

شناسایی مناطق همگن بارشی ایران با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی

طیب رضیئی^{1*}

¹ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: 94/11/14، تاریخ پذیرش: 95/02/11)

چکیده

شناسایی مناطق همگن از نظر هم‌وردایی زمانی بارش برای مدیریت بهینه منابع آب و مدیریت ریسک خشکسالی بسیار ضروری است. از این‌رو، به‌منظور شناسایی مناطق همگن بارشی ایران از نظر هم‌وردایی زمانی از داده‌های بارش ماهانه 155 ایستگاه همدیدی پراکنده در سطح کشور در دوره آماری 1990 تا 2014 استفاده شد. با انجام آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی ماتریس بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد استفاده تعداد 5 مولفه اول برای مطالعه بیشتر انتخاب و سپس به روش وریمکس چرخانده شدند تا ساختار فضایی موجود در داده‌ها بهتر هویدا شود. سپس با استفاد از قانون بیشینه بارگوبه مولفه‌های انتخابی بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه، پنج منطقه همگن بارشی خزری، منطقه بارشی شمال‌غربی، منطقه بارشی غربی، منطقه بارشی مرکزی-شرقی و منطقه بارشی مرکزی-شمال‌شرقی برای ایران شناسایی شد. منطقه بارشی خزری با بیشینه پاییزه و توزیع تقریباً مناسب بارش در طی سال کرانه‌های دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز را دربرمی‌گیرد. منطقه بارشی شمال‌غربی نیز با بیشینه بارش در بهار استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی - غربی و زنجان را شامل می‌شود. منطقه بارشی غربی نیز با بیشینه بارش در ژانویه منطقه کوهستانی البرز و زاگرس و جلگه خوزستان در جنوب‌غرب کشور را دربرمی‌گیرد. بخش بسیار بزرگی از ایران در مرکز، جنوب و شرق کشور نیز در منطقه بارشی مرکزی-شرقی قرار می‌گیرد که بیشینه بارش خود را در ژانویه دریافت می‌کند. پنجمین منطقه بارشی کشور نیز دشت کویر و شمال‌شرق کشور را شامل می‌شود که بیشینه بارش خود را در ماه مارس دریافت می‌کند. مناطق بارشی شناسایی شده در این پژوهش به‌خوبی از روند مکانی ناهم‌واری‌های ایران پیروی می‌کنند و با واقعیت‌های جغرافیایی مناطق مختلف کشور هماهنگ هستند. نتایج به‌دست آمده می‌تواند مدیران منطقه‌ای منابع آب کشور را در مدیریت هرچه بهینه‌تر منابع آب در کشور یاری کند.

واژه‌های کلیدی: مناطق همگن بارشی، آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی، مدهای هم‌وردایی، ایران

1 مقدمه

وجود ناهموازی‌های گسترده و پیچیده در ایران، گسترش کشور در پهنه‌ای به وسعت 15 درجه عرض جغرافیایی (25 تا 40 درجه جغرافیایی) و 20 درجه طول جغرافیایی (44 تا 64 درجه جغرافیایی) و نیز وجود پهنه‌های آبی خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند در جنوب و بزرگ‌ترین دریاچه جهان در شمال کشور اقلیم‌های گوناگونی را در ایران پدید آورده است. از این‌رو شناسایی این مناطق اقلیمی کشور و مرزبندی آنها می‌تواند به مدیریت هرچه بهتر منابع مختلف انرژی، کشاورزی و محیطی در کشور کمک کند. همچنین برای انجام پیش‌بینی‌های دقیق‌تر متغیرهای مختلف هواشناختی، شناسایی مناطق همگن اقلیمی و سامانه‌های کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاسی که اقلیم هر یک از این مناطق را کنترل می‌کنند بسیار ضروری است (چن و همکاران، 2009). شناسایی مناطق همگن اقلیمی از دیرباز مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است و آنها با استفاده از روش‌های گوناگون و براساس 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 (1936) و تورنت‌وایت (1948) اشاره کرد که بیشتر از هر روش دیگری مورد پسند و استفاده پژوهشگران قرار گرفته و پس از گذشت چندین دهه از عمرشان هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزایای اصلی این دو روش این است که به‌صورت 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، 2003). عدل (1339) و گنجی (1353) اولین کسانی بودند که با استفاده از روش کوپن مناطق اقلیمی ایران را شناسایی کردند. بعدها

خلیلی و همکاران (1370) با انجام اصلاحاتی در روش طبقه‌بندی دومارتن (1926) طبقه‌بندی اقلیمی دیگری از ایران ارائه کردند. روش‌هایی مانند کوپن، تورنت‌وایت و دومارتون اغلب از دو یا چند متغیر اقلیمی به‌عنوان ورودی روش طبقه‌بندی اقلیمی استفاده می‌کنند تا نقش متغیرهای اقلیمی موثر 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 یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که نقش اساسی در توزیع گیاهان، جانوران و جوامع انسانی روی کره زمین دارد و به همین سبب بیشترین نقش را در اغلب روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی بازی می‌کند. توزیع زمانی و مکانی بارش به‌ویژه نقش اساسی را در تعیین بیلان آبی مناطق مختلف جغرافیایی بازی می‌کند. همچنین تغییرات شدید بارش در مکان و زمان و نقش آن در زندگی انسان سبب شده است تا این متغیر اقلیمی از دیرباز مورد توجه انسان قرار گیرد و به همین علت داده‌های آن بیشتر از هر متغیر دیگری در دسترس است. از سوی دیگر بارش از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین متغیرهایی است که در پیش‌بینی وضع هوا با آن روبرو هستیم و شناخت هرچه بهتر سازوکارهای ایجاد بارش و وردایی زمانی و مکانی این متغیر مهم اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. همچنین، شناخت ویژگی‌های بارش مانند مقدار، شدت و طول فصل بارش از دیرباز مورد توجه اقلیم‌شناسان، آب‌شناسان و مهندسان منابع آب بوده است. از این‌رو، شناسایی مناطق همگن از نظر هم‌وردایی زمانی بارش مهم‌ترین پیش‌نیاز برنامه‌ریزی‌های محیطی به‌ویژه برنامه‌های مدیریت منابع و آمایش سرزمین است. پژوهشگرانی مانند اهرندورفر (1987)، جانوواک (1988)، کومری و گلن (1998)، سینگ و سینگ (1996)، میلر و

(2004) نیز از میان 57 متغیر اقلیمی وابسته به بارش در 77 ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی پراکنده در سطح کشور، 12 مورد را انتخاب و با انجام آرایه R تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی بر روی 12 متغیر انتخابی توانستند کل کشور را به 7 منطقه همگن از نظر ویژگی‌های بارشی تقسیم کنند. رضیئی و همکاران (2008) نیز با انجام آرایه R تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی 9 متغیر وابسته به بارش و خوشه‌بندی مولفه‌های به‌دست آمده پنج منطقه همگن بارشی برای غرب ایران شناسایی کردند. مدرس (2006) و مدرس و سرحدی (2011) نیز به کمک روش خوشه‌بندی وارد ایستگاه‌های همدیدی پراکنده در سطح کشور را بر اساس وردایی بین‌سالی بارش سالانه در آنها به هشت منطقه همگن بارشی تقسیم و سپس با استفاده از روش ال-مومنت برازنده‌ترین تابع توزیع فراوانی منطقه‌ای هر یک از مناطق شناسایی شده را تعیین کردند. مسعودیان و عطایی (1384) با استفاده از روش خوشه‌بندی ایران را بر اساس فصل‌های بارشی به پنج منطقه تقسیم و ویژگی‌های بارشی هر منطقه را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه‌ای دیگر و با روشی مشابه مسعودیان (1384) ایران را به سه رژیم بارشی اصلی و 12 رژیم بارشی فرعی تقسیم‌بندی کرد. دومروئس و همکاران (1998) نیز با انجام آرایه T تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی بر روی 71 ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی پراکنده در سطح کشور پنج رژیم بارشی برای ایران شناسایی کردند.

