

پایش مکانی-زمانی خشکسالی هواشناسی بر اساس پهنه‌بندی خوشه‌های ایستگاهی

مرضیه سادات میراحسنی^{۱*}، رضا مدرس^۲، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، علیرضا سفیانیان^۴، رضا جعفری^۵ و جهانگیر محمدی^۶
^۱ دکترای ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه مرتع و
آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم
کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستادیار گروه مرتع و
آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان و آستادیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و
منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۶

چکیده

حوزه آبخیز گاوخونی با نقش حیاتی در شرب، زیست‌بوم، کشاورزی، صنعت و توریسم ایران، با مشکلات خشکسالی روبه‌رو شده است. بررسی وضعیت پراکنش منطقه‌ای خشکسالی در طی زمان با استفاده از خوشه‌بندی داده‌های خشکسالی بر اساس فاصله اقلیدسی ایستگاه‌ها می‌تواند یک رویکرد مدیریتی در جهت کاهش اثرات خطر خشکسالی باشد. در این پژوهش، رویکرد تعیین پراکنش مکانی-زمانی خوشه‌های ویژگی‌های خشکسالی حوزه آبخیز، برای بیان تغییرات بر اساس بارش شاخص نمایه استاندارد بارش (SPI) ایستگاه‌ها بر اساس احتمال بارش برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه به کار رفت. از آن‌جا که بیشینه پراکندگی مکانی ایستگاه‌های منطقه و بیشینه بازه زمانی دوره آماری بلندمدت ممکن و موجود با شروع یکسان مدنظر بود، از آمار سری زمانی بارش مربوط به ۲۶ ایستگاه، طی ۱۲ سال به‌عنوان داده‌های مرجع استفاده شد. سپس، شاخص SPI ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر برای تحلیل‌های خوشه‌بندی شاخص SPI آبخیز تهیه شد. در مرحله بعد، ۱۴۴ داده سری زمانی بارش به چهار گروه خوشه‌بندی شدند. در ادامه، تحلیل پهنه‌بندی بر روی خوشه‌های داده‌های حاصل صورت گرفت. سپس، رابطه ارتفاع به‌عنوان یک عامل شکل زمین موثر در خشکسالی با خوشه‌های شاخص خشکسالی SPI با استفاده از همبستگی متغیرها بررسی شد. بدین صورت که همبستگی SPI با ارتفاع ایستگاه‌های هر خوشه بررسی و یک عدد حاصل شد. نتایج نشان داد که داده‌های خشکسالی ۱۲ ماهه SPI همبستگی بالا و منفی با داده‌های ارتفاع دارند. در ادامه، مساحت هر خوشه و نتایج مقایسه شد. همچنین، نتایج نمودار سری زمانی نوسانات شاخص SPI، خشکسالی بسیار شدید در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ و خشکسالی شدید در سال ۲۰۱۰ و خشکسالی ملایم در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۳ را نشان داد. نتیجتاً، پایش مکانی-زمانی خوشه‌های شاخص‌های خشکسالی به‌عنوان راه‌کاری در مدیریت اثرات خطر خشکسالی توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: شاخص SPI، خوشه‌بندی، پلی‌گون‌های تیسن، ارتفاع، همبستگی

مقدمه
بی‌سروصدا و نامحسوس است که به لحاظ محدوده
تأثیر به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین بلاهای طبیعی و از

خشکسالی یک پدیده محیطی مخاطره‌آمیز،

که باید آن‌ها را بحران‌های غیر طبیعی نامید. گرم‌شدن کره زمین از دهه ۱۹۸۰ شتاب گرفته و تکرار بلایای هواشناسی به‌طور چشمگیری در سراسر جهان افزایش یافته است (WMO, ۱۹۷۵). با توجه به مطالعات بارش و بر اساس تغییرات در الگوهای بارش، افزایش تراکم گازهای گلخانه‌ای به احتمال زیاد به الگوهای بسیار متفاوت بارندگی شدید، خشکسالی شدید و برف سنگین در برخی از مناطق می‌انجامد (Yoo و همکاران، ۲۰۱۲).

