

پهنه‌بندی دمای ایران با استفاده از روش نگاشت تجزیه به مقادیر منفرد (SVD) و خوشه‌بندی فازی

هاجر سادات حسینی^۱، همت اله رورده^{۲*}، جمال قاسمی^۳، یداله یوسفی^۲

- ۱- کارشناسی ارشد اقلیم شناسی شهری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مازندران
- ۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
- ۳- استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۲۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

چکیده

اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که بر زندگی و فعالیت انسان‌ها موثر است. لذا شناخت پهنه‌های اقلیمی جهت برنامه‌ریزی و توسعه فضایی نواحی مختلف ضروری می‌باشد. هدف این تحقیق پهنه‌بندی دما در ایران با روش خوشه‌بندی فازی است. داده‌های میانگین روزانه درجه حرارت خشک، بیشینه درجه حرارت، کمینه درجه حرارت، دمای نقطه شبنم و درجه حرارت تر ۶۳ ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ از سازمان هواشناسی اخذ شد. با توجه به عدم قطعیت، داده‌های اقلیمی، در جهت به حداقل رساندن عدم قطعیت داده‌های موجود با روش نگاشت تجزیه به مقادیر منفرد (SVD) فشرده و کاهش بعد داده شد و با روش خوشه‌بندی فازی (Fcm)، خوشه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که روش خوشه‌بندی فازی به خوبی قادر است طبقه‌بندی دمایی قابل قبول و مناسبی را برای ایران ارائه دهد. نتایج این تحقیق ۶ خوشه دمایی را در ایران نشان می‌دهد. پهنه‌های دمایی ایران از دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان و رشته کوه البرز و زاگرس و نواحی داخلی ایران تبعیت می‌کند. از نتایج این پژوهش می‌توان در جهت مقاصد کشاورزی و مدیریت منابع آبی کشور و هم‌چنین گردشگری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: خوشه‌بندی فازی (Fcm)، نگاشت تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)، نواحی دمایی، ایران.

مقدمه

جغرافیا علم مطالعه تفاوت‌ها و تشابهات در سیاره زمین است (شکوئی، ۱۳۸۸). اقلیم‌شناسی یکی از شاخه‌های علم جغرافیاست که یکی از اهداف آن، شناخت تشابهات و تفاوت‌های اقلیمی مکان‌هاست. کشور ایران از تنوع آب و هوایی زیادی برخوردار است. این تنوع آب و هوایی توان محیطی ویژه‌ای را برای ایران ایجاد نمود و در زندگی و فعالیت ساکنان آن نقش اساسی داشته است. گستردگی طول و عرض جغرافیایی، وجود دریاچه خزر و کوهستان البرز با جهت شرقی-غربی در شمال ایران و خلیج-فارس و دریای عمان در جنوب ایران و رشته کوه زاگرس با جهت شمال‌غربی-جنوب‌شرقی در غرب و جنوب ایران و تاثیر پذیری از توده‌های مختلف، آب و هوای ایران را متنوع ساخت. به منظور ارایه توصیه‌های آب و هوایی در زمینه توسعه و عمران کشور و راهنمایی کشاورزان، مهندسين، و برنامه‌ریزان کشور، تمییز نواحی نسبتاً متجانس آب و هوایی لازم است (علیجانی، ۱۵۶). از بین همه عناصر آب و هوایی دما از جایگاه ممتازی برخوردار است. در بسیاری از فعالیت‌های انسانی نظیر صنعت، گردشگری، زراعت، دامپروری، طراحی و معماری شهری و روستایی، دما نقش مهم دارد. از آنجایی که داده‌های هواشناسی در سال‌های گذشته به صورت دستی ثبت و ذخیره می‌شدند، لذا ممکن است به دلایل خاصی مثل: ثبت اشتباه توسط اپراتور، خرابی دماسنج، تغییرات داده‌ها در گذر زمان و ... از عدم قطعیت بالایی برخوردار باشد. اکثر کسانی که کار خوشه‌بندی انجام داده‌اند از داده‌هایی استفاده کرده‌اند که مبتنی بر عدم قطعیت بالا بوده است. در سال‌های اخیر شمار پژوهش‌های اقلیمی که در زمینه خوشه‌بندی به روش جدید انجام شده، رو به افزایش گذاشته است.

برای مثال رومرا و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از داده‌های آماری سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۶۴ منطقه مدیترانه‌ای کشور اسپانیا را با روش تجزیه و تحلیل عاملی و خوشه‌ای به ۱۲ ناحیه اقلیمی تفکیک کردند. راموس (۲۰۰۱) با روش‌های خوشه‌بندی ترکیبی از الگوریتم (k-mean)، سلسله مراتبی روش وارد به تجزیه و تحلیل الگوهای توزیع بارش در طول سال و تغییرات آنها در طول زمان پرداخته است. یونال و همکاران (۲۰۰۳)، ترکیه را با استفاده از داده‌های آماری ۱۱۳ ایستگاه هواشناسی که ابتدا استاندارد سازی شده است، برای دماهای (میانگین، حداکثر و حداقل) در طی سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۵۱ با روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی با استفاده از روش وارد به هفت منطقه اقلیمی خوشه‌بندی کردند. ژو و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از داده‌های روزانه ۱۲ ایستگاه هواشناسی در طول دوره ۳۶ ساله (۲۰۰۶-۱۹۷۱)، ناحیه مورامبرگ استرالیا را با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به سه ناحیه اصلی و ۶ زیر ناحیه فرعی خوشه‌بندی کرده است. با توجه به ثبت طولانی مدت داده‌ها در مطالعات هواشناسی از یک سو و البته ثبت داده‌ها به صورت دستی در گذشته از سوی دیگر، به نظر می‌رسد که وقوع هرگونه خطایی در ثبت اطلاعات محتمل بوده و در نتیجه داده‌های هواشناسی همواره از سطحی از عدم قطعیت برخوردار هستند. با توجه به این موضوع به جای استفاده از روش‌های صلب^۲ در خوشه‌بندی داده‌های هواشناسی، استفاده از روش‌هایی که قابلیت مدل‌سازی عدم قطعیت را داشته باشند، می‌تواند منجر به مدل‌سازی بهتری شوند. یکی از مهم‌ترین روش‌هایی که در مدل‌سازی عدم قطعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش‌های فازی است که اولین بار توسط پروفیسور لطفی زاده پیشنهاد شد (لطفی‌زاده، ۱۹۶۵). مزیدی و

کرده‌اند. رحیمیان (۱۳۹۲)، در زمینه پردازش تصویر، نشان داده است که می‌توان تصویر را با یک مجموعه کوچکتر از مقادیر تکین نمایش داد به طوری که با تصویر اصلی تفاوت زیادی نداشته باشد و فضای کمتری برای ذخیره‌سازی استفاده شود. چنگایی و همکاران (۱۳۹۳)، با روش SVD سیگنال‌های گفتاری را بهبود بخشیده‌اند که نتایج آنها حاکی از برتری این روش‌ها نسبت به سایر روش‌های مشابه است. نیک نژاد و همکاران، برای جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده در داده‌های پروفیل لرزه‌ای قائم از SVD و f-k استفاده کرده‌اند و با مقایسه دو روش، تجزیه مقادیر منفرد ترجیح داده شده است. با توجه به کارهایی که در این زمینه صورت گرفته است به نظر می‌رسد ابزار قدرتمندی مثل SVD^۳ به منظور فشرده‌سازی اطلاعات و استخراج ویژگی‌ها با حداقل از دست دادن اطلاعات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل در این پژوهش به منظور مدیریت بهتر داده‌ها برای خوشه‌بندی، با ارائه تکنیکی جدید، مقادیر ویژه مناسبی مستخرج می‌شود. بر این اساس پژوهش حاضر در صدد آن است که ضمن انتخاب بهترین ویژگی و کاهش بعد داده‌های اقلیمی مورد استفاده با استفاده از تجزیه مقادیر منفرد (SVD)، خوشه‌بندی جامعی از دما در ایران با روش خوشه‌بندی فازی که یکی از زیرمجموعه‌های مطالعاتی حوزه فازی می‌باشد ارائه می‌دهد.