مناطق بارشی شناسایی شده در کشور اگرچه ساختار اصلی مناطق بارشی ایران را معرفی کرده‌اند، اما به دلیل استفاده از ایستگاه‌های محدود و با پراکنش نامناسب در سطح کشور که از کوهساری (توپوگرافی) پیچیده‌ای برخوردار است از دقت کافی برخوردار نیستند و در بسیاری از موارد نتایج آنها با هم متفاوت است. از سوی دیگر، مدهای هم‌وردایی بارش در ایران و به عبارتی

گودریچ (2007) و چن و همکاران (2009) از تحلیل مولفه‌های اصلی با آرایه S برای شناسایی مدهای هم‌وردایی بارش و منطقه‌بندی آن استفاده کردند، در حالی که تادهانتر و همکاران (1989)، فاول و فاول (1993)، لولیس و همکاران (1999)، دیگاتانو (1996)، رگونث و همکاران (2002)، و احمد و همکاران (2005) 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 تحلیل مولفه‌های اصلی با در نظر گرفتن برهمکنش و هم‌وردایی متغیرهای مختلف، منطقه مورد مطالعه را به مناطق همگن تقسیم می‌کند (ریچمن، 1986). با استفاده از آرایه T تحلیل مولفه‌های اصلی در کنار روش خوشه‌بندی نیز می‌توان تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه را براساس شکل توزیع ماهانه بارش در آنها به گروه‌های همگن یا رژیم‌های بارشی مختلف گروه‌بندی کرد. با استفاده از این روش گرین و همکاران (1993) رژیم‌های بارشی جنوب کالیفرنیا و فرناذز میلز (1995) رژیم‌های بارشی اسپانیا را شناسایی کردند. کانساکار و همکاران (2004) و ساریس و همکاران (2010) نیز با استفاده از روش خوشه‌بندی و بدون استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی به‌عنوان پیش‌پردازشگر به ترتیب رژیم‌های بارشی نیال و ترکیه را شناسایی کردند.

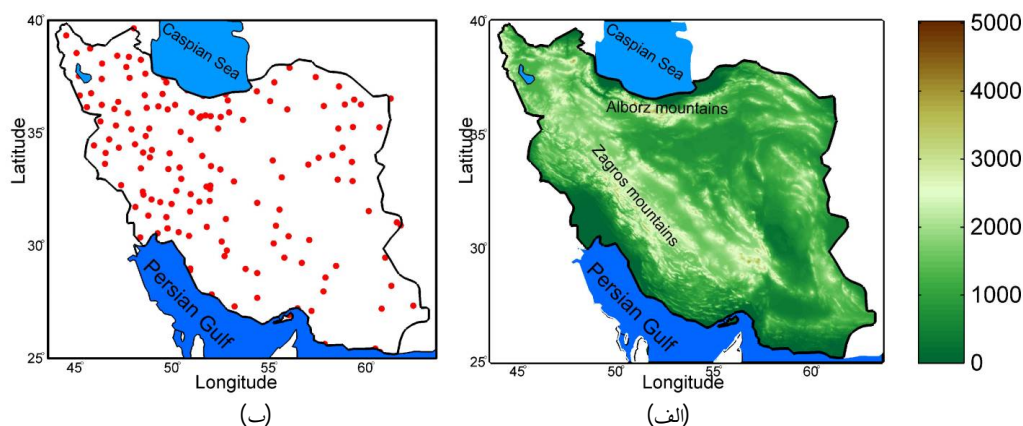
جهانبخش اصل و ذوالفقاری (1381) با انجام آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی بارش روزانه 22 ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی پراکنده در غرب ایران توانستند این بخش از کشور را از نظر ویژگی‌های بارش روزانه به پنج منطقه همگن بارشی طبقه‌بندی کنند. ذوالفقاری و ساری‌صراف (1378) نیز با انجام خوشه‌بندی بر روی داده‌های بارش ماهانه 24 ایستگاه هواشناسی در همین منطقه، شمال‌غرب کشور را از نظر ویژگی‌های بارش به پنج منطقه همگن تقسیم کردند. دین‌پژوه و همکاران

2 داده‌ها و روش‌ها

1-2 داده‌ها

برای انجام این پژوهش از آمار مجموع بارش ماهانه 155 ایستگاه همدیدی کشور برای دوره آماری 25 ساله 1990 تا 2014 استفاده شده است. اگرچه بسیاری از ایستگاه‌های مورد استفاده از آمار طولانی‌تری برخوردار هستند ولی دوره آماری مورد استفاده در این پژوهش از این جهت کوتاه‌تر در نظر گرفته شد تا یک شبکه تقریباً منظم از نقاط برای مطالعه به دست آید (شکل 1-ب). در دوره آماری 1990 تا 2014 اکثر ایستگاه‌های مورد استفاده از آمار کامل برخوردارند. حدود 20 درصد از ایستگاه‌ها در سال‌های 1990 و 1991 آمار گم‌شده دارند که با توجه به اینکه این مقدار آمار گم‌شده کمتر از 10 درصد کل داده‌های هر ایستگاه را شامل می‌شود و اینکه توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها در مقایسه با طول دوره آماری از اهمیت بیشتری در این مطالعه برخوردار است، آمار این دسته از ایستگاه‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفتند. آمار گم‌شده ایستگاه‌ها نیز با استفاده از روش درونیابی وزندار وارون فاصله (Inverse Distance Weighed, IDW) برآورد و جایگزین گردید. با توجه به شکل 1-ب ملاحظه می‌شود که شبکه ایستگاه‌های مورد استفاده از تراکم مناسب و پراکنش تقریباً منظمی در سطح کشور برخوردار

شناسایی مناطقی که از نظر وردایی بارش همانند هستند تاکنون برای ایران مورد بررسی و شناسایی قرار نگرفته است. البته پیش از این رضیعی و همکاران (2012) با استفاده از داده‌های بارش روزانه-Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE) مدهای هم‌وردایی بارش روزانه و رضیعی و فتاحی (1390) و رضیعی و همکاران (2011)، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی کشور و داده‌های شبکه‌بندی‌شده Global Precipitation Climatology Center (GPCC) مدهای هم‌وردایی خشکسالی در ایران را شناسایی کرده‌اند. از این‌رو، هدف از پژوهش حاضر شناسایی مدهای هم‌وردایی بارش ماهانه در کشور با استفاده از یک شبکه تقریباً متراکم از 155 ایستگاه همدیدی با پراکنش تقریباً منظم در سطح کشور (شکل 1-ب) است. شناسایی مدهای هم‌وردایی بارش در کشور می‌تواند به شناخت بهتر سازوکارهای حاکم بر وقوع بارش در هریک از مناطق بارشی شناسایی‌شده بینجامد و با ارائه الگوی تغییرات زمانی بارش در هر یک از این مناطق اطلاعات لازم را برای پیش‌آگاهی از میزان ماهانه ذخیره منابع آبی پشت سدها در اختیار مدیران منطقه‌ای منابع آب قرار دهد تا از غافلگیر شدن هر ساله آنها در تله کم‌آبی‌ها و خشکسالی‌های بی‌پایه جلوگیری کند.



شکل 1. (الف) نقشه ناهمواری‌های ایران و (ب) پراکنش ایستگاه‌های همدیدی بر روی نقشه ایران.

این ماتریس عددهای 300 و 155 به ترتیب معرف تعداد ماه‌های سال در دوره 25 ساله آماری (12×25) و تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده است. همان‌گونه که پیش از این نیز گفته شد در این پژوهش از ریشه سوم مقادیر بارش به جای مقدار واقعی بارش ایستگاه‌ها استفاده شد تا با کاهش چولگی داده‌ها توزیع سری داده‌های بارش ایستگاه‌ها به توزیع نرمال نزدیک‌تر شود. برای این منظور روش‌های مختلف نرمال‌سازی مانند لگاریتم و ریشه دوم مقادیر داده‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که ریشه سوم داده‌ها بهتر از دیگر روش‌ها توزیع داده‌ها را به توزیع نرمال نزدیک می‌کند. استفاده از ریشه سوم داده‌ها علاوه بر کاهش چولگی داده‌های بارش در ایستگاه‌های مختلف، دامنه تغییرات بین ایستگاه‌ها را نیز کاهش داد.

ماتریس ریشه سوم داده‌ها با استفاده از آزمون KMO

(شسکین، 2007) به شکل رابطه:

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

مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص شود که آیا ماتریس یاد شده کفایت لازم را برای استفاده در تحلیل مولفه‌های اصلی دارد یا خیر. در رابطه (1)، r_{ij}^2 و a_{ij}^2 به ترتیب ضریب همبستگی ساده و ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر i و j است. مقدار KMO برابر یا بزرگ‌تر از 0/9 یعنی ماتریس مورد نظر برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی دارای شرایط بسیار عالی، برابر یا بزرگ‌تر از 0/8 شرایط عالی، برابر یا بزرگ‌تر از 0/7 شرایط خوب، برابر یا بزرگ‌تر از 0/6 شرایط تقریباً مناسب، برابر یا بزرگ‌تر از 0/5 شرایط نامناسب و کوچک‌تر از 0/5 شرایط بسیار نامناسب است.

