

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره اول، بهار ۱۳۹۱، شماره پیاپی ۱۰۴

S.A. Masoudian
B. Mohammadi

سید ابوالفضل مسعودیان، استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان
بختیار محمدی، استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

E-mail: s.a.masoudian@geo.ui.ac.ir

شماره مقاله: ۸۴۴

شماره صفحه پیاپی ۱۷۷۹۱-۱۷۷۶۷

تحلیل فراوانی جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران

چکیده:

در این پژوهش که با هدف تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی در زمان بارش‌های ابرسنگین ایران انجام شد؛ از رویکرد محیطی به گردشی استفاده گردید. ۱۲۵ روز از سنگین‌ترین و فراگیرترین بارش‌های ایران از پایگاه داده بارش روزانه کشور (شامل نقشه‌های همبارش ایران که به کمک ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی از تاریخ ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ تهیه شده) براساس آستانه بالای ۹۹ درصد، جهت مطالعه انتخاب شد. فراوانی تابع جبهه‌زایی در محدوده وسیعی از صفر تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و صفر تا ۸۰ درجه عرض شمالی در ۶ تراز ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و در چهار دیده‌بانی در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ زولو، بررسی شد. نتایج نشان داد که از نظر مهیایی شرایط مناسب جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین و فراگیر ایران، ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در تمام موارد (به استثنای دیده‌بانی ساعت ۱۸:۰۰ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) به عنوان ترازهای فعال دیده نشده‌اند زیرا فراوانی تابع جبهه‌زایی در این ترازها بر روی ایران در بیشتر موارد کمتر از ۲۰ درصد بوده است. در مقابل در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ایران (بویژه بخش‌های شرق، شمال‌شرق و جنوب‌غرب ایران) به عنوان محل بیشینه فعالیت‌های جبهه‌زایی دیده شده است.

واژه‌های کلیدی: جبهه‌زایی، بارش ابرسنگین، رویکرد محیطی به گردشی، ایران.

مقدمه:

برای اولین بار تابع جبهه‌زایی در سال ۱۹۳۶ توسط پیترسن مطرح شد. تابعی که وی مطرح کرده بود تنها آهنگ تغییرات زمانی اندازه‌گرادیان دمای پتانسیلی را مدنظر قرار می‌داد. بطور کلی هر فرآیندی که منجر به افزایش شیو دما (∇T) شود، را فرآیند جبهه‌زا و چنین عملی را جبهه‌زایی می‌گویند (مسعودیان، ۱۳۸۸، ۲۰۸). در محور طولی جبهه میزان آب قابل بارش نسبت به جلو یا عقب مرز جبهه‌ای، بالاتر است (بگ ول، ۲۰۰۷، ۹۲). به همین دلیل بیشترین مقدار بارش در امتداد جبهه‌ی سرد به طرف شمال مرکز چرخند رخ می‌دهد. بر روی جبهه‌های سیکلون، حرکت صعودی ناشی از تغییرات چرخندی در ترازهای بالا، با صعود حاصل از اختلاف وزن مخصوص هوا در دو طرف جبهه همراه می‌شود و بارش به بیشترین حد خود می‌رسد (کاویانی، علیجانی، ۱۳۷۸، ۲۴۲). در اغلب بررسی‌هایی که در مورد بارش‌های ابر سنگین انجام شده، از وجود جبهه و شرایط شدید جبهه‌زایی در منطقه به عنوان یک عامل بسیار موثر توجه شده است.

ویلیام^۱ و همکاران پس از تحلیل بارش‌های سنگین انگلستان، آنها را به سه دسته کوهبارش، جبهه‌ای و همرفتی تقسیم کردند. ایشان زمان رخداد، محدوده تأثیر و ویژگی‌های هر یک از سه نوع بارش را بیان کردند. نتایج بررسی آنان نشان داد که بارش‌های جبهه‌ای زمانی رخ می‌دهند که رطوبت نسبی هوا به بیش از ۸۰ درصد برسد و یک مرکز کم‌فشار به آرامی از محدوده ۲۰۰ کیلومتری به طرف جنوب یا شرق محل رویداد بارش سنگین عبور کند (ویلیام، ۲۰۰۴، ۱۵).

کاتو و آرانامی^۲ به بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری بارش‌های سنگین نیگاتا-فوکوشیما و فوکویی^۳ پرداختند. تحقیق آنها نشان داد که رویداد بارش‌های سنگین در

¹ - William

² - Kato and Aranami

³ - Niigata-Fukushima and Fukui

نتیجه تقویت ناپایداری همرفتی بر روی منطقه جبهه‌ای بایو^۴ است؛ و این رویدادها توسط جریان‌های هوای مرطوب تراز پایین و هوای خشک تراز میانی تحریک شده بودند. آنها معتقدند که هوای تراز میانی نسبتاً گرم بوده و سردتر از هوای اطراف خود نبوده است و این نشان می‌دهد که عوامل شکل‌گیری بارش سنگین منطقه باید ناشی از ناپایداری همرفتی باشد تا ناپایداری بالقوه (کاتو و آرانامی، ۲۰۰۵، ۱).

رودری^۵ و همکاران رویداد بارش‌های سنگین شمال غرب ایتالیا و رابطه آن با الگوهای جوی بزرگ مقیاس و میان مقیاس را مطالعه کردند. آنها معتقدند که در ۱۷۱ مورد از بارش‌های سنگین مورد مطالعه شرایط جبهه‌زایی بر روی سد کوهستانی آلپ به سوی حوضه مدیترانه شکل گرفته و اندرکنش بین جبهه و شرایط اوروگرافیک محلی به شکل‌گیری چرخند بادپناهی در خلیج جنوا^۶ منجر شده که این شرایط به ریزش بارش‌های شدید در توسکانی کمک کرده است (رودری و همکاران، ۲۰۰۵، ۶۱۳).

تای جن چن^۷ و همکاران نقش بلوگینگ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تشکیل شده را در ایجاد شرایط مناسب جبهه‌زایی مطالعه کردند. آنها معتقدند که قرار گرفتن مانع در غرب و شمال غرب دریای اختسک موجب تاثیر بیشتر جبهه بر روی شمال چین خواهد شد امری که در ماه ژوئن در منطقه غیرعادی است (تای جن چن و همکاران، ۲۰۰۶، ۲).

لی^۸ و همکاران یک رویداد بارش سنگین ۱۸ روزه در گره جنوبی را به منظور درک و فهم ویژگی‌های همدید مقیاس و سازوکارهای پیدایش این رویداد طولانی مدت، بررسی کردند (لی و همکاران، ۲۰۰۸، ۳۱۳). نتیجه تحقیق آنها نشان داد که کم‌فشارهای قاره‌ای قطبی شمال گره جنوبی، و پرفشار قوی غرب اقیانوس آرام که گسترش غرب-سوی پیدا کرده و در جنوب ژاپن مستقر شده، یک جبهه موسمی طولی ایجاد کرده

4- Baiu

5- Rudari

6- Gulf of Genoa

7- Tai-jen chen

8- Lee

است. در نتیجه شرایط دگر فشار ۱۸ روزه‌ای پدید آمده است. به اعتقاد آنها ناپایداری دگرفشار^۹ و رطوبت انباشته، نقش عمده‌ای در پیدایش ناپایداری جو داشته، و سبب بارش سنگین ۱۸ روزه شده است (همان منبع، ۳۳۲).

