



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و چهارم شماره‌ی ۸۷  
پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۸۵-۷۱

تقی طاوسی\*

## تحلیل الگوهای همدید مؤثر بر بارش‌های سنگین جنوب شرق ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

### چکیده

یکی از مهمترین عوامل رخداد مخاطرات اقلیمی و هیدرولوژی، رخداد بارش‌های سنگین است. با توجه به اهمیت این گونه مخاطرات و پیامدهای زیانبار آن در محیط طبیعی و اجتماعی، هدف پژوهش تحلیل بارندگی‌های سنگین جنوب شرق ایران است. لذا، محدوده مورد مطالعه از شمال به عرض جغرافیایی ۳۴ درجه شمالی و از غرب به طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی محدود شده است. داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌ها واقع در استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، کرمان، هرمزگان، فارس و یزد (۲۰۲۰-۱۹۵۱) از سازمان هواشناسی کشور فراهم شد. با کمک روش ادغام وارد و فاصله اقلیدسی، روی ماتریس داده‌های مربوط به روزهای رخداد حدی بارش، تحلیل خوشه‌ای صورت گرفت. جهت شناخت عوامل پویشی، از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، دما، نم ویژه، باد مداری و باد نصف‌النهاری در عرض ۰ تا ۸۰ درجه شمالی و طول ۰ تا ۱۲۰ درجه شرقی استفاده شد. نتایج بیانگر استقرار ناوه شرق دریای سیاه، شرق مدیترانه و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در شرق فرود (منطقه چرخندگی مثبت) است. همچنین بیشینه همگرایی شار رطوبت در ترازهای پایین جو و گسترش رودبادها در ترازهای بالا و قرارگیری ایران در نیمه خروجی هسته رودباد (منطقه واگرایی بالایی) از دیگر عوامل مؤثر در رخداد بارش‌هاست. به طور کلی، رطوبت بارش‌های سنگین جنوب شرق ایران، عمدتاً به‌طور همزمان از کرانه‌های شمالی خلیج فارس، غرب دریای عمان و دریای عرب بارگیری می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** بارش حدی، مخاطرات اقلیمی، بادهای غربی

\* ۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (نویسنده مسئول) E-mail: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

## مقدمه

بارش‌های سیل آسا، یکی از مخاطرات طبیعی و اقلیمی است که خسارت‌های جبران ناپذیر مالی و جانی در پی دارد. لذا شناخت پارامترها و فاکتورهای آب و هوایی که زمینه پیدایش سامانه‌های بارشی در هر محل را فراهم می‌سازد، ضروری است. پژوهش‌ها گویای نقش بارز بادهای غربی در بارش‌های دوره سرد سال، نقش ورود توده‌های هوای موسمی در بارندگی‌های تابستانی و فعالیت سردچال‌ها در دوران گذار بین این دو الگوی اتمسفری در پهنه ایران زمین است که در ترکیب با شرایط محلی، می‌تواند ریزش بارش‌های سنگین را موجب شود (Tavousi, 2016).

پژوهش‌های مربوط به بارندگی‌های سنگین را می‌توان در دو گروه طبقه بندی نمود. گروه نخست، شناسایی شرایط همدید این پدیده‌ها و آگاهی از روند آنها در سال‌های اخیر و گروه دوم بررسی پیامدهای این رخدادها در چهارچوب تغییر اقلیم جهانی است. بارش‌های سنگین در شرایط همدید ویژه‌ای رخ می‌دهند. برای نمونه، بارش‌های سنگین در پنج منطقه متفاوت در کشور عربستان، الگوهای همیدی گوناگونی طی دوره (۲۰۱۴-۲۰۰۰) مطالعه شده است. نتایج پژوهش گویای نقش شش ویژگی اصلی سامانه‌های همیدی (رطوبت، فشار و دمای لایه‌های مختلف هوا، ویژگی‌های گرمایشی، و شرایط توپوگرافی محلی) بر مقدار کل بارش بود (Samman and Gallus, 2018).

Parandeh Khozani and Lashkari (2010) سامانه‌های همدید سیل‌زا در جنوب ایران را برآیند تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی ترکیب کم‌فشارهای سودانی و مدیترانه‌ای و تبدیل آنها به یک سامانه گرمایشی بیان کردند. همین روش را (Ghazipor et al (2021)، با مطالعه مرکز کم‌فشار سودانی و همگرایی دریای سرخ، الگوهای همدید بارش‌های شدید مسیرهای مستقل ورودی استان‌های خوزستان، بوشهر و هرمزگان را بررسی نمودند، (Arabi (2007) گسترش و نفوذ کم‌فشار موسمی از سمت جنوب و جنوب‌شرق و ورود رطوبت اقیانوس هند به داخل ایران را در وقوع بارندگی تیرماه ۱۳۷۸ موثر دانست. (Mohammadi (2013) الگوی کم‌فشار عربستان-عراق و ناوه دریای سیاه منتهی‌الیه شرق مدیترانه را از عوامل اصلی فراهم نمودن شرایط لازم برای رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران می‌داند که رطوبت آنها عمدتاً توسط جریان‌های باد از روی دریای عرب و خلیج فارس بر روی ایران تأمین می‌شود. نتایج تحلیل همدید بارش‌های سنگین پهنه شمال غرب ایران (با تأکید بر الگوهای ضخامت جو) نشان داد که چهار الگوی گردشی ضخامت در بوجود آمدن بارش‌های سنگین مؤثر است (Rezaee Banafshe et al., 2015). بررسی نقش سامانه بندالی بارش ژانویه ۲۰۰۸ جنوب شرق ایران نشان داد که در زمان بارش، نفوذ کم‌فشار سودانی در سطح زمین و سامانه بندالی در تراز میانی جو با راستای شمال، جنوب موجب پویایی کم‌فشار و رخداد بارش سیل‌آسا در منطقه شده است (Akbari et al., 2016). نقش سردچال‌ها در بارش‌های سنگین در دوران گذار از فصول سرد به گرم (بهار) و از فصول گرم به سرد (پاییز) نیز به عنوان یکی از الگوهای همدید مؤثر در بارش‌های سیل‌آسا منطقه جنوب شرق ایران اهمیت بارزی دارد (Tavousi, 2016). در پژوهشی دیگر، منابع عمده رطوبتی بارش سنگین جیرفت در سطوح ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال دریای سرخ و خلیج فارس بیان شده و در ترازهای ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دریای عرب، خلیج عمان و خلیج فارس نقش اصلی تامین رطوبت بارش

