

# واکاوی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو هنگام رخداد بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر در ایران

تیمور علیزاده<sup>۱</sup>، قاسم عزیزی<sup>۲\*</sup>، ایمان روستا<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۲- دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دریافت: ۹۰/۱۰/۱۱ پذیرش: ۹۱/۸/۳

## چکیده

در این مقاله الگوهای جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هنگام ریزش بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در ایران شناسایی شده است. داده‌های بارش روزانه مورد نیاز در ۲۱۲ ایستگاه همدید از دوره ۱۳۵۹-۱۳۸۷ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. با انجام میانمایی بر روی داده‌ها با ابعاد  $18/7 \times 18/7$  کیلومتر، ۴۷۱۳ یاخته به‌دست آمد که براساس آن‌ها، درصد پهنه بارش در دوره مورد نظر به‌صورت روزانه برای کل کشور محاسبه شد. بارش‌های فراگیر بارش‌هایی تعریف شد که حداقل ۵۰ درصد ایران در این روز بارش دریافت کرده باشد. براساس این، ۹۹۶ روز بارش فراگیر و ۹۴۴۲ روز بارش غیرفراگیر به‌دست آمد. پس از مشخص کردن روزهای با بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای مورد نظر از سری داده‌های واکاوی شده NCEP/NCAR به‌صورت میانگین روزانه برداشت شد. با تحلیل مؤلفه‌مبنا به‌طور جداگانه بر روی هریک از سری داده‌ها، حجم آن‌ها کاهش داده شد و با تحلیل خوشه‌ای بر روی مؤلفه‌های به‌دست آمده، مهم‌ترین الگوهای جوی آن‌ها شناسایی شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد با افزایش تاوایی پتانسیل بر روی فرود شرق مدیترانه در جهت طولی امتداد پیدا می‌کند و زمانی که محور فرود بر روی نصف‌النهار  $47/5$  درجه طول شرقی واقع شود، بیش از ۵۰ درصد ایران با ریزش بارش فراگیر مواجه خواهد شد. همچنین، زمانی که فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی شرق مدیترانه چندان عمیق نباشد و محور فرود دورتر از نصف‌النهار  $47/5$  درجه طول شرقی واقع شود، بارش‌های با مساحت کمتری در کشور رخ خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: بارش‌های فراگیر، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، فرود شرق مدیترانه، مؤلفه‌های مبنا.

## ۱- مقدمه

در این مقاله ویژگی‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو در هنگام ریزش بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر ایران شناسایی شده است. البته، نباید اهمیت این تراز را جدای از سایر ترازهای جو دانست؛ زیرا این تراز تحت تأثیر وردش‌پذیری جو زیرین و زبرین است. پژوهش‌های انجام‌شده درباره تأثیر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر آب و هوای تراز زمین بسیار زیاد است. روش‌شناسی این پژوهش‌ها نیز به نسبت تعداد کارهای انجام‌شده فراوان است. تحلیل مؤلفه‌های مبنا و خوشه‌بندی از مهم‌ترین آن‌هاست. روش مؤلفه‌های اصلی برای نخستین‌بار جهت طبقه‌بندی آب و هوا توسط فاکوکا<sup>۱</sup> (۱۹۴۱) و لورنز<sup>۲</sup> (۱۹۵۶) برگرفته از توابع متعامد تجربی وارد مفاهیم نظری آب و هواشناسی شد. این روش به‌طور بالقوه‌ای نشان داد که می‌تواند برای پیش‌بینی آب و هوای خاص براساس الگوهای خاص جوی ابزار سودمندی باشد (Richman, 1981). جزئیات کاربرد این روش در آب و هواشناسی همدید در پژوهش یارنال<sup>۳</sup> و دیگران (2001) انجام شده است. باوجود این، در پژوهش حاضر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

ای لانا<sup>۴</sup> و دیگران (2007) برای شناسایی الگوهای جوی بارش‌های سنگین جزیره بالیاریک از تحلیل مؤلفه‌مبنا برای کاهش داده‌ها استفاده کردند و سپس با تحلیل خوشه‌ای، داده‌های حاصل را به هشت الگوی جوی تبدیل کردند. ای.ای. هوسوس<sup>۵</sup> و همکاران (2008) با روش‌های آماری چندمتغیره (تحلیل عاملی و خوشه‌بندی)، شرایط جو همراه با بارش‌های سنگین را در یونان بررسی کردند و دریافتند که مهم‌ترین تفاوت میان این خوشه‌ها همراهی و تشدید شرایط سطح زمین و جو بالا بوده است. ماهراس<sup>۶</sup> (2004) الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یونان را بررسی کرد. او شش الگوی واچرخندی، هشت الگوی چرخندی، دو نوع مختلط و چهار الگوی ویژه آب و هوایی را شناسایی کرد. ماهراس در پژوهشی دیگر با همان روش‌شناسی نتیجه گرفت که روند واچرخندها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال افزایش و

1. Fukuka
2. Lorenz
3. B. Yarnal
4. A. Lana
5. E.E. Houssos
6. P. Maheras

چرخندها کاهش داشته‌اند. جی. دیوید الکساندرا<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از مؤلفه‌های اصلی، ترکیب نیم‌رخ عمودی منبع گرمایی و نفوذ رطوبتی در دوران توزیع و عدم توزیع فصل بارش تابستانی موسمی را مطالعه کردند. ویبگ<sup>۲</sup> (۱۹۹۹) با پژوهشی درزمینه‌گردش‌های جوی بزرگ مقیاس نشان داد بین گردش‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین ارتباط قوی وجود دارد؛ به گونه‌ای که رومرو<sup>۳</sup> (۱۹۹۸) الگوهای جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ارتباط با بارش‌های مدیترانه خوشه‌بندی کرده و الگوهای این تراز را مهم‌ترین عامل ریزش بارش‌های مدیترانه دانسته است. ژوپلاکی<sup>۴</sup> (۲۰۰۰) و ویبگ (۱۹۹۹) نیز مهم‌ترین عامل تغییرپذیری بارش‌های اروپا را تغییر در الگوهای بزرگ مقیاس جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دانسته‌اند. هنگچان<sup>۵</sup> (۱۹۹۳) به کمک تحلیل‌های چندمتغیره، الگوهای جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نواحی قطبی را در ارتباط با جو زمین بررسی کرد و به این نتیجه رسید که وردش‌پذیری الگوهای تراز ۵۰۰ از دمای سطحی این نواحی مهم‌تر است. علیجانی (۲۰۰۱) با استفاده از تحلیل مؤلفه‌مبنا، الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ارتباط با آب و هوای ایران بررسی کرد و نشان داد که این تراز بر آب و هوای ایران تأثیر بسزایی دارد.

مسعودیان (۱۳۸۵) با استفاده از تحلیل چندمتغیره زیج<sup>۶</sup> سی‌ساله، الگوهای جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ۱۷ طبقه الگوی گردشی تهیه کرد. کاویانی و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای با استفاده از زیج سی‌ساله، به شناسایی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ارتباط با بارش‌های حوضه‌مند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فرود روی دریای سیاه، سوریه، شرق و غرب مدیترانه مهم‌ترین عامل ریزش بارش‌های حوضه‌مند است. رضیئی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مؤلفه‌های اصلی، الگوهای روزانه گردش زمستانه جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را بر روی ایران و خاورمیانه بررسی کردند و نشان دادند ناوه مدیترانه بر ریزش بارش‌های ایران تأثیر بسزایی دارد و هرچه این ناوه عمیق‌تر و به ایران نزدیک‌تر باشد، بارش بیشتر در پهنه گسترده‌تری را سبب می‌شود. در همه پژوهش‌های انجام‌شده پژوهشگران دریافته‌اند که بین

