

## مقایسه پهنه‌های بارشی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی

محمود خسروی<sup>۱</sup>، محسن بستانی<sup>۱\*</sup>، محمد علی عزیزاقلی<sup>۲</sup>، مصدق گودرزی فر<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- کارشناس ارشد اقلیم شناسی اداره کل هواشناسی سیستان و بلوچستان

۳- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان

۴- کارشناس ارشد فیزیک مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان

تاریخ وصول: ۱۳۹۱/۵/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۷

### چکیده

برای پهنه بندی بارش در استان سیستان و بلوچستان از دو سری داده‌های ماهواره (*TRMM*)<sup>۱</sup> با قدرت تفکیک  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  درجه و داده‌های ۱۴۵ ایستگاه باران سنجی، اقلیم شناسی و ایستگاه‌های سینوپتیک برای یک دوره ۱۲ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۰) استفاده گردید. برای این تقسیم بندی بر روی هر دو سری داده‌ها از طریق تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای به روش وارد اعمال گردید. با بررسی به عمل آمده بر روی ماتریس بارگوییها و خوشه‌بندی داده‌های ایستگاهی استان به سه پهنه کم بارش وسیع، متوسط بارش مکرانی و پهنه پر بارش سراوانی تقسیم گردید. نتیجه تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی بارش با داده‌های ماهواره (*TRMM*)، تقسیم استان به سه پهنه پر بارش شمالی، کم بارش مرکزی و پهنه متوسط بارش جنوبی می‌باشد. مقایسه پهنه بندی با دو سری داده مذکور نشان می‌دهد که پهنه‌بندی با داده‌های ماهواره (*TRMM*) دارای خطای بالایی در تقسیم بندی بارشی استان می‌باشد بطوری که ناحیه شمالی و غربی استان را که دارای ارتفاع کم از سطح دریا و فاصله بیشتری از منابع رطوبت می‌باشند را منطقه‌ای با بیشترین میزان بارش نشان داده و همچنین ناحیه مرکزی که در آن رشته کوه‌های مکران واقع شده و در تابستان از سامانه‌های موسمی هند بهره‌مند است را به عنوان کم بارش ترین ناحیه استان معرفی می‌کند. موارد مذکور در پهنه بندی با داده‌های باران سنجی لحاظ شده است و این پهنه بندی مبنای مناسب تری جهت استفاده در برنامه‌ریزی می‌باشد. نقطه قوت دو پهنه بندی در یکسان بودن رژیم بارندگی می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** تحلیل خوشه‌ای، پهنه بندی، بارش، سیستان و بلوچستان، ماهواره (*TRMM*)

\*Email: bostani1389@chmail.ir

## مقدمه

بارش از متغیرترین عناصر اقلیمی است. این تغییرات هم در بعد مکان و هم در بعد زمان زیاد است. بویژه در مناطقی که از بارش کمتری برخوردار است این تغییرات شدیدتر است. مرزبندی و تفکیک زمانی- مکانی به واحدهای مستقل از یکدیگر براساس یک یا چند معیار مفروض همواره در کانون توجه جغرافیدانان بوده است. امروزه با استفاده از تکنیک‌های نوین آماری، اقلیم شناسان به دنبال استفاده از روش‌هایی می‌باشند که با حداقل خطا، واقعیت‌های موجود در پهنه‌های اقلیمی را آشکار سازند. پهنه بندی اقلیمی و تفکیک مکانی مناطق همسان از لحاظ شرایط اقلیمی در توسعه منطقه ای و برنامه ریزی جهت سرمایه گذاری و به فعل رساندن توانمندی های مناطق مختلف کشور از جمله استان سیستان و بلوچستان ضروری به نظر می‌رسد.

استان سیستان و بلوچستان در عرض‌های جغرافیایی بین ۲۵ تا ۳۱ درجه شمالی ۵۷ تا ۶۳ درجه شرقی واقع شده است. این استان بالغ بر ۱۷۰۰۰۰ هزار کیلومتر مربع وسعت دارد و در منتهی الیه جنوب شرق ایران قرار گرفته و دومین استان از لحاظ وسعت به شمار می‌رود. از شمال به استان خراسان جنوبی، از شرق به کشورهای افغانستان و پاکستان، از مغرب به استان‌های کرمان و هرمزگان و از جنوب به دریای عمان محدود می‌شود. این استان از مناطق گرم و خشک ایران است، بطوری که میانگین دمای سالانه هوا در زابل حدود ۲۴، زاهدان ۱۸، خاش ۲۰، سراوان ۲۶، ایرانشهر ۲۷ و چابهار ۲۵ درجه سانتیگراد و میانگین دما برای کل استان ۲۳/۵ درجه می‌باشد که نشان دهنده گرم بودن استان است، منشاء اصلی بارندگی های جنوب شرق ایران عمدتاً سامانه‌هایی هستند که در فصل سرد در بستر بادهای غربی به این منطقه وارد می‌شوند. تفاوت بین سالی در فراوانی سامانه های مدیترانه ای موثر بر استان باعث می‌شوند که بارندگی های این منطقه از سالی به سالی دیگر متفاوت و ضریب تغییرات آن افزایش یابد سامانه های مدیترانه ای زمانی به استان می‌رسند که از نظر مقدار رطوبت دچار فرسودگی شده و توان کافی برای ایجاد بارش در این استان را ندارند و بارندگی اندکی را سبب می‌شوند. به همین علت

