال هر چه قوی تر جریان های جنوب حاصل از فعالیت پرفشار ماسکارین در منطقه بوده است. بررسی ها نشان داد که تقویت پرفشار ماسکارین حاصل تشکیل یک چاهه انرژی در تراز فوقانی وردسپهر و از سویی تشکیل هسته چشمه انرژی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است که در دوره یاد شده وجود چاهه انرژی در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال از عوامل مهم و تاثیرگذار بر تشدید این سامانه جوی بود. نتایج حاصل از بررسی دمای سطح اقیانوس نشان داد افزایش دما در منطقه شرقی اقیانوس هند، شمال غرب اقیانوس آرام و جنوب غرب اقیانوس آرام از عوامل مهم در انتقال انرژی به داخل موسمی جهت افزایش همرفت های عمیق به شمار می رود. وجود آب های گرم در سواحل جنوب شرق آسیا و از طرفی افزایش ناگهانی دما در مناطق یاد شده در گردش موسمی تابستانه ۲۰۲۲ نقش عمده ای را بر عهده داشت. از طرفی با کاهش دمای سطح آب در منطقه نینو و حاکمیت دوره لانینا در منطقه، چرخه واکر در غرب خود بیشترین جریانات صعودی را در بر داشته و همین امر به تقویت موسمی تابستانه کمک شایانی کرده است. وجود نابهنجاری های منطقه ای دما در شرق و شمال شرق سواحل آفریقا نیز سبب تقویت جت سومالی و افزایش گردش وردسپهر زیرین در مقیاس منطقه ای شده است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ارکان اصلی موسمی در این دوره بسیار نابهنجر بوده و نسبت به میانگین بلندمدت خود تقویت شده اند که در تحقیق علیجانی و همکاران (۱۳۸۶) و علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز بدان اشاره شده و وقوع بارش های شدید جنوب شرق ایران حاصل تقویت موسمی تابستانه و ارکان اصلی آن می باشد.

### مراجع

- علیجانی، بهلول؛ جعفرپور، زین العابدین؛ علی اکبری بیدختی، عباسعلی؛ مفیدی، عباس (۱۳۸۶). تحلیل سینوپتیکی الگوهای گردش بارشهای موسمی جولای ۱۹۹۴ در ایران. نشریه علوم جغرافیایی، جلد ۷، شماره ۱۰.
- علیجانی، بهلول؛ مفیدی، عباس؛ جعفرپور، زین العابدین؛ علی اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۹۰). الگوهای گردش جو بارش های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه ژوئیه ۱۹۹۴. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۳.

