

مطالعه توفان های اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه بر مبنای شار فعالیت موج راسبی در دوره های خشک و تر بهاره ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در ایران

فرانک بهرامی^۱، عباس رنجبر سعادت آبادی^{۲*}، امیرحسین مشکوتی^۱، غلامعلی کمالی^۱

۱- گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- گروه آلودگی هوا و شیمی جو، پژوهشکده هواشناسی و علوم و جو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

در این مطالعه پارامتر شار فعالیت موج راسبی^۱ برای بررسی بودجه، مسیر و شدت امواج راسبی ورودی به منطقه خاورمیانه و ایران و ارتباط آن با بی هنجاری مثبت بارش کشور در ماه های آوریل و می ۲۰۱۸ (اواخر فروردین تا اوایل خرداد سال ۱۳۹۷) استفاده شده است. همچنین یک سال خشک (آوریل و می ۲۰۰۸)، معادل اواخر فروردین تا اوایل خرداد سال ۱۳۸۷، به منظور مقایسه وضعیت شار موج نسبت به سال تر انتخاب گردید. بدین منظور از داده های بارش ایستگاه های همدیدی سازمان هواشناسی کشور برای محاسبه بی هنجاری بارش و داده های NCAR/NCEP برای محاسبه شار فعالیت موج راسبی استفاده شد. نتایج نشان داد که دو عامل همگرایی و واگرایی شار فعالیت موج و چشمه ها و چاه های انرژی اداره کننده بودجه انرژی در منطقه مدیترانه هستند. در هر دو سال خشک و تر مطالعه شده، فعالیت پیچکی بر روی اقیانوس اطلس وجود دارد اما در ماه های پر بارش آوریل و می، فعالیت پیچکی بر روی اقیانوس اطلس شدیدتر بوده و یک منطقه واگرایی شدید موج (چشمه موج) بر روی شرق اقیانوس اطلس ایجاد شده است. همچنین امواج بر روی منطقه مدیترانه تغذیه رطوبتی شده، تقویت می گردند، این امواج با عبور از سمت غرب و جنوب غرب، ایران را تحت تأثیر قرار داده و شرایط را برای فعالیت سامانه های بارشی مهیا می سازند. فعالیت پیچکی بر روی غرب اقیانوس اطلس در ماه های خشک بسیار ضعیف تر می باشد، به گونه ای که در ماه می بر روی شرق اقیانوس اطلس منطقه وسیعی از همگرایی موج (چاه موج)، مشاهده می گردد. بنابراین همگرایی تابع جریان موج بر روی اقیانوس اطلس و همچنین ضعیف بودن فعالیت موج راسبی بر روی این مناطق و بدنبال آن ضعیف بودن تابع جریان موج بر روی مرکز و شرق دریای مدیترانه و همینطور عدم حضور فعالیت پیچکی مناسب بر روی این نواحی، منطقه را مستعد بی بارشی شدید در این دو ماه از فصل بهار سال ۱۳۸۷ نموده است.

کلمات کلیدی: شار فعالیت موج راسبی، تابع جریان موج، مسیر توفان مدیترانه، بی هنجاری بارش

1- Rossby wave activity flux

منطقه خاورمیانه و ایران از لحاظ موقعیت جغرافیایی در منطقه جنب حاره و کمربند خشک جهان قرار گرفته است. به همین دلیل شرایط جوی آن متأثر از سامانه‌های جوی جنب حاره و عرض‌های میانه می‌باشد. مقدار اندک و تغییرپذیری بارش در بخش وسیعی از این مناطق از سالی به سال دیگر، موجب پدید آمدن پیامدهای مخرب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، محیط زیست، منابع آب و .. می‌گردد. به همین دلیل مطالعه تغییرات بارش و عوامل اثرگذار بر آن، همواره مورد توجه محققان بوده است. یکی از مهمترین مناطق تأثیرگذار بر بارش‌های جنوب غرب آسیا و ایران منطقه مدیترانه است. دریای مدیترانه به دلیل اینکه در منطقه‌ی میان جنب حاره و عرض‌های میانی قرار گرفته است به عنوان یک منطقه آشوبناک شناخته می‌شود و نسبت به رفتار چرخندها به شدت حساس می‌باشد (HMSO¹، ۱۹۶۲). از آنجایی که شواهد متعددی از تأثیر پذیری وضعیت دینامیکی منطقه مدیترانه از اقیانوس اطلس وجود دارد (هارل^۲، ۱۹۹۵، هارل و ون لون^۳، ۱۹۹۷، رادول^۴ و همکاران، ۱۹۹۹)، در این پژوهش تلاش بر مطالعه توفان‌های اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه بر مبنای پارامتر شار فعالیت موج راسبی می‌باشد. مطالعاتی در این زمینه در داخل و خارج صورت گرفته است که می‌توان به کارهای اورلانسکی و کاتزفی^۵ (۱۹۹۱)، اورلانسکی و شلدون^۶ (۱۹۹۳) و چنگ^۷ (۱۹۹۳) اشاره کرد. نتیجه مشترک هر سه تحقیق نشان داد که برای بررسی و ردیابی انتشار یک بسته موج می‌توان از شار ژئوپتانسیلی غیرزمینگرد که بخش مهمی از انتشار انرژی پیچکی را به خود اختصاص می‌دهد، استفاده کرد. ولی جملات شار انرژی و جملات تبدیل را نمی‌توان از نظر کمی به دقت و به صورت جداگانه مشخص نمود.

- 1- HMSO, 1962: Weather in the Mediterranean: General Meteorology 2nd Ed.
- 2- Hurrell
- 3- Van Loon
- 4- Rodwell
- 5- Orlanski & Katzfey
- 6- Orlanski & Sheldon
- 7- Chang

راه حل این مشکل، استفاده از کمیت فعالیت موج است که جملات بودجه آن را می‌توان به طور یکتا تعیین کرد (پلام^۸، ۱۹۸۶، اسلر و هینز^۹، ۱۹۹۹، تاکایا و ناکامورا^{۱۰}، ۲۰۰۰، دنیلسون و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۶). همچنین چنگ و اورلانسکی (۱۹۹۴) با محاسبه شار و سرعت گروه برای مدل‌های دارای حالت پایه متغیر در راستای قائم، نشان دادند که شار ژئوپتانسیلی غیرزمینگرد در شارش‌های دارای چینش خطی ایده آل، با سرعت گروه در ارتباط است. آنها اظهار نمودند که می‌توان این شار را برای نمایش انتشار انرژی پیچکی در جریان‌های غیر خطی متغیر در راستای قائم و مداری به کار برد. در ادامه ونسه وشفرد^{۱۲} (۱۹۹۸) روشن ساختند که اگر ضرائب معادلات خطی شده در فضا و زمان به آهستگی تغییر کنند، یعنی همان شرایطی که با تقریب WKB¹³ فراهم می‌شود، آنگاه این روابط برای فعالیت موجی همواره خاصیت سرعت گروه را برآورده می‌کنند. همچنین هنگ و ناکامورا در سال ۲۰۱۷ به بررسی بودجه‌های فعالیت موج در زمستان نیمکره شمالی و اثرات آن بر مسیرهای توفان اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس پرداختند و نتیجه گرفتند که این بودجه‌ها توسط سه منبع (۱): شار گرمایی پیچکی نصف‌النهاری سطوح پایین، (۲): همگرایی افقی شار فعالیت موج و (۳): چشمه و چاه‌های دررو اداره می‌شوند. اسعدی و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه دینامیک مسیر توفان مدیترانه بر مبنای شار فعالیت موج پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در ماه‌های ژانویه و فوریه، غرب مدیترانه تحت تأثیر توفان اطلس قرار دارد، ولی در ماه دسامبر، تقریباً مستقل از مسیر توفان اطلس می‌باشد. رضائیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز در مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل آماری-دینامیکی رابطه بین مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطلس شمالی بر مبنای فرایافت فعالیت موج، نشان دادند که در فاز مثبت NAO، بیشتر از فاز منفی تحت