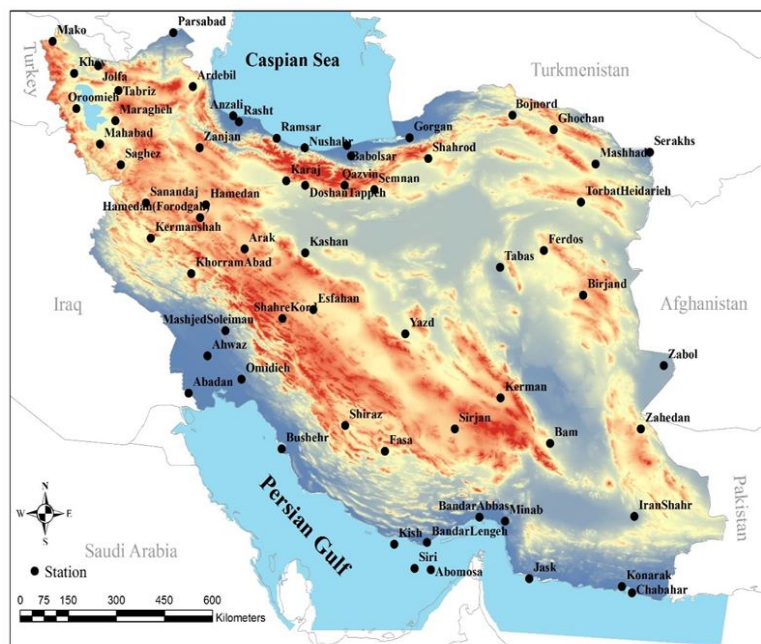
محدوده مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در نیمکره شمالی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی از خط استوا و بین ۴۴ و ۶۳/۵ درجه طول شرقی از نیمروز گرینویچ در منطقه معتدله واقع شده است. ایران کشوری است ناهموار و ارتفاع میانگین

همکاران (۱۳۹۱)، در پهنه‌بندی اقلیمی استان‌های کردستان و همدان با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای به شناسایی ۱ عامل و نیز ۱ ناحیه اقلیمی پرداخته‌اند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) با روش خوشه‌بندی فازی ایران را از نظر فراوانی طوفان‌های گرد و غباری به پنج ناحیه طبقه‌بندی کردند که نتایج حاکی از بحرانی بودن دو استان خوزستان و سیستان و بلوچستان است. خسروی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های ۱۸۰ ایستگاه همدیدی و کلیماتولوژی که بیشترین طول دوره آماری را داشته‌اند با کمک روش‌های زمین آمار و تجزیه خوشه‌ای به پهنه‌بندی دمایی و بارشی ایران پرداخته‌اند که نتایج حاصله از تجزیه خوشه‌ای، ایران را به پنج پهنه اقلیمی تقسیم کرده است. عطایی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای به روش وارد، استان کردستان را به سه پهنه اقلیمی تقسیم کردند. در فرایند خوشه‌بندی معمولاً داده‌های خام اولیه پردازش شده و سعی می‌شود ویژگی‌های مناسبی که با حجم کم بتوانند بخش بیشتری از اطلاعات را در خود حمل کنند استخراج شود. روش‌های مختلفی برای استخراج ویژگی‌های مناسب در سیستم‌های شناسایی الگو وجود دارد. یکی از رهیافت‌های ممکن برای استخراج ویژگی استفاده از مقادیر ویژه داده‌ها می‌باشد. به دست آوردن مقادیر ویژه به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. یکی از روش‌های معروف برای فشرده‌سازی غیرخطی اطلاعات، استفاده از نگاشت تجزیه به مقادیر منفرد (SVD) می‌باشد. این نگاشت مقادیر منفرد ماتریس را در اختیار قرار می‌دهد. نگاشت SVD در مراجع برای کاربردهای مختلفی استفاده شده است. برای نمونه قاسمی و همکاران (۲۰۱۳)، از نگاشت SVD برای استخراج ویژگی استفاده

حرارت کمینه ۶۳ ایستگاه سینوپتیک از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۳ که بیشترین طول دوره آماری را داشته‌اند، استفاده شد. طول دوره آماری زیاد و پراکنش متناسب، معیار انتخاب ایستگاه‌ها در پهنه ایران بود. سپس بعضی از ایستگاه‌ها که داده‌های مفقودی داشتند از طریق رگرسیون چند متغیره و میانگین‌گیری با ایستگاه‌های همجوار کامل شدند (شکل ۱).

آن از سطح دریا حدود ۱۳۰۰ متر است. دامنه تغییرات ارتفاع بسیار زیاد است و از کرانه‌های خزر که ارتفاع آن زیر سطح آب‌های آزاد است تا قله دماوند که نزدیک به ۵۷۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد ارتفاع دارد در تغییر است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷). در این تحقیق از داده‌های میانگین روزانه درجه حرارت خشک، درجه حرارت تر، دمای نقطه شبنم، درجه حرارت بیشینه و درجه



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

نمایش می‌دهد، با توجه به اینکه در محاسبه مقادیر ویژه از ماتریس کواریانس استفاده می‌شود، لذا بزرگی مقادیر منفرد به‌طور مستقیم به اطلاعات و همبستگی بین آنها بستگی دارد، به عبارت دیگر هرچه اطلاعات همبسته تر و در یک راستا قرار بگیرند، مقادیر منفرد بزرگتر و هر چه اطلاعات متفرق‌تر بوده و پراکنندگی بیشتری داشته باشند، مقادیر منفرد کوچکتر خواهد شد. برای این اساس مقادیر منفرد می‌تواند به‌عنوان ویژگی مناسب به کار برده شود. SVD ی ماتریس E را می‌توان با

مواد و روش‌ها

نگاشت تجزیه به مقادیر منفرد (SVD): تجزیه مقدار منفرد (SVD) یک روش ریاضی بر پایه جبر خطی و با استفاده از خواص ماتریس هاست. این نگاشت به عنوان یک روش کاهنده، یک ماتریس را به ضرب سه ماتریس و در حقیقت به تصاویر مشخصه سازنده‌اش تجزیه می‌کند، که دو ماتریس متعامد و سومی قطری است (مرتضوی و جواهریان، ۱۳۹۲). نگاشت SVD داده‌ها را به صورت غیر خطی فشرده‌سازی می‌کند و مقادیر منفرد را

پیدا می‌کند. در روش FCM به جای تخصیص داده‌ها به یک خوشه، داده‌های ورودی به همه خوشه‌ها با درجه عضویتی متناسب (μ) با میزان نزدیکی به مرکز خوشه مورد نظر، اختصاص می‌یابند، سپس مراکز با توجه به وزن در نظر گرفته شده به روز رسانی می‌شوند. درجه عضویت نمونه‌ها به خوشه‌ها در FCM از خاصیت احتمال برخوردار می‌باشد. به عبارت دیگر روابط ۱ و ۲ برای مقادیر عضویت برقرار می‌باشد:

رابطه ۳)

$$0 \leq \mu_{ik} \leq 1$$

رابطه ۴)

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1$$

در روابط فوق، μ_{ik} ، درجه عضویت و تعلق نمونه k ام به خوشه c ام است، که در آن i تعداد خوشه‌ها و k تعداد داده‌ها می‌باشد (هاتاوی و بزدرک، ۱۹۸۸). از طرف دیگر می‌توان نشان داد که با کمینه کردن تابع هدف زیر، داده‌های موجود در هر خوشه نسبت به داده‌های موجود در خوشه‌های دیگر از شباهت بیشتر برخوردار خواهند بود.

رابطه ۵)

$$J(p) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c [u_{ik}]^m \|x_k - v_i\|^2$$

در رابطه فوق m عددی بزرگتر از یک است که میزان درجه عضویت را کنترل می‌کند، x_k بردار داده‌ها، V_k مرکز خوشه i ام و $\|x_k - v_i\|^2$ نیز فاصله اقلیدسی بین بردار داده‌ها و مراکز خوشه‌ها است. قبل از پرداختن به توصیف روش پیشنهادی، برای درک بهتر ابتدا یک بلوک دیاگرام از ساختار پیشنهادی ارائه می‌گردد:

ابعاد $m \times n$ بصورت تجزیه ماتریس E به ۳ ماتریس V ، Σ و U که با معادله رابطه ۱ نشان داده شده است، در نظر گرفت.