سنگین را به عهده دارند (Ghavidel Rahimi et al., 2014). مطالعه الگوهای همید بارش‌های سیل‌آسای غرب ایران گویای آن بود که در هنگام رخداد بارش فرین، امگای منفی (از سطح ۱۰۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال و با هسته بیشینه ۰/۳- پاسکال بر ثانیه) بر فراز محل قرار دارد. همچنین در جلوی فرودهای با ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ و به‌ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکال مقدار رطوبت بالای ۷۰ درصد است و رودبادهایی با سرعت بالای ۳۰ متر بر ثانیه در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال جریان دارد. این شرایط به همراه سرعت باد سطحی بالای ۱۰ متر بر ثانیه و هسته‌های تاوایی مثبت موجب تشکیل چرخند نیرومندی را فراهم می‌سازد (Ghasemifar et al., 2017). بررسی داده‌های بارشی ایستگاه‌های هواشناسی استان سیستان و بلوچستان در یک بازه زمانی ۲۰ ساله، نشان داده است که ۷۲ رخداد بارش روزانه در آستانه فرین ۲۰ میلی‌متری و بالاتر به‌ویژه در کرانه‌های جنوبی استان رخ داده است (Rezaei et al., 2017). واکاوی تغییرات زمانی - مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۶۵ نشان داد که بارش‌های فرین حداقل ۱۰ و حداکثر ۳۱ درصد از بارش‌های سالانه را در گستره غرب ایران تشکیل می‌دهند (Jahanbakhsh et al., 2020). در یک جمع‌بندی کلی الگوهای کم‌فشار سودان، نقش بارزی در شکل‌گیری رودخانه‌های اتمسفری و ریزش بارش‌های سنگین دارند (Lashkari and Esfandiari, 2021).

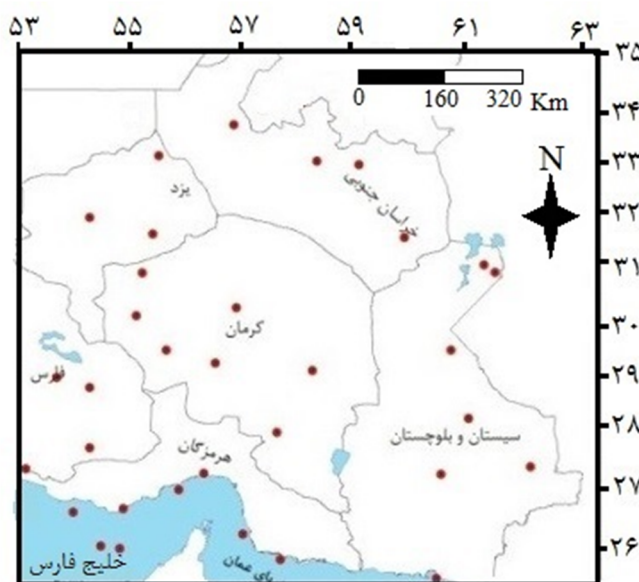
پژوهش‌های مربوط به جنوب شرق کشور حاکی از نقش سه سامانه مجزا در بارش‌های منطقه مورد مطالعه است. سامانه چرخندهای بادهای غربی، موج‌های کوتاه همراه با ناوه عمیق بادهای غربی در دوره سرد سال و سرانجام زبانه کم‌فشار موسمی در دوره گرم سال است (Saligheg, 2006). در پژوهش‌هایی بارش سنگین جنوب شرق ایران به صورت موردی برای ششم ژانویه ۲۰۰۸ (Alijani et al., 2011) و یازدهم ژانویه ۲۰۲۰ (Ahadi et al., 2020) و (Nooriara et al., 2022) به صورت موردی تحلیل همید شده است. نتایج گویای شرایط رطوبت زیاد در تراز پایین هوا به دلیل تخلیه رطوبتی از خلیج فارس و وجود ناهنجاری‌های منفی شدید در ترازهای میانی جو و استقرار رودباد جنب‌استوایی بیان شده است بررسی و مطالعه رخداد‌های بارشی تابستانه جنوب شرقی ایران گویای ریزش بارش سنگین به علت اختلاف فشار میان کم‌فشار تابستان و پرفشار تبت گزارش شده است (Khosravi et al., 2019).

امروزه پدیده عمومی و فزاینده تغییر اقلیم، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های دانش اقلیم‌شناسی است. پیش‌رانه تغییر اقلیم، موضوع گرمایش جهانی است که گویای افزایش میانگین دمای هوا می‌باشد. پدیده گرمایش جهانی به دنبال انباشت گازهای گلخانه‌ای در هواسپهر از دهه ۱۹۵۰ آغاز شده و تاکنون به صورت پیوسته، خزنده و فزاینده ادامه دارد. بارزترین جنبه تغییر اقلیم، افزایش آن‌تروپی یا ناهنجاری سامانه هواسپهر است که رخداد‌های فرین مانند خشکسالی‌های شدید، بارش‌های سیل‌آسا، امواج گرمایی و ... را به صورت معناداری افزایش داده است (Yan et al., 2002). گزارش‌های سازمان‌های معتبر جهانی در سال‌های اخیر گویای این است که پیامدهای تغییر اقلیم با تغییر رخداد‌های فرین، مانند سیل، توفان، خشکسالی و ... فراوانی بیشتری یافته است (WMO, 2011). گاه و بیگاه گوشه‌ای از گستره کشور ایران تحت تأثیر مخاطره اقلیمی بارش سنگین قرار می‌گیرد و دچار آسیب می‌شود. چنانچه، تحلیل تغییرات بارش حوضه آبریز هراز با استفاده از روش‌های آماری و تکنیک تحلیل طیفی حاکی از وجود شیب‌خط روند برای

بارش سالانه حدود ۶۷/۷ میلی‌متر در هر دهه است و مهم‌ترین سازوکاری که می‌توان بر اساس آن با وجود روند افزایشی دما، مقادیر مثبت بارش را توجیه نمود این که، هر چه دمای سطحی محل بیشتر باشد، مقدار بارندگی بیشتر است (Dadashi Roudbari et al., 2016).

### مواد و روش‌ها

پراکندگی جغرافیایی و توزیع فضایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در جنوب شرق کشور ایران در شکل (۱) آورده شده است. ایستگاه‌های هواشناسی همدید در گوشه جنوب شرقی ایران و در استان‌های خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، فارس و یزد پراکنده شده است و به وسیله مدار عرض جغرافیایی ۳۴ درجه شمالی و نصف النهار ۵۳ درجه شرقی محدود شده است (شکل ۱).



شکل ۱: پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی جنوب شرق ایران

**Figure 1:** Geographical distribution of meteorological stations in southeastern Iran

برای انجام این پژوهش داده‌های بارش روزانه ۳۳ ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده مورد مطالعه (شکل ۱)، طی (۱۹۵۱-۲۰۲۰) فراهم شد. در نخستین گام، همگنی سری زمانی داده‌های بارش روزانه هر ایستگاه با استفاده از روش ران تست بررسی شد. سپس پایگاه آماره‌های متغیرهای جوی از تارنمای [www.cdc.noaa.gov](http://www.cdc.noaa.gov) به صورت دیدبانی‌های شش ساعته برداشت شده است.

در اقلیم شناسی همدید<sup>۲</sup> به‌ویژه برای بررسی بارش که موضوع پژوهش حاضر است از رویکرد محیطی به گردش<sup>۳</sup> استفاده شد یعنی در این روش می‌توان داده‌های گردشی همزمان با رخداد این رویداد محیطی را بررسی نمود.