آرانت و باربوسا^{۱۰} ویژگیهای بزرگ مقیاس جوی منجر به جبهه‌زایی شدید در شرق استوایی آندهای امریکای جنوبی را مطالعه کردند. آنها معتقدند که این منطقه از مستعدترین مکانهای کره زمین برای ایجاد جبهه‌های قوی است؛ که اغلب شدیدترین جبهه‌زایی‌های منطقه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بوده است و آن را ناشی از تغییر شکل قلمرو باد در این منطقه می‌دانند. به طور کلی آنها شدیدترین حالت جبهه‌زایی در این تراز را مربوط به زمانی می‌دانند که کم‌فشاری بر روی شمال آرژانتین، فرود کم عمق و زبانه کم‌فشاری نیز روی شرق آندها شکل گرفته باشد (آرانت و باربوسا، ۲۰۰۹، ۷۳).

ربوتا^{۱۱} و همکاران ارتباط بین سامانه‌های حلقوی شکل و سامانه‌های جوی نیمکره جنوبی را طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۹ مطالعه کردند. آنها در بخشی از این تحقیق به جبهه-زایی فصلی و توزیع بارش بر روی امریکای جنوبی و اقیانوس اطلس جنوبی طی فازهای مختلف سامانه‌های حلقوی شکل توجه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در زمان فاز منفی مسیره‌های سیکلونی به سمت شمال حرکت می‌کنند. اما در زمان فاز مثبت در امریکای جنوبی و بخش جنوبی اقیانوس اطلس، فعالیت جبهه‌زایی شدید و ناهنجاری مثبت بارش بر روی جنوب شرق امریکای جنوبی وجود دارد (ربوتا و همکاران، ۲۰۰۹، ۴۸).

اشجعی باشکند به بررسی و ارائه مدل‌های همدید بارش‌های سنگین شمال غرب ایران پرداخت. بررسی وی نشان داد که اگر سامانه کم‌فشار مدیترانه با سامانه واچرخند اروپا از روی قفقاز و شمال غرب ایران نفوذ کند، شدیدترین حالت جبهه‌زایی و همگرایی بوجود می‌آید و بارش سامانه چشمگیرتر خواهد بود (اشجعی باشکند، ۱۳۷۹، ۹۳). اردکانی و

⁹ - Baroclinic Instability

¹⁰ - Arraut and Barbosa

¹¹ - Reboita

همکاران ویژگی‌های کمی و کیفی جبهه‌زایی را در ارتباط با بیشینه بارش‌های جبهه‌ای منطقه خراسان را مطالعه کردند و معتقدند که جبهه‌زایی نقش مهمی را در میزان بارندگی منطقه دارد (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵، ۱). احمدی گیوی و میرزایی پدیده جبهه‌زایی سطوح میانی و زبرین را در زمان رخداد سه سامانه چرخندی که به طور همزمان ایران و خاورمیانه را تحت تاثیر قرار داده بودند مطالعه کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد که با تاشدگی وردایست، هوای خشک، سرد و پایدار پوش سپهر با مقادیر بالای PV (تاوایی پتانسیل) به وردسپهر میانی و زیرین نفوذ کرده و سبب ایجاد گرادیان دمایی و تشکیل جبهه‌های سطوح زبرین و میانی می‌گردد (احمدی گیوی و میرزایی، ۱۳۸۶، ۵۹). با توجه به این که جبهه و جبهه‌زایی یکی از موارد مهم در فراهم نمودن شرایط ناپایدار برای توزیع و شدت بارندگی است، در این بررسی جهت شناخت بخشی از سازوکار پیدایش بارش‌های ابرسنگین ایران، به موقعیت و شدت جبهه‌زایی در ترازهای مختلف به عنوان یکی از عوامل اصلی توجه شده است.

داده و روش‌شناسی:

برای انجام این پژوهش که با رویکرد محیطی به گردشی انجام شد؛ داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی از تاریخ ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ به عنوان پایگاه داده بارش ایران انتخاب گردید (شکل ۱). این داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. داده‌های مربوط به مولفه باد مداری، مولفه باد نصف‌النهاری و دمای هوا نیز داده‌های مورد استفاده برای ترسیم تابع جبهه‌زایی در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بودند. این داده‌ها نیز از تارنمای www.cdc.noaa.gov به صورت دیده‌بانی‌های شش ساعته اخذ گردید.

طول مستطانی		۴۶۱۱۰۰	۴۴۷۲۸۰۰	.	.	۵۲۸۵۴۳	۴۳۷۰۹۰۶	.	.	۴۵۰۶۸۰۰	۵۲۴۵۵۰۰	۴۸۷۵۹۰۰	۴۳۶۲۳۰۰
عرض مستطانی		۳۰۸۰۵۰۰۰	۳۰۹۸۳۰۰۰	.	.	۳۰۶۹۹۵۲۵	۳۱۱۷۰۱۶۶	.	.	۳۱۴۴۱۰۰۰	۳۰۷۵۹۰۰۰	۳۰۶۴۵۰۰۰	۳۱۳۶۱۰۰۰
سال	ماه	روز	ابوظابری	پلاوود	.	کرمان	کرمانشاه	.	.	زنجان	زرنند	زرقان	زرنه
۱۳۴۰	۱	۱	NaN	NaN	.	۱	۷	.	.	۴	NaN	NaN	NaN
۱۳۴۰	۱	۲	NaN	NaN	.	۳	۰/۲	.	.	.	NaN	NaN	NaN
۱۳۴۰	۱	۳	NaN	NaN	.	.	.	.	.	.	NaN	NaN	NaN
۱۳۴۰	۱	۴	NaN	NaN	.	.	.	.	.	.	NaN	NaN	NaN
۱۳۴۰	۱	۵	NaN	NaN	.	.	.	.	.	.	NaN	NaN	NaN
.
.
۱۳۶۵	۱	۱	NaN	.	.	.	۵	.	.	۰/۶	NaN	NaN	NaN
۱۳۶۵	۱	۲	NaN	.	.	.	.	.	.	.	NaN	NaN	NaN
۱۳۶۵	۱	۳	NaN	.	.	.	۵	.	.	.	NaN	NaN	NaN
۱۳۶۵	۱	۴	NaN	۲۱	.	۲	۰/۳	.	.	۴/۴	NaN	NaN	NaN
۱۳۶۵	۱	۵	NaN	۲۱	.	۲	.	.	.	۴/۲	NaN	NaN	NaN
.
.
۱۳۸۳	۱۰	۷	NaN	NaN	.	۱/۶	.	.	.	.	۹	.	.
۱۳۸۳	۱۰	۸	NaN	NaN	.	.	۰/۶	.	.	.	۱/۲	.	.
۱۳۸۳	۱۰	۹	NaN	NaN	.	.	۰/۴	.	.	.	۱	.	.
۱۳۸۳	۱۰	۱۰	NaN	NaN	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۳۸۳	۱۰	۱۱	NaN	NaN	.	.	.	.	.	.	.	.	.

شکل (۱) پایگاه داده بارش ایران. علامت NaN بیانگر عدم دیده‌بانی بارش در آن روز برای ایستگاه است.

