

# شناسایی الگوهای گردشی پدیدآورنده سیلاب‌های بزرگ در کارون

دکتر سید ابوالفضل مسعودیان  
استادیار جغرافیا دانشگاه اصفهان

## چکیده

در این مقاله داده‌های بارش و رواناب روزانه‌ی حوضه‌ی کارون تا شالو در سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ و داده‌های روزانه ارتفاع ژئوبتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال محدوده‌ی ۱۰ تا ۶۰ درجه‌ی شمالی و ۱۰ تا ۷۰ درجه‌ی شرقی بررسی شده است. به کمک تحلیل مولفه‌ی مبنا، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل همبستگی شش الگوی گردشی شناسایی شد. این الگوها به دو دسته پراارتفاع و کم‌ارتفاع تقسیم می‌شوند. هر الگوی معین تمایل دارد در دوره معینی از سال ظاهر شود. الگوهای کم‌ارتفاع و فرودها شرایط دینامیکی را برای ناپایداری فراهم می‌آورند و بیشتر در دوره‌ی سرد سال دیده می‌شوند. الگوهای پراارتفاع و فرازا شرایط دینامیکی را برای پایداری فراهم می‌آورند و بیشتر در دوره‌ی گرم سال دیده می‌شوند. بررسی رابطه‌ی این الگوها با رواناب و بارش کارون نشان داد که الگوهای کم‌ارتفاع ارتباط معناداری با بارش و رواناب نشان می‌دهند اما رابطه آنها با بارش قویتر است. یافته‌های ما نشان می‌دهد که ناهنجاری‌های ارتفاع ژئوبتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌تواند ابزار سودمندی برای پیش‌بینی متغیر بارش و به تبع آن پیش‌بینی سیلاب باشد. با توجه به رفتار فصلی این ناهنجاری‌ها، الگوهای کم‌ارتفاع عمدتاً در زمستان دیده می‌شوند. الگوهای پراارتفاع عمدتاً در تابستان مشاهده می‌شوند و با بارش بسیار ناچیز همراه هستند.

کلیدواژه‌ها: الگوهای گردشی، سیلاب، تحلیل مولفه‌ی مبنا، تحلیل خوشه‌ای.

## مقدمه

در زمینه‌ی سیلاب‌شناسی تحقیقات گسترده‌ای در جهان و ایران انجام گرفته است. در ایران نمونه‌هایی از این پژوهش‌ها بدین قرارند. دماوندی‌نژاد منفرد ویژگی‌های سیلاب‌های بخش میانی کارون را بررسی کرده مدل‌های احتمال آن‌را معرفی کرده است (دماوندی‌نژاد منفرد، ۱۳۷۸: ۵۳). حیدری براساس روشی هواشناختی- هیدرولوژیک مدلی برای پیش‌بینی سیلاب‌های کارون پیشنهاد کرده است (حیدری، ۱۳۷۵: ۷۲).

حجتی‌زاده هفت سیلاب فراگیر کارون، کرخه و دز را بررسی کرده و کوشیده است شرایط سینوپتیک پدیدآورنده آنها را شناسایی کند (حجتی‌زاده، ۱۳۸۱: ۱۲۰).

گیاهی سیلاب‌های کارون را باهدف حفاظت زمین‌های زیرکشت‌نیشکر در خوزستان بررسی کرده است (غیائی، ۱۳۷۵: ۶۲). تقی‌خان کوشیده است تا با کمک بارش به پیش‌بینی سیلاب دست یابد (تقی‌خان، ۱۳۷۹: ۶). برخوردار و چاوشیان موضوع پهنه‌بندی سیلاب را بررسی کرده‌اند (چاوشیان، ۱۳۷۹: ۴). حیدری کنترل سیل مخازن رودخانه‌های دز و کارون را مطالعه کرده است (حیدری، ۱۳۷۹: ۷).

با این حال سیلاب‌های بزرگ کارون از منظر الگوهای گردشی پدید آورنده آنها بررسی نشده‌اند. الگوهای گردش هوا به‌ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و رابطه‌ی آنها با سیلاب‌های بزرگ، موضوع تحقیقات اقلیمی بسیار فراوانی در جهان بوده است. مثلاً یارنال و فریکس سیلاب‌های حوضه‌ی ساسکوانا را به این روش بررسی و الگوهای گردشی منجر به سیلاب را در این حوضه شناسایی کردند (یارنال و فریکس، ۱۹۹۴: ۳۳۰).

یارنال (۱۹۹۳: ۱۵۱) رابطه الگوهای گردشی را با آبدهی حوضه لدینگ ریج بررسی کرد و نشان داد که نظر کومری (۱۹۹۲: ۲۱۰) که معتقد است توالی الگوهای گردشی توانایی تبیین رویدادهای محیطی را دارند درست است. به بیان دیگر سیلاب را نه تنها با در نظر گرفتن الگوی گردشی در روز رخداد بلکه با بررسی الگوهای گردشی چندین روز پیش از بروز سیلاب بهتر می‌توان شناخت. این واقعیت از یک‌سو نشان می‌دهد که الگوهای گردشی پیش از بروز سیلاب نقش مهمی در تعیین شرایط رطوبتی سطح حوضه دارند و به دلیل تعیین رطوبت پیشین در ضریب جریان حوضه نقش دارند و از سوی دیگر معرف این نکته است که در مطالعه‌ی سیلاب‌ها و عوامل هواشناختی پدیدآورنده‌ی آنها ناگزیریم سامانه‌های همدید بارانزا را از سرچشمه تا گورگاه آنها دنبال کنیم، تا بتوانیم شناخت کامل‌تری از رابطه‌ی الگوهای گردشی با سیلاب‌ها به‌دست آوریم.

## داده‌ها و روش شناسی

برای شناسایی رابطه‌ی الگوهای جریان هوا با سیلاب‌ها نیازمند سه مجموعه داده‌ی مختلف بوده‌ایم. یکی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، دوم داده‌های بارش و سوم داده‌های آبدهی رودخانه. چون در اینجا هدف ما شناسایی رفتار هیدرولوژیک حوضه در سیلابی‌ترین سال کارون بوده است داده‌های آبدهی روزانه کارون در ایستگاه آب‌سنجی شالو را در دوره ۱۳۷۴-۱۳۳۶ گردآوری و بر مبنای آن شاخص سیلاب روزانه و سالانه را محاسبه کردیم. این بررسی نشان داد که سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ سیلابی‌ترین سال کارون بوده است. بر این اساس داده‌های بارش روزانه ۱۲۴ ایستگاه باران سنجی گردآوری و نقشه‌های بارش روزانه حوضه از اول مهرماه ۱۳۷۱ تا ۳۱ شهریور ۱۳۷۲ ترسیم و مشخصات آماری هر نقشه شامل میانگین مکانی بارش، انحراف معیار مکانی بارش و درصد گسترده بارش را محاسبه کرده‌ایم. به این ترتیب خصوصیات بارش هر روز مشخص شد.

برای شناسایی روزهای سیلابی میانگین بلند مدت آبدهی رودخانه در هر روز را معادل جریان پایه در نظر گرفتیم و بر این اساس رواناب مستقیم را محاسبه کردیم. به این ترتیب زمان آغاز و پایان سیلابها مشخص شد. سپس ویژگی‌های اساسی هر سیلاب مانند زمان پایه، زمان تا اوج، زمان فروکش، دبی اوج، ارتفاع رواناب مستقیم و حجم تخلیه برای هر سیلاب جداگانه محاسبه شد.

برای شناسایی الگوهای گردشی، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای GMT ۱۲۰۰ در طی اول مهرماه ۱۳۷۱ تا ۳۱ شهریور ۱۳۷۲ برای قلمرو ۱۰ تا ۷۰ درجه‌ی شرقی و ۱۰ تا ۶۰ درجه‌ی شمالی با تفکیک مکانی  $۲/۵ \times ۲/۵$  از پایگاه داده NCAR استخراج و پردازش شد. به این ترتیب نقشه‌ی هر روز شامل ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی یک ماتریس  $۲۹ \times ۲۱$  بوده است.

در این بررسی از روش گردشی به محیطی استفاده شده است. به بیان دیگر نخست نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل را طبقه‌بندی کرده و الگوهای گردشی را شناسایی نمودیم و سپس مقدار آبدهی و بارش در طی حاکمیت هر یک از الگوهای گردشی را مشخص کردیم. برای طبقه‌بندی نقشه‌ها ابتدا همه آنها استاندارد گردید تا الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال صرف‌نظر از شدت آنها به دست آیند. سپس داده‌های استاندارد شده را به حالت S آرایش دادیم و یک ماتریس  $۳۶۵ \times ۵۲۵$  شامل ۵۲۵ پیکسل برای ۳۶۵ روز سال فراهم آوردیم. سپس یک تحلیل مؤلفه‌ی مبنا بر روی ماتریس همپراش اجرا کردیم و مؤلفه‌هایی که بیش از یک درصد تغییرات را تبیین می‌کردند به عنوان مؤلفه‌های مهم نگه داشتیم. به این ترتیب تقریباً ۱۳ مؤلفه‌ی مهم شناسایی شد که در مجموع حدود ۹۴ درصد تغییرات آرایش توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قلمرو مورد بررسی را تبیین می‌کردند (جدول ۳). تحلیل مؤلفه‌ی مبنا منجر به تجزیه‌ی ماتریس زمان-مکان داده‌ها به دو ماتریس الگوهای زمانی (ماتریس نمرات به ابعاد  $۱۳ \times ۳۶۵$ ) و الگوهای مکانی (ماتریس بارها به ابعاد  $۱۳ \times ۵۲۵$ ) می‌شود. ماتریس بارها به کمک نرم‌افزار سرفر به نقشه‌ی مؤلفه‌ها و ماتریس نمرات در محیط اکسل به نمودار مؤلفه‌ها تبدیل شد. چون الگوی توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر یک از روزهای سال ترکیبی از ۱۳ مؤلفه‌ی یاد شده است برای شناسایی شبیه‌ترین ترکیبات و دستیابی به الگوهای گردشی یک تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس نمرات مؤلفه‌ها انجام دادیم و به این ترتیب شش الگوی گردشی متفاوت به دست آمد. به این ترتیب الگوی گردشی هر یک از روزها معلوم شد. چون برای هر یک از روزها مقدار بارش و رواناب مستقیم نیز محاسبه شده بود امکان بررسی رابطه الگوهای گردشی با رواناب و بارش حوضه فراهم آمد. در بخش بعدی ویژگی‌های بارش، رواناب و الگوهای گردشی را با تفصیل بیشتر بررسی خواهیم کرد.