---

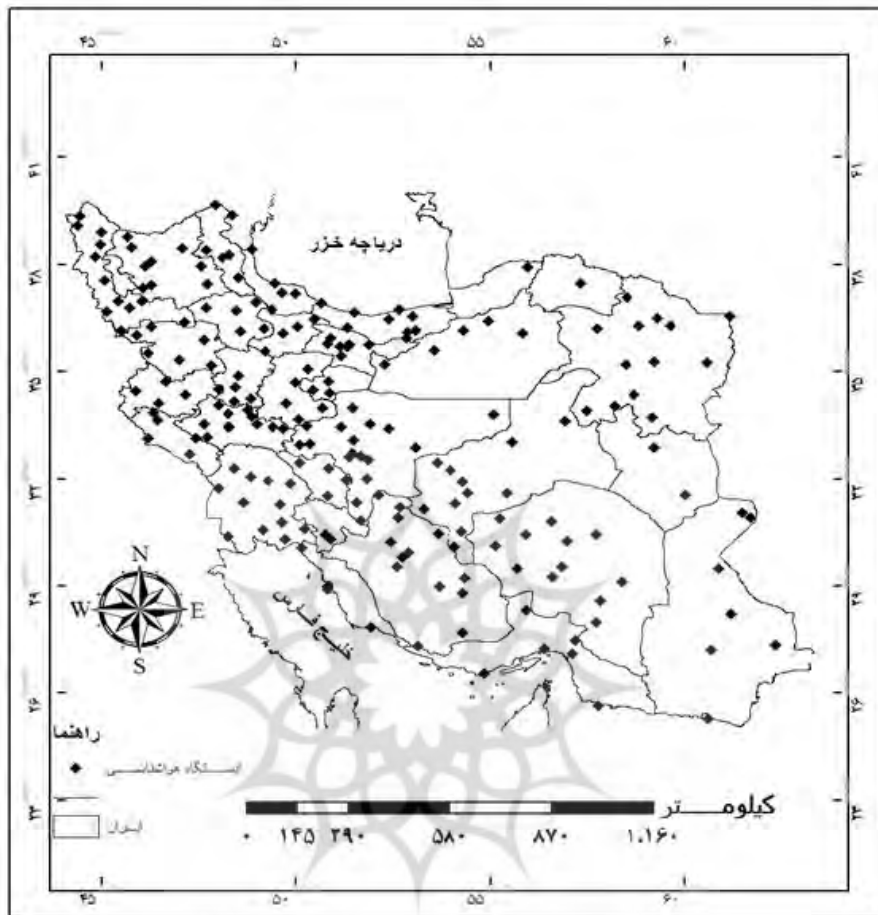
1. G.D. Alexander  
2. J. Wibig  
3. R. Romero  
4. E. Xoplaki  
5. Y. Hengchun  
6. horoscope

وردش پذیری تراز میانی جو و وردش الگوهای تراز زمین ارتباط قوی وجود دارد؛ به گونه‌ای که اکثر پژوهشگران بر این نکته تأکید دارند که جابه‌جایی الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در آب و هوای تراز زمین نقش مهمی دارد. بنابراین، در پژوهش حاضر نیز ارتباط بین جابه‌جایی الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هنگام رخداد بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر بررسی می‌شود.

## ۲- داده‌ها و روش‌شناسی

هدف اصلی تحقیق، بررسی بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر است؛ به همین دلیل از رویکرد همدید محیطی به گردشی استفاده شده است. نخست داده‌های روزانه بارش تراز زمین از ۲۱۲ ایستگاه همدید از دوره اول فروردین ۱۳۵۹ تا ۳۰ اسفند ۱۳۸۷ (۱۰۵۹۲ روز) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. پراکنش ایستگاه‌ها در شکل شماره یک نشان داده شده است. سپس با میانبایی داده‌ها با روش زمین آماری کریجینگ و ابعاد  $18/7 \times 18/7$  کیلومتر،  $4713$  یاخته در کل مساحت ایران محاسبه شد. در نهایت، ماتریسی به ابعاد  $4713 * 10592$  به دست آمد که با استفاده از آن درصد پهنه بارشی، میانگین بارش و حداکثر بارش‌ها به صورت روزانه محاسبه شد. برای حذف بارش‌های محلی، در تعریف بارش‌های فراگیر روزهایی به‌شمار آورده شد که حداقل ۵۰ درصد ایران در این روز بارش داشته و میانگین بارش کل کشور بیش از ۱ میلی‌متر باشد. براساس این، ۹۹۶ بارش فراگیر به دست آمد و سایر روزها بارش‌های غیرفراگیر محسوب شدند که براساس این، داده‌های ۱۵۴ روز از آن‌ها قابل اعتماد نبود و در نهایت ۹۴۴۲ روز غیرفراگیر در دوره مطالعاتی به دست آمد. در گام بعدی داده‌های رقومی میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از سری داده‌های واکاوی شده NCEP/NCAR در محدوده ۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی و ۱۵ تا ۸۰ درجه عرض شمالی در ۸۹۱ یاخته برداشت شد. بنابراین، دو ماتریس با آرایش S و به ابعاد  $891 * 996$  برای روزهای فراگیر و  $891 * 9442$  برای بارش‌های غیرفراگیر به دست آمد. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> (PCA) و تحلیل خوشه‌ای، الگوهای اصلی هریک از این ماتریس‌ها شناسایی شد.

نوشته‌های زیادی درباره روش و قواعد مؤلفه‌های مبنا وجود دارد که اغلب در پژوهش‌های مرتبط با تحلیل‌های چندمتغیره در دسترس اند (Anderson, 1958; Lawley & Maxwell, 1971; Harris, 1975; Harman, 1976; Mardia et al., 1979; Kendall, 1984; Richman, 1981; Fahrmerle, 1980). باوجود این در اینجا مقدمه کوتاهی درباره مهم‌ترین ابعاد مؤلفه‌های اصلی به کار گرفته شده بیان می‌شود. برای طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای در ماتریس با آرایش  $s$  از ماتریس هم‌بستگی استفاده می‌شود (یارنال، ۱۳۸۵: ۱۰۰). برای تحلیل ماتریس هم‌بستگی حاصل از تحلیل مؤلفه‌مبنا (PCA) انتخاب شد و مقادیر ویژه ماتریس هم‌بستگی محاسبه شد. برای تعیین تعداد عامل‌ها مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک انتخاب شد (جانسون و ویچرن، ۱۳۸۶: ۴۹۱). میزان دقت و تبیین پراش عامل‌های هر یک از ماتریس‌ها در جدول شماره یک آمده است. پس از ایجاد عامل‌ها مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده، دوران و نوع دوران است. به نظر جی. استوارت<sup>۱</sup> (1983)، دوران متعامد توان شناسایی و طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای را دارد. بنابراین، داده‌ها با دوران متعامد واریماکس چرخش داده شدند. پس از محاسبه ماتریس ضرایب عامل‌ها و ضرب آن در ماتریس استاندارد شده داده‌ها، ماتریس نمره‌های عاملی که یک ماتریس  $n \times p$  است ( $n$  تعداد روزها و  $p$  تعداد عامل‌ها) به دست آمد. در نهایت، جهت انتخاب عامل‌های اصلی، تبیین پراش بیشتر از یک درصد مقدار بردارهای ویژه را انتخاب کردیم. بر این اساس، بردارهای ویژه‌ای که کمتر از یک درصد پراش کل را نشان می‌دادند حذف شدند. نتایج به دست آمده برای هر یک از دوره‌های بارشی در جدول شماره یک بیان شده است. یارنال (۱۳۸۵: ۱۰۴) شرح مبسوطی را درباره طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای بیان می‌کند. او تحلیل خوشه‌ای روی ماتریس نمره‌ها را به منظور طبقه‌بندی الگوها لازم می‌داند. بنابراین، یک تحلیل خوشه‌ای با محاسبه فواصل اقلیدسی و روش ادغام وارد بر روی مؤلفه‌های اصلی هر یک از دوره‌های بارشی به عمل آمد. سرانجام، ماتریس هم‌بستگی درون‌گروهی هر یک از خوشه‌ها، روز نماینده الگوهای گردشی جو بالا را تعیین کردند.



شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های همدید مطالعاتی در سطح کشور

### ۳- یافته‌ها

در جدول شماره یک مشاهده می‌شود که مقادیر ویژه به‌دست آمده از ماتریس بارش‌های فراگیر، در ۱۹ مورد بزرگ‌تر از یک بوده‌اند که ۹۴ درصد از کل پراش داده‌ها را تبیین می‌کند و با انتخاب عامل‌های بیش از یک درصد پراش کل، ۱۶ عامل نهایی به‌دست آمده است که ۹۲ درصد کل پراش داده‌ها را تبیین می‌کند. در نهایت، ماتریس  $16 \times 996$  بار نمره‌های عاملی روزهای فراگیر به‌دست آمد. همین روند نیز برای داده‌های غیرفراگیر اجرا شد و در نهایت، ۱۲

عامل به‌دست آمد که ۹۱ درصد پراش کل داده‌ها را تبیین کرد و یک ماتریس  $12 \times 9442$  را تشکیل داد.

جدول ۱ اطلاعات تحلیل مؤلفه‌مبنای دوره‌های بارشی

ماتریس نمره‌های عاملی	درصد تبیین پراش کل	مقادیر ویژه < ۱ درصد	درصد تبیین پراش کل	مقادیر ویژه < ۱	ماتریس اولیه	دوره بارشی
۹۹۶×۱۶	۰/۹۲	۱۶	۰/۹۴	۱۹	۹۹۶×۸۹۱	فراگیر
۹۴۴۲×۱۲	۰/۹۱	۱۲	۰/۹۴	۱۶	۹۴۴۲×۸۹۱	غیرفراگیر

داده‌های جو بالا با رویکرد محیطی به‌گردشی به‌دست آمدند. در این رویکرد، دوره فصلی داده‌ها از بین می‌رود و نیازی به تحلیل طیفی روی داده و حذف چرخه فصلی آن‌ها نیست و به‌دلیل همین ویژگی است که هماهنگی بین داده‌ها زیاد، و پراش بین‌گروهی بین آن‌ها اندک است. برای طبقه‌بندی داده‌ها و به‌دست آوردن الگوهای نقشه‌ای ماتریس بار نمره‌های هریک از دوره‌های مورد نظر با تحلیل خوشه‌ای به سه خوشه (الگوهای گردش) طبقه‌بندی شد. اطلاعات این خوشه‌ها در جدول شماره دو و سه آمده است. در این فرایند، هم‌بستگی درون‌گروهی برای هریک از ماتریس خوشه‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شد و روزی که بیشترین هم‌بستگی را در بین آن‌ها داشت، به‌عنوان روز نماینده انتخاب شد و ویژگی‌های بارشی ایران در این روز واکاوی شد. ضریب هم‌بستگی بیشتر روزهای نماینده ۹۰ درصد و بیشتر است که بیانگر پایین بودن پراش درون‌گروهی داده‌ها و هماهنگی آن‌هاست. بنابراین، الگوهای جوی هریک از روزهای نماینده الگوی قابل اعتمادی برای تفسیر الگوهای گردش هریک از خوشه‌هاست.

جدول ۲ ویژگی خوشه‌بندی دوره بارش‌های فراگیر

خوشه	رخداد	درصد رخداد	روز نماینده	هم‌بستگی	میانگین بارش ایران	میانگین پهنه بارش ایران	میانگین حداکثر بارش
۱	۴۲۳	۴۲/۵	۱۳۶۶/۱۱/۱۴	۰/۹۰	۳/۲	۶۲	۵۲/۳
۲	۳۱۴	۳۱/۵	۱۳۵۹/۱۰/۲۲	۰/۹۱	۳/۵	۶۲/۴	۵۶/۷
۳	۲۵۹	۲۶	۱۳۷۸/۱۰/۲۶	۰/۹۱	۳/۴	۶۲/۹	۵۵/۴

جدول ۳ ویژگی خوشه‌بندی دوره بارش‌های غیرفراگیر

خوشه	رخداد	درصد رخداد	روز نماینده	هم‌بستگی	میانگین بارش ایران	میانگین پهنه بارش ایران	میانگین حداکثر بارش
۱	۴۰۸۸	۴۳/۲	۱۳۷۷/۹/۲۹	۰/۹۰	۰/۵	۱۶/۶	۲۷/۷
۲	۲۴۸۹	۲۶/۳	۱۳۶۳/۱۲/۲۳	۰/۹۱	۰/۶	۱۹/۴	۲۶/۲
۳	۲۸۶۵	۳۰/۳	۱۳۸۰/۳/۱۵	۰/۸۹	۰/۲	۶/۵	۱۸/۲

### ۳-۱- الگوهای گردشی روزهای همراه با بارش‌های فراگیر

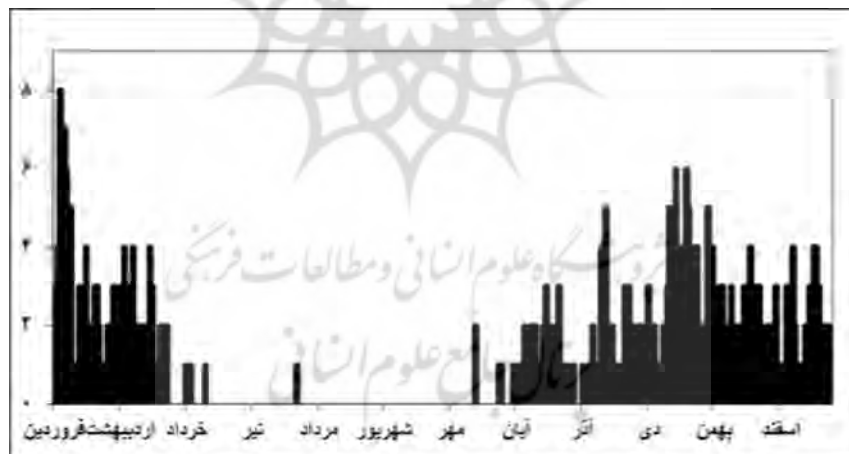
#### ۳-۱-۱- الگوی گردشی ۱

همان‌طور که در جدول شماره دو دیده می‌شود، این خوشه ۴۲۳ رخداد است و در مجموع ۴۲/۵ درصد و بیشترین الگوی بارش‌های فراگیر ایران را تشکیل داده است. الگوی روز نماینده این خوشه در شکل شماره دو آمده است. الگوهای توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه فرود عمیق شرق مدیترانه را نشان می‌دهد که تا مدار ۲۲ درجه کشیده شده و اختلاف ارتفاع آن ۳۵۰ ژئوپتانسیل متر است. ناحیه تاوایی مثبت جلوی فرود کل ایران را گرفته و باعث واگرایی باد نازمینگرد<sup>۱</sup> در این ناحیه شده که زمینه را برای صعود سامانه‌های تراز دریا فراهم کرده است.

۱. باد نازمینگرد (a geostrophic) بادی است که از کسر بردار باد حقیقی از باد زمینگرد (geostrophic) حاصل می‌شود و این مؤلفه در جلوی فرود به علت نصف‌النهاری شدن جریان تشدید می‌شود.