2 - Synoptic Climatology

3 - Environmental to Circulation Approach

بر پایه پایگاه داده رخدادهای محیطی، بارش روزانه جنوب شرق ایران به آرایه‌ای با ابعاد  $10992 \times 2446$  به کمک نرم‌افزار متلب<sup>۴</sup> به روش گریکینگ میانمایی شده است. اطلاعات  $2446$  یاخته در گستره مورد مطالعه برای  $24471$  روز شرایط تعیین ویژگی‌های بارشی هر روز در منطقه مورد مطالعه شامل: میانگین بارش، تعیین بیشینه بارش و محل وقوع آن، درصد سطح دارای بارش را مهیا نمود.

برای محاسبه میانگین بارش در هر روز، مجموع بارش یاخته‌ها به تعداد کل آنها تقسیم شد و برای تعیین درصد گستره بارندگی در یک روز بارانی، یاخته‌هایی که بیش از  $0/1$  میلی‌متر بارندگی داشتند انتخاب شده و نسبت آنها به کل یاخته‌های محدود مورد مطالعه محاسبه شد.

برای بررسی بارش‌های سنگین جنوب شرق، از میان داده‌های مرتب شده بارش مرتب روزانه بیش از  $0/1$  میلی‌متر، داده‌های با آستانه بالای  $0/99$  برای تعیین بارش سنگین انتخاب شد (Mofidi et al., 2007).

جهت تحلیل پایگاه داده‌های جو بالا از محدوده عرض  $0$  تا  $80$  درجه شمالی و طول  $0$  تا  $120$  درجه شرقی استفاده شد. الگوی‌های گردشی متغیرهای جو بالا با استفاده از نقشه‌های فشار تراز دریا<sup>۵</sup>، ضخامت<sup>۶</sup> لایه  $500-1000$  هکتوپاسکال، رودباد<sup>۷</sup> و تابع همگرایی شار رطوبت<sup>۸</sup> در  $6$  تراز محاسبه و ترسیم شده است. برای شناخت منابع رطوبتی بارش‌های بررسی شده، معادله همگرایی شار رطوبت را که توسط بناکوس و شولز<sup>۹</sup> ارائه شده است، محاسبه و ارزیابی شد. این معادله، در دستگاه مختصات همفشار به صورت زیر است:

$$\frac{dq}{dt} = s \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن؛  $q$ ، نم و ویژه و  $s$ ، ذخیره بخار آب است که اختلاف بین برون‌داد و درون‌داد بخار آب در بسته هوا است.  $S$ ، معمولاً از  $E - C$  بدست می‌آید؛ که در آن  $E$ ، نسبت تبخیر درون بسته هوا و  $C$ ، نسبت چگالش (تراکم) در بسته هوا است. رابطه (۱) را می‌توان به صورت معادله شار که تضمین کننده پایستگی کل جرم رطوبت است، بسط داده و به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot (q\vec{V}h) + \frac{\partial}{\partial p}(q\omega) = E - P \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$EFC = u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - q \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در اینجا، ترازمندی رطوبت بسته هوا شامل  $(\partial q / \partial t)$  تغییر در جای  $(q)$  است،  $(\nabla \cdot (q\vec{V}h))$ ، همگرایی افقی شار رطوبت،  $(\partial q / \partial p(q\omega))$ ، همگرایی عمودی شار رطوبت و  $(E-P)$ ، تغییرات ذخیره است (رابطه ۲).

4 - MATLAB

5 - Sea Level Pressure (SLP)

6 - Thickness

7 - Jet Streams

8 - Moisture Flux Convergence (MFC)

9 - Banacis and Schultz

همچنین صورت برداری رطوبت در جمله  $(u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y})$  که وزش افقی رطوبت است و  $q(\partial u / \partial x +)$  حاصل ضرب رطوبت ویژه در همگرایی حجم جرم هوا آمده است (رابطه ۳).

### یافته‌ها و بحث

در پی جابجایی زبانه پرفشار جنب استوایی به عرض‌های پائین‌تر، منطقه مورد مطالعه در معرض وزش بادهای غربی قرار می‌گیرد. دوره کنش بادهای غربی از فصل پائیز آغاز و به تدریج به عرض‌های جنوبی‌تر گسترش پیدا می‌کند. این بادهای غربی از سوی غرب، رطوبت را از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه به کشور ما انتقال می‌دهند. موج‌های کوتاه و بلند بادهای غربی، چرخندها و واچرخندها را جابجا می‌کنند. حرکت بالاسوی هوا در چرخندها، رطوبت بارگیری شده از منابع رطوبتی منطقه را با خود حمل کرده و به سوی شرق انتقال می‌دهند. بررسی سازوکار الگوهای مراکز فشار (چرخندها و واچرخندها) در هنگام رخداد ۱۷۳ بارش سنگین منطقه مورد مطالعه در دو الگوی همدیدی بررسی شده است.

**الگوهای همدید گروه نخست:** در الگوی نخست، زبانه چرخندی از میانه عربستان و سودان بر فراز ایران و محدوده مورد مطالعه گسترش یافته، شیو فشار شدید و حاکمیت ناپایداری را فراهم می‌کند (شکل ۲، الف). در نقشه ضخامت، گسترش ناوه عمیقی بر روی سیاه و مدیترانه باعث شکل‌گیری یاخته بسته‌ای با ارتفاع ۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر شده که زبانه‌هایی از این سیستم وارد ایران شده و عرض‌های بالا را در بر گرفته است. محور ناوه واقع شده در عرض‌های شمال به صورت کج مثبت<sup>۱۰</sup> است که شیو ضخامت شدیدی را بر روی کشور، ایجاد کرده است (شکل ۲، ب). بررسی تابع همگرایی شار رطوبت در ترازهای مختلف نشان داد که در بیشتر ترازها، همگرایی شار رطوبت چشم‌گیر بوده است، اما اوج همگرایی را می‌توان در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی دید. در واقع در این الگو، شرق و جنوب‌شرق ایران منطقه همگرایی همه جریان‌های مرطوبی است که از روی خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند سرچشمه می‌گیرند (شکل ۲، ج) (اعداد منفی و مثبت مقادیر گویای واگرایی و همگرایی رطوبت است). تحلیل فراوانی رودبادهای در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال نشان داد که بیشترین فراوانی رودبادهای از ترکمنستان تا شمال آفریقا و حتی دریای بالتیک دیده می‌شود و هسته بیشینه‌ای روی شمال آفریقا واقع شده است و زبانه‌های آن وارد ایران شده و منطقه مورد مطالعه در نیمه چپ خروجی هسته رودباد (محل واگرایی بالایی<sup>۱۱</sup>) قرار گرفته است (شکل ۲، د).