رابطه ۱)

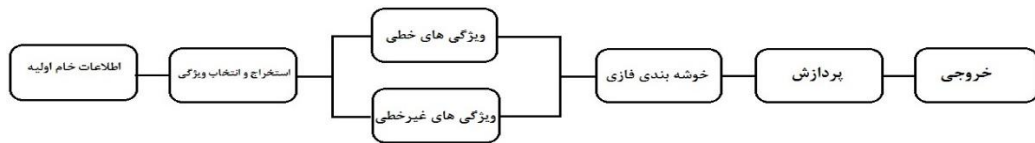
$$SVD(E_{m \times n}) = U_{m \times m} \Sigma_{m \times n} V_{n \times n}^T$$

در رابطه ۱، ماتریس V و U ماتریس‌هایی متعامد بوده و به ترتیب ماتریس بردار ویژه سمت چپی و ماتریس بردار ویژه سمت راستی نامیده می‌شود. و Σ ماتریسی قطری با ابعاد $m \times n$ است که عناصر قطر اصلی آن شامل مقادیر منفرد (σ) می‌باشند. نحوه قرارگیری مقادیر منفرد طوری است که این مقادیر بطور نزولی بر قطر اصلی ماتریس Σ قرار گرفته‌اند، به عبارت دیگر رابطه ۲ را به صورت زیر خواهیم داشت:

رابطه ۲)

$$\sigma_{1,1} \geq \sigma_{2,2} \geq \dots \geq \sigma_{n,n} \geq 0$$

خوشه‌بندی فازی FCM^۴: هدف روش‌های خوشه‌بندی، افراز فضای داده‌های ورودی به مناطقی همگن می‌باشد. به عبارت دیگر داده‌هایی که در فضای ویژگی، بیشتر به یکدیگر شباهت داشته باشند، در خوشه‌های یکسان قرار می‌گیرند. روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی وجود دارد. یکی از روش‌های متعارف خوشه‌بندی، روش خوشه‌بندی فازی (FCM) است که نسخه پیشرفته تر خوشه‌بندی K-means می‌باشد. در روش K-mean به تعداد K مرکز در نظر گرفته می‌شود. داده‌ها به نزدیکترین خوشه اختصاص می‌یابند، سپس K مرکز اولیه در نظر گرفته شده، به روز رسانی می‌شوند. این فرایند تا توقف الگوریتم ادامه



شکل ۲: بلوک دیاگرام پیشنهادی

در رابطه فوق، اطلاعات ایستگاه i ام را در مدت ۲۹ سال نشان می‌دهد. این ماتریس مربوط به یک k ام از ایستگاه i ام است، که در آن $i = 63$ مبین تعداد ایستگاه‌ها و $k = 5$ ، بیانگر ویژگی هاست. برای کل ایستگاه‌ها همانند آن ماتریس به ابعاد 31×29 به وجود می‌آید، که در مجموع برای هر ایستگاه ۱۲ ماه با ۵ ویژگی وجود دارد، به این ترتیب داده‌های خام اولیه در اینجا به ۶۰ مجموعه داده نسبتاً مستقل تفکیک می‌شوند.

استخراج و انتخاب ویژگی: در این تحقیق ترکیبی از ویژگی‌های خطی و غیرخطی به‌عنوان ویژگی از داده‌های اولیه استخراج می‌شود. ویژگی‌های غیرخطی مبتنی بر نگاشت SVD می‌باشد. در حقیقت با استفاده از این نگاشت، بزرگترین مقدار منفرد داده‌های به‌عنوان ویژگی مناسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بخش شبیه‌سازی نشان داده می‌شود که بزرگترین مقدار ویژگی می‌تواند تبیین مناسبی از داده‌های هواشناسی باشد. هم-چنین ویژگی‌های خطی مطابق با جدول ۱ از داده‌های اقلیمی استخراج می‌شود. برای استخراج ویژگی‌های غیرخطی از ماتریس مقادیر ویژه (قطری)، ابتدا بزرگترین مقدار منفرد (LSV)^۵ از ویژگی‌ها استخراج می‌شود، که در قطر ماتریس مقادیر ویژه، به ترتیب بزرگ و شاخص بودن ویژگی‌ها آورده می‌شود. در این ماتریس درایه اول از نظر ارزشی از اهمیت برتری برای تبیین ویژگی برخوردار است و در درایه‌های بعدی به صورت

براساس ساختار پیشنهادی که در شکل ۲ ارائه شده است شرح بخش‌های آن را به ترتیب می‌آوریم: پیش پردازش (اطلاعات خام اولیه): ابتدا داده‌های روزانه دما (میانگین روزانه، دمای تر، بیشینه دما، کمینه دما و دمای نقطه شبنم) برای ۶۳ ایستگاه سینوپتیک در بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۵) گردآوری شد. سپس ماتریس E با ابعاد $m \times n$ که با معادله ۶ نشان داده شده است، به دست آمد.

رابطه ۶)

$$E_{i-j}^{k \times m \times n}$$

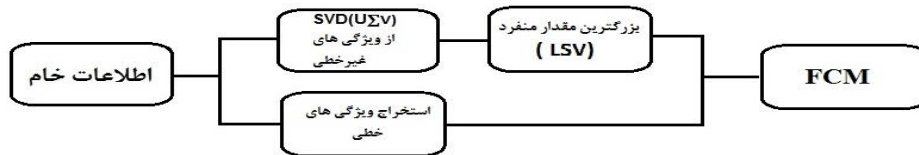
در رابطه فوق $k = 1:5$ بیانگر ویژگی‌های مورد استفاده (میانگین دمای تر، میانگین دمای خشک، دمای نقطه شبنم، بیشینه و کمینه دما) می‌باشد. $i = 1:63$ مبین تعداد ایستگاه‌ها، $j = 1:12$ تعداد ماه‌های سال و در نهایت m و n به ترتیب مبین تعداد روزهای ماه و تعداد سال‌های مورد مطالعه می‌باشند.

در مرحله بعد، برای هر ایستگاه و برای هر ماه به ازای هر ویژگی مورد استفاده در پژوهش یک ماتریس بدست می‌آید (رابطه ۷).

رابطه ۷)

$$\begin{bmatrix} 1985 & 1986 & \dots & 2013 \\ E_{1-1}^1 & E_{1-1}^1 & \dots & E_{1-1}^1 \\ E_{1-2}^1 & E_{1-2}^1 & \dots & E_{1-2}^1 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ E_{1-12}^1 & E_{1-12}^1 & \dots & E_{1-12}^1 \end{bmatrix}_{31 \times 29}$$

نزولی از اهمیت آن‌ها کاسته می‌شود. در مجموع به این کار تحلیل مولفه‌های اساسی^۶ گفته می‌شود.



شکل ۳: بلوک دیاگرام مراحل استخراج و انتخاب ویژگی

i نمایانگر یک ایستگاه است. برای مثال که در F_1^{1-1} ایستگاه اول، ماه اول، ویژگی اول و F_1^{1-2} نیز ایستگاه اول، ماه اول، ویژگی دوم و ... را نشان می‌دهد. در کل برای هر ایستگاه و برای هر سال یک ماتریس 12×60 شکل می‌گیرد (رابطه ۱۰). این ۵ ویژگی، همان دمای تر، دمای خشک، دمای نقطه شبنم، کمینه و بیشینه دماست که با SVD بزرگترین مقدار منفرد ماهیانه آنها استخراج شد و به صورت یک ماتریس 12×60 درآمد.

در گام بعدی و به موازات استخراج ویژگی‌های غیرخطی مبتنی بر SVD، ۵ شاخص دمایی که در جدول ۱ آورده شده است، استخراج شد (رابطه ۱۱). در واقع این ۵ شاخص حدی ویژگی‌های خطی هستند. در نهایت ماتریسی با ابعاد 63×65 به وجود آمد (ماتریس رابطه ۱۱).

رابطه ۱۱

$$Fi \begin{bmatrix} F_{TX99P} & F_{TN99P} & F_{SU25} & F_{TX1P} & F_{TN1P} \\ F_{TX99P} & F_{TN99P} & F_{SU25} & F_{TX1P} & F_{TN1P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ F_{TX99P} & F_{TN99P} & F_{SU25} & F_{TX1P} & F_{TN1P} \end{bmatrix}_{=63 \times 65}$$

در رابطه فوق، F_{TX99P} شاخص روزهای گرم برای ایستگاه i ام، F_{TN99P} شاخص شب‌های گرم برای

با توجه به رابطه ۱ ساختار ماتریس Σ ، ماتریسی قطری بوده که مقادیر σ روی قطر اصلی آن قرار دارند. ماتریس‌های ساخته شده با اولین مقادیر منفرد، اثر بزرگتر و ماتریس‌های ساخته شده با مقادیر منفرد بعدی اثر کمتری را در میل کردن به مقدار واقعی ماتریس ایفا می‌کند (رابطه ۸).