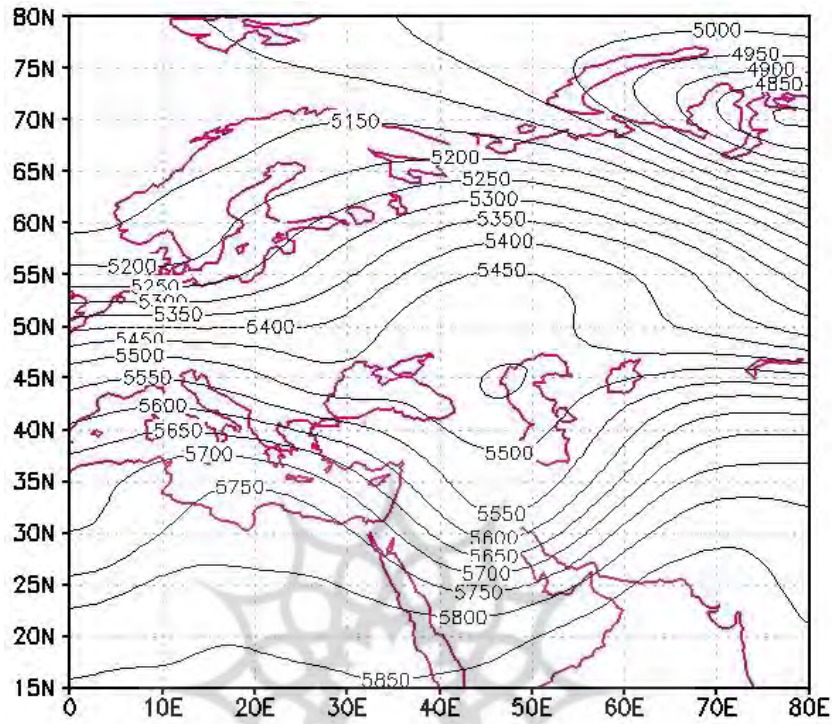


علاوه بر فرود شرق مدیترانه، فراز امگایی شکلی بر روی اروپا قرار گرفته است. این فراز بر بارش این روز تأثیر چندانی نداشته، فقط با انحراف بادهای غربی به سمت عرض‌های پایین‌تر ریزش هوای سرد را بر روی فرود به همراه داشته است. همچنین، کم‌ارتفاع بریده‌شده‌ای روی مدار ۴۵ درجه شمالی و نصف‌النهار ۴۷ درجه شرقی قرار گرفته است که به علت افزایش تاوایی پتانسیل بر روی فرود شرق مدیترانه، باعث عمیق‌تر شدن آن شده و فراز روی مدیترانه موجب ریزش هوای سرد عرض‌های بالاتر بر روی غرب فرود شده است. این فرایند به شکل‌گیری سیملوله‌های<sup>۱</sup> جوی و جو کثرفشار در ناحیه شرق فرود منجر شده است. هنگام رخداد این الگو به‌طور میانگین در ۶۲ درصد ایران بارش رخ داده که میانگین آن در کل ایران ۳/۲ میلی‌متر بوده است. این ویژگی فراگیری این بارش را در سراسر ایران نشان می‌دهد. میانگین حداکثر بارش این الگو ۵۲/۳ میلی‌متر است. شکل شماره سه فراوانی روزانه وقوع این الگو را نشان می‌دهد. بیشینه رخداد آن در فصل بهار و زمستان است که اغلب در فروردین و دی ماه رخ داده است. البته، رخدادهای زمستانه این الگو بیشتر از رخدادهای بهاری بوده است.

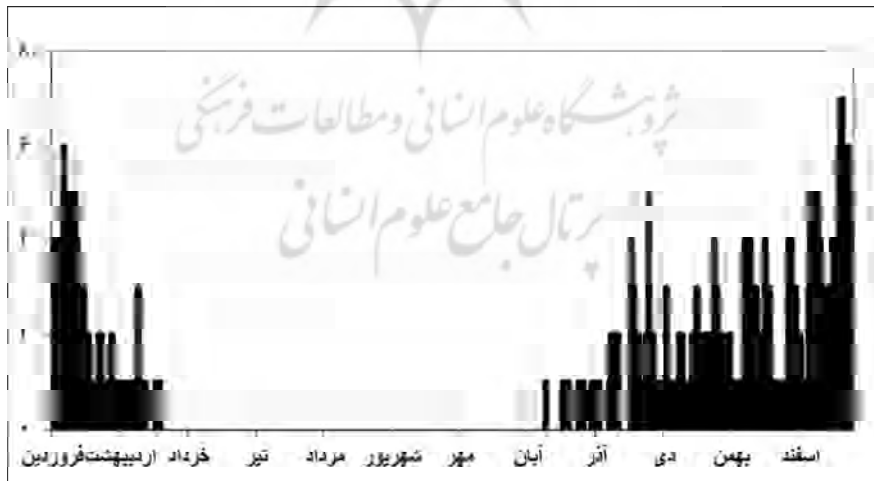


شکل ۲ الگوی پربندی تراز ۵۰۰، روز نماینده بارش‌های فراگیر خوشه اول

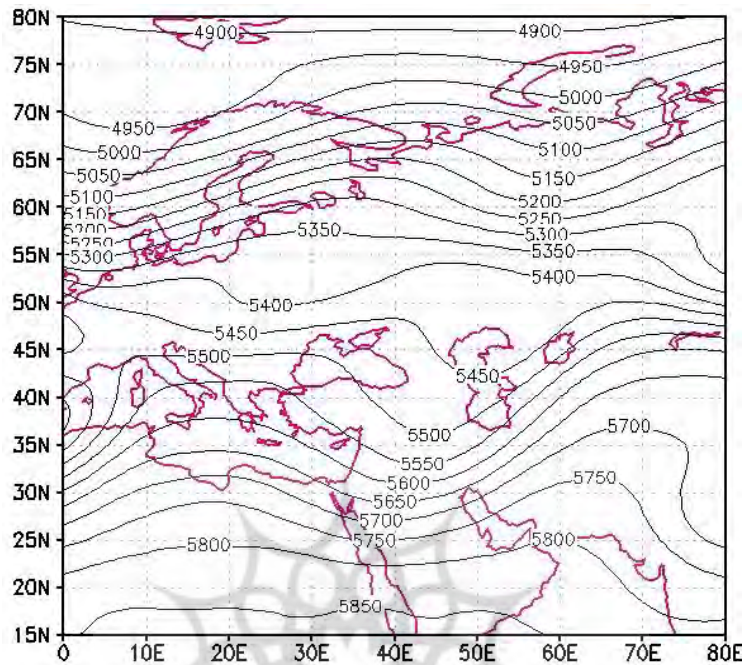
۱. میدان سیملوله‌ای (solenoid system) میدانی است که در آن خطوط هم‌جگالی بر خطوط هم‌فشار یا هم‌ارتفاع عمود می‌شوند و جو کثرفشار و میدان جبهه‌زایی را به وجود می‌آورند.



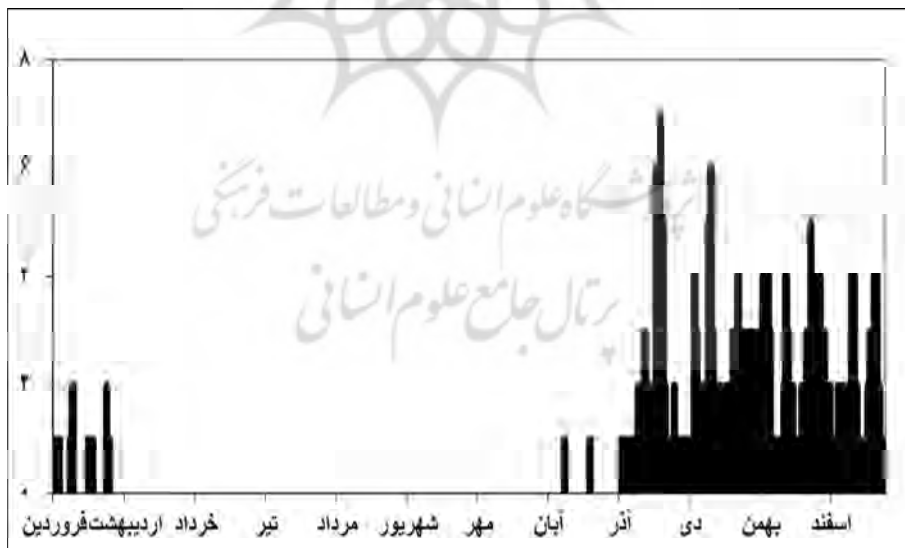
شکل ۳ فراوانی روزانه، بارش‌های فراگیر خوشه اول