با انجام آزمون KMO بر روی ماتریس داده‌ها مقدار

KMO برابر با 0/98 به دست آمد که نشان می‌دهد ماتریس

است و مهم‌ترین پیش‌نیاز روش تحلیل مولفه‌های اصلی را که همان توزیع تقریباً یکنواخت نقاط است (ریچمن، 1986) داراست. یکی دیگر از پیش‌نیازهای روش تحلیل مولفه‌های اصلی نرمال بودن داده‌ها و یا محدود بودن دامنه تغییرات داده‌ها است (ریچمن، 1986). از این رو، با گرفتن ریشه سوم مقادیر بارش ایستگاه‌ها از مقدار چولگی داده‌ها به شدت کاسته و توزیع داده‌ها به نرمال نزدیک‌تر شد. گرفتن ریشه سوم داده‌ها همچنین موجب کاهش دامنه تغییرات داده‌ها در بین ایستگاه‌ها شد که این خود باعث می‌شود که از دادن وزن بیشتر به ایستگاه‌های با مقدار بارش بزرگ‌تر جلوگیری شود (کومری و گلن، 1998؛ رضیئی و همکاران، 2012).

2-2 روش‌ها

در اقلیم‌شناسی از چهار آرایه P، R، S و T برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده می‌شود (پارنال، 1993). برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی معمولاً از ماتریس همبستگی و 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 مولفه‌های معنی‌دار نیز از روش‌های مختلفی مانند نمودار غربالی و آزمون نورث (نورث و همکاران، 1982) استفاده می‌شود. مولفه‌های انتخابی را نیز معمولاً به یکی از روش‌های مایل و 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، 1981).

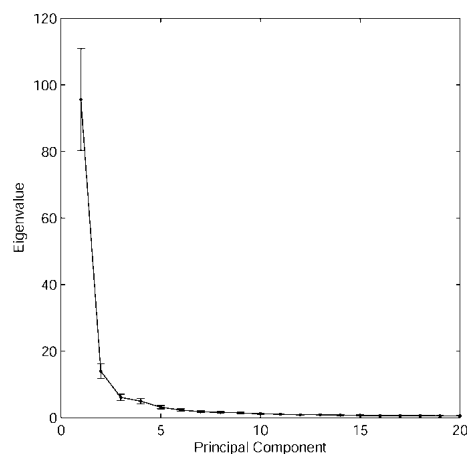
مجموع بارش ماهانه 155 ایستگاه نمایش داده شده در شکل 1-ب برای دوره 25 ساله 1990-2014 در ماتریسی به ابعاد 300×155 مرتب و به‌عنوان ورودی روش تحلیل مولفه‌های اصلی با آرایه S مورد استفاده قرار گرفت. در

واریانس داده‌ها را بیان می‌کنند. فاصله بسیار بزرگ بین درصد واریانس توجیه‌شده به وسیله مولفه نخست و دیگر مولفه‌ها نشان می‌دهد که ساختار فضایی نهفته در داده‌ها به وسیله این مولفه‌ها قابل نمایش نیست و لازم است که مولفه‌ها چرخش داده شوند تا ساختار موجود در داده‌ها خود را بهتر نمایان کند. بر این اساس، با چرخش مولفه‌های به‌دست آمده به روش واریماکس، واریانس توصیف‌شده به‌وسیله آنها به شکل بهتری در بین مولفه‌ها توزیع شد. پس از چرخش مولفه‌ها به روش واریماکس، مولفه‌های اول و دوم هر کدام در حدود 25 درصد از واریانس کل داده‌ها را توصیف می‌کنند و مولفه‌های چهارم و پنجم نیز هر کدام کمی بیش از 10 درصد واریانس کل را توصیف می‌کنند. پنج مولفه انتخابی در مجموع در حدود 80 درصد واریانس کل داده‌ها را توصیف می‌کنند که رقم بسیار قابل توجهی است. یادآوری می‌شود که با انجام تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های واقعی بارش، مقدار کل واریانس توصیف‌شده به‌وسیله پنج مولفه نخست در حدود 62 درصد کل واریانس داده‌ها است که در مقایسه با مقدار مشابه به‌دست آمده با داده‌های نرمال‌سازی شده مشخص می‌شود که نرمال‌سازی داده‌ها توانسته است کیفیت کار تحلیل مولفه‌های اصلی را نیز افزایش دهد و ساختار فضایی موجود در داده‌ها را بهتر نمایان کند.

جدول 1. درصد واریانس و واریانس افزایشی مولفه‌های انتخابی پیش و پس از چرخش به شیوه واریماکس.

شماره مولفه	بدون چرخش		چرخش به شیوه واریماکس	
	درصد واریانس	درصد افزایشی واریانس	درصد واریانس	درصد افزایشی واریانس
1	61/7	61/7	27/4	27/4
2	9/0	70/7	23/1	50/6
3	3/9	74/6	4/9	55/5
4	3/2	77/8	11/2	66/7
5	2/0	79/8	13/1	79/8

مورد نظر در این پژوهش از شرایط بسیار عالی برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی برخوردار است. یادآوری می‌شود که انجام آزمون KMO بر روی ماتریس داده‌های واقعی بارش مقدار کمتری را به‌دست داد ($KMO = 0/94$). مقایسه این دو مقدار نشان می‌دهد که استفاده از ریشه سوم مقادیر بارش، ماتریس داده‌ها را هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی به توزیع نرمال نزدیک کرده است و شرایط را برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی بهبود داده است. پس از اطمینان از امکان استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای کاهش تعداد متغیرها، این روش با آرایه S بر روی ماتریس همبستگی داده‌ها انجام و با استفاده از نمودار غربالی و آزمون نورث (شکل 3) تعداد 5 مولفه اول که مجموعاً 79/8 درصد از واریانس کل داده‌ها را دربرمی‌گیرد، برای منطقه‌بندی بارش در کشور انتخاب شدند. مولفه‌های انتخاب‌شده سپس به شیوه عمودی (روش واریماکس) چرخش داده شدند تا ساختار موجود در داده‌ها بهتر شناسایی شود. جدول 1 درصد واریانس و واریانس تجمعی مولفه‌های انتخابی را پیش و پس از چرخش نشان می‌دهد.



شکل 2. مقادیر ویژه مولفه‌ها و میزان خطای آنها در سطح اطمینان 95%.

با توجه به جدول 1 در حدود 62 درصد از واریانس کل داده‌ها به‌وسیله مولفه نخست توصیف می‌شود و مولفه‌های دوم تا پنجم مقادیر بسیار کوچک‌تری از

توزیع آماری دو سری مورد آزمون درست است. آزمون K-S با محاسبه بیشینه اختلاف دو تابع $F_1(x)$ و $F_2(x)$ به شکل رابطه (3) به ارزیابی و مقایسه دو تابع تجمعی تجربی (EF) مورد آزمون می‌پردازد:

$$\text{Max} |EF_1(x) - EF_2(x)|. \quad (3)$$

در این مطالعه تابع تجمعی تجربی سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه هر پنج منطقه بارشی محاسبه و همگنی مناطق بارشی شناسایی شده با استفاده از آزمون K-S مورد بررسی و آزمون قرار گرفت.

همچنین مناطق بارشی مشخص شده از نظر وردایی زمانی بارش سالانه و ماهانه با یکدیگر مورد مقایسه و بحث و بررسی قرار گرفتند.

3 نتایج

3-1 مناطق بارشی ایران

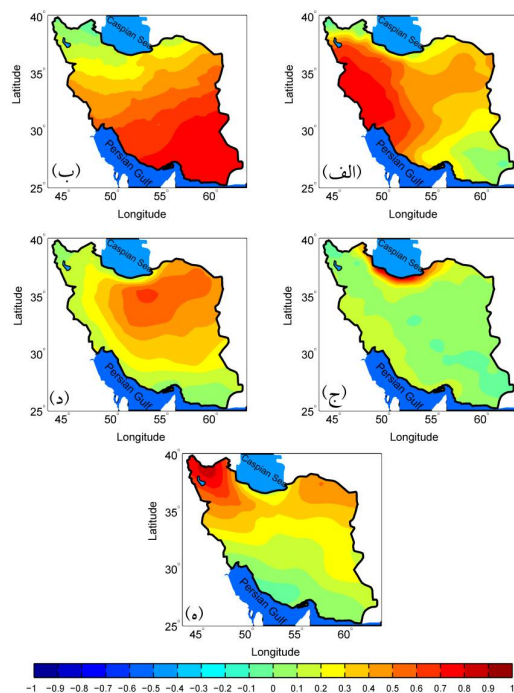
شکل 3 نقشه بارگویه مولفه‌های انتخابی را که به شیوه واریماکس چرخش یافته‌اند، نشان می‌دهد. با توجه به شکل 3-الف ملاحظه می‌شود که مولفه اول بیشترین بار را بر روی نیمه غربی کشور دارد و این منطقه را با مقدار بار بزرگ‌تر از 0/5 به عنوان یک منطقه بارشی مستقل معرفی می‌کند. شکل 3-ب نیز بخش بسیار گسترده‌ای از مرکز، جنوب و شرق کشور را با بار بزرگ‌تر از 0/5 به عنوان دومین منطقه بارشی کشور معرفی می‌کند که از نظر وسعت گسترده‌ترین منطقه بارشی ایران به شمار می‌آید. سومین منطقه بارشی کشور حاشیه شمالی ایران شامل کرانه‌های دریای خزر و دامنه‌های شمالی ارتفاعات البرز از آستارا در شمال غرب دریای خزر تا قوچان در شمال شرق کشور را دربرمی‌گیرد (شکل 3-ج). شمال شرق کشور و بخش بسیار بزرگی از ایران مرکزی نیز با مقدار بارگویه بزرگ‌تر از 0/4 در شکل 4-د به عنوان چهارمین