بر مبنای پایگاه داده یاد شده، بارش ایران در ۱۵۹۹۲ روز به روش کریجینگ میانابایی شد. در جریان میانابایی بارش هر روز، ایران به ۸۲۳۰ یاخته به اندازه‌ی ۱۴*۱۴ کیلومتر تبدیل شد؛ که نتیجه آن تشکیل ماتریسی از پایگاه داده بارش ایران به ابعاد ۱۵۹۹۲*۸۲۳۰ بود؛ که ۱۵۹۹۲ تعداد روزها و ۸۲۳۰ نیز مقدار برآورد شده بارش در ۸۲۳۰ یاخته‌ها بود. برای هر روز میانگین، بیشینه و درصد پهنه زیر بارش کشور محاسبه و همچنین پایگاه داده ایران بر حسب این سه عامل از بزرگ به کوچک مرتب شد (شکل ۲):

$$(۱) \quad \text{مجموع بارش تمام یاخته‌ها در یک روز معین} = \frac{\text{تعداد کل یاخته‌ها (۸۲۳۰ یاخته)}}{\text{میانگین بارش کشور در روز مورد نظر}}$$

وسعت پهنه زیر بارش کشور نیز برای هر روز از رابطه زیر محاسبه شد:

$$(۲) \quad \times ۱۰۰ = \frac{\text{تعداد یاخته‌هایی که در روز مورد نظر بارش بیش از ۱/ میلی‌متر داشتند}}{\text{تعداد کل یاخته‌های حاصل از میانابایی (۸۲۳۰ یاخته)}}$$

درصد پهنه زیر بارش کشور در یک روز معین =

بیشینه بارش هر روز، از رابطه‌ی زیر بدست آمد:

$$\text{Max_}P_{i,j} = \text{Max}(P_{i,j}) \quad , \quad i = 1 \dots 8230 \quad , \quad j = 15992 \quad (3)$$

بارش‌های سنگین و فراگیر ایران، بر مبنای آستانه بالای ۹۹ درصد انتخاب شد. به عبارت دیگر ۱ درصد از پایگاه داده بارش ایران (۱۲۵ روز) که میانگینی بیش از ۱/۱ میلیمتر را ثبت کرده بود؛ به عنوان نمونه مورد مطالعه این پژوهش انتخاب گردید.

$$T_{(99)} = (\text{Database} \geq 0.1 \text{ mm}) \times \%1 \rightarrow T_{(99)} = 12472 \times \%1 \quad (4)$$

$$\Rightarrow T_{(99)} \approx 125 \text{ day}$$

که در این رابطه:

$T_{(99)}$ ، آستانه بالای ۹۹ درصد بارش‌های مورد مطالعه است.

Database ستون مربوط به میانگین بارش ایران در ۱۵۹۹۲ روز است.

در ادامه فراوانی تابع جبهه‌زایی در دوره مورد مطالعه (۱۲۵ روز) در شش تراز ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و در چهار دیده‌بانی در زمان‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ بررسی شد.

تابع جبهه‌زایی را می‌توان با رابطه زیر بیان کرد (مارتین، ۱۳۸۸، ۲۰۸-۲۱۱):

$$\mathfrak{S} = \frac{d|\nabla_p \theta|}{dt} \quad (5)$$

این عبارت مبین آهنگ لاگرانژی تغییر بزرگی $\nabla_p \theta$ (شیوهای بالقوه روی سطوح هم‌فشار) است. می‌توان معادله (۵) را در فضای یک بعدی در نظر گرفت و شناخت بیشتری از ماهیت جبهه‌زایی بدست آورد. بنابراین به کمک رابطه زیر به بررسی فرآیندهایی می‌پردازیم که بزرگی تباین دما در راستای محور x را تغییر می‌دهند.

$$\mathfrak{S}_x = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)$$

اگر

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \omega \frac{\partial}{\partial p}$$

آنگاه

$$\mathfrak{S}_x = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{d\theta}{dx} \right) - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial p} \quad (۶)$$

طبق معادله بالا چهار فرآیند فیزیکی که در قالب چهار جمله سمت راست معادله ۶ آمده‌اند در افزایش $\partial\theta/\partial x$ نقش دارند. اولین فرآیند اثر شیوهای گداری جبهه بر گرمایش بادرو است که با $\partial/\partial x(d\theta/dt)$ نمایش داده می‌شود. اگر صعود هوا در جناح گرم منجر به آزاد سازی گرمای نهان شود آنگاه شیوگداری دمای بالقوه بزرگ می‌شود و $\partial/\partial x(d\theta/dt) > 0$ خواهد شد. در نتیجه اگر آزاد سازی گرمای نهان از چنین پراکنشی برخوردار باشد منجر به جبهه‌زایی می‌شود. به کمک همین عبارت می‌توان اثر تفاوت ابرناکی را بر شدت جبهه بررسی کرد. اگر بخش گرم یک مکان ابرناک و بخش سرد صاف باشد تفاوت آفتابگیری این دو منطقه در طی روز سبب می‌شود که $\partial/\partial x(d\theta/dt) < 0$ و در چنین شرایطی گرمایش روزانه سبب تباهی جبهه می‌شود. اگر همین وضع در طی شب حاکم باشد بخش سرد خیلی سریع‌تر از بخش گرم خنک می‌شود و در این صورت $\partial/\partial x(d\theta/dt) > 0$ می‌شود و در نتیجه ابرناکی موجب تقویت جبهه‌زایی می‌شود.

جمله دوم اثر همشاری را بر شیودما نشان می‌دهد:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial x}$$

جمله سوم اثر چینش افقی بر $\partial\theta/\partial x$ را نشان می‌دهد:

$$-\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial y}$$

جمله چهارم سمت راست نیز معرف اثر کژی عمودی است:

$$-\frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

تابع دو بعدی جبهه‌زایی، معادله بسیار سودمندی است چون به کارگیری آن بر روی نقشه‌های هوا آسان است و ویژگی‌های فیزیکی مهمی را درباره جبهه‌زایی بیان می‌کند. در این روش می‌توان زاویه بین خطوط هم‌آنتروپی و محور گشود میدان دگرریختی کل را به سرعت تشخیص داد و شدت جبهه‌زایی را خیلی سریع محاسبه کرد. امروزه با وجود رایانه‌های پر سرعت و داده‌های شبکه‌ای حاصل از دیده بان‌ی یا پیش‌بینی می‌توان با سرعت و دقت زیاد و به کمک معادلات ۷ یا ۸ جبهه‌زایی را محاسبه کرد.

$$\mathfrak{J}_{3D} = \frac{d}{dt} |\nabla\theta| = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial\theta^2}{\partial x} + \frac{\partial\theta^2}{\partial y} \right] = \quad (7)$$

$$\frac{1}{|\nabla\theta|} \left\{ \left(-\frac{\partial\theta}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial\theta}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial\theta}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial\theta}{\partial p} \right) \left(\frac{\partial\omega}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{\partial\omega}{\partial y} \frac{\partial\theta}{\partial y} \right) \right\}$$

در بسیاری موارد ولی البته نه در همه موارد به‌جای معادله سه بعدی می‌توان از ویرایش دو بعدی معادله ۷ استفاده کرد. ویرایش دو بعدی ۷ به صورت زیر است:

$$\mathfrak{J}_{2D} = \frac{1}{|\nabla\theta|} \left\{ \left(-\frac{\partial\theta}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial\theta}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial\theta}{\partial y} \right) \right\} \quad (8)$$

در این پژوهش مقدار تابع جبهه‌زایی به کمک معادله ۷ محاسبه و بررسی گردید و همچنین فراوانی تابع جبهه‌زایی برای مواقعی که مقدار تابع جبهه‌زایی بزرگتر و مساوی ۱ ($F \geq 1$) بود، محاسبه شد. برای نمایش بهترِ مناطقی که شرایط مناسب جبهه‌زایی را داشتند، بر روی نقشه‌های فراوانی، تنها فراوانی تابع جبهه‌زایی برای مناطقی که بیش از ۲۵ درصد شرایط جبهه‌زایی مهیا بوده است، نشان داده شد.