پایش خشکسالی با تهیه و تأمین داده و اطلاعات، مردم و برنامه‌ریزان سازمان‌های مسئول و ذریع را در فعالیت در جهت افزایش ضریب اطمینان از خطر و کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی تشویق می‌کند. به‌منظور تعریف و پایش خشکسالی Mckee و همکاران (۱۹۹۳)، در مرکز اقلیمی کلرادو، شاخص بارش استاندارد (SPI) را معرفی و برای تعیین احتمال تجمعی به‌کار بردند. توزیع گامای دو پارامتره برای بارش‌های نواحی خشک به‌منظور نرمال کردن داده‌های بارش استفاده شد. آن‌ها از مقیاس زمانی کوتاه‌مدت (سه و شش ماهه) برای اهداف کشاورزی و مقیاس‌های زمانی بلندمدت (۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) برای اهداف هیدرولوژی استفاده کردند. SPI یک متغیر استاندارد شده است که مقدار انحرافات بالاتر یا پایین‌تر از میانگین را نشان می‌دهد. این شاخص به‌علت سادگی، محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد نتایج، در مقایسه مکانی و این‌که فقط بر مبنای داده‌های بارش استوار است، عملاً قابل استفاده برای تمام شرایط منابع آبی است (Raziee, ۲۰۱۶). Zare Zadeh و Morid (۲۰۱۱)، از داده‌های SPI سه، شش و ۱۲ ماهه برای بررسی خشکسالی هواشناسی و مقایسه آن با خشکسالی آب‌شناختی در حوزه آبخیز زاینده‌رود استفاده کردند.

در چند دهه گذشته، استفاده از روش‌های آماری در بررسی خشکسالی به‌خوبی توسعه پیدا کرده است. استفاده از داده‌های نقطه‌ای در برآورد مقادیر قابل اعتماد از پارامترهای شدت، مدت و فراوانی خشکسالی غالباً به‌دلیل مشخص نکردن دقیق محدوده خشکسالی دشوار است. راه حل این مشکلات، روش تحلیل

ناشناخته‌ترین پدیده‌های جهان به‌ویژه در ایران به شمار می‌آید. خشکسالی دارای اثرات ممتد و تدریجی با وقوع در دوره زمانی حدوداً طولانی بوده و منجر به صدمات جانی، خسارات اقتصادی و محیط زیستی می‌شود (Chopra, ۲۰۰۶). خشکسالی ممکن است در هر منطقه و با ویژگی‌های گوناگون اقلیمی خشک و مرطوب رخ دهد. خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که ذخیره رطوبت برای یک مدت معین (بسته به نوع خشکسالی) کمتر از متوسط رطوبت دوره نرمال باشد (Alijani, ۲۰۱۱). به‌دلیل متغیرهای مختلفی که چه به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم در خشکسالی دخالت دارند، تعریف این واژه مشکل است. بدین لحاظ، کاربران و محققین رشته‌های گوناگون از دیدگاه خود به این پدیده نگریسته‌اند. بر اساس تعریف Agnew و Warren (۱۹۹۶)، خشکسالی کاهش غیر منتظره بارش در مدتی معین، در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست و معادل یک دوره یا شرایط اقلیمی خشک و غیر عادی و بادوام و ایجادکننده عدم تعادل جدی در وضعیت هیدرولوژیکی یک ناحیه است. به بیان Kavyani (۱۹۹۳) خشکسالی روند عادی رشد در منطقه را مختل می‌کند. تعاریف خشکسالی چشم‌اندازهایی را منعکس می‌کند که متغیرهای مختلف محیطی، اقتصادی-اجتماعی، بیولوژیکی و فیزیکی را در بر می‌گیرد. با این دیدگاه، بعضی از محققین برای ارائه تعریف مناسب‌تر برای خشکسالی‌ها و کمک به بخش‌های مدیریتی، سیاست‌گذاری و سایر قسمت‌های مرتبط سعی در طبقه‌بندی این پدیده داشته‌اند. عدم شناخت دقیق این پدیده باعث شده است که تعیین اثرات خشکسالی که به تداوم، شدت و توزیع این پدیده و همچنین، به تقاضای فعالیت‌های بشری و نیازهای پوشش گیاهی از منابع منطقه وابسته است، کاری بسیار دشوار باشد. لذا، کمی و کیفی کردن اثرات فراگیر خشکسالی‌ها که بر اقتصاد، اجتماع و محیط زیست موثر است، آسان نیست. بنابراین، باید با ایجاد طرح‌های مدیریتی آمادگی تا حدی از مشکلات ناشی از این پدیده و نیز تأثیر منفی آن بر انسان و محیط زیست کاسته شود (Soltani و Saadati, ۲۰۰۷). باید اذعان نمود، این رفتار انسان است که حوادث طبیعی را به حوادثی تبدیل می‌کند

