

شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره

طیب رضینی*

استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(دریافت: ۹۵/۶/۱۶، پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۵)

چکیده

در این پژوهش به منظور شناسایی رژیم‌های بارشی ایران از داده‌های بارش ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در سطح کشور در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شد. با تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ماتریس میانگین درصد بارش ماهانه ایستگاه‌ها در دوره آماری مورد نظر، ۵ مؤلفه اول انتخاب و سپس با خوشه‌بندی وارد بر روی ماتریس نمره استاندارد مؤلفه‌های انتخابی ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۱۰ منطقه همگن بارشی گروه‌بندی شدند. رژیم‌های بارشی آذربایجان شمالی و جنوبی با بیشینه بارش در مه و آوریل بخش‌هایی از شمال غرب ایران را پوشش می‌دهند. رژیم بارشی جنوب-جنوب غربی با بیشینه بارش در ژانویه، پس کرانه‌های خلیج فارس و رژیم بارشی کوهستانی غربی با بیشینه بارش در ماه مارس، بخش کوهستانی غرب ایران را در بر می‌گیرند. رژیم بارشی خزری هم با بیشینه پاییزه و توزیع تقریباً مناسب بارش در سال کرانه‌های دریای خزر را شامل می‌شود. بخش مرکزی-شمال شرقی و بخش مرکزی- شرقی ایران هم دارای رژیم بارشی مرکزی-شمال شرقی و رژیم بارشی مرکزی-شرقی هستند که در آن‌ها زمستان پربارش‌ترین فصل و مارس پربارش‌ترین ماه سال است اما فصل بارش در رژیم بارشی مرکزی-شرقی کوتاه‌تر است. کرانه‌های دریای عمان و بخش بزرگی از جنوب شرق ایران هم به ترتیب دارای رژیم بارشی ساحلی جنوب شرقی و رژیم بارشی موسمی جنوب شرقی است که در آن‌ها بارش‌های موسمی تابستانه قابل توجه است. ارتفاعات البرز مرکزی و پس کرانه‌های دور شرق دریای خزر نیز دارای رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی است که در آن بارش به طور تقریباً منظمی در همه ماه‌های سال توزیع شده است.

واژه‌های کلیدی: ایران، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی، رژیم بارشی، مناطق همگن.

۱. مقدمه

مناطق اقلیمی ایران را شناسایی کردند. بعدها خلیلی و همکاران (۱۳۷۰) با ایجاد اصلاحاتی در روش طبقه‌بندی دومارتن (۱۹۲۶) طبقه‌بندی اقلیمی دیگری از ایران ارائه کردند. روش‌هایی مانند کوپن، تورنت وایت و دومارتون اغلب از دو یا چند متغیر اقلیمی به عنوان ورودی روش طبقه‌بندی اقلیمی استفاده می‌کنند تا نقش متغیرهای اقلیمی مؤثر در شکل‌دهی اقلیم مناطق در سامانه طبقه‌بندی در نظر گرفته شود؛ اما در پاره‌ای از موارد نیاز است تا تفاوت‌های مکانی موجود در منطقه مورد مطالعه تنها از نظر تغییرات زمانی یک متغیر اقلیمی ویژه مانند بارش بررسی شود.

بارش از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که در توزیع گیاهان، جانوران و جوامع انسانی روی کره زمین نقش اساسی دارد و به همین سبب بیشترین نقش را در اغلب روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی بازی می‌کند. توزیع زمانی و مکانی بارش، به ویژه نقش اساسی را در تعیین بیلان آبی مناطق مختلف جغرافیایی بازی می‌کند. از این رو شناخت

شناسایی مناطق همگن اقلیمی از دیرباز مورد توجه آب‌وهواشناسان بوده است. آن‌ها با استفاده از روش‌های گوناگون و بر اساس متغیرهای مهم اقلیمی مانند بارش و دما، کره زمین را به مناطق همگن اقلیمی طبقه‌بندی می‌کردند. از مهم‌ترین و معتبرترین روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی می‌توان به روش کوپن (۱۹۳۶) و تورنت وایت (۱۹۴۸) اشاره کرد که بیشتر از هر روش دیگری مورد پسند و استفاده پژوهشگران قرار گرفته است و پس از گذشت چندین دهه از عمرشان هنوز هم استفاده می‌شوند. از مزایای اصلی این دو روش این است که به صورت مستقیم و کمی، منطقه مورد مطالعه را به مناطق همگن اقلیمی طبقه‌بندی می‌کنند، ولی استفاده از دید کارشناسی در چگونگی تعیین گروه‌ها را می‌توان از نقاط ضعف این روش‌ها دانست که هنوز هم در جوامع علمی مورد بحث است (اونال و همکاران، ۲۰۰۳). عدل (۱۳۳۹) و گنجی (۱۳۵۳) اولین کسانی بودند که با استفاده از روش کوپن

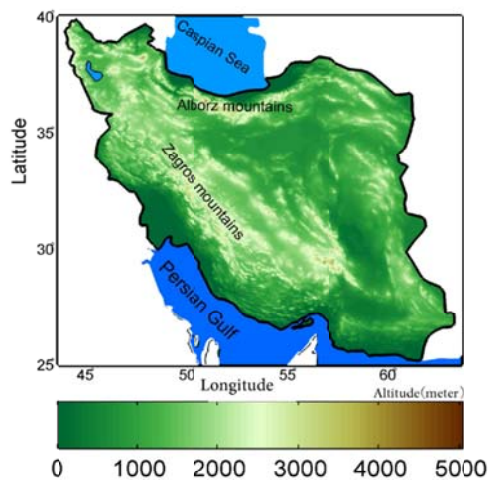
ویژگی‌های بارش مانند مقدار، شدت و طول فصل بارش از دیرباز مورد توجه آب‌وهواشناسان، آب‌شناسان و مهندسان منابع آب بوده است. شناسایی مناطق همگن بارشی مهم‌ترین پیش‌نیاز برنامه‌ریزی‌های محیطی به‌ویژه برنامه‌های مدیریت منابع و آمایش سرزمین است. پژوهشگرانی مانند اهرن‌دورفر (۱۹۸۷)؛ جانوواک (۱۹۸۸)؛ کومری و گلن (۱۹۹۸) و سینگ و سینگ (۱۹۹۶) از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه S برای منطقه‌بندی بارش استفاده کردند در حالی که تادهانتر و همکاران (۱۹۸۹)؛ فاول و فاول (۱۹۹۳)؛ لولیس و همکاران (۱۹۹۹)؛ دیگاتانو (۱۹۹۶)؛ رگونث و همکاران (۲۰۰۲) و احمد و همکاران (۲۰۰۵) آرایه R را برای منطقه‌بندی اقلیمی به کار برده‌اند. در آرایه S ایستگاه‌ها بر اساس هم‌وردایی زمانی یک متغیر معین مانند بارش گروه‌بندی می‌شوند در حالی که آرایه R با تحلیل مؤلفه‌های اصلی با در نظر گرفتن برهم‌کنش و هم‌وردایی متغیرهای مختلف، منطقه مورد مطالعه را به مناطق همگن تقسیم می‌کند (ریچمن، ۱۹۸۶). با استفاده از آرایه T مؤلفه‌های اصلی در کنار روش خوشه‌بندی نیز می‌توان تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه را بر اساس شکل توزیع ماهانه بارش در آن‌ها به گروه‌های همگن یا رژیم‌های بارشی مختلف گروه‌بندی کرد. با استفاده از این روش گرین و همکاران (۱۹۹۳) رژیم‌های بارشی جنوب کالیفرنیا و فرنا دز میلز (۱۹۹۵) رژیم‌های بارشی اسپانیا را شناسایی کردند. کانساکار و همکاران (۲۰۰۴) و ساریس و همکاران (۲۰۱۰) نیز با استفاده از روش خوشه‌بندی و بدون استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی به عنوان پیش‌پردازشگر، به ترتیب رژیم‌های بارشی نپال و ترکیه را شناسایی کردند.

جهانبخش اصل و ذوالفقاری (۱۳۸۱) با تحلیل مؤلفه‌های اصلی توزیع بارش روزانه ۲۲ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی پراکنده در غرب ایران توانستند این بخش از کشور را از نظر ویژگی‌های بارش روزانه به ۵ منطقه همگن بارشی منطقه‌بندی کنند. ذوالفقاری و ساری صراف (۱۳۷۸) نیز با خوشه‌بندی بر روی داده‌های بارش ماهانه ۲۴

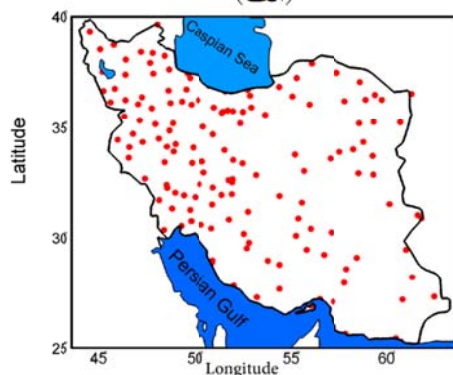
ایستگاه هواشناسی در همین منطقه، شمال غرب کشور را از نظر ویژگی‌های بارش به ۵ منطقه همگن تقسیم کردند. دین پزوه و همکاران (۲۰۰۴) نیز از میان ۵۷ متغیر اقلیمی وابسته به بارش در ۷۷ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی پراکنده در سطح کشور، ۱۲ مورد را انتخاب کردند و با تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی بر روی ۱۲ متغیر انتخابی توانستند کل کشور را به ۷ منطقه همگن از نظر ویژگی‌های بارشی تقسیم کنند. رضیعی و همکاران (۲۰۰۸) نیز با تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ۹ متغیر وابسته به بارش و خوشه‌بندی مؤلفه‌های به‌دست آمده، ۵ منطقه همگن بارشی برای غرب ایران شناسایی کردند. مدرس (۲۰۰۶) و مدرس و سرحدی (۲۰۱۱) نیز به کمک روش‌های خوشه‌بندی و ال-مومنت ایران را بر اساس تحلیل فراوانی بارش به ۸ منطقه همگن بارشی تقسیم کردند. مسعودیان و عطایی (۱۳۸۴) با استفاده از روش خوشه‌بندی ایران را بر اساس فصل‌های بارشی به پنج منطقه تقسیم و ویژگی‌های بارشی هر منطقه را بررسی کردند. در مطالعه‌ای دیگر و با روشی مشابه مسعودیان (۱۳۸۴) ایران را به سه رژیم بارشی اصلی و ۱۲ رژیم بارشی فرعی تقسیم‌بندی کرد. دومروئس و همکاران (۱۹۹۸) هم با تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی بر روی ۷۱ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی پراکنده در سطح کشور، ۵ رژیم بارشی برای ایران شناسایی کردند. بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در کشور نشان می‌دهد که مطالعه در زمینه شناسایی رژیم‌های بارشی ایران، یعنی گروه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس شکل توزیع ماهانه آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است و در اندک مطالعات انجام گرفته نیز تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده محدود بوده است و پراکنش نامناسبی در سطح کشور داشته است. علاوه بر این، نتایج این مطالعات اندک نیز از هماهنگی لازم برخوردار نیست که می‌تواند نتیجه استفاده از روش‌های متفاوت یا بهره‌گیری از تعداد ایستگاه‌های ناکافی باشد. با توجه به توپوگرافی پیچیده ایران (شکل ۱-الف) و گسترش کشور در پهنه‌ای به وسعت ۱۵ درجه عرض

می‌توانند با مقایسه بی‌هنجاری‌های بارش هر ماه با مقدار قابل انتظار آن ماه، با آگاهی بیشتری به مدیریت منابع آب منطقه بپردازند. به عنوان مثال مجموع بارش اکتبر تا ژانویه در بیشتر ایستگاه‌های منطقه زاگرس میانی نزدیک به ۶۰ درصد کل بارش سالانه را شامل می‌شود و در سال‌هایی که مجموع بارش این دوره کمتر از میانگین درازمدت منطقه باشد، لازم است مدیران منطقه‌ای منابع آب بسیاری از شهرها و استان‌هایی که آب مورد نیاز خود را از حوضه‌های زاگرس میانی تأمین می‌کنند، از همان اول زمستان به فکر مدیریت منابع آب باشند. از این رو، با شناسایی رژیم‌های بارشی کشور و مبنای قرار دادن آن در برنامه‌های مدیریت منابع آب کشور می‌توان تا حدود بسیار زیادی از پیامدهای زیان‌بار کم‌آبی‌ها و خشک‌سالی‌ها جلوگیری کرد.