با پیروی از کمری و گلن (1998)، میلر و گودریچ (2007) و چن و همکاران (2009) مرزبندی مناطق بارشی کشور با استفاده از قانون بیشترین مقدار بارگویه مولفه‌های چرخش یافته بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شد. بر این اساس هر ایستگاه به مولفه‌ای نسبت داده شد که بیشترین بار را بر روی آن ایستگاه دارد. از این رو همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به پنج منطقه بارشی که در هر یک از آنها تنها یک مولفه بیشترین مقدار بارگویه را داراست، تقسیم شدند. همگنی مناطق بارشی به دست آمده نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری کلموگرف-اسمیرنوف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. این آزمون با مقایسه دو به دوی سری زمانی داده‌های مناطق بارشی مختلف به این پرسش پاسخ می‌دهد که آیا داده‌های دو منطقه بارشی مورد آزمون از توزیع آماری یکسانی برخوردارند یا نه (رضیئی و همکاران، 2008؛ وانگ و همکاران، 2008؛ شن و همکاران، 2015). آزمون ناپارامتری کلموگرف-اسمیرنوف که از آن با عنوان آزمون K-S و یا آماره D نیز نام می‌برند در واقع اختلاف بین تابع توزیع تجمعی (CDF) تجربی دو سری مورد بررسی را ارزیابی می‌کند. در این مطالعه تابع توزیع تجمعی تجربی سری زمانی میانگین بارش سالانه مناطق مختلف محاسبه و با استفاده از آزمون K-S با یکدیگر (به صورت دو به دو) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. اگر تابع توزیع تجمعی تجربی دو سری مورد آزمون به ترتیب $F_1(x)$ و $F_2(x)$ در نظر گرفته شوند، آنگاه فرض یکسان بودن توزیع آماری هر دو سری مورد آزمون زمانی درست است که $F_1(x)$ و $F_2(x)$ برای هر مقدار x برابر باشد:

$$H_0: F_1(x) = F_2(x). \quad (2)$$

در مقابل اگر $F_1(x)$ برای هر مقدار از x بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر از $F_2(x)$ باشد فرض H_1 یا رد یکسان بودن

و نیز از دیگر بخش‌های کشور که بیشترین مقدار بارش سالانه خود را در فصل زمستان دریافت می‌کند، کاملاً متمایز است.



شکل 3. نقشه بارگویه مولفه‌های اول تا پنجم پس از چرخش به شیوه واریمکس.

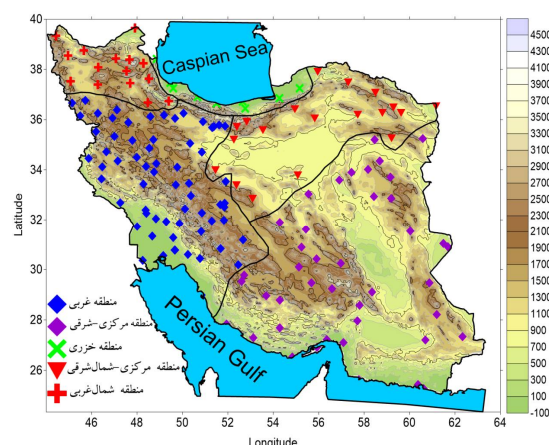
شکل 4 مناطق بارشی شناسایی شده در پژوهش پیش رو را نشان می‌دهد که بر اساس بیشینه مقدار بارگویه هر یک از مولفه‌های چرخش‌یافته (شکل 3) بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌دست آمده است. با توجه به این شکل کشور ایران به پنج منطقه بارشی شمال غربی، منطقه بارشی خزری، منطقه بارشی غربی، منطقه بارشی مرکزی-شرقی و منطقه بارشی مرکزی-شمال شرقی تقسیم می‌شود. از آنجایی که مناطق بارشی شناسایی شده بر اساس هم‌وردایی بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌دست آمده است، شکل 4 به‌خوبی تفاوت مناطق بارشی شناسایی شده را از نظر مقدار و رژیم بارش نشان می‌دهد. با توجه به شکل 4 ملاحظه می‌شود که بخش‌های غربی و

منطقه بارشی ایران مشخص شده است. سرانجام شکل 3-ه شمال غرب ایران را با بار بزرگ‌تر از 0/5 به‌عنوان پنجمین منطقه بارشی مستقل کشور نمایش می‌دهد. مناطق بارشی شناسایی شده در این پژوهش با مناطق بارشی به‌دست آمده به‌وسیله رضیئی و همکاران (2012) که با استفاده از روشی مشابه ولی بر اساس داده‌های بارش روزانه آفرودیت به‌دست آمده، تقریباً همانند است. آنها نیز پنج منطقه بارشی برای ایران شناسایی کردند که دو منطقه بارشی اصلی به‌دست آمده به وسیله آنها با منطقه بارشی غربی و جنوب شرقی کشور (شکل‌های 3-الف و 3-ب) کاملاً هماهنگ است. از این رو این دو منطقه بارشی را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین، پهناورترین و نیز مستقل‌ترین مناطق بارشی کشور معرفی کرد که در هر دوی این پژوهش‌ها به‌خوبی خود را نمایش داده‌اند. منطقه بارشی خزری (شکل 3-ج) و منطقه بارشی شمال غرب (شکل 3-ه) نیز به‌دلیل تفاوت در مقدار و رژیم بارش ماهانه از دیگر مناطق داخلی ایران متمایزند. یادآوری می‌شود که در پژوهشی که رضیئی و همکاران (2012) با استفاده از داده‌های روزانه آفرودیت انجام دادند، منطقه بارشی خزری به‌عنوان یک منطقه مستقل بارشی شناسایی نشد که علت آنرا شاید بتوان در استفاده از تعداد ناکافی ایستگاه‌های هواشناسی در این منطقه و نیز تاثیر منفی روش درونیابی مورد استفاده برای تهیه این داده‌ها جستجو کرد. بارش در منطقه بارشی خزری به‌شکلی تقریباً منظم در طی سال توزیع شده است و مقدار بارش ماهانه و سالانه آن نیز چندین برابر بارش ماهانه و سالانه دیگر بخش‌های کشور است. از این رو توزیع تقریباً همگن بارش در سرتاسر سال و نیز دریافت بیشینه بارش سالانه در فصل پاییز این منطقه بارشی را به‌عنوان مستقل‌ترین منطقه بارشی ایران معرفی می‌کند که کمترین همانندی را با دیگر بخش‌های کشور دارد. منطقه بارشی شمال غربی (شکل 3-ه) نیز به‌دلیل دریافت بیشینه بارش در فصل بهار از منطقه بارشی خزری