توزیع مکانی خوشه‌ها را بررسی کرد. در روش کلاسیک، نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی، کاملاً تصادفی و مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند. به این منظور و برای پایش مکانی منطقه داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه پهنه‌بندی^۱ می‌شوند. داده‌های پیوسته مکانی در مطالعات اقلیمی و محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. از طرفی، آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی متغیرهای هواشناسی و به‌ویژه تغییرات مکانی اقلیم مناطق مختلف ضروری است (Matkan و همکاران، ۲۰۱۱). نقشه پهنه‌بندی خشکسالی نه‌تنها بیانگر خشکسالی در یک زمان خاص می‌باشد، بلکه نشان‌دهنده نواحی‌ای که بیشتر در معرض خطر خشکسالی قرار دارند و در زمان وقوع خشکسالی آسیب بیشتری می‌بینند، هم هست. لذا، لازم است با توجه به نقشه حاصله، برنامه‌ریزی‌های مناسبی به‌منظور کاهش اثرات خشکسالی به‌خصوص در مناطق با ریسک بالا صورت پذیرد. به‌عبارت دیگر، این نقشه‌ها می‌توانند به مدیریت ریسک خشکسالی کمک و آمادگی مقابله با آن قبل از وقوع و گسترش را فراهم نمایند، به‌طوری که با آگاهی از شرایط فعلی منطقه، تصمیمات لازم و از قبل طراحی شده برای مقابله با آن اعمال شود (Matkan و همکاران، ۲۰۱۱). برای دستیابی به الگوی توزیع مکانی متغیرها، روش‌های متعددی وجود دارند که یکی از آن‌ها روش‌های زمین‌آمار است. زمین‌آمار، مجموعه‌ای از روش‌ها، الگوریتم‌ها و ابزارهای مختلف برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و مدل‌سازی الگوی توزیع مکانی آن‌ها در گستره‌های نمونه‌برداری است. زمین‌آمار با تلفیق اطلاعات عددی متغیرها با اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی داده‌ها از طریق الگوریتم‌های ریاضی و آماری، درک صحیحی از چگونگی توزیع مکانی داده‌ها به متخصصان ارائه می‌دهد (Siabi و Sanaee-Nezhad، ۲۰۱۳).