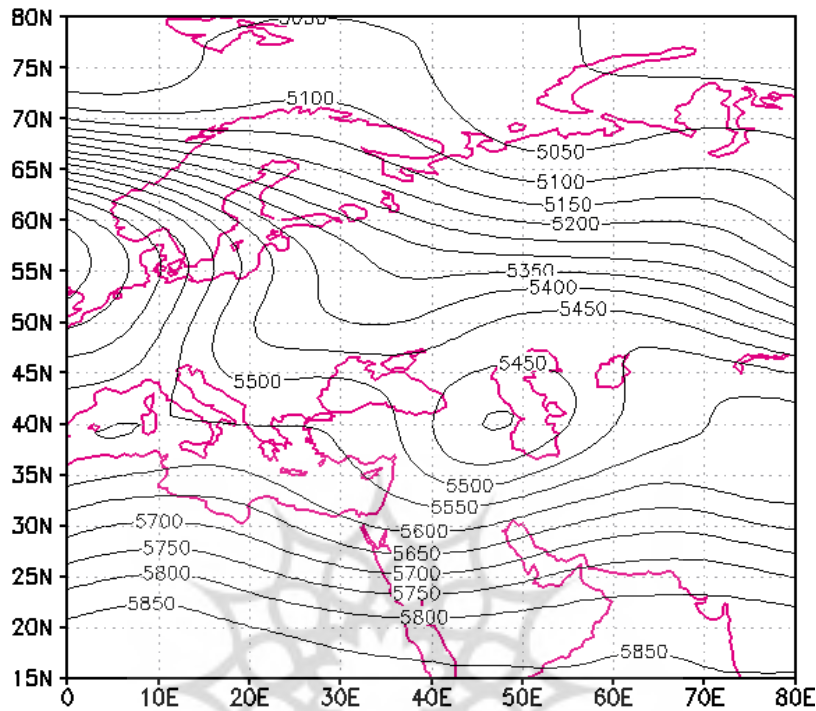
شکل ۴ الگوی پربندی تراز ۵۰۰، روز نماینده بارش‌های فراگیر خوشه دوم



شکل ۵ فراوانی روزانه، بارش‌های فراگیر خوشه دوم



شکل ۶ الگوی پربندی تراز ۵۰۰، روز نماینده بارش‌های فراگیر خوشه سوم



شکل ۷ فراوانی روزانه، بارش‌های فراگیر خوشه سوم

### ۳-۱-۲- الگوی گردشی ۲

این خوشه شامل ۳۱۴ رخداد است و ۳۱/۵ درصد از بارش‌های فراگیر ایران را تشکیل داده است. با مراجعه به الگوی روز نماینده آن در شکل شماره چهار، عامل ریزش این بارش همان فرود شرق مدیترانه است. مکانیزم تقویت و عمیق شدن آن امتداد یافتن تاوه قطبی به سمت عرض‌های پایین است که هم‌زمان با ریزش هوای سرد عرض‌های بالا موجب تقویت تلاوایی پتانسیل بر روی فرود شرق مدیترانه شده است. فراوانی روزانه این الگو نیز مانند الگوی قبلی به صورت بهاری- زمستانی است. فراوانی روزانه این خوشه نشان می‌دهد بیشینه وقوع این الگوی گردشی در اوایل اسفند تا نیمه اول فروردین است. در زمان رخداد این الگو در ۶۲/۴ درصد مساحت ایران بارش رخ داده است. میانگین بارش کشور در این روز ۳/۵ میلی‌متر بوده که از سایر خوشه‌ها بیشتر است و میانگین حداکثر بارش این الگو ۵۶/۷ میلی‌متر بوده که

می‌توان نتیجه گرفت در زمان رخداد این الگو، بارش‌های فراگیر و سنگینی در ایران رخ می‌دهد.

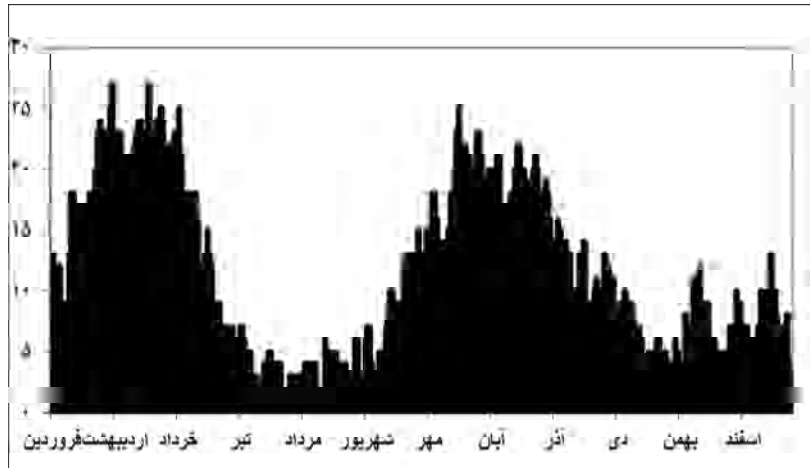
### ۳-۱-۳- الگوی گردشی ۳

این خوشه شامل ۲۵۶ رخداد است که ۲۶ درصد بارش‌های فراگیر ایران را تشکیل داده و نسبت به خوشه‌های قبلی فراوانی کمتری دارد. الگوی توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده این خوشه در شکل شماره شش فرود شرق مدیترانه را نشان می‌دهد که عمق آن نسبت به الگوهای قبلی کمتر و محور آن بر روی دریای سرخ واقع شده و تحت تأثیر سردچال دریای سیاه است که هسته آن روی دریای خزر قرار گرفته است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، الگوهای این روز متمایل به الگوهای مداری است، عمق فرود کمتر شده و محل بیشینه تاوایی مثبت بر روی ایران قرار ندارد. به‌طور میانگین،  $62/9$  درصد مساحت ایران در این خوشه بارش داشته و میانگین بارش  $3/4$  میلی‌متر بوده است. میانگین حداکثر بارش این روز  $55/4$  میلی‌متر است؛ علت این ویژگی قرارگیری سردچال روی دریای خزر است که بارش‌های سنگینی را ایجاد کرده است.

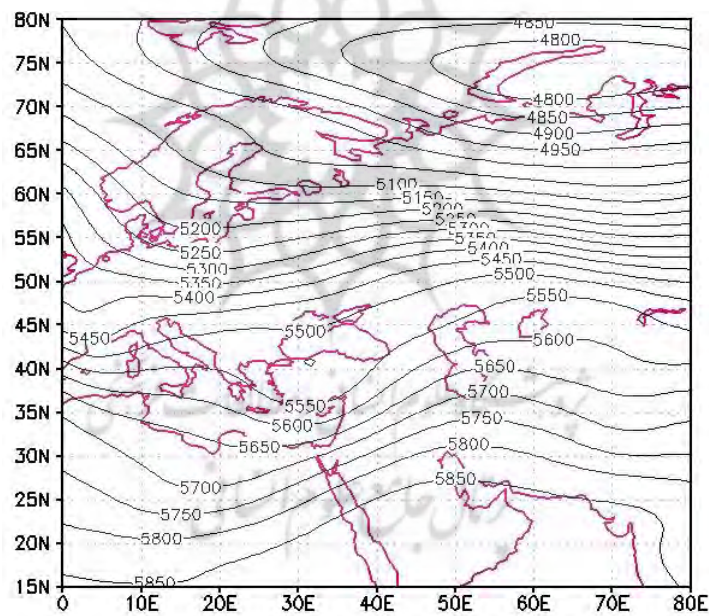
### ۳-۲- الگوهای گردشی روزهای همراه با بارش‌های غیرفراگیر