جغرافیایی (۲۵ تا ۴۰ درجه جغرافیایی) و ۲۰ درجه طول جغرافیایی (۴۴ تا ۶۴ درجه جغرافیایی) نمی‌توان با تعداد محدود و نامنظمی از ایستگاه‌های باران‌سنجی به ارزیابی دقیقی از رژیم‌های بارشی کشور دست یافت. از این رو، هدف از پژوهش حاضر شناخت دقیق‌تری از رژیم‌های بارشی ایران است که با استفاده از ۱۵۵ ایستگاه همدیدی با پراکنش تقریباً منظم در سطح کشور (شکل ۱-ب) به انجام رسیده است. منطقه‌بندی کشور از نظر شکل توزیع ماهانه بارش (رژیم بارشی)، بدون توجه به مقدار مطلق بارش در هر ماه و ایستگاه، ابزاری است که می‌تواند مدیران منطقه‌ای منابع آب را در مدیریت هر چه بهتر منابع آب در یک منطقه کمک کند. با شناسایی رژیم‌های بارشی کشور، مقدار بارش قابل انتظار هر ماه در مناطق مختلف شناسایی می‌شود و مدیران منابع آب هر منطقه



(الف)



(ب)

شکل ۱. الف) نقشه ناهمواری‌های ایران و ب) پراکنش ایستگاه‌های همدیدی بر روی نقشه ایران.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۱-۲. داده‌ها

برای این پژوهش از آمار مجموع بارش ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی کشور برای دوره آماری بیست و پنج ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴) استفاده شده است. اگرچه بسیاری از ایستگاه‌های مورد استفاده از آمار طولانی‌تری برخوردار هستند ولی دوره آماری در این پژوهش از این جهت کوتاه‌تر در نظر گرفته شد تا یک شبکه تقریباً منظم از نقاط برای مطالعه به دست آید (شکل ۱-ب). در این دوره آماری اکثر ایستگاه‌های مورد استفاده از آمار کامل برخوردار هستند. حدود ۲۰ درصد از ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ آمار گم‌شده دارند که با توجه به اینکه آمار گم‌شده کمتر از ۱۰ درصد کل داده‌های هر ایستگاه را شامل می‌شود و اینکه توزیع نقاط در مقایسه با طول دوره آماری از اهمیت بیشتری در این مطالعه برخوردار است، آمار این دسته از ایستگاه‌ها نیز بدون بازسازی آماری استفاده شدند. با توجه به پراکنده شدن این آمار گم‌شده در ماه‌های مختلف سال، نبود این داده‌ها تأثیری در میانگین دوره آماری ایجاد نمی‌کند و با اطمینان می‌توان از میانگین دوره آماری این نقاط در این مطالعه استفاده کرد. با توجه به شکل ۱-ب ملاحظه می‌شود که پراکنش نقاط در سطح کشور تقریباً منظم است و از بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب شرقی کشور نیز ایستگاه‌های درخور توجهی استفاده شده‌اند. نقشه پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱-ب در مقایسه با ایستگاه‌های مورد استفاده در کار دومروئس و همکاران (۱۹۹۸) از تراکم بسیار بیشتری برخوردار است و می‌توان گفت که از هر منطقه اقلیمی کشور حداقل یک ایستگاه معرف در این نقشه دیده می‌شود که شرایط تقریباً آرمانی را برای شناسایی رژیم‌های بارشی کشور فراهم کرده است. این شبکه ایستگاهی همچنین یکی از پیش‌نیازهای روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی را که همان توزیع تقریباً یکنواخت نقاط است، تأمین و از انحراف نتایج جلوگیری می‌کند (ریچمن، ۱۹۸۶). یکی دیگر از پیش‌نیازهای روش

تحلیل مؤلفه‌های اصلی نرمال‌بودن داده‌ها یا محدود بودن دامنه تغییرات داده‌هاست (ریچمن، ۱۹۸۶). از این رو در این پژوهش به جای استفاده از مقدار واقعی بارش، از نسبت بارش ماهانه به مجموع بارش سالانه (درصد بارش ماهانه) استفاده شده است تا از دامنه تغییرات داده‌ها کاسته شده و توزیع داده‌ها به توزیع نرمال نزدیک‌تر شود. استفاده از درصد بارش ماهانه از دادن وزن بیشتر به نقاط با مقدار بارش زیادتر جلوگیری می‌کند.

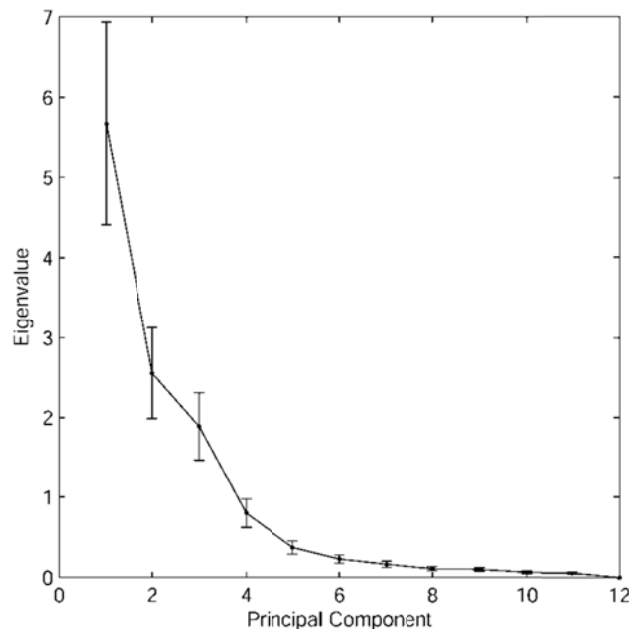
۲-۲. روش‌ها

تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی از جمله روش‌هایی هستند که برای منطقه‌بندی‌های اقلیمی به کار می‌روند (اهرنדרفر، ۱۹۸۷؛ فاوول و فاوول، ۱۹۹۳؛ بانکرز و همکاران، ۱۹۹۶). در آب و هواشناسی از چهار آرایه T و S ، R ، P و T برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود (یارنال، ۱۹۹۳). برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی معمولاً از ماتریس همبستگی یا ماتریس هم‌پراش بین متغیرها استفاده می‌شود. استفاده از ماتریس همبستگی موجب استاندارد شدن داده‌ها و در نظر گرفتن وزن برابر برای آن‌ها می‌شود. برای انتخاب تعداد مؤلفه‌های معنادار نیز از روش‌های مختلفی مانند نمودار غربالی و آزمون نورث (نورث و همکاران، ۱۹۸۲) استفاده می‌شود. مؤلفه‌های انتخابی را نیز معمولاً به یکی از روش‌های چرخش مایل یا عمودی چرخش می‌دهند تا اطلاعات موجود در داده‌ها خود را بهتر نمایش داده و تفسیر آن‌ها ساده‌تر شود. چرخش عمودی به شیوه وریمکس و چرخش مایل به شیوه پرومکس بیشتر از هر روش دیگری استفاده می‌شود (ریچمن، ۱۹۸۱). برای طبقه‌بندی‌های اقلیمی معمولاً از روش خوشه‌بندی در کنار روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود تا آن دسته از متغیرهایی که بیشترین شباهت را با هم دارند، شناسایی شوند و در یک خوشه همگن قرار گیرند (بانکرز و همکاران، ۱۹۹۶). برای ارزیابی همانندی یا فاصله هر جفت از متغیرها از یکدیگر نیز از معیارهایی مانند فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود (فاوول و فاوول، ۱۹۹۳).

در این رابطه r_{ij}^2 و a_{ij}^2 به ترتیب ضریب همبستگی ساده و ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر i و j است. با اجرای آزمون KMO بر روی ماتریس داده‌ها مقدار KMO برابر با ۰/۷۹ به دست آمد که نشان می‌دهد ماتریس مورد نظر در این پژوهش از شرایط تقریباً عالی برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی برخوردار است. پس از اطمینان از امکان استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای کاهش داده‌ها، این روش با آرایه T بر روی ماتریس همبستگی داده‌ها اجرا شد و با استفاده از نمودار غربالی و آزمون نورث (شکل ۲) تعداد ۵ مؤلفه اول که مجموعاً ۹۴ درصد واریانس کل داده‌ها را تشکیل می‌دهند، برای استفاده در روش خوشه‌بندی انتخاب شدند. مؤلفه‌های انتخاب‌شده سپس به شیوه عمودی (روش واریانس) چرخش داده شدند تا ساختار موجود در داده‌ها بهتر شناسایی شود. جدول ۱ درصد واریانس و واریانس جمعی مؤلفه‌های انتخابی را پیش و پس از چرخش نشان می‌دهد.

میانگین درصد بارش ماهانه ۱۵۵ ایستگاه نمایش داده شده در شکل ۱-ب برای دوره آماری بیست و پنج ساله ۲۰۱۴-۱۹۹۰ در ماتریسی به ابعاد 12×155 تشکیل و به عنوان ورودی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه T استفاده شد. در این ماتریس عدد ۱۲ و ۱۵۵ به ترتیب معرف تعداد ماه‌های سال و تعداد ایستگاه‌ها است. ماتریس مورد نظر با استفاده از آزمون KMO به شکل رابطه ۱ (شسکین، ۲۰۰۷) بررسی شد تا مشخص شود که آیا کفایت لازم را برای استفاده در تحلیل مؤلفه‌های اصلی دارد یا خیر. مقدار KMO برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۹ یعنی ماتریس مورد نظر برای انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی دارای شرایط بسیار عالی است؛ برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۸ شرایط عالی، برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۷ شرایط خوب، برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۶ شرایط تقریباً مناسب و برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۵ شرایط نامناسب را نشان می‌دهد. مقدار کوچک‌تر از ۰/۵ نیز گویای شرایط بسیار نامناسب است.

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}^2} \quad (1)$$



شکل ۲. مقادیر ویژه مؤلفه‌ها و میزان خطای آن‌ها در دامنه اطمینان ۹۵٪.

جدول ۱. درصد واریانس و واریانس افزایشی مؤلفه‌های انتخابی پیش از چرخش و پس از چرخش.

| شماره مؤلفه | بدون چرخش | | چرخش به شیوه واریماکس | |
|-------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | درصد واریانس | درصد افزایشی واریانس | درصد واریانس | درصد افزایشی واریانس |
| ۱ | ۴۷/۳ | ۴۷/۳ | ۲۷/۹ | ۲۷/۹ |
| ۲ | ۲۱/۳ | ۶۸/۵ | ۲۰/۸ | ۴۸/۷ |
| ۳ | ۱۵/۷ | ۸۴/۳ | ۱۹/۲ | ۶۷/۹ |
| ۴ | ۶/۷ | ۹۰/۹ | ۱۷/۱ | ۸۵/۰ |
| ۵ | ۳/۱ | ۹۴/۰ | ۹/۰ | ۹۴/۰ |

فاصله اقلیدسی بین نقاط t_i و t_j در درخت خوشه‌بندی است. فاصله این دو نقطه در درخت خوشه‌بندی برابر با ارتفاع گره‌ای است که در آن این دو نقطه برای نخستین بار با هم ترکیب شده‌اند.

ضریب همبستگی کوفنتیک برای روش‌های مختلف خوشه‌بندی پایگانی بین ۰/۶۶ تا ۰/۸۶ محاسبه شد. کوچک‌ترین مقدار این ضریب با رقم ۰/۶۶ برای روش خوشه‌بندی وارد (Ward) و بالاترین آن با رقم ۰/۸۶ برای روش خوشه‌بندی اتصال مرکزی به دست آمد. بررسی ساختار درخت خوشه‌بندی و پراکنش خوشه‌های به دست آمده از روش‌های مختلف بر روی نقشه ایران نشان داد که روش‌هایی که بالاترین ضریب همبستگی کوفنتیک را دارا هستند، با ایجاد یک یا دو خوشه بسیار بزرگ و چندین خوشه بسیار کوچک یا تک‌عضوی با واقعیت‌های جغرافیایی کشور هماهنگی لازم را ندارد. در مقابل، با وجود مقدار کوچک‌تر ضریب همبستگی کوفنتیک برای روش وارد، پراکنش خوشه‌های به دست آمده از این روش بر روی نقشه ایران از پیوستگی مکانی خوبی برخوردار است و با واقعیت‌های جغرافیایی کشور هماهنگی بهتری نشان می‌دهد. روش خوشه‌بندی چندهسته‌ای نیز بر روی داده‌ها اجرا و نتیجه آن با روش وارد مقایسه شد. مقایسه پراکنش خوشه‌های روش خوشه‌بندی چندهسته‌ای و روش وارد بر روی نقشه ایران نیز روش خوشه‌بندی وارد را مناسب‌ترین گزینه معرفی کرد. نتیجه این پژوهش، این گفته یارنال (۱۹۹۳) را تأیید می‌کند که روش وارد بهتر از هر روش دیگری داده‌های

در این پژوهش از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی به عنوان پیش‌پردازشگر برای شناسایی متغیرهای همبسته و استفاده در روش خوشه‌بندی بهره‌گیری شد. نمره استاندارد پنج مؤلفه انتخابی، بدون چرخش و همچنین با چرخش، به روش واریماکس به عنوان ورودی روش خوشه‌بندی چندهسته‌ای و انواع خوشه‌بندی‌های پایگانی به کار رفت و نتیجه خوشه‌بندی‌های مختلف با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شد. از آنجا که برخی از پژوهشگران مانند مسعودیان و عطایی (۱۳۸۴) و مسعودیان (۱۳۸۴) از روش خوشه‌بندی پایگانی بدون بهره‌گیری از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی به عنوان پیش‌پردازشگر بهره برده‌اند، استفاده از این شیوه نیز بررسی و ارزیابی شد.

به منظور شناسایی مناسب‌ترین روش خوشه‌بندی پایگانی از ضریب همبستگی کوفنتیک (Cophenetic correlation coefficient) به شکل رابطه ۲ استفاده شد (رائو و سرینیواس، ۲۰۰۶؛ سارچیلی و همکاران، ۲۰۱۳). این ضریب با ایجاد همبستگی بین درخت خوشه‌بندی و فاصله واقعی نقاط از یکدیگر که درخت خوشه‌بندی براساس آن ساخته شده است، به ارزیابی دقت روش خوشه‌بندی می‌پردازد تا دریابد روش خوشه‌بندی مورد نظر چه اندازه توانسته است ساختار واقعی نقاط را نمایش دهد.

$$C = \frac{\sum_{i < j} (x(i,j) - \bar{x})(t(i,j) - \bar{t})}{\sqrt{[\sum_{i < j} (x(i,j) - \bar{x})^2][\sum_{i < j} (t(i,j) - \bar{t})^2]}} \quad (2)$$

در این رابطه $x(i,j) = |x_i - x_j|$ برابر است با فاصله اقلیدسی بین مشاهده i ام و j ام داده‌های واقعی و $t(i,j)$ نیز

خوشه‌های ۲ تا ۱۵ محاسبه و به صورت نمودار نمایش داده شده است.