روش‌های درون‌یابی^۲ مکانی و پهنه‌بندی، از پرکاربردترین روش‌های زمین‌آمار و ابزاری سودمند

خوشه‌بندی یا گروه‌بندی یکی از روش‌های تحلیل چند متغیره است که محبوبیت زیادی بین اقلیم‌شناسان دارد و اغلب به‌منظور گروه‌بندی این پدیده‌ها در بعد زمان یا مکان به‌کار می‌رود. این نوع تحلیل، تخمین مناسبی از مقادیر سایت‌های مورد نظر ارائه می‌کند. تحلیل تعیین مناطق همگن با استفاده از خوشه‌بندی بر اساس ویژگی‌های خشکسالی ایستگاه‌های تعیین شده (شدت-مدت و فراوانی شاخص‌های خشکسالی) است (Yoo و همکاران، ۲۰۱۲). هدف استفاده از روش خوشه‌بندی، پیدا کردن یک خوشه یا گروه مطلوب برای هر مشاهده و شی درون خوشه مشابه هستند، اما خوشه‌ها با همدیگر غیر مشابه هستند (Shamshirband و همکاران، ۲۰۱۵). در استفاده از روش خوشه‌بندی در مباحث اقلیم‌شناسی، می‌توان به مثال‌های زیر اشاره کرد. Lashanizand و همکاران (۲۰۱۴)، به خوشه‌بندی نظارت نشده اقلیم مختلف ایران و سپس پهنه‌بندی داده‌های آن بر اساس عوامل حرارتی، رطوبتی و ارتفاع از سطح دریا پرداختند. Yoo و همکاران (۲۰۱۲)، از روش خوشه‌بندی برای منطقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس ویژگی‌های خشکسالی (شدت-مدت) استفاده کردند. آنان از روش تحلیل فراوانی خشکسالی بر اساس توزیع دو متغیره با ترکیب فراوانی و شدت-مدت خشکسالی استفاده نمودند. Shamshirband و همکاران (۲۰۱۵)، از روش خوشه‌بندی شاخص SPI در بازه زمان‌بندی ۱۲ ماهه برای تشخیص خشکسالی منطقه‌ای در صربستان و نیز اخذ الگوهای خشکسالی با ویژگی‌های مشابه استفاده نموده و مناطق خشکسالی (خوشه‌ها) را منطقه‌بندی کردند. Eslamian و همکاران (۲۰۰۶)، خشکسالی استان اصفهان را با استفاده از پارامتر شدت-مدت و فراوانی شاخص SPI به پنج خوشه، گروه‌بندی کردند و پراکنش مکانی این تغییرات شدت و مدت خشکسالی‌ها را بر اساس تغییرات طول و عرض جغرافیایی استان اصفهان نشان دادند.

همان‌طور که ذکر شد، از آن‌جا که اطلاعات نقطه‌ای خوشه‌های ایستگاه‌ها برای پایش خشکسالی کفایت نمی‌کند، لازم است تا از طریق روش‌هایی، این اطلاعات نقطه‌ای را به سطح تبدیل کرد و به‌عبارتی

^۱ Zoning

^۲ Spatial interpolation

نتایج خاص و متفاوت ایجاد می‌کنند (Mahini و Kamyab, ۲۰۱۱).

در این پژوهش، از میان رویکردها از روش پلی‌گون‌های تیسن به‌عنوان روش دقیق یا قطعی و از روش کریجینگ به‌عنوان روش احتمالی بهره گرفته می‌شود. پلی‌گون‌های تیسن به نام هواشناس آمریکایی آلفرد تیسن نامگذاری شده است. در این روش، ارزش یک نقطه را به کلیه نقاطی که در مساحت منطقه‌ای آن نقطه قرار می‌گیرند، نسبت می‌دهند و مرزهای پلی‌گون از نقاط نزدیک‌ترین نقاط یا همسایه‌ها فاصله یکسان دارد و هر نقطه در داخل پلی‌گون، به نقطه مرکزی آن پلی‌گون نسبت به هر نقطه دیگر نزدیک‌تر است. زمانی که یک پلی‌گون ساخته می‌شود، همسایه‌های آن پلی‌گون‌هایی هستند که با آن‌ها مرز مشترک دارند. بنابراین، با تعریف همسایه‌ها یا پلی‌گون‌های مجاور یک پلی‌گون، تنوعی از توابع محلی قابل محاسبه است. به‌خروجی چنین درون‌یابی نقشه ورونوی می‌گویند. دیاگرام‌های ورونوی در علوم و فناوری‌های متعدد کاربرد دارند. در علم ریاضیات، دیاگرام ورونوی^{۱۲} روشی برای تقسیم فضا به تعدادی ناحیه با شرایط معین می‌باشد. در این دیاگرام به هر مجموعه از نقاط، ناحیه‌ای اختصاص داده می‌شود. پلی‌گون‌های تیسن می‌توانند یک ساختمان داده موقعیت نقطه را به‌منظور یافتن نزدیک‌ترین همسایه در جایی که شخص بخواهد نزدیک‌ترین شی را به نقطه مورد جستجو پیدا کند، ایجاد کنند (Sluiter, ۲۰۰۹).