میزان بارندگی سالانه ایستگاه های این استان در اغلب سالها کمتر از ۱۰۰ میلی متر ثبت شده است (عزیزاقلی، ۱۳۹۰). در جهان و ایران پژوهش‌هایی زیادی جهت پهنه بندی اقلیمی بوسیله عنصر بارش با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای صورت گرفته است که در ادامه برخی از آنها آورده شده است. پووانش و منیکم (Puvanes & Manickam, 1990) با استفاده از ۲۸ متغیر اقلیمی برای ۱۱۳ ایستگاه کوئیزلند استرالیا (به گستره کشور ایران) با تحلیل عاملی و خوشه بندی توانسته است با دخالت سه فاکتور اصلی یعنی رطوبت، دما و بارش سه ناحیه همسان اقلیمی کوئیزلند را مشخص کند. دومرس و راناتونگ (Domroes and Ranatung, 1993) برای ناحیه‌بندی بارش‌های روزانه در سریلانکا با استفاده از روش‌های آماری تحلیل عاملی و چرخش واریانس، بارش‌های روزانه ۴۲ ایستگاه هواشناسی را در یک دوره ۱۵ ساله (۱۹۷۱-۱۹۸۵) بکار گرفته‌اند. آنها توانسته‌اند با تشکیل ماتریس داده‌ها به ابعاد ۴۲ در ۵۴۷۵ آرایه مکانی، ۱۰ عامل اورتورگونال (غیر همبسته) بارش‌های روزانه را مشخص نمایند. این ده عامل، ۶۵/۱ درصد از واریانس کل را تبیین می‌کند. بدین ترتیب بارش‌های روزانه سریلانکا پهنه‌بندی می‌شود، باسالیروا (Basalirwa, 1995) بر روی بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه ۱۰۲ ایستگاه باران‌سنجی اوگاندا برای دوره آماری (۱۹۴۰-۱۹۷۵) با استفاده از روش چرخش واریانس و تحلیل عاملی توانسته است با ۶۵٪ تبیین واریانس، چهار عامل مهم و شاخص را در داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده بررسی نماید. گونگ و ریچمن (Gong & Richman, 1995) در مطالعه‌ای تحت عنوان «کاربرد تحلیل خوشه‌ای برای داده‌های بارندگی فصل رشد در شرق کوه‌های راکی در شمال امریکا» نشان داده‌اند که روش‌های مختلف تحلیل خوشه‌ای کارآیی بسیار خوبی در ناحیه‌بندی بارش‌های روزانه دارد. دومروس و همکاران (Domroes & Partners, 1998) بر روی بارش ماهانه ۷۱ ایستگاه کشور به روش تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای پنج رژیم بارشی در ایران را شناسایی کردند. حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) با استفاده از ۴۹ متغیر اقلیمی، ۴۳ ایستگاه هواشناسی (۱۹۶۳-۱۹۹۰) ایران را با روش‌های تجزیه به عامل‌ها به سه عامل

۱۴۴ ایستگاه بارانسنجی با روش تعیین عاملی مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی به روش وارد استان سیستان و بلوچستان را به سه پهنه بارشی تقسیم نمود. در مورد استفاده از داده‌های سنجنده ماهوره (TRMM) کوموروف و همکاران (Kummerow & Partners, 1998) به معرفی مجموعه سنسورهای ماهواره (TRMM) اقدام نمودند. هوگز (Hughes, 2006) داده‌های ماهواره‌ای بارش را با داده‌های اندازه‌گیری شده بوسیله شبکه ایستگاه‌های بارانسنجی مقایسه نمود.

یوشی کازو (Yoshikazu, 2011) با استفاده از داده‌های رادار بارش ماهواره (TRMM) و شبکه رادارهای پروفیل باد به مطالعه بارش‌های روزانه در مناطق استوایی اندونزی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های رادار بارش ماهواره (TRMM) می‌تواند دارای مقیاس مناسب افقی برای مطالعه چرخه بارش روزانه باشد. مطالعه دیگری بر روی ارزیابی سازگاری داده‌های بارش ماهواره (TRMM) و کاربرد آن در حوضه رودخانه دونگی جانگ انجام شد و مشخص شد که همبستگی خوبی بین داده‌های ماهواره (TRMM) و بارندگی اندازه‌گیری شده از سطح زمین در این حوضه وجود دارد. اما در مقیاس نقطه‌ای دقت داده‌های ماهواره‌ای کمتر است (Cheng Chen & Partners, 2011).

المرزوعی (Almazroui, 2011) داده‌های اقلیمی بارش ماهواره (TRMM) را بوسیله داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی کالیبره نمود و مشخص کرد که بین آنها ضریب همبستگی قوی ۰/۹ در سطح معنی داری ۹۹ درصد وجود دارد. تنویر اسلام و همکاران (Tanvir Islam & Partners, 2012) به ارزیابی عملکرد برآورد داده‌های بارش ماهواره (TRMM) با استفاده از داده‌های قابل اطمینان شبکه رادارهای زمینی نمودند. نذرویل اسلام و یوآدا (Nazrul Islam & Uyeda, 2007) نشان دادند که استفاده از داده‌های ماهواره (TRMM) در مشخص نمودن خصوصیات بارش در بنگلادش روشی مناسب می‌باشد. جوانمرد و همکاران (۱۳۹۰) بر روی توزیع مکانی و زمانی نرخ بارش‌های همرفتی و پوششی بر روی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره (TRMM) اقدام نمودند.