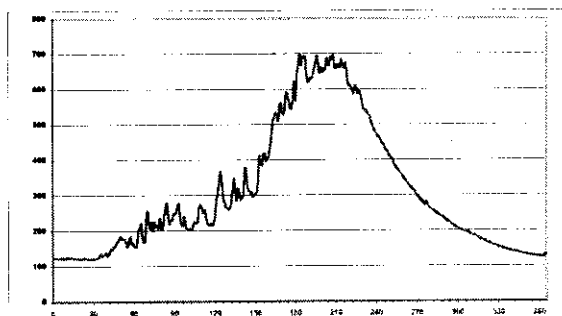
### رژیم جریان کارون

حوضه‌های غربی ایران شامل کرخه، دز و کارون سالانه بطور متوسط نزدیک به ۲۴ میلیارد مترمکعب رواناب دارند. سهم کرخه از این رواناب نزدیک به ۶ میلیارد مترمکعب، سهم دز نزدیک به ۸ میلیارد مترمکعب و سهم کارون نزدیک به ۱۰ میلیارد مترمکعب است. بنابراین کارون را می‌توان پرآب‌ترین رودخانه‌ی کشور دانست. با این حال از دیدگاه توان آبدهی حوضه‌ی دز با آبدهی ویژه ۱۶/۱ لیتر بر ثانیه از کیلومترمربع آبخیزترین حوضه‌ی غربی کشور است و پس از آن کارون با آبدهی ویژه ۱۳/۲ لیتر بر ثانیه از کیلومترمربع و کرخه با آبدهی ویژه ۴/۴ لیتر بر ثانیه از کیلومترمربع قرار دارند.

این سه حوضه‌ی غربی ایران با وجود اختلافاتی که از نظر حجم رواناب و توان آبدهی با یکدیگر دارند، به دلیل همانندی رژیم بارش از رژیم جریان یکسانی برخوردار هستند. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که رژیم جریان این سه حوضه دارای چهار مرحله‌ی مختلف است. این مرحله‌های چهارگانه را در مورد کارون بررسی می‌کنیم (تصویر ۱). مرحله‌ی اول که می‌توان آن را مرحله‌ی آرمش نامید تقریباً ۶۰ روز طول می‌کشد و منطبق بر ماه‌های شهریور و مهر است. در این دوره نوسان آب بسیار کم است و آبدهی رودخانه بطور متوسط در اطراف ۱۲۷ متر مکعب در ثانیه نوسان می‌کند. مرحله‌ی دوم دوره‌ی خیزش است که حدود ۱۳۳ روز طول می‌کشد و شامل ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و نیمه اول اسفند است. در این دوره آبدهی کارون بین ۱۲۰ تا ۵۰۰ متر مکعب در ثانیه است و با رفتاری پلکانی رو به افزایش می‌گذارد. میانگین آبدهی حوضه در این دوره حدود ۲۴۰ متر مکعب در ثانیه است. مرحله‌ی سوم ۶۳ روز بطول می‌انجامد و شامل نیمه‌ی دوم اسفند، فروردین و نیمه اول اردیبهشت است. در این دوره آبدهی در اوج قرار دارد و می‌توان آنرا دوره‌ی بالش نامید. در این دوره آبدهی رودخانه بین ۵۰۰ تا حدود ۸۴۰ متر مکعب در ثانیه نوسان دارد و به طو متوسط آبدهی حوضه حدود ۶۳۰ متر مکعب در ثانیه است.

مرحله‌ی چهارم که از نیمه‌ی دوم اریبهشت آغاز می‌شود و ماه‌های خرداد، تیر و مرداد را در برمی‌گیرد دوره‌ی فروکش آب در کارون است. در این دوره آبدهی کارون در ظرف حدود ۱۱۰ روز از ۶۱۰ مترمکعب در ثانیه به ۱۵۰ مترمکعب در ثانیه افت می‌کند و میانگین آبدهی حوضه در طی این دوره حدود ۳۰۰ مترمکعب در ثانیه است.

در حوضه‌ی کارون دو فصل طغیان دیده می‌شود یکی در حوالی آذرماه یعنی در دوره‌ی خیزش و دیگری در حوالی فروردین‌ماه یعنی در طی دوره‌ی بالش. چون منابع تغذیه‌ی رودخانه در این دو دوره متفاوت است ماهیت سیلاب‌هایی که در این دو دوره رخ می‌دهند نیز با یکدیگر متفاوت است و باید بطور جداگانه بررسی شود.



تصویر ۱: رژیم جریان کارون تا شالو ۱۳۷۴-۱۳۳۵ (زمان برحسب روز از اول مهر، آبدهی برحسب مترمکعب بر ثانیه)

### شاخص سیلاب

برای ارزیابی شدت طغیان و دستیابی به یک رتبه‌بندی از سال‌های طغیانی شاخص سیلاب روزانه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DFI = (dd - mdd)/Sd \quad (1)$$

در اینجا DFI شاخص سیلاب روزانه برای هر روز در هر سال، dd آبدهی روزانه برای هر روز در هر سال، mdd میانگین آبدهی روزانه و Sd انحراف معیار آبدهی روزانه است. از جمع شاخص‌های سیلاب روزانه برای هر سال شاخص سیلاب سالانه به دست می‌آید و بر این پایه سال‌های طغیانی رتبه‌بندی می‌شوند. بررسی شاخص سیلاب سالانه کارون نشان می‌دهد که در مجموع دهه‌های ۱۳۴۰، ۱۳۳۰ و تا اندازه‌ای هم دهه‌ی ۱۳۵۰ سال‌های کم‌آبی و دهه‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۰ دوره‌های طغیانی کارون بوده‌اند (تصویر ۲). همچنان‌که شاخص سیلاب سالانه نشان می‌دهد در کارون سال‌های آبی به مبدأ ۱۳۷۱، ۱۳۵۴، ۱۳۵۸، ۱۳۷۰، ۱۳۶۵، ۱۳۷۳ و ۱۳۴۷ به ترتیب سیلابی‌ترین سال‌های آبی کارون بوده‌اند. با توجه به اینکه شاخص سیلاب سالانه نشان‌دهنده‌ی آن است که سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲ سیلابی‌ترین سال کارون بوده است ویژگی‌های بارش، رواناب و الگوهای گردشی این سال را بررسی می‌کنیم.

### ویژگی‌های بارش سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲

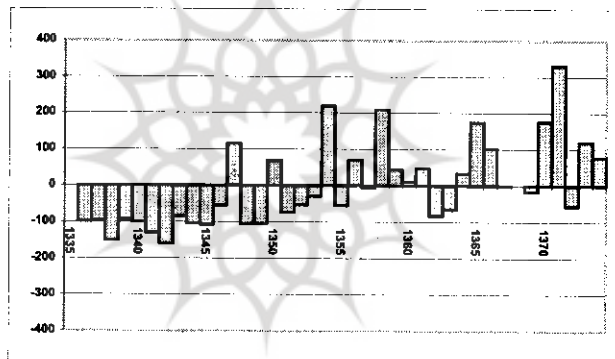
در این سال ۲۷ خوشه‌ی بارش در حوضه‌ی کارون رخ داده است (تصویر ۳) که از C1 تا C27 نامگذاری شدند (جدول ۱). یک خوشه بارش به یک یا چند روز بارش متوالی گفته می‌شود که در هیچ روزی میانگین ارتفاع بارش روی حوضه از ۰/۰۱ میلیمتر کمتر نبوده باشد. طول متوسط هر خوشه بارش حدود ۶ روز بوده است. به بیان دیگر عمر متوسط سامانه‌های بارانزایی که بر روی کارون باریده‌اند ۶ روز بوده است. در هر خوشه بارش بطور متوسط نزدیک به ۳۳ میلیمتر ریزش بر روی کارون رخ داده است. این بدان معناست که هر خوشه بارش

حدود ۷۷۰ میلیون مترمکعب آب به حوضه تزریق کرده است. مقدار ریزش نزدیک به ۶۰ درصد خوشه بارش‌های این سال آبی کمتر از آستانه‌ی انگیزختگی هیدرولوژیک کارون بوده است که می‌توان آنها را خوشه‌های نازا نامید. انجام یک تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد بر روی داده‌های خوشه بارش‌ها (جدول ۱) روشن ساخت که خوشه بارش‌های سال آبی مورد بررسی را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد (تصویر ۴).