رابطه ۸

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma \end{bmatrix}$$

بعد از انتخاب ویژگی و استخراج بزرگترین مقدار منفرد، ماتریسی با ویژگی رابطه ۹ شکل می‌گیرد.

رابطه ۹

$$F_{i_k^w j}$$

در رابطه ۹ علامت W بعد ویژگی‌ها را نشان می‌دهد و شرح بقیه علائم نیز قبلاً آورده شده است. در نهایت ماتریسی به صورت رابطه ۱۰ به وجود می‌آید.

رابطه ۱۰

$$Fi \begin{bmatrix} F_1^{1-1} & F_1^{1-2} & F_1^{1-3} & F_1^{1-4} & F_1^{1-5} \\ F_1^{2-1} & F_1^{2-2} & F_1^{2-3} & F_1^{2-4} & F_1^{2-5} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ F_1^{12-1} & F_1^{12-2} & F_1^{12-3} & F_1^{12-4} & F_1^{12-5} \end{bmatrix}_{12 \times 5}$$

6-principal component transformation (PCA)

ایستگاه i ام، F_{SU25} شاخص روزهای تابستان
 برای ایستگاه i ام، F_{TX1P} شاخص روزهای سرد و
 F_{TN1P} شاخص شب‌های سرد برای ایستگاه i ام
 می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱: شاخص‌های حدی دما

روزهای گرم: (TX99P) فراوانی روزهایی که تعداد آن‌ها مساوی یا بیشتر از میانگین صدک ۹۹ ام حداکثر دمای روزانه است.	دوره گرم
شب‌های گرم: (TN99P) فراوانی روزهایی که تعداد آن‌ها مساوی یا بیشتر از میانگین صدک ۹۹ ام حداقل دمای روزانه است.	
روزهای تابستان: (SU25) فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد.	دوره سرد
روزهای سرد: (TX1P) فراوانی روزهایی که تعداد آن‌ها مساوی یا کمتر از میانگین صدک یکم حداکثر دمای روزانه است.	
شب‌های سرد: (TN1P) فراوانی روزهایی که تعداد آن‌ها مساوی یا کمتر از میانگین صدک یکم حداقل دمای روزانه است.	

برای ایستگاه ۶۳ است، که در نهایت یک ماتریس با ابعاد ۶۳×۶۵ ایجاد گردید (رابطه ۱۲).

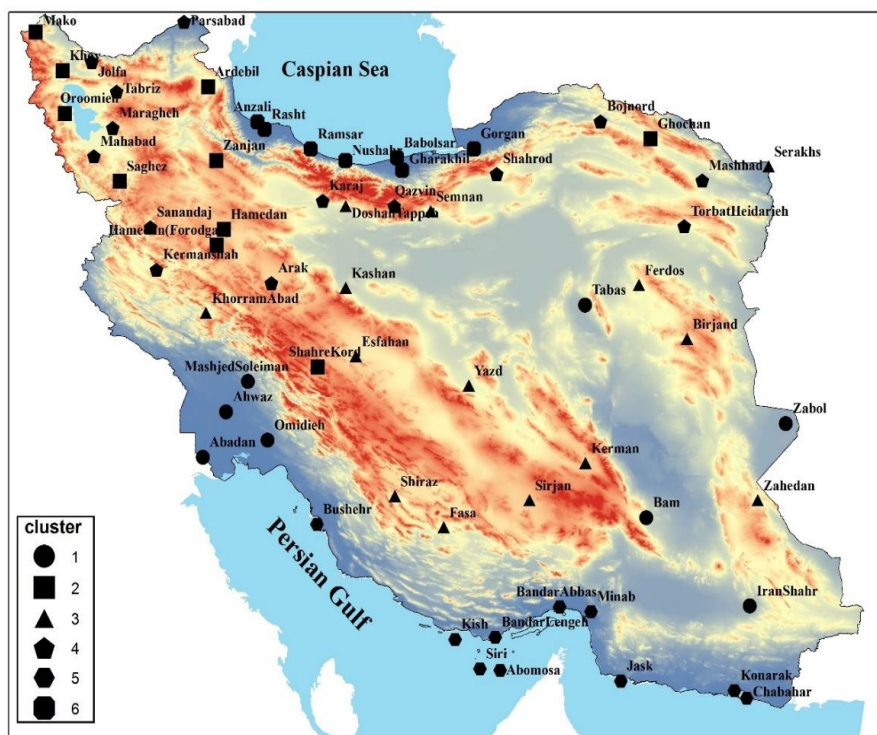
نتایج

با توجه به نتایج تحقیق پژوهشگران گذشته که کار ناحیه‌بندی اقلیمی را برای ایران انجام داده‌اند، از جمله علیجانی، ایران را به ۶ ناحیه اقلیمی تقسیم کرده‌اند؛ بر همین اساس در این پژوهش با بررسی دمای میانگین روزانه ۶۳ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی (که به‌عنوان نماینده مناطق مختلف ایران هستند) آن را به ۶ خوشه تقسیم نموده است. در این خوشه‌بندی به‌عنوان شاخص‌های کلی، داده‌های میانگین روزانه درجه حرارت خشک، بیشینه درجه حرارت، کمینه درجه حرارت، دمای نقطه شبنم و درجه حرارت تر استفاده شده است. خوشه‌های آب و هوایی حاصل در شکل ۴ ترسیم شده است و ایستگاه‌های هر خوشه به شرح زیر می‌باشد:

در ادامه این تحقیق بعد از استخراج ویژگی‌ها و اضافه کردن شاخص‌های حدی دما خوشه‌بندی فازی انجام گرفت، که برای هر یک از ۶۳ ایستگاه مورد مطالعه، یک ماتریس به ابعاد ۶۳×۶۵ ایجاد شد (رابطه ۱۲). این ماتریس برای k ام تمام $i = 63$ ایستگاه می‌باشد، با توجه به اینکه $k = 5$ ، بنابراین چهار ماتریس با چنین ابعادی برای هر ایستگاه به وجود می‌آید.
 رابطه ۱۲)

$$\begin{bmatrix} F_1^{1-1} & F_1^{1-2} & \dots & F_1^{1-12} \\ F_2^{1-1} & F_2^{1-2} & \dots & F_2^{1-12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{63}^{1-1} & F_{63}^{1-2} & \dots & F_{63}^{1-12} \end{bmatrix}_{63 \times 65}$$

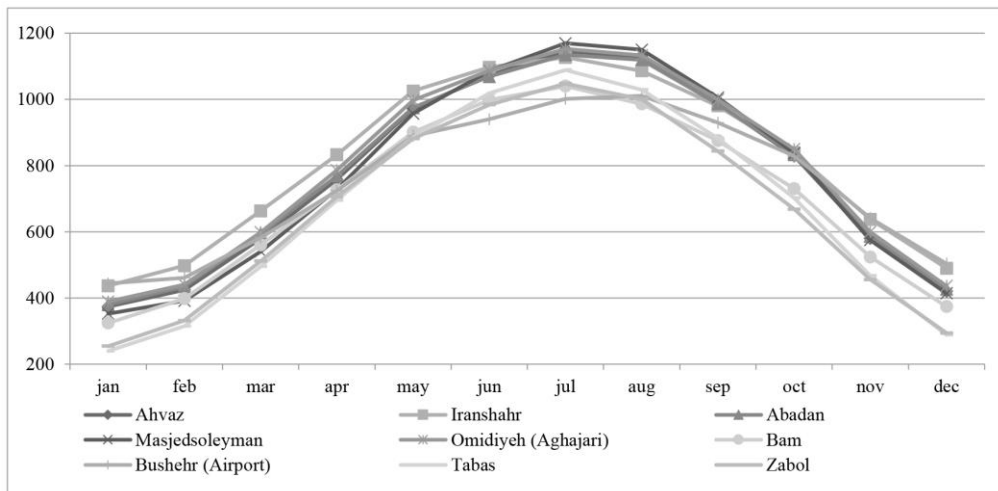
با توجه به رابطه ۱۲، F_1 بیانگر ایستگاه i ام و ۱-
 ۱ بیانگر ویژگی اول در ماه اول (ژانویه) می‌باشد. و هم‌چنین F_{63}^{1-12} ویژگی اول در ماه ۱۲ (سپتامبر)



