

تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی مقادیر حدی بارش و دما

فرحناز تقوی* - استادیار مؤسسه‌ی ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

محسن ناصری - دانشجوی دکتری مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
بردیا بیات - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
سید ساجد متولیان - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
داود آزادی فرد - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۳/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۸/۲۹

چکیده

رویدادهای آب‌وهوایی حدی، پدیده‌هایی هستند که از نظر فراوانی، کمپاب و درجه‌شدت بالا دارند و در هنگام وقوع آنها، بوم سامانه و ساکنان منطقه به دشواری می‌توانند خود را با تغییرات ایجادشده تطبیق دهند. از آنجاکه بستر رخداد رویدادهای آب‌وهوایی حدی، شرایط دمایی و بارش‌های حدی است؛ بنابراین، بررسی داده‌های اقلیمی حدی در این مورد ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مباحث مهم در شناخت رفتار اقلیمی مناطق مختلف، تعیین مناطق هم‌رفتار اقلیمی است. منطقه‌بندی اقلیمی مناطق مختلف بر اساس داده‌های حدی اقلیمی، می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان امر مدیریت بحران‌های ناشی از رویدادهای آب‌وهوایی حدی یاری رسانده و همچنین به درک بیشتر شیوه‌ی رفتار مناطق مختلف در شرایط حدی کمک کند. در این مقاله با استفاده از روش تحلیل طیفی و خوشه‌بندی، یک منطقه‌بندی اقلیمی برای ۶۵ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور ارائه شده است. نشانک‌های اقلیمی مورد استفاده، شامل حداکثر بارش ۲۴ ساعته‌ی ماهانه، دمای بیشینه و کمینه‌ی ماهانه و همچنین سری زمانی داده‌های اقلیمی مربوط به دوره‌ی زمانی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ میلادی هستند. به‌منظور نیل به منطقه‌بندی مناسب، نخست با استفاده از روش تحلیل طیفی، مشخصات طیف‌های اصلی نشانک‌های اقلیمی، شامل دامنه و بسامد، محاسبه‌شده سپس خوشه‌بندی با استفاده از روشی قطعی (K-means) انجام پذیرفته است. نتایج به‌دست‌آمده گویای تنوع رفتاری مشخصات حدی در مناطق مختلف اقلیمی است، به‌گونه‌ای که لزوماً یک سامانه اقلیمی خاص بر مناطق هم‌رفتار حاکم نیست، در این خصوص تکیه بودن رفتاری ایستگاه‌های رامسر و کنارک چابهار جالب توجه است.

کلیدواژه‌ها: الگوهای رفتار اقلیم، منطقه‌بندی، مقادیر حدی بارش و دما، تحلیل طیفی، خوشه‌بندی.

مقدمه

رویدادهای آب‌وهوایی حدی^۱ پدیده‌هایی هستند که از نظر فراوانی کمیاب و درجه‌شدت بالایی دارند و در هنگام وقوع، روال معمول بوم سامانه^۲ و ساکنان منطقه را با تغییرات جدی روبه‌رو می‌کند و البته احتمال وقوع این رویدادها نیز به‌طور متوسط کمتر از ۵٪ تخمین زده شده است (Zhu and Toth, 2001). از شایع‌ترین رویدادهای آب‌وهوایی حدی، می‌توان به مواردی همچون موج‌های گرمایی^۳، موج‌های سرمای^۴، باران‌های سیل‌آسا، چرخندهای حاره‌ای^۵، گردبادها^۶، آتش‌سوزی جنگل‌ها^۷ و طوفان‌های شدید شن^۸ اشاره کرد. نمونه‌هایی از این رویدادها که در سال‌های گذشته رخ داده‌اند و خسارات شدیدی را در نقاط مختلف جهان به‌بار آورده‌اند، در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱. برخی از رویدادهای آب‌وهوایی حدی به وقوع پیوسته در سال‌های گذشته (Wikipedia, 2011)

ردیف	نام رویداد	زمان وقوع	محل وقوع	خسارت تقریبی
۱	موج گرمایی	تابستان ۲۰۰۳	اروپای غربی	مرگ حدود ۴۰۰۰۰ نفر بر اثر گرمزدگی
۲	چرخند حاره‌ای (طوفان کاترینا)	اگوست ۲۰۰۵	جنوب ایالت لوئیزیانا در ایالات متحده آمریکا	مرگ ۱۸۳۶ نفر، حدود ۷۵ میلیارد دلار خسارت مالی
۳	موج سرمای	زمستان ۲۰۰۶	اروپا (به‌ویژه اروپای شرقی)	مرگ حدود ۲۰۰ نفر بر اثر سرمزدگی
۴	آتش‌سوزی جنگل	نوامبر ۲۰۰۸	جنوب ایالت کالیفرنیا در ایالات متحده آمریکا	سوختن حدود ۴۵۰۰ هکتار اراضی جنگلی، از بین رفتن حدود ۵۰۰ واحد مسکونی
۵	طوفان شن	سپتامبر ۲۰۰۹	ساحل شرقی استرالیا (ایالات کوئینزلند و نیوساوت ویلز)	بدون مرگ و میر، اختلالات اساسی در فعالیت‌های روزمره، خسارت مالی نامشخص
۶	سیل	جولای ۲۰۱۰	جنوب پاکستان	مرگ ۱۷۸۱ نفر، حدود ۴۳ میلیارد دلار خسارت مالی

از آنجا که رویدادهای آب‌وهوایی حدی، در شرایط وقوع دماهای استثنایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهند، بررسی داده‌های اقلیمی حدی امری ضروری است (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶، ۱۱)، در این خصوص درک مناطق هم‌رفتار، گام دوم شناخت مکانی وقایع حدی شمرده می‌شود.