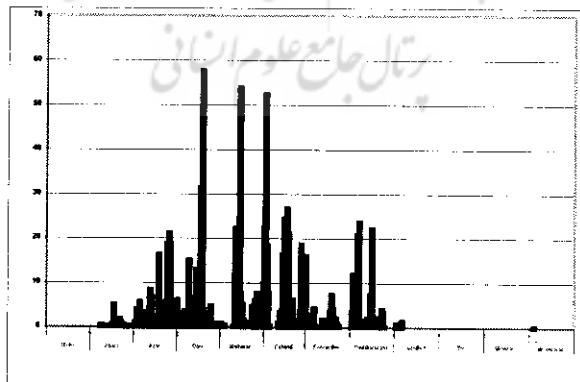
گروه اول شامل خوشه بارش‌های سبک که در آغاز و پایان فصل ریزش رخ می‌دهند. دوام و مقدار ریزش این گروه کم است.

گروه دوم شامل خوشه بارش‌های متوسط است که دوام و مقدار ریزش آنها درحد متوسط است (مانند خوشه بارش C4).

گروه سوم شامل خوشه بارش‌های سنگین است که از دوام و ریزش زیادی برخوردارند و سیلاب‌های بزرگ حوضه ارتباط نزدیکی با این‌گونه خوشه بارش‌ها دارد (مانند خوشه بارش C11).



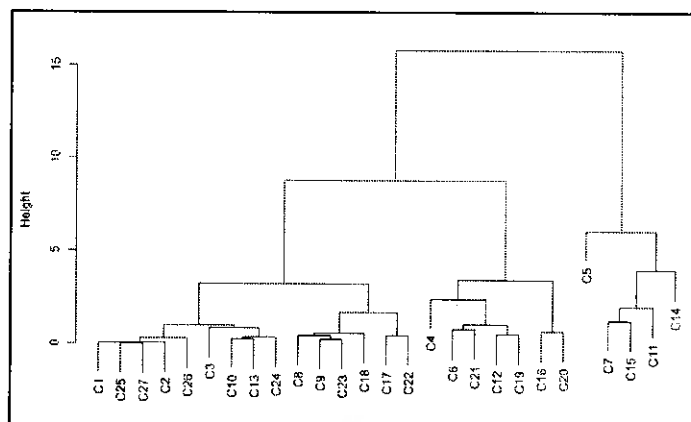
تصویر ۴: شاخص سیلاب سالانه کارون تا شالو برای دوره ۱۳۷۴-۱۳۳۵ (زمان برحسب سال، شاخص سیلاب بدون بعد)



تصویر ۳: خوشه بارش‌های سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲ کارون تا شالو (زمان برحسب سال، بارش بر حسب میلی‌متر)

جدول ۱: ویژگی‌های خوشه بارش‌های سال ۱۳۷۱-۱۳۷۲ کارون تا شالو

| خوشه بارش | آغاز     | پایان    | دوام<br>(روز) | درصد<br>گستره | بارش<br>(میلیمتر) | شدت<br>(میلیمتر) | حجم (میلیون<br>متر مکعب) |
|-----------|----------|----------|---------------|---------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| C1        | ۷۱/۷/۲۵  | ۷۱/۷/۲۵  | ۱             | ۰/۴۱          | -۰/۰۱             | -۰/۰۱            | ۰/۲۳                     |
| C2        | ۷۱/۸/۱   | ۷۱/۸/۱   | ۱             | ۱/۲۴          | -۰/۰۱             | -۰/۰۱            | ۰/۲۳                     |
| C3        | ۷۱/۸/۸   | ۷۱/۸/۱۱  | ۴             | ۸/۳           | -۰/۵۸             | -۰/۱۵            | ۱۳/۵۷                    |
| C4        | ۷۱/۸/۱۵  | ۷۱/۸/۲۷  | ۱۳            | ۳۲/۵          | ۱۲/۹۱             | -۰/۹۹            | ۳۰۲/۰۹                   |
| C5        | ۷۱/۹/۱   | ۷۱/۹/۲۹  | ۲۹            | ۵۳/۱          | ۱۲۶/۵۳            | ۴/۳۶             | ۲۹۶۰/۸                   |
| C6        | ۷۱/۱۰/۱  | ۷۱/۱۰/۱۰ | ۱۰            | ۵۸/۵          | ۳۵/۰۳             | ۳/۵              | ۸۱۹                      |
| C7        | ۷۱/۱۰/۱۲ | ۷۱/۱۰/۲۷ | ۱۶            | ۶۰            | ۱۳۶/۷۹            | ۸/۵۵             | ۳۲۰۰/۸۹                  |
| C8        | ۷۱/۱۰/۲۹ | ۷۱/۱۰/۲۹ | ۱             | ۳۰/۹          | -۰/۸۵             | -۰/۸۵            | ۱۹/۸۹                    |
| C9        | ۷۱/۱۱/۱  | ۷۱/۱۱/۱  | ۱             | ۲۲/۱          | -۰/۸۴             | -۰/۸۴            | ۱۹/۶۶                    |
| C10       | ۷۱/۱۱/۴  | ۷۱/۱۱/۴  | ۱             | ۷/۹           | -۰/۵              | -۰/۵             | ۱۱/۷                     |
| C11       | ۷۱/۱۱/۱۰ | ۷۱/۱۱/۱۸ | ۹             | ۷۵/۶          | ۱۲۴/۳۲            | ۱۳/۸۱            | ۲۹۰۹/۰۹                  |
| C12       | ۷۱/۱۱/۲۲ | ۷۱/۱۱/۲۷ | ۶             | ۶۳/۲          | ۲۳/۱۹             | ۳/۸۷             | ۵۴۲/۶۵                   |
| C13       | ۷۱/۱۱/۲۹ | ۷۱/۱۱/۲۹ | ۱             | ۱۳/۲          | -۰/۰۷             | -۰/۰۷            | ۱/۶۴                     |
| C14       | ۷۱/۱۲/۱  | ۷۱/۱۲/۵  | ۵             | ۸۱/۵          | ۱۰۰/۸۸            | ۲۰/۱۸            | ۲۳۶۰/۵۹                  |
| C15       | ۷۱/۱۲/۱۱ | ۷۱/۱۲/۲۲ | ۱۲            | ۷۰/۶          | ۱۱۵/۸۸            | ۹/۶۶             | ۲۷۱۱/۵۹                  |
| C16       | ۷۱/۱۲/۲۴ | ۷۲/۱/۲   | ۸             | ۶۷/۵          | ۶۷/۵۶             | ۸/۴۵             | ۱۵۸۰/۹                   |
| C17       | ۷۲/۱/۵   | ۷۲/۱/۸   | ۴             | ۴۱/۴          | ۶/۵               | ۱/۶۳             | ۱۵۲/۱                    |
| C18       | ۷۲/۱/۱۲  | ۷۲/۱/۱۴  | ۳             | ۳۲            | ۲/۵۴              | -۰/۸۵            | ۵۹/۴۴                    |
| C19       | ۷۲/۱/۱۸  | ۷۲/۱/۲۴  | ۷             | ۵۶/۲          | ۱۸/۰۱             | ۲/۵۷             | ۴۲۱/۴۳                   |
| C20       | ۷۲/۲/۱   | ۷۲/۲/۱۰  | ۱۰            | ۶۰/۶          | ۶۷/۷۲             | ۶/۷۷             | ۱۵۸۴/۶۵                  |
| C21       | ۷۲/۲/۱۲  | ۷۲/۲/۱۸  | ۷             | ۶۰/۸          | ۳۵/۶              | ۵/۰۹             | ۸۳۲/۰۴                   |
| C22       | ۷۲/۲/۱۹  | ۷۲/۲/۲۴  | ۶             | ۴۲/۷          | ۱۰/۱۸             | ۱/۷              | ۲۳۸/۲۱                   |
| C23       | ۷۲/۲/۳۱  | ۷۲/۳/۱   | ۲             | ۲۲/۵          | -۰/۷              | -۰/۳۵            | ۱۶/۳۸                    |
| C24       | ۷۲/۳/۴   | ۷۲/۳/۴   | ۱             | ۱۲/۸          | ۱/۳۲              | ۱/۳۲             | ۳۰/۸۹                    |
| C25       | ۷۲/۵/۱۶  | ۷۲/۵/۱۶  | ۱             | -۰/۰۲         | -۰/۰۲             | -۰/۰۲            | -۰/۴۷                    |
| C26       | ۷۲/۶/۲   | ۷۲/۶/۳   | ۲             | -۰/۰۱         | -۰/۱۲             | -۰/۰۶            | ۲/۸۱                     |
| C27       | ۷۲/۶/۲۰  | ۷۲/۶/۲۰  | ۱             | -۰/۰۱         | -۰/۰۳             | -۰/۰۳            | -۰/۷                     |



تصویر ۴: طبقه بندی خوشه بارش‌های سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲ کارون تا شالو

#### ویژگی‌های آبی سال ۱۳۷۱-۱۳۷۲

با توجه به شاخص سیلاب سالانه این سال آبی طغیانی‌ترین سال کارون به شمار می‌آید. ارتفاع کل رواناب خروجی حوضه در این سال حدود ۸۴۰ میلی‌متر بوده است که در مقایسه با میانگین بلندمدت ارتفاع رواناب حوضه حدود دو برابر است. این رواناب حاصل حدود ۸۸۹ میلی‌متر بارش بوده است که طی ۲۷ خوشه بارش در ۱۶۲ روز بارش باریده است. از ۲۷ خوشه بارش یاد شده ۱۳ سیلاب کوچک و بزرگ در کارون پدید آمده است که از F1 تا F13 نامگذاری شدند (جدول ۲). دبی اوج این سیلاب‌ها بین ۱/۲ تا ۱۳/۲ میلی‌متر و زمان پایه آنها بین ۵ تا ۲۲ روز بوده است. مجموع زمان پایه سیلاب‌های این سال ۱۳۰ روز بوده که ۳۴ روز آن در بخش بالا رونده و ۹۶ روز آن در بازوی فروکش آبنمود جا داشته است. این ویژگی‌ها نمایانگر یک سال سیلابی در کارون است (تصویر ۵). مقایسه‌ی مقدار بارش کل هریک از خوشه‌ها با مقدار رواناب خروجی حوضه در طی سیلاب نشانگر همبستگی قوی این دو متغیر با ضریب همبستگی ۰/۹۰۱ به یکدیگر است. مقدار رواناب کارون در زمان طغیان در این سال تابع خطی بارش است و از رابطه‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$R = 0.27 (P - 14.7) \quad (2)$$

در اینجا P ارتفاع کل بارش فرو باریده در طی یک خوشه بارش برحسب میلی‌متر و R ارتفاع رواناب در طی طغیان ناشی از همان خوشه بارش است. این رابطه نشان می‌دهد که خوشه‌های بارش کمتر از حدود ۱۵ میلی‌متر، رواناب تولید نکرده‌اند. به بیان دیگر آستانه‌ی

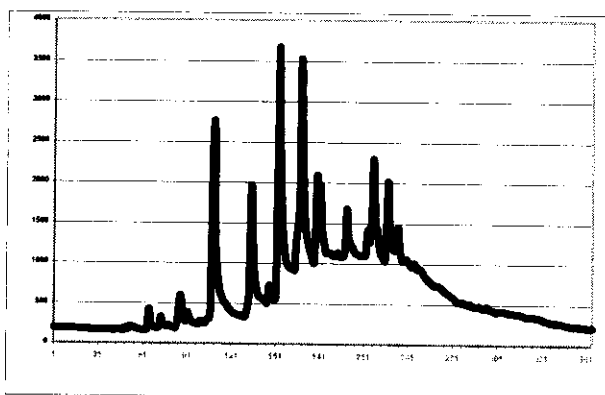


انگیزش هیدرولوژیک در حوضه در این سال آبی حدود ۱۵ میلیمتر بوده است. آستانه‌ی انگیزش هیدرولوژیک تعیین‌کننده‌ی کمترین مقدار بارشی است که منجر به تولید رواناب در حوضه شود و بشدت تابعی از شرایط فیزیکی سطح زمین، رطوبت پیشین و درجه بعدی تابعی از ویژگی‌های بارش است. از سوی دیگر رابطه‌ی ۲ نشان می‌دهد که حدود ۲۷ درصد از بارش خوشه بارش‌هایی که از آستانه‌ی انگیزش هیدرولوژیک حوضه بالاتر بوده‌اند به رواناب تبدیل می‌شود. به بیان دیگر برای تولید ۱۰ میلیمتر رواناب نزدیک به ۵۲ میلیمتر بارش نیاز است.

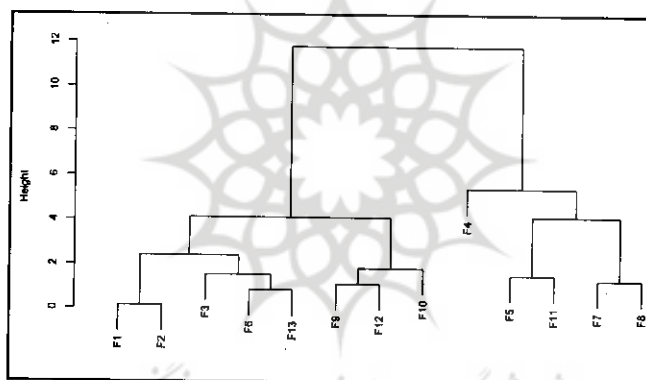
جدول ۲: ویژگی‌های سیلاب‌های سال ۱۳۷۱-۱۳۷۲ کارون تا شالو

| سیلاب | آغاز     | پایان    | زمان پایه (روز) | زمان تا اوج (روز) | زمان فروکش (روز) | دبی اوج (میلیمتر) | ارتفاع رواناب (میلیمتر) | حجم تخلیه (میلیون متر مکعب) |
|-------|----------|----------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| F1    | ۷۱/۹/۴   | ۷۱/۹/۹   | ۵               | ۱                 | ۴                | ۱/۵۳              | ۱/۳۱                    | ۳۰/۶۵                       |
| F2    | ۷۱/۹/۱۲  | ۷۱/۹/۱۷  | ۵               | ۱                 | ۴                | ۱/۱۹              | ۰/۸۱                    | ۱۸/۹۵                       |
| F3    | ۷۱/۹/۲۳  | ۷۱/۹/۳۰  | ۷               | ۳                 | ۴                | ۲/۱۴              | ۳/۷۴                    | ۸۷/۵۲                       |
| F4    | ۷۱/۱۰/۱۶ | ۷۱/۱۱/۸  | ۲۲              | ۳                 | ۱۹               | ۹/۸۸              | ۲۸/۹۴                   | ۲۸/۹۴                       |
| F5    | ۷۱/۱۱/۱۰ | ۷۱/۱۱/۲۵ | ۱۵              | ۴                 | ۱۱               | ۶/۹۴              | ۱۷/۵۹                   | ۴۱۱/۶۱                      |
| F6    | ۷۱/۱۱/۲۵ | ۷۱/۱۱/۳۰ | ۵               | ۲                 | ۳                | ۲/۶۱              | ۱/۷۱                    | ۴۱/۴۲                       |
| F7    | ۷۱/۱۱/۳۰ | ۷۱/۱۲/۱۴ | ۱۴              | ۳                 | ۱۱               | ۱۴/۲۳             | ۳۲/۳۳                   | ۷۵۶/۵۲                      |
| F8    | ۷۱/۱۲/۱۴ | ۷۱/۱۲/۲۷ | ۱۳              | ۴                 | ۹                | ۱۲/۶۷             | ۲۸/۷                    | ۶۷۱/۵۸                      |
| F9    | ۷۱/۱۲/۲۷ | ۷۲/۱/۶   | ۸               | ۲                 | ۶                | ۷/۴۸              | ۱۴/۳۳                   | ۳۳۵/۳۲                      |
| F10   | ۷۲/۱/۱۸  | ۷۲/۱/۲۹  | ۱۱              | ۲                 | ۹                | ۶/۰۲              | ۵/۳۹                    | ۱۲۶/۱۳                      |
| F11   | ۷۲/۲/۲   | ۷۲/۲/۱۵  | ۱۳              | ۵                 | ۸                | ۸/۲۷              | ۱۵/۰۷                   | ۳۵۲/۶۴                      |
| F12   | ۷۲/۲/۱۵  | ۷۲/۲/۲۲  | ۷               | ۲                 | ۵                | ۷/۲۵              | ۷/۳۷                    | ۱۷۲/۴۶                      |
| F13   | ۷۲/۲/۲۲  | ۷۲/۲/۲۷  | ۵               | ۲                 | ۳                | ۵/۲۴              | ۲/۲۲                    | ۵۱/۹۵                       |

با توجه به اطلاعات جدول ۲ روشن می‌شود که سیلاب‌های کارون در این سال از لحاظ ویژگی‌های آبنمود تفاوت‌ها و شباهت‌هایی با یکدیگر داشته‌اند. انجام یک تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های این جدول نشان داد که در یک طبقه‌بندی کلی دو نوع سیلاب در کارون می‌توان تشخیص داد (تصویر ۶). دسته‌ی اول سیلاب‌های کوچک هستند که عمدتاً در آغاز و پایان فصل ریزش رخ داده‌اند. زمان پایه‌ی این سیلاب‌ها کوتاه و دبی اوج آن‌ها کوچک بوده است. دسته‌ی دوم سیلاب‌های بزرگ هستند که عمدتاً در میانه‌ی سال آبی رخ داده‌اند و زمان پایه‌ی آنها طولانی و دبی اوج آنها بزرگ است. F1 نمونه‌ای از سیلاب‌های کوچک و F4 نمونه‌ای از سیلاب‌های بزرگ کارون در این سال بوده است.



تصویر ۵: آبدهی روزانه کارون تا شالو در سال ۱۳۷۱-۱۳۷۲  
(زمان برحسب روز، آبدهی برحسب مترمکعب در ثانیه)



تصویر ۶: طبقه‌بندی سیلاب‌های سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲ کارون تا شالو

### بحث

چنان‌که پیش از این گفتیم تحلیل مؤلفه‌ی مبنا وجود سیزده مؤلفه‌ی مهم را در قلمرو مورد بررسی آشکار ساخت. این مؤلفه‌ها به مثابه عناصر اصلی تشکیل‌دهنده‌ی جریان‌های جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هستند که ترکیب آنها با نسبت‌های مختلف و با علامات جبری مختلف الگوهای مشاهداتی را پدید می‌آورند.