3-2 ارزیابی مناطق بارشی شناسایی شده

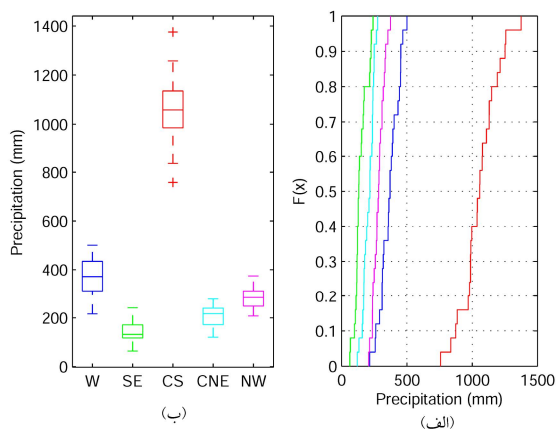
همان گونه که در بخش 2-2 گفته شد با استفاده از آزمون K-S همگنی مناطق بارشی شناسایی شده مورد بررسی قرار گرفت. شکل 5-الف تابع تجمعی تجربی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه مناطق بارشی شناسایی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که تابع تجمعی تجربی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه مناطق شناسایی شده کاملاً از هم مستقل هستند. با توجه به شکل 5-الف کاملاً پیداست که نمودار CDF منطقه خزری با دامنه بارشی بین 800 تا 1500 میلیمتر از دیگر مناطق بارشی کاملاً مستقل است. شکل 5-ب نیز نشان می‌دهد که دامنه تغییرات بارش سالانه در منطقه بارشی خزری چندین برابر دیگر مناطق بارشی است. با توجه به شکل 5-الف اگر چه نمودار CDF دیگر مناطق بارشی شناسایی شده به هم نزدیک‌تر است ولی فاصله قابل توجه آنها از هم نشان‌دهنده استقلال آنها از یکدیگر است. شکل 5-ب نیز نشان می‌دهد که اگرچه دامنه بارش سالانه مناطق بارشی غرب، شمال غرب، مرکز-شرق و شمال شرق کشور به هم نزدیک می‌باشند ولی با توجه به اینکه نمودار جعبه این مناطق بارشی با یکدیگر هم‌پوشانی ندارد، این مناطق بارشی از یکدیگر مستقل هستند. با توجه به شکل 5-ب منطقه بارشی غرب کشور با میانگین بارش سالانه‌ای در حدود 400 میلیمتر دومین منطقه پربارش کشور به شمار می‌رود و کمترین بارش سالانه با رقمی کمتر از 200 میلیمتر از آن منطقه بارشی مرکزی-شرقی است. جدول 2 نیز با ارائه آماره D و فرض H_0 و H_1 نتایج ارائه شده در شکل 5 را تأیید می‌کند. با توجه به جدول 2 همه مناطق بارشی شناسایی شده کاملاً از هم مستقل هستند و فرض اینکه دارای توزیع آماری کسانی باشند رد می‌شود. منطقه بارشی خزری دارای بالاترین مقدار آماره D از دیگر مناطق است و نشان می‌دهد که نمودار CDF این منطقه بارشی بیشترین فاصله را با نمودار CDF دیگر

شرقی دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز در دو منطقه بارشی متفاوت یعنی منطقه بارشی غربی و منطقه بارشی مرکزی-شمال شرقی طبقه‌بندی شده‌اند که با نتایج بیشتر منطقه‌بندی‌های پیشین متفاوت است. دلیل این جدایش، تفاوت این دو بخش از رشته کوه البرز در تغییرپذیری بارش ماهانه آنها است که به علت تفاوت در سامانه‌های همدیدی که این دو بخش از البرز را تحت تاثیر قرار می‌دهند پدیدار شده است. اگرچه اغلب سامانه‌های بارشی که منطقه بارشی مرکزی-شمال شرقی را متاثر می‌سازند از محدوده زاگرس عبور می‌کنند ولی تعداد قابل توجهی از سامانه‌های بارشی که محدوده شمال شرق کشور را تحت تاثیر قرار می‌دهند از مناطق شمالی ایران به این منطقه می‌رسند. همچنین منطقه شمال شرقی کشور همانند منطقه شمال غربی ایران از بارش‌های واداشت کوهساری (اوروگرافیک) بهاری شایان توجهی بهره‌مند می‌شود که در البرز غربی به آن شدت و فراوانی دیده نمی‌شود. مجموع این تفاوت‌ها سبب شده است که وردایی زمانی بارش ماهانه در نیمه غربی البرز با نیمه شرقی آن تا حدودی متفاوت باشد و به همین علت این دو بخش از البرز در دو منطقه بارشی متفاوت طبقه‌بندی شوند.



شکل 4. مناطق بارشی ایران با استفاده از قانون بیشترین مقدار بارگویه مولفه‌های چرخش‌یافته به شیوه وریماکس.

ریزش می‌کند، هرچند مقدار بارش ماه مارس نیز به عنوان دومین بیشینه منطقه به آن خیلی نزدیک است. شکل 6-ب نیز نشان می‌دهد که با کاهش اثر ارتفاعات زاگرس فصل بارش در منطقه بارشی مرکزی و شرقی ایران کوتاه‌تر و به ماه‌های نوامبر تا آوریل محدود شده و مقدار بارش ماه‌های اکتبر و مه نیز در مقایسه با منطقه بارشی غرب کشور (شکل 6-الف) بسیار کمتر شده است. قرار گرفتن این منطقه در دامنه‌های بادپناه زاگرس باعث کاهش ظرفیت بارشی سامانه‌های همدیدی رسیده به این منطقه می‌شود که نتیجه آن کوتاه‌تر شدن فصل بارش و کاسته شدن از مقدار بارش ماهانه آن در مقایسه با شکل 6-الف است. پربارش‌ترین منطقه بارشی ایران کرانه‌های دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز است که به دریای خزر مشرف اند (شکل 6-ج). با توجه به شکل 6-ج، بارش در این منطقه بارشی به‌طور تقریباً منظمی در همه ماه‌های سال توزیع شده است. بیشینه بارش در این منطقه در فصل پاییز رخ می‌دهد و فصل زمستان نیز دومین فصل پربارش منطقه به-شمار می‌رود. فصل‌های بهار و تابستان اگرچه خیلی خشک به شمار نمی‌روند ولی دوره کم‌بارش این منطقه بارشی را تشکیل می‌دهند. توزیع بارش ماهانه در منطقه



شکل 5. (الف) تابع تجمعی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه و (ب) نمودار جعبه بارش سالانه مناطق بارشی شناسایی شده در دوره آماری 2014-1990.

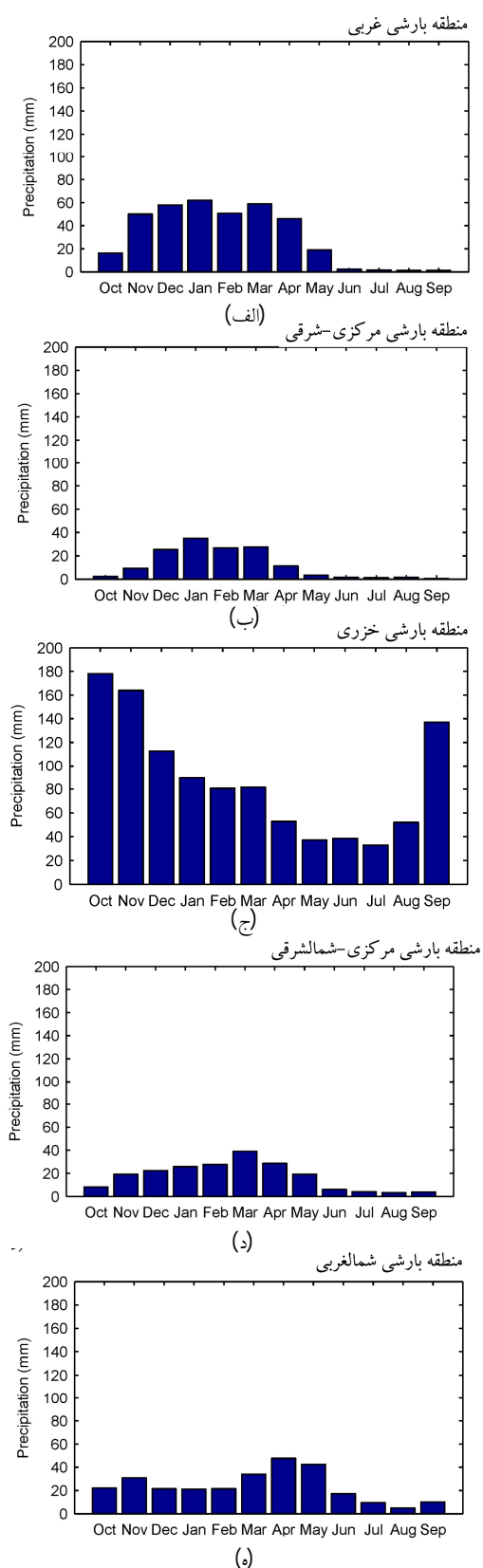
مناطق بارشی دارد. با توجه به جدول همچنین مشخص می‌شود که مقدار آماره D محاسبه شده برای دو منطقه همسایه دارای کوچک‌ترین مقدار و برای مناطق بارشی دور از هم دارای بزرگ‌ترین مقدار است. P-value محاسبه شده (نشان داده نشده است) برای آزمون‌های به‌عمل آمده در همه موارد در حدود صفر است که نشان می‌دهد که توزیع آماری مناطق بارشی شناسایی شده در سطح اطمینان 99 درصد با یکدیگر کاملاً متفاوت است. از این‌رو با توجه به نتایج نمایش داده شده در شکل 5 و تایید آن در جدول 2، مناطق بارشی شناسایی شده کاملاً همگن و از هم مستقل هستند.