منطقه‌بندی اقلیمی مناطق مختلف بر اساس داده‌های حدی اقلیمی، می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در

1. Extreme weather events
2. Ecosystem
3. Heat waves
4. Cold waves
5. Tropical cyclones
6. Tornadoes
7. Wildfires
8. Dust storm

امر تشخیص شیوه‌ی وقوع حوادث بر اساس مشاهدات در مناطق مشابه، کمک شایانی کند و در این راستا می‌توان برای مناطقی که از نظر رفتار اقلیمی در یک خوشه قرار دارند، سیاست‌های مدیریتی و آمادگی مشابهی را اتخاذ کرد. با توجه به آنکه در مطالعه‌ی پیش رو، روش‌های مورد استفاده برای منطقه‌بندی اقلیمی، روش‌های تحلیل طیفی^۱ و خوشه‌بندی^۲ بوده‌اند، در ادامه مرور کوتاهی بر مطالعات انجام‌شده در این زمینه شده است.

لانا و بورگینو (۲۰۰۰)، الگوی بارش‌های غیرعادی شهر بارسلونا را با استفاده از روش تحلیل طیفی تعیین کردند. آنها در کار خود از یک دوره‌ی زمانی ۱۲۸ ساله‌ی بارش کل ماهانه، بدون لحاظ کردن اطلاعات مفقودی بهره بردند و تابع طیف توان^۳ الگوهای غیرعادی بارش را در دو مقیاس ماهانه و فصلی به‌دست آوردند. نتایج کار آنها گویای این واقعیت بود که در شهر بارسلونا و در طول دوره‌ی زمانی مورد مطالعه‌ی آنها، خاصیت تناوبی تغییرات الگوهای غیرعادی بارش در مقیاس فصلی به‌رغم مقیاس ماهانه به‌خوبی قابل مشاهده است.

گارسیا و همکارانش (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های مشاهداتی ۴۰ ایستگاه هواشناسی در طول ۷۴ سال، تغییرات بارش ماهانه‌ی کل در شبه‌جزیره‌ی ایبری^۴ (اسپانیا و پرتغال فعلی) را مورد تحلیل مکانی - زمانی قرار دادند. روش آنها برای تحلیل مکانی و زمانی سری‌های بارش، به‌ترتیب تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۵ و تحلیل چندمخروطه^۶ بود.

یونان و همکارانش (۲۰۰۳) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، منطقه‌بندی جدیدی برای اقلیم کشور ترکیه ارائه کردند. در مطالعه‌ی آنها، از اطلاعات ۱۱۳ ایستگاه هواشناسی شامل دمای حداقل، حداکثر و متوسط و کل بارش ماهانه برای دوره‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۸ استفاده شده است. آنها از پنج روش متفاوت برای تعیین بهترین وضعیت منطقه‌بندی استفاده کردند. نتایج کار آنها ترکیه را به هفت منطقه‌ی اقلیمی تقسیم می‌کند که اندکی با تقسیم‌بندی قبلی متفاوت است.

لیوآدا و همکارانش (۲۰۰۸) بر مبنای داده‌های بارش ۱۱۰ ایستگاه باران‌سنجی با طول سری زمانی بین ۴۰ تا ۵۰ سال، ویژگی‌های زمانی - مکانی بارش در یونان را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نخست به تحلیل زمانی - مکانی حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته‌ی سالانه برای دوره‌ی بازگشت‌های متفاوت پرداخته و سپس با استفاده از روش تحلیل طیفی تغییرات درون‌سالی بسامد^۷ بارش حداکثر را تعیین کردند.

رضیعی و عزیززی (۱۳۸۸) با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارژد^۸ رژیم بارشی بارشی غرب ایران را منطقه‌بندی کردند، نتیجه‌ی کار آنها تعیین پنج زیرمنطقه‌ی همگن بارشی برای غرب ایران بود.

تحلیل طیفی داده‌های اقلیمی با تجزیه‌ی آنها به مؤلفه‌های هارمونیک سازنده، روش مناسبی برای بررسی تغییرپذیری‌های بارش به‌شمار می‌رود (تقوی و نیستانی، ۱۳۸۹، ۳۶۵). استفاده از تحلیل هارمونیک در مطالعات اقلیمی

1. Spectral analysis
2. Clustering
3. Power spectrum function
4. Iberia
5. Principle Components Analysis (PCA)
6. Multi - Taper Method (MTM)
7. Frequency
8. Ward method

(تقوی و همکاران، ۲۰۱۰؛ تقوی و نیستانی، ۲۰۱۰ الف و ب) به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل سری زمانی مطرح است که دو رویکرد تئوریک بسیار مهم را در بررسی زمانمند پدیده‌ها به یکدیگر مربوط می‌کند. در واقع، تحلیل هارمونیک شامل نمایش نوسان‌ها یا تغییرپذیری در یک سری زمانی است که به‌شکل توابع سینوسی و کسینوسی ارائه می‌شود. به‌گفته‌ای ساده‌تر، کاربرد اصلی تحلیل هارمونیک، شناسایی روند تغییرات و حالت‌های تناوبی سری‌های زمانی پیچیده و امکان پیش‌بینی است. بر اساس تحلیل هارمونیک می‌توان مناطقی را مشخص کرد که از نظر پارامتر مورد بررسی، رفتار مشابهی دارند. این روش، همانند ابزاری برای درک رفتار داده‌ها در طول زمان و بررسی پدیده‌های پیچیده‌ی طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (یزدیان و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۰۵).

مواد و روش‌ها

روش‌های مورد استفاده در این مقاله، برپایه‌ی تحلیل طیفی و خوشه‌بندی اطلاعات حاصل از آن است که در ادامه، مبانی نظری این روش‌ها به‌اختصار معرفی شده‌اند.