سال	ماه	روز	بیشینه بارش	طول مسطحاتی بیشینه بارش	عرض مسطحاتی بیشینه بارش	میانگین بارش ایران	انحراف بارش از میانگین	درصد پهنا زیر بارش
۱۳۷۱	۱۱	۱۴	۱۳۷/۰	۵۲۴۶۱۶۹/۵۷۴	۳۰۵۲۲۶۲/۷۸	۱۳/۱	۱۱/۴	۸۰/۹
۱۳۸۳	۱۰	۶	۹۷/۳	۴۶۱۶۲۴۰/-۵۱	۳۱۴۷۷۹۰۴/۰۲	۱۲/۹	۱۱/۵	۹۳/۶
۱۳۸۲	۹	۱۵	۹۸/۲	۴۸۴۰۲۱۴/۹۹۳	۳۰۴۲۴۳۰۷/۰۷	۱۰/۹	۹/۷	۷۳/۸
۱۳۸۲	۱	۶	۱۱۲/۰	۴۶۳۰۲۳۸/۴۸۵	۳۰۹۴۴۰۸۱/۵۶	۱۰/۴	۹/۳	۷۲/۳
۱۳۷۴	۱۲	۲۳	۷۹/۳	۴۶۱۶۲۴۰/-۵۱	۳۰۸۸۷۸۹۹/۷۲	۱۰/۲	۸/۹	۹۳/۶
۱۳۷۱	۱۱	۱۵	۱۲۰/۹	۴۹۹۴۱۹۷/۷۶۵	۳۰۳۱۹۹۲۳/۳۹	۹/۸	۸/۲	۸۱/۰
۱۳۶۵	۹	۱۰	۱۳۰/۷	۴۹۳۸۲۰۴/-۲۹	۳۰۵۵۰۷۳۸/۷	۹/۵	۸/۴	۷۱/۶
۱۳۵۷	۱۱	۴	۱۹۷/۷	۵۲۳۲۱۷۱/۱۴	۳۰۳۶۸۱۵/۲۳	۹/۳	۷/۶	۸۲/۴
۱۳۸۰	۱۰	۲۱	۱۰۲/۷	۴۸۶۸۲۱۱/۸۶	۳۰۷۶۱۴۵۸/۰۹	۹/۳	۷/۹	۸۷/۱
.
.
.
۱۳۶۱	۱۰	۳۰	۶۷/۱	۴۹۵۲۲۰۲/۴۶۳	۳۰۴۹۵۴۶/۸۶	۵/۱	۳/۷	۷۳/۳
۱۳۵۹	۱۱	۷	۶۶/۰	۴۹۶۶۲۰۰/۸۹۷	۳۰۵۵۰۷۳۸/۷	۵/۰	۳/۸	۵۴/۳
۱۳۶۳	۱	۵	۵۷/۱	۴۲۶۶۲۷۹/۲۰۶	۳۱۱۸۲۸۹۶/۸۷	۵/۰	۴/۰	۷۶/۹
۱۳۷۵	۱۲	۲۳	۷۶/۵	۴۵۶۰۲۴۶/۳۱۶	۳۰۹۱۵۹۸۵/۶۴	۵/۰	۳/۸	۹۱/۲
۱۳۴۰	۱	۲۰	۴۰/۰	۵۰۳۶۱۹۳/-۶۶	۳۰۴۱۰۲۵۹/۱۱	۵/۰	۴/۳	۷۵/۰
.
.
.
.
۱۳۴۸	۱۰	۶	۴۰/۳	۴۵۱۸۲۵۱/-۱۵	۳۱۰۱۴۳۲۱/۳۶	۲/۴	۱/۵	۵۹/۳
۱۳۷۴	۱	۲۷	۲۴/۶	۵۳۸۶۱۵۳/۹۱۲	۳۱۱۲۶۷۰۵/۰۳	۲/۴	۱/۱	۵۱/۸
۱۳۵۹	۱۰	۲۰	۹۵/۱	۴۵۰۴۲۵۲/۵۸۱	۳۰۹۸۶۲۲۵/۴۴	۲/۳	۱/۱	۴۲/۲
۱۳۴۱	۱۱	۲۲	۳۶/۸	۴۵۰۴۲۵۲/۵۸۱	۳۱۰۰۰۲۷۳/۴	۲/۳	۰/۶	۶۸/۹
۱۳۵۶	۱۱	۲۲	۵۱/۱	۴۷۹۸۲۱۹/۶۹۱	۳۰۷۳۳۶۲/۱۷	۲/۳	۱/۲	۵۸/۳
.
.
.
.
۱۳۴۰	۳	۳۰	/+..	NaN	NaN	/+..	۰/۱	/+..
۱۳۴۰	۳	۲۹	/+..	NaN	NaN	/+..	۰/۱	/+..
۱۳۴۰	۳	۲۱	/+..	NaN	NaN	/+..	۰/۱	/+..

شکل ۲) پایگاه داده بارش ایران که به ترتیب برحسب ستون‌های میانگین بارش ایران، درصد پهنا زیر بارش و بیشینه بارش مرتب شده است. ۱۲۵ ردیف اول نمونه مورد مطالعه این پژوهش است.

تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی

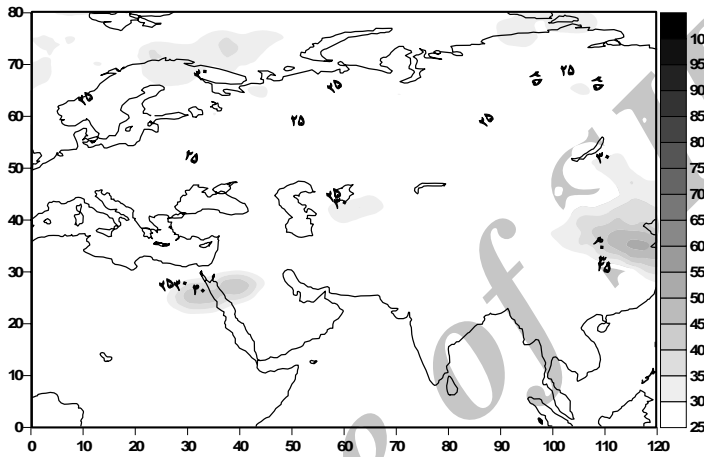
تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه‌ی فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰:۰۰ نشان داد که به طور کلی دو مرکز جبهه‌زایی در این ساعت فعال بوده‌اند: نخست، نیمه شمالی دریای سرخ و مناطق مجاور آن بویژه شمال غرب عربستان و جنوب مصر. در این محل در بیش از ۴۰ درصد موارد شرایط جبهه‌زایی مهیا بوده است. دوم، جنوب دریاچه خوارزم بر روی ترکمنستان. در این منطقه در بیش از ۳۰ درصد موارد، جبهه‌زایی فعال بوده است. شرایطی که در ساعت ۰۰:۰۰ دیده شده بود در ساعت ۰۶:۰۰ و ۱۲:۰۰ نیز تا حدودی