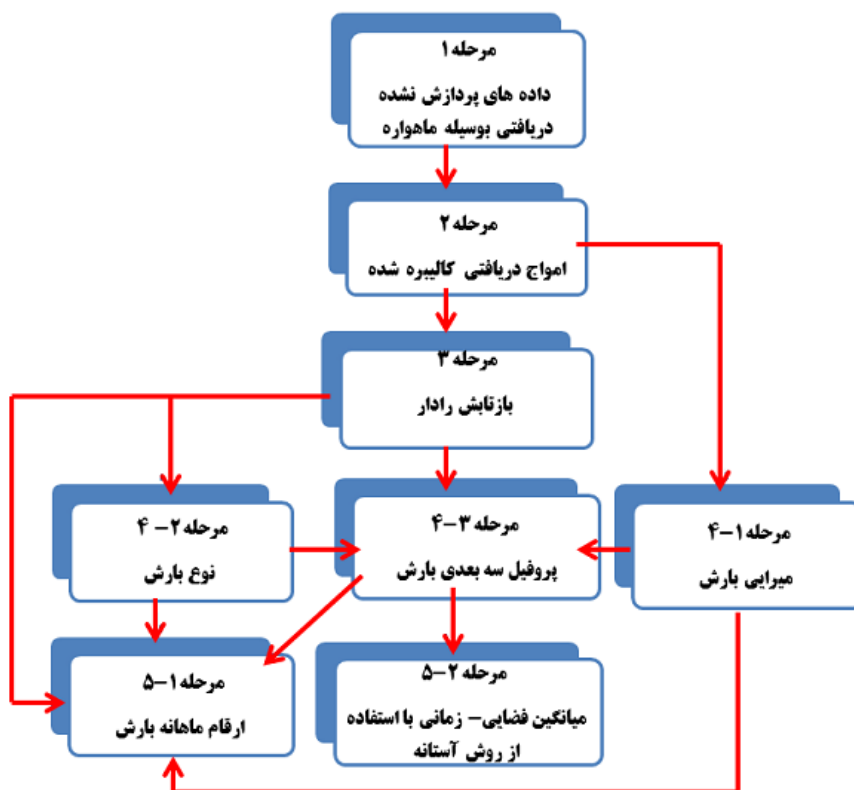
معامد بر هم موسوم به رطوبت، دما و جهت باد را از هم تمیز دادند. ایشان مقادیر سه عامل اول را برای ایستگاه‌ها محاسبه و روی نقشه سطح کشور رسم کردند، ایشان با توجه به مقادیر عامل‌های مذکور، ایستگاه‌های مورد مطالعه را با روش تجزیه خوشه‌ای وارد گروه بندی کردند و نتیجه گرفتند که این روش تطبیق خوبی با واحدهای توپوگرافیک نشان می‌دهد (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸). ترابی و جهانبخش (۱۳۸۳) با استفاده از روش تحلیل عاملی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی که روی داده‌های ماهانه ۴۱ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری (۱۹۹۳-۱۹۹۵) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مهمترین مؤلفه نم نسبی می‌باشد که بیش از ۴۰ درصد کل واریانس را به خود اختصاص داده است. مسعودیان (۱۳۸۲) پس از بررسی ۲۷ عنصر اقلیمی در مقیاس سالانه، شش عامل اقلیمی گرمایی، نم و ابر، بارشی، بادی و غباری و تدری را در ساخت اقلیم ایران موثر می‌داند. ایشان پس از بکار گرفتن روش خوشه بندی بر روی شش عامل یاد شده ایران را به ۱۵ ناحیه اقلیمی تقسیم بندی کرده است. حاتمی و همکاران (۱۳۸۹) پهنه‌های اقلیمی استان فارس را با بیست و پنج متغیر اقلیمی در ارتباط با رطوبت، دما، بارش و تابش را با داده‌های هجده ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان فارس و با کاربرد روش تحلیل عاملی بر مبنای مدل مولفه‌های اصلی برای شناخت مولفه‌های سازنده نواحی و تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد انجام دادند. آنها چهار ناحیه اقلیمی به عنوان ناحیه سرد و خشک شمالی، ناحیه معتدل و مرطوب مرکزی، ناحیه گرم و نیمه مرطوب غربی و ناحیه گرم و خشک جنوبی را در استان فارس مشخص نمودند. همچنین در تحقیق دیگری مسعودیان (۱۳۸۸) با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۳۳۳ ایستگاه همدیدی و کلیماتولوژی و تهیه نقشه‌های هم بارش اقدام به پهنه بندی بارش کرده است. وی برای پهنه بندی از روش تحلیل خوشه‌ای با استفاده از ضریب فاصله اقلیدسی و روش ادغام وارد بهره گرفته است. نتیجه بررسی وی تقسیم ایران به چهار بخش از دیدگاه مقدار و زمان دریافت بارش است. بخش‌های به دست آمده، بخش‌های بسیار کم بارش - کم بارش - نیمه پر بارش و پر بارش می‌باشند. عزیزاقلی (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های

## داده ها و روش تحقیق

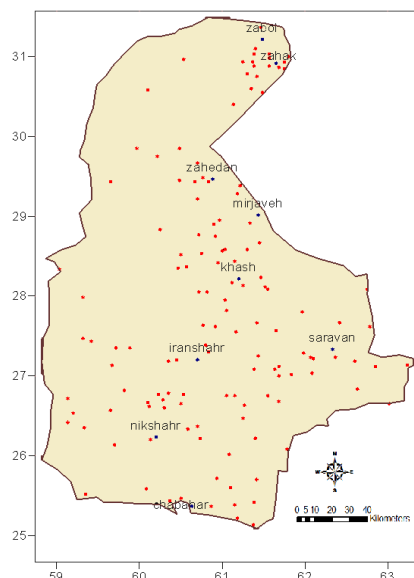
آوری داده در بلند مدت جهت هماهنگی در پژوهش ها و تحقیقات برای مطالعه زمین به عنوان یک سیستم جهانی تلاش می‌کند. این ماهواره در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ با اهداف پایش و مطالعه بارش مناطق حاره ای و چگونگی تاثیر این بارش‌ها بر آب و هوای جهانی با استفاده از ابزار تصویربرداری میکروموج بارش (TMI)، رادار بارش (PR) و اسکتر مادون قرمز و مرئی (VISIR) به فضا پرتاب شد در ادامه الگوریتم استخراج داده بوسیله این ماهواره آورده شده است (سایت ناسا، ۲۰۱۱).

<http://www.gsfc.nasa.gov>, 25th December 2011, 20:45

در این پژوهش از دو سری داده‌های ماهانه بارش ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک، اقلیم شناسی، بارانسنجی اداره کل هواشناسی سیستان و بلوچستان و داده های ماهانه بارش سنسور میکروموج بارش (TMI) ماهواره (TRMM) در مقیاس  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  درجه برای دوره آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۰) استفاده شده است. ماهواره (TRMM) عملیات اندازه گیری بارش حاره ای، ماموریت مشترک سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا (NASA) و آژانس اکتشافات هوا فضای ژاپن (JAXA) می باشد. در این ماموریت ناسا علاوه بر نظارت و مطالعه بارش‌های منطقه حاره و جمع



شکل ۱- الگوریتم استخراج داده‌های بارش بوسیله ماهواره (TRMM)



شکل ۲- پراکنش ایستگاه‌های باران سنجی مورد مطالعه در سطح استان سیستان و بلوچستان



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی سلول‌های مورد مطالعه استان سیستان و بلوچستان (داده‌های TRMM)

و چابهار از طریق محاسبه مقدار خطای مطلق (MAE) بین دو سری داده، برای ایستگاه‌های نام برده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S - O| \quad (1)$$

که در آن  $S$  و  $O$  به ترتیب نشان دهنده داده‌های ماهواره و داده‌های ایستگاه زمینی هستند که شامل پارامتر میانگین بارش و  $n$  تعداد ماه‌های سال است. نتایج مربوط به خطای مطلق بین دو سری داده برای ایستگاه‌های منتخب در جدول (۱) آمده است.

### صحت سنجی آماری داده‌های مورد مطالعه

#### در روند تحقیق

پس از مقایسه چشمی مقادیر میانگین و انحراف معیار، اقدام به صحت سنجی داده‌های ماهواره (TRMM) و داده‌های چهار ایستگاه زمینی به ترتیب از عرض جغرافیایی بالاتر به پایین در سطح استان شامل زابل، زاهدان، ایرانشهر

جدول ۱- محاسبه خطای مطلق داده های ماهواره (Tmm) و داده های چهار ایستگاه زمینی

مؤلفه ایستگاه	خطای مطلق میانگین بارش ماهانه برای دو سری داده
زابل	۰/۳۲
زاهدان	۰/۲۸
ایرانشهر	۰/۲۴
چابهار	۰/۲۱

با توجه به جدول ۱، میزان خطای مطلق برای عرض جغرافیایی پایین تر کمتر و داده‌ها به هم نزدیک تر می باشد.