شکل ۴: نقشه خوشه‌بندی اقلیمی (دمایی) ایران با روش فازی

سالانه ۲۲ درجه سانتی‌گراد کمترین دما و ایرانشهر با دمای ۲۷/۲۱ بیشترین دما را در این خوشه دارند. با توجه به ویژگی‌های خطی مندرج در جدول ۱، فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد، در تمام خوشه‌ها بالاست، طبرس و زابل نسبت به بقیه ایستگاه‌ها فراوانی کمتری دارند. شکل ۵ تجزیه مقادیر منفرد خوشه ۱ را نشان می‌دهد. SVD ایستگاه بم، طبرس و زابل به دلیل دور بودن از دریا در اکثر ماه‌های سال نسبت به بقیه ایستگاه‌ها کمتر بوده است. نمودار میانگین دمای سالانه این سه ایستگاه نیز به نسبت بقیه ایستگاه‌ها کمتر است، که این می‌تواند هم دلیل بر عرض جغرافیایی و پدیده پرفشار جنب-حاره در این سه منطقه و هم دلیل بر دور بودن این مناطق از دریا که عامل شرحی شدن آن‌ها را در این فصول به همراه دارد، باشد (شکل ۵).

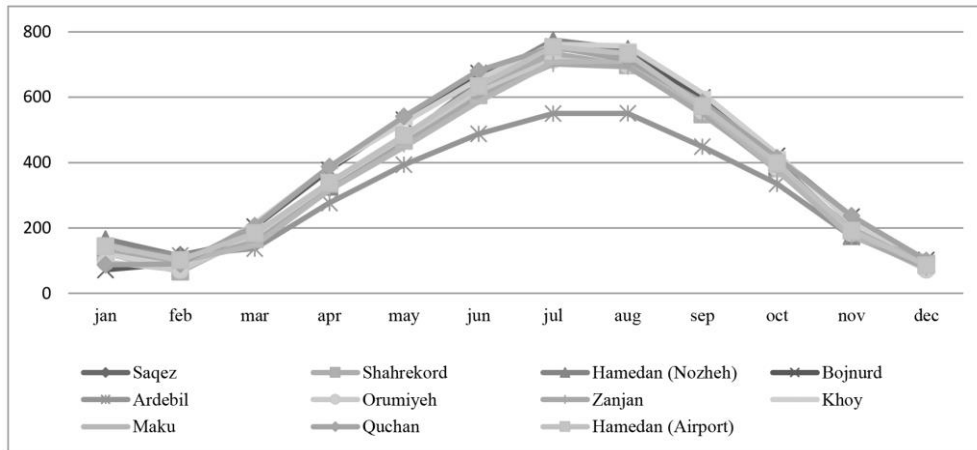
خوشه ۱: این خوشه شامل شهرهای اهواز، ایرانشهر، آبادان، مسجد سلیمان، امیدیه (آغاچاری)، بم، بوشهر، طبرس و زابل می‌باشد. اکثر شهرهای قرار گرفته در این خوشه سرزمین‌های ساحل جنوبی را در بر گرفته است که میانگین سالانه دمای مجموع ایستگاه‌های این خوشه ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. دکتر علیجانی در کتاب آب و هوای ایران، تمام مناطق جنوبی در امتداد ساحل خلیج فارس و دریای عمان را با هم در یک ناحیه قرار داده است. در صورتی که طبق گفته ایشان از بوشهر تا چابهار در تمام زمستان هم حالت شرحی وجود دارد بقیه مناطق ساحلی نم نسبی روز کمتر است (علیجانی، ۱۳۷۴). در این پژوهش چون اساس خوشه‌بندی بر پایه دمای کمینه و بیشینه، دمای تر و خشک و دمای نقطه شبنم است تمام مناطق ساحلی جنوب در یک خوشه نیامده است. زابل با میانگین دمای



شکل ۵: مقادیر ویژه (SVD) دما در شهرهای خوشه ۱

نسبت به بقیه ایستگاه‌ها SVD کمتری را نشان می‌دهد. دمای تابستان نیز در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها کمتر است که پایین بودن دمای تابستان را می‌توان با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه از جمله وجود ارتفاعات سبلان و طالش، تاثیر بخار دریای خزر، بادهای سرد شمالی و وجود جنگل‌های شمال و شرق آن توجیه کرد. فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد، در اردیبهیل کمترین روزها و در خوی بیشترین روزها را داراست (جدول ۱). در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر (ماه‌های سرد)، میزان SVD در بین تمام ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد، که این با کاهش دما در این فصل برای همه ایستگاه‌ها مطابقت می‌کند (شکل ۶).

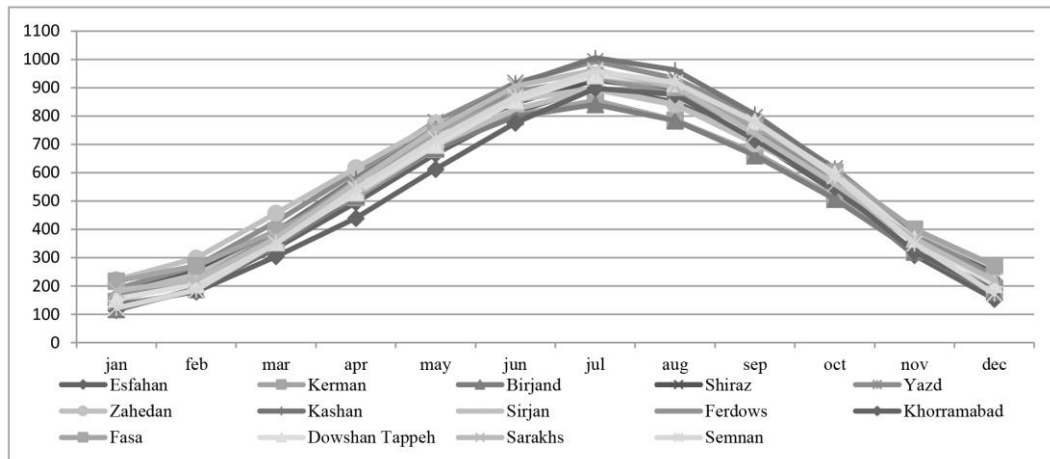
خوشه ۲: شهرهای قرار گرفته در این خوشه شامل: سقز، شهرکرد، همدان، اردبیل، ارومیه، بجنورد، زنجان، خوی، ماکو، قوچان و همدان (فرودگاه) می‌باشد. این خوشه مناطق کوهستانی و فلات‌های مرتفع را در بر می‌گیرد. زمستانه‌ای سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم از ویژگی‌های این نواحی است. میانگین سالانه مجموع ایستگاه‌های خوشه؛ ۱۱/۴۹ درجه سانتی‌گراد است. کمترین میانگین سالانه مربوط به ایستگاه اردبیل با سالانه ۸/۹ درجه سانتی‌گراد است، هر چند که این شهر ارتفاع کمی دارد اما به علت ورود توده هوای سرد سیبری در زمستان دمای سالانه آن کمتر است. بیشترین میانگین سالانه مربوط به بجنورد با دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. مطابق نمودار شکل ۶، ایستگاه اردبیل به جز در ماه‌های پاییز و زمستان



شکل ۶: مقادیر ویژه (SVD) دما در شهرهای خوشه ۲

میانگین صدک ۹۹ ام حداکثر دمای روزانه است) نزدیک به هم است، یعنی اکثر روزهای گرم دمای بسیار بالا داشته‌اند، که یزد بیش‌ترین فراوانی روزهای گرم را داراست. مجموع میانگین سالانه دما برای کل ایستگاه ۱۸/۲۴ درجه سانتی‌گراد است. در شکل ۷ مقادیر ویژه در کل خوشه در اکثر ماه‌ها به هم نزدیک هستند به جز خوشه خرم‌آباد که در ماه‌های بهار و بیرجند در ماه‌های تابستان SVD کمتری را نشان می‌دهند. خرم‌آباد به جهت اینکه در ارتفاع بالاتری واقع شده است، در نتیجه گرمای هوا در بهار کمی دیرتر به این منطقه می‌رسد. و بیرجند نسبت به بقیه ایستگاه‌ها تابستان‌های خنکتری دارد، که این می‌تواند پایین بودن میزان SVD را در این فصل توجیه کند، و با توجه به جدول ۱ فراوانی روزهای تابستانی آن نیز کمتر است.