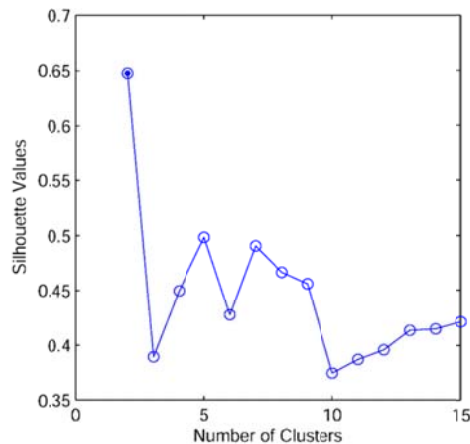
با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که مقدار نمایه Silhouette برای خوشه‌های برابر با ۲، ۵، ۷ و ۹ رقم‌های زیادی را نشان می‌دهد. نتیجه خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به دو خوشه نشان داد که بسیاری از ایستگاه‌های ناهمانند در یک گروه قرار می‌گیرند که با واقعیت‌های جغرافیایی ایران ناسازگار است. خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به ۵ گروه نیز سبب ایجاد یک خوشه بسیار بزرگ می‌شود که در آن ایستگاه‌های بخش بسیار گسترده‌ای از ایران در یک گروه قرار می‌گیرند و اگر چه در سهم بارش ماهانه بسیاری از ماه‌ها با هم همانند هستند ولی در برخی ماه‌ها تقریباً ناهمانند نشان می‌دهند. خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به ۷ گروه نیز این مشکل را برطرف نمی‌کند و تنها موجب پیدایش دو خوشه کم‌جمعیت می‌شود که با گروه‌های مجاور خود خیلی تفاوتی نشان نمی‌دهند. با توجه به رقم تقریباً بزرگ مقدار نمایه سیلهوت در خوشه برابر عدد ۹ (شکل ۳) خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به ۹ خوشه، به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد. بررسی پراکنش نقاط این ۹ خوشه بر روی نقشه ایران نیز نشان داد که الگوی مکانی توزیع این ۹ خوشه بر روی نقشه کشور با ویژگی‌های جغرافیایی ایران هماهنگی بیشتری دارد که در بخش نتایج در این باره بیشتر توضیح داده می‌شود.

اقلیمی را خوشه‌بندی می‌کند و خوشه‌های تولیدشده به این روش از کمترین همانندی بین گروهی و بیشترین همانندی درون گروهی برخوردارند. از این رو، روش وارد به عنوان مناسب‌ترین روش خوشه‌بندی شناسایی شد و در این پژوهش به کار رفت.

برای شناسایی و انتخاب تعداد خوشه‌های بهینه از نمایه سیلهوت (Silhouette) که با رابطه ۳ نمایش داده می‌شود، استفاده شده است. این نمایه با محاسبه فاصله درون‌گروهی و بین‌گروهی خوشه‌ها به ارزیابی کیفیت و همگنی خوشه‌های به دست آمده می‌پردازد (روسو، ۱۹۸۷).

$$s(i) = (b(i) - a(i)) / \max[a(i), b(i)] \quad (3)$$

در این رابطه $a(i)$ میانگین فاصله اقلیدسی بین عضو i و دیگر عضوهای خوشه A ، $b(i)$ کوچک‌ترین فاصله اقلیدسی بین عضو i و دیگر عضوهای هر خوشه دیگر (B) است. مقدار این نمایه بین -۱ تا ۱ در تغییر است. هرچه مقدار $s(i)$ یک خوشه‌بندی معین به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همانندی زیاد درون‌گروهی و ناهمانندی زیاد بین‌گروهی خوشه‌هاست. از این رو با محاسبه مقدار $s(i)$ برای تعداد خوشه‌های مختلف و مقایسه آن‌ها می‌توان تعداد خوشه بهینه برای یک خوشه‌بندی مناسب را شناسایی کرد. از نمایه Silhouette همچنین می‌توان برای داوری در مورد کیفیت خوشه‌بندی انجام‌گرفته، استفاده کرد. با توجه به شکل ۳ نمایه Silhouette برای تعداد



شکل ۳. مقادیر نمایه Silhouette برای تعداد خوشه‌های برابر با ۲ تا ۱۵.

۳. نتایج

۳-۱. رژیم‌های بارشی

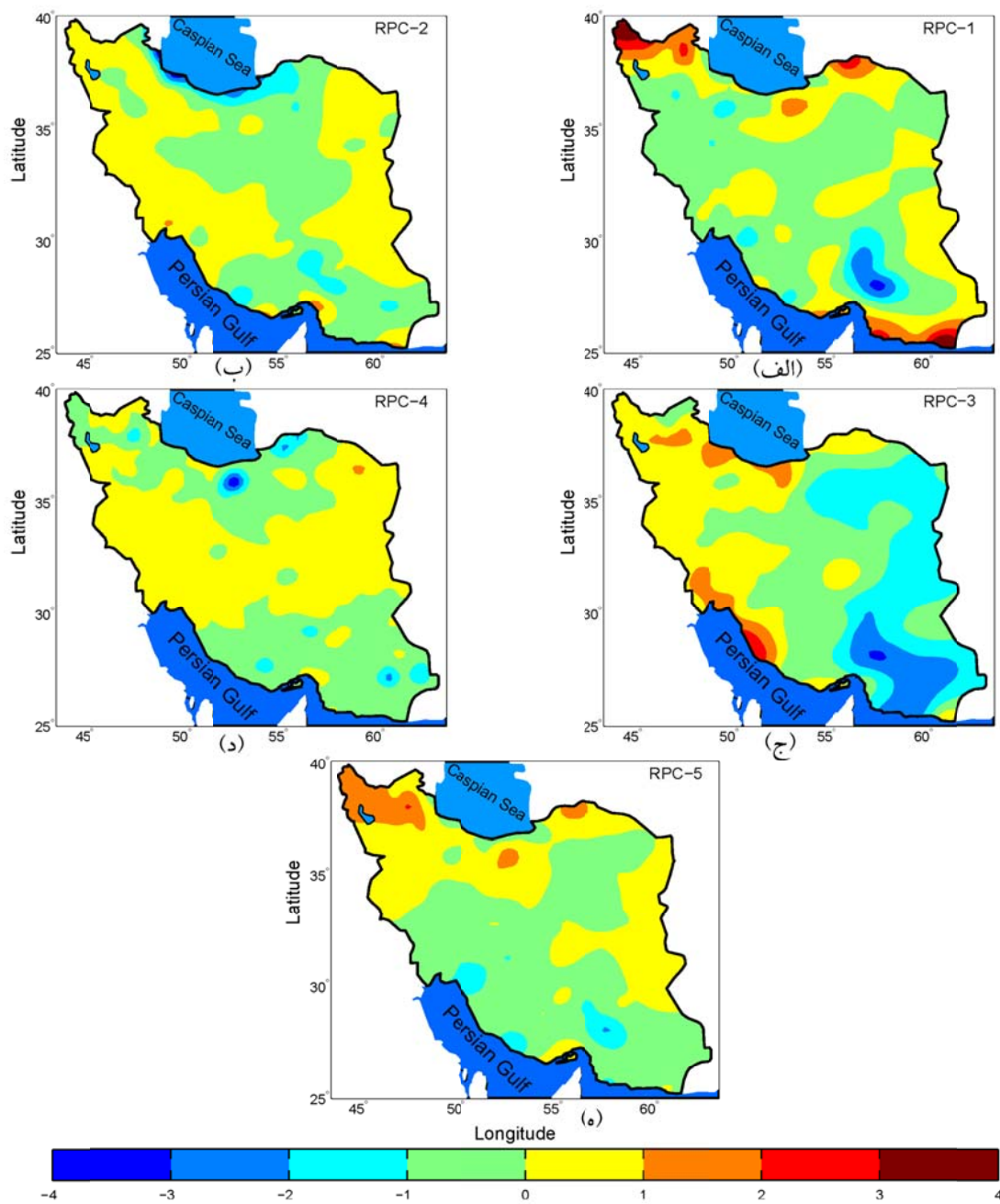
جدول ۲ مقدار بارگویه مؤلفه‌های انتخابی را که به شیوه واریماکس چرخش یافته‌اند، نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود که مؤلفه اول بیشترین بار را بر روی ماه‌های دسامبر و ژانویه (با بار منفی) و ماه‌های آوریل و مه (با بار مثبت) دارد که نشان‌دهنده سهم درخور توجه بارش این ماه‌ها در بخش گسترده‌ای از ایران است و در شکل ۴-الف به ترتیب با نمره استاندارد منفی و مثبت نمایش داده شده است. مؤلفه دوم نیز با بار منفی بسیار بالا بر روی ماه‌های ژولای و اوت (جدول ۲) نشان‌دهنده ریزش بارش‌های تابستانه در ناحیه خزری، ارتفاعات البرز و بخش‌هایی از جنوب و جنوب شرق کشور است که در شکل ۴-ب با نمره استاندارد منفی نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۲، مؤلفه سوم با داشتن بیشترین بارگویه منفی بر روی ماه‌های مارس و فوریه و نیز بیشترین بارگویه مثبت بر روی ماه نوامبر نمایشگر اهمیت بارش در این ماه‌هاست. شکل ۴-ج گستره زیر پوشش این بارش‌ها را به ترتیب در نیمه غربی و شرقی کشور با نمره استاندارد منفی و مثبت نمایش می‌دهد. مؤلفه چهارم نیز با بار منفی بسیار زیاد بر روی ماه‌های سپتامبر و اکتبر نمایشگر بارش‌های آخر تابستان و اول پاییز در ارتفاعات البرز و بخش‌هایی از

شمال شرق و نیمه جنوبی کشور است (شکل ۴-د). مؤلفه پنجم هم با بارگویه بالا و مثبت بر روی ماه ژوئن (جدول ۲) نمایشگر اهمیت بارش ماه ژوئن در بخش‌های شمالی و شرقی کشور است (شکل ۴-ی).

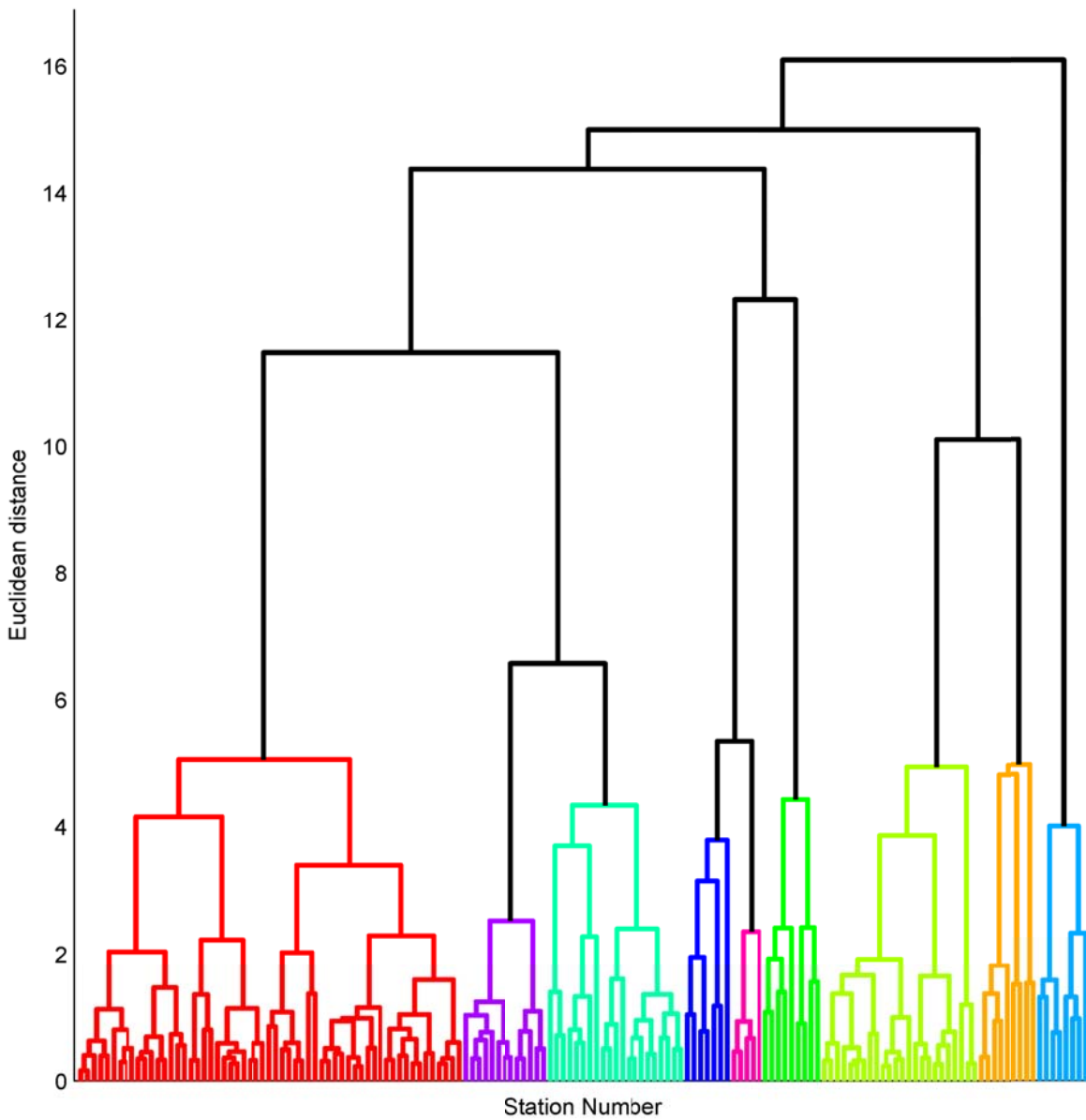
با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود که نقشه پراکنش نمره استاندارد مؤلفه‌های اول تا پنجم به‌خوبی تفاوت‌های مکانی مناطق مختلف کشور را از نظر دریافت بارش در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. از این رو نمره استاندارد مؤلفه‌های یادشده معیار خوبی برای گروه‌بندی ایستگاه‌های مختلف کشور از نظر شکل توزیع بارش یا رژیم بارشی هستند. بر این اساس روش خوشه‌بندی وارد، به‌عنوان مناسب‌ترین روش خوشه‌بندی (بخش ۲-۲) بر روی نمره استاندارد مؤلفه‌های انتخابی اجرا شد و با توجه به مقادیر نمایه Silhouette که در شکل ۳ نمایش داده شده است، ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۹ گروه همگن خوشه‌بندی شدند. شکل ۵ درخت خوشه‌بندی روش وارد را که بر روی نمره استاندارد مؤلفه‌های انتخابی انجام گرفته است، نشان می‌دهد. با استفاده از فاصله اقلیدسی برابر با ۴/۹ به عنوان آستانه خوشه‌بندی نقاط، تمامی ۱۵۵ ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش به ۹ خوشه همگن از نظر شکل توزیع ماهانه بارش یا رژیم بارشی دسته‌بندی شدند.