همان‌طور که ذکر شد، زمین آمار ابزارهایی را برای بررسی و تبیین آماری داده‌های نقطه‌ای و درک ماهیت داده‌ها فراهم می‌کند. این ابزارها فنونی را برای تهیه پهنه از نقطه در اختیار قرار می‌دهند. کریجینگ یکی از مشهورترین این فنون است. در کریجینگ، ساختارهای توصیف‌کننده الگوی تغییرپذیری مکانی به‌دست آمده از شبه‌تغییرنماهای نموداری مورد استفاده قرار می‌گیرند تا اثر وابستگی مکانی بر همسایگی زوج داده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی وضعیت نقطه‌های ناشناخته به‌دست آید. این ساختارها

در دخیل کردن متغیرهای هواشناسی و محیطی در روابط طبقه‌بندی اقلیمی و تغییرات مکانی اقلیمی هستند. زمین آمار قادر است، الگوی پیوستگی مکانی را در هنگام درون‌یابی مکانی نقطه به پهنه تشخیص و دخالت دهد و علاوه بر آن تغییرات محلی را نیز در نظر بگیرد. این فنون انعطاف‌پذیری زیادی دارند که استفاده از آن‌ها را راحت می‌کند، اما در عین حال، خطر برداشت نادرست را نیز افزایش می‌دهند (Mahini و Kamyab, ۲۰۱۱). درون‌یابی مکانی شامل انواع درون‌یابی دقیق یا قطعی^۱ و غیر دقیق یا احتمالی^۲ است. در روش‌های دقیق یا قطعی، مقادیر پیش‌بینی شده مساوی مقادیر مشاهده شده است، یا ارزش موقعیت‌های نمونه‌برداری نشده با ارزش نزدیک‌ترین نقطه نمونه‌برداری شده مساوی می‌شود که خود دارای انواع پلی‌گون‌های تیسن^۳، وزن‌دهی عکس فاصله^۴ (IDW)، نزدیک‌ترین همسایگی^۵، توابع چندجمله‌ای (spline) هستند. در روش‌های احتمالی، مقادیر پیش‌بینی شده ممکن است مساوی مقادیر مشاهده شده نباشد که شامل انواع شعاع ثابت^۶، سطوح روند^۷ و کریجینگ می‌شود. روش کریجینگ خود شامل کریجینگ معمولی^۸، کو-کریجینگ^۹، کریجینگ گسسته^{۱۰} و کریجینگ با روند خارجی^{۱۱} است (Sluiter, ۲۰۰۹). مبنای روش‌های زمین آمار ساده است. پدیده‌های متغیر و پیوسته، نظیر ارتفاع و بارش و مکان‌های نزدیک به هم شبیه‌تر از مکان‌های دور از هم است. در واقع، این پدیده یادآور همبستگی مکانی و پیوستگی و همسایگی در زمین آمار است که مکمل تغییرپذیری است. تغییر و تغییرپذیری هسته اصلی تحلیل‌های زمین آمار است. هدف اصلی زمین آمار، درک این موضوع است که چرا روش‌های مختلف

¹ Deterministic methods

² Probabilistic methods

³ Thiessen polygons (Thi)

⁴ Inverse distance weighting

⁵ Nearest Neighbourhood (NN)