- 8- Plumb
- 9- Esler & Haynes
- 10- Takaya & Nakamura
- 11- Danielson
- 12- Vanneste & Shepherd
- 13- Karmers-Wentzel-Brillouin

نیستند. ولی بر خلاف انرژی پیچکی، اگر F دارای خاصیت سرعت گروه بر طبق رابطه زیر باشد.

$$F = C_g A \quad (2)$$

C_g سرعت گروه است، (دنیلسون و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به تعریف D در رابطه (۱)، تبدیل های انرژی در عرض های میانی در مرحله نخست بدین دلیل رخ می دهند که حالت پایه در راستای مداری و قائم متغیر است. واگرایی و همگرایی F نشان می دهد که به ترتیب موج کجا گسیل و کجا میرا می گردد. در این مقاله به منظور بررسی شار فعالیت موج راسبی از فرمول بندی تاکایا و ناکامورا (۲۰۰۰)، که تعمیمی از کار پلام (۱۹۸۵) است استفاده گردید که بصورت رابطه ۳ می باشد.

$$w = \frac{pcos\varphi}{2|U|} \quad (3)$$

$$\left[\frac{u}{a^2 cos^2\theta} \left[\left(\frac{\partial\psi^e}{\partial\lambda} \right)^2 \right] - \psi^e \frac{\partial^2\psi^e}{\partial^2\lambda} + \frac{V}{a^2 cos\theta} \left[\frac{\partial\psi^e}{\partial\lambda} \frac{\partial\psi^e}{\partial\theta} - \psi^e \frac{\partial^2\psi^e}{\partial\lambda\partial\theta} \right] \right. \\ \left. \frac{u}{a^2 cos\theta} \left[\frac{\partial\psi^e}{\partial\lambda} \frac{\partial\psi^e}{\partial\theta} - \psi^e \frac{\partial^2\psi^e}{\partial\lambda\partial\theta} \right] + \frac{V}{a^2} \left[\left(\frac{\partial\psi^e}{\partial\lambda} \right)^2 - \psi^e \frac{\partial^2\psi^e}{\partial\theta^2} \right] \right] + C_u M \\ \left. \frac{f\Omega^2}{N^2} \left\{ \frac{u}{acos\theta} \left[\frac{\partial\psi^e}{\partial\lambda} \frac{\partial\psi^e}{\partial Z} - \psi^e \frac{\partial^2\psi^e}{\partial\lambda\partial Z} \right] + \frac{V}{a} \left[\frac{\partial\psi^e}{\partial\theta} \frac{\partial\psi^e}{\partial Z} - \psi^e \frac{\partial^2\psi^e}{\partial\theta\partial Z} \right] \right\} \right]$$

که بالانویس e در روابط، پریشیدگی از حالت میانگین را نشان می دهد. a شعاع زمین، λ و φ به ترتیب عرض و طول جغرافیایی و Ψ تابع جریان موج هستند. C_p سرعت فاز در جهت جریان پایه $U=(U,V,0)^T$ و مؤلفه های واگرایی سه بعدی و گرادیان افقی به صورت رابطه ۴ می باشند:

$$\nabla \cdot = \left(\frac{1}{acos\theta} \frac{\partial}{\partial\lambda} \cdot \frac{1}{acos\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} \cdot \frac{\partial}{\partial Z} \right)^T. \nabla_H = \left(\frac{1}{acos\theta} \frac{\partial}{\partial\lambda} \cdot \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial\theta} \cdot 0 \right)^T \quad (4)$$

با استفاده از این پارامتر، با شناسایی مناطق همگرایی (واگرایی) شار افقی فعالیت موج، به منظور تعیین چاهه (چشمه) های موج، شدت و مسیر حرکت توفان قیانوس اطلس و دریای مدیترانه مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. هر زوج واگرایی-همگرایی شار افقی فعالیت موج راسبی، بیانگر زوجی از نواحی گسیل-دریافت موج و نشاندهنده مسیر حرکت امواج است بدین معنی که

تأثیر چرخندزایی در شمال شرق اطلس و شمال اروپاست. احمدی گیوی و همکاران در سال ۲۰۱۳ برهمکنش بسته های کژ فشار اطلس شمالی و مسیر توفان مدیترانه را بررسی نمودند و تأثیر و شار افقی فعالیت موج را بر سرتاسر دامنه مسیر توفان مدیترانه بوضوح نشان دادند. نصر اصفهانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز به بررسی ارتباط میان مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطلس شمالی از دیدگاه انرژی پدیدارشدن، نتایج بررسی های آنها نشان داد که بردارهای شار انرژی، انتقال دهنده انرژی از غرب اقیانوس اطلس و شمال اروپا به منطقه مدیترانه است که این فرآیند در فاز مثبت نوسان اطلس شمالی ضعیف تر از فاز منفی آن است.

در این تحقیق به منظور بررسی بودجه، شدت و مسیر حرکت توفان های اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه، در ماه های آوریل و می ۲۰۱۸ (اواخر فروردین تا اوایل خرداد ۱۳۹۷)، به عنوان ماه های مرطوب و آوریل و می ۲۰۰۸ (اواخر فروردین تا اوایل خرداد ۱۳۸۷)، به عنوان ماه های خشک و ارتباط مسیر حرکت و شدت این توفان ها با بارش های دوره های مذکور از پارامتر شار فعالیت موج راسبی استفاده گردید. پارامتر شار فعالیت موج یکی از پارامترهایی است که می توان با استفاده از آن فرآیند توسعه و مسیر حرکت چرخندها و واچرخندها را توضیح داد. (اورلانسکی و کترفی، ۱۹۹۱).