جدول ۲. مقدار بارگویه مؤلفه‌های انتخابی چرخش یافته به شیوه واریماکس.

| ماه | مؤلفه اول | مؤلفه دوم | مؤلفه سوم | مؤلفه چهارم | مؤلفه پنجم |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|
| ژانویه | -۰/۸۳ | ۰/۲۴ | -۰/۱۷ | ۰/۴۰ | -۰/۰۴ |
| فوریه | -۰/۲۵ | ۰/۰۹ | -۰/۷۲ | ۰/۲۳ | -۰/۵۳ |
| مارس | ۰/۰۶ | ۰/۴۷ | -۰/۷۹ | ۰/۲۱ | -۰/۰۸ |
| آوریل | ۰/۹۶ | ۰/۱۶ | ۰/۰۴ | ۰/۱۶ | -۰/۰۶ |
| مه | ۰/۸۸ | -۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۲ | ۰/۳۷ |
| ژوئن | ۰/۳۰ | -۰/۵۹ | ۰/۰۰ | -۰/۱۹ | ۰/۶۹ |
| ژولای | ۰/۲۴ | -۰/۸۶ | ۰/۰۷ | -۰/۲۰ | ۰/۳۲ |
| اوت | -۰/۰۳ | -۰/۸۵ | -۰/۰۱ | -۰/۴۶ | -۰/۰۱ |
| سپتامبر | ۰/۰۲ | -۰/۴۱ | ۰/۲۳ | -۰/۸۴ | ۰/۱۶ |
| اکتبر | ۰/۲۷ | -۰/۲۹ | ۰/۴۲ | -۰/۷۸ | ۰/۰۸ |
| نوامبر | ۰/۰۱ | ۰/۲۲ | ۰/۹۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۱ |
| دسامبر | -۰/۸۲ | ۰/۲۴ | ۰/۱۸ | ۰/۳۸ | -۰/۱۷ |



شکل ۴. توزیع مکانی نمره استاندارد مؤلفه‌های اول تا پنجم پس از چرخش به شیوه واریماکس.



شکل ۵. درخت خوشه‌بندی روش وارد با فاصله اقلیدسی استاندارد شده.

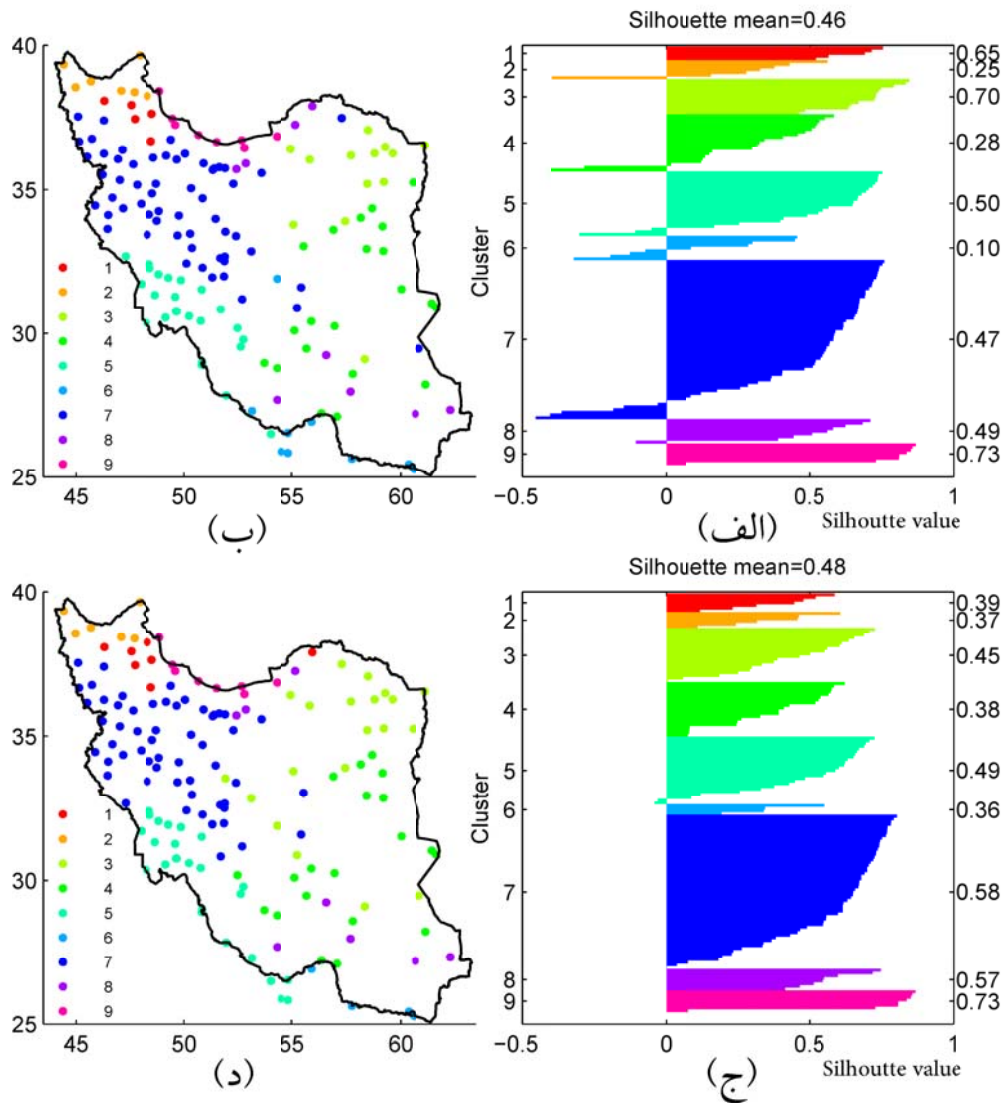
به یکدیگر نشان می‌دهند، ولی وجود یک عضو با مقدار منفی سبب کاهش میانگین نمایه سیلهوت (۰/۲۵) برای این خوشه شده و از همانندی درون‌گروهی خوشه به مقدار زیادی کاسته است. خوشه سوم را می‌توان یکی از همگن‌ترین خوشه‌ها به شمار آورد چرا که مقدار میانگین نمایه Silhouette برای این خوشه ۰/۷۰ است و مقدار نمایه بیشتر عضوهای آن نیز به یک نزدیک است. مقدار نمایه Silhouette برای بیشتر عضوهای خوشه ۴ نیز مثبت

شکل ۶-الف مقدار نمایه Silhouette را برای عضوهای مختلف ۹ خوشه شناسایی شده نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مقدار نمایه Silhouette برای عضوهای مختلف خوشه ۱ مثبت و به یک نزدیک است؛ میانگین نمایه Silhouette برای این خوشه نیز ۰/۶۵ است که رقم بالایی است و نشان می‌دهد که این خوشه از همانندی درون‌گروهی زیادی برخوردار است. بیشتر عضوهای خوشه دوم هم با مقدار نمایه مثبت همانندی زیاد خود را

قرار نگرفته‌اند و همین سبب شده است که از همگنی برخی خوشه‌ها به شدت کاسته شود. این دسته از ایستگاه‌ها یا در منطقه مرزی بین دو خوشه مختلف قرار دارند و تعیین خوشه مناسب آن‌ها برای روش خوشه‌بندی دشوار بوده است یا اینکه به طور کلی فرایند خوشه‌بندی نتوانسته است خوشه مناسب آن‌ها را به درستی تعیین کند.

با توجه به این موضوع، در محیط برنامه‌نویسی متلب برنامه‌ای نوشته شد تا به طور خودکار هر یک از ایستگاه‌هایی را که در شکل ۶-الف با مقدار منفی نمایه Silhouette مشخص شده‌اند، به خوشه مناسب خود اضافه کند و مقدار نمایه از نو محاسبه شد. پس از این جابه‌جایی‌ها نمایه سیلهوت یک‌بار دیگر برای همه خوشه‌ها محاسبه شد که نتیجه آن در شکل ۶-ج نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۶-ج ملاحظه می‌شود که نمایه سیلهوت همه عضوهای ۹ خوشه به دست آمده مثبت شده است و میانگین نمایه سیلهوت خوشه‌ها نیز افزایش قابل توجهی یافته است؛ البته با مقایسه شکل ۶-الف و شکل ۶-ج همچنین می‌توان دریافت که از میانگین نمایه سیلهوت در برخی از خوشه‌ها کاسته شده است که دلیل آن اضافه شدن ایستگاه‌هایی است که از خوشه‌های دیگر به آن انتقال یافته‌اند. به طور کلی جابه‌جایی خودکار این دسته از ایستگاه‌ها به مناسب‌ترین خوشه ممکن، سبب افزایش همگنی درون گروهی خوشه‌ها و در نتیجه افزایش کیفیت کار خوشه‌بندی شده است. با مقایسه شکل ۶-الف و شکل ۶-ج می‌توان دریافت که میانگین نمایه سیلهوت از ۰/۴۶ در ۶-الف به ۰/۴۸ در شکل ۶-ج افزایش پیدا کرده است که نشان‌دهنده افزایش کیفیت کار خوشه‌بندی است. پراکنش ایستگاه‌ها در خوشه‌ها پس از انتقال این دسته از ایستگاه‌ها به مناسب‌ترین خوشه در شکل ۶-د نمایش داده شده است. شکل ۶-د در مقایسه با شکل ۶-ب نمایش بهتری از خوشه‌بندی ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد که با واقعیت‌های جغرافیایی مناطق نیز هم‌خوانی بیشتری دارد.

و بزرگ‌تر از ۰/۵ است، اما مقدار نمایه برای دو عضو این خوشه منفی است که نشان می‌دهد که این ایستگاه‌ها در منطقه مرزی بین خوشه‌ای قرار دارند یا اینکه به اشتباه در این خوشه قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل ۶-الف میانگین نمایه سیلهوت برای خوشه پنجم برابر با ۰/۵۰ است که نشانگر همانندی درون گروهی خوب این خوشه است. در این خوشه نیز سه عضو با مقدار نمایه منفی مشخص هستند که باعث کاهش مقدار میانگین نمایه خوشه شده‌اند. خوشه ششم اگرچه خوشه کم‌جمعیتی است ولی مقدار کم میانگین نمایه سیلهوت این خوشه (۰/۱۰) نشان از ناهمانندی درون گروهی عضوهای آن دارد. خوشه هفتم اگرچه پرجمعیت‌ترین خوشه است ولی مقدار تقریباً زیاد نمایه سیلهوت آن (۰/۴۷) نشان‌دهنده همانندی شایان توجه این خوشه است. با این حال، مقدار منفی نمایه سیلهوت تعدادی از عضوهای این خوشه نشان می‌دهد که این ایستگاه‌ها همانندی زیادی با دیگر ایستگاه‌های خوشه ندارند و قرار گرفتن آن‌ها در یک گروه نادرست است. مقدار بالای میانگین نمایه سیلهوت در خوشه هشتم (۰/۵۷) از همانندی درون گروهی قابل توجه این خوشه نشان دارد. مقدار نمایه سیلهوت برای همه عضوهای این خوشه بزرگ‌تر از ۰/۵ و به یک نزدیک است که نشان از همگنی این خوشه دارد. مقدار بالای میانگین نمایه سیلهوت با رقم ۰/۷۳ خوشه نهم را، همگن‌ترین خوشه معرفی می‌کند. مقدار نمایه سیلهوت برای عضوهای مختلف این خوشه رقم‌های بسیار بزرگی را نشان می‌دهد که نشان از همانندی درون گروهی بسیار زیاد عضوهای این خوشه دارد. شکل ۶-ب نیز پراکنش خوشه‌ها را در این خوشه‌بندی نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل به نظر می‌رسد که بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در خوشه مناسب خود قرار گرفته‌اند و خوشه‌ها نیز از پیوستگی مکانی خوبی برخوردارند. اما همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد برخی از ایستگاه‌ها که با مقدار منفی نمایه سیلهوت در شکل ۶-الف مشخص شده‌اند، در خوشه مناسب خود



شکل ۶. الف) نمودار نمایه Silhouette برای خوشه‌های ۱ تا ۹، ب) پراکنش ایستگاه‌ها و خوشه‌ها بر روی نقشه ایران، ج و د) همانند الف و ب، اما پس از جابه‌جایی برخی از ایستگاه‌ها به مناسب‌ترین خوشه ممکن.