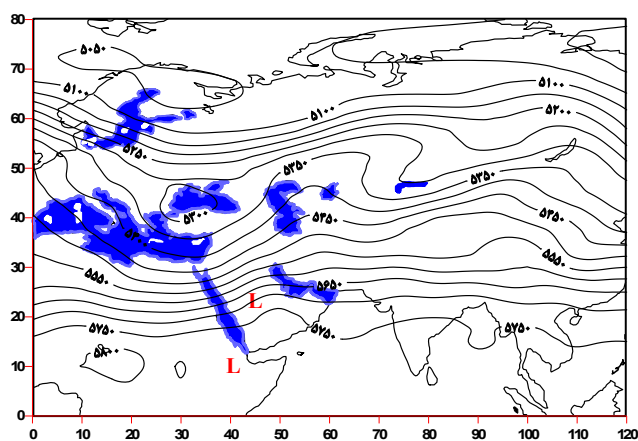
شاید بارندگی سنگین ۲۱ دی‌ماه سال ۱۳۹۸ خورشیدی (۱۱ ژانویه، ۲۰۲۰) را به‌عنوان بارزترین نمونه بیان کرد. بارندگی شدیدی که موجب جاری شدن سیل در جنوب استان سیستان و بلوچستان و هرمزگان شد. بررسی نقشه‌های همدید گویای حاکمیت سامانه کم‌فشار بر جنوب‌شرق کشور بوده و منحنی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال در راستای شمال‌شرق - جنوب‌غرب بر فراز منطقه مورد مطالعه است. از آن گذر کرده است. همچنین یک سامانه پرفشار با فشار هسته ۱۰۳۰ هکتوپاسکال شمال‌باختری ایران، شمال‌باختر اروپا و نیز بر فراز تبت قرار داشت. استقرار

10 - Positive Tilt

11 - Upper Divergence

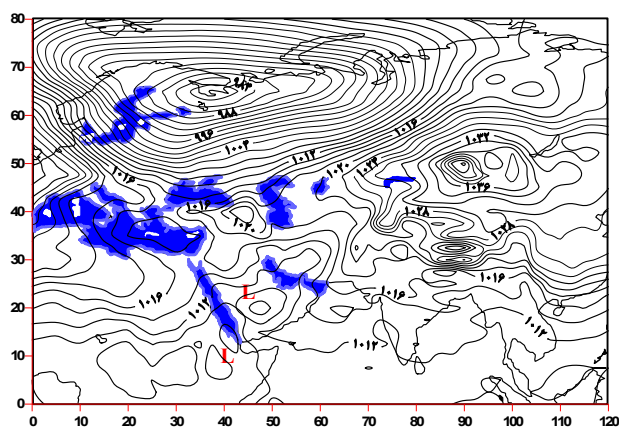
پربندهای پرفشار پیرامون فلات ایران و حاکمیت کم‌فشار در محل مورد بررسی، شیو فشاری شدیدی پدید آورده و موجب هدایت بخار آب منابع آبی جنوب کشور به سوی این کم‌فشار شده است. بررسی جهت باد سطح زمین نیز مسیر جریان را از خلیج فارس و دریای عرب به جنوب‌خاوری ایران نشان می‌دهد. شرایطی که جهت بارش سنگین و سیل آسا را فراهم نمود (شکل ۲، ۵).

از لحاظ دینامیکی نیز شرایط ناپایداری و صعود هوا کاملاً مهیا بوده است. مطابق با الگوی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، فرودی عمیق با جهت شمال شرق - جنوب غرب به گونه‌ای مستقر شده بود که محور فرود خلیج فارس را پوشش می‌داد. در این شرایط، گوشه جنوب شرقی کشور در پیشانی فرود قرار داشت، درست جایی که واگرایی هوای گرم و مرطوب رخ می‌داد. بر پایه الگوی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، منطقه در موقعیت بیشینه تاوایی مثبت قرار داشت (شکل ۲، و). لذا به دلیل همگرایی پدید آمده در سطح زمین، هوای مرطوب عروج کرده و منجر به بارش سنگین در منطقه شده است. همچنین چرخند نیرومند و رخنه فرود به عرض‌های پایین، باعث ریزش هوای سرد می‌شد و در نتیجه با تقویت بیشتر فرود، به بارش سنگین و سیل آسای کمک شایانی نموده است.



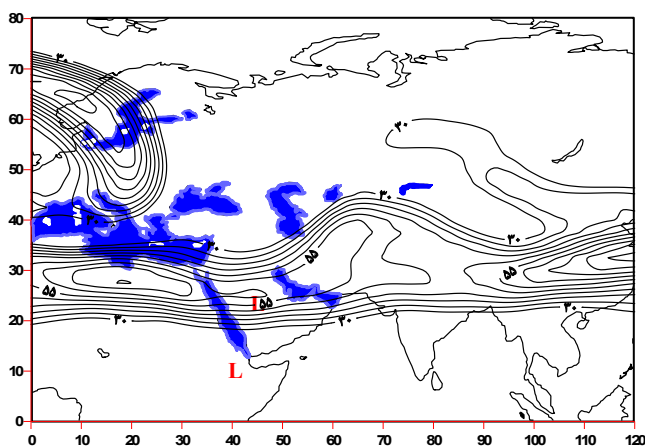
B: Atmospheric Thickness

ب: نقشه ضخامت هوا

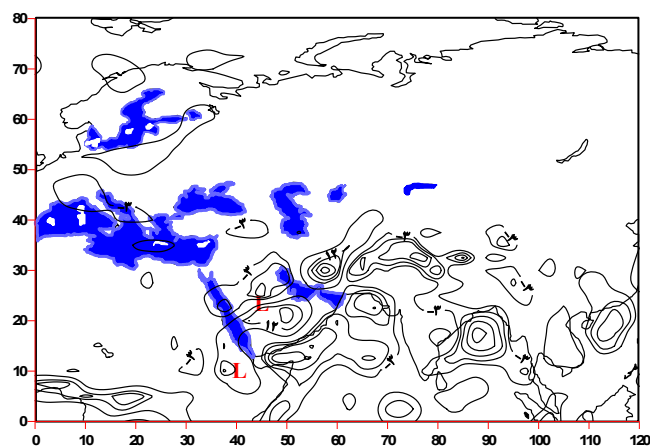


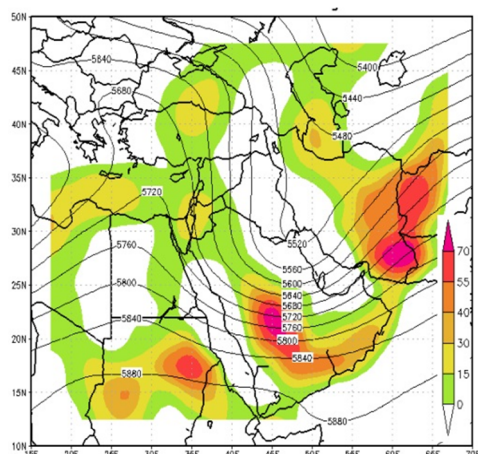
A: Sea level Pressure

الف: فشار هوا در تراز دریا

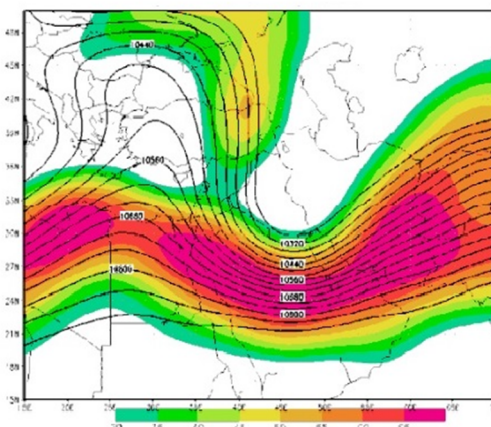


D: jet stream speed, 250 hPa, m/s به سرعت رودباد ۲۵۰ هکتوپاسکال

C: Humidity in 1000 hPa  $10^{-4} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  به رطوبت سطح ۱۰۰۰