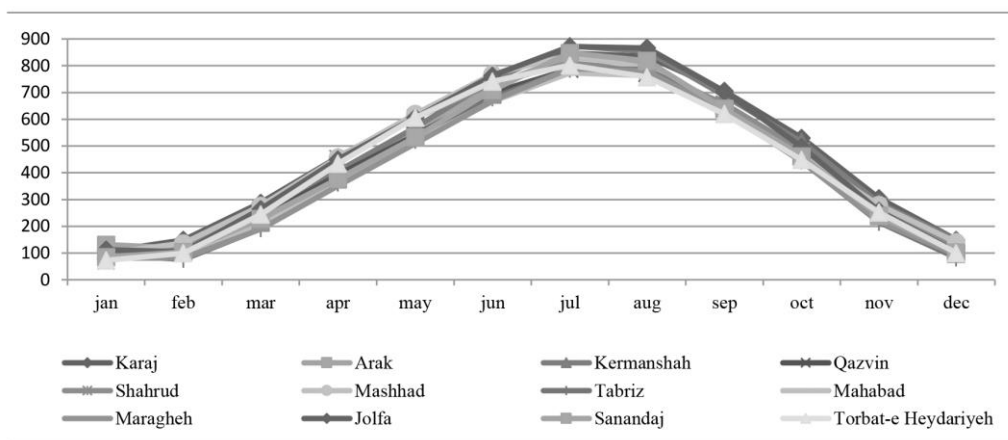
خوشه ۳: این خوشه شامل: اصفهان، کرمان، بیرجند، شیراز، یزد، زاهدان، کاشان، سیرجان، فردوس، خرم‌آباد، فسا، دوشان‌تپه، سرخس و سمنان می‌باشد. قسمت اعظم ایستگاه‌های این خوشه در بین کوهستان‌های مرتفع محصور شده‌اند در نتیجه دارای شرایط بری هستند. کمی پوشش گیاهی و فراوانی زمین‌های ماسه‌ای عریان سبب می‌شود در طول روز و تابستان بسیار گرم شوند و در شب و یا زمستان حرارت خود را سریع از دست بدهند و سرد شوند (علیچانی، ۱۳۷۴). بیش‌ترین میانگین دمای سالانه مربوط به یزد با میزان ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین میانگین مربوط به ایستگاه بیرجند با دمای ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به ویژگی‌های خطی جدول ۱، فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد با روزهای گرم (فراوانی روزهایی که تعداد آن‌ها مساوی یا بیشتر از



شکل ۷: مقادیر ویژه (SVD) دما در شهرهای خوشه ۳

کمتر است، و در جلفا بیش‌تر از بقیه ایستگاه‌ها است. جلفا با وجود عرض جغرافیایی بالا به علت واقع شدن در ناحیه پست دره رود ارس، تابستان‌های نسبتاً گرمی دارد. بیش‌ترین روزهای گرم مربوط به دو ایستگاه جلفا و کرج است. از نظر مقادیر ویژه تمام ایستگاه‌ها ارتباط و نزدیکی بسیار زیادی با هم دارند. میزان SVD در کل خوشه، همانند میانگین دمای سالانه، در ماه‌های سرد به کم‌ترین میزان و در ماه‌های گرم به بیش‌ترین مقدار خود رسیده است. فاصله SVD در ایستگاه‌های این خوشه نسبت به خوشه‌های دیگر بسیار کم و نزدیک به یکدیگر است.

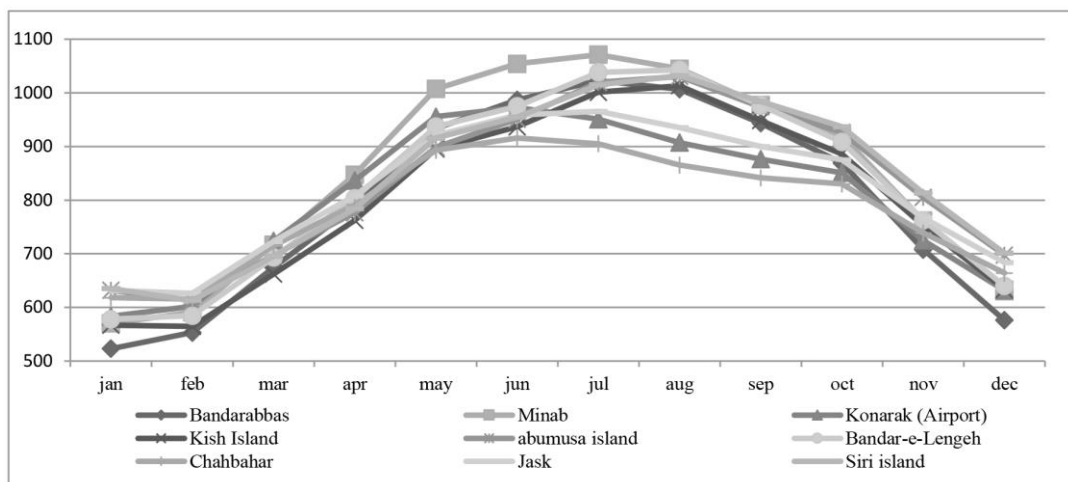
خوشه ۴: در این خوشه شهرهای تربت‌حیدریه، سنندج، جلفا، مراغه، مهاباد، تبریز، مشهد، شاهرود، قزوین، کرمانشاه، اراک و کرج قرار گرفتند. این خوشه ویژگی مناطق کوهپایه‌ای را داراست، با زمستانه‌ای سرد و تابستان‌های بسیار گرم. بیش‌ترین میانگین دمای سالانه مربوط به ایستگاه کرج با میانگین $15/80$ و کم‌ترین میزان مربوط به ایستگاه تبریز با مقدار $12/83$ درجه سانتی‌گراد است. میانگین مجموع ایستگاه‌های این خوشه $14/22$ درجه است. در تبریز، مراغه و مهاباد، فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از 25 درجه سانتی‌گراد باشد از ایستگاه‌های دیگر



شکل ۸: مقادیر ویژه (SVD) دما در شهرهای خوشه ۴

روزهای گرم‌تری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها دارند، و کنارک به علت دور بودن از بادهای گرم عربستان روزهای گرم آن کمتر از ایستگاه‌های دیگر است. جزیره کیش، جزیره ابوموسی و جزیره سیری به- علت محصور بودن در داخل خلیج فارس شب‌های گرم‌تری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها دارند. با توجه به شکل ۹ میزان SVD ایستگاه‌های چابهار، جاسک و کنارک در ماه‌های گرم سال نسبت به دیگر ایستگاه‌ها کمتر است، که علت آن چنانچه ذکر شد دور بودن این ایستگاه‌ها از هوای گرم و خشکی که از عربستان به ایران در این فصل می‌وزد می‌باشد. و شاید یکی دیگر از علل آن وزش بادهای موسمی تابستانی از جنوب شرق ایران است که بی‌تأثیر در این ایستگاه‌ها نیست. میزان SVD در ایستگاه میناب در فصل گرم نسبت به دیگر ایستگاه‌ها بیش- تر است چنانچه ذکر شد بیش‌ترین میانگین سالانه هم مربوط به میناب است.