کفایت نمونه برداری نیز با استفاده از آزمون کیسر-میر-اولکین مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون بر اساس فرمول زیر محاسبه می شود:

$$KMO = \frac{\sum \sum r_{ij}^2}{\sum \sum r_{ij}^2 + \sum \sum a_{ij}^2} \quad (4)$$

که  $r_{ij}$  ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای  $i$  و  $j$  و  $a_{ij}$  ضریب همبستگی جزئی بین همه زوج متغیرها است.

جدول ۲- مقادیر کفایت نمونه برداری، کرویت بارتلت، درجه آزادی و سطح معنی داری برای داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی

مقدار	نوع شاخص
۰/۸۶۵	شاخص کفایت نمونه برداری کیسر-میر-اولکین
۸۶۷۹	آزمون کرویت بارتلت
۵۹۴۵	درجه آزادی
۰/۰۱	سطح معنی داری

بعد از اطمینان از معنادار بودن ماتریس همبستگی و کفایت نمونه برداری، تحلیل مؤلفه‌های مبنا بر روی ماتریس همبستگی اعمال و ماتریس بارگویه‌ها محاسبه می شود. بارگویه‌ها در واقع ارتباط بین مؤلفه‌ها و متغیرهای اولیه را نشان می دهد. در ماتریس بارگویه‌ها ستون‌ها معرف مؤلفه‌ها و ردیف‌ها معرف ایستگاه‌ها هستند. در مرحله بعد مؤلفه‌های مبنای بدست آمده از مرحله قبل چرخش داده می شوند. چرخشی که در این مرحله از آن استفاده می شود، چرخش واریماکس است. در نهایت نتیجه چرخش مؤلفه‌های مبنا در ماتریسی به نام ماتریس بارگویه‌های چرخش یافته ذخیره می شوند. اجرای روش مؤلفه‌های مبنای

فرض اساسی تحلیل مؤلفه‌های اصلی این است که مؤلفه‌های زیر بنایی را می توان برای تبیین پدیده‌های پیچیده به کاربرد و همبستگی مشاهده شده بین متغیرها، حاصل اشتراک آنها در این مؤلفه‌هاست. برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ابتدا داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌ها در ردیف‌های ماتریس قرار داده شده و ایستگاه‌های باران سنجی ۱۴۵ گانه نیز ستون‌های ماتریس را تشکیل می دهند. در مرحله بعد همبستگی بین داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌ها محاسبه و نتیجه این محاسبات در ماتریسی به نام ماتریس همبستگی (۲) درج می شود. ماتریس همبستگی داده‌ها بر اساس فرمول ذیل محاسبه می شود:

$$r_{xy} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{NS_X S_Y} \quad (2)$$

که  $X_i$  و  $Y_i$  متغیرها،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین آنها و  $S_X$  و  $S_Y$  واریانس متغیرهاست.

بعد از محاسبه ماتریس همبستگی و جهت ادامه فرآیند کار، بایستی معنادار بودن ماتریس همبستگی و کفایت نمونه برداری آن مورد آزمون قرار گیرد. برای معنادار بودن ماتریس همبستگی از آزمون کرویت بارتلت:

$$X^2 = -\left(n-1 - \frac{2P+5}{6} \ln|R|\right) \quad (3)$$

که در آن  $n$  معرف تعداد سال‌ها،  $P$  تعداد ایستگاه‌ها،  $|R|$  قدر مطلق دترمینان ماتریس همبستگی است استفاده شد. این مشخصه دارای توزیع مجذور کای با

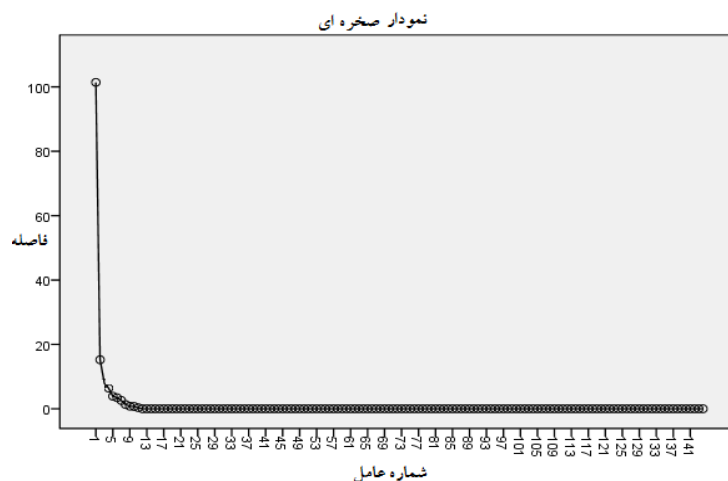
مؤلفه چهارم، پنج و شش حذف و بارش های استان سیستان و بلوچستان با ۳ مؤلفه تبیین شود. لذا ۹۲/۴ درصد تفاوت بارش های این استان با ۳ مؤلفه قابل تبیین است. اهمیت نسبی مؤلفه ها به صورت پلکانی در شکل ۳ مرتب شده اند.

چرخش یافته با روش واریماکس نشان می دهد که نزدیک ۹۸/۸ درصد تفاوت بارش های ماهانه استان سیستان و بلوچستان را می توان با ۶ مؤلفه تبیین کرد. اما به دلیل اینکه سه مؤلفه آخر بر روی هیچ کدام از ۱۴۵ ایستگاه مورد مطالعه بار مؤلفه بالایی نداشت لذا تصمیم گرفته شد که سه

جدول ۳- مقادیر ویژه و واریانس های مؤلفه های بارش های ماهانه ایستگاه های باران سنجی

استان سیستان و بلوچستان

اجزا	مجموع واریانس تبیین شده					
	مجموع استخراج شده مربع بارهای عاملی			مقادیر مربع بارهای عاملی بعد از چرخش		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
1	101/40	71/419	70/419	66/973	47/509	47/509
2	15/229	9/576	80/995	36/010	28/007	75/516
3	7/881	5/473	86/468	17/061	17/848	92/364
4	6/426	4/463	90/931	6/373	3/426	95/790
5	3/902	2/710	93/641	5/716	2/969	97/659
6	3/429	2/381	96/022	4/576	1/178	98/837
روش استخراج: تحلیل مولفه های مبنایی						



شکل ۴- نمودار صخره ای مؤلفه های اصلی بارش های ماهانه ایستگاه های بارانسنجی استان سیستان و بلوچستان