رابطه بودجه این کمیت بصورت رابطه (۱) می باشد. (ادمون^{۱۴} و همکاران، ۱۹۸۰).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \cdot F = D \quad (1)$$

که A و F به ترتیب چگالی و شار فعالیت موج هستند. وقتی که موج و جریان پایه پایدار باشند، D که اثرات ناپایستار موج را نشان می دهد برابر صفر می شود. این رابطه بیانگر وابستگی واگرایی شار فعالیت موجی ($\nabla \cdot F$) به خصوصیات فیزیکی گذرای موج و اثرات ناپایستاری موج است. مانند شار انرژی پیچکی، شار F شکل های گوناگونی دارد که همه آنها دارای خاصیت سرعت گروه

ایستگاه های مورد نظر از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\left(\frac{p-\bar{p}}{\bar{p}}\right)*100 \quad (۶)$$

نتایج و بحث

الف- بارش

مجموع بارش سالانه در طی سال های مختلف برای بازه ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ میلادی برای ماه آوریل (الف) و می (ب)، در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین مقادیر بی هنجاری بارش ماهانه در ماه های آوریل و می برای ۴۴ ایستگاه همدیدی منتخب از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸، نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱)، در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل ها مشخص است در سال های مختلف نوسانات بارشی زیادی در هر دو ماه وجود داشته است. آوریل و می سال ۲۰۱۸ (اواخر فروردین تا اوایل خرداد ۱۳۹۷)، یکی از دوره های پربارش طی این سال ها بوده است، در سال ۲۰۱۸ مجموع بارش ماهانه در ماه آوریل برای ۴۴ ایستگاه منتخب، بعد از سال های ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۰۴، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۳ با حدود ۱۸۳۰ میلی متر بارش و مقدار بی هنجاری مثبت ۴۲/۵ درصد نسبت به میانگین بلند مدت، ششمین سال پرباران طی این سال ها بوده است. در ماه می ۲۰۱۸ بعد از سال ۱۹۹۲،



شکل ۱: موقعیت ایستگاه های همدیدی منتخب

حضور مراکز واگرایی، ناحیه انتشار موج و مراکز همگرایی ناحیه میرایی و دریافت موج را نشان می دهند. همچنین تابع جریان موج، محل واگرایی-همگرایی امواج و بردارها، جهت و شدت انتشار آنها را نشان می دهند. (تاکایا و ناکامورا^{۱۵}، ۲۰۰۰).

روش تحقیق

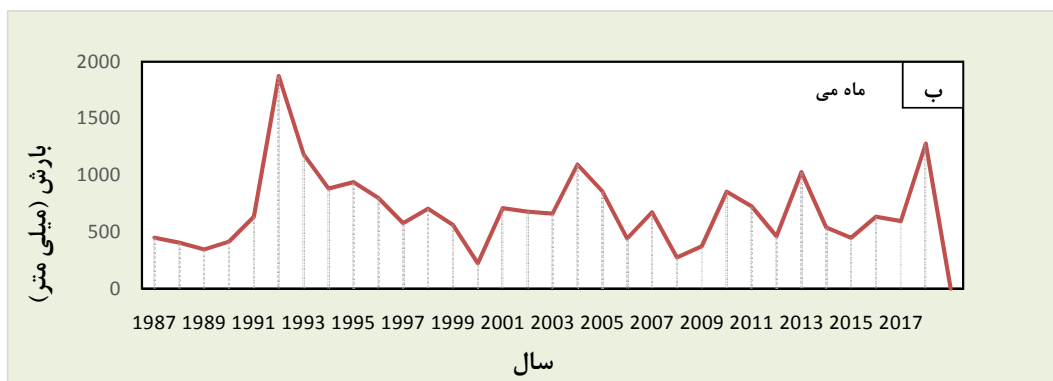
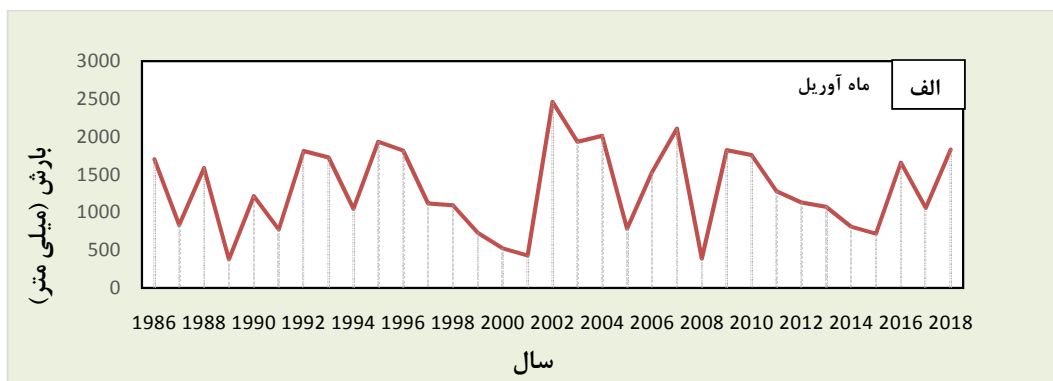
در این پژوهش، از داده های بازتحلیل مراکز ملی پیش بینی محیطی/مرکز ملی پژوهش های جوی برای دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ (۱۳۹۷-۱۳۶۵)، با تفکیک افقی ۲/۵*۲/۵ در دو راستای طول و عرض جغرافیایی، استفاده شده است. این داده ها شامل ارتفاع ژئوپتانسیلی، مؤلفه افقی و قائم سرعت مداری است.

با استفاده از فرمول بندی تاکایا و ناکامورا^{۱۵} (۲۰۰۰)، (رابطه شماره ۳)، بی هنجاری تابع جریان موج و شار فعالیت موج در آوریل و می سال های ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ میلادی (اواخر فروردین تا اوایل خرداد ۱۳۹۷ و ۱۳۸۷ شمسی)، نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، به منظور بررسی بودجه انرژی و همینطور شدت و جهت امواج راسبی ورودی به منطقه محاسبه گردید. همچنین از داده های دیده بانی شده بارش سازمان هواشناسی برای دوره ۳۰ ساله مذکور برای ۴۴ ایستگاه همدیدی منتخب (شکل ۱) به منظور محاسبه بی هنجاری بارش در این سال کمک گرفته شد. به منظور محاسبه بی هنجاری بارش در بهار سال های ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ نسبت به میانگین بلند مدت مقدار میانگین ۳۰ ساله فصلی بارش به روش زیر محاسبه گردید:

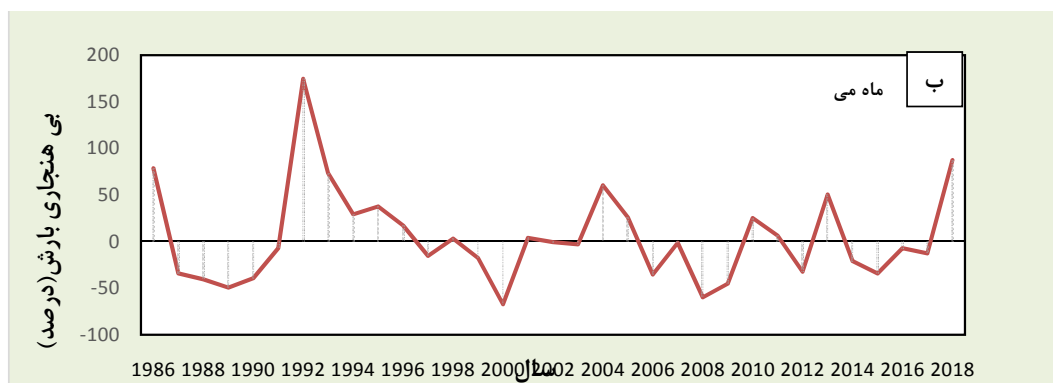
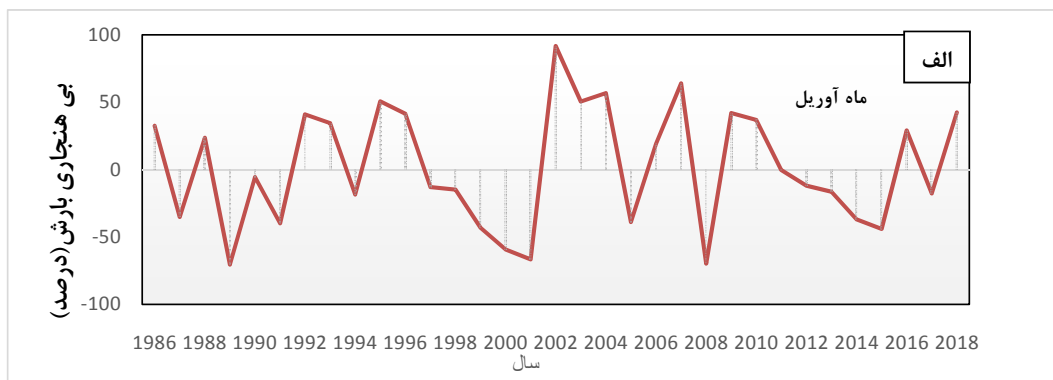
$$\bar{P} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} p_i \quad (۵)$$

که در آن p_i بارش فصلی سال i ام ایستگاه مورد مطالعه و \bar{p} میانگین بارش فصلی ایستگاه مورد مطالعه در دراز مدت می باشد.

در ادامه مقدار بی هنجاری بارش فصلی برای



شکل ۲: مجموع بارش در ۴۴ ایستگاه منتخب به تفکیک سال (الف) ماه آوریل و (ب) ماه می طی دوره (۲۰۱۸-۱۹۸۶)



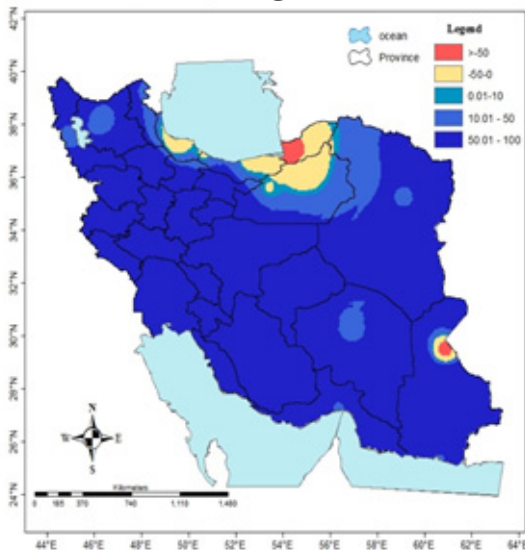
شکل ۳: بی هنجاری بارش در ۴۴ ایستگاه منتخب به تفکیک سال (الف) ماه آوریل و (ب) ماه می نسبت به بلند مدت ۳۰ ساله

۵۹/۸۸ - درصد، سومین سال خشک پس از به ترتیب سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ بوده اند. لازم به ذکر است که ملاک انتخاب سال ها، پراکندگی بی هنجاری بارش در بخش وسیع تری از کشور نسبت به دیگر سال ها و همچنین نزدیک تر بودن این بازه های زمانی نسبت به

با مقدار ۱۲۷۸ و بی هنجاری مثبت بارشی ۸۷/۳۹ درصد بیشترین مقدار بارش را دارا بوده است. در مقابل ماه های آوریل و می سال ۲۰۰۸ (اواخر فروردین تا اوایل اردیبهشت ۱۳۸۷)، به ترتیب با مقادیر ۳۸۹ و ۲۷۳ میلی متر و بی هنجاری منفی بارشی ۶۹/۷ - و

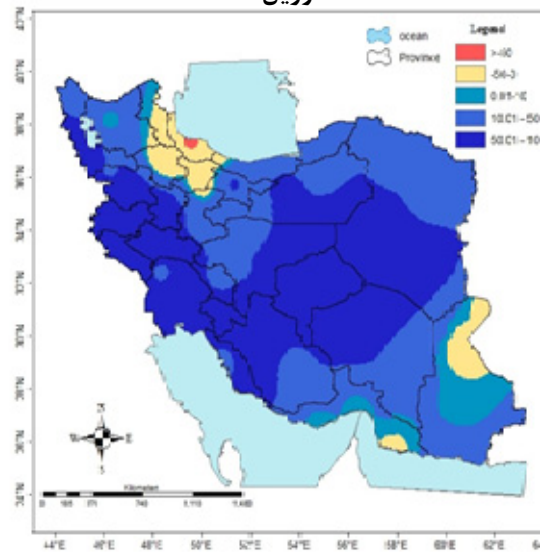
ب

ماه می ۲۰۱۸



الف

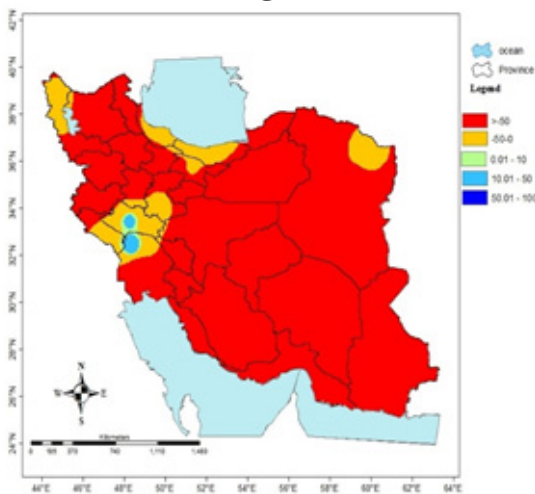
ماه آوریل ۲۰۱۸



شکل ۴: توزیع پراکندگی بی هنجاری بارش در ماه های مرطوب آوریل (الف) و در ماه می (ب) سال ۲۰۱۸ (۱۳۹۷)، نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله

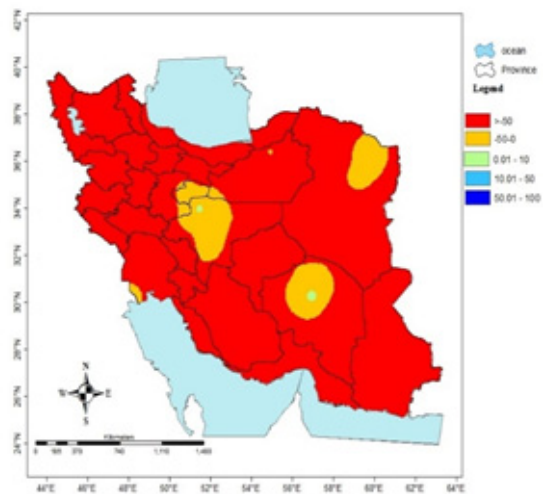
ب

ماه می ۲۰۰۸



الف

ماه آوریل ۲۰۰۸



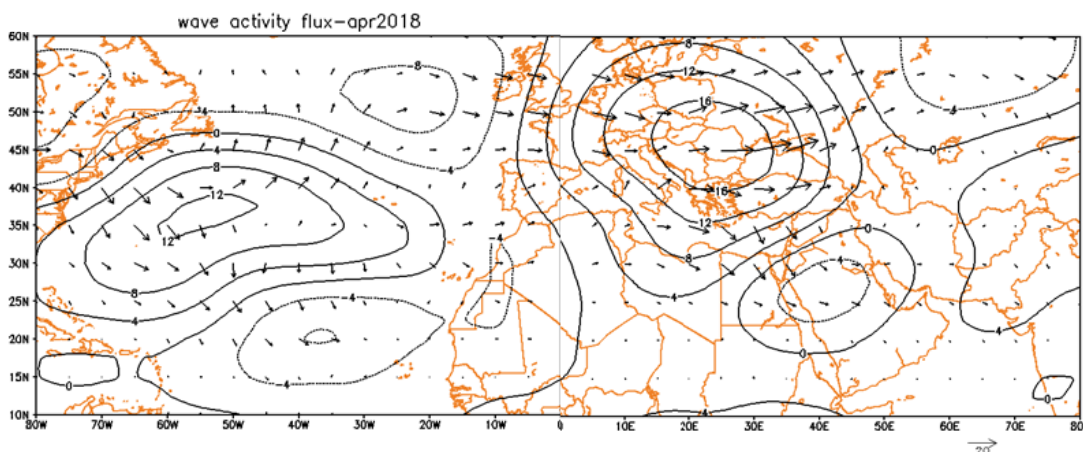
شکل ۵: توزیع پراکندگی بی هنجاری بارش در ماه های مرطوب آوریل (الف) و در ماه می (ب) سال ۲۰۰۸ (۱۳۸۷)، نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله

زمان حال است. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب توزیع پراکنندگی بی‌هنجاری بارش در ماه آوریل (الف) و در ماه می (ب)، نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ را نشان می‌دهند. در ماه مرطوب آوریل سال ۲۰۱۸، سواحل شرقی دریای خزر، بخش کوچکی از جنوب و جنوب شرق کشور، روزهای خشکی را سپری کرده‌اند. در مقابل بقیه مناطق، بخصوص ایستگاه‌های مرکزی و شمال غربی، روزهای پر بارشی داشته و بی‌هنجاری مثبت بارشی نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله داشته‌اند. (شکل ۴-الف). در ماه می بیش از ۷۰ درصد ایران بارش‌های بسیار شدید بالاتر از نرمال را تجربه نموده‌اند. به عنوان مثال در ایستگاه ایرانشهر که بندرت در ماه می در سال‌های گذشته بارش به ۲ میلی‌متر می‌رسید، در ماه می سال ۲۰۱۸، بیش از ۲۰ میلی‌متر بارش ثبت گردیده است. همچنین در ۷۰ درصد مناطق بی‌هنجاری مثبت بارش بالای ۵۰ درصد وجود داشته است (شکل ۴-ب).

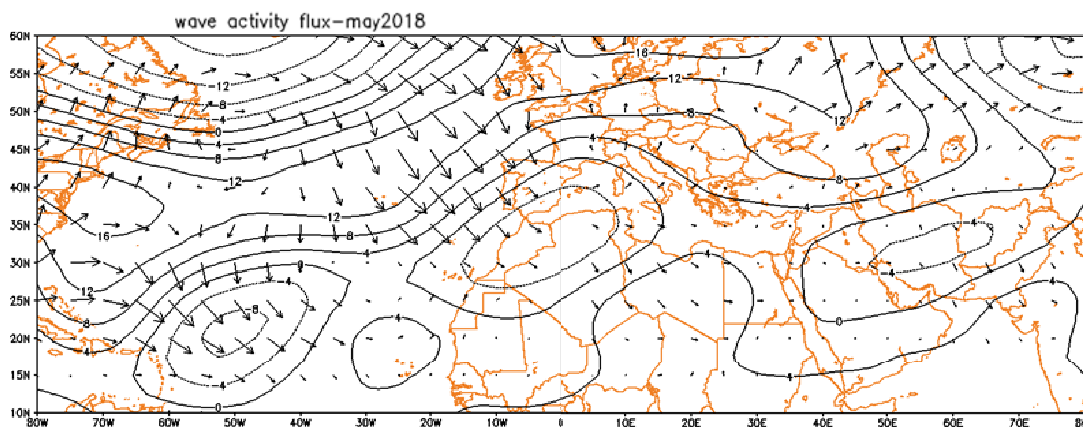
در آوریل و می سال ۲۰۰۸، تقریباً تمامی کشور، بی‌هنجاری شدید منفی بارشی را نشان می‌دهند. در

شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب توزیع پراکنندگی بی‌هنجاری بارش در ماه آوریل (الف) و در ماه می (ب)، نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ را نشان می‌دهند. در ماه مرطوب آوریل سال ۲۰۱۸، سواحل شرقی دریای خزر، بخش کوچکی از جنوب و جنوب شرق کشور، روزهای خشکی را سپری کرده‌اند. در مقابل بقیه مناطق، بخصوص ایستگاه‌های مرکزی و شمال غربی، روزهای پر بارشی داشته و بی‌هنجاری مثبت بارشی نسبت به میانگین بلند مدت

الف- ماه آوریل 2018



ب- ماه می 2018



شکل ۶: بی‌هنجاری تابع جریان موج (پریندها) و شار افقی فعالیت موج (بردارها): (الف): برای ماه آوریل ۲۰۱۸ و (ب): برای ماه می ۲۰۱۸. بازه پریندها 10^6 متر مربع بر ثانیه و بردارها متر مربع بر مجذور ثانیه می‌باشد.

ماه آوریل به استثنای ایستگاه‌های کرمان و اصفهان که بی‌هنجاری مثبت بارشی حدود ۵ درصد نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) داشته‌اند، بقیه مناطق کشور درگیر کم بارشی شدید نسبت به سه دوره گذشته بوده‌اند (شکل ۵-الف). شرایط در ماه می تقریباً همانند ماه آوریل بوده است. در این ماه تنها دو ایستگاه خرم‌آباد و دزفول بارش‌های نسبتاً خوبی داشته‌اند و دیگر ایستگاه‌ها از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد بی‌هنجاری منفی بارش نسبت به بلند مدت ۳۰ ساله را نشان داده‌اند.