به هر نوع متغیر مکانی یا زمانی که بتوان آن را به مؤلفه‌های بسامدی تفکیک کرد، طیف گویند. تحلیل طیفی به مجموعه عملیات آماری‌ای گفته می‌شود که بر روی طیف مورد نظر انجام می‌شود و با آن می‌توان برخی از مشخصه‌های مهم طیف، از جمله دامنه^۱، حالت^۲ و بسامد را به‌دست آورد. برتری عمده‌ی روش تحلیل طیفی نسبت به روش‌های آماری دیگر، گذر از فضای مکان و زمان به فضای معکوس (بسامد) است که موجب کاهش چشمگیر حجم محاسبه‌های آماری خواهد شد. مبانی روش تحلیل طیفی، تبدیل‌های فوریه^۳ است. تابع طیف توان - که همان تبدیل فوریه تابع خودهمبستگی^۴ است - یکی از توابع کاربردی مهم در تحلیل طیفی شمرده می‌شود. با استفاده از این تابع می‌توان، یک سری زمانی را از فضای زمان به فضای بسامد وارد و در فضای جدید با شکست طیف مادر به طیف‌های اصلی، رفتار تناوبی طیف مادر را شناسایی کرد. روش محاسبه‌ی تابع طیف توان در رابطه‌ی شماره ۱ آمده است.

$$\Gamma(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \gamma(u) \cdot \cos 2\pi \cdot f \cdot u \, du \quad (1)$$

در این رابطه، f بسامد طیف، u گام زمانی^۵، $\gamma(u)$ تابع خودهمبستگی و $\Gamma(f)$ تابع طیف توان است (Box & Jenkins, 1976). خوشه‌بندی^۶ اطلاعات به‌معنی تقسیم اطلاعات به زیرگروه‌های مختلف است، به‌گونه‌ای که همه‌ی اعضای یک زیرگروه ویژگی مشترکی داشته باشند. این ویژگی نشانه‌ای^۷ و اشتراکی عددی است. از دید ریاضی، خوشه‌بندی، راهی برای جداسازی مجموعه‌ی $X = \{x_1, \dots, x_n\} \subset R^p$ به $c \in \{2, \dots, n-1\}$ زیرمجموعه است که

1. Amplitude
2. Phase
3. Fourier conversions
4. Auto covariance function
5. Time step
6. Categorization
7. Categorical

گویای ساختار X است. جداسازی اطلاعات را می‌توان با یک ماتریس جداسازی U_{cn} اجرا کرد. هر عضو $u_{ik}, i=1, \dots, c, k=1, \dots, n$ از ماتریس جداسازی، نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی عضویت^۱ عضو $x_k \in X$ در خوشه‌ی i ام است. یکی از روش‌های متداول و به‌نسبت موفق خوشه‌بندی، روش K-means است. این روش، خانواده‌ای از روش‌های غیرهوشمند است که برای خوشه‌بندی اطلاعات استفاده می‌شود (Jane & et al., 1999; Jane & et al., 2000). رابطه‌ی شماره ۲، نمایش ریاضی روش K-means را بیان می‌کند.

$$M_{hcn} = \left\{ U \in \{0,1\}^{cn} \mid \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, k=1, \dots, n, \sum_{k=1}^n u_{ik} > 0, i=1, \dots, c \right\} \quad (2)$$

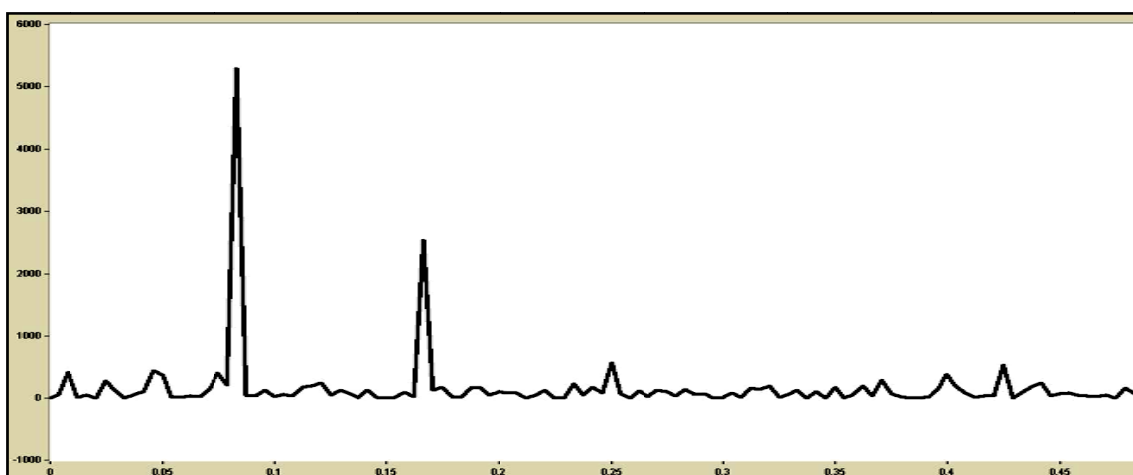
روش K-means جزء رایج‌ترین روش‌های خوشه‌بندی است که از ویژگی‌های آن می‌توان به سادگی و روانی ساختار محاسبات اشاره کرد (Xu & Wunch, 2005). تعداد خوشه‌های بهینه، از موضوعاتی است که معیارهای محاسباتی فراوانی برای شناسایی و انتخاب آن ارائه شده است. در پژوهش حاضر از معیار ارائه‌شده در کار (Halkidi & et al., 2001) استفاده شده است که بر پایه‌ی حداقل کردن واریانس^۲ اطلاعات خوشه‌ها نسبت به مرکز عددی هر خوشه است.

در پژوهش پیش رو، طیف نشانک‌های اقلیمی^۳ انتخاب‌شده با دو مشخصه‌ی اصلی بسامد و دامنه، شناخته می‌شوند. می‌شوند. از آنجاکه محاسبه‌ها بایستی برای تعداد زیادی از سری‌های زمانی انجام شود، از نرم‌افزار Dadisp استفاده شده است. این نرم‌افزار را شرکت Dadisp برای تحلیل و پردازش ریاضی و آماری داده‌های مختلف تهیه کرده است. نسخه‌ی مورد استفاده در مقاله‌ی پیش رو، نسخه‌ی آموزشی تولید سال ۲۰۰۲ است.