#### ۳-۲-۱- الگوی گردشی ۱

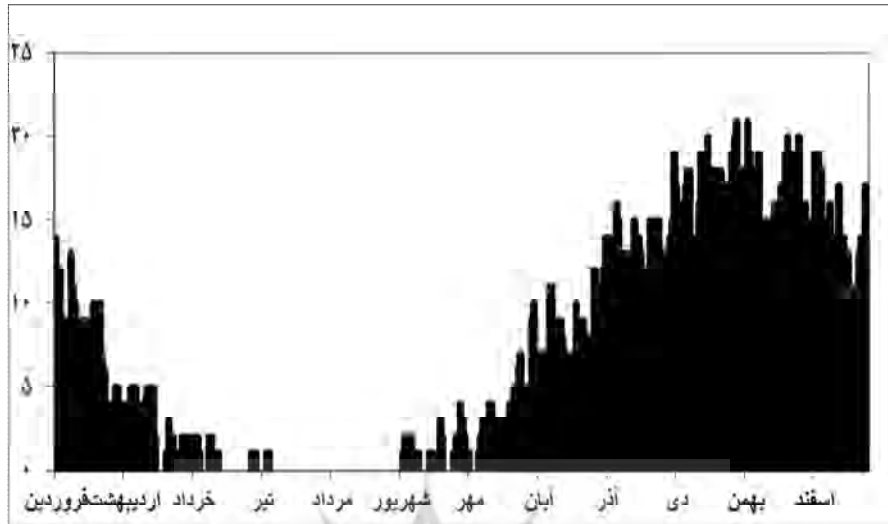
این الگوی گردشی از ۴۰۸۸ رخداد تشکیل شده که  $43/2$  درصد از مجموع بارش‌های غیرفراگیر ایران را دربرمی‌گیرد و پررخدادترین الگوی این بارش‌ها را نیز تشکیل می‌دهد. الگوی گردشی روز نماینده این خوشه در شکل شماره هشت نشان داده شده است. الگوهای توپوگرافی این شکل نشان‌دهنده فرود کم‌عمق شرق مدیترانه است که بر روی فرودی در شمال آفریقا قرار گرفته است.



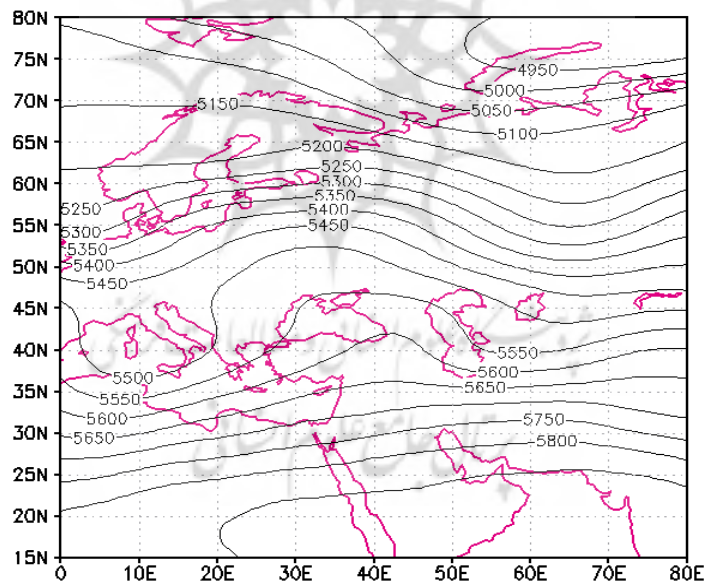
شکل ۸ الگوی پربندی تراز ۵۰۰، روز نماینده بارش‌های غیرفراگیر خوشه اول



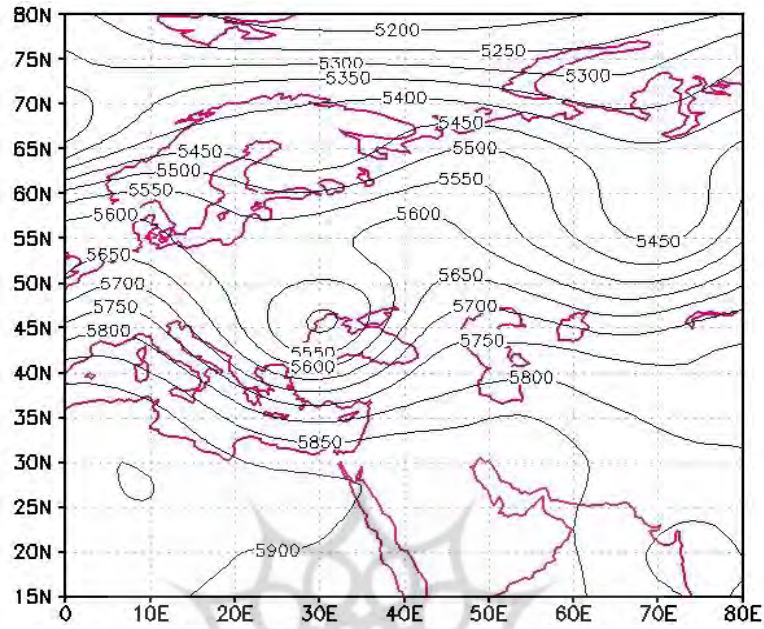
شکل ۹ فراوانی روزانه، بارش‌های غیرفراگیر خوشه اول



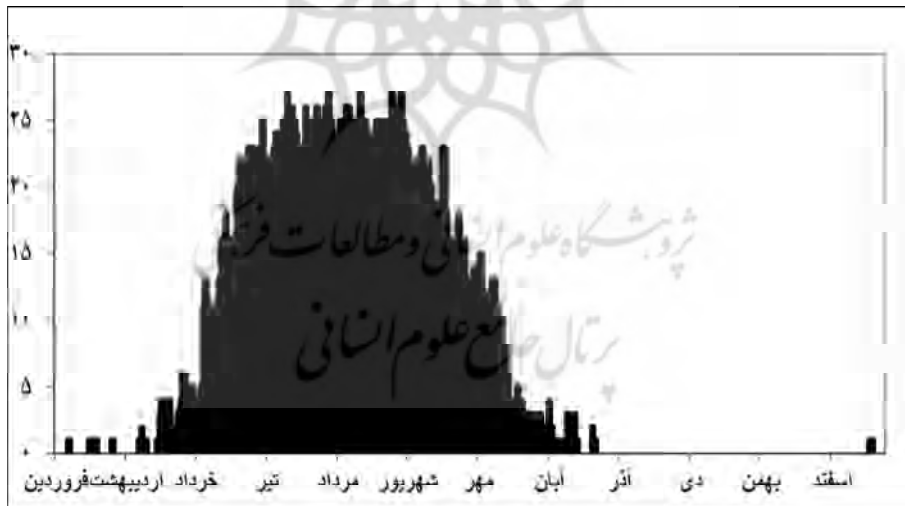
شکل ۱۰ الگوی پربندی تراز ۵۰۰، روز نماینده بارش‌های غیرفراگیر خوشه دوم



شکل ۱۱ فراوانی روزانه، بارش‌های غیرفراگیر خوشه دوم



شکل ۱۲ الگوی پربندی تراز ۵۰۰، روز نماینده بارش‌های غیرفراگیر خوشه سوم



شکل ۱۳ فراوانی روزانه، بارش‌های غیرفراگیر خوشه سوم



همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، محور این فرود بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه واقع شده که ناحیه‌ی تاوایی مثبت آن دور از مرزهای ایران قرار گرفته است. با مراجعه به این قطعه پربندی درمی‌یابیم که تاوه قطبی تا عرض‌های پایین امتداد یافته؛ ولی به‌علت فرازی که در شمال‌شرق دریای خزر واقع شده، نتوانسته است تاوایی پتانسیل و ریزش هوای سرد را بر روی ایران ایجاد کند؛ بنابراین زبانه فرود آن به‌سمت دریای مدیترانه حرکت کرده است. همچنین، پربند ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر پرفشار جنب حاره بر روی خلیج فارس قرار دارد. فراوانی وقوع روزانه این الگو در شکل شماره نه نشان می‌دهد این الگو در تمام فصل‌ها رخ داده؛ ولی به‌طور آشکاری الگوی بهاری - پاییزی است که در آبان ماه به اوج خود می‌رسد. در زمان رخداد این الگو، به‌طور متوسط در ۱۶/۶ درصد ایران بارش رخ می‌دهد و میانگین بارش ایران ۰/۵ میلی‌متر است. همچنین، میانگین بارش‌های حداکثر این خوشه ۲۷/۷ میلی‌متر است. از این ویژگی‌های بارشی می‌توان دریافت که در زمان رخداد این الگو بارش‌های نایک‌نواختی در ایران رخ می‌دهد.