جدول 2. مقدار آماره D آزمون K-S برای سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه مناطق بارشی شناسایی شده. اعداد داخل پرانتز مقدار H را نشان می‌دهند. $H=1$ و $H=0$ به ترتیب فرض همانند و ناهمانند بودن توزیع آماری دو منطقه مورد مقایسه را نشان می‌دهد.

مناطق بارشی	غربی	مرکزی - شرقی	خزری	شمال شرقی	شمالی غربی
غربی					
مرکزی - شرقی	0/96 (1)				
خزری	1 (1)	1 (1)			
شمال شرقی	0/88 (1)	0/60 (1)	1 (1)		
شمالی غربی	0/60 (1)	0/88 (1)	1 (1)	0/68 (1)	

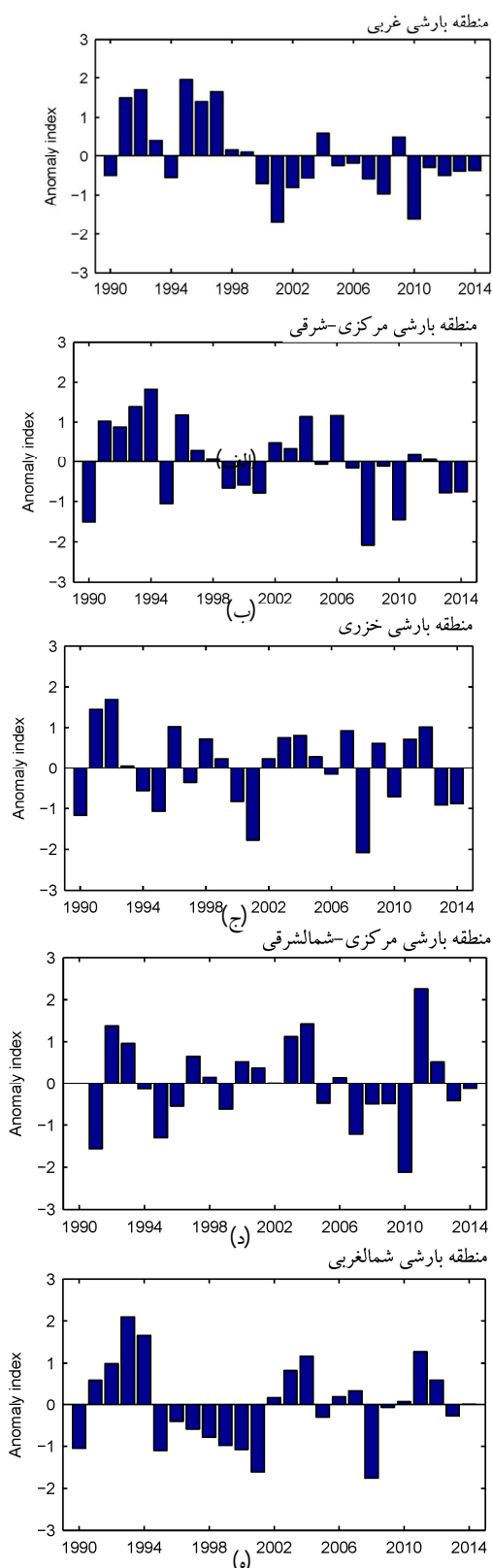
3-3 توزیع ماهانه بارش در مناطق بارشی

شکل 6 توزیع ماهانه بارش را در مناطق بارشی شناسایی شده نمایش می‌دهد. با توجه به شکل 6-الف ملاحظه می‌شود که فصل بارش منطقه غرب کشور در ماه اکتبر آغاز و تا پایان ماه مه ادامه دارد و ماه‌های ژوئن تا سپتامبر نیز فصل خشک این منطقه بارشی را تشکیل می‌دهد. ماه‌های نوامبر تا آوریل از بارش تقریباً برابری در این منطقه بارشی برخوردارند و بیشینه بارش نیز در ماه ژانویه



شکل 6. توزیع ماهانه بارش در مناطق بارشی شناسایی شده.

مرکزی و شمال شرقی کشور (شکل 6د) تقریباً همانند توزیع بارش در منطقه غربی کشور (شکل 6الف) است با این تفاوت که بیشینه بارش در منطقه مرکزی و شمال شرقی کشور در ماه مارس روی می‌دهد و مقدار بارش‌های تابستانه بخش شمالی این منطقه نیز به طور قابل توجهی بیشتر است. همچنین مقدار بارش منطقه غربی کشور در همه ماه‌های سال بسیار بیشتر از منطقه مرکزی و شمال شرقی کشور است که یکی از دلایل آن‌را می‌توان به کاهش توان بارشی سامانه‌های باران‌زا پس از گذر از زاگرس و رسیدن به این منطقه نسبت داد. البته همانگونه که پیش از این نیز گفته شد الزاماً تمامی سامانه‌های بارش‌زای منطقه بارشی مرکزی-شمال شرقی از محدوده زاگرس عبور نمی‌کنند و تعداد قابل توجهی از آنها از مناطق شمالی ایران به این منطقه می‌رسند. توزیع ماهانه بارش در منطقه بارشی شمال غرب نیز در شکل 6-ج نمایش داده شده است. با توجه به این شکل و مقایسه آن با توزیع ماهانه بارش در دیگر مناطق شناسایی شده به روشنی پیدا است که منطقه بارشی شمال غرب کشور پس از منطقه بارشی خزری دارای طولانی‌ترین فصل بارش در میان مناطق بارشی داخلی ایران است و سه ماه تابستان نیز فصل خشک کوتاه‌مدت این منطقه بارشی را تشکیل می‌دهند. بیشینه بارش در این رژیم بارشی در فصل بهار و به‌ویژه در ماه آوریل روی می‌دهد و فصل‌های پاییز و زمستان نیز بارش تقریباً برابری دریافت می‌کنند. با نگاهی به این شکل می‌توان دریافت که تابستان نیز به‌طور مطلق خشک نیست و از بارش قابل توجهی برخوردار است. به‌طور کلی مقایسه توزیع بارش ماهانه مناطق مختلف کشور که در شکل 6 نمایش داده شده است نشان می‌دهد که هر یک از مناطق بارشی شناسایی شده از رژیم بارشی ویژه‌ای برخوردار است که آن را از دیگر مناطق متمایز ساخته است. با توجه به شکل‌های 5 و 6 ملاحظه می‌شود که مناطق بارشی شناسایی شده از نظر مقدار، شکل توزیع



شکل 7. روند تغییرات زمانی شاخص بی‌هنجاری میانگین منطقه‌ای بارش سالانه در مناطق بارشی شناسایی شده.

بارش در ماه‌های مختلف سال، طول دوره بارش و نیز فصل و ماه دریافت بیشینه بارش کاملاً از یکدیگر متمایزند.

شکل 7 نیز روند تغییرات زمانی شاخص بی‌هنجاری منطقه‌ای بارش سالانه در مناطق بارشی شناسایی شده را برای دوره آماری 2014-1990 نمایش می‌دهد. مقایسه این نمودارها نیز نشان می‌دهد که تغییرات سالانه بارش در مناطق مختلف ایران با یکدیگر متفاوت است و هر چه مناطق از هم دورتر باشند این ناهماهنگی نیز بیشتر می‌شود. ماتریس همبستگی بین سری‌های زمانی شاخص بی‌هنجاری بارش سالانه مناطق شناسایی شده (جدول 3) این موضوع را تأیید می‌کند که تغییرات سال به سال بارش در مناطق مختلف متفاوت از یکدیگر است. با توجه به جدول 3 تغییرات بارش سالانه منطقه بارشی خزری همبستگی معنی‌داری با هیچ یک از دیگر مناطق داخلی ایران ندارد، در حالی که ضریب همبستگی بین دیگر مناطق داخلی کشور که از سامانه‌های تقریباً یکسانی بارش دریافت می‌کنند بیشتر است. به‌عنوان مثال بارش سالانه منطقه شمال غربی کشور بیشترین همبستگی معنی‌دار را با منطقه بارشی غربی که در همسایگی آن است، دارد. همبستگی زیاد میان این دو منطقه به این علت است که بیشتر سامانه‌های همدیدی هر دوی این مناطق را هم‌زمان و با شدتی تقریباً برابر تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین ضریب همبستگی میان منطقه بارشی غربی و منطقه بارشی مرکزی-شمال شرقی نیز معنی‌دار است. این امر نشان می‌دهد که بسیاری از سامانه‌های بارشی که موجب بارش در منطقه بارشی غربی می‌شوند به‌صورت هم‌زمان و یا با تاخیر زمانی منطقه بارشی مرکزی-شمال شرقی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. همبستگی بین مناطق بارشی مرکزی-شمال شرقی و مرکزی-شرقی نیز در سطح اطمینان 90 درصد معنی‌دار است. شکل 7 نیز نشان می‌دهد که روند تغییرات زمانی بی‌هنجاری بارش سالانه در مناطق مختلف