مؤلفه‌ی اول ۳۴ درصد تغییرات الگوهای جریانی را تبیین می‌کند (جدول ۳) و نماینده حاکمیت یک پراتفاح با کشیدگی تقریباً مداری است که بخش بزرگی از ایران را در برمی‌گیرد و مرکز آن در جنوب دریای سیاه است. در دو سوی این پراتفاح دو قلمرو کم‌ارتفاع دیده می‌شود که یکی از آنها از شمال ایتالیا و دریای سیاه تا اروپای شمالی را در بر گرفته و دیگری

در عرض‌های پایین مستقر است و بخشی از جنوب شرق ایران را هم می‌پوشاند (تصویر ۷). بررسی الگوهای زمانی این مؤلفه نشان می‌دهد که این مؤلفه از اوایل آذر تا اواخر اردیبهشت‌ماه در فاز منفی قرار داشته و در بقیه‌ی سال در فاز مثبت بوده است (تصویر ۸). به عبارت دیگر از اوایل آذر تا اواخر اردیبهشت‌ماه شاهد حاکمیت یک کم‌ارتفاع در عرض‌های میان ۲۵ تا ۴۵ درجه و حاکمیت پرارتفاع در دوسوی این قلمرو هستیم. در این شرایط بخش بزرگی از ایران زیر نفوذ سامانه‌ی کم‌ارتفاع قرار می‌گیرد.

مؤلفه‌ی دوم ۲۰ درصد تغییرات را تبیین می‌کند و نماینده‌ی حاکمیت یک کم‌ارتفاع به مرکزیت دریای آدریاتیک است. شمال ایران همچون پلی رابطه‌ی این کم‌ارتفاع را با سامانه کم‌ارتفاعی که بر روی افغانستان دیده می‌شود برقرار می‌سازد اما دیگر نقاط ایران زیر نفوذ پرارتفاع است (تصویر ۹). در الگوی زمانی این مؤلفه رفتاری شبه دوره‌ای مشاهده می‌شود (تصویر ۱۰). در طی سال مورد بررسی این مؤلفه بارها از فاز مثبت به منفی و از منفی به مثبت انتقال یافته است. این رفتار می‌تواند معرف وجود یک کانون چرخندزایی بر روی دریای آدریاتیک باشد که به تناوب فعال و غیرفعال می‌شود ولی در زمستان و پاییز فعال‌تر بوده است. مؤلفه‌ی سوم ۱۰ درصد تغییرات الگوهای جریانی را تبیین می‌کند و نماینده‌ی حاکمیت یک کم‌ارتفاع عمیق با کشیدگی نصف‌النهاری است که مرکز آن در شمال دریای سیاه مستقر است. شمال‌غرب، شمال، غرب و جنوب ایران زیر نفوذ این کم‌ارتفاع است. در دو سوی این کم‌ارتفاع که شاید بتوان آن‌را نماینده‌ی فرود عمیق مدیترانه دانست دو هسته‌ی پرارتفاع یکی بر روی اروپای غربی و دیگری بر روی روسیه دیده می‌شود (تصویر ۱۱). این مؤلفه در آبان و آذر، اسفند، فروردین و اردیبهشت فعال‌تر است (تصویر ۱۲) و در دیگر اوقات سال تقریباً خاموش است (یعنی این مؤلفه حول و حوش صفر نوسان می‌کند).

مؤلفه‌ی چهارم ۷ درصد تغییرات را تبیین می‌کند و نماینده‌ی استقرار یک پر ارتفاع با کشیدگی مداری است که مرکز آن بر روی شمال شرق ایران بسته می‌شود. ایران بطور کامل زیر نفوذ این پرارتفاع است در شمال این پرارتفاع یک کم‌ارتفاع کشیده دوکانونی دیده می‌شود که یکی از کانون‌های آن بر روی شمال غرب ایتالیا و کانون دیگر آن بر روی شمال روسیه مسقر است (تصویر ۱۳). این مؤلفه در اوایل و اواخر سال آبی فعال‌تر بوده و در مواقع سال کم و بیش فعال بوده است (تصویر ۱۴). در میانه‌ی سال آبی که ماهانه‌های کم‌فشار از ایران عبور می‌کرده‌اند این مؤلفه در فاز منفی قرار می‌گرفته است:

مؤلفه‌ی پنجم ۵ درصد تغییرات را تبیین می‌کند و نشانگر توالی مداری الگوهای پرارتفاع و کم‌ارتفاع است. ایران زیر نفوذ یک پرارتفاع است ولی کم‌ارتفاعی که کانون آن روی دریای آزوف است می‌تواند تا اندازه‌ای شمال‌غرب ایران را متأثر سازد (تصویر ۱۵). این مؤلفه در اوایل سال آبی فعال‌تر بوده است (تصویر ۱۶).

مؤلفه‌ی ششم ۴/۵ درصد تغییرات جریان‌های تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال را تبیین می‌کند و معرف حاکمیت یک پراارتفاع بر روی مدیترانه است که مرکز آن بر روی جزیره‌ی قبرس است. در دو سوی این پراارتفاع دو الگوی کم ارتفاع یکی بر روی ایران و یکی بر روی ایتالیا دیده می‌شود. هسته‌ی کم‌ارتفاعی که بر روی ایران مستقر است بین دریاچه‌ی خوارزم و دریای خزر با کشیدگی شمال‌غربی جنوب‌شرقی قرار دارد (تصویر ۱۷). این مولفه در میانه‌ی سال آبی فعال‌تر بوده است (تصویر ۱۸).

در اینجا برای رعایت اختصار از شرح مؤلفه‌های دیگر پرهیز می‌کنیم و تنها الگوهای گردشی حاصل از این مولفه‌ها را معرفی می‌کنیم. چنانکه گفتیم مؤلفه‌های اصلی به مثابه عناصر سازنده الگوهای گردشی هستند و ترکیب آنها به نسبت‌های مختلف و با علامت‌های متفاوت الگوی جریانی هر روز را شکل می‌دهد. بر پایه‌ی این استدلال یک تحلیل خوشه‌ای بر روی ۱۳ مؤلفه‌ی مهم انجام شد و شش الگوی گردشی برای سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ به دست آمد. پس از اینکه الگوی گردشی هرروز مشخص شد برای استخراج یک روز نماینده که الگوی مشاهده شده آن بتواند بهترین نمایشگر هر الگوی گردشی باشد روزهای همگروه را در یک تحلیل همبستگی وارد کردیم و روزی که با همه‌ی روزهای همگروه خود بالاترین همبستگی را نشان می‌داد به عنوان نماینده در نظر گرفتیم (جدول ۴). به این ترتیب روشن شد که مثلاً روز اول دسامبر ۱۹۹۲ که با همه‌ی افراد همگروه خود (۹۲روز) بالاترین همبستگی (۰/۵۳۲) را داشته بهترین نماینده الگوی گردشی شماره یک است (جدول ۴). برای دیگر الگوهای گردشی نیز به همین طریق روز نماینده تعیین و نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال آن ترسیم شد. به این ترتیب ویژگی‌های هر الگوی گردشی مشخص شد.

الگوی گردشی شماره یک در ۹۲ روز از سال دیده شده است و فراوانی آن در ماه‌های زمستانی بسیار بیشتر است (جدول ۵). این الگو نشان‌دهنده‌ی استقرار یک فرود عمیق بر روی مدیترانه است که محور آن از دریای سیاه تا غرب دریای سرخ امتداد دارد. ایران در نیمه شرقی فرود قرار گرفته است (تصویر ۱۹).

الگوی گردشی شماره دو در ۵۶ روز سال دیده شده است. این الگو عمدتاً در تابستان مشاهده می‌شود (جدول ۵). این الگو معرف حاکمیت یک فراز بر روی اروپا و یک فرود بر روی شرق خزر است. بخش‌های شمالی ایران زیر نفوذ فرود کم‌عمقی است که در شرق مدیترانه مستقر است ولی عمده‌ی ایران به‌ویژه بخش‌های جنوبی کشور زیر نفوذ یک هسته‌ی پراارتفاع است (تصویر ۲۰). روز ۲۷ می ۱۹۹۳ نماینده‌ی این الگو است (جدول ۴).

الگوی گردشی شماره‌ی سه در ۶۵ روز سال دیده شده است و عمدتاً در بهار دیده می‌شود (جدول ۵). مهمترین عناصر این الگو حاکمیت یک کم ارتفاع بر روی دریای آدریاتیک و یک

پرارترتفاع بر روی روسیه است. جریان هوا در ایران به پیروی از خطوط توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مداری است (تصویر ۲۱).

الگوی گردشی شماره چهار در ۵۱ روز سال دیده شده و عمدتاً در تابستان مشاهده شده است (جدول ۵) مهمترین خصوصیت این الگو استقرار یک پر ارتفاع گسترده بر روی ایران است (تصویر ۲۲).

الگوی گردشی شماره ۵ پنج در ۷۲ روز سال دیده شده و در اواخر تابستان و اوایل پاییز دیده شده است (جدول ۵). این الگو معرف عقب‌نشینی بادهای غربی به عرض‌های شمالی‌تر و استقرار یک پرارتفاع بسیار گسترده بر مناطق جنوب مدار ۴۰ درجه است (تصویر ۲۳).

الگوی گردشی شماره ۶ شش در ۲۹ روز سال مشاهده شده و در زمستان و بهار دیده می‌شود (جدول ۵). این الگو معرف یک فرود گسترده ولی مداری است که هسته‌ی آن در شمال‌شرق دریاچه‌ی خوارزم مستقر است و تا غرب ایتالیا امتداد می‌یابد. ایران در جنوب محور این فرود قرار گرفته است (تصویر ۲۴).