### ۳-۲-۲- الگوی گردشی ۲

این خوشه شامل ۲۴۸۹ رخداد است که ۲۶/۳ درصد از بارش‌های غیرفراگیر ایران را به خود اختصاص داده است. روز نماینده این خوشه در شکل شماره ده نمایش داده شده است. با مراجعه به آرایش الگوهای پربندی این شکل درمی‌یابیم که الگوهای تقریباً مداری حاکم‌اند و فرودی در غرب مدیترانه تشکیل شده است که فراز مانعی را بر روی دریای سیاه و غرب دریای خزر تشکیل داده است. الگوهای شرق کشور محور فرود تاوه قطبی را نشان می‌دهد که تا شمال‌شرق ایران امتداد پیدا کرده و ناحیه تاوایی مثبت و جو کثرفشاری را در این ناحیه شکل داده است. در واقع، در این الگو فرود شرق مدیترانه وجود نداشته و مقدار بارش‌های رخ داده بر اثر ریزش هوای سرد اندکی بر روی شمال کشور و دریای خزر بوده است. فراوانی وقوع روزانه این الگو نشان می‌دهد این الگوی زمستانی است که از اوایل شهریور شروع می‌شود و در میانه دی ماه به اوج می‌رسد. هنگام وقوع این الگو، به‌طور متوسط ۱۹/۴ درصد مساحت ایران بارش دریافت می‌کند. میانگین بارش کشور در این خوشه ۰/۶ میلی‌متر و

میانگین بارش‌های حداکثر آن ۲۶/۲ میلی‌متر است. بنابراین، این الگو نیز بارش‌های نایک‌نواختی را در کشور ایجاد می‌کند.

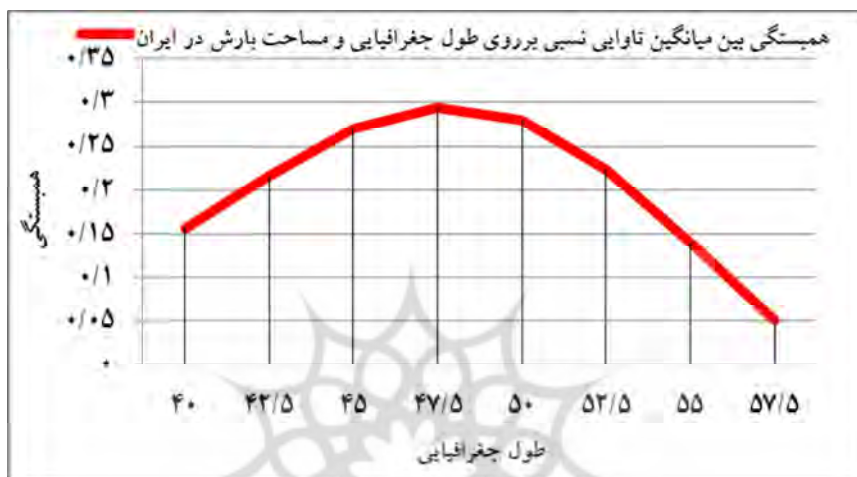
### ۳-۲-۳- الگوی گردشی ۳

خوشه سوم بارش‌های غیرفراگیر شامل ۲۸۶۵ رخداد است که ۳۰/۳ درصد از بارش‌های غیرفراگیر را داراست. روز نماینده این خوشه در شکل شماره دوازده آمده است. همان‌طور که در این الگو دیده می‌شود، زبانه پرفشار جنب حاره بر روی ایران قرار دارد و هسته مرکزی آن پربند ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای سرخ واقع شده است. از آرایش پربندی پراارتفاع جنب حاره درمی‌یابیم که هسته مرکزی آن از روی ایران دور شده و کرانه‌های دریای خزر و شمال‌شرق کشور دور از زبانه آن قرار گرفته‌اند. الگوهای برجسته دیگری از جمله فرود و سردچالی بر روی دریای سیاه دیده می‌شود که زبانه آن تا شمال‌غرب دریای خزر امتداد یافته است. همچنین، فرودی در امتداد نصف‌النهار ۷۰ درجه شرقی و مدار ۵۵ درجه شمالی قرار گرفته که تحت تأثیر نوسان‌های تاوه قطبی ایجاد شده است. این دو الگو با ریزش هوای سرد به سمت عرض‌های پایین‌تر، پرفشار جنب حاره را تحت تأثیر قرار داده و فرصت صعود را برای سامانه‌های کم‌فشار تراز دریا فراهم کرده‌اند. فراوانی روزانه وقوع این خوشه نشان می‌دهد این الگو در فصل تابستان رخ می‌دهد. در واقع، تسلط پرفشار جنب حاره را در این فصل نشان می‌دهد که در برخی موارد با عقب‌نشینی زبانه‌های آن بارش‌هایی در شمال، شمال‌شرق و جنوب‌شرق ایران به صورت اندک رخ می‌دهد. در زمان رخداد این الگو، ۶/۵ درصد مساحت ایران بارش دریافت می‌کند و میانگین بارش در این خوشه ۰/۲ میلی‌متر است. همچنین، میانگین حداکثر بارش‌های این خوشه ۱۸/۲ میلی‌متر است که نمودار کمیایی و عدم فراگیری آن است.

### ۴- جابه‌جایی فرود شرق مدیترانه

همان‌طور که در بخش‌های قبلی دیده شد، مهم‌ترین عامل ریزش بارش‌های ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فرودی است که بر روی دریای مدیترانه تشکیل می‌شود. بنابراین، برای تعیین میزان جابه‌جایی فرود شرق مدیترانه، تاوایی نسبی در پنج نقطه بر روی نصف‌النهارهای ۴۰ تا

۵۷/۵ درجه طول شرقی و مدارهای ۲۷/۵ تا ۳۷/۵ درجه عرض شمالی با فاصله ۲/۵ درجه‌ای برای دوره مطالعاتی به صورت روزانه محاسبه شد، سپس بین میانگین تاوایی نسبی بر روی هر نصف‌النهار و مساحت بارش ایران در آن روز هم‌بستگی به عمل آمد.



شکل ۱۴ نمودار هم‌بستگی تاوایی نسبی بر روی نصف‌النهارهای مطالعه‌شده و مساحت بارش در ایران

شکل شماره شانزده هم‌بستگی بین میانگین تاوایی نسبی بر روی هر نصف‌النهار و مساحت بارش ایران را نشان می‌دهد. با نزدیک شدن محور فرود بر روی ایران، هم‌بستگی آن با افزایش پهنه بارش بیشتر می‌شود؛ به طوری که در نصف‌النهار ۴۷/۵ درجه بیشترین هم‌بستگی وجود دارد. بنابراین زمانی که محور فرود شرق مدیترانه بر روی نصف‌النهار در ۴۷/۵ درجه طول شرقی قرار بگیرد، مساحت بیشتری از ایران بارش دریافت می‌کند. قرارگیری محور فرود بر روی این مدار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال باعث می‌شود بیشترین مقدار تاوایی مثبت بر روی ایران واقع شود که پیامد آن افزایش حرکات صعودی بیشتر در این ناحیه است. البته، الگوهای توپوگرافی تراز زمین و چگونگی آرایش فشار تراز دریا نیز بر روی مدار ۴۷/۵ درجه طول شرقی، هم‌زمان با تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر افزایش بارش ایران تأثیر فراوانی دارند که تشریح چگونگی آن خارج از موضوع این پژوهش است.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مهم‌ترین الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هنگام ریزش بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر واکاوی شد. برای این منظور ابتدا با روش زمین آماری کریجینگ، داده‌های بارش ۲۱۲ ایستگاه همدید میانمایی شد، سپس روزهای فراگیر و غیرفراگیر بر اساس آن تعریف شد. نتایج گویای این است که در طول دوره آماری مطالعه شده (۱۰۵۹۲ روز) فقط ۹۹۶ روز بارشی وجود داشته که بیش از ۵۰ درصد کشور را دربرگرفته است. سایر روزها هم بارش‌های غیرفراگیر است. به کار بردن تحلیل مؤلفه‌مبنا در این پژوهش این امکان را فراهم آورد تا ابعاد ماتریس‌ها را کاهش دهیم و بتوانیم به نتیجه مطلوبی در طبقه‌بندی الگوهای نقشه دست یابیم.