پنج منطقه بارشی یا رژیم بارشی متفاوت تشکیل شده است. از آنجایی که این تقسیم‌بندی بر اساس تفاوت ایستگاه‌ها از نظر تغییرات بین سالی بارش ماهانه به انجام رسیده است می‌توان گفت که مناطق بارشی به‌دست آمده هم از نظر شکل توزیع ماهانه بارش (رژیم بارشی) و هم از نظر روند تغییرات زمانی بارش با یکدیگر متفاوت هستند. از این‌رو دوره‌های خشکسالی و ترسالی نیز در این مناطق متفاوت از یکدیگر روی می‌دهد. هرچه دو منطقه بارشی از یکدیگر دورتر باشند همبستگی میان آنها از نظر تغییرات زمانی بارش کمتر است و در مقابل مناطق بارشی همسایه ممکن است تا حدودی با یکدیگر همبستگی داشته باشند و در برخی از سال‌ها دوره‌های خشک و تر در آنها هم‌زمان روی داده باشد. مناطق بارشی شناسایی شده همچنین از نظر سامانه‌های باران‌زایی که آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهند نیز تا حدود زیادی با یکدیگر متفاوت هستند. سامانه‌های بارشی که در فصل پاییز موجب بارش‌های شایان توجهی در ناحیه خزری می‌شوند کاملاً محلی بوده و دیگر مناطق داخلی ایران را تحت تاثیر قرار نمی‌دهند. بارش‌های بهاره منطقه بارشی شمال غرب نیز در اثر فعالیت سامانه‌های بارشی‌ای روی می‌دهد که توان کافی برای نفوذ به دیگر مناطق ندارند و گستره فعالیت آنها به شمال غرب کشور محدود می‌شود. اغلب سامانه‌های بارشی‌ای که مناطق بارشی غربی، مرکزی-شرقی و مرکزی-شمال شرقی را تحت تاثیر قرار می‌دهند یکسانند ولی با توجه به حرکت شرق‌سوی این سامانه‌ها زمان وقوع بارش در مناطق شرقی کشور با تاخیر همراه است. همچنین از توان بارشی سامانه‌ها از غرب به شرق کاسته می‌شود و همین عامل باعث تفاوت در رژیم بارشی و روند تغییرات زمانی بارش بین غرب و شرق ایران و در نتیجه در مناطق بارشی مختلف می‌شود.

مناطق بارشی شناسایی شده در این پژوهش با مناطق بارشی که رضیئی و همکاران (2012) با استفاده از

جدول 3. ضریب همبستگی بین میانگین بارش سالانه مناطق بارشی شناسایی شده. اعداد داخل پرانتز P-value یا سطح معنی‌داری همبستگی بین دو منطقه بارشی را نشان می‌دهد.

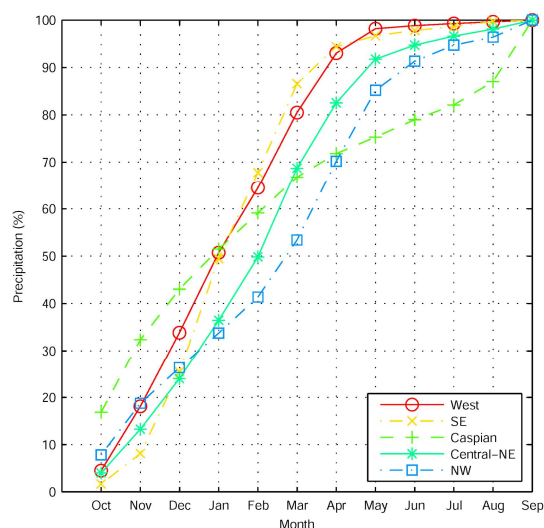
منطقه بارشی	غربی	مرکزی-شرقی	خزری	مرکزی-شمال شرقی	شمالی غربی
غربی					
مرکزی-شرقی	0/41 (0/040)				
خزری	0/37 (0/070)	0/04 (0/831)			
مرکزی-شمال شرقی	0/65 (0/000)	0/46 (0/019)	0/22 (0/295)		
شمالی غربی	0/74 (0/000)	0/14 (0/494)	0/38 (0/060)	0/58 (0/002)	

تقریباً از یکدیگر مستقل هستند و دوره‌های خشک و تر در بسیاری از موارد هم‌زمان نیستند و هر چقدر دو منطقه بارشی از هم دورتر باشند هم‌وردایی میان آنها کمتر می‌شود. با توجه به شکل 7-ه ملاحظه می‌شود که منطقه بارشی شمال غرب دهه 1990 تا 2000 را با کم‌آبی و خشکسالی شدید سپری کرده است که در سال‌های بعد نیز به تناوب تکرار شده است. این دوره بلندمدت خشکسالی به همراه برداشت بیش از اندازه از منابع آبی منطقه در این دوره موجب جلوگیری از ورود آب به دریاچه ارومیه و مرگ آن شده است.

4 بحث

انجام آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که کشور ایران از نظر تغییرات سال به سال بارش دارای پنج منطقه بارشی متفاوت است. این مناطق همچنین از نظر مقدار و شکل توزیع بارش در ماه‌های مختلف سال با یکدیگر متفاوتند. بررسی‌های آماری انجام شده نیز همگنی مناطق شناسایی شده و استقلال آنها را از یکدیگر مورد تأیید قرار داد. از این‌رو نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ایران از

گردد تا منطقه در سال بعد با کمبود منابع آب روبرو نشود. همچنین بیش از 80 درصد کل بارش سالانه در رژیم بارشی غربی تا آخر زمستان (مارس) ریزش می‌کند. بنابراین، در سال‌هایی که مجموع بارش دوره اکتبر تا مارس این منطقه بسیار کمتر از میانگین بلندمدت آن محاسبه شود، به این معنی است که منطقه در حدود 80 درصد بخت خود را برای دریافت بارش در این سال از دست داده است و منطقه به‌طور حتم در ماه‌های بعد با کم‌آبی و خشکسالی روبرو خواهد بود و لازم است که برنامه‌های سختگیرانه مدیریت منابع آب در منطقه از همان زمستان آغاز گردد. در مقابل، در رژیم بارشی شمال غرب مجموع بارش پاییز و زمستان در حدود 50 درصد کل بارش سالانه را شامل می‌شود و 50 درصد دیگر در بهار و تابستان سال بعد ریزش می‌کند. از این رو برنامه مدیریت منابع آب در این رژیم بارشی می‌باید متفاوت از آنی باشد که در رژیم‌های بارشی خزری و غربی پیاده و اجرا می‌شود، زیرا برنامه‌ریزان منابع آب در شمال غرب کشور می‌توانند به بارش مناسب در بهار سال بعد امیدوار باشند



شکل 8. توزیع تجمعی درصد بارش ماهانه مناطق بارشی شناسایی شده (منطقه غربی (West)، منطقه مرکزی-شرقی (SE)، منطقه خزری (Caspian)، منطقه مرکزی-شمال شرقی (Central-NE)، منطقه شمال غربی (NE)).

داده‌های بارش روزانه آفرودیت به‌دست آورده اند کاملاً هماهنگ است با این تفاوت که در پژوهش حاضر منطقه بارشی خزری به‌عنوان یک منطقه مستقل بارشی شناسایی شده است. مناطق بارشی شناسایی شده همچنین با مناطق به‌دست آمده به‌وسیله رضیئی و فتاحی (1390) و رضیئی و همکاران (2011، 2013) که ایران را از نظر هم‌وردایی خشکسالی به مناطق همگن تقسیم‌بندی کردند، تقریباً همانند است. اندک تفاوت موجود بین نتایج ایشان با مناطق بارشی به‌دست آمده در این پژوهش نیز به دقت مکانی پایین نقاط ایستگاه‌های استفاده شده به‌وسیله ایشان و تراکم بیشتر ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر مربوط می‌شود. همانندی مناطق بارشی شناسایی شده با نتایج قبلی، تقسیم‌بندی ایران به پنج منطقه متمایز از نظر رژیم بارشی و هم‌وردایی بارش و خشکسالی را تایید می‌کند. تفاوت مناطق شناسایی شده از نظر هم‌وردایی بارش و خشکسالی نشان می‌دهد که هر منطقه به برنامه‌های جداگانه‌ای برای مدیریت بهینه منابع آب و خشکسالی نیاز دارد.