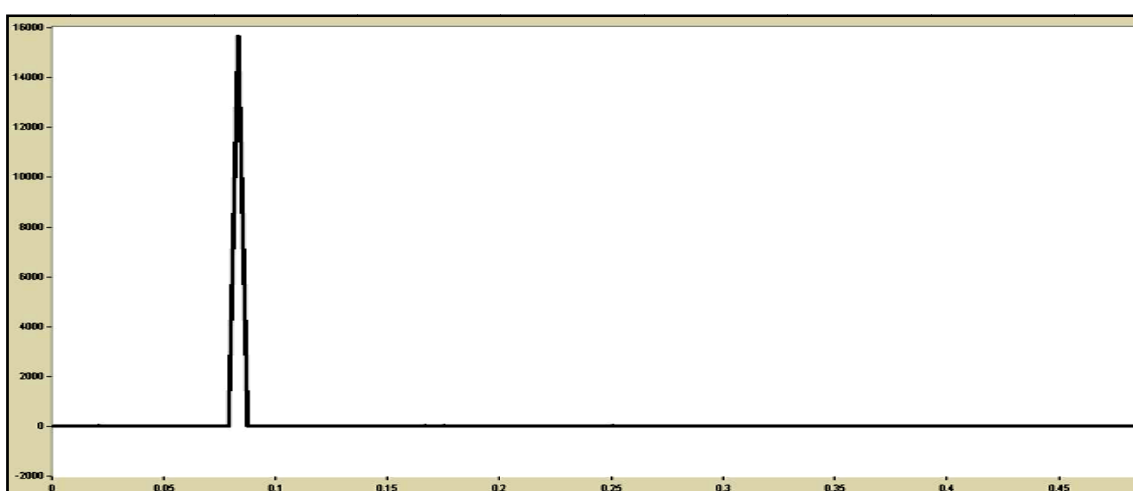
پس از گرفتن اطلاعات مورد نیاز آنها را به نرم‌افزار Dadisp وارد کرده تا نمودار سری زمانی آن کشیده شود. یکی از اصلی‌ترین مفروضات تحلیل سری‌های زمانی، ایستنا^۴ بودن اطلاعات است. چون فرض ایستایی داده‌های مورد بررسی برقرار بود، برای نخستین گام، برخی از خصوصیات اطلاعات، همانند روند، تناوب^۵ و پرش^۶ از سری زمانی حذف می‌شود. می‌شود. برای این کار با فرض خطی^۷ بودن روند اطلاعات موجود، ایستاسازی اولیه انجام می‌شود. برای تحلیل طیفی داده‌ها، از تابع چگالی طیف توان^۸ استفاده شد که نسبت به تابع طیف معمولی و تابع طیف توان، دقت بهتری را در نمایش مشخصات طیف‌ها دارد. در سری‌های زمانی، وجود یک طیف قوی با دامنه‌ی قابل توجه، نشانگر پیروی رفتار داده‌ها از مشخصات آماری آن طیف قوی، همانند دوره بازگشت است. برای مثال، نمونه‌ی نمودار تابع چگالی طیف توان مربوط به ایستگاه مراغه، برای بارش ۲۴ ساعته (شکل شماره ۱)، دمای کمینه (شکل شماره ۲) و دمای بیشینه (شکل

1. Degree of membership
2. Variance
3. Climatic signals
4. Stationary
5. Periodicity
6. Jump
7. Linear Trend
8. Power Spectrum Density (PSD)

شماره ۳) کشیده شده است. این نمودارها، خروجی‌های نرم‌افزار Dadisp برای تحلیل اطلاعات حدی در ایستگاه مراغه است. در این نمودارها، محورهای افقی و عمودی به ترتیب نشانگر مقادیر بسامد و تابع چگالی طیف توان هستند. برای این کار، تعداد چرخه‌های معنادار برای نشانک بارش ۲۴ ساعته، چهار و با توجه به رفتار بسیار همگن دما، برای هر دو نشانک دمای بیشینه و کمینه، تنها یک چرخه‌ی معنادار لحاظ شده است. در جدول شماره ۲، خلاصه‌ی آماری نتایج تحلیل طیفی ارائه شده است. در این جدول متغیرهای f و A به ترتیب بسامد و دامنه بوده و واحد آنها نیز به ترتیب هرتز^۱ و یک بر روی هرتز هستند.