گروهها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون گروهی آنها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد. برای انجام این کار، دو گام اساس بایستی پیموده شود: گام اول محاسبه درجه همانندی ایستگاهها با یکدیگر و گام دوم چگونگی ادغام ایستگاهها برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر

در ادامه نتایج حاصل از ماتریس بارگویه های چرخش یافته به عنوان ورودی تحلیل خوشه ای مورد استفاده قرار می گیرند. تحلیل خوشه ای یکی از روش های آماری است که در زمینه کاهش داده ها و پیدا کردن گروه های واقعی مورد استفاده قرار می گیرد. هدف اصلی این روش، ایجاد

روی ماتریس بارهای مؤلفه ایی بارش های ماهانه استان مشخص شد که در استان سیستان و بلوچستان سه پهنه بارشی قابل شناسایی است: پهنه کم بارش وسیع، پهنه متوسط بارش مکرانی و پهنه پر بارش سراوانی (شکل ۴). در نهایت در محیط نرم افزاری سیستم های اطلاعات جغرافیایی اقدام به پهنه بندی نواحی بارشی استان سیستان و بلوچستان گردید (شکل ۵).

نتیجه تحلیل واریانس بر روی میانگین بارش سالانه سه پهنه به دست آمده نیز نشان می دهد که در سطح احتمالاتی  $\alpha = 0.01$  تفاوت بین پهنه ها معنادار است. لذا تفکیک استان سیستان و بلوچستان به سه پهنه از لحاظ آماری قابل قبول است.

در پهنه بندی داده های میانگین ماهانه بارش داده های سنجنده ماهواره (TRMM)، از روشی که در داده های میانگین ماهانه بارش ایستگاهها بکار رفته استفاده شده است. در این داده ها اجرای روش مؤلفه های مبنای چرخش یافته با روش واریماکس نشان می دهد که نزدیک ۹۴/۷ درصد تفاوت بارش های ماهانه استان سیستان و بلوچستان را می توان با ۳ مؤلفه تبیین کرد وسعت سایر مولفه ها و درصد بارگویی آنها بسیار کم و قابل چشم پوشی است. در شکل ۶، نقشه پهنه بندی با این روش آمده است.

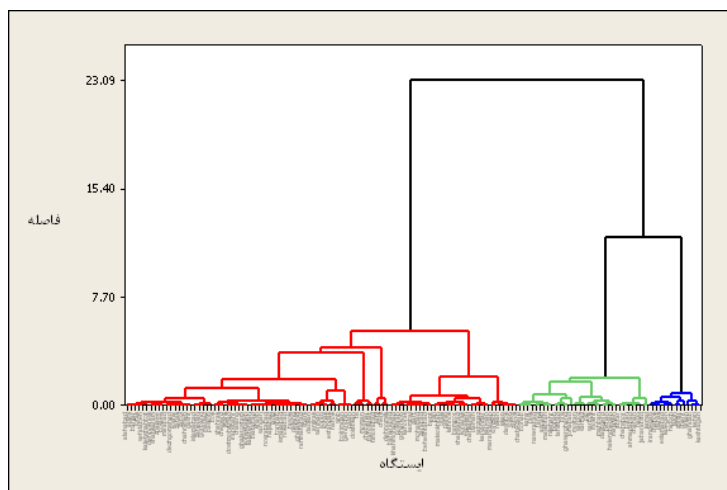
است. در این مطالعه از مجذور فاصله اقلیدسی استفاده گردیده است. زیرا در این شاخص به مشاهده هایی که فاصله زیادتری از همدیگر دارند وزن بیشتری داده می شود. اگر  $m$  تعداد متغیرها،  $X_{ij}$  مقدار متغیر  $j$  برای نفر  $i$  ام باشد مجذور فاصله اقلیدسی بین  $K$  و  $I$  عبارت است از:

$$D_{KI}^2 = \sum_{j=1}^m (X_{kj} - X_{ij})^2 \quad (5)$$

پس از اندازه گیری درجه همانندی ایستگاهها باید شیوه ای برای ادغام ایستگاههایی که بالاترین درجه همانندی را نشان داده اند به کار برد. روش وارد روشی است که در این مرحله از آن استفاده گردید. در این روش، گروه های  $r$  و  $s$  در صورتی ادغام می شوند که افزایش واریانس ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هر یک از آنها با دیگر گروهها کمینه باشد؛ به بیان ریاضی:

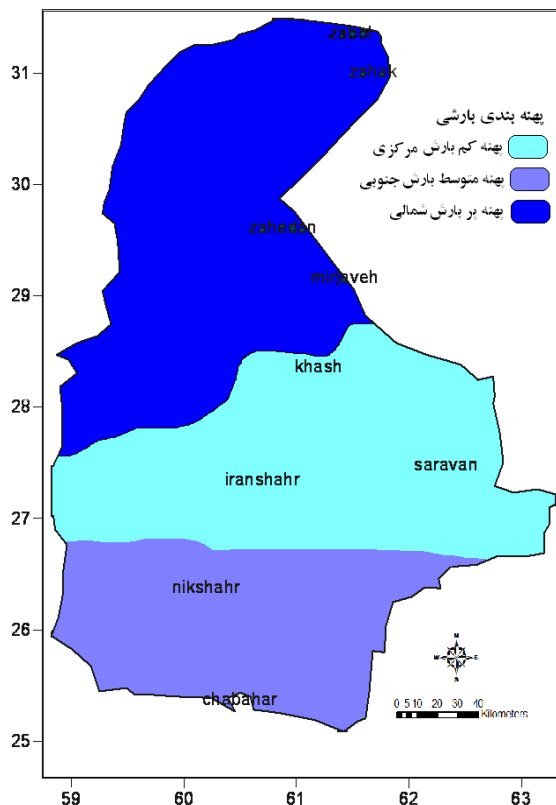
$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (6)$$

که در اینجا  $d_{rs}^2$  فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است. روش مزبور این مزیت را دارد که هر ایستگاه را در گروهی جای می دهد که مجموع مربعات انحرافات درون گروهی به حداقل برسد. ایستگاههایی که به این روش در یک خوشه جای می گیرند از نظر مکانی بر روی نقشه در همسایگی یکدیگر واقع می شوند. با اجرای این روش بر