F: همگرایی شار رطوبت 850 - 300 hPa



E: نقشه امگا و همدمای در تراز میانی 500 hPa

شکل ۲: نقشه‌های همدمایی نماینده الگوی گروه نخست (NCEP/NCAR)

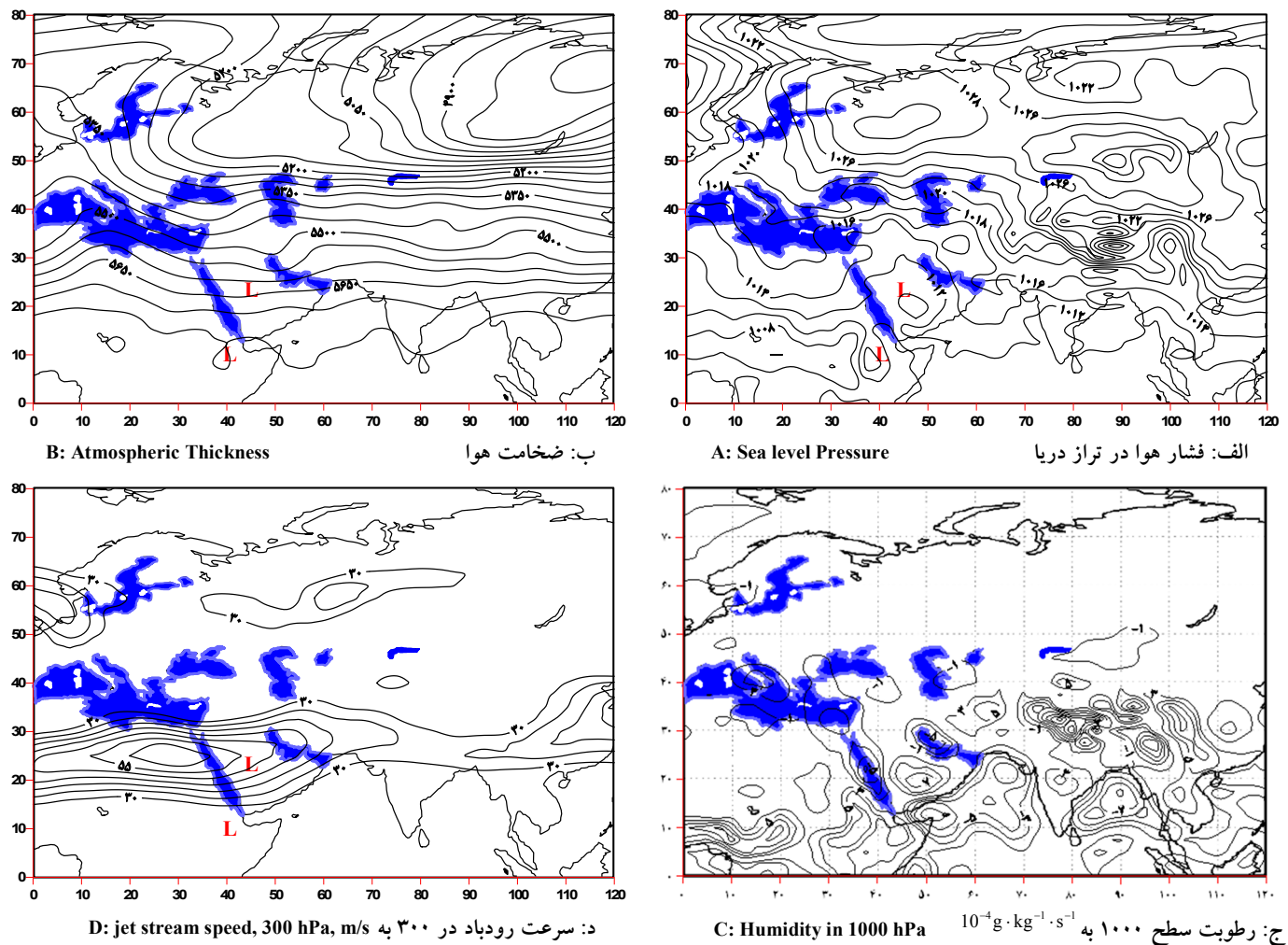
Figure 2: Representative synoptic maps of the first group pattern (NCEP/NCAR)

بررسی نقشه همدمای سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال گویای رودباد با هسته سرعت ۶۵ کیلومتر بر ثانیه بر فراز منطقه مورد مطالعه به صورت نصف‌النهاری است. داده‌های گویای بارش در ایستگاه هواشناسی قشم دریایی، ۱۷۶ میلی‌متر، فرودگاه قشم، ۸۳ میلی‌متر، زاهدان، ۲۶ میلی‌متر بوده است. بررسی همدمایی سرعت قائم هوا نشان داد که با افزایش ارتفاع بیشینه امگای منفی افزایش یافته و به  $-۰.۳$  پاسکال بر ثانیه رسیده و هسته بیشینه امگای منفی کاملاً بر فراز منطقه قرار داشت. هسته امگای منفی گویای ناپایداری شدید و صعود هوا و رخداد بارش ابرسنگین است. نقشه رطوبت نشان می‌دهد که بیشترین رطوبت از منابع آبی جنوب تأمین شده است و با افزایش ارتفاع، حداکثر فرارفت هوای گرم و مرطوب در جلو فرود سطح بالایی اتمسفر از دریای سرخ است. سامانه‌های موجد الگوی نخست در دی و بهمن فعال‌ترند (شکل ۴) این الگوها سبب ۵۶ درصد بارش‌های سنگین منطقه مورد مطالعه هستند، در حالی است که تنها ۱۵ درصد از رخداد بارش سنگین منطقه را به عهده دارند (شکل ۵).