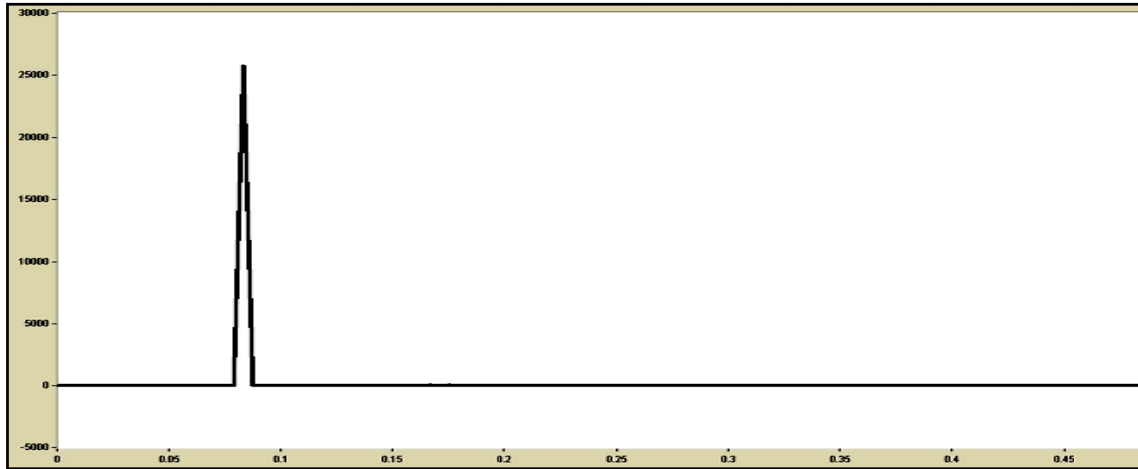


شکل ۱. نمودار تابع چگالی طیف توان مربوط به ایستگاه مراغه برای بارش ۲۴ ساعته



شکل ۲. نمودار تابع چگالی طیف توان مربوط به ایستگاه مراغه برای دمای کمینه

1. Hertz (HZ)



شکل ۳. نمودار تابع چگالی طیف توان مربوط به ایستگاه مراغه برای دمای بیشینه

جدول ۲. خلاصه‌ی آماری نتایج تحلیل طیفی ایستگاه‌های سینوپتیکی منتخب ایران

نوع پارامتر	حداکثر بارش ۲۴ ساعته ماهانه				دمای بیشینه‌ی ماهانه				دمای کمینه‌ی ماهانه			
	f	A	f	A	f	A	f	A	f	A	f	A
میانگین	۰/۰۹	۱۷۳۸۵	۰/۱۸	۳۱۱۲	۰/۲۱	۱۹۳۷	۰/۲۶	۱۴۴۵	۰/۰۸	۱۹۰۹۳	۰/۰۸	۱۲۶۴۷
کمینه	۰/۰۵	۲۶۳	۰/۰۲	۱۴۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۸	۱۷۶۶	۰/۰۸	۴۴۵۱
بیشینه	۰/۱۷	۱۱۹۴۱۱	۰/۴۵	۴۵۸۴۲	۰/۵	۳۰۳۱۴	۰/۹۵	۲۰۱۴۵	۰/۰۸	۲۷۷۳۰	۰/۰۸	۲۰۰۱۵

منطقه‌ی مورد مطالعه، ۶۵ ایستگاه ثبت سینوپتیکی اطلاعات واقع در محدوده‌ی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و در جمهوری اسلامی ایران است. مقادیر حدی بارش و دما شامل، حداکثر بارش ۲۴ ساعته ماهانه و دمای بیشینه و کمینه ماهانه از میان واقع حدی ثبت شده، انتخاب شده‌اند. برای این کار، اطلاعات این سه پارامتر، در ایستگاه‌هایی که دست کم ۲۰ سال داده‌ی آماری برای دوره‌ی زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ (۶۵ ایستگاه) با پراکندگی در کل کشور داشتند، مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که اطلاعات آنها از سایت سازمان هواشناسی کشور استخراج شده است.

در شکل شماره ۴، موقعیت و نام هر یک از ایستگاه‌های منتخب آورده شده است. اطلاعات ثبت شده‌ی شماری از این ایستگاه‌ها، در برخی از مقاله‌های اقلیمی با مطالعه‌ی موردی ایران نیز مورد استفاده بوده‌اند (رحیم زاده و همکاران، ۲۰۰۹؛ دین پژوه و همکاران، ۲۰۰۴ و طبری و حسین زاده، ۲۰۱۱).

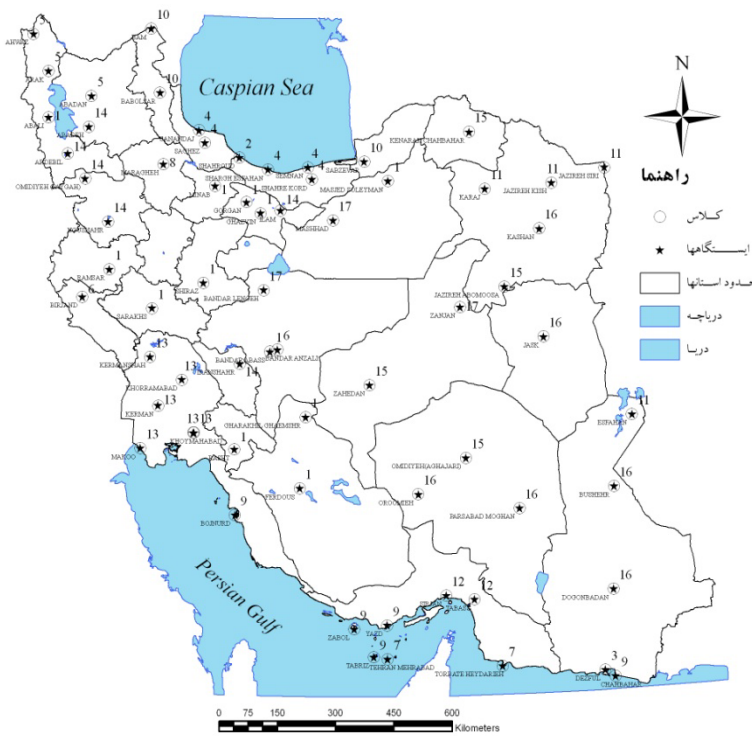


شکل ۴. موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران

با استفاده از نرم‌افزار Matlab، خوشه‌بندی نتایج حاصله از تحلیل طیفی در سه حالت^۱ انجام پذیرفت. برای خوشه‌بندی در حالت اول، از نتایج تحلیل طیفی (بسامد و دامنه) و مشخصات جغرافیایی (طول، عرض و ارتفاع) ایستگاه‌ها؛ در حالت دوم، از نتایج تحلیل طیفی (بسامد و دامنه) و ارتفاع نقاط و در حالت سوم، تنها از نتایج تحلیل طیفی (بسامد و دامنه) استفاده شد. با توجه به معیار حداقل کردن مجموع واریانس اطلاعات، برای به‌دست آوردن تعداد خوشه‌های مناسب اقدام شد که تعداد آن به تناسب اطلاعات مورد استفاده، ۱۴ تا ۱۷ خوشه بود. در شکل‌های شماره ۵ تا شماره ۱۰، متناسب با هر حالت و تعداد خوشه‌های مورد استفاده، ایستگاه‌های هم‌خوشه نشان داده شده‌اند.