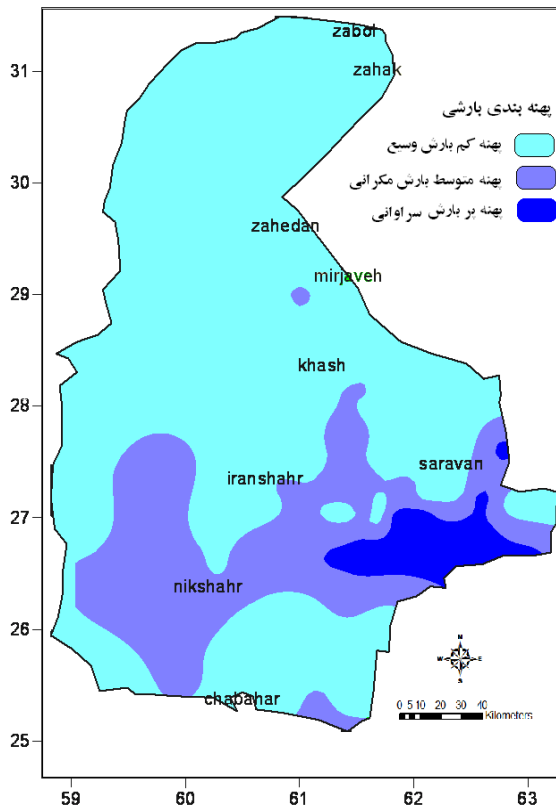


شکل ۵- نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه ای بر روی مؤلفه های اصلی بارش های ماهانه ایستگاه های باران سنجی استان سیستان و بلوچستان.





شکل ۷- پهنه بندی نواحی بارشی استان سیستان و بلوچستان حاصل نتایج تحلیل خوشه ائی بر روی داده های ماهواره (TRMM) طی دوره آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۰)



شکل ۶- پهنه بندی نواحی بارشی استان سیستان و بلوچستان حاصل نتایج تحلیل خوشه ائی بر روی داده های باران سنجی طی دوره آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۰)

میلیمتر بارش، پرباران ترین فصل و تابستان با  $۸/۲$  میلیمتر کم باران ترین فصل این ناحیه به حساب می آید. ماه های اسفند و دی هر کدام به ترتیب با  $۲۱/۴$  و  $۲۰/۹$  میلیمتر بارش، پرباران ترین ماه های سال و دو ماه شهریور و مهر هر کدام با  $۰/۹$  و  $۱/۲$  میلیمتر خشک ترین ماه های این ناحیه را تشکیل می دهند (شکل ۸).

### پهنه متوسط بارش مکرانی

دومین ناحیه بزرگ بارشی استان سیستان و بلوچستان می باشد که در جنوب پهنه کم بارش وسیع واقع شده است و تقریباً حدود ۱۹ درصد از مساحت استان را شامل می شود (شکل ۶). میانگین بارش سالیانه این ناحیه  $۱۲۲/۴$  میلیمتر است که بیشترین آن در فصل زمستان  $۶۳/۱$  میلی متر و کمترین آن در فصل تابستان  $۱۷/۴$  میلی متر می بارد. ماه های دی و خرداد هر کدام با  $۳۶/۸$  و  $۲۲/۴$  میلیمتر پربارش ترین ماه ها و دو ماه اردیبهشت و مهر هر کدام با

### نتایج و بحث

توزیع باران در سطح استان سیستان و بلوچستان تابعی از موقعیت و سامانه هایی هستند که در فصل های گرم و سرد به استان وارد می شوند. سامانه های باران زای استان که ناشی از فعالیت کم فشار سودانی، مدیترانه ای و جریانات مرطوب تابستانه اقیانوس هند و دریای عمان است باعث گردیده که توزیع بارندگی در نقاط مختلف استان یکنواخت نباشد. در ادامه نتایج پهنه بندی با استفاده از داده های ایستگاه های زمینی آورده شده است.

### پهنه کم بارش وسیع

بزرگترین پهنه بارشی از لحاظ وسعت در استان سیستان و بلوچستان به شمار می آید که حدود ۷۲ درصد استان را در بر می گیرد (شکل ۶). میانگین بارش سالیانه این ناحیه بارشی  $۹۶/۵$  میلیمتر است که فصل زمستان با  $۶۱/۸$

### پهنه متوسط بارش جنوبی

این پهنه از لحاظ وسعت کوچکترین ناحیه در استان سیستان و بلوچستان را به خود اختصاص می دهد (شکل ۷). میانگین بارش سالانه آن ۹۰/۹ میلی متر می باشد که از این نظر دومین پهنه در استان به شمار می رود. فصل زمستان با ۴۷/۵ میلی متر پرباران ترین فصل و تابستان با ۱۰ میلی متر بارندگی کم باران ترین فصل این پهنه محسوب می شود. برای این ناحیه دی و آذر با ۲۳/۲ میلی متر و ۱۴/۲ میلی متر دارای بیشترین مقدار بارندگی و مهر و آبان با ۱ میلی متر و ۱/۷ میلی متر دارای کمترین مقدار بارش بوده اند (شکل ۹).

### پهنه کم بارش مرکزی

میانگین سالانه بارش در این پهنه ۶۹ میلی متر می باشد که کم ترین میزان بارندگی سالانه و از لحاظ وسعت بیشترین میزان را در استان سیستان و بلوچستان به خود اختصاص می دهد (شکل ۷). فصل زمستان با ۳۶/۳ میلی متر پرباران ترین فصل و تابستان با ۸/۶ میلی متر بارندگی کم باران ترین فصل ناحیه محسوب می شود. در این قسمت ماه های دی و اسفند با ۱۴/۹ میلی متر و ۱۲/۶ میلی متر دارای بیشترین بارش ها و ماه های مهر و آبان با ۰/۷ میلی متر و ۱ میلی متر دارای کمترین میزان بارندگی هستند (شکل ۹).

مقایسه پهنه بندی با داده های سنجنده ماهواره (TRMM) و پهنه بندی با داده های ایستگاه های باران سنجی نشان می دهد که در طول دوره آماری ۱۲ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۰) میانگین بارندگی سالانه با داده های ایستگاه های باران سنجی در استان ۹۲ میلی متر است و با استفاده از داده های سنجنده ماهواره (TRMM) ۸۱ میلی متر است. در پهنه بندی با داده های ماهواره (TRMM) در منطقه شمال و غرب استان پهنه ای پر بارش تر نسبت به دیگر پهنه های استان واقع شده است (شکل ۶).

این منطقه در پهنه بندی با داده های ایستگاه های باران سنجی متفاوت است و کم بارش ترین پهنه به این مناطق اختصاص داده شده است شکل ۷، با توجه به دوری شمال استان از منابع رطوبتی و ارتفاع کم این منطقه و منطقه غرب استان، همچنین عدم وجود رشته کوه منسجم و نفوذ بسیار

۰/۸ و ۱/۶ میلی متر کم بارش ترین ماه های این ناحیه می باشد (شکل ۸).