خوشه ۵: این خوشه شامل جزیره سیری، جاسک، چابهار، بندرلنگه، جزیره ابوموسی، جزیره کیش، کنارک، میناب و بندرعباس می‌باشد. این خوشه سرزمین‌های ساحلی جنوب به جز سواحل جلگه خوزستان را در بر گرفته است. تابستان‌های ناحیه بسیار گرم است. دماهای بسیار بالا با نم نسبی نسبتاً بالا از ویژگی‌های دمایی این خوشه در تابستان است به طوری که شرایط شرجی را برای تمام ایستگاه‌ها به وجود می‌آورد. دامنه سالانه دما تقریباً در این خوشه کم است. میانگین سالانه دما برای مجموع ایستگاه‌ها در این خوشه ۲۷/۴۹ درجه سانتی‌گراد است. بالاترین میانگین سالانه مربوط به ایستگاه میناب با ۲۸/۵۷ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین میانگین سالانه مربوط به ایستگاه چابهار با میانگین سالانه ۲۶/۳۵ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به ویژگی‌های خطی، جزیره سیری و جزیره ابوموسی که در عرض جغرافیایی پایین‌تری واقع شده‌اند،



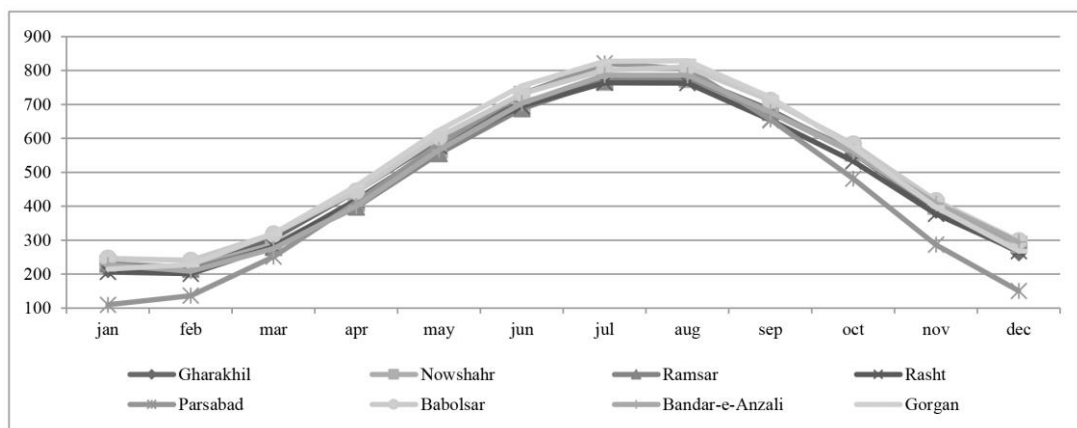
شکل ۹: مقادیر ویژه (SVD) دما در شهرهای خوشه ۵

میانگین دمای سالانه افزایش می‌یابد. تفاوت ارتفاعی ایستگاه‌های مورد مطالعه، در این خوشه چندان چشمگیر نیست؛ به نظر می‌رسد که ورود توده‌های هوایی متفاوت، این کاهش دما از شرق به

خوشه ۶: آخرین خوشه شامل شهرهای گرگان، بندر انزلی، پارس‌آباد، بابلسر، رشت، رامسر، نوشهر و قراخیل است. این خوشه سواحل دریای خزر از انزلی تا گرگان را در بر گرفته است. از غرب به شرق

به‌جز پارس‌آباد، به هم شبیه هستند. دوری از دریا و عرض جغرافیایی بالاتر در پارس‌آباد باعث شده است این ایستگاه زمستان‌های سردتر نسبت به سایر ایستگاه‌های این خوشه داشته باشد، همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود میزان SVD پارس-آباد در زمستان و پاییز متفاوت و کمتر از بقیه ایستگاه‌ها است (شکل ۱۰). با توجه به جدول ۱ فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد در گرگان بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است.

غرب را سبب می‌شود. بالاترین دماهای سال نیز در شرق بیشتر از غرب است. بالاترین میانگین سالانه دما مربوط به ایستگاه گرگان با ۱۷/۳۵ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین دما مربوط به ایستگاه پارس‌آباد با ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. و با توجه به ویژگی‌های خطی موجود در جدول ۱، تنها ایستگاهی که در آن شب‌های سرد وجود دارد ایستگاه پارس‌آباد است. میانگین سالانه دما برای مجموع ایستگاه‌ها ۱۶/۴۳ درجه سانتی‌گراد است. به همین نسبت فراوانی شب‌های گرم نیز در پارس-آباد بیشتر است. SVD اکثر ایستگاه‌های این خوشه



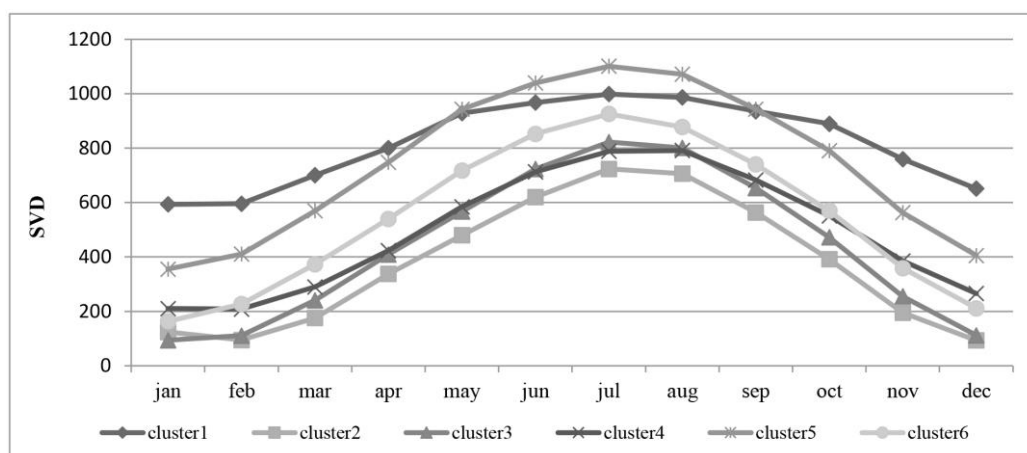
شکل ۱۰: مقادیر ویژه (SVD) دما در شهرهای خوشه ۶

و هم‌چنین عدم قطعیت داده‌ها طبقه‌بندی قابل قبولی متناسب با ویژگی‌های اقلیمی هر خوشه ارائه دهد. به‌عبارت دیگر همان‌طور که انتظار می‌رفت ایستگاه‌ها از نظر موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های مشابه اقلیمی در یک خوشه قرار گرفته‌اند. شکل ۱۱ تجزیه مقادیر ویژه برون‌گروهی را به ازای ویژگی دما نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، SVD تمام خوشه‌ها در ماه‌های سرد کمتر است و در ماه‌های گرم بیش‌ترین میزان را داراست، که این به دلیل ورود بادهای غربی و خروج پرفشار جنب حاره از اکثر مناطق ایران است، که خود باعث

به‌طور کلی در این تقسیم‌بندی، خوشه ۲ (که مناطق کوهستانی را شامل می‌شود) با میانگین ۱۱/۴۹ سردترین ناحیه و خوشه ۵، سواحل جنوب با میانگین ۲۷/۴۹ گرم‌ترین ناحیه را به خود اختصاص دادند. شکل‌های ۵ تا ۱۰ نمودارهای تجزیه مقادیر منفرد (SVD) درون‌گروهی را برای هریک از ۶ خوشه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ارتباط نزدیک و فاصله کمی بین ایستگاه‌های موجود در هر خوشه وجود دارد که این حاکی از این است که خوشه‌بندی فازی توانسته است با وجود تداخلاتی که بین نمودارها حاکم است

خود حاکی از نزدیکی دمای این دو خوشه در این فصل به یکدیگر است. خوشه ۱ که بیش تر مناطق جنوبی ایران از خوزستان تا بوشهر را در بر می گیرد، کمترین پراکندگی SVD را داراست. به دلیل عرض جغرافیایی پایین و نزدیکی به مدار راس السرطان، تابش مستقیم خورشید و ورود توده هوای گرم و خشک از عربستان تفاوت بین تابستان و زمستان ناچیز است، که این عامل می تواند در کاهش پراکندگی SVD نقش داشته باشد. به طور کلی نمودار شکل ۱۱ بر خلاف نمودارهای قبلی که ارتباط و نزدیکی زیادی بین SVD ایستگاهها وجود داشت، در اینجا تفاوت قابل ملاحظه ای بین هر یک از خوشهها دیده می شود، که این فاصله حاکی از تفاوت شرایط اقلیمی و آب و هوایی هر یک از خوشهها است (شکل ۱۱).