⁶ Fixed-radius

⁷ Trend surface

⁸ Ordinary Kriging

⁹ Co-Kriging

¹⁰ Discrete Kriging

¹¹ Kriging with an external drift

¹² Voronoi

حالی که روش کریجینگ روند خارجی برای بارندگی نتایج دقیق تری را حاصل می کند. همچنین، مشاهده شد که توزیع زمانی و مکانی بارندگی نسبت به سایر متغیرهای مورد مطالعه، بیشترین تاثیرپذیری را از تغییرات ارتفاع دارد. Ali-Bakhshi و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر مولفه ارتفاع بر مدل تشابهی منحنی عمق-مدت بارش در استان تهران را بررسی کردند. آنان از مدل های شبیه سازی و برآورد شدت بارش در ایستگاه های باران سنجی استفاده کردند. نتایج نشان داد، در فاصله ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری، تأثیر ارتفاع وجود ندارد، ولی پس از آن، یک جهش در میزان خطا اتفاق می افتد و این وضعیت از ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بعد کم کم کاهش می یابد.

هدف از این مطالعه، پایش خشکسالی هواشناسی با تبیین تغییرات داده های شاخص ۱۲ ماهه SPI با استفاده از روش های خوشه بندی و سپس پهنه بندی اطلاعات نقطه ای ایستگاه ها و بررسی همبستگی شاخص بارش استاندارد ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر، با ارتفاع ۲۶ ایستگاه مورد مطالعه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی طی سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ است. سوال مطالعه این است که با وجود این که خشکسالی در هر ارتفاعی رخ می دهد، تأثیر آن (به عنوان یک عامل شکل زمین) با پارامترهای خشکسالی در حوزه آبخیز گاوخونی چگونه است.

مواد و روش ها

منطقه مورد پژوهش: از آنجا که حوزه آبخیز گاوخونی به دلیلی جاری بودن رود دایمی زاینده رود (هرچند که هم اکنون با مشکلات جدی مواجه شده است)، شامل حوزه آبخیز زاینده رود هم هست، به نام اخیر هم خوانده می شده است. مساحت کل حوزه آبخیز گاوخونی در حدود ۳۷۶۵۴/۵۸ کیلومتر مربع است. این حوضه از شمال به حوزه آبخیز دریاچه نمک، از شرق به حوضه های دق سرخ و کویر سیاه کوه، از جنوب به حوضه کویر ابرقو و از غرب و جنوب غرب به حوزه آبخیز رودخانه کارون محدود می شود.

از آنجا که حوضه گاوخونی در فلات مرکزی ایران و در پهنه گرم و خشک کشور قرار گرفته است، میانگین بارندگی سالانه حوضه از دست کم ۵۰

نشان می دهند که چگونه باید به وزن دهی ویژگی های مختلف در هنگام پیش بینی و درون یابی پرداخت. با این حال، به دلیل این که شبه تغییرنماها بر پایه نقص ذاتی داده های نمونه شکل گرفته اند، نیازمند منحنی های نرم تری هستند که شکل تغییرپذیری مکانی را در همه فواصل میان نقطه ها نشان دهند. با استفاده از اطلاعات کمی و شبه تغییرنماها، توابع ریاضی با هم ادغام می شوند تا یک منحنی نرم تر تغییرپذیر مکانی ایجاد شود. در این مرحله، میزان قطعه ها^۱، سقف^۲ و دامنه ها^۳ و ناهمسان گردی^۴ های ساختارهای اضافی برای به دست آمدن منحنی نرم تر مورد استفاده قرار می گیرند (Mahini و Kamyab، ۲۰۱۱).