### پهنه پر بارش سراوانی

کم وسعت ترین و در عین حال پربارش ترین ناحیه بارشی استان سیستان و بلوچستان است. حدود ۹ درصد از مساحت استان را شامل می شود و در شرق استان واقع شده است (شکل ۶). میانگین بارش سالیانه این ناحیه ۱۴۲/۷ میلی متر است که فصل زمستان با ۵۸/۷ میلی متر پربارش ترین و پاییز با ۲۱/۸ میلی متر کم بارش ترین فصل این ناحیه به حساب می آیند. ماه های تیر و اسفند با ۲۵/۹ و ۲۱/۵ میلی متر دارای بیشترین بارش ها و ماه های مهر و شهریور با ۴/۴ و ۴/۴ میلی متر دارای کمترین بارش ها هستند (شکل ۸). از دلایل میزان بارش بیشترین پهنه نسبت به سایر مناطق استان بهره مندی آن از بارش های سیستم موسمی هند در تابستان می باشد. در فصل تابستان با یکی شدن کم فشار های محلی جنوب شرق کشور و کم فشار پاکستان یک کم فشار وسیع منطقه ای شکل می گیرد که توسط حرکت چرخندی آن انتقال رطوبت سیستم موسمی هند با جهت شرقی - غربی از طریق پاکستان به منطقه مورد مطالعه میسر می شود (نجار سلیقه، ۱۳۸۵).

با استفاده از داده های ماهواره (TRMM) استان به سه پهنه کم بارش جنوبی، متوسط بارش مرکزی و پربارش شمالی تقسیم می شود.

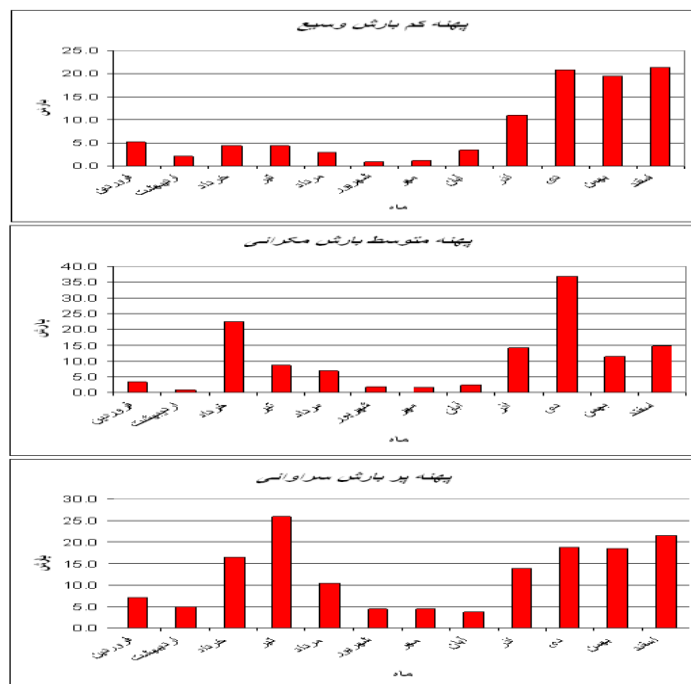
### پهنه پربارش شمالی

میانگین سالانه بارش در این پهنه ۹۲/۲ میلی متر می باشد که بیشترین میزان بارندگی سالانه و از لحاظ وسعت دومین ناحیه در استان سیستان و بلوچستان را به خود اختصاص می دهد (شکل ۷). فصل زمستان با ۶۰/۳ میلی متر پرباران ترین فصل و تابستان با ۳/۱ میلی متر بارندگی کم باران ترین فصل ناحیه محسوب می شود. ماه های دی و بهمن با ۲۹/۶ میلی متر و ۱۶/۳ میلی متر دارای بیشترین بارش ها و شهریور و تیرماه با ۰/۵ میلی متر و ۰/۸ میلی متر دارای کمترین میزان بارندگی هستند (شکل ۹).

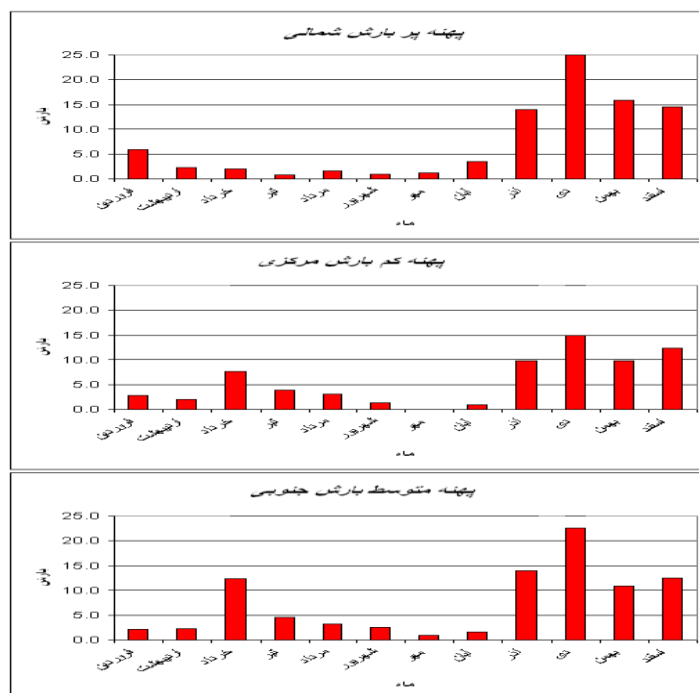
منطقه جنوب شرقی استان با پهنه ای کم بارش تر نسبت به سایر پهنه ها مشخص شده است. که با توجه به داده های واقعی صحیح نمی باشد.

در قسمت جنوبی استان علیرغم وجود منابع رطوبتی و قرار گرفتن در سواحل دریای عمان بدلیل عدم وجود مکانیسم های لازم جهت ایجاد بارندگی از میزان بارندگی کمتری برخوردار است. این مورد در پهنه بندی با داده های ایستگاه های باران سنجی بطور صحیح نشان داده شده است در صورتی که در داده های سنجنده ماهواره (TRMM) این منطقه به عنوان دومین پهنه بارشی معرفی شده است. تنها اشتراک پهنه بندی به وسیله دو سری مختلف داده های ایستگاه ها و سنجنده ماهواره (TRMM) با توجه به شکل های ۸ و ۹، و با صرف نظر از میزان میانگین ماهانه، یکسان بودن رژیم بارندگی سالانه در هر دو پهنه بندی است و در هر دو مورد پراکندگی فصلی تقریباً "یکسانی مشاهده می شود.