کاهش دما در تمام مناطق ایران شده است. SVD خوشه ۳ و خوشه ۴ همراه با گرم شدن هوا از اوایل آوریل، بسیار نزدیک به هم است ولی در فصل پاییز و زمستان از یکدیگر فاصله می گیرند. خوشه ۳ به دلیل محصور بودن در بین کوهستانهای بلند دارای شرایط بری با تابستانهای بسیار گرم است، و خوشه ۴ به دلیل زاویه نزدیک به عمود خورشید در دامنههای آفتابگیر و دریافت تابش زیاد در تابستان، تقریباً به خوشه ۳ نزدیک است، اما در فصلهای سرد سال از همدیگر فاصله می گیرند، که در کل خوشه ۳ به دلیل شرایط بری، زمستانهای سردتری دارد. خوشه ۲ که مناطق کوهستانی را شامل می شود در ماههای ژانویه، فوریه و سپتامبر شباهت و نزدیکی زیادی به خوشه ۳ دارد، که چنانچه به شرایط اقلیمی و میانگین دمای ایستگاههای این خوشه در این فصل توجه شود،



شکل ۱۱: مقادیر ویژه (SVD) دما در کل خوشهها

استخراج گردیدند. و در نهایت با استفاده از روش فازی کار خوشه بندی دادهها انجام شد. و ایستگاههای مورد مطالعه به ۶ خوشه اقلیمی تقسیم گردیدند. همانطور که انتظار می رفت هر ایستگاه با توجه به ویژگیهای اقلیمی و دمایی مشابه در یک خوشه قرار گرفت. با استفاده از این روش

نتیجه گیری

با استفاده از نگاشت تجزیه مقادیر منفرد، دادههای اقلیمی که از قطعیت بالایی برخوردار نبودند، فشرده سازی و بهترین ویژگی از اطلاعات گرفته شد و برای بهتر نتیجه دادن کار، ۵ شاخص حدی دما با توجه به میزان تاثیر گذاریشان به صورت کمی

طبق گفته ایشان در تمام زمستان حالت شرعی وجود دارد، و در این پژوهش هر کدام در یک خوشه جداگانه قرار گرفتند. ولی به طور کلی خوشه‌های به دست آمده در این پژوهش شباهت زیادی به کار علیجانی دارد، از جهت اینکه ناهموازی و عرض جغرافیایی یکی از عوامل اصلی در خوشه‌بندی لحاظ شده است. و در خوشه‌بندی که منتظری برای دمای ایران انجام داده است، نواحی شمال ایران با بسیاری از نواحی مرکزی و شرقی در یک خوشه آمده‌اند، در صورتی که در این پژوهش نواحی کناره دریای خزر به دلیل اینکه دارای زمستان‌های معتدل تری هستند و دمای تر آن‌ها با نواحی شرقی و مرکزی تفاوت زیادی دارد در یک خوشه‌بندی جداگانه قرار گرفته‌اند. از این رو در این مطالعه برای دستیابی به خوشه‌بندی دقیق دما در ایران از روش نگاشت تجزیه مقادیر منفرد (SVD) و خوشه‌بندی فازی استفاده شده است.

مناطق جنوبی ایران از خوزستان تا بوشهر در یک خوشه و از بوشهر تا چابهار در خوشه دیگر قرار گرفتند برخلاف خوشه‌بندی های قبلی که این دو را در یک خوشه قرار داده‌اند. در این روش سعی بر کاهش بعد داده‌ها با روش قدرتمند SVD شده است که در مجموع از نتیجه مطلوب و مناسبی برخوردار بود. در این شیوه می‌توان با توجه به نیاز طبقه‌بندی، خوشه‌ها را به صورت کاملاً علمی و کمی کوچکتر کرد و یا آن را گسترش داد. در ایران خوشه‌بندی اقلیمی با استفاده از روش نگاشت تجزیه مقادیر منفرد (SVD) و روش خوشه‌بندی فازی بر روی دما مطالعه انجام نشده است. پژوهشگران زیادی با روش‌های متفاوت به پهنه‌بندی اقلیم ایران پرداخته‌اند، از جمله علیجانی که ۶ ناحیه دمایی برای ایران را شناسایی کرده است. وی در کتاب آب و هوای ایران تمام نواحی جنوبی را در یک خوشه قرار داده است، در صورتی نیمه شرقی سواحل خلیج فارس بر خلاف نیمه غربی آن

منابع

الگوریتم تجزیه مقادیر منفرد و آنالیز LPC، اولین همایش مهندسی برق و کامپیوتر در شمال کشور، ص ۱-۱۴.

- خسروی، م.، دوستکامیان، م.، میرموسوی، س.ح.، بیات، ع. و بیگ رضایی، ا.، ۱۳۹۳. طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین آمار و تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال چهارم، شماره ۱۳، بهار ۱۳۹۳، ص ۱۲۱-۱۳۲.

- رحیمیان، م.، ۱۳۹۲. کاربرد تجزیه مقدار تکین در پردازش تصویر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد، اساتید راهنما دکتر اصغر کرایه چیان و دکتر فائزه توتونیان.

-افراخته، ح. و بستانی املشی، ی.، ۱۳۸۹. روشی جدید به منظور خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد در نیروگاه‌های بادی با استفاده از الگوریتم های FCM و PSO، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، سال ۸، شماره ۳، ص ۲۱۰-۲۱۴.

-جهانبخش، س.، زینالی، ب. و اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۳۹۳. تحلیل و پهنه‌بندی فراوانی توفان‌های گرد و غباری ایران با استفاده از خوشه‌بندی فازی (fcm)، فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، شماره ۱۰، ص ۸۵-۹۸.

-چنگایی، ح.، محمودی، م. و موسوی، س.ع.، ۱۳۹۳. بهبود سیگنال گفتار با استفاده از ترکیب

داده‌های مصنوعی و واقعی لرزه ای، پژوهش نفت، دوره ۲۴، شماره ۸۰، ص ۱۲۳-۱۳۴.

-مزیدی، ا.، شفیعی، ش. و ابراهیمی، ر.، ۱۳۹۱. تعیین نواحی اقلیمی استان‌های کردستان و همدان با استفاده از روش‌های آماری نوین و GIS. اندیشه جغرافیایی، سال ششم، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۵۱-۶۷.

-منتظری، م.، ۱۳۹۰. شناسایی فصول دمایی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، شماره پیاپی ۱۰۱، ص ۱۷۳-۱۹۸.

-نیک نژاد، س.ا.، نبی بیدهدنی، م. و جمالی، ج.، ۱۳۸۹. مقایسه دو روش fk و SVD برای جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده در داده‌های پروفیل لرزه‌ای قائم. دوره ۵، شماره ۳؛ ص ۲۵-۳۲.

-شکوئی، ح.، ۱۳۸۸. فلسفه جغرافیا، انتشارات گیتاشناسی، چاپ چهاردهم، تهران، ۳۱۳ ص.

-عطایی، ه. و رحیمی ح.پ.، ۲۰۱۶. پهنه‌بندی دمایی آغاز و خاتمه فصول استان کردستان با استفاده از روش‌های نوین آماری، کنفرانس بین-المللی معماری، شهرسازی، مهندسی عمران، هنر و محیط، ص ۱-۱۹.

-علیجانی، ب.، ۱۳۷۴. آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ دوم، ۱۸۳ ص.

-مسعودیان، ا. و کویانی، م.، ۱۳۸۶. اقلیم شناسی ایران، چاپ اول، دانشگاه اصفهان، ۱۷۹ ص.

-مرتضوی، س.ا. و جواهریان، ع.، ۱۳۹۲. کاربرد تجزیه مقدار منفرد در تضعیف نوفه تصادفی در

-Bharath, R., Srinivas, V.V. and Basu, B., 2015. Delineation of homogeneous temperature regions: a two-stage clustering approach, *International Journal of Climatology*, v. 35, Issue 15, p. 4707-4727

-Ghasemi, J., Ghaderi, R., Mollaei, M.K. and Hojjatoleslami, S.A., 2013. A novel fuzzy Dempster-Shafer inference system for brain MRI segmentation, *Information Sciences*, v. 223, p. 205-220.

-Hathaway, R.J. and Bezdek, J.C., 1988. "Recent convergence result for fuzzy c-means clustering algorithms," *J. of Classification*, v. 5(2), p. 237-247.

-Ramos, M.C., 2001. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region,

Atmospheric Research, v. 57(2), p. 123-138.

-Romero, R., Sumner, G., Ramis, C. and Genovés, A., 1999. A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area, *International Journal of Climatology*, v. 19(7), p. 765-785.

-Zhou, D., Khan, S., Abbas, A., Rana, T., Zhang, H. and Chen, Y., 2009. Climatic regionalization mapping of the Murrumbidgee Irrigation Area, Australia, *Progress in Natural Science*, v. 19(12), p. 1773-1779.

-Unal, Y., Kindap, T. and Karaca, M., 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis, *International Journal of Climatology*, v. 23(9), p. 1045-1055.