- 0.CO;2.
- Yang, S., Lau, K.M., Yoo, S.H., et al. (2004). Upstream subtropical signals preceding the Asian summer monsoon circulation. *J. Clim.* 17, 4213e4229. <https://doi.org/10.1175/JCLI3192.1>.
- Zhao, Z., Luo, Y., Jiang, Y. (2011). Is global strong wind declining? *Adv. Clim. Change Res.* 2, 225e228. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2011.00225>.
- Xiao, Z., Zhou, X., Yang, P., et al. (2016). Variation and future trends in precipitation over summer and autumn across the Yunnan region. *Front. Earth Sci.* 10, 498e512. <https://doi.org/10.1007/s11707-015-0523-6>.
- Preethi, B., Mujumdar, M., Prabhu, A., et al. (2017). Variability and teleconnections of South and East Asian summer monsoons in present and future projections of CMIP5 climate models. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.* 53,305e325. <https://doi.org/10.1007/s13143-017-0034-3>.
- Zhang, Y., Chen, J. (2017). Characterizing the winter concurrent variation patterns of the subtropical and polar-front jets over East Asia. *J. Meteorol. Res.* 31, 160e170. <https://doi.org/10.1007/s13351-016-6094-y>.
- Zhang, Y., Huang, D. (2011). Has the East Asian westerly jet experienced a poleward displacement in recent decades? *Adv. Atmos. Sci.* 28, 1259. <https://doi.org/10.1007/s00376-011-9185-9>.
- Chou, C. (2004). Land-sea heating contrast in an idealized Asian summer monsoon. *Clim. Dynam.* 21, 11e25. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0315-7>.
- Ding, Y., Liu, Y., Song, Y., et al. (2015). From MONEX to the global monsoon: a review of monsoon system research. *Adv. Atmos. Sci.* 32, 10e31. <https://doi.org/10.1007/s00376-014-0008-7>.
- Gao, M., Ding, Y., Song, S., et al. (2018). Secular decrease of wind power potential in India associated with warming in the Indian Ocean. *Sci. Adv.* 4. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat5256>.
- Li, C., Yanai, M. (1996). The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land-sea thermal contrast. *J. Clim.* 9, 358e375. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<0358:TOAIVO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<0358:TOAIVO>2.0.CO;2).
- Wang, B. and Z. Fan. (1999). Choice of South Asian 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.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر (۱۳۹۱). بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال سوم، شماره ۱۱.
- برهانی، رضا؛ احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۹۷). تحلیل آماری-دینامیکی تاشدگی های ورداییست منطقه جنوب غرب آسیا در سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۲، شماره ۲.
- Krishnamurti, T.N., Stefanova, L., & Misra, V. (2013). *Tropical Meteorology an Introduction*. Springer Atmospheric Sciences. DOI 10.1007/978-1-4614-7409-8.
- Wu, Q. Y., Li, Q. Q., Ding, Y. H., Shen, X. Y., Zhao, M. C., & Zhu, Y. X. (2022). Asian summer monsoon responses to the change of land-sea thermodynamic contrast in a warming climate: CMIP6 projections. *Advances in Climate Change Research*, 13(2), 205-217.
- Zhu, H., Zhang, J., Xu, Z., Di Vittorio, A. V., Xin, X., Xiao, C., & Li, Y. (2022). Advantages of a variable-resolution global climate model in reproducing the seasonal evolution of East Asian summer monsoon. *International Journal of Climatology*.
- Liang, X., Li, Q., & Wu, T. (2022). Dynamical Seasonal Prediction of the Asian Summer Monsoon in the China Meteorological Administration Climate Prediction System Version 3. *Frontiers in Earth Science*, 10, 934248.
- Webster, P.J., Yang, S. (1992). Monsoon and ENSO: selectively interactive systems. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 118, 877e926. <https://doi.org/10.1002/qj.49711850705>.
- Krishnan, R., Sabin, T.P., Vellore, R., et al. (2016). Deciphering the desiccation trend of the South Asian monsoon hydroclimate in a warming world. *Clim. Dynam.* 47, 1007e1027. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2886-5>.
- Li, Q., Wang, J., Yang, S., et al. (2020). Subseasonal prediction of rainfall over the South China Sea and its surrounding areas during spring-summer transitional season. *Int. J. Climatol.* 40, 4326e4346. <https://doi.org/10.1002/joc.6456>.
- Yin, J., Zhang, Y. (2021). Decadal changes of East Asian jet streams and their relationship with the mid-high latitude circulations. *Clim. Dynam.* 56, 2801e2821. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05613-8>.
- Xiao, Z., Zhou, X., Yang, P., et al. (2016). Variation and future trends in precipitation over summer and autumn across the Yunnan region. *Front. Earth Sci.* 10, 498e512. <https://doi.org/10.1007/s11707-015-0523-6>.
- Yang, S., Lau, K.M. (1998). Influences of sea surface temperature and ground wetness on Asian summer monsoon. *J. Clim.* 11, 3230e3246. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<3230:IOSSTA>2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<3230:IOSSTA>2).

## Investigating the dynamic mechanism of the 2022 Asian summer monsoon in relation to Iran's heavy rainfall

*Hasan Haji mohammadi*

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

\*Corresponding Author Email: [Ha.hajimohammadi@stu.um.ac.ir](mailto:Ha.hajimohammadi@stu.um.ac.ir)

Received: 14 November 2021 , accepted: 17 February 2022

### ABSTRACT

Asian monsoon has different dimensions to investigate and this monsoon directly and indirectly affects the weather conditions of different regions. Therefore, the dynamic mechanism of Asian summer monsoon in 2022 was investigated in connection with heavy rains in Iran. For this purpose, the Indian Monsoon Index (IMI) was used to check the monsoon intensity and the atmospheric data of the National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Sciences (NCEP/NCAR) for the monsoon peak period in July and August. The results showed that the monsoon index is highly abnormal compared to its long-term average and has two peaks in July and August. With the westward shift of the summer monsoon at the level of 1000 hPa, an anomalous core of negative Velocity Potential has formed over South Asia and has extended to the southern regions of Iran. With the formation of this energy sink and the transfer of mass into it, deep convections have continued to occur in the mentioned areas. At the level of 200 hPa, a huge energy source has been formed over South Asia to South Iran and the East of the Middle East, and its mass divergence and transfer to the wells formed on the North and South Pacific Ocean, the South Indian Ocean, North West Europe and the South Ocean Atlas has its flow. The presence of a very strong positive anomaly in the Stream function and Vorticity at the levels of 100 and 200 hPa and the separation of the two modes of the Tibetan and Iranian plateaus in their orbital displacement was the main mechanism of the 2022 summer monsoon. The speed increase in the eastern tropical jet at the level of 150 hPa and the Somali jet in the lower troposphere was -7 and 5 m/s, respectively, compared to its 30-year average. Anomalous increase in sea surface temperature in the northern Pacific Ocean, eastern and western Australia, and the presence of negative sea surface temperature anomaly in the NINO region and synchronizing with La Nina, the ascending side of the Walker cycle is placed on the western Pacific Ocean, and this process has the intensity and power of the monsoon. The summer of 2022 has been completed.

**Keywords:** *summer monsoon, divergence wind, Velocity potential, Stream function, summer precipitation*

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

*Haji mohammadi, H. (2022). Investigating the dynamic mechanism of the 2022 Asian summer monsoon in relation to Iran's heavy rainfall. J. Meteorol. Atmos. Sci., 5(1): 10-21*

### 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/>).