تا همه آنها در یک خوشه بسیار همگن قرار گیرند. این دو گروه از ایستگاه‌ها اگرچه تا حدودی با یکدیگر متفاوتند ولی همانندی میان آنها به اندازه‌ای زیاد است که خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به ۹ خوشه آنها را از یکدیگر جدا نکرد. این خوشه به عنوان یکی از پایدارترین و همگن‌ترین خوشه‌ها زمانی به دو زیر خوشه تقسیم می‌شود که فاصله اقلیدسی برای خوشه‌بندی ایستگاه‌ها کمتر از ۴

با توجه به درخت خوشه‌بندی (شکل ۵) و شکل‌های ۶-۶-۶، خوشه هشتم از ترکیب ایستگاه‌های گنبد کاووس، مراوه‌تپه، فیروزکوه و پل فیروزکوه در شمال کشور و ایستگاه‌های سراوان، ایرانشهر، کهنوج، بافت و لار در جنوب کشور تشکیل شده است. همانندی این ایستگاه‌ها از نظر داشتن بیشینه بارش در زمستان و نیز دریافت بارش‌های شایان توجه در فصل تابستان سبب شد

این رژیم بارشی دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۷). در این رژیم بارشی نیز بارش از توزیع تقریباً منظمی در همه ماه‌های سال برخوردار است (شکل ۸-ب). این رژیم بارشی همانندی بسیار زیادی با رژیم بارشی آذربایجان شمالی دارد (شکل ۸-الف) با این تفاوت که در رژیم بارشی آذربایجان جنوبی بیشینه بارش در ماه آوریل ریزش می‌کند و ماه‌های مه و مارس به ترتیب دومین و سومین ماه پُربارش این بخش از کشور است. با مقایسه شکل‌های ۸-الف و ۸-ب همچنین ملاحظه می‌شود که سهم بارش ماه‌های زمستان در رژیم بارشی آذربایجان جنوبی بسیار بیشتر از رژیم بارشی آذربایجان شمالی است، اما سهم بارش ماه سپتامبر در رژیم بارشی آذربایجان شمالی اندکی بیشتر است.

رژیم بارشی مرکزی-شمال شرقی: با نگاهی به شکل ۷ ملاحظه می‌شود که تعداد ۲۰ ایستگاه همدیدی پراکنده در بخش مرکزی و شمال شرقی ایران از یک رژیم بارشی همانند برخوردارند که در شکل ۸-ج نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۸-ج ملاحظه می‌شود که در این رژیم بارشی بارش‌ها از ماه اکتبر آغاز می‌شود و در ژوئن به پایان می‌رسد و ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر فصل خشک این رژیم بارشی را تشکیل می‌دهند. در این رژیم بارشی فصل زمستان پُربارش‌ترین فصل سال و ماه مارس پُربارش‌ترین ماه سال به شمار می‌رود.

رژیم بارشی مرکزی-شرقی: با توجه به شکل ۷ تعداد ۲۰ ایستگاه همدیدی پراکنده در بخش مرکزی و شرقی ایران نیز از یک رژیم بارشی همانند آنچه در شکل ۸-د نمایش داده شده است، برخوردارند. با مقایسه شکل ۸-ج با شکل ۸-د ملاحظه می‌شود که فصل بارش‌ها در این رژیم بارشی محدودتر است و در ماه‌های نوامبر تا مه متمرکز شده است. در این رژیم بارشی ماه‌های ژانویه تا مارس به نسبتی تقریباً برابر بارش دریافت می‌کنند، هر چند ژانویه را به دلیل دریافت اندکی بیشتر از سهم بارش سالانه می‌توان پُربارش‌ترین ماه سال معرفی کرد. با توجه به

در نظر گرفته شود و ایستگاه‌ها به ۱۴ خوشه یا بیشتر تقسیم شوند. تقسیم ایستگاه‌ها به ۱۴ خوشه نیز سبب پیدایش چندین خوشه کوچک و کم جمعیت می‌شود که توزیع جغرافیایی برخی از آنها توجیه علمی ندارد. بر این اساس، خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به ۹ خوشه به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد، ولی با توجه به وجود تفاوت‌های قابل توجه بین دو گروه از ایستگاه‌های خوشه هشتم این خوشه با دید کارشناسی به دو زیرخوشه مستقل از هم تقسیم شد. با این تغییر همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۱۰ خوشه یا رژیم بارشی همگن، گروه‌بندی و بر اساس موقعیت جغرافیایی آنها نام‌گذاری شدند (شکل ۷). در زیر ویژگی‌های ۱۰ رژیم بارشی به دست آمده در این پژوهش به تفصیل توضیح داده می‌شود.

رژیم بارشی آذربایجان شمالی: تعداد ۶ ایستگاه همدیدی شمالی‌ترین بخش از منطقه شمال غربی ایران (در استان‌های اردبیل و آذربایجان‌های شرقی و غربی) در این رژیم بارشی دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۷). با توجه به شکل ۸-الف ملاحظه می‌شود که در این بخش از کشور بارش به طور تقریباً منظمی در همه ماه‌های سال توزیع شده است. بیشینه بارش در این رژیم بارشی در فصل بهار و در ماه‌های مه و آوریل ریزش می‌کند (شکل ۸-الف). بارش پاییزه و زمستانه نیز در این رژیم بارشی از اهمیت زیادی برخوردار است و ماه‌های سپتامبر تا فوریه نیز سهم درخور توجهی از بارش سالانه را دریافت می‌کنند. افزایش چشم‌گیر فعالیت‌های همرفتی و در نتیجه وقوع بارش‌های اروگرافیک در این رژیم بارشی سبب شده است که بارش ماه‌های فصل تابستان نیز از رقم قابل توجهی برخوردار باشد. در این رژیم بارشی بیشینه بارش در ماه مه ریزش می‌کند و ماه آوریل نیز دومین ماه پُربارش این رژیم بارشی است.

رژیم بارشی آذربایجان جنوبی: تعدادی از ایستگاه‌های همدیدی نیمه جنوبی استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی به همراه ایستگاه زنجان و مراوه‌تپه (جمعاً ۷ ایستگاه) در

متمرکز شدن بارش‌ها به تعداد محدودی از ماه‌های سال، فصل خشک در این رژیم بارشی طولانی‌تر از فصل خشک در رژیم بارشی مرکزی-شمال‌شرقی است.

رژیم بارشی جنوب-جنوب غربی: با توجه به شکل ۷ تعداد ۲۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در بخش جنوبی و جنوب غربی ایران در این رژیم بارشی دسته‌بندی می‌شوند. با توجه به شکل ۸-ه در این رژیم بارشی فصل بارش در ماه اکتبر آغاز می‌شود و تا پایان ماه مه ادامه می‌یابد و بیشینه بارش نیز در ماه‌های دسامبر و ژانویه ریزش می‌کند که تقریباً ۵۰ درصد مجموع بارش سالانه را شامل می‌شود. ماه‌های ژوئن تا سپتامبر فصل کاملاً خشک این منطقه بارشی را تشکیل می‌دهند.

رژیم بارشی ساحلی جنوب شرقی: با توجه به شکل ۷ تعداد ۴ ایستگاه همدیدی پراکنده در کرانه‌های دریای عمان دارای یک رژیم بارشی مانند آنچه در شکل ۸-و نمایش داده شده است، هستند. با توجه به شکل ۸-و فصل اصلی بارش در این رژیم بارشی در ماه‌های اکتبر تا آوریل متمرکز شده است؛ هر چند سهم ماه‌های آغازین (اکتبر) و پایانی (آوریل) فصل بارش از کل بارش سالانه رقم‌های ناچیزی است. در این رژیم بارشی ماه ژانویه با دریافت بیش از ۳۰ درصد از کل بارش سالانه پربارش‌ترین ماه است و ماه‌های مارس و دسامبر نیز به ترتیب با رقمی در حدود ۲۰ و ۱۵ درصد از مجموع بارش سالانه در مقام دوم و سوم اهمیت قرار دارند. با توجه به شکل ۸-و همچنین می‌توان گفت که در این رژیم بارشی ماه‌های فصل تابستان به‌ویژه ماه ژوئن تحت تأثیر سامانه‌های موسمی بارش قابل توجهی را دریافت می‌کنند.

رژیم بارشی کوهستانی غربی: با توجه به شکل ۷ تعداد ۵۷ ایستگاه همدیدی پراکنده درگستره بسیار بزرگی از منطقه کوهستانی غرب ایران و مناطق پایکوهی پیرامون آن دارای رژیم بارشی کوهستانی غربی هستند که در آن فصل بارش در ماه اکتبر آغاز می‌شود و تا پایان ماه مه ادامه دارد (شکل ۸-ز). در این رژیم بارشی ماه‌های نوامبر

تا آوریل به طور تقریباً برابری از بارش سالانه سهم می‌برند؛ به طوری که می‌توان گفت بارش در این فصل، منظم توزیع شده است. با این حال، مارس را می‌توان پربارش‌ترین ماه و آوریل را نیز دومین ماه پربارش این رژیم بارشی معرفی کرد (شکل ۸-ز). ماه‌های ژوئن تا سپتامبر نیز فصل خشک این رژیم بارشی را تشکیل می‌دهند.

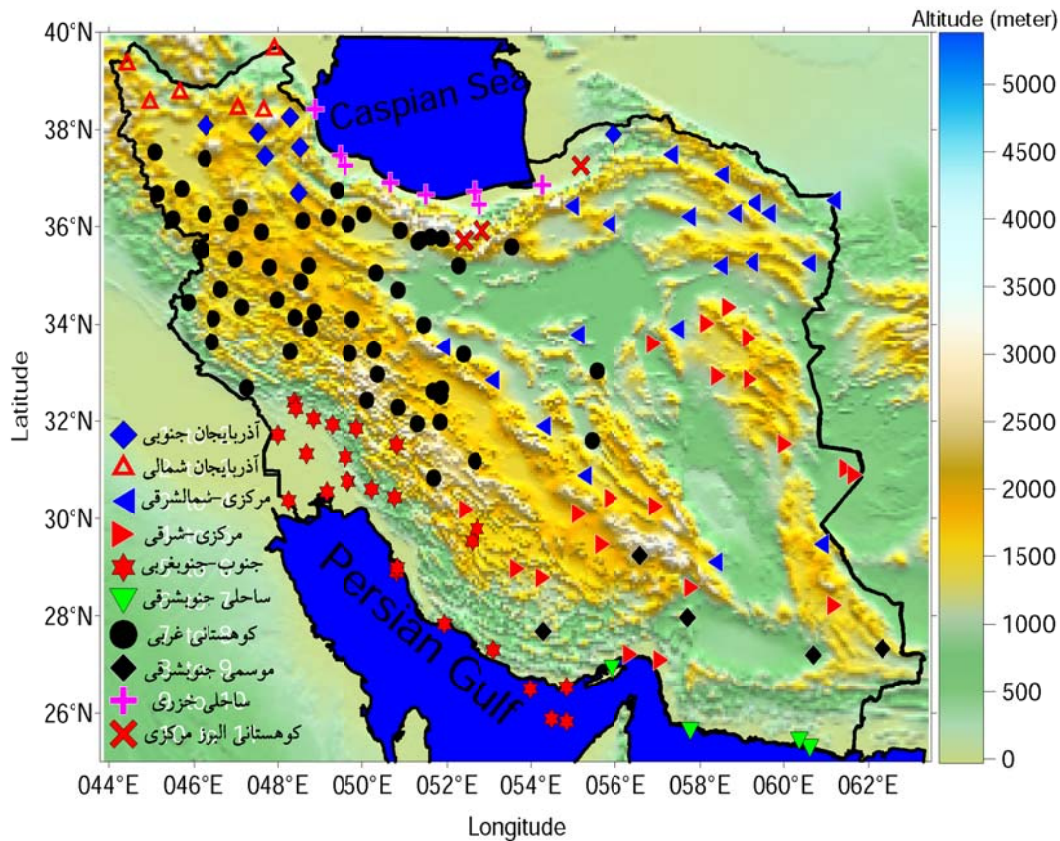
رژیم بارشی ساحلی خزری: با توجه به شکل ۷ تمامی ایستگاه‌های همدیدی منطقه ساحلی دریای خزر در رژیم بارشی خزری قرار گرفتند. در این رژیم بارشی، بارش در تمام ماه‌های سال به خوبی توزیع شده است؛ هر چند که سهم بارش‌های پاییزه حداقل دو برابر بارش ماه‌های زمستان و چند برابر بارش ماه‌های تابستان است (شکل ۸-ح). بیشینه بارش در این رژیم بارشی در ماه‌های اکتبر و نوامبر روی می‌دهد. در این منطقه بارشی ماه‌های مه تا ژوئن فصل خشک منطقه را تشکیل می‌دهند. هر چند در این ماه‌ها نیز بارش قابل توجهی ریزش می‌کند و این دوره نیز به طور مطلق خشک نیست.