ب- شار فعالیت موج راسبی

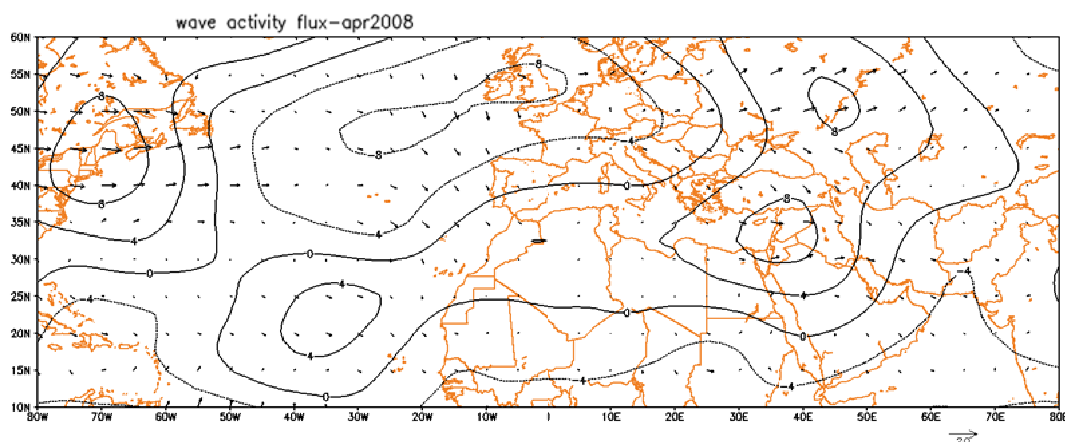
مورد ۱: آوریل و می سال ۲۰۱۸

شکل ۶- الف نشان دهنده منطقه وسیعی از گسیل موج (چشمه موج) بر روی مرکز اقیانوس اطلس است. مرکز این اقیانوس، درگیر واگرایی شدیدی از امواج در محدوده طول جغرافیایی ۴۵ تا ۶۰ درجه غربی و عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی می‌باشد. شار موج از مرکز این واگرایی در دو راستای شمال و جنوب با انتشار به سمت خارج، دو شاخه شمالی-جنوبی از منطقه همگرایی موج (چاهه موج) را ایجاد می‌کند. یک زوج قوی از همگرایی-واگرایی بر روی مناطق مرکز، غرب و شرق دریای مدیترانه، همچنین دریای سیاه مشاهده می‌گردد که تأمین کننده بودجه انرژی برای این مناطق است. بنابراین محدوده عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۶۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۰ تا ۴۰ درجه شرقی نیز تحت تأثیر واگرایی شدید موج قرار می‌گیرند. موج راسبی از نقطه مرکزی این مرکز واگرایی، در دو راستای شمال شرق و جنوب شرق امواج را گسیل می‌کند. شاخه شمالی به سمت سبیری رفته و توفان سبیری را ایجاد کرده و شاخه جنوبی، با گذر از روی شرق مدیترانه و سپس شمال دریای سرخ تقویت شده و بر روی غرب و مرکز ایران ایجاد یک زوج واگرایی-همگرایی نسبتاً قوی می‌نماید. همانگونه که پیشتر توضیح داده شد محل ایجاد زوج واگرایی-

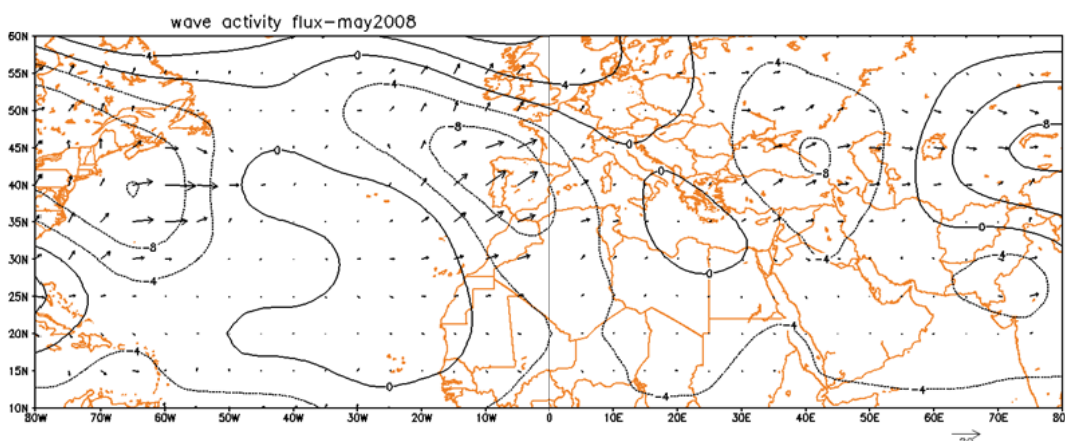
همگرایی، مکان بیشینه دریافت موج است. بنابراین در این ماه، دریای سرخ، صحرای عربستان، جنوب غرب، غرب و مرکز ایران دریافت کننده بیشینه فعالیت این امواج هستند. با توجه به نقشه دیده بانی شده بارش، این محدوده بیشینه بی‌هنجاری مثبت بارش، نسبت به سه دهه گذشته را داشته‌اند. بنابراین ایجاد زوج واگرایی-همگرایی در محدوده وسیع ۱۰ تا ۵۵ درجه طول جغرافیایی و ۲۰ تا ۵۰ درجه عرض جغرافیایی، تأمین کننده بودجه انرژی مورد نیاز برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد که موجب ورود شار فعالیت موج راسبی از سمت جنوب غرب به ایران شده و شرایط مساعد از نظر بارشی را برای مناطق عمده ای از کشور را فراهم ساخته است.

شکل ۶- ب، یک مرکز بسته واگرایی موج بر روی غرب اقیانوس اطلس را نشان می‌دهد که با انتشار موج به دو سمت شمال و جنوب دو منطقه از همگرایی (چاهه) موج را در طول جغرافیایی ۵۰ درجه غربی و به ترتیب، ۶۰ و ۲۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی ایجاد می‌کند. مرکز اقیانوس اطلس منطقه گسیل موج (واگرایی موج)، با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی گسترده شده است. از شمال اقیانوس اطلس، امواج با گسیل به سمت جنوب شرق، ایجاد یک زوج واگرایی-همگرایی در طول جغرافیایی ۲۰ تا ۱۰ درجه غربی کرده و با تأمین بودجه انرژی مورد نیاز دریای مدیترانه، توفان مدیترانه را موجب می‌گردد. امواج با عبور از روی دریای مدیترانه تقویت شده و دو شاخه می‌گردد. شاخه شمالی به سمت شمال حرکت نموده و با عبور از شمال دریای سیاه، وارد منطقه سبیری می‌شود. شاخه جنوبی آن با حرکت به سمت جنوب شرق و شرق، بر روی شمال دریای سرخ و شرق مدیترانه عبور کرده و تغذیه رطوبتی می‌شوند. این امواج نهایتاً بر روی منطقه ایران همگرا شده و میرا می‌گردند. جهت انتشار موج و همچنین مناطق حضور زوج‌های واگرایی-همگرایی تعیین کننده مکان‌های بیشینه فعالیت موج راسبی می‌باشند. بنابراین بخش عمده ای از ایران، بخصوص

الف- ماه آوریل 2008



ب- ماه می 2008



شکل ۷: بی هنجاری تابع جریان موج (پربندها) و شار افقی فعالیت موج (بردارها): (الف): برای ماه آوریل ۲۰۰۸ و (ب) برای ماه می ۲۰۰۸. بازه پربندها 10^6 متر مربع بر ثانیه و بردارها متر مربع بر مجذور ثانیه می باشد.