با بررسی درون‌سو و برون‌سو در این پژوهش روشن شد که تحلیل مؤلفه‌مبنا توانسته است الگوهای مورد نظر را به‌خوبی شناسایی کند و برای بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر، طبقه‌بندی سه‌خوشه‌ای نتایج درخور توجهی به‌دست دهد. بررسی الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال خوشه‌ها نشان می‌دهد الگوهای بارش‌های فراگیر توسط فرود شرق مدیترانه ایجاد شده‌اند. زمانی که این فرود با تاوۀ قطبی، سردچال عرض‌های بالاتر و سردچال جبهه قطبی مواجه شود، تاوایی پتانسیل آن افزایش پیدا می‌کند. همچنین، از نظر طولی امتداد می‌یابد و ریزش هوای سرد بر روی آن شرایط جو کژفشاری را روی ناحیه شرق فرود ایجاد می‌کند. واکاوی دینامیکی فرود شرق مدیترانه نیز نشان می‌دهد زمانی که محور فرود بر روی نصف‌النهار ۴۷/۵ درجه نصف‌النهار شرقی واقع شود، بارش‌های فراگیری بر روی ایران رخ می‌دهد. بالطبع، زمانی که محور این فرود دورتر از ایران باشد، بارش‌های اندک و غیرفراگیری رخ می‌دهد. البته، بارش‌های غیرفراگیر در فصلی مانند تابستان در ایران رخ داده‌اند که در این شرایط جهت عقب راندن زبانه‌های پرفشار جنب حاره به عامل دینامیکی نیاز بوده است.

تمام نظریه‌های بیان شده در این پژوهش به معنای حقیقت مطلق الگوهای گردش جو نیست؛ بلکه حاصل معرفت‌شناسی و روش‌شناسی این تحقیق، و البته نیازمند آزمون‌پذیری دوباره و بررسی‌های بیشتر است.

## ۶- منابع

- رضیئی، طیب، قاسم عزیزی، حسن محمدی و فرامرز خوش‌اخلاق، «الگوهای روزانه گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران و خاورمیانه»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۷۴، صص ۱۷-۳۴، ۱۳۸۹.
- جانسون، ریچارد آ. و دین دبلیو ویچرن، تحلیل آماری چندمتغیری کاربردی، برگردان حسینعلی نیرومند، چ ۳، تهران: آستان قدس رضوی، ۱۳۸۶.
- کاویانی، محمدرضا، ابوالفضل مسعودیان و بهرام نجف‌پور، «بررسی رابطه الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با بارش‌های حوضه‌مند»، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ج ۲۴، ش ۳، صص ۱-۱۲، ۱۳۸۶.
- مسعودیان، ابوالفضل، «زیج سی‌ساله الگوهای گردشی تراز میانی جو ایران»، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ش ۷، ۱۳۸۵.
- یارنال برنت، اقلیم‌شناسی هم‌دید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، برگردان سید ابوالفضل مسعودیان، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۵.
- Alexander, G.D et al., "Principal Component Analysis of Vertical Profile of  $Q_1$  and  $Q_2$  in Tropic", *Monthly Weather Review*, Vol. 121, 1993.
- Alijani, B. "Variation of 500hpa flow Pattern over Iran and Surrounding Area and Relationship white Climate of Iran". *theor. appl. Climatol.* 72, 41-54, 2001.
- Anderson, T.W. *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*, Wiley, New York, 1958.
- Cohen, J.S. "Classification of 500 Mb Height Anomaly Using Obliquely Rotated Principal Components", *Journal Climate and Applied Meteorology*, Vol. 12, 1983.
- Fahrmeir, L. & A. Hamerle, *Multivariate Statistics Verfahren*, W. de Gruyter, Berlin, New York, 1984.



- Harman, H.H., *Modern Factor Analysis*, 3rd Edn., Chicago: University of Chicago Press, 1976.
- Harris, R.J., *A Primer of Multivariate Statistics*, London: Academic Press, 1975.
- Hengchun, Y., Daniel J. Leathers & Laurence S. Kalkstein, "Classification of Upper Level Circulation Pattern in the Polar Region and their Relationship to Surface Air Temperature Middle Stats Geographer", Vol. 26, 1993.
- Houssos, E.E., C.J. Lolis & A. Bartzokas, "Atmospheric Circulation Patterns Associated with Extreme Precipitation Amounts in Greece", *Adv. Geosci*, No. 17, Pp. 5-11, 2008.
- Kendall, M.G., *Multivariate Analysis*, London: Griffin, 1980.
- Lana, A.J. Campins, A. Genoves & A. Jansa, "Atmospheric Patterns for Heavy Rain Events in the Balearic Islands", *Adv. Geosci*, No. 12, Pp.27-32, 2007.
- Lawley, D.N. & A.E. Maxwell, *Factor Analysis as a Statistical Method*, 2<sup>nd</sup> Edn., London: Butterworths, 1971.
- Maheras, P. et al., "On the Relationships between Circulation Type and Changes in Rainfall Variability in the Greece", *International Journal of Climatology*, Int. J. Climatol, 24, Pp. 1695-1712, 2004.
- Maheras, P., I. Patrikas, Th. Karacostas, & Chr. Anagnostopoulou., "Automatic Classification of Circulation Types in Greece: Methodology, Description, Frequency, Variability and Trend Analysis", *theor. appl. Climatol*, 67, 205±223, 2000.

- Mardia, K.V., J.T. Kent & J.M. Bibby, *Multivariate Analysis*, London: Academic Press, 1979.
- Richard, A.J. & Dean W. Wichern, "*Applied Multivariate Statistical analysis*", H.A. Niroomand (Tr.), Ferdosi University of Mashhad Publication, No. 264, 1980.
- Richman, M.B., "Obliquely Rotated Principal Component: and Improved Meteorological Map Typing Technique?" *Journal of Applied Meteorology*, October 1981.
- \_\_\_\_\_ "Rotation of Principal Components", *International Journal of Climatology*, No. 6, Pp. 293-335. doi: 10.1002/joc.3370060305, 1986.
- Romero, R., G. Sumner, C. Ramis & A. Genoves, "A Classification of the Atmospheric Circulation Pattern Producing Significant Daily Rain Fall in the Spanish Mediterranean Area", *International Journal of Climatology*. Int. J. Climatol, No. 19, Pp. 765-785, 1999.
- Wibig, J., "Precipitation in Europe Relation to Circulation Pattern at the 500hp level". Int. J. Climatol, No. 19, Pp. 253-269, 1998.
- Xoplaki1, E., J. Luterbacher, R. Burkard, I. Patrikas & P. Maheras, "Connection between the Large-scale 500 hPa Geopotential Height Fields and Precipitation over Greece during Wintertime", Clim Res No. 14, Pp. 129-146, 2000.
- Yarnal, B. et al., "Developments and Prospects in Synoptic Climatology", *International Journal of Climatology*, Int. J. Climatol, No. 21, Pp. 1923-1950, 2001.

**Dr. GhasemAzizi Associate professor of factually Physical Geography**

**Tel No: 09123841192**

**[ghazizi@ut.ac.ir](mailto:ghazizi@ut.ac.ir)**

**TeimorAlizadehPhd student of climatology university of Tehran**

**Tel No: 09163994927**

**[t.alizadeh@ut.ac.ir](mailto:t.alizadeh@ut.ac.ir)**

**ImanRoustaPhd student of climatology university of Tehran**

**[irousta@ut.ac.ir](mailto:irousta@ut.ac.ir)**

**Tel No:09171902098**