### رابطه‌ی الگوهای گردشی با رواناب و بارش حوضه

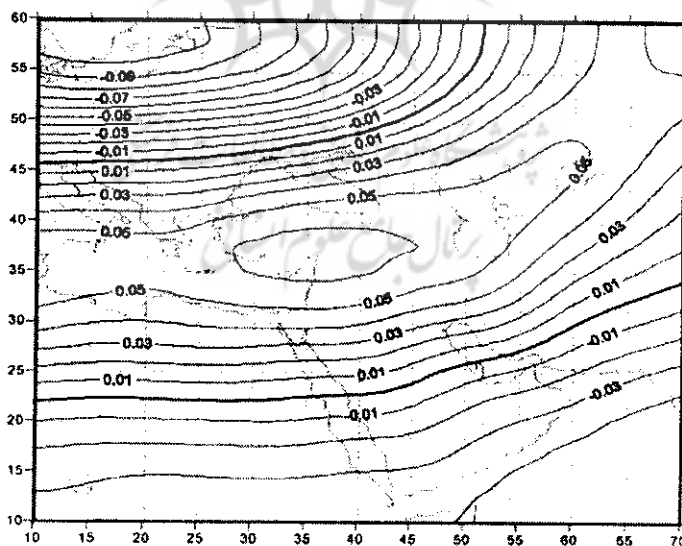
برای بررسی رابطه شش الگوی گردشی یاد شده مقدار رواناب مستقیم خارج شده از حوضه را در زمان حاکمیت هر یک از الگوها جداگانه محاسبه کردیم (جدول ۶). این بررسی نشان داد که بیش از ۵۰ درصد رواناب مستقیم حوضه در زمان حاکمیت الگوهای شماره یک و سه از حوضه خارج شده است. کمترین مقدار رواناب مستقیم در طی حاکمیت الگوی شماره چهار که الگویی تابستانی است از حوضه خارج شده است. در مجموع با توجه به اینکه رواناب ناشی از بارش با تأخیر از حوضه خارج می‌شود می‌توان گفت الگوهای گردشی به‌خوبی از عهده‌ی تبیین تغییرات رواناب برآمده‌اند. هر چند قدرت الگوها در تبیین تغییرات بارش بیش از تغییرات رواناب بوده است.

چهل درصد بارش حوضه در این سال آبی ناشی از فرود عمیق مستقر در شرق مدیترانه، ۳۸ درصد ناشی از کم ارتفاع عمیق مستقر بر روی دریای آدریاتیک و هدایت سامانه‌های بارانزای ناشی از آن به طرف ایران و ۱۴/۵ درصد نیز ناشی از ناپایداری‌های ناشی از فرود مداری مستقر بر روی عرض ۴۵ درجه است. بنابراین بیش از ۹۰ درصد بارش حوضه در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲ با الگوهای کم ارتفاع و فرودهای عمیق حاکم بر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مرتبط بوده است (جدول ۷). در عوض در زمان حاکمیت الگوهای پرارتفاع کمتر از ده درصد بارش حوضه مشاهده شده است.

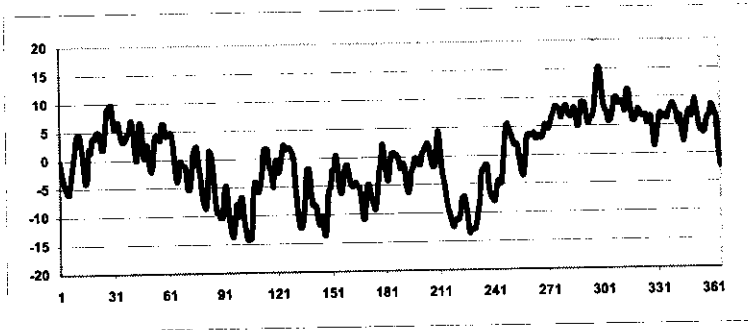
## نتیجه گیری

به نظر می‌رسد طبقه‌بندی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال به کمک تحلیل مؤلفه‌ی مبنا و تحلیل خوشه‌ای از توانایی زیادی در تبیین تغییرات بارش حوضه کارون برخوردار بوده است. این بررسی نشان داد که در بخش‌های مختلف سال الگوهای گردشی متفاوتی بر ایران حاکم می‌شوند که در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان آنها را به گروه الگوهای پرارتفاع و گروه الگوهای کم‌ارتفاع تقسیم کرد. الگوهای پرارتفاع با کمبود بارش و الگوهای کم‌ارتفاع با ریزش‌های زیاد بر روی ایران همراه می‌شوند.

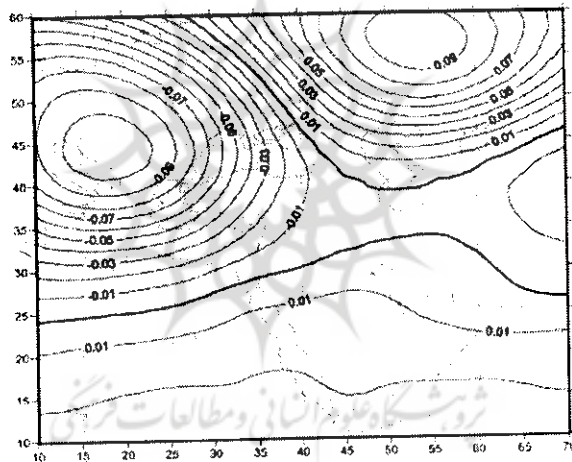
به نظر می‌رسد الگوهای گردشی که به این ترتیب به دست می‌آیند توانایی تبیین تغییرات آبدهی رودخانه‌ها و بارش حوضه‌ها را دارند ولی در تبیین تغییرات بارش قدرتمندتر هستند. بررسی سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ نشان داد که شش الگوی جریان جوی مهم بر ایران اثر می‌گذارند که شامل سه الگوی کم‌ارتفاع و سه الگوی پرارتفاع است. بررسی‌های نگارنده بر روی سی سال آمار روزانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که همین شش الگو را می‌توان به عنوان الگوهای اصلی جریان‌های جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در قلمرو مورد بررسی به شمار آورد. با تهیه‌ی زیجی که در آن نوع الگوی گردشی حاکم بر هر روز مشخص شده باشد می‌توان کمک بزرگی به شناخت پدیده‌های محیطی متنوعی مانند سیل، خشکسالی، تغییرات عملکرد محصولات کشاورزی، آلودگی هوا و... کرد.



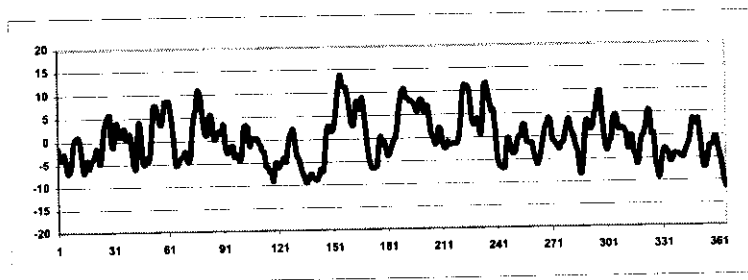
تصویر ۷: الگوی مکانی بارهای مؤلفه‌ی شماره‌ی یک



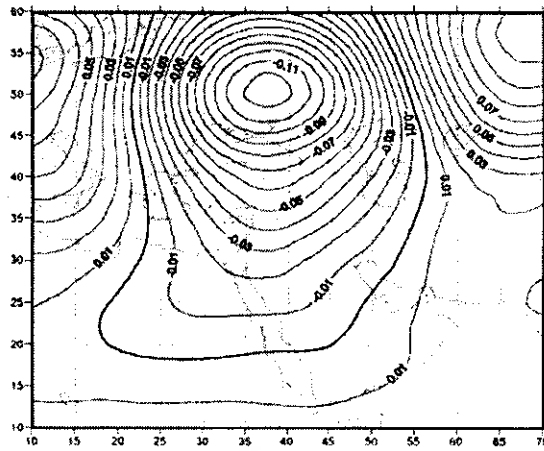
تصویر ۸: سری زمانی نمرات مؤلفه‌ی شماره‌ی یک



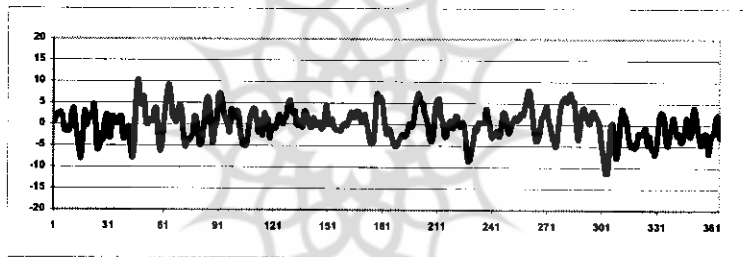
تصویر ۹: الگوی مکانی بارهای مؤلفه‌ی شماره‌ی دو



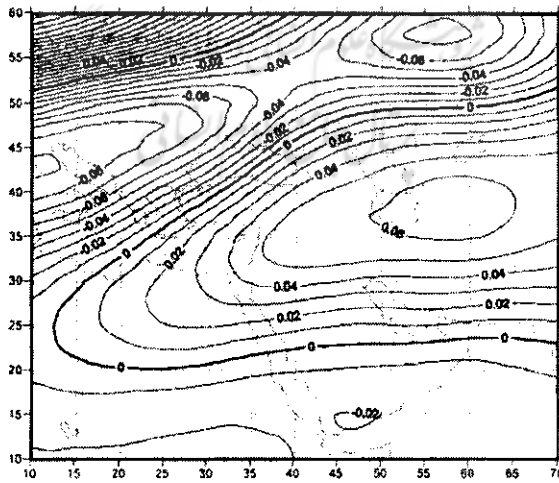
تصویر ۱۰: سری زمانی نمرات مؤلفه‌ی شماره‌ی دو