**الگوهای همدمای گروه دوم:** در الگوی دوم، از یک سو کم‌فشار داخل ایران با هسته ۱۰۱۴ هکتوپاسکال و از سوی دیگر، شرایط دگر فشاری در راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق برقرار شده است (شکل ۳، الف). در این الگو، ضخامت، ناوه نسبتاً عمیقی از شمال دریاچه بایکال تا کشور ترکیه ادامه دارد و به نظر می‌رسد بر روی اروپا یک سردچال در حال شکل‌گیری است. این سردچال تا حدودی نقش یک مانع را بازی کرده و باعث شده است محور ناوه واقع شده در عرض‌های شمال به صورت کج مثبت<sup>۱۲</sup> باشد و شیو ضخامت شدیدی را بر روی کشور، ایجاد کند. همچنین محور ناوه ضعیف‌تری بر روی منتهی‌الیه شرق مدیترانه و ترکیه دیده و ناحیه شرق و جنوب‌شرق ایران در نیمه شرقی و جلوی ناوه که محدوده پیشروی چرخندگی مثبت<sup>۱۳</sup> است و شدت بارندگی آنجا بیشتر است (Klein, 1948) و این قرارگیری باعث افزایش بارش‌های سنگین بر روی منطقه شده است (شکل ۳، ب).

12 - Positive Tilt

13 - Positive Vorticity

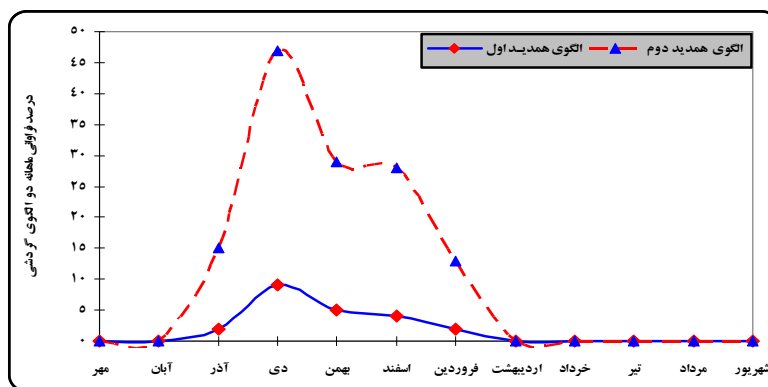


شکل ۳: نقشه‌های همبندی نماینده الگوی گروه دوم (منبع: NCEP/NCAR)

**Figure 3:** Representative synoptic maps of the second group pattern (NCEP/NCAR)

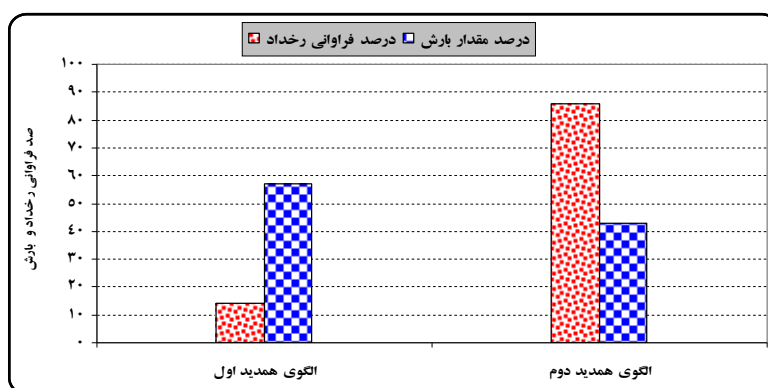
بررسی تابع همگرایی شار رطوبت گویای این است که اوج همگرایی شارهای رطوبتی در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکالی دیده می‌شود. با توجه به بردارهای باد، خلیج فارس، عامل اصلی تأمین رطوبت بارش سنگین بوده و دریای مدیترانه نیز در تأمین بخشی از این رطوبت مشارکت داشته است (شکل ۳، ج). نقشه‌های رودباد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال گویای آن است که در زمان رخداد این الگو، شمال عربستان، مصر تا شمال آفریقا، مناطق بیشینه فراوانی رودبادها هستند و سرعت رودباد در مراکز آن به ۶۰ متر بر ثانیه می‌رسد. لازم به ذکر است در این تراز، منطقه مورد مطالعه در منطقه خروجی چپ رودباد قرار گرفته است (شکل ۳، د).

سامانه‌های الگوی دوم نیز بیشتر در دو ماه دی و بهمن، زمان فعال هستند (شکل ۴). این الگو حدود ۴۳ درصد (۴۳٪) در بارش‌های سنگین جنوب شرق نقش بازی می‌کند و سبب رخداد ۸۶ درصد بارش‌های این بازه زمانی در طول دوره آماری است (شکل ۵).



شکل ۴: درصد فراوانی الگوهای همدید

Figure 4: Frequency percentage of synoptic patterns



شکل ۵: درصد فراوانی رخداد و بارش سنگین در هر یک از الگوهای همدید

Figure 5: The frequency of occurrence and heavy rainfall in each of the synoptic patterns

### نتیجه‌گیری

در حقیقت، پیامد تغییرات اقلیمی در ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش مناطق و رخداد‌های فرین مربوطه آشکار می‌شود و تغییر الگوهای همدید، شدت، فراوانی و مقادیر بارش‌ها از پیامدهای مهم آن می‌باشد. همان‌طور که پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده است که تغییرات رفتار سامانه‌های همدید مؤثر بر بارش ایران، دلیل احتمالی ناهنجاری‌های مقدار و شدت بارش در ایران محسوب می‌شود (Masoodian, and Darand, 2013) و در مقایسه با نتایج واکاوی تغییرات زمانی، مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۱۹۶۵-۲۰۱۶ که نشان داد پراکنندگی مکانی بارش‌های فرین تحت تاثیر ناهمواری‌ها، آرایش آنها و هم چنین سامانه‌های همدید است (Jahanbakhsh et al., 2020).

نتایج این پژوهش با پژوهش موردی برای انتخاب معیار بارش سنگین جنوب شرق ایران در تاریخ ۶ ژانویه ۲۰۰۸ و ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰ هماهنگی دارد. با این تفاوت که مطالعات موردی انجام شده به تخلیه شدید رطوبتی خلیج فارس تأکید دارد (Alijani et al., 2011); (Ahadi et al., 2020)، (Nooriara et al., 2022). همچنین یافته‌های پژوهش

حاضر با نتایج پژوهشی که همه الگوهای کم‌فشار سودان را در شکل‌گیری رودخانه‌های اتمسفری و ریزش بارش‌های سنگین دارای نقش بارز بیان می‌کند، هماهنگی دارد (Lashkari and Esfandiari, 2021). نتایج پژوهش حاضر نیز بیانگر این موضوع است که عمده بارش در ماه‌های خارج از فصل رشد گیاهان ریزش می‌کند و بارش‌های این موقع از سال عمدتاً از نوع ریزش‌های مایع است، به نظر می‌رسد، باعث افزایش ضریب رواناب و خطر سیلاب‌های بزرگ افزایش یابد. لذا بهره‌برداری و جلوگیری از خسارات سنگین ناشی از اینگونه بارش‌ها، نیازمند مدیریت بسیار قدرتمند آب است. همچنین رویداد بارش‌های سنگین ناحیه شرق و جنوب‌شرق ایران از خاستگاه معینی بوجود نیامده و از یک یا چند الگوی متفاوت ناشی شده‌اند، حضور همزمان چرخند جنب قطبی و حرکت آن به عرض‌های پایین‌تر و رویارویی با چرخند سودان - میانه عربستان شرایط دگر فشار شدیدی را در سطح زمین، برای ایجاد ناپایداری فراهم کرده است. در نقشه‌های ضخامت، فرود دریای سیاه-متهی‌الیه شرق مدیترانه دیده شده است در بیشتر موارد، قرارگیری ایران در نیمه شرقی و جلوی ناوه باعث ایجاد جوی ناپایدار و ریزش بارش‌های سنگین شده است. در زمان رخداد بارش‌های سنگین منطقه مورد مطالعه، همگرایی شاررطوبت در ترازهای پایین ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی بیشتر از دیگر ترازها بوده است و رطوبت توسط جریان‌های باد، بیشتر از روی دریای خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند کشیده می‌شود و رودبادها در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ بر روی ایران گسترش داشته و در بیشتر موارد، نیمه چپ خروجی هسته رودباد (منطقه واگرایی بالایی) بر روی ایران قرار دارد که این موجب تقویت ناپایداری جو خواهد شد.