رژیم بارشی موسمی جنوب شرقی: همان گونه که در شکل ۷ نمایش داده شده است، تعداد ۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در جنوب شرق ایران از رژیم بارشی موسمی جنوب شرقی برخوردارند که بخش بزرگی از کل بارش سالانه خود را در ماه‌های دسامبر تا مارس دریافت می‌کنند و تحت تأثیر موسمی‌های تابستانه در ماه‌های مه تا اوت نیز از بارش قابل توجهی برخوردارند (شکل ۸-ط). با توجه به شکل ۸-ط ملاحظه می‌شود که بارش ماه‌های دو فصل پاییز و بهار نیز در این رژیم بارشی قابل توجه است. اگرچه تابستان فصل خشک بخش شرقی و مرکزی ایران به شمار می‌رود، ولی با توجه به شکل ۸-ط می‌توان گفت که هیچ ماهی از سال در این رژیم بارشی به طور مطلق خشک نیست و ماه‌های گرم سال نیز از بارش‌های پراکنده اما قابل ملاحظه‌ای برخوردارند؛ هر چند که فراوانی و مقدار این گونه بارش‌ها از سالی به سال دیگر بسیار متغیر

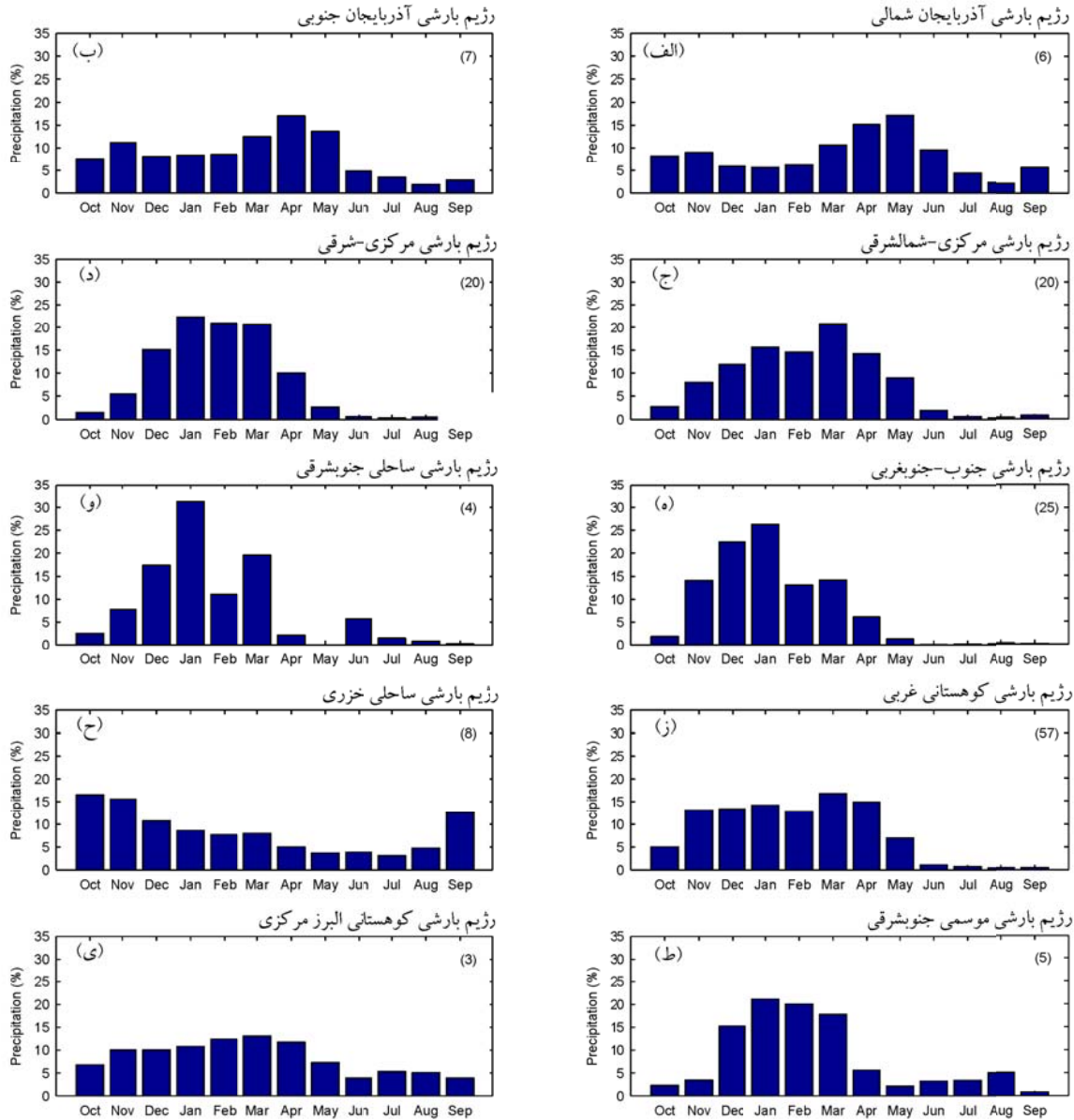
است.

سختی می‌توان ماهی را پیدا کرد که بارش در آن بیشینه باشد. در این رژیم بارشی فصل بهار، تابستان و پاییز نیز از بارش قابل توجهی برخوردار است. این رژیم بارشی نیز پس از رژیم بارشی خزری بیشترین بارش فصل تابستان را دارد. با مقایسه شکل‌های ۸-ط و ۸-ی ملاحظه می‌شود که همانندی بسیاری میان رژیم بارشی موسمی جنوب‌شرقی و رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی وجود دارد. وجود این شباهت‌ها سبب شده است که این دو رژیم بارشی، دو زیرخوشه از یک خوشه بزرگ‌تر باشند (شکل ۵). تمرکز چشمگیر بارش در ماه‌های دسامبر تا مارس در رژیم بارشی موسمی جنوب‌شرقی (شکل ۸-ح) این رژیم را از رژیم بارشی کوهستانی البرز (شکل ۸-ی) که در آن بارش به طور منظم‌تری در همه ماه‌های سال توزیع شده است، متفاوت ساخته است.

رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی: با توجه به شکل ۷ رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی معرف شکل توزیع بارش در سه ایستگاه همدیدی فیروزکوه و پل فیروزکوه در ارتفاعات البرز مرکزی و نیز گنبدکاووس در پس‌کرانه‌های دریای خزر است. با توجه به شکل ۸-ی ملاحظه می‌شود که همانند رژیم بارشی خزری در این رژیم بارشی نیز بارش تقریباً در همه ماه‌های سال توزیع شده است. در این رژیم بارشی بیشینه بارش در آخر زمستان و اول بهار (ماه‌های فوریه تا آوریل) ریزش می‌کند و ماه‌های نوامبر تا ژانویه نیز به نسبت تقریباً برابری در مجموع بارش سالانه مشارکت دارند. اگرچه مقدار بارش ماه مارس اندکی بیشتر از دیگر ماه‌های فصل پربارش زمستان و بهار است، ولی در این رژیم بارشی به



شکل ۷. پراکنش ایستگاه‌های همدیدی و خوشه‌ها (رژیم‌های بارشی) بر روی نقشه ناهمواری‌های ایران.



شکل ۸. رژیم‌های بارشی شناسایی شده ایران، اعداد داخل پرانتز تعداد ایستگاه‌های خوشه‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۳. همگنی رژیم‌های بارشی

جدول ۴ میانگین، بیشینه و کمینه همبستگی بین ایستگاه‌های مختلف رژیم‌های بارشی به دست آمده را به عنوان معیاری برای ارزیابی همگنی آن‌ها نشان می‌دهد. شکل ۹ نیز با نمایش دامنه پراکنش درصد بارش ایستگاه‌های مختلف عضو خوشه‌ها (رژیم‌های بارشی) در ماه‌های مختلف سال، سطح همگنی و همانندی درون‌گروهی آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴،

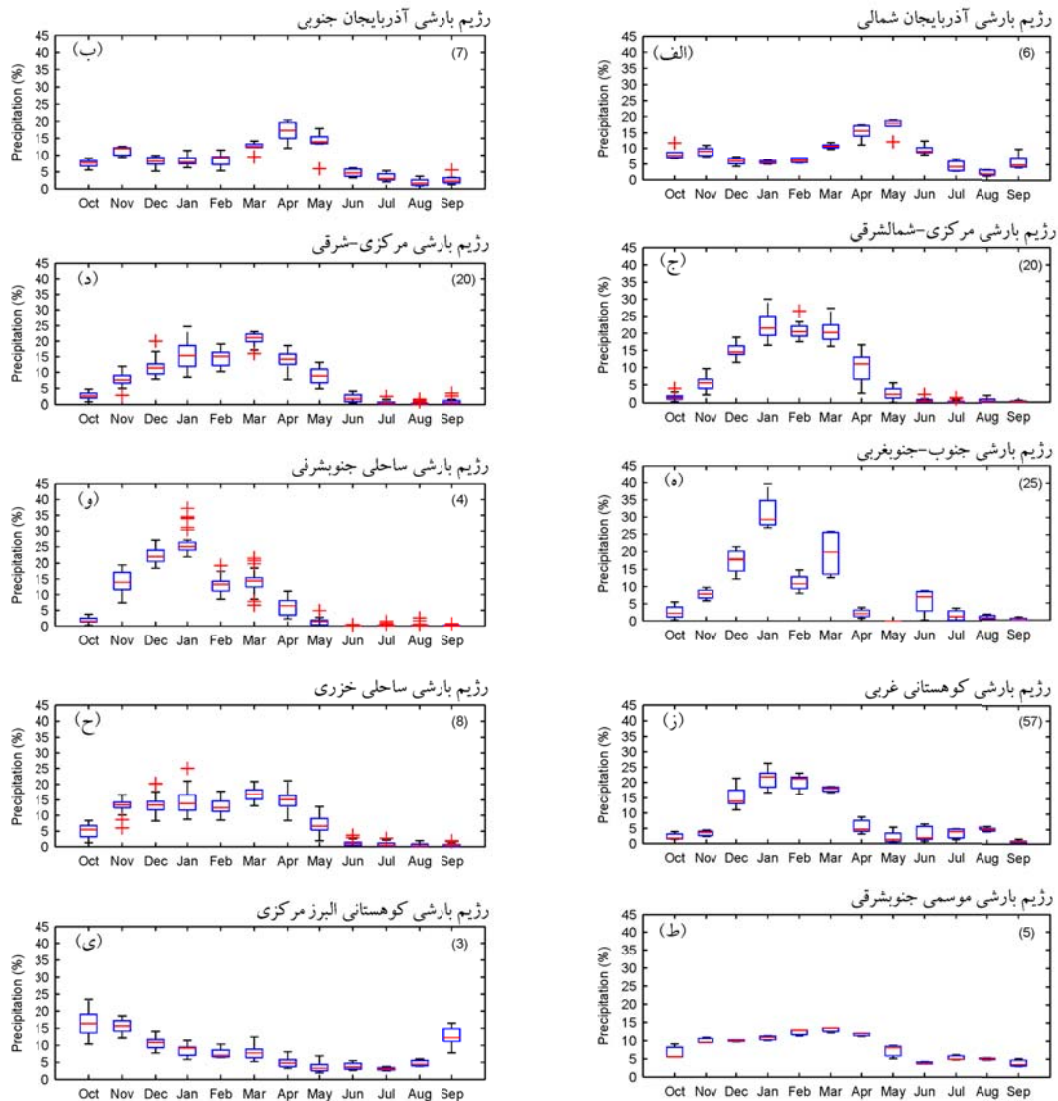
ضریب همبستگی بین ایستگاه‌های مختلف رژیم بارشی آذربایجان شمالی بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۶ و میانگین آن‌ها ۰/۶۱ است. قرار گرفتن ایستگاه مراوه تپه از شمال شرق ایران در این رژیم باعث کاهش میانگین ضریب همبستگی آن شده است، اما فشرده‌گی جعبه‌ها در شکل ۹-الف نشان می‌دهد که بیشتر ایستگاه‌ها کاملاً با یکدیگر همانند هستند. درصد بارش ماهانه ایستگاه مراوه تپه نیز در بیشتر ماه‌ها با دیگر ایستگاه‌های این رژیم همانند است اما در ماه اکتبر اندکی

بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها و در ماه مه کمتر از دیگر ایستگاه‌ها بارش دریافت می‌کند. این تفاوت که در شکل ۹-الف خود را به شکل داده‌های پرت نشان داده است، کم‌بودن ضریب همبستگی خوشه را در جدول ۴ توجه می‌کند. همبستگی بین ایستگاه‌های رژیم بارشی آذربایجان جنوبی بیشتر از مقدار مشابه آن در آذربایجان شمالی است. فشردگی جعبه‌ها در شکل ۹-ب نیز نشان از همانندی بسیار بالای ایستگاه‌های عضو رژیم بارشی آذربایجان جنوبی دارد، هر چند فاصله بارش ماهانه ایستگاه پارس‌آباد مغان با دیگر ایستگاه‌های عضو خوشه در سه ماه مارس، مه و سپتامبر که در شکل ۹-ب به صورت داده‌های پرت نشان داده است، اندکی از میانگین ضریب همبستگی خوشه کاسته است. با توجه به زیاد بودن مقادیر ضریب همبستگی بین ایستگاه‌های مختلف رژیم بارشی مرکزی-شمال شرقی و فشردگی جعبه‌ها در شکل ۹-ج، می‌توان گفت که این رژیم بارشی نیز از همانندی درون‌گروهی بسیار زیادی برخوردار است. مقادیر بسیار زیاد ضریب همبستگی بین ایستگاه‌های عضو رژیم بارشی مرکزی-شرقی نیز نشان از همانندی درون‌گروهی بسیار بالای این رژیم دارد. فشردگی جعبه‌های شکل ۹-د و مقادیر بسیار زیاد ضریب همبستگی مربوط به رژیم بارشی مرکزی-شرقی در جدول ۴ هم نشان‌دهنده همگنی و همانندی درون‌گروهی بسیار زیاد این رژیم بارشی است. فشردگی جعبه‌ها در شکل ۹-ه که با مقادیر بسیار بالای ضریب همبستگی مربوط به این رژیم در جدول ۴ هم پشتیبانی می‌شود، نشان از همگنی بسیار زیاد ایستگاه‌های عضو رژیم بارشی جنوب-جنوب غربی دارد. مقادیر بسیار بالای کمینه و بیشینه ضریب همبستگی بین ۴ ایستگاه عضو رژیم بارشی ساحلی جنوب شرقی هم نشان‌دهنده همانندی درون‌گروهی بسیار زیاد این رژیم بارشی است که به وسیله فشردگی جعبه‌های شکل ۹-و هم تأیید می‌شود؛ هر چند فاصله اندک بارش ماهانه یکی از ایستگاه‌ها با سه ایستگاه دیگر خود را در شکل ۹-و به صورت داده پرت نشان داده است.