تصویر ۱۱: الگوی مکانی بارهای مؤلفه‌ی شماره‌ی سه

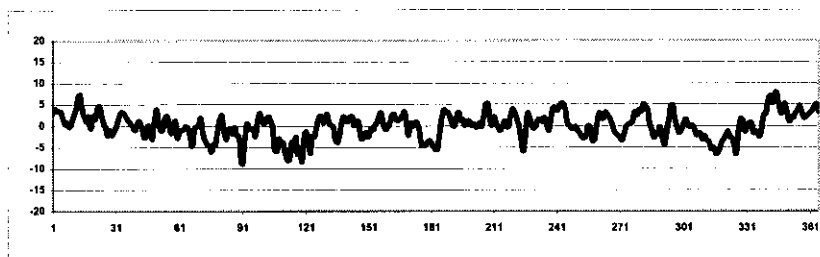


تصویر ۱۲: سری زمانی نمرات مؤلفه‌ی شماره‌ی سه

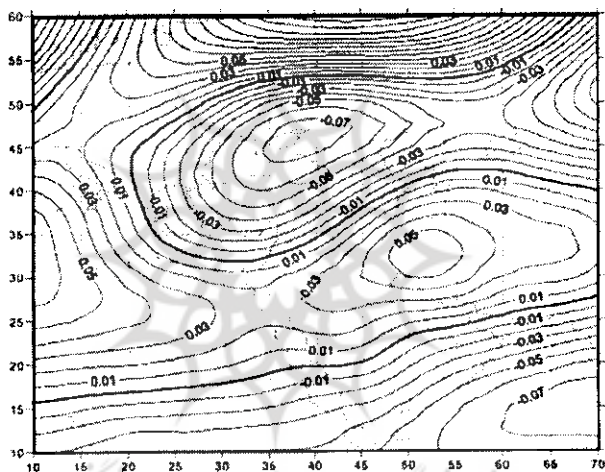


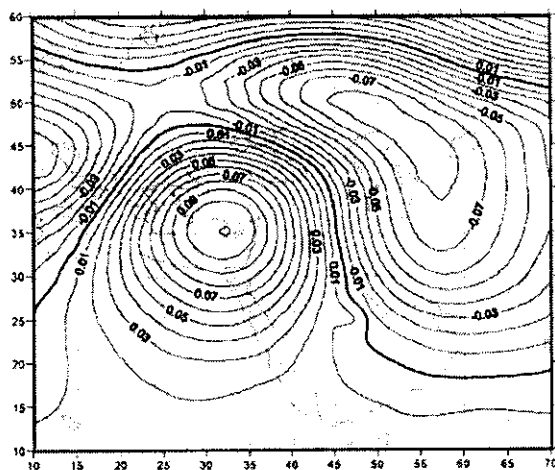
تصویر ۱۳: الگوی مکانی بارهای مؤلفه‌ی شماره‌ی چهار



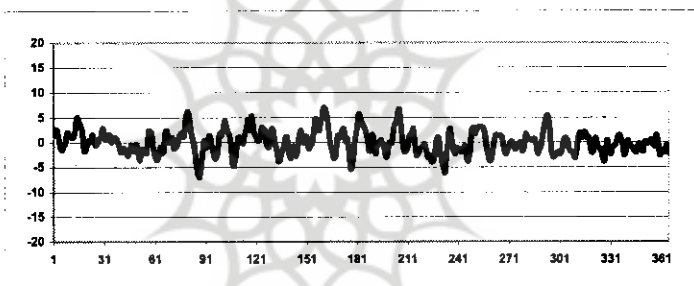


تصویر ۱۴: سری زمانی نمرات مؤلفه‌ی شماره‌ی چهار

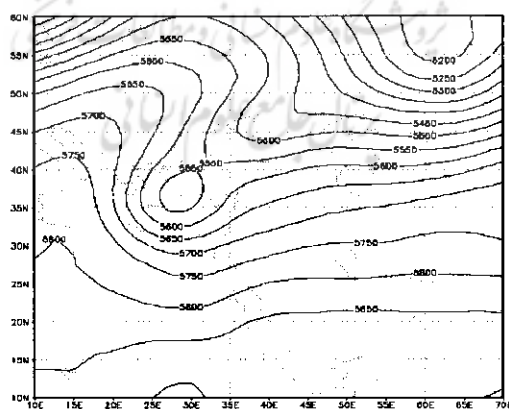




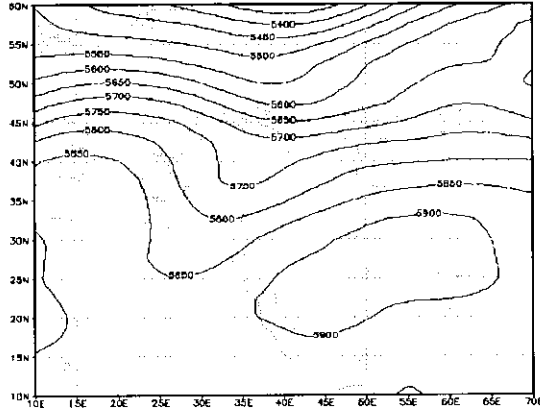
تصویر ۱۷: الگوی مکانی بارهای مؤلفه‌ی شماره‌ی شش



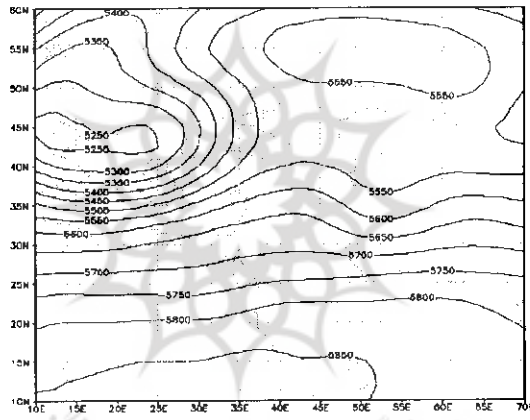
تصویر ۱۸: سری زمانی نمرات مؤلفه‌ی شماره‌ی شش



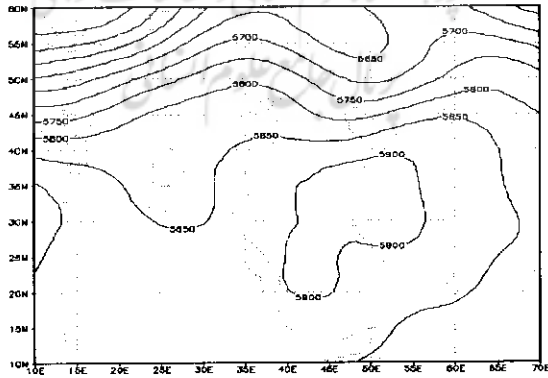
تصویر ۱۹: الگوی گردش‌ی شماره‌ی یک



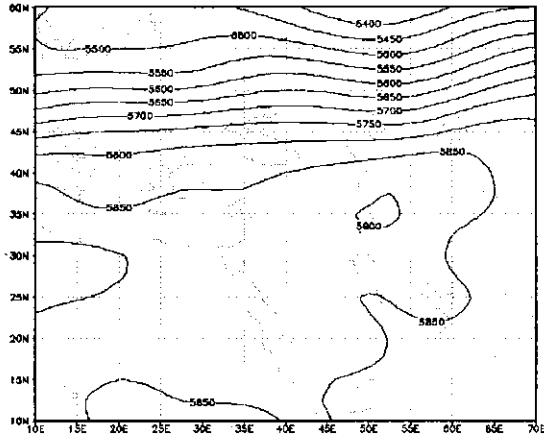
تصویر ۲۰: الگوی گردشی شماره‌ی دو



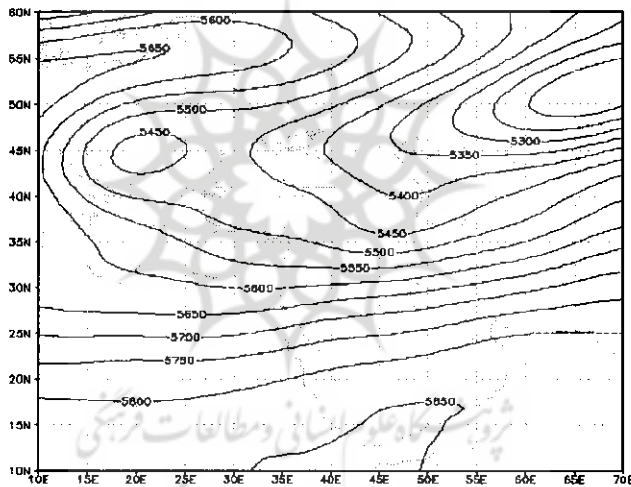
تصویر ۲۱: الگوی گردشی شماره‌ی سه



تصویر ۲۲: الگوی گردشی شماره‌ی چهار



تصویر ۲۳: الگوی گردشی شماره‌ی پنج



تصویر ۲۴: الگوی گردشی شماره‌ی شش

جدول ۳: درصد پراش تبیین شده توسط هر یک از سیزده مؤلفه‌ی اصلی

| شماره مؤلفه | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   | ۱۱   | ۱۲   | ۱۳   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| درصد تبیین  | ۳۳/۹ | ۲۰/۲ | ۱۰/۰ | ۷/۱  | ۵/۱  | ۴/۵  | ۳/۲  | ۲/۱  | ۲/۱  | ۱/۶  | ۱/۵  | ۱/۴  | ۱/۰  |
| درصد تجمع   | ۳۳/۹ | ۵۴/۱ | ۶۴/۱ | ۷۱/۳ | ۷۶/۳ | ۸۰/۸ | ۸۴/۰ | ۸۶/۱ | ۸۸/۲ | ۸۹/۷ | ۹۱/۳ | ۹۲/۷ | ۹۳/۷ |