#### پیشنهادها

از آنجایی که از سویی، بخش کلان بارش‌های سنگین در بازه زمانی خارج از فصل رشد گیاهان و معمولاً در حالت مایع (باران) رخ می‌دهد. از سوی دیگر، گسترش شهرنشینی و افزایش پهنه‌های نفوذناپذیر شهری و افزایش ضریب رواناب، در فرآیند هم‌افزایی با این رخدادها می‌تواند خطر سیل را دوچندان سازد. پیامد این هم‌افزایی، مخاطره سیلاب‌های بزرگ و غیرمنتظره است. پیش‌بینی و جلوگیری از خسارات سنگین ناشی از این‌گونه بارش‌ها، نیازمند مدیریت بسیار قدرتمند آب است. لذا پیشنهاد می‌شود پژوهشگران، موضوع گسترش شهرنشینی و افزایش ضریب رواناب شهری منطقه مورد مطالعه را در پژوهش‌های آینده خود در اولویت قرار دهند.

## References

- Ahadi, M., Zeynali, B., Hossini Sadr, A., & Siah Sarani, A. (2020). "Synoptic Investigation of heavy rainfall led to flooding on January 11, 2020 in southern Sistan and Baluchestan". *Physical Geography Quarterly*, 50, 1-14. [In Persian].
- Akbari, T., Ghasem, A., Ashraf, A., & Mahmoud, D. (2016). "The role of blocking system in heavy precipitation of Iran (a case study: southeast of Iran January 2008) ", *Arab J Geosci*, 9, 591-606.
- Alijani, B., Khosravi, M., & Esmailnejad, M. (2011). "A synoptic analysis of January 6, 2008 heavy precipitation in the southeast of Iran". *Journal of climate research*, 13-4, 3-14. [In Persian].
- Arabi, Z. (2007). "Analyses the synoptic conditions of the rainstorm period of 12 to 17 July 1999 in Iran". *Geographical Research Quarterly*, 38 (1), 1-15. [In Persian].
- Dadashi Roudbari, A., Fallah Ghalheri, G., Karami, M., & Baaghde, M. (2016). "Analysis of Precipitation variations of haraz watershed using by statistical methods and spectrum analysis technique". *Hydrogeomorphology*, 7(3), 59-86. Doi: 20.1001.1.23833254.1395.3.7.4.0. [In Persian].
- Feng, S., & Saralees Nadarajah, Qi Hu, (2007). "Modeling Annual Extreme Precipitation in China Using the Generalized Extreme Value Distribution", *J. the Meteorological Society of Japan*, 85(5), 599-613.
- Ghasemifar, E., Naserpour, S., & Arezomandi, L. (2017). "Analysis of synoptic patterns related to extreme precipitation over west of Iran". *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (2), 69-86. [In Persian].
- Ghavidel Rahimi, Y., Ahmadi, M., Hatami Zarneh, D., & Rezaie, M. (2014). "Identification of synoptic patterns of heavy rainfall manufacturers destructive floods in Jiroft city". *Geography*, 41, 161-178. [In Persian].
- Ghazipor, S., Lashkari, H., & Farajzadeh, M. (2021). "Analysis of precipitation intensity trend of Sudanese systems entering Iran (Case study: Independent entry routes to Khuzestan, Bushehr and Hormozgan provinces) ". *Journal of Climate Research*, 1400(47), 1-20. [In Persian].
- Jahanbakhsh asl, S., Sari Sarraf, B., Asakereh, H., & Shirmohamadi, S. (2020). "The study of temporal - spatial changes of high extreme rainfalls in west of Iran (1965-2016) ". *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7 (1), 89-106. Doi: 10.29252/jsaeh.7.1.7. [In Persian].
- Khosravi, M., Shojae, F., & Pakbaz, H. (2019). "A Survey on the of the summer precipitation events moisture supply resources of Southeast of Iran". *Water Resources Engineering*, 41, 127-144. Doi: 20.1001.1.20086377.1398.12.41.10.8. [In Persian].
- Klein, W, H. (1948). "Winter Precipitation as Related to 700mb Circulation", *Bull. Amer. Meteorological Society*. (29), 439-453.
- Lashkari, H., & Esfandiari, N. (2021). "Synoptic and thermodynamic patterns of atmospheric rivers associated to heavy precipitation in the cold period of Iran". *Journal of Natural Environmental Hazards*, 29(10), 125-144. Doi: 10.22111/jneh.2020.33830.1652. [In Persian].
- Masoodian, A., & Darand, M. (2013). "Analysis and recognition of variability in extreme precipitation indices in Iran During the previous decades". *Journal of Geography and Regional Development*, 20, 239-257. doi: 10.22067/geography.v11i20.30792. [In Persian].
- Mofidi, A., Zarin, A., & Jonbaze Ghobadi, Q. (2007). "Determining the synoptic pattern of autumn heavy and extreme precipitations on the southern coast of the Caspian Sea". *Journal of the Earth and Space Physics*, 33(3), 131-154. doi: 20.1001.1.2538371.1386.33.3.10.7 [In Persian].
- Mohammadi, B. (2013). "Trend analysis of annual threshold heavy precipitation over Iran" . *GeoRes*, 28 (1), 163-176. [In Persian].
- Nooriara, R., Daryabari, J., Alijani, B., & Borna, R. (2022). "Synoptic analysis of the torrential on Day 21, 1398 (Case study: Zahedan and Qeshm) ". *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9 (3), 119-134. doi: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.8.8. [In Persian].
- Parandeh Khozani, A., & Lashkari, H. (2010). "Synoptic analysis of flood generating systems in the southern part of Iran". *Iran-water resources research*, (17), 17-18. [In Persian].