با توجه به جدول ۴ میانگین ضریب همبستگی بین ۵۷ ایستگاه پراکنده در منطقه بارشی کوهستانی غربی با رقم ۰/۷۲ نیز نشانگر همبستگی قوی بین این تعداد ایستگاه پراکنده در این گستره بزرگ از کشور است. کمینه همبستگی در این رژیم بارشی ۰/۴۷ است که با توجه به فاصله جغرافیایی بسیار زیاد بین برخی ایستگاه‌های این منطقه، بارشی قابل قبول و توجه‌پذیر است. با توجه به فشردگی نمودار جعبه در شکل ۹-ز می‌توان گفت که ایستگاه‌های این منطقه به‌خوبی از الگوی میانگین خوشه پیروی می‌کنند و فاصله هر ایستگاه از میانگین منطقه رقم کوچکی است که بیانگر همگن بودن این منطقه بارشی است. ضریب همبستگی بین ایستگاه‌های رژیم بارشی خزری هم رقم‌های نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند که با توجه به فاصله بسیار زیاد برخی ایستگاه‌های این منطقه از یکدیگر، کمینه همبستگی ۰/۵۲ در این رژیم بارشی نیز قابل توجه است. فشردگی نمودار جعبه در شکل ۹-ح این همگنی را بهتر نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که درصد بارش ماهانه نوامبر تا اوت در همه ایستگاه‌های این رژیم بارشی بسیار به هم نزدیک است و تنها در ماه‌های سپتامبر و اکتبر تفاوت‌های بین ایستگاهی کمی بیشتر می‌شود. شاید بتوان این رژیم بارشی را همگن‌ترین رژیم بارشی ایران به شمار آورد، زیرا توزیع ماهانه بارش ایستگاه‌های این بخش از ایران با توزیع ماهانه بارش هیچ‌یک از دیگر رژیم‌های بارشی ایران همانند نیست. با توجه به فشردگی بسیار زیاد جعبه‌های شکل ۹-ط و میانگین همبستگی ۰/۹۱ و کمینه همبستگی ۰/۸۸ بین ایستگاه‌های رژیم بارشی موسمی جنوب شرقی (جدول ۴) می‌توان گفت که این رژیم بارشی نیز از همبستگی و همانندی درون‌گروهی بسیار زیادی برخوردار است. فشردگی جعبه‌های شکل ۹-ی نیز نشان می‌دهد که رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی هم از همگنی بسیار زیادی برخوردار است. کمینه ضریب همبستگی بین سه ایستگاه عضو این رژیم بارشی ۰/۸۴ است که نشان از همبستگی و همانندی درون‌گروهی بسیار زیاد آن‌ها دارد.

جدول ۴. میانگین، بیشینه و کمینه همبستگی بین ایستگاه‌های مختلف خوشه‌ها یا رژیم‌های بارشی.

| رژیم بارشی | تعداد ایستگاه | بیشینه | میانگین | کمینه |
|---------------------------------|---------------|--------|---------|-------|
| رژیم بارشی آذربایجان شمالی | ۶ | ۰/۷۶ | ۰/۶۱ | ۰/۳۶ |
| رژیم بارشی آذربایجان جنوبی | ۷ | ۰/۸۰ | ۰/۶۹ | ۰/۶۱ |
| رژیم بارشی مرکزی-شمال شرقی | ۲۰ | ۰/۸۷ | ۰/۷۶ | ۰/۶۱ |
| رژیم بارشی مرکزی-شرقی | ۲۰ | ۰/۹۴ | ۰/۸۹ | ۰/۸۴ |
| رژیم بارشی جنوب-جنوب غربی | ۲۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۰ | ۰/۸۵ |
| رژیم بارشی ساحلی جنوب شرقی | ۴ | ۰/۹۱ | ۰/۸۷ | ۰/۸۵ |
| رژیم بارشی کوهستانی غربی | ۵۷ | ۰/۸۴ | ۰/۷۲ | ۰/۴۷ |
| رژیم بارشی خزری | ۸ | ۰/۸۰ | ۰/۶۲ | ۰/۵۲ |
| رژیم بارشی موسمی جنوب شرقی | ۵ | ۰/۹۴ | ۰/۹۱ | ۰/۸۸ |
| رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی | ۳ | ۰/۹۱ | ۰/۸۶ | ۰/۸۴ |



شکل ۹. نمودار جمعیه رژیم‌های بارشی ایران؛ اعداد داخل پراکنش تعداد ایستگاه‌های خوشه‌ها را نشان می‌دهد.

۴. بحث

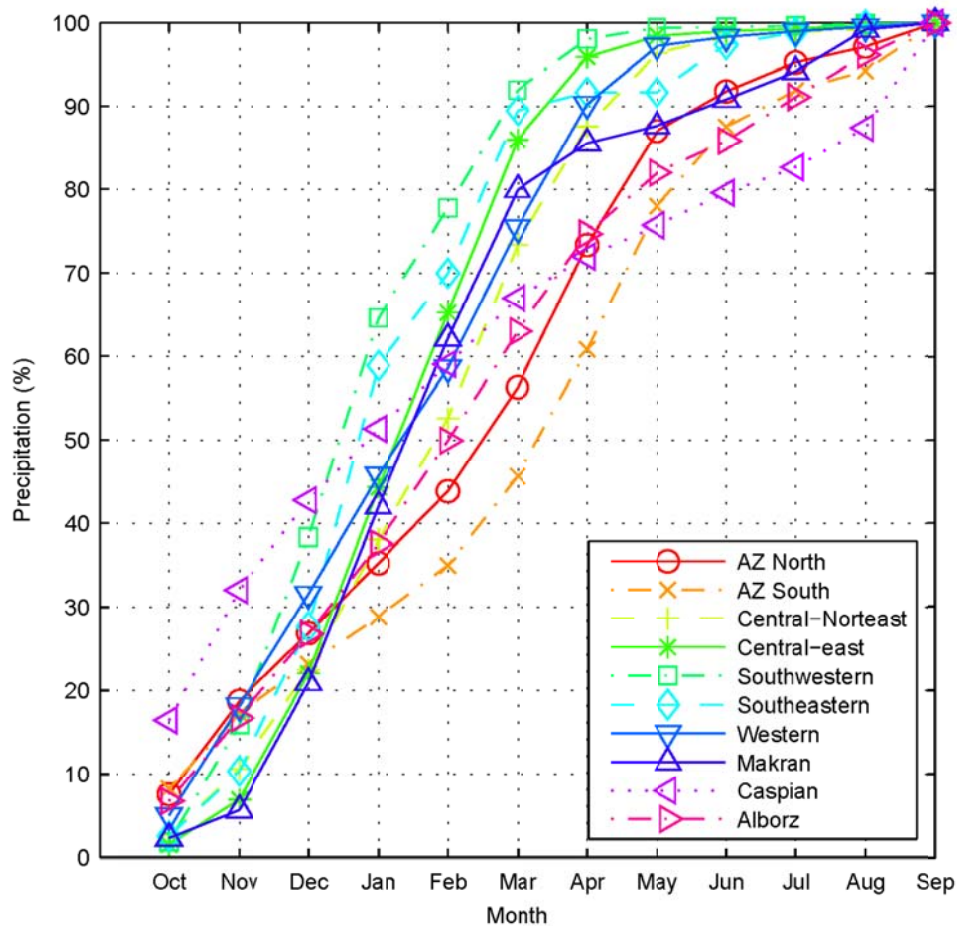
هماهنگی را می‌توان به استفاده ایشان از داده‌های درونیابی شده به جای داده‌های واقعی ایستگاهی و نیز استفاده ایشان از روش خوشه‌بندی بدون بهره‌گیری از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی به عنوان پیش‌پردازشگر مرتبط دانست.

رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش بستر لازم را برای مدیریت بهتر منابع آب در کشور فراهم آورده است. با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می‌گردد که تغییرات مجموع بارش ماهانه از شروع سال آبی (ماه اکتبر) تا پایان آن (ماه سپتامبر) در رژیم‌های بارشی مختلف متفاوت است. از این رو برنامه مدیریت منابع آب در هر یک از این مناطق یا رژیم‌های بارشی، می‌باید متفاوت از دیگر رژیم‌های بارشی پی‌ریزی و اجرا شود. به عنوان مثال در رژیم بارشی جنوب-جنوب‌غربی بیش از ۶۰ درصد از مجموع بارش سالانه در ماه‌های اکتبر تا دسامبر ریزش می‌کند. از این رو در سال‌هایی که مجموع بارش پاییز در این منطقه کمتر از میانگین درازمدت آن شود، می‌باید برنامه‌های مدیریت منابع آب به منظور ذخیره‌سازی آب برای سال بعد از پاییز آغاز گردد تا منطقه در سال بعد با کمبود منابع آب روبه‌رو نشود. با توجه به این شکل به‌خوبی روشن است که بیش از ۹۰ درصد کل بارش سالانه در این رژیم بارشی تا آخر زمستان (مارس) ریزش می‌کند. از این رو، در سال‌هایی که مجموع بارش دوره اکتبر تا مارس این منطقه بسیار کمتر از میانگین درازمدت آن محاسبه شود، به این معنی است که منطقه حدود ۹۰ درصد بخت خود را برای دریافت بارش در این سال از دست داده است و حتماً در ماه‌های بعد با کم‌آبی و خشک‌سالی روبه‌رو خواهد بود و لازم است که برنامه‌های سختگیرانه مدیریت منابع آب در منطقه از همین زمستان آغاز گردد. در مقابل در رژیم‌های بارشی آذربایجان شمالی و آذربایجان جنوبی مجموع بارش پاییز و زمستان به ترتیب کمتر از ۵۵ و ۴۵ درصد کل بارش سالانه را شامل می‌شود و در حدود ۵۰ درصد

ارزیابی رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش که بر اساس خوشه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر شکل توزیع ماهانه بارش صورت گرفته است، نشان داد که مناطق بارشی شناسایی شده از همگنی و همانندی درون‌گروهی و ناهمانندی بین‌گروهی بسیار زیادی برخوردار هستند. پیوستگی فضایی ایستگاه‌ها در رژیم‌های بارشی شناسایی شده نیز نشان می‌دهد که خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به خوبی انجام پذیرفته است و کاملاً با ویژگی‌های جغرافیایی و ناهمواری‌های ایران هماهنگی دارد (شکل ۷). بررسی‌های آماری نشان داد که همه ایستگاه‌ها به‌درستی در خوشه‌ای که در آن قرار دارند دسته‌بندی شده‌اند. به عنوان مثال ایستگاه‌های منطقه خزری که بیشینه بارش خود را در پاییز دریافت می‌کنند و در ماه‌های بهار و تابستان نیز از بارش قابل توجهی برخوردارند، در یک گروه و ایستگاه‌های آذربایجان شمالی و آذربایجان جنوبی که بیشینه بارش خود را به ترتیب در مه و آوریل دریافت می‌کنند نیز هر کدام در خوشه دیگری قرار گرفته‌اند. شکل ۷ نشان می‌دهد که پراکنش ایستگاه‌ها از پیوستگی فضایی خوبی برخوردار است و رژیم‌های بارشی نیز از روند ناهمواری‌ها و ویژگی‌های جغرافیایی کشور به‌خوبی پیروی می‌کنند. رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش (شکل ۷) با رژیم‌های بارشی به‌دست آمده توسط دومرئس و همکاران (۱۹۹۸) هم‌خوانی تقریباً خوبی دارد و تفاوت‌های موجود نیز به تعداد بیشتر ایستگاه‌های استفاده شده در پژوهش پیش‌رو بر می‌گردد. استفاده از تعداد ایستگاه‌های بیشتر به‌ویژه در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی کشور امکان شناسایی بهتر رژیم‌های بارشی این مناطق را در این پژوهش فراهم آورده است. علیرغم هماهنگی نسبی رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج دومرئس و همکاران (۱۹۹۸)، شکل ۷ هماهنگی کمتری با رژیم‌های بارشی به‌دست آمده توسط مسعودیان (۱۳۸۴) نشان می‌دهد. این عدم

دیگر از سهم بارش سالانه خود را در بهار و تابستان سال بعد دریافت می‌کند. از این رو برنامه مدیریت منابع آب در این رژیم بارشی متفاوت از رژیم بارشی جنوب-جنوب غربی است، زیرا برنامه ریزان منابع آب در مناطق آذربایجان شمالی و آذربایجان جنوبی می‌توانند به بارش مناسب در بهار سال بعد امیدوار باشند؛ هر چند که این خود می‌تواند برنامه ریزان را به خطا بیندازد و در صورت بروز خشکسالی در بهار سال بعد منطقه با مشکل جدی آب در تابستان روبه‌رو شود. از این رو مدیریت منابع آب در این منطقه نیز می‌باید با دقت بیشتری همراه باشد. نمودار تجمعی بارش ماهانه در شکل ۱۰

معیار خوبی برای پایش و پیش‌آگاهی از میزان آورد سالانه جوی در هر منطقه بارشی است و با استفاده از آن می‌توان منابع آب هر منطقه را با آگاهی و دقت نظر بیشتری مدیریت کرد؛ البته یادآوری می‌شود که آب مورد استفاده بسیاری از شهرها و مناطق کشاورزی کشور از حوضه‌های آبخیز دیگری که در دوردست‌ها قرار دارد تأمین می‌شود و به همین علت مدیران آب این مناطق می‌باید نمودار مربوط به منطقه‌ای را که حوضه تأمین‌کننده آب آن‌ها در آن قرار دارد، پایش کنند و مبنای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی خود قرار دهند.



شکل ۱۰. توزیع تجمعی درصد بارش ماهانه در رژیم‌های بارشی شناسایی شده.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی وارد بر روی داده‌های بارش ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در سطح کشور، تعداد ۱۰ رژیم بارشی برای ایران شناسایی شد. رژیم بارشی خزری با بیشینه پاییزه و توزیع تقریباً مناسب بارش در طی سال استان‌های گیلان، مازندران و بخشی از استان گلستان را در بر می‌گیرد. رژیم‌های بارشی آذربایجان شمالی و آذربایجان جنوبی که بیشینه بارش خود را به ترتیب در مه و آوریل دریافت می‌کنند نیز به ترتیب بخش‌های شمالی و جنوبی استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را شامل می‌شود. رژیم بارشی جنوب-جنوب‌غربی با بیشینه بارش در ژانویه جلگه خوزستان و نوار ساحلی و پس کرانه‌های خلیج فارس در جنوب استان‌های فارس، بوشهر و هرمزگان را در بر می‌گیرد. تمرکز بارش در رژیم بارشی کوهستانی غربی که بخش کوهستانی و کوهپایه‌ای غرب ایران را در بر می‌گیرد، در زمستان است که در ماه مارس بیشینه می‌شود. در رژیم بارشی مرکزی-شمال شرقی که بخش مرکزی و شمال شرقی ایران را در بر می‌گیرد، زمستان پر بارش‌ترین فصل سال و مارس نیز پر بارش‌ترین ماه سال است. فصل بارش در رژیم بارشی مرکزی-شرقی که بخش مرکزی و شرقی کشور را پوشش می‌دهد، بسیار کوتاه‌تر از فصل بارش در رژیم بارشی مرکزی-شمال شرقی است. در این رژیم بارشی ماه‌های ژانویه تا مارس به نسبتی تقریباً برابر بارش دریافت می‌کنند اما ژانویه با اندک بارشی بیشتر، پربارش‌ترین ماه سال است. در رژیم بارشی ساحلی جنوب شرقی نیز که کرانه‌های دریای عمان را پوشش می‌دهد، ماه‌های اکتبر تا آوریل فصل اصلی بارش را تشکیل می‌دهند و ژانویه با دریافت بیش از ۳۰ درصد از کل بارش سالانه پربارش‌ترین ماه سال است. در این رژیم بارشی ماه‌های تابستان به‌ویژه ماه ژوئن نیز تحت تأثیر سامانه‌های موسمی، بارش قابل توجهی دریافت می‌کنند.