نادر سامانه های جوی موسمی اقیانوس هند به این مناطق، پهنه بندی بوسیله داده های ایستگاه های باران سنجی موارد مذکور را بهتر نشان می دهد. همچنین نواحی مرکزی و شرقی استان در پهنه بندی با داده های ماهواره (TRMM)، پهنه ای با بارش کم مشخص شده است. در صورتی که این ناحیه ضمن نزدیک بودن به منابع رطوبتی دریای عمان و خلیج فارس دارای رشته کوه منسجم مکران با جهت غربی-شرقی می باشد که در ایجاد بارندگی های با منشاء توپوگرافیک در این مناطق نقش بسزایی دارد. با توجه به شکل ۸، بارندگی های مناطق مذکور علاوه بر رژیم زمستانه مناسب دارای بارندگی های موسمی در تابستان می باشد که به افزایش میانگین بارندگی در نواحی مرکزی و جنوب شرقی استان کمک می کند. موارد ذکر شده در پهنه بندی با داده های ایستگاه های باران سنجی به خوبی نشان داده شده است در صورتی که در پهنه بندی با داده های سنجنده ماهواره (TRMM) منطقه مرکزی و بخشهایی از



شکل ۸- جدول میانگین ماهانه بارش اندازه گیری شده بوسیله ایستگاه های باران سنجی در استان سیستان و بلوچستان طی دوره آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۰).



شکل ۹- جدول میانگین ماهانه بارش اندازه گیری شده بوسیله داده های ماهواره (TRMM) در استان سیستان و بلوچستان طی دوره آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۰).

## نتیجه گیری

در این پژوهش مقایسه پهنه بندی با دو سری داده ایستگاه های زمینی و داده های سنجنده ماهواره (TRMM) صورت گرفت. داده های سنجنده ماهواره (TRMM) در سال های اخیر امکان جدیدی را برای استخراج داده های بارش بویژه در مناطق حاره و جنب حاره بوجود آورده است. با توجه به قرارگیری این استان در نزدیکی مناطق حاره داده های ماهواره با داده های واقعی در پهنه بندی بارشی استان مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

- ۱- داده های بدست آمده از سنجنده ماهواره (TRMM) دارای خطای نسبتاً زیادی بوده و استفاده از این داده ها بعضاً نتایج عکس و متفاوتی با داده های اندازه گیری شده بوسیله ایستگاه های باران سنجی می دهد.
- ۲- بهترین عملکرد داده های سنجنده ماهواره (TRMM) در نیمه جنوبی استان و بیشترین خطا و انحراف نسبت به داده های ایستگاه های زمینی در نیمه شمالی استان می باشد.

## منابع

1. Almazroui, M., 2011, Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009, Atmospheric Research, No. 99, Issues 3–4, pp. 400-414.
2. Azizoghli, M., 2011, Sistan and Baluchistan Province rain zoning based on principal component analysis, climatology, Master Thesis, Azad University of Tehran, Supervisor Dr. Fatahi.
3. Basalirwa, C.P.K., 1995, delineation of Uganda into Climatologically rainfall zones using the method of principal component analysis. International journal climatology, No. 15, pp. 1161-1177.

4. Cheng Chen, Zhongbo Yu, Li Li, Y. Chuanguo, Adaptability Evaluation of TRMM Satellite Rainfall and Its Application in the Dongjiang River Basin, *Procedia Environmental Sciences*, No.10, Part A, 2011, pp. 396-402.
5. Dormoes, M., E. Ranatung, 1993, A Statistical approach toward a regionalization of daily rainfall in Srilanka. *Intrr.j. climatology*, No. 13, pp.741- 754.
6. Domroes, M., M. Kaviani And D. Schaefer, 1998, An Analysis of Regional and Intra-Annual Precipitation Variability over Iran Using Multivariate Statistical Methods, *The Application. Climatology*, No. 61, pp. 151–159.
7. Gong, X., M. Richman, 1995, on the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America eastern rookies. *J. climatol*, No. 8, pp. 897-930.
8. Hatami, B., B. Khodakaram, J. Khooshhale dastjerdi, 2010, Climatic zoning Fars Province with factor analysis method, *Journal Of Geographical Research*, No.32, pp. 135-150.
9. Heydari, H., B. Alijani, 2008, Iran's climate classification using multivariate statistical technique - *Geographical Studies* No. 27- Tehran.
10. Hughes, 2006, Comparison of satellite rainfall data with observations from gauging station networks, *Journal of Hydrology*, No. 3, pp. 399-410.
11. Javanmard, S., S. Golestani, y. Abedini, 2011, Study and Survey on Spatial and temporal Distribution of Convection and Covered precipitation Rate on Iran with Use TRMM-TMI satellite data, *Set of Iranian Physics Conference Articles*.
12. Kummerow, C., B. Barnes, T. Kozu, J. Shiue and J. Simpson, 1998, The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* No. 15, pp. 809-817.
13. Masoudian, A., 2003, examined the geographical distribution of precipitation in Iran during the factor analysis, *Journal of Geography and development in the first year, Zahedan*.
- Masoudian, A., 2009, Regional rainfall, *Geography and Development*, No. 13, pp. 79–91.
- Najarsalighe, M., 2006, Mechanisms of precipitation in southeast Iran, *Geographical Journal*, No. 55, pp. 1-13.
14. Nazrul Islam, Md., H. Uyeda, Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh, *Remote Sensing of Environment*, No. 108, Issue 3, 15 June 2007, pp. 264-276.
15. Puvanes wavan, Manickam, 1990. Climatic classy frication for Queensland using Multivariate statistical technique in t. *Jour. Climatology*, No. 10, pp. 591-608.

16. Tanvir Islam, A. Miguel, R. Ramirez, Dawei Han, Prashant, Srivastava, A. Ishak, Performance evaluation of the TRMM precipitation estimation using ground-based radars from the GPM validation network, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, No. 77, March 2012, pp. 194-208.
17. Torabi, S., S. Jahanbakhshasl, 2004, Determination of Underlying variable At Iran's climate classification, *Geographical Studies*, No. 2, Mashhad.
18. Yoshikazu, T., H. Hiroyuki, K. Masayuki, Yamamoto, Manabu, Yamanaka, Shuichi, Fadli, Observational study on diurnal precipitation cycle in equatorial Indonesia using 1.3-GHz wind profiling radar network and TRMM precipitation radar, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, No. 73, Issue 9, June 2011, pp. 1031-1042.