بیانگر واگرایی و گسیل موج در این منطقه می باشد. همانطوریکه در شکل ۷-الف نشان داده شده است امواج طی حرکت به سمت شرق به دو شاخه تبدیل می شوند، یک شاخه به سمت شمال شرق و دیگری به سمت جنوب شرق گسترده می گردند. شاخه شمالی با حرکت به سمت شرق ایجاد یک زوج همگرایی-واگرایی گسترده با دو مرکز، یکی بر روی شرق مدیترانه و دیگری بر روی روسیه می نماید. گستردگی زبانه های این مراکز محدوده طول جغرافیایی ۲۰ تا ۷۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۶۰ درجه شمالی را

نیمه غربی، جنوب، جنوب شرق و بخش هایی از شمال شرق کشور مکان های پیشینه همگرایی موج راسبی می باشند. این نواحی مناطقی هستند که پیشینه بارش دریافتی را طی ماه می دارا بوده و همچنین نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰)، پیشینه بی هنجاری مثبت بارش را نیز نشان می دهند.

مورد ۲: آوریل و می سال ۲۰۰۸

شرق اقیانوس اطلس در ماه های آوریل و می ۲۰۰۸ درگیر مقادیر مثبت تابع جریان موج است که

تاریخ نیز تأیید می نماید که به استثنای بخش کوچکی از غرب، کل محدوده ایران در ماه می خشکسالی شدید را تجربه کرده است.

نتایج

در این مطالعه به منظور بررسی مسیر و شدت امواج راسبی ورودی به منطقه ایران و ارتباط آن با بی‌هنجاری مثبت بارش در ماه‌های آوریل و می سال ۲۰۱۸ (اواخر فروردین تا اوایل خرداد سال ۱۳۹۷)، از پارامتر شار فعالیت موج راسبی بر مبنای فرمول بندی تاکایا و ناکامورا (۲۰۰۰)، استفاده گردید. همچنین از داده‌های دیده‌بانی شده بارش برای توصیف وضعیت بارشی بر اساس امواج ورودی به منطقه استفاده شد. جهت بررسی هر چه دقیق‌تر، دو ماه آوریل و می خشک نیز به منظور مقایسه مورد مطالعه قرار گرفت، که مطابق با اطلاعات دریافتی از سازمان هواشناسی کشور ماه‌های آوریل و می سال ۲۰۰۸ (اواخر فروردین تا اوایل خرداد سال ۱۳۸۷) انتخاب گردید. نتایج حاصله نشان داد تابع جریان موج راسبی و همینطور شار فعالیت آن با شرایط پر بارشی و کم بارشی در فصل بهار مرتبط هستند.

در ماه‌های پر بارش آوریل و می، فعالیت پیچکی بر روی اقیانوس اطلس شدید بوده و یک منطقه واگرایی شدید موج (چشمه موج) بر روی شرق اقیانوس اطلس ایجاد گردیده است. بردارهای شار فعالیت موج نشان می‌دهند که این امواج طی حرکت خود به سمت شرق به دو شاخه تبدیل می‌شوند و اروپا را فرا می‌گیرند. این امواج در ادامه حرکت خود با عبور از روی دریای مدیترانه تقویت شده و توفان مدیترانه را موجب می‌گردند. بنابراین در شرایطی که بارش نسبت به میانگین دارای بی‌هنجاری مثبت است، امواج ورودی از سمت اقیانوس اطلس با گذر از منطقه مدیترانه و عبور از جانب غرب و جنوب غرب، ایران را فراگرفته و شرایط را برای فعالیت سیستم‌های بارش‌زا مهیا می‌سازند.

در ماه‌های آوریل و می سال ۲۰۰۸، که بی‌هنجاری شدید منفی بارشی در سرتاسر ایران گسترده

پوشش می‌دهند. مقادیر تابع موج بر روی کشور ایران مثبت و از مرتبه $10^6 * 6$ می‌باشد که شدیداً زبانه‌های مراکز واگرایی از روسیه تا شرق مدیترانه را متأثر ساخته و با گسترش شرق سوی خود بخش اعظمی از ایران را نیز فرا می‌گیرد. بنابراین هر چند که جهت پیکان‌های موج، به سمت ایران است ولی از آنجایی که این امواج بر روی خشکی قرار گرفته‌اند و تنها بخش کوچکی بر روی شرق مدیترانه است در نتیجه تغذیه رطوبتی مناسبی در آنها صورت نمی‌پذیرد بنابراین این امواج همراه با بارش نیستند. در نتیجه بخش عمده‌ای از کشور تحت تأثیر خشکسالی و بی‌هنجاری شدید منفی بارشی نسبت به سه دهه گذشته است. نقشه دیده‌بانی شده بارش در این تاریخ، بی‌هنجاری منفی شدید بارشی را تقریباً برای تمام ایران تأیید می‌کند.

در ماه می ۲۰۰۸ همانگونه که شکل ۷-ب نشان می‌دهد، غرب اقیانوس اطلس محل همگرایی امواجی است که از سمت آمریکای شمالی به این منطقه وارد شده است. در این شکل مشخص است که شرق و بخش عمده‌ای از مرکز اقیانوس اطلس محل واگرایی و گسیل موج (چشمه موج) است. این امواج بسیار ضعیف با عبور از روی شرق اقیانوس اطلس فعال می‌گردند و یک منطقه از همگرایی موج را بر روی غرب دریای مدیترانه ایجاد کرده و در همان نواحی میرا شده و از بین می‌روند. میرا شدن امواج بر روی غرب دریای مدیترانه به معنای همگرایی بر روی آن منطقه است که موجب می‌گردد غرب مدیترانه به منزله چاهه موج برای مناطق تحت تأثیر خود از جمله شرق این دریا عمل کند. در نتیجه بر روی شرق دریای مدیترانه امواج بسیار ضعیف شده و با گذر از شمال غرب ایران به سمت شمال شرق رفته و یک مرکز واگرایی ضعیف بر روی ترکیه و روسیه ایجاد گردیده، امواج حاصل از این مرکز با گذر از مرکز دریای خزر میرا می‌شوند. بطور کلی عدم دریافت مناسب انرژی و عدم حضور فعالیت پیچکی در این ماه شرایط را برای ایجاد کم بارشی بر روی ایران مساعد می‌سازد. نقشه‌های دیده‌بانی شده در این