- Rezaee Banafshe, M., Hossein Alipour Ghazi, H., Jaffari Shendi, F., & Alimohammadi, M. (2015). "Synoptic analysis of heavy rainfall in northwest of Iran (with an emphasis on patterns of atmospheric thickness)". *Geography and Planning*, 19(53), 117-135. [In Persian].
- Rezaei, M., Azhdary Moghadam, M., Azizyan, G., & Bostani, M. (2017). "Synoptic analysis of extreme rainfall over 20 mm precipitation for flood warning in Sistan and Baluchestan". *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14, 47-62. doi: 10.22111/jneh.2017.3201. [In Persian].
- Saligheh, M. (2006). "Rainfall mechanism in southeast of country". *Geographical Research Quarterly*, 38(55), 1-13. SID. [In Persian].
- Samman, A. E., & Gallus Jr, W. A. (2018). "A classification of synoptic patterns inducing heavy precipitation in Saudi Arabia during the period 2000-2014". *Atmosfera*, 31(1), 47-67.
- Tavousi, T. (2016). "Analysis of synoptic patterns and vertical profiles of air in heavy rainfall in transitional periods: a case study of heavy rainfall occur in South East of Iran, Oct. 2011". *GeoRes*; 31 (2) ,115-127. [In Persian].
- WMO. (2011). "Weather extremes in a changing climate: Hindsight on foresight". *World Meteorol. Organ.* 1075, 17-29.
- Yan, Z., Jones, P. D., Davies, T. D., Moberg, A., Bergström, H., Camuffo, D., & Yang, C. (2002). "Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations". *In Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental*, pp. 355-392. Springer, pub:Dordrecht.

## Analysis of Synoptic Patterns Affecting Heavy Rainfall in Southeastern Iran

Taghi Tavousi

Department of Physical Geography and Climatology, Faculty of Geography and Environmental Planning,  
University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran  
Email: t.tavousi@gep.usb.ac.ir (Corresponding Author)

### Abstract

The purpose of this study is to analyze extreme precipitations in South East of Iran. First, the southeastern corner of Iran was selected from latitude  $34^{\circ}$  N and Longitude  $53^{\circ}$  E. The daily precipitation data during the period (1951-2017) of meteorological stations in the study area (in Sistan and Baluchestan, South Khorasan, Kerman, Hormozgan, Fars and Yazd provinces) were obtained. Then, the standardized data matrix was set up in MATLAB software, which the length, width and the number of days it represents the precipitation statistics of the stations. On this matrix, the cluster analysis was performed using the Euclidean Distance and Ward Linkage methods. To understand the role of dynamic and thermodynamic factors in the occurrence of these rainfall, were used the geo potential Height, sea level pressure, air temperature, specific humidity, zonal and meridional wind components in latitudes 0 to 80 degrees north and Longitude of 0 to 120 degrees east that was related to 6-hour rainfall and maps with dimensions of  $2.5 \times 2.5$  degrees, the were interpolated by using the Kriging method. The results showed different patterns of heavy rainfall. When a low polar pressure with Sudan's low pressure is encountered, severe Baroclinicity conditions arise in the direction of northwest, southeast is associated with the trough located in East Black Sea - East Mediterranean which Iran has been in the East of this synoptic system where Positive vorticity occurs.

### Introduction

Extreme phenomena such as heavy rainfall is one of the most important climatic parameters in any geographical area. Rainfall is one of the appropriate climatic parameters in estimating potential impacts of climate change in the environment and in many economic and social systems. The Precipitation enhances runoff and providing soil moisture. Heavy rainfall increases runoff and leads to flooding. This climate parameter in arid areas such as southeastern Iran has wide variations. There is a direct relationship between rainfall and the activity of precipitation systems in South East of Iran. Some researches show that during half a century synoptic patterns by more and severe raining events and by changes in scheduling and rain status has been changed. From 1960s, the abundance and severity of extreme rainfalls throughout the world has increased and it is expected to continue the increase until the end of the current century. So understanding the behavior of extreme events is one of the main aspects of climate changes. The increase information about heavy rainfalls has importance for society, especially for the population who lives in areas with increased flood risk.

Among heavy rainfall characteristics, the portion of such extreme precipitations is studied less. Due to the experiments carried out, the increase of annual rainfall in southeastern Iran happens through extreme precipitations. Therefore extreme precipitations portions out of total annual rainfalls can be defined as an index of crisis. The increase of this index implies the extreme floods in rainy years and severe drought and drought years. According to abnormal behavior and irregular extreme precipitations in south east of Iran and its high variability and arid regions ability to heaviness and extension of Heavy Rainfalls, the necessity of understanding and Analysis of synoptic patterns affecting heavy rainfall in the low rainfall region of southeastern Iran is recognized.

### Methodology

The purpose of this study is to analyze extreme precipitations in South East of Iran. First, the southeastern corner of Iran was selected from latitude  $34^{\circ}$  N and Longitude  $53^{\circ}$  E. The daily precipitation data during the period (1951-2017) of meteorological stations in the study area (in Sistan and Baluchestan, South Khorasan, Kerman, Hormozgan, Fars and Yazd provinces) were obtained. Then, the standardized data matrix was set up in MATLAB software, which the length, width and the number of days it represents the precipitation statistics of the stations. On this matrix, the cluster analysis was performed using the Euclidean Distance and Ward Linkage methods. To understand the role of dynamic and thermodynamic factors in the occurrence of these rainfall, were used the geo potential Height, sea level pressure, air temperature, specific humidity, zonal and meridional wind components in latitudes 0 to 80 degrees north and Longitude of 0 to 120 degrees east that was related to 6-hour rainfall and maps with dimensions of  $2.5 \times 2.5$  degrees, the were interpolated by using the Kriging method.

### Discussion

The heavy rainfall always have been one of the hazards of climate that the destruction and irreparable damages life and property is involved. Therefore, understanding the factors and parameters that create the climate system precipitation in any place and at any time of the year is necessary.

Rainfall phenomenon is very complex and nonlinear that the great variability over time and space and a variety of conditions that have important role in the occurrence can be divided into two categories: Synoptic Patterns and local conditions.

Weather is largely controlled by the passage of Synoptic Patterns. On the other hand the occurrence of any weather's particular pattern is to a large extend determined by the distributions of land masses, sea surface temperature gradients, Characteristics and type of land cover (biosphere), topography and the orientation of baroclinic zones.

Conclusion: In this study, synoptic patterns affecting heavy rainfall in the low rainfall region of southeastern Iran has been analyzed using environmental to circulation approach. The results showed different patterns of heavy rainfall. When a low polar pressure with Sudan's low pressure is encountered, severe Baroclinicity conditions arise in the direction of northwest, southeast is associated whit the trough located in East Black Sea - East Mediterranean which Iran has been in the East of this synoptic system where Positive vorticity occurs. Analysis of synoptic patterns affecting heavy rainfall in the low rainfall region of southeastern Iran showed that the main reason of these rainfalls had been the siberian and Black Sea anticyclones, troughs of Red Sea and Persian Gulf.

In the summer, synoptic patterns of seasonal rains in South East of Iran often Due of the spread of monsoon air mass. In winter, westerly winds extend towards lower latitudes including the study area, the seasonal rainfall pattern in the region brings.

**Keywords:** Extreme Precipitation, Climate hazard, South East of Iran.