مطالعات متعددی در زمینه پهنه بندی خشکسالی صورت گرفته است که از میان آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد. Soltani و Modarres (۲۰۰۶)، نقشه دوره بازگشت خشکسالی استان اصفهان را پهنه بندی کردند. Soltani و Saadati (۲۰۰۷)، با استفاده از روش های زمین آمار به پهنه بندی خشکسالی در استان اصفهان پرداختند و نقشه های گستره فراوانی خشکسالی را ترسیم و تحلیل کردند. Matkan و همکاران (۲۰۱۱)، خطر خشکسالی را در حوضه شیطان یزد بررسی نمودند. Siabi و Sanaee-Nezhad (۲۰۱۳)، الگوریتم های زمین آمار را برای درون یابی، ارزیابی و تهیه نقشه های تغییرات مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی در شمال شرق ایران به کار بردند. آنان وابستگی متغیرهایی مانند تبخیر، دمای هوا، بارندگی و رطوبت نسبی به ارتفاع به عنوان متغیر ثانویه با گام های زمانی ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار دادند. سپس، از روش تورنت-وایت برای طبقه بندی اقلیمی و درجه تأثیر هر متغیر اقلیمی در افزایش دقت طبقه بندی اقلیمی با استفاده از روش های چندمتغیره استفاده کردند.

نتایج مطالعه آنان نشان داد که روش کوکریجینگ برای دمای هوا نتایج بهتری را نشان می دهد، در

¹ Nugget

² Sill

³ Range

⁴ Anisotropy

بهترین پراکندگی مکانی باران‌سنجی موجود در محدوده مطالعاتی بهره گرفته شود، از داده‌های بارش ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ استفاده شد که مشخصات آن‌ها به همراه طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

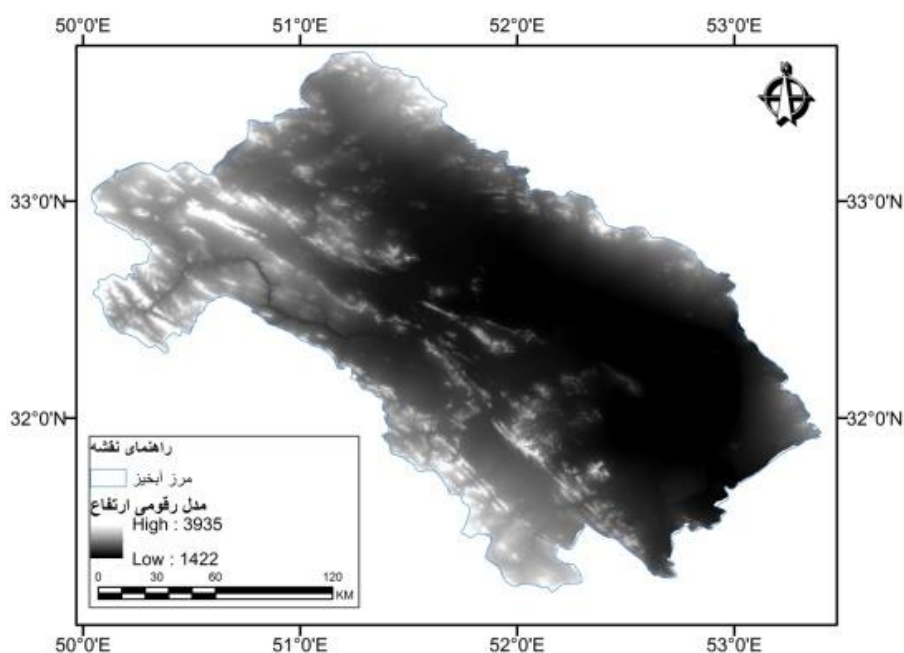
میلی‌متر در شرق حوضه تا در نهایت ۱۵۰۰ میلی‌متر در سرشاخه‌های غرب حوضه متغیر است. در این پژوهش، برای تحلیل خشکسالی به دلیل وجود محدودیت در انتخاب شروع دوره آماری واحد برای همه ایستگاه‌ها، از آن‌جا که باید از بیشینه دوره آماری بارندگی ممکن و نیز بیشینه تعداد ایستگاه ممکن با