جدول ۴: روزهای نماینده‌ی شش الگوی گردشی در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲

| الگوی گردشی | روز نماینده | همبستگی روز نماینده | همبستگی درونگروهی | فراوانی کل الگوی گردشی |
|-------------|-------------|---------------------|-------------------|------------------------|
| MP1         | 01DEC92     | ۰/۵۲۲               | ۰/۳۳۸             | ۹۲                     |
| MP2         | 27MAY93     | ۰/۵۸۲               | ۰/۴۲۲             | ۵۶                     |
| MP3         | 23FEB93     | ۰/۶۸۳               | ۰/۵۰۳             | ۶۵                     |
| MP4         | 26JUL93     | ۰/۶۵۲               | ۰/۵۲۰             | ۵۱                     |
| MP5         | 17SEP93     | ۰/۵۲۲               | ۰/۳۳۰             | ۷۲                     |
| MP6         | 15FEB93     | ۰/۸۱۱               | ۰/۷۶۱             | ۲۹                     |

جدول ۵: فراوانی شش الگوی گردشی در ماه‌های مختلف در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲

| ماه                       | MP1  | MP2  | MP3  | MP4  | MP5  | MP6 | جمع |
|---------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| ژانویه                    | ۱۹   | ۳    | ۰    | ۰    | ۲    | ۶   | ۳۱  |
| فوریه                     | ۱۶   | ۰    | ۱۰   | ۰    | ۰    | ۲   | ۲۸  |
| مارس                      | ۱۲   | ۳    | ۱۳   | ۰    | ۲    | ۱   | ۳۱  |
| آوریل                     | ۳    | ۲    | ۱۲   | ۰    | ۶    | ۷   | ۳۰  |
| می                        | ۵    | ۲    | ۱۲   | ۰    | ۵    | ۷   | ۳۱  |
| ژوئن                      | ۴    | ۱۵   | ۰    | ۳    | ۸    | ۰   | ۳۰  |
| ژوئیه                     | ۰    | ۱۲   | ۰    | ۱۹   | ۰    | ۰   | ۳۱  |
| اوت                       | ۰    | ۴    | ۰    | ۱۶   | ۱۱   | ۰   | ۳۱  |
| سپتامبر                   | ۱۰   | ۳    | ۰    | ۲    | ۱۵   | ۰   | ۳۰  |
| اکتبر                     | ۲    | ۷    | ۰    | ۵    | ۱۷   | ۰   | ۳۱  |
| نوامبر                    | ۸    | ۵    | ۹    | ۳    | ۵    | ۰   | ۳۰  |
| دسامبر                    | ۱۳   | ۰    | ۹    | ۳    | ۰    | ۶   | ۳۱  |
| جمع                       | ۹۲   | ۵۶   | ۶۵   | ۵۱   | ۷۲   | ۲۹  | ۳۶۵ |
| درصدفراوانی الگوی گردشگری | ۲۵/۲ | ۱۵/۳ | ۱۷/۸ | ۱۴/۰ | ۱۹/۷ | ۷/۹ | ۱۰۰ |

جدول ۶: ارتفاع رواناب مستقیم حوضه در طی حاکمیت شش الگوی گردشی مختلف در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲

| الگوی گردشی                          | MP1   | MP2   | MP3   | MP4  | MP5   | MP6   | جمع   |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| درصد فراوانی الگوی گردشی             | ۲۵/۲  | ۱۵/۳  | ۱۷/۸  | ۱۴/۰ | ۱۹/۷  | ۸/۰   | ۱۰۰   |
| مجموع رواناب مستقیم (میلیمتر)        | ۲۳۲/۱ | ۱۰۷/۷ | ۲۳۹/۳ | ۶۵/۹ | ۱۱۳/۰ | ۱۰۴/۷ | ۸۶۲/۷ |
| کمترین رواناب مستقیم (میلیمتر)       | ۰/۶۶  | ۰/۶۱  | ۰/۶۲  | ۰/۶۲ | ۰/۶۲  | ۰/۹۲  |       |
| بیشترین رواناب مستقیم (میلیمتر)      | ۱۰/۱۴ | ۷/۶۷  | ۱۳/۵۷ | ۱/۹۵ | ۴/۲۹  | ۸/۹۲  |       |
| میانگین رواناب مستقیم (میلیمتر)      | ۲/۵۲  | ۱/۹۲  | ۳/۶۸  | ۱/۲۹ | ۱/۵۷  | ۳/۶۱  |       |
| انحراف معیار رواناب مستقیم (میلیمتر) | ۱/۹۲  | ۱/۴۴  | ۲/۵۵  | ۰/۳۹ | ۱/۲۲  | ۲/۴۷  |       |
| تغییر پذیری رواناب مستقیم            | ۰/۷۶  | ۰/۷۵  | ۰/۶۹  | ۰/۳۰ | ۰/۷۸  | ۰/۶۹  |       |
| درصد رواناب مستقیم                   | ۲۷/۰  | ۱۲/۵  | ۲۷/۷  | ۷/۶  | ۱۳/۱  | ۱۲/۱  | ۱۰۰   |

جدول ۷: ارتفاع بارش حوضه در طی حاکمیت شش الگوی گردشی مختلف در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲

| الگوی گردشی                 | MP1   | MP2  | MP3   | MP4  | MP5  | MP6   | جمع   |
|-----------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
| درصد فراوانی الگوی گردشی    | ۲۵/۲  | ۱۵/۳ | ۱۷/۸  | ۱۴/۰ | ۱۹/۷ | ۸/۰   | ۱۰۰   |
| مجموع بارش (میلیمتر)        | ۳۵۵/۶ | ۵۵/۱ | ۳۳۷/۶ | ۴/۱  | ۷/۵  | ۱۲۸/۸ | ۸۸۸/۷ |
| کمترین بارش (میلیمتر)       | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰   |       |
| بیشترین بارش (میلیمتر)      | ۵۷/۶  | ۱۶/۰ | ۵۲/۳  | ۱/۹  | ۴/۲  | ۲۲/۷  |       |
| میانگین بارش (میلیمتر)      | ۳/۹   | ۱/۰  | ۵/۲   | ۰/۱  | ۰/۱  | ۴/۴   |       |
| انحراف معیار بارش (میلیمتر) | ۹/۵   | ۲/۳  | ۹/۵   | ۰/۳  | ۰/۵  | ۶/۲   |       |
| تغییر پذیری بارش            | ۲/۵   | ۳/۴  | ۱/۸   | ۱/۴  | ۵/۲  | ۱/۴   |       |
| درصد بارش                   | ۴۰/۰  | ۶/۲  | ۳۸/۰  | ۰/۵  | ۰/۸  | ۱۴/۵  | ۱۰۰   |

### منابع و مأخذ

- ۱- برخوردار، مهرداد و سیدعلی چاوشیان (۱۳۷۹): «پهنه‌بندی سیلاب». کارگاه فنی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب. ۲۷ بهمن ۱۳۷۹. تهران. منتشر شده در پایگاه <http://www.irncid.org/workshop/>
- ۲- تقی خان، شهیندخت (۱۳۷۹): «پیش‌بینی بارش و کاربرد آن در پیش‌بینی سیل». کارگاه فنی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب. ۲۷ بهمن ۱۳۷۹. تهران. منتشر شده در پایگاه <http://www.irncid.org/workshop/>
- ۳- دماوندی‌نژادمنفرد، احمد (۱۳۷۸): «تحلیل سیلاب‌های حوضه آبریز میانی کارون». پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران. دانشکده کشاورزی. به راهنمایی صدقی، حسین.
- ۴- حاجتی‌زاده، رحیم (۱۳۸۱): «بررسی سینوپتیکی سیلاب رودهای دامنه غربی زاگرس (با تأکید بر حوضه‌های آبی کرخه و کارون و دز)». پایان‌نامه دکتری دانشگاه اصفهان. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. به راهنمایی دکتر محمدرضا کاویانی - دکتر حسنعلی غیور.
- ۵- حیدری، علی (۱۳۷۹): «مدیریت کنترل سیل مخازن رودخانه‌های دز و کارون». کارگاه فنی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب. ۲۷ بهمن ۱۳۷۹. تهران. منتشر شده در پایگاه <http://www.irncid.org/workshop/>
- ۶- حیدری، علی (۱۳۷۵): «مدل کامپیوتری سیستم هشدار سیل رودخانه کارون». پایان‌نامه کارشناسی ارشد (مهندسی آب). دانشگاه صنعتی امیرکبیر. دانشکده عمران. به راهنمایی کارآموز. محمد.
- ۷- غیائی، علاء (۱۳۷۵): «بررسی سیلاب رودخانه کارون بزرگ بر روی آب‌گرفتگی اراضی دشت جنوب اهواز و آرایه پیشنهادات اصلاحی جلوگیری از خسارات وارده». به راهنمایی حمود جوان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
- 8- Comrie, A. C (1992) 'An enhanced synoptic climatology of ozone using a sequencing technique', physical geography.
- 9- Yarnal, B (1993) 'Synoptic climatology in environmental analysis', Belhaven Press, London.
- 10- Yarnal, B. and B. Frakes (1997) 'Using synoptic climatology to define representative discharge events', international Journal of Climatology, Vol. 17.