رژیم بارشی موسمی جنوب شرقی نمایشگر شکل توزیع

بارش ماهانه در بخش بزرگی از جنوب شرق ایران است که تحت تأثیر موسمی‌های تابستانه از بارش‌های قابل توجهی در ماه‌های مه تا اوت برخوردارند، هرچند که بخش بزرگی از کل بارش سالانه خود را در ماه‌های دسامبر تا مارس دریافت می‌کند. رژیم بارشی کوهستانی البرز مرکزی نیز معرف شکل توزیع ماهانه بارش در ارتفاعات البرز مرکزی و پس کرانه‌های دور شرق دریای خزر است. همانند رژیم بارشی خزری، در این رژیم بارشی نیز بارش در همه ماه‌های سال به‌طور تقریباً منظمی توزیع شده است و فصل‌های بهار، تابستان و پاییز نیز از بارش قابل توجهی برخوردارند.

به دلیل استفاده از تعداد ایستگاه‌های زیاد و با پراکنش مناسب در سطح کشور رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش روند مکانی ناهمواری‌های ایران را به‌خوبی دنبال می‌کنند و از هماهنگی کامل با شرایط توپوگرافی و جغرافیایی مناطق مختلف کشور برخوردارند. رژیم‌های بارشی به‌دست آمده همچنین تفاوت‌های مکانی کشور را از نظر سامانه‌های جوی مؤثر در ایجاد بارش در این مناطق به‌خوبی نمایش می‌دهند. رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش می‌توانند مدیران منطقه‌ای منابع آب کشور را در مدیریت هرچه بهینه‌تر منابع آب در مناطق مختلف ایران یاری کنند. پایش ماهانه نمودار تجمعی بارش در رژیم‌های بارشی مختلف و مبنا قراردادن آن در تصمیم‌گیری‌های مهم مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک خشکسالی در کشور می‌تواند تا حد زیادی از قرار گرفتن مناطق مختلف کشور در تله کم آبی و خشکسالی جلوگیری کند. رژیم‌های بارشی به‌دست آمده همچنین می‌توانند به عنوان ابزاری برای ارزیابی مدل‌های مختلف پیش‌بینی جوی و نیز نتایج مدل‌های مختلف تغییر اقلیم در هر یک از مناطق بارشی کشور مورد استفاده قرار گیرند.

مراجع

جهانبخش اصل، س.، ذوالفقاری، ح. ۱۳۸۱. بررسی الگوهای همدیدی بارش‌های روزانه در غرب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی ۶۳ و ۶۴،

۲۵۸-۲۳۴

خلیلی، ع.، حجاج، س.، ایران‌نژاد، پ. ۱۳۷۰. تقسیمات آب و هوایی ایران، انتشارات وزارت نیرو، طرح جامع آب کشور (جاماب)، ۲۵۹ صفحه و یک نقشه با مقیاس یک میلیونیم.

ذوالفقاری، ح.، ساری‌صراف، ب. ۱۳۷۸. بررسی بارش‌های شمال غرب ایران با تاکید بر تحلیل خوشه ای، آب و توسعه، سال هفتم، شماره دوم و سوم، ۱۳۴-۱۴۲.

عدل، ا.ح.، آب و هوای ایران، ۱۳۳۹، انتشارات دانشگاه

Fovel, R. G. and Fovel, M. C., 1993, Climate zones of coterminous United States defined using cluster analysis, *Journal of Climate*, 6, 2103-2135.

Green, M. C., Flocchini, G. and Myrup, L. O., 1993, Use of temporal principal components analysis to determine seasonal periods. *Journal of Applied Meteorology* 32(5), 986-995.

Janowalk J. E., 1988, An Investigation of interannual rainfall variability in Africa, *J. Climate*, 1, 240-255.

Kansakar, S. R., Hannah, D. M., Gerrard, A. J. and Rees, G., 2004, Spatial pattern in the precipitation regime of Nepal. *Int. J. Climatol.* 24, 1645-1659.

Köppen, W., 1936, Das geographische System der Klimate. In: Köppen W, Geiger R (eds) *Handbuch der Klimatologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, p 1-44.

Lolis C. J., Bartzokas, A. and Metaxas, D. A., 1999, Spatial covariability of the climatic parameters in the Greek area, *Int. J. Climatol.* 19, 185-196.

Modarres, R., 2006, Regional precipitation climates of Iran, *Journal of Hydrology (NZ)*, 45 (1): 15-29.

Modarres, R. and Sarhadi, A., 2011, Statistically-based regionalization of rainfall climates of Iran, *Global and Planetary Change*, 75, 67-75.

North, G. R., Bell, T. L. and Cahalan, R. F., 1982, Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 699-706.

Rao, A. R. and Srinivas V. V., 2006, Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 318, 37-56.

Raziei, T., Bordi I. and Pereira, L. S., 2008, A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability. *Hydrol Earth Syst Sci*, 12, 1309-1321.

تهران.

گنجی، م.ح.، ۱۳۵۳. ۳۲ مقاله جغرافیایی. موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی سحاب. تهران، ۱۰۱-۱۳۹. مسعودیان، ا.، ۱۳۸۴، شناسایی رژیم های بارش ایران به روش تحلیل خوشه ای، پژوهشهای جغرافیایی، دوره ۳۷، شماره ۵۲، ۴۷-۵۹.

مسعودیان، ا.، عطایی، ه. ۱۳۸۴. شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه ای، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد هجدهم، شماره ۱، ۱-۱۲.

Ahmed S. M., Hussain, M. and Abderrahman, W., 2005, Using multivariate factor analysis to assess surface/logged water quality and source of contamination at a large irrigation project at Al-fadhli, eastern province, Saudi Arabia, *Bull Eng Geol Environ*, 64: 319-327.

Bunkers, M. J., Miller, J. R. and DeGaetano, A. T., 1996, Definition of climate regions in the Northern plains using and objective cluster modification technique, *J. Climate*, Vol. 9, 130-146.

Comrie, A. C. and Glenn, E. C., 1998, Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability, *Clim. Res.*, Vol. 10: 201-215.

De Martonne, E., 1926, Aréisme et indice aridite. *Comptes Rendus de L'Acad Sci, Paris*, 182, 1395-1398.

DeGaetano, A. T., 1996, Delineation of mesoscale climate zones in the northeastern United States using novel approach to cluster analysis, *J. climate*, Vol. 9: 1765-1782.

Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S. and Mirnia, M., 2004, Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology* 297, 109-123

Domroes, M., Kaviani, M. and Schaefer, D., 1998, An Analysis of Regional and Intra-annual Precipitation Variability over Iran using Multivariate Statistical Methods. *Theor. Appl. Climatol.* 61, 151-159.

Ehrendorfer, M., 1987, A regionalisation of Austria's precipitation climate using principal component analysis, *J. Climatol.* 7, 71-89.

Fernández Mills, G., 1995, Principal Component Analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain, *Theoretical and Applied Climatology*, 50 (3), 169-183.

- Reghunath, R., Sreedhara Murthy, T. R. and Raghavan, B. R., 2002, The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, *Water Research*, 36, 2437-2442.
- Richman M. B., 1981, Obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique, *Journal of Appl. Meteo*, 20, 1145-1159.
- Richman, M. B., 1986, Rotation of principal components, *J. Climatol.*, 6, 293-335.
- Rousseeuw, P.J., 1987, Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, *J. Comput. Appl. Math.*, 20, 53-65.
- Saraçlı, S., Doğan, N. and Doğan, I., 2013, Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation. *Journal of Inequalities and Applications*, 2013:203.
- Saris, F., Hannah, D. M. and Eastwood, W. J., 2010, Spatial variability of precipitation regimes over Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 234-249.
- Sheskin, D., 2007, *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, Chapman & Hall/CRC, 1736 pp.
- Singh, K. K. and Singh, S. K., 1996, Space-time variation and regionalization of seasonal and monthly summer monsoon rainfall of the sub-Himalayan region and Gangetic plains of India, *Clim. Res*, 6, 251-262.
- Thornthwaite, C. W., 1948, An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Todhunter, P. E., Mearns, L. O., Terjung, W. H., Hayes, J. T. and Ji, H. Y., 1989, Effects of Mosoonal fluctuations on Grains in China. Part I: Climatic conditions for 1961-1975, *J. Climate*, 2: 5-17.
- Unal, Y., Kindap, T. and Karaca, M., 2003, Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *Int. J. Climatol*, 23(9), 1045-1055.
- Yarnal, B., 1993, *Synoptic climatology in environmental analysis: A primer*, Belhaven Press, London, UK.

Identification of precipitation regimes of Iran using multivariate methods

Raziei, T.*

Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Tehran, Iran

(Received: 06 Sep 2016, Accepted: 24 Jan 2017)

Summary

Delineation of precipitation regimes is very important for large countries such as Iran which is characterized with complex topography and different climates. The very rare previous studies on precipitation regimes of Iran have used very limited and unevenly scattered stations across the country; thus making it necessary to identify the most realistic precipitation regimes for Iran using as much as available stations. Hence, the data of 155 synoptic stations with relatively regular distribution over Iran; mostly having full data records for the common period of 1990 to 2014, were used for identifying the updated precipitation regimes for the country. For each station, the percentage of monthly precipitation in relation to total annual precipitation was computed for all the time period and the mean of the time period was considered for the analysis. A principal Component Analysis (PCA) was applied to the inter-stations correlations matrix (155×12) that is composed of 155 stations and 12 mean monthly percentage of precipitation for each station. The computed Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy for the considered matrix with the value of 0.79 indicates that the considered matrix is approximately meritorious for a PCA application. The first 5 leading significant PCs were considered for further analysis based on the Scree plot and the sampling errors of the PCs (North et al., 1982). The retained PCs were then rotated using varimax orthogonal and promax oblique criterion. The PC scores of both rotated solutions and un-rotated solution were separately used as input for Cluster Analysis (CA) to partition the considered stations into distinctive clusters. Moreover, all agglomerative CA methods as well as K-means CA were examined to find out the most appropriate method for partitioning the data. The cophenetic correlation coefficient was used to measure how well the hierarchical dendrogram of a given CA candidate represents the relationships within the input data. The results indicate that all the clustering approaches well represented the inherent structure of the input data, but the Ward method was selected as the most appropriate method since it resulted in much realistic clusters that well matched the topographic and geographical features of the country. The correct number of clusters was also selected based on the Silhouette index (Rousseeuw, 1987) that measures how well objects lie within their cluster, and which ones are merely somewhere in between clusters. The average silhouette width provides an evaluation of clustering validity, and might be used to select an 'appropriate' number of clusters. Computing the index for a set of predefined cluster numbers (2 to 15 clusters) suggests that 9 clusters is the most appropriate cluster number that better represents the inherent structure of the data. As such, all 155 stations were classified into five clusters applying Ward CA method on the 5 leading un-rotated PC scores. However, the 8th cluster that grouped stations from two distant areas into a single cluster was subjectively partitioned into 2 distinctive clusters to better represent the precipitation regimes of these two areas. Moreover, the 5 leading varimax rotated PC scores were also mapped to present spatial variability of seasonal precipitation across the country.

The maps of varimax rotated PC scores well represent areas characterized with seasonal precipitation maximum. For example, summer precipitation in the coastal areas of the Caspian Sea and south eastern Iran are presented by the rotated PC score 1 while the rotated PC score 2 points to the spring precipitation maxima in north western Iran. By taking into account the seasonal displacement of maximum precipitation across the country in the Ward clustering, the identified clusters labeled with its core geographic position or the season of the maximum precipitation well portrait the Iranian precipitation regimes. The Caspian Sea precipitation regime is the most humid precipitation regime in the country with relatively well distributed precipitation during the year that maximizes in autumn. The northern and southern Azerbaijan in northwestern Iran are represented by two distinct precipitation regimes, both being characterized with relatively uniform precipitation distribution during the year but getting their maximum precipitation in a different month of the spring. The south-eastern monsoon precipitation regime featured south-eastern Iran where summer monsoon precipitation has a considerable contribution in annual total precipitation. Similarly, the southeastern coastal precipitation regime characterizing coastal areas of Oman Sea that benefits from summer monsoon but with a lesser magnitude and duration. The western mountainous regime is characterized with a precipitation regime spanning from October to May that maximizes in March. The south-western precipitation regime that encompasses south-western and southern Iran along the Persian Gulf is characterized with a winter rainy season that maximizes in January. Central-eastern and central-northeastern Iran also exhibit two distinct precipitation regimes, both getting their maximum proportion of precipitation in winter but the rainy season is much shorter in central-eastern Iran. And finally, central Alborz is characterized with a precipitation regime in which summer precipitation is relatively high.

Keywords: Precipitation regime, principal component analysis, cluster analysis, homogeneous regions, Iran.

*Corresponding author:

tayebrazi@yahoo.com