شکل ۵. نحوه‌ی قرارگیری ایستگاه‌های هم‌رفتار بر اساس نتایج تحلیل طیفی و مشخصات جغرافیایی با ۱۵ خوشه



شکل ۶. نحوه‌ی قرارگیری ایستگاه‌های هم‌رفتار، بر اساس نتایج تحلیل طیفی و مشخصات جغرافیایی با ۱۷ خوشه



شکل ۷. نحوه‌ی قرارگیری ایستگاه‌های هم‌رفتار، بر اساس نتایج تحلیل طیفی و ارتفاع با ۱۴ خوشه

نتایج

از ویژگی‌های بارز نتایج به‌دست آمده، تکنیکه بودن^۱ ایستگاه رامسر در تمامی حالت‌ها و تعداد خوشه‌های مناسب است. این ایستگاه، به‌دلیل رفتار کاملاً متفاوت از دید اقلیمی - همان‌گونه که از نتایج تحلیل طیفی مشخص بود - در میان ایستگاه‌هایی که سابقه‌ی ثبت اطلاعات دارند، به‌عنوان ایستگاهی منحصر به فرد عمل می‌کند. در میان ایستگاه‌های جنوبی کشور نیز، کنارک چابهار چنین ویژگی منحصر به فردی را دارد.

در حالت اول، علاوه بر رامسر و کنارک چابهار، ایستگاه‌های ایلام و زنجان نیز رفتاری کمابیش یکتا دارند. هم‌رفتاری ایستگاه‌هایی همانند ارومیه، شیراز، تهران و آباده در حالت‌های مورد استفاده در شکل‌های شماره ۶ و ۷ نیز جالب توجه است. این مشابهت در تمامی حالت‌های مدل‌سازی شده، دیده می‌شود. همچنین شباهت‌های بسیار حالت‌های دوم و سوم، از جمله هم‌رفتاری ایستگاه‌های مهاباد، شیراز، سنندج، کرج و زاهدان در هر دو حالت نیز اهمیت دارد. در جدول شماره ۳، نحوه‌ی قرارگیری هر ایستگاه در مدل‌های شش‌گانه ارائه شده است.

جدول ۳. خلاصه نتایج خوشه‌بندی در ایستگاه‌های سینوپتیکی منتخب ایران

نام ایستگاه	کد ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	شماره خوشه					
					مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶
ABADAN	40831	30.37	48.25	6.6	13	13	10	10	10	10
ABADEH	40818	31.18	52.67	2030	1	1	1	1	1	1
ABALI	40755	35.75	51.88	2465.2	14	14	11	11	14	14
AHWAZ	40811	31.33	48.67	22.5	13	13	10	10	1	1
ARAK	40769	34.10	49.77	1708	1	1	1	15	11	11
ARDEBIL	40708	38.25	48.28	1332	10	10	8	8	9	9
BABOLSAR	40736	36.72	52.65	-21	4	4	3	3	3	3
BAM	40854	29.10	58.35	1066.9	1	16	1	1	1	1
BANDAR ABASS	40875	27.22	56.37	10	12	12	14	14	1	16
BANDAR ANZALI	40718	37.47	49.47	-26.2	4	4	3	3	3	3
BANDAR LENGEH	40883	26.58	54.83	14.2	9	9	13	13	13	13
BIRJAND	40809	32.87	59.20	1491	1	16	1	1	1	1
BOJNURD	40723	37.47	57.32	1091	15	15	12	12	10	10
BUSHEHR	40858	28.98	50.83	19.6	9	9	13	13	13	13
CHAHBAHAR	40898	25.28	60.62	8	9	9	13	13	13	13
DEZFUL	40795	32.40	48.38	143	13	13	10	10	14	14
DOGONBADAN	40835	30.43	50.77	699.5	1	1	1	1	1	1
ESFAHAN	40800	32.62	51.67	1550.4	1	1	1	1	1	1
FERDOUS	40792	34.02	58.17	1293	15	15	12	12	10	10
GHARAKHIL GHAEMSHR	40737	36.45	52.77	14.7	4	4	14	14	1	16
GHAZVIN	40731	36.25	50.00	1278.3	14	1	1	1	1	1
GORGAN	40738	36.85	54.27	13.3	10	10	8	8	9	9

ادامه‌ی جدول ۳. خلاصه نتایج خوشه‌بندی در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب ایران

نام ایستگاه	کد ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	شماره خوشه					
					مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶
ILAM	40780	33.63	46.42	1363.4	6	6	5	5	6	6
JASK	40893	25.63	57.77	4.8	7	7	6	6	5	5
JAZIREH ABOMOOSA	40890	25.83	54.83	6.6	7	7	6	6	5	5
JAZIREH KISH	40882	26.50	53.98	30	9	9	13	13	13	13
JAZIREH SIRI	40889	25.88	54.48	4.4	9	9	13	13	13	13
KARAJ	40752	35.92	50.90	1312.5	14	1	1	1	1	1
KASHAN	40785	33.98	51.45	982.3	1	17	1	15	11	11
KENARAK CHAHBAHAR	40897	25.43	60.37	12	3	3	4	4	4	4
KERMAN	40841	30.25	56.97	1753.8	15	15	12	12	10	10
KERMANSHAH	40766	34.28	47.12	1322	1	1	1	15	11	17
KHORRAMABAD	40782	33.48	48.37	1125	1	1	1	15	11	17
KHOY	40703	38.55	44.97	1103	5	5	7	16	12	12
MAHABAD	40726	36.77	45.72	1385	14	14	1	1	1	1
MAKOO	40701	39.33	44.43	1411.3	5	5	7	7	7	7
MARAGHEH	40713	37.40	46.27	1477.7	14	14	11	11	14	14
MASHHAD	40745	36.27	59.63	999.2	11	11	11	17	14	14
MASJED SOLEYMAN	40812	31.93	49.28	320.5	13	13	10	10	14	14
MINAB	40876	27.12	57.10	27	12	12	14	14	1	16
NOUSHAHR	40734	36.65	51.50	-20.9	4	4	3	3	3	3
OMIDIYEH (PAYGAH)	40830	30.77	49.65	34.9	13	13	10	10	11	17
OMIDIYEH(AGHAJARI)	40833	30.77	49.67	27	13	13	10	10	10	17
OROOMIYEH	40712	37.53	45.08	1313	1	1	1	15	11	17
PARSABAD MOGHAN	40700	39.65	47.92	31.9	10	10	8	8	9	9