رژیم‌های بارشی به‌دست آمده در این پژوهش بستر لازم را برای مدیریت بهتر منابع آب در هر یک از این مناطق بارشی فراهم آورده است. با توجه به شکل 8 ملاحظه می‌شود که تغییرات مجموع بارش ماهانه از شروع سال آبی (ماه اکتبر) تا پایان آن (ماه سپتامبر) در مناطق 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. به‌عنوان مثال در رژیم بارشی خزری و غربی 50 درصد مجموع بارش سالانه در ماه‌های اکتبر تا ژانویه ریزش می‌کند. از این رو در سال‌هایی که مجموع بارش این دوره از سال در این دو منطقه کمتر از میانگین بلندمدت آن شود می‌باید برنامه‌های مدیریت منابع آب به‌منظور ذخیره‌سازی آب برای سال بعد از پاییز آغاز

شمال شرقی در ماه مارس روی می‌دهد. منطقه بارشی مرکزی-شرقی که بخش بسیار بزرگی از کشور را دربرگرفته است کوتاه‌ترین فصل بارش و منطقه بارشی خزری و شمال غربی بیشترین طول دوره بارش را در کشور دارا هستند. مناطق بارشی شناسایی شده هم از نظر مقدار و شکل توزیع ماهانه بارش و هم از نظر هم‌وردایی بین سالی بارش کاملاً از یکدیگر مستقل هستند. استقلال مناطق بارشی از یکدیگر با انجام آزمون ناپارامتری کلموگرف-اسمیرنوف نیز تایید شد. مناطق بارشی به دست آمده با ویژگی‌های جغرافیایی و ناهمواری‌های کشور کاملاً هماهنگی دارند و تفاوت‌های مکانی کشور را از نظر سامانه‌های جوئی موثر در ایجاد بارش در این مناطق به خوبی نمایش می‌دهند. مناطق بارشی به دست 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 مبنای قرار دادن 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 کم‌آبی و خشکسالی جلوگیری کند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از دستاوردهای طرح تحقیقاتی «منطقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما و بهره‌گیری از روش‌های چندمتغیره (با کد 22-87-29-29-2)» است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به انجام رسیده است. از سازمان هواشناسی کشور نیز که داده‌های مورد استفاده در این پژوهش را تامین کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

هر چند این خود می‌تواند برنامه‌ریزان را به خطا بیندازد و در صورت بروز خشکسالی در بهار سال بعد منطقه با مشکل جدی آب در تابستان روبرو شود. از این رو مدیریت منابع آب در این منطقه نیز می‌باید با دقت بیشتری همراه باشد. نمودار تجمعی بارش ماهانه در شکل 8 معیار خوبی برای پایش و پیش‌آگاهی از میزان آورد سالانه جوئی در هر منطقه بارشی است و با استفاده از آن می‌توان منابع آب هر منطقه را با آگاهی و دقت نظر بیشتری مدیریت کرد.

5 نتیجه‌گیری

در این پژوهش با انجام آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی سری زمانی بارش ماهانه 155 ایستگاه همدیدی پراکنده در سطح کشور تعداد 5 منطقه بارشی در ایران شناسایی شد که از نظر مقدار و توزیع بارش ماهانه و نیز هم‌وردایی بین سالی بارش کاملاً با یکدیگر تفاوت دارند. منطقه بارشی خزری با بیشینه پاییزه و توزیع تقریباً مناسب بارش در طی سال استان‌های گیلان، مازندران و بخشی از استان گلستان را دربرمی‌گیرد. منطقه بارشی شمال غربی نیز با بیشینه بارشی در بهار، استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و بخشی از آذربایجان غربی و زنجان را شامل می‌شود. منطقه بارشی غربی با بیشینه بارش در زمستان و به‌ویژه در ماه ژانویه منطقه کوهستانی البرز و زاگرس و جلگه خوزستان در جنوب غرب کشور را دربرمی‌گیرد. منطقه بارشی مرکزی-شرقی نیز بخش بسیار بزرگی از ایران در مرکز، جنوب و شرق کشور را شامل می‌شود. دشت کویر و شمال شرق کشور نیز پنجمین منطقه بارشی ایران را پدید آورده است که هم از نظر مقدار و هم از نظر طول فصل بارش و شکل توزیع ماهانه بارش با دیگر مناطق کشور متفاوت است. بیشینه بارش در منطقه بارشی مرکزی-شرقی در ماه ژانویه و در منطقه مرکزی-

- 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.*, **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*, **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: *J. 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: *Int. J. Climatol.*, **7**, 71–89.
- Fernández Mills, G., 1995, Principal Component Analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain: *Theor. Appl. Climatol.*, **50**(3), 169–183.
- Fovel, R. G., and Fovel, M. C., 1993, Climate zones of coterminous United States defined using cluster analysis: *J. Climate*, **6**, 2103–2135.
- Green, M. C., Flocchini, G., and Myrup, L. O., 1993, Use of temporal principal components analysis to determine seasonal periods: *J. Appl. Meteorol.*, **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.
- منابع
 جهانبخش اصل، س.، و ذوالفقاری، ح.، 1381، بررسی الگوهای همدیدی بارش‌های روزانه در غرب ایران: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی 63 و 64، 258-234.
- خلیلی، ع.، حجام، س.، و ایران‌نژاد، پ.، 1370، تقسیمات آب و هوایی ایران: انتشارات وزارت نیرو، طرح جامع آب کشور (جاماب)، 259 صفحه و یک نقشه با مقیاس یک میلیونیم.
- ذوالفقاری، ح.، و ساری‌صراف، ب.، 1378، بررسی بارش‌های شمال غرب ایران با تاکید بر تحلیل خوشه‌ای: مجله آب و توسعه، 7 (3-2)، 142-134.
- رضیعی، ط. و فتاحی، ا.، 1390، ارزیابی کاربرد داده‌های بارش NCEP/NCAR در پایش خشکسالی ایران: فیزیک زمین و فضا، 37 (2)، 247-225.
- عدل، ا. ح.، 1339، آب و هوای ایران: انتشارات دانشگاه تهران.
- گنجی، م. ح.، 1353، 32 مقاله جغرافیایی: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی سحاب، تهران، 101-139.
- مسعودیان، س. ا.، و عطایی، ه.، 1384، شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای: مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، 8 (1)، 1-12.
- 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.
- Chen, L. J., Chen, D. L., Wang, H. J., Yan, J. H., 2009, Regionalization of precipitation regimes in China: *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, **2**(5), 301–307.

- Karnataka, India: Water Research, **36**, 2437–2442.
- Richman, M. B., 1981, Obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique: *J. Appl. Meteor.*, **20**, 1145–1159.
- Richman, M. B., 1986, Rotation of principal components, *J. Climatol.*, **6**, 293–335.
- Saris, F., Hannah, D. M., and Eastwood, W. J., 2010, Spatial variability of precipitation regimes over Turkey: *Hydrological Sci. J.*, **55**(2), 234–249.
- Shen, S. S. P., Wied, O., Weithmann, A., Regele, T., Bailey, B. A., and Lawrimore, J. H., 2015, Six temperature and precipitation regimes of the contiguous United States between 1895 and 2010: A statistical inference study: *Theor. Appl. Climatol.*, DOI: 10.1007/s00704-015-1502-2.
- 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 monsoonal 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.
- Wang, W., Chen, X., Shi, P., and van Gelder, P. H. A. J. M., 2008, Detecting changes in extreme precipitation and extreme streamflow in the Dongjiang River Basin in southern China: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **12**, 207–221.
- Yarnal, B., 1993, *Synoptic Climatology in Environmental Analysis: A Primer*: Belhaven Press, London, UK.
- Köppen, W., 1936, Das geographische system der climate: in: Köppen, W., and Geiger, R., (eds) *Handbuch der Klimatologie*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1–44.
- Lolis, C. J., Bartzokas, A., Metaxas, D. A., 1999, Spatial covariability of the climatic parameters in the Greek area: *Int. J. Climatol.*, **19**, 185–196.
- Miller, J. A., Goodrich, G. B., 2007, Regionalization and trends in winter precipitation in the northwestern USA: *Climate Res.*, **33**, 215–227.
- Modarres, R., 2006, Regional precipitation climates of Iran: *J. 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.
- 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.
- Raziei, T., Bordi, I., and Pereira, L. S., 2011, An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran: *Water Resour. Manage.*, **25**, 1075–1086.
- Raziei, T., Bordi, I., and Pereira, L. S., 2013, Regional drought modes in Iran using the SPI: The effect of time scale and spatial resolution: *Water Resour. Manage.*, **27**, 1661–1674.
- Raziei, T., Mofidi, A., Santos, J. A., and Bordi, I., 2012, Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation: *Int. J. Climatol.*, **32**, 1226–1237.
- Reghunath, R., Sreedhara Murthy, T. R., and Raghavan, B. R., 2002, The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: An example from