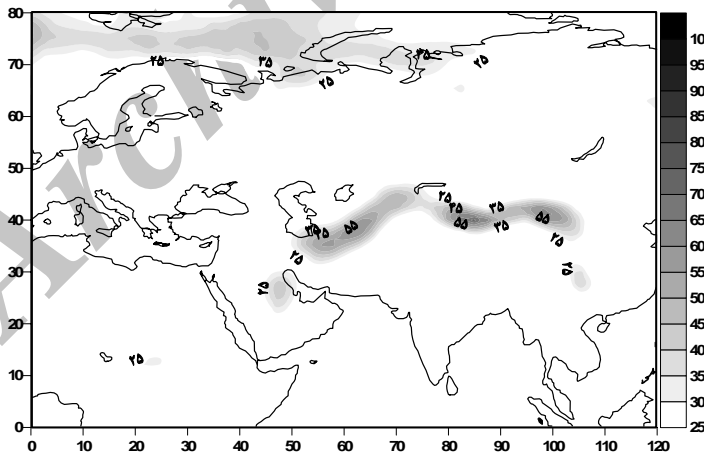
تکرار شده است و تنها تفاوت آن کاهش ۵ درصد فراوانی تابع جبهه‌زایی در مناطق یاد شده است. به نظر می‌رسد شرایط مناسب جبهه‌زایی که بر روی نیمه شمالی دریای سرخ و مناطق مجاور آن فراهم شده، ناشی از برخورد هوای سردی است که از نیمه غربی فرود مدیترانه ریزش کرده است. به عبارت دیگر نیمه شمالی دریای سرخ محل استقرار انتهای فرود عمیق مدیترانه است و این امر نشان‌دهنده آن است که در بیش از ۴۰ درصد موارد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، در ساعت ۰۰:۰۰، فرود عمیقی روی مدیترانه شکل گرفته است که انتهای این فرود بر روی شمال دریای سرخ و مناطق مجاور آن قرار داشته و شرایط جبهه‌زایی مناسب، متأثر از آن بوده است. از طرف دیگر جنوب دریاچه‌ی خوارزم به عنوان محل فرازی است که در ادامه‌ی فرود عمیق مدیترانه شکل گرفته است. چون هوای گرمی که در راستای نیمه شرقی فرود به طرف عرض‌های بالاتر حرکت کرده، در شرق دریای خزر و بویژه جنوب دریاچه خوارزم به توده هوای سرد برخورد نموده است. به همین دلیل دو منطقه یاد شده را می‌توان نقاط اوج فرود و فراز فرود عمیق مدیترانه دانست و به این صورت می‌توان این دو منطقه پیشینه جبهه‌زایی را توجیه نمود (شکل ۳).

اما ساعت ۱۸:۰۰ به طور کلی با سه دیده‌بانی قبلی تفاوت بسیاری دارد. در این زمان مراکز پیشینه جبهه‌زایی شمال دریای سرخ و جنوب دریاچه‌ی خوارزم از بین رفته و این بار کمربندی طولانی با شرایط مناسب جبهه‌زایی تشکیل شده است. کمربند جبهه‌زایی از شمال چین آغاز شده و سپس بر روی قزاقستان، ازبکستان، ترکمنستان و بیشتر بخش‌های نیمه‌ی شمالی ایران کشیده شده است. فراوانی تابع جبهه‌زایی در بخش‌های شمال شرقی ایران با بیش از ۵۰ درصد نسبت به سایر مناطق ایران قابل مشخص است و سرانجام بر روی شمال شرق عربستان و قسمتی از خلیج فارس نیز در بیش از ۳۰ درصد شرایط مناسب جبهه‌زایی دیده می‌شود (شکل ۴). به نظر می‌رسد این کمربند طولانی جبهه‌زایی مرز بین توده هوای سرد قطبی و توده هوای گرم حاره‌ای باشد که یکی از شرایط مناسب ناپایداری را برای رخداد بارش‌های ابرسنگین و فراگیر ایران فراهم نموده است. بطور

کلی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساعت ۱۸:۰۰ را می‌توان زمان گسترش شرایط مناسب جبهه‌زایی، برای ایجاد پیشینه ناپایداری جو بالا دانست که البته با فراهم بودن شرایط مساعد دیگر می‌تواند موجب رخداد بارش‌های سنگین و فراگیر ایران شود.



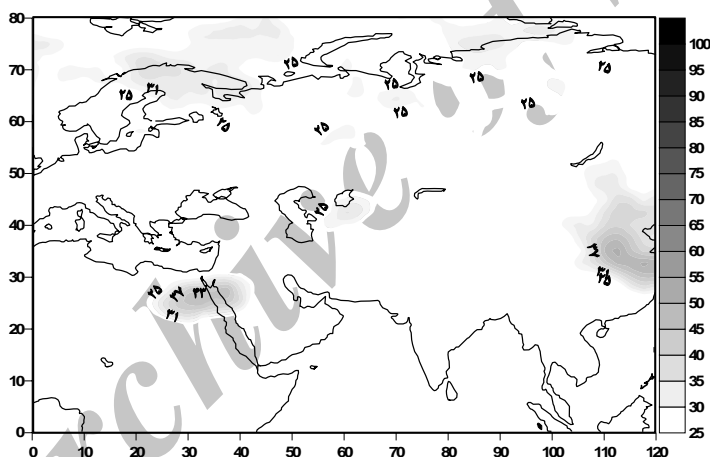
شکل ۳) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰:۰۰.



شکل ۴) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۸:۰۰.

تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در تمام دیده‌بانی‌ها، جنوب دریاچه خوارزم و نیمه شمالی دریای سرخ، دارای شرایط مناسب جبهه‌زایی بوده‌اند. اگرچه در ساعت ۱۸:۰۰، بیش از ۴۳ درصد فعالیت شدید جبهه‌زایی بر روی نیمه شمالی دریای سرخ دیده شده است؛ با این حال فراوانی تابع جبهه‌زایی در این تراز بر روی ایران کمتر از ۲۵ درصد بوده است. به طور کلی می‌توان گفت که این تراز از نظر فراهم نمودن شرایط ناپایدار متأثر از جبهه‌زایی بر روی بارش‌های مورد مطالعه چندان مؤثر نبوده است (شکل ۵).

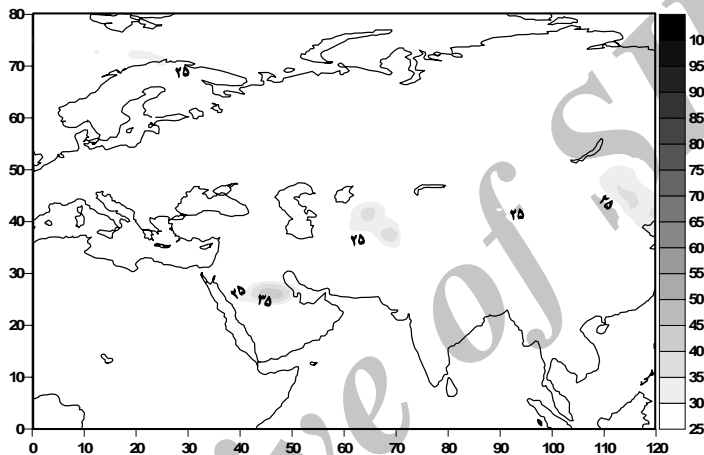


شکل ۵) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۸:۰۰.

تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه‌های فراوانی جبهه‌زایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که شرایط جبهه‌زایی که در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال وجود داشت، در این تراز نیز با کمی تفاوت دیده می‌شود. بررسی فراوانی جبهه‌زایی چهار دیده‌بانی نشان داد که در هیچ زمانی بیشینه شرایط جبهه‌زایی بر روی ایران قرار نداشته، و بیشینه فراوانی جبهه‌زایی بر روی نیمه

شمالی عربستان و جنوب دریاچه خوارزم شکل گرفته است. به نظر می‌رسد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به عنوان یک تراز مؤثر در ایجاد شرایط جبهه‌زایی بر روی ایران مطرح نیست، زیرا بیشینه‌ی ناپایداری‌های جبهه‌ای در این تراز بر روی ایران قرار نمی‌گیرد و فراوانی آن بر روی ایران کمتر از ۲۰ درصد است (شکل ۶).