ادامه‌ی جدول ۳. خلاصه نتایج خوشه‌بندی در ایستگاه‌های سینوپتیکی منتخب ایران

نام ایستگاه	کد ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	شماره خوشه					
					مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶
RASHT	40719	37.20	49.65	36.7	4	4	14	14	3	16
SABZEVAR	40743	36.20	57.72	977.6	11	11	11	11	14	14
SAGHEZ	40727	36.25	46.27	1522.8	14	14	11	11	14	14
SANANDAJ	40747	35.33	47.00	1373.4	14	14	1	1	1	1
SARAKHS	40741	36.53	61.17	235	11	11	11	17	14	14
SEMNAN	40757	35.55	53.38	1171	1	17	1	15	11	11
SHAHRE KORD	40798	32.33	50.85	2061.4	14	14	11	11	14	14
SHAHROUD	40739	36.42	54.95	1345.3	1	1	1	1	1	1
SHARGH ESEFAHAN	40802	32.67	51.87	1543	6	6	5	5	6	15
SHIRAZ	40848	29.60	52.53	1488	1	1	1	1	1	1
SIRJAN	40851	29.47	55.68	1739.4	1	16	1	1	1	1
TABASS	40791	33.60	56.92	711	1	17	1	15	11	11
TABRIZ	40706	38.08	46.28	1361	5	5	7	7	7	7
TEHRAN MEHRABAD	40754	35.68	51.32	1190.8	1	1	1	15	11	11
TORBATE HEYDARIEH	40762	35.27	59.22	1450.8	1	16	9	9	8	8
YAZD	40821	31.90	54.40	1230.2	1	15	1	1	11	11
ZABOL	40829	31.03	61.48	489.2	11	11	11	1	14	14
ZAHEDAN	40856	29.47	60.88	1370	1	16	1	1	1	1
ZANJAN	40729	36.68	48.48	1663	8	8	9	9	8	8

با استفاده از نتایج دسته‌بندی‌های شش‌گانه فوق و همچنین جدول شماره ۳، می‌توان رفتارشناسی اجمالی‌تری بر اساس تمامی نتایج فوق و رویکردی تجمیعی ارائه کرد. در ابتدا ایستگاه‌های کاملاً هم‌رفتار در ۱۸ کلاس زیر ارائه شده‌اند:

- ۱ - اصفهان، آباد، دوگنبدان، شیراز و شاهرود
 - ۲ - فردوس، کرمان و بجنورد
 - ۳ - مراغه، شهرکرد، آبعلی و سقز
 - ۴ - قزوین و کرج
 - ۵ - دزفول و مسجد سلیمان
 - ۶ - اردبیل، پارس‌آباد مغان و گرگان
 - ۷ - بندر لنگه، چاه‌بهار، بوشهر و جزایر سیری و کیش
 - ۸ - جزیره‌ی ابوموسی و جاسک
 - ۹ - تبریز و ماکو
 - ۱۰ - بندر انزلی و بابلسر
 - ۱۱ - زاهدان، ایرانشهر، بیرجند، سرجان و بم
 - ۱۲ - کاشان، سمنان و تیس
 - ۱۳ - اراک و تهران
 - ۱۴ - بندرعباس و میناب
 - ۱۵ - کرمانشاه، خرم‌آباد و ارومیه
 - ۱۶ - دزفول و مسجد سلیمان
 - ۱۷ - سنندج و مهاباد
 - ۱۸ - خوی، تربت حیدریه، کنارک و رامسر (همگی تکینه)
- و سپس ایستگاه‌های تقریباً هم‌رفتار در چهار کلاس دسته‌بندی شده‌اند:
- ۱ - امیدیه، دزفول، آبادان، اهواز (در حداقل چهار دسته از شش دسته)
 - ۲ - رشت و قره‌خیل قائم‌شهر (در پنج دسته از شش دسته)
 - ۳ - ایلام و شرق اصفهان (در پنج دسته از شش دسته)
 - ۴ - زابل، سبزه‌وار، سرخس و مشهد (در پنج دسته از شش دسته)

بحث و نتیجه‌گیری

منطقه‌بندی و دریافت الگوی حاکم بر اقلیم کشور، از دیدگاه‌های مختلف اهمیّت دارد. با توجه به اینکه وقوع برخی از رویدادهای اقلیمی حدّی، مانند سیل در ایران شایع است، نتایج این منطقه‌بندی، برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در

مدیریت بحران‌های ناشی از بروز رویدادهای اقلیمی حدی، قابل استفاده است. در مقاله‌ی پیش رو با بهره‌گیری از دو گام تحلیل محتوایی نشانک‌های اقلیمی (بخش تحلیل طیفی) و رویکرد سامانه‌ای تشخیص الگوهای مشابه (بخش خوشه‌بندی) به این مهم پرداخته شده است. این رویکرد نظام‌مند، در یافتن نقاط یکتا مانند، رامسر و کنارک چابهار، در حالت‌های مختلف، موفق بوده و رفتارهای منطقه‌ای در تغییرات اقلیمی را به روشنی خوشه‌بندی کرده است.

خوشه‌بندی بر اساس نتایج تحلیل طیفی و موقعیت جغرافیایی، پیش‌فرض قوی مشابهت بر اساس همسایگی را به سیستم جست‌وجوگر الگو تحمیل می‌کند. اگرچه این فرض عمدتاً صادق است، اما به‌کارگیری آن در منطقه‌ای گسترده‌ای همچون ایران با تغییرات محسوس آب‌وهوایی، برخوردی محافظه‌کارانه‌تری را می‌طلبد. در این راستا، دو حالت دیگر (محتوای نتایج تحلیل طیفی + ارتفاع و تنها محتوای نتایج تحلیل طیفی) نیز، طرأحی شد که نتایج آن با حالت اول مقایسه شده است. تفاوت‌های دو حالت اخیر با یکدیگر ناچیز و با حالت اول کمابیش قابل ملاحظه ارزیابی می‌شود.