- Ahmadi-Givi, F., Nasr-Esfahany, M. A. and Mohebalhojeh, A. R., 2013, Interaction of North Atlantic baroclinic wave packets and the Mediterranean storm track, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, doi:10.1002/qj.2171.
- Chang, E. K. M., 1993, downstream development of baroclinic waves as inferred from regression analysis: *J. Atmos. Sci.*, 50, 2038-2053.
- Chang, E. K. M., and Orlanski, I., 1994, On energy flux and group velocity of waves in baroclinic flows: *J. Atmos. Sci.*, 51, 3823-3828.
- Danielson, R. E., Gyakum, J. R. and Straub, D. N., 2006, A case study of downstream baroclinic development over the North Pacific Ocean. Part II: diagnoses of eddy energy and wave activity, *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1549-1567.
- Edmon, H. J., Hoskins, B. J. and McIntyre, M. E., 1980, Eliassen-Palm sections for the troposphere, *J. Atmos. Sci.*, 37, 2600-2616.
- Esler, J. G. and Haynes, P. H., 1999, Baroclinic wave breaking and internal variability of the tropospheric circulation, *J. Atmos. Sci.*, 56, 4014-4031.
- HMSO, 1962: *Weather in the Mediterranean: General Meteorology* 2nd Ed.
- Huang, C. S. Y., and N. Nakamura (2017), Local wave activity budgets of the wintertime Northern Hemisphere: Implication for the Pacific and Atlantic storm tracks, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5673-5682, doi: 10.1002/2017GL073760.
- Hurrell, J. W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, 676-679.
- Hurrell, J. W. and van Loon, H., 1997, Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change*, 36, 301-326
- Nasr-Esfahany, M. A., Ahmadi-Givi, F. and Mohebalhojeh, A. R., 2011, An energetic view of the relation between the Mediterranean storm track and the North Atlantic Oscillation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 749-756.
- Orlanski, I. and Katzfey, J. J., 1991, the life cycle of a cyclone wave in the southern hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, 48, 1972-1998.
- Orlanski, I. and Sheldon, J. P., 1993, a case of downstream

شده، فعالیت پیچکی بر روی غرب اقیانوس اطلس نیز ضعیف می باشد. به گونه ای که در ماه مارس بر روی شرق اقیانوس اطلس منطقه وسیعی از همگرایی موج (چاهه موج)، مشاهده می گردد. به همین دلیل شرق اقیانوس اطلس منطقه واگرایی ضعیفی از امواج راسبی است. همچنین بردارهای شار فعالیت موج راسبی نشان دهنده ضعیف بودن فعالیت امواج بر روی مناطق اقیانوس اطلس و اروپا می باشند و جهت این بردارها مسیر حرکت امواج را نشان می دهد که از شمال اروپا به طرف شرق دریای مدیترانه و ایران واگرا می شوند. بنابراین همگرایی تابع جریان موج بر روی اقیانوس اطلس و همچنین ضعیف بودن فعالیت موج راسبی بر روی این مناطق و بدنبال آن واگرایی تابع جریان موج بر روی شرق دریای مدیترانه و ایران و همینطور عدم حضور فعالیت پیچکی مناسب بر روی این مناطق، منطقه را مستعد بی بارشی شدید در این دو ماه از فصل بهار سال ۲۰۰۸ نموده است

بطور کلی در سال های تر تابع جریان موج روی اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه با هم تقویت می شوند و در سال های خشک با هم تضعیف می شوند. همچنین در سال های تر مرکز واگرایی موج (چشمه موج)، دقیقا بر روی مرکز اقیانوس اطلس و همینطور مرکز دریای مدیترانه قرار دارد ولی در سال های خشک محل این مراکز واگرایی در غرب اقیانوس اطلس و در شرق دریای مدیترانه می باشد. بعلاوه گسترش همگرایی روی اقیانوس اطلس و شمال اروپا در سال های خشک اجازه فعالیت را به نوسان اطلس نمی دهد.

منابع

- اسعدی، علی، احمدی گیوی، ف.، قادر، س.، محب الحجه، ع. ۱۳۹۰. بررسی دینامیک مسیر توفان مدیترانه از دیدگاه شار فعالیت موج راسبی، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۵ شماره ۴، ص ۳۱-۴۵.
- رضائیان، م.، محب الحجه ع.، احمدی گیوی، ف و نصر اصفهانی، م.ع. ۱۳۹۲. تحلیل آماری-دینامیکی رابطه بین مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطلس شمالی بر مبنای فرایافت فعالیت موج، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۰، شماره ۲، ۱۳۹۳، ص ۱۵۲-۱۳۹.

- Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, 398, 320-323.
- Takaya, K. and Nakamura, H., 2000, a formulation of a phase-independent wave activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow, *J. Atmos. Sci.*, 58, 608-627.
- Vanneste, J. and Shepherd, T. G., 1998, on the group velocity property for conservation laws, *J. Atmos. Sci.*, 55, 1063-1068.
- baroclinic development over western North America. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2929-2950.
- Plumb, R. A., 1985, a new look at the energy cycle, *J. Atmos. Sci.*, 40, 1669-1688.
- Plumb, R. A., 1986, Three-dimensional propagation of transient quasigeostrophic eddies and its relationship with the eddy forcing of the time-mean flow, *J. Atmos. Sci.*, 43, 1657-1678.
- Rodwell, M. J., Rowell, D. P. and Folland, C. K., 1999,

Study of the Atlantic and Mediterranean storm tracks based on Rossby wave activity flux in the dry and wet periods of spring 2018 and 2008 in Iran

F. Bahrami¹, A. Ranjbar Saadatabadi^{2*}, A.H. Meshka¹, Gh.A. Kamali¹

¹ Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Institute of meteorology and Science, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: aranjbar@gmail.com

Received: 20 February 2018 accepted: 26 May 2018

ABSTRACT

In this study, Rossby wave activity flux was used to investigate the budget, direction, and intensity of the incoming Rossby waves into the Middle East and Iran, and their relation to the positive precipitation anomaly in April and October of 2018. A dry period (April and May 2008) was selected to compare the wave flux in the wet period. Precipitation data from the weather station of I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO) has been used to calculate the precipitation anomaly. NCAR / NCEP data were used to compute wave activity flux. Results showed that two factors manage the energy budget in the Mediterranean region: convergence and divergence of the wave activity, and the sources and sinks of energy. During the wet period, wave activity is stronger, and there is an area of intense wave divergence on the east of the Atlantic Ocean. The waves from the Atlantic Ocean, by passing the Mediterranean Sea covers Iran. In the dry period, eddy activity in the west of the Atlantic Ocean is weaker than the other parts. Therefore, the convergence of wave stream function on the Atlantic Ocean and also the weakness of the Rossby waves in this area, followed by the divergence of wave stream function on the east of the Mediterranean Sea and of course Iran, as well as the lack of appropriate eddy activity in this region, have caused drought in this period.

Keywords: Rossby Wave Activity Flux, Wave Stream Function, Mediterranean Storm Track, Precipitation Anomaly

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Bahrami, F.; Ranjbar Saadatabadi, A.; Meshkati, A.; Kamali G., (2018). Study of the Atlantic and Mediterranean storm tracks based on Rossby wave activity flux in the dry and wet periods of spring 2018 and 2008 in Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(1): 1-12.

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/>).