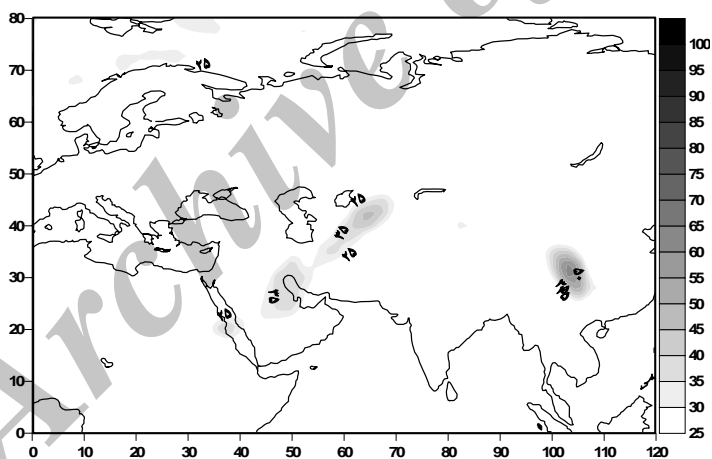
شکل ۶) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲:۰۰.

تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

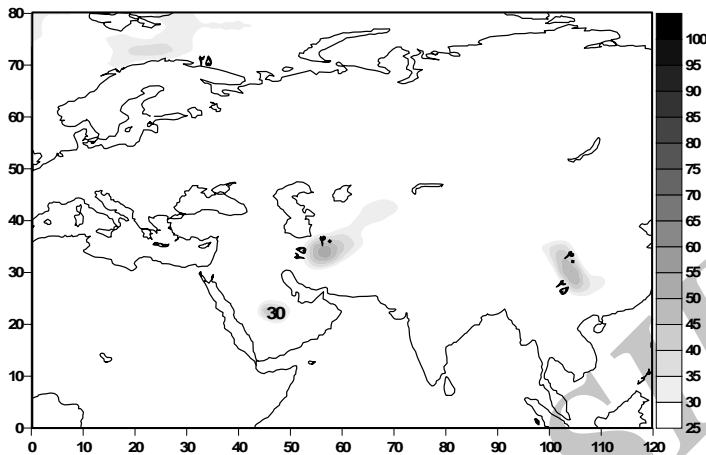
بررسی نقشه‌های فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد که در دیده‌بانی ساعت ۰۰:۰۰، کمربند باریکی از شرایط مهیای جبهه‌زایی، از شرق دریاچه خوارزم تا میانه دریای سرخ شکل گرفته است. در دل این کمربند بیشینه جبهه‌زایی، میانه دریای سرخ با فراوانی بیش از ۲۵ درصد، نیمه شمالی خلیج فارس و جنوب دریاچه خوارزم با فراوانی بیش از ۳۵ درصد، به عنوان مناطقی که از لحاظ شرایط جبهه‌زایی وضعیت مناسب‌تری دارند، دیده می‌شوند (شکل ۷). در ساعت ۰۶:۰۰ کمربند فراوانی جبهه‌زایی به صورت دو هسته کاملاً مشخصی در شمال شرق ایران با بیش از ۴۰ درصد و میانه عربستان با بیش از ۳۰ درصد دیده می‌شود (شکل ۸). در ساعت ۱۲:۰۰، بیشینه

تحلیل فراوانی جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران / ۱۵

فعالیت جبهه‌زایی کمی به سمت شرق جابجا شده است به طوری که یکی از بیشینه‌ها بر روی منتهی الیه شرق و شمال‌شرق ایران به ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده و مرکز بیشینه‌ی میانه‌ی عربستان نیز تا حدودی بر روی خلیج فارس کشیده شده است. در ساعت ۱۸:۰۰ فراوانی جبهه‌زایی کاهش محسوسی داشته است و تنها مرکز بیشینه فعالیت جبهه‌زایی با بیش از ۳۰ درصد فراوانی، بر روی شمال عربستان شکل گرفته است. بطور کلی تحلیل فراوانی جبهه‌زایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد که در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰ و ۱۲:۰۰ شرایط مناسبی جهت جبهه‌زایی در بخش‌هایی از ایران فراهم بوده است؛ بطوری که در ایران نسبت به مناطق اطراف خود به صورت یک منطقه جبهه‌زایی فعال دیده شده است، اما در همین تراز در ساعت ۱۸:۰۰، وضعیت جبهه‌زایی کاهش چشمگیری پیدا کرده، چنان که تنها بخش‌های میانی عربستان شاهد شرایط مناسب جبهه‌زایی بوده‌اند.



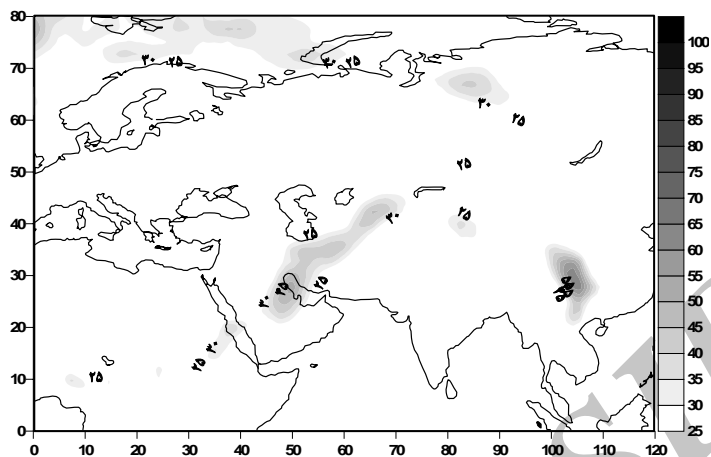
شکل ۷) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰:۰۰.



شکل ۸) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۶:۰۰.

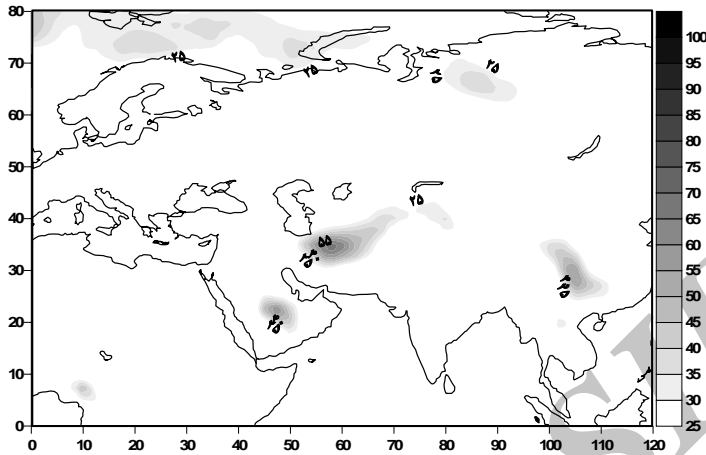
تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال

بررسی نقشه‌های فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال نشان داد که در ساعت ۰۰:۰۰ کمربند جبهه‌زایی وسیعی از غرب دریاچه بالخاش تا سودان تشکیل شده است. در دل این کمربند جبهه‌زایی، میانه دریای سرخ با بیش از ۳۰ درصد، خلیج فارس و بیشتر بخش‌های ایران بویژه در امتداد جنوب غرب به شمال شرق با بیش از ۴۰ درصد و ازبکستان نیز با بیش از ۴۰ درصد، هسته‌های بیشینه فعالیت جبهه‌زایی را نشان می‌دهند. در این ساعت بخش‌های زیادی از ایران، منطقه دگر فشار شدیدی بوده و نسبت به مناطق اطراف خود کاملاً متمایز است (شکل ۹).