تشابه رفتار حالت دوم و سوم، گویای ارتباط مستقیم و عمیق ارتفاع نقاط ایستگاهی با محتوای متغیرهای هواشناسی مشاهده‌شده در آن مناطق است، به‌گونه‌ای که شاید دریافت و تبیین محدوده‌های ارتفاعی، حدس اولیه درستی نسبت به اقلیم مناطق باشد. همچنین بر اساس تشابه دسته‌ای به تشخیص تجمعی نقاط هم‌رفتار نیز پرداخته شده که در این راستا، هجده کلاس کاملاً هم‌رفتار و چهار کلاس تقریباً هم‌رفتار در مناطق مختلف شناسایی شدند. نتایج گویای انضباط تقریبی در این پراکنش، بر اساس اقلیم‌های شناخته‌شده و الگوی ارتفاعی است، ولی نقاط نقضی نیز، همانند دسته‌های ۳، ۶ و ۱۵ وجود دارد که نقاط هم‌رفتار است. یکی از زمینه‌های پیشنهادی برای مطالعات آینده، به‌کارگیری روش‌های خوشه‌بندی فازی در تبیین رفتار اقلیمی مناطق مختلف و درهم‌تیدگی ارتفاعی و نیز، مقایسه الگوی هم‌رفتاری حدی و میانگینی مشخصات اقلیمی در ایستگاه‌های مورد بررسی است.

منابع

- Box, G. E. P. & Jenkins, F. M., 1976, **Time Series Analysis: Forecasting and Control**, 2nd Edition, Holden-Day, Oakland, CA.
- Dinpazhoh, A., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S., Mirnia, M., 2004, **Selection of Variables for the Purpose of Regionalization of Iran's Precipitation Climate Using Multivariate Methods**, Journal of Hydrology, 297, PP. 109-123
- Garcia, J. A., Serrano, A. M., Aly, A. H. and Adams, A., 2002, **A Spectral Analysis of Iberian Peninsula Monthly Rainfall**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 71, PP. 77-95.
- Halkidi, M., Batistakis, Y. and Vazirgianis, M., 2001, **On Clustering Validation Techniques**, Journal of Intelligent Information Systems, No. 17, Vol. 2/3, PP. 107-145.
- Jain, A. K., Duin, P. W. and Mao, J., 2000, **Statistical Pattern Recognition: A Review**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, No.22, Vol. 1, PP. 4-37.
- Jain, A. K., Murty, M. N. and Flynn, P. J., 1999, **Data Clustering: A Review**, ACM Computer Survey, No. 31, Vol. 3, PP. 264-323.
- Lana, X. and Burgueno, A., 2000, **Statistical Distribution and Spectral Analysis of Rainfall Anomalies for Barcelona (NE Spain)**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 66, PP. 211-227.

- Livada, I., Charalambous, M. and Assimakopoulos, N., 2008, **Spatial and Temporal Study of Precipitation Characteristics over Greece**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 93, PP. 45-55.
- Rahimzadeh, F., Asghari, A., Fattahi, E., 2009, **Variability of Extreme Temperature and Precipitation in Iran during Recent Decades**, International Journal of Climatology, 29, PP. 329-343.
- Raziei, T. and Azizi, GH., 2009, **Delineation of Homogeneous Precipitation Regions in Western Iran**, Journal of Geography and Environmental Planning, Issue 2, No. 34, PP. 65-86.
- Tabari, H., Hosseinzadeh, P., 2011, **Temporal Variability of Precipitation over Iran: 1966-2005**, Journal of Hydrology, Vol. 396, PP. 313-320.
- Taghavi, F. Moghbel, M. Davoudi, M., Neyestani, A., 2010, **Spatial and Temporal Study of Precipitation Characteristics over Iran Using Harmonic Analysis**, EMS & ECAC 2010 Conference, Zurich, Switzerland, PP. 420.
- Taghavi, F., Neyestani, A., 2010 (a), **Spectral Analysis of Climatic Data Time Series and Using Digital Filtering Techniques to Process Them**, Proceeding of 4th Regional Conference on Climate Change, Tehran, Iran, Dec., 20-22, P. 363.
- Taghavi, F., Neyestani, A., 2010 (b), **Wavelet and Spectral Analysis Precipitation Variability over Iran**, 11th International Meeting on Statistical Climatology Conference, Edinburg, Scotland, P. 211.
- Taghavi, F., Mohammadi, H., 2007, **Study the Return Period of Extreme Climate Events for Reduction of Environmental Impacts**, Journal of Environmental Studies, Vol. 43, PP. 11-21.
- Unal, Y., Kindap, T. and Karaca, M., 2003, **Redefining the Climatic Zones of Turkey Using Cluster Analysis**, International Journey of Climatology, Vol. 23, PP. 1045-1055.
- Wikipedia, **The Free Encyclopedia**, 2011, List of Extreme Weather Events, Access on 14 Jan 2011, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_extreme_weather_events.
- Xu, R., Wunsch, D., 2005, **Survey of Clustering Algorithms**, IEEE Transactions on Neural Networks, No. 16, Vol. 3, PP. 645- 678.
- Yazdian, H., Nasser, M., Taghavi, F., 2010, **Specification of Precipitation Patterns of Isfahan Province Based on Spectral Analysis and Clustering of Precipitation and Temperature**, Proceeding of 4th Regional Conference on Climate Change, Dec, 20-22, Tehran, Iran, P.405.
- Zhu, Y. and Toth, Z., 2001, **Extreme Weather Events and Their Probabilistic Prediction by the NCEP Ensemble Forecast System**, Proceedings of the Symposium on Precipitation Extremes: Prediction, Impact, and Responses, Albuquerque, USA.