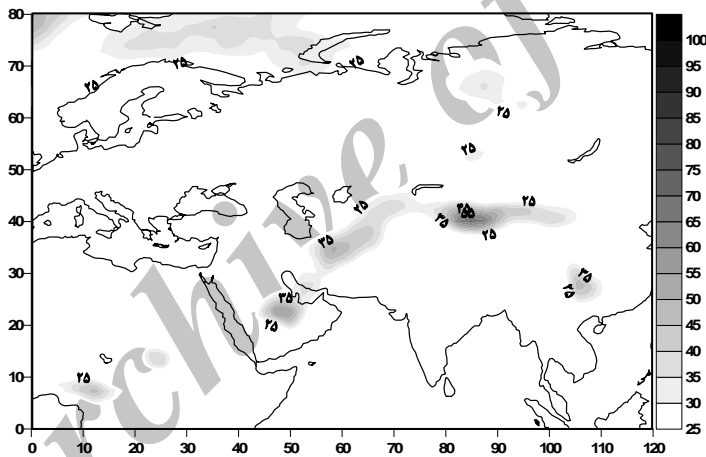


شکل ۹) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰:۰۰.

در ساعت ۰۶:۰۰، کمربند جبهه‌زایی محدودتر شده و دو هسته بیشینه جبهه‌زایی دیده می‌شود. یکی از آنها با فراوانی بیش از ۵۵ درصد بر روی شرق و شمال شرق ایران شکل گرفته و بیشینه نسبتاً ضعیف‌تری نیز با فراوانی بیش از ۴۰ درصد بر روی میانه عربستان تشکیل شده است (شکل ۱۰). در ساعت ۱۲:۰۰، کمربند وسیعی از شمال چین تا میانه عربستان شکل گرفته است. در این زمان شمال غرب چین با فراوانی بیش از ۶۵ درصد، شرق ایران با فراوانی بیش از ۳۵ درصد و میانه عربستان نیز با فراوانی بیش از ۳۵ درصد، هسته‌های بیشینه فعالیت جبهه‌زایی را نشان می‌دهند. اگرچه خلیج فارس نیز با بیش از ۳۰ درصد، شرایط مناسبی را جهت فعالیت‌های جبهه‌زایی نشان داده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۰) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در ساعت ۰۶:۰۰.

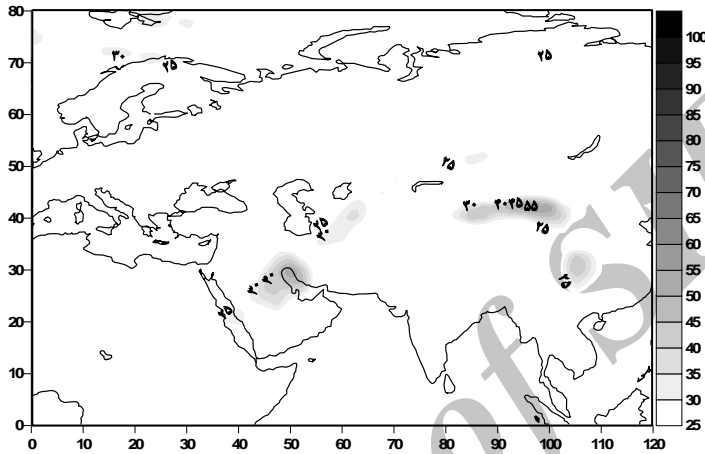


شکل ۱۱) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲:۰۰.

در ساعت ۱۸:۰۰ جنوب دریاچه خوارزم با بیش از ۳۰ درصد، جنوب غرب ایران و نیمه شمالی خلیج فارس با بیش از ۴۰ درصد و میانه دریای سرخ با ۲۵ درصد فراوانی، به عنوان مناطقی که شرایط مناسبی جهت فعالیت‌های جبهه‌زایی دارند، دیده می‌شوند. به طور کلی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال را می‌توانیم یک تراز مناسب جهت ایجاد جبهه و فعالیت‌های

تحلیل فراوانی جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران / ۱۹

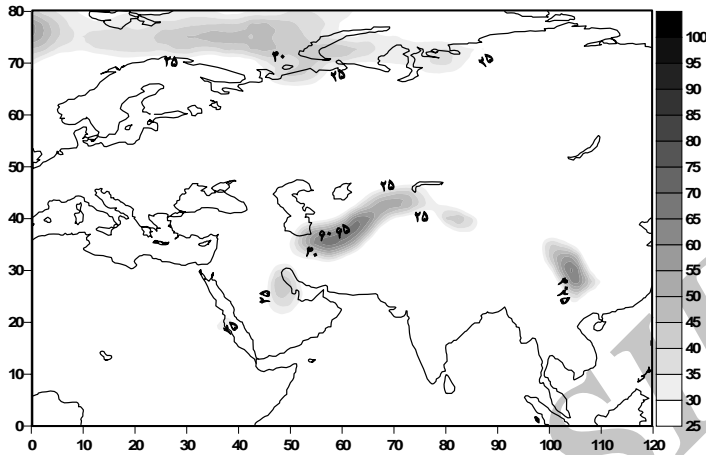
جبهه‌زایی نام برد؛ زیرا در این تراز در همه دیده‌بانی‌ها، بخش‌های زیادی از ایران به عنوان مناطق جبهه‌ای قوی مشخص بودند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در ساعت ۱۸:۰۰.

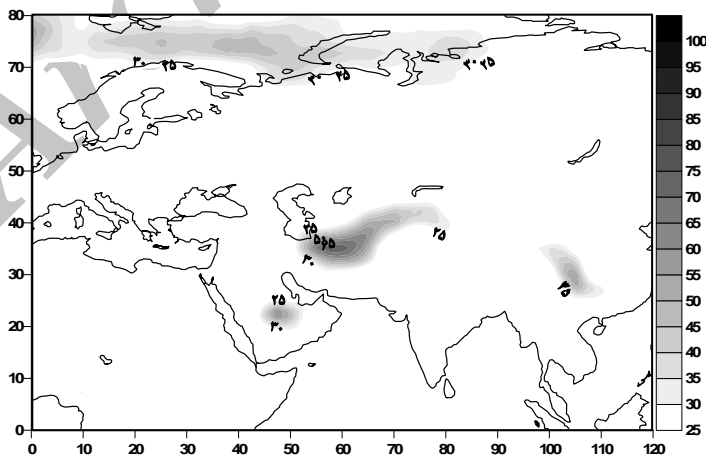
تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه‌های فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در ساعت ۰۰:۰۰، یک کمربند جبهه‌زایی از شمال غرب چین تا شمال شرق عربستان شکل گرفته است. روی این کمربند جبهه‌زایی، شمال شرق و شرق ایران با بیش از ۶۵ درصد، و شمال شرق عربستان با بیش از ۳۰ درصد، هسته‌های بیشینه فعالیت مثبت جبهه‌زایی را نشان می‌دهند (شکل ۱۳).



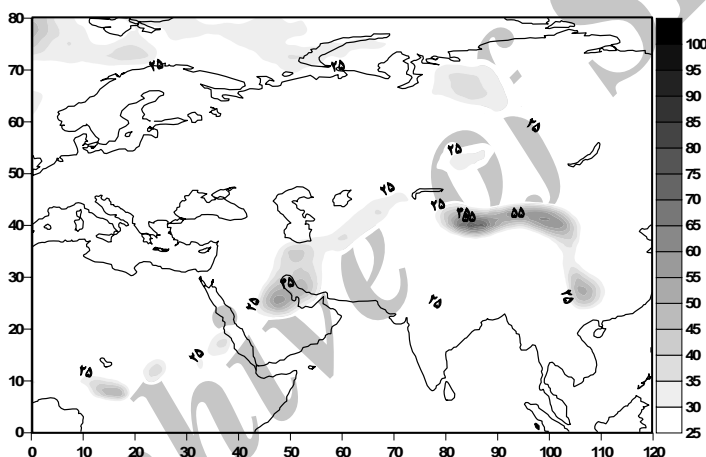
شکل ۱۳) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۱۰۰۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۶:۰۰.

ساعت ۰۶:۰۰ و ۱۲:۰۰، شرایط مشابهی را از نظر فراوانی جبهه‌زایی دارا هستند. در این ترازها دو هسته بیشینه جبهه‌زایی بر روی منطقه دیده می‌شود. قویترین مرکز جبهه‌زایی بر روی شمال شرق ایران با بیش از ۶۵ درصد مناسب‌ترین شرایط جبهه‌زایی را داراست. میانه عربستان نیز در ۳۰ درصد موارد به عنوان منطقه فعال جبهه‌زایی مشخص است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۱۰۰۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲:۰۰.

در ساعت ۱۸:۰۰، کمربند جبهه‌زایی از غرب دریاچه‌ی بالخاش تا شمال‌شرق عربستان کشیده شده است. در این زمان ضمن این که بیشتر بخش‌های ایران دارای شرایط مناسب جبهه‌زایی بوده‌اند؛ بیشینه جبهه‌زایی بر روی شمال‌شرق عربستان و خلیج فارس دیده می‌شود (شکل ۱۵). به طور کلی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال یک تراز مهم از لحاظ جبهه‌زایی است زیرا در هر چهار زمان دیده‌بانی، بخش‌های زیادی از ایران بر روی کمربند جبهه‌زایی قرار دارد ضمن آن که بیشینه جبهه‌زایی منطقه در این تراز، اغلب بر روی شمال‌شرق ایران دیده می‌شود.



شکل ۱۵) فراوانی تابع جبهه‌زایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۸:۰۰.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی فراوانی تابع جبهه‌زایی نشان داد که در ترازهای بالا (۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال) به استثنای ساعت ۱۸:۰۰ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، وضعیت جبهه‌زایی بر روی ایران چندان فعال نیست. و تنها در دیده‌بانی ساعت ۱۸:۰۰ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، بخش‌هایی از شرق و شمال‌شرقی ایران در حدود ۴۵ درصد موارد شاهد فعالیت جبهه‌زایی بوده‌اند. در این سه تراز، در تمام دیده‌بانی‌ها، جنوب دریاچه خوارزم و نیمه شمالی دریای سرخ به عنوان مناطق مهم فعالیت جبهه‌زایی مطرح بوده‌اند. به نظر می‌رسد این دو منطقه

در واقع محل اوج فرود و اوج فراز فرود بلند مدیترانه باشند که روی نیمه شمالی دریای سرخ، هوای سرد عرض‌های بالا ریزش کرده و در جنوب دریاچه خوارزم نیز هوای گرمی که از عرض‌های پایین از نیمه شرقی فرود گسترش یافته، در برخورد با هوای سرد منطقه موجب تقویت شرایط مناسب جبهه‌زایی شده است. بنابراین می‌توان گفت که در این سه تراز، ایران محل برخورد هواهای سرد و گرم مناطق مجاور نبوده است؛ زیرا فراوانی تابع جبهه‌زایی در بیشتر موارد کمتر از ۲۰ درصد بوده است. در ترازهای پایین‌تر (ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) وضعیت تا حدود زیادی متفاوت است زیرا در این سه تراز در اغلب دیده‌بانی‌ها، ایران به عنوان یکی از مراکز مهم فعالیت جبهه‌زایی دیده شده است. در بیشتر مواقع در این ترازهای یاد شده کمربند جبهه‌زایی از جنوب دریاچه خوارزم تا میانه عربستان شکل گرفته است. روی این کمربند جبهه‌زایی، بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی ایران و همچنین جنوب‌غرب ایران به عنوان مناطق عمده فعالیت جبهه‌زایی دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد در این سه تراز، ایران محل برخورد هواهای گرم و سرد مناطق مجاور بوده است و این به معنی فراهم بودن شرایط ناپایدار شدید و امکان صعود عمیق در حدود دو هزار متر (تقریباً ضخامت لایه بین تراز ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال) از جو است. در نهایت می‌توان گفت که فعالیت‌های شدید جبهه‌زایی در این سه تراز به عنوان یکی از چندین عامل مهم و مؤثر بر بارش‌های ابرسنگین و فراگیر ایران است و لازم است برای شناسایی سازوکار دیگر عوامل مؤثر بر اینگونه رویدادها، مواردی همچون موقعیت رودبادها، همگرایی شار رطوبت، وضعیت لایه هم‌ضخامت ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال و ... نیز به طور جداگانه و مفصل بررسی شود.

منابع

- ۱- اشجعی باشکند، محمد (۱۳۷۹)؛ بررسی و ارائه مدل‌های سینوپتیکی بارش‌های سنگین در شمال‌غرب ایران، استاد راهنما؛ دکتر محمد خیراندیش، استاد مشاور؛ مهندس احمد نوحی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه هواشناسی.

تحلیل فراوانی جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران / ۲۳

- ۲- اردکانی، حسین؛ زمانیان، محمد تقی؛ هاشمی دوین، مهری (۱۳۸۵). بررسی کیفی و کمی جبهه‌زایی برای بیشینه بارش جبهه‌ای با توجه به نظام‌های همدیدی موثر بر روی منطقه خراسان، دهمین کنفرانس دینامیک شماره‌ها.
- ۳- احمدی گیوی، فرهنگ؛ میرزایی، محمد (۱۳۸۶). بررسی دینامیکی جبهه‌زایی سطوح زیرین در سه سامانه چرخندی روی ایران و خاورمیانه، فصلنامه فیزیک زمین و فضا، دوره سی و سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۶، ۱۱۵-۱۳۰.
- ۴- سازمان هواشناسی کشور
- ۵- کاویانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۷۸). مبنای آب و هواشناسی، سمت.
- ۶- مارتین، جان‌تان، ترجمه: سید ابوالفضل مسعودیان (۱۳۸۸). دینامیک جو در عرض میانه، زیر چاپ.
- 7- Arraut J. M. Barbosa H. M. J. (2009); Large scale features associated with strong frontogenesis in equivalent potential temperature in the South American subtropics east of the Andes, *Adv. Geosci.*, 22, 73–78.
- 8- Bagwell, A.M (2007); a synoptically guided approach to determining suburbanization's impacts on the hydrology of the red and white clay crefks, Pennsylvania and Delaware, M.S thesis in geography, 169.
- 9- Kato. Teruyuki, Aranami. Kohei (2005); Formation Factors of 2004 Niigata-Fukushima and Fukui Heavy Rainfalls and Problems in the Predictions using a Cloud-Resolving Model, *SOLA*, Vol. 1, 001-004.
- 10- Lee. Dong-Kyou, Park. Jeong-Gyun, and Kim. Joo-Wan (2008); Heavy rainfall events Lasting 18 days from July 31 to August 17, 1998, over Korea, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, VOL, 86, NO. 2, pp. 313-333.
- 11- Petterssen, S (1936); Contribution to the theory of frontogenesis, *Geophys. Publ.* 11(6), 127.
- 12- Rudari. Roberto, Entekhabi. Dara, Roth. Giorgio (2004); Large-scale atmospheric patterns associated with mesoscale features leading to extreme precipitation events in Northwestern Italy, *Advances in Water Resources* 28, 601–614.
- 13- Reboita. M. S, Ambrizzi. T and Rocha R. P. (2009), Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.1, 48-55.
- 14- Tai-Jen Chen. G, Chieh Wang. C, An-Hsiang Wang, (2006), A Case Study of Subtropical Frontogenesis during A Blocking Event, Revised for Monthly Weather Review, October 6.
- 15- William H. Hand, Neil I. Fox, Christopher G. Collier (2004); A study of twentieth-century extreme rainfall events in the United Kingdom with implications for forecasting, *Meteorol. Appl*, 11, 15-31.
- 16- www.cdc.noaa.gov.