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی (مختصات و ارتفاع) محدوده حوزه آبخیز گاوخونی

ارتفاع (متر)	مختصات ایستگاه		نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	مختصات ایستگاه		نام ایستگاه
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
۱۸۵۸	۳۱/۹۸۱	۵۱/۸۱	شهرضا	۲۲۹۰	۳۳/۰۱۶	۵۰/۴۸۳	داران
۱۶۳۶/۲	۳۲/۶۰۴	۵۱/۳۸۸	نجف آباد	۲۴۹۰	۳۲/۹۴	۵۰/۱۲۷	فریدون شهر
۱۵۵۰/۴	۳۲/۵۱۶	۵۱/۷۰۶	اصفهان	۱۸۷۰	۳۳/۴۶۶	۵۰/۲۸۳	گلپایگان
۱۵۴۲/۵	۳۲/۳۱	۵۱/۵۱	کبوتر آباد	۲۳۰۰	۳۳/۲۳۳	۵۰/۳۱۶	خوانسار
۱۶۷۳	۳۳/۰۸۳	۵۱/۴۸۳	مورچه خورت	۲۳۶۵	۳۲/۴۶	۵۰/۱۲	کوه‌رنگ
۱۵۷۳/۷	۳۲/۵۱	۵۳/۰۴	نابین	۱۹۸۰	۳۳/۴۳۳	۵۱/۱۶۶	میمه
۱۶۸۵	۳۳/۳۲	۵۱/۵۶	نطنز	۲۰۵۰	۳۲/۱۷	۵۰/۵۱	شهرکرد
۱۵۲۳/۸	۳۱	۵۲/۴۱۶	ابركوه	۲۴۵۹/۹	۳۱/۴۱۶	۵۱/۵۶۶	سمیرم
۵,۱۲۵۵	۳۳/۳۹	۵۲/۳۸	اردستان	۲۰۷۵	۳۲/۴۵	۵۰/۹۳۳	سامان
۱۱۵۰	۳۲/۳۷۲	۵۳/۶۷۹	عقدا	۲۰۲۲/۱	۳۳/۴	۴۹/۷	الیگودرز
۲۰۳۰	۳۱/۱۱۰	۵۲/۴	آباده	۱۵۵۱/۹	۳۲/۷۴۴	۵۱/۸۶۳	فرودگاه اصفهان
۹۵۵	۳۳/۹۸۳	۵۱/۴۴۷	کاشان	۱۶۸۰/۲	۳۲/۳	۵۱/۴۵	مبارکه
۱۴۵۰	۳۲/۴۱۹	۵۲/۶۴۸	ورزنه	۲۲۶۰	۳۱/۵۹	۵۱/۱۸	بروجن

مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری در شکل ۱، کمینه و بیشینه ارتفاع حوزه آبخیز به ترتیب برابر ۱۴۲۲ تا ۳۹۳۵ متر است.

با توجه به مشخص بودن موقعیت ایستگاه‌های زمینی، پیکسل‌هایی که درون آن‌ها ایستگاه زمینی قرار گرفتند تعیین شدند و مختصات آنان ارائه شد. بر اساس



شکل ۱- نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز گاوخونی

استاندارد شده است، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب قابل استفاده و نتایج برای دوره مورد نظر قابل مقایسه است. برای محاسبه SPI در ابتدا توزیع آماری مناسب برای آمار بلندمدت بارندگی برآزنده می‌شود، به طوری که متوسط SPI برای آن منطقه و دوره مورد نظر صفر خواهد بود. مقدار مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارندگی میانه می‌باشد و مقدار منفی، معنای عکس آن را دارد. مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می‌شود. طبق این روش، دوره خشکسالی، هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر به مقدار منفی برسد و این مقدار منفی تداوم داشته باشد و زمانی شدید است که شاخص بارش استاندارد ۱- یا کمتر باشد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود. مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت دوره خشکسالی و همچنین، دوره‌های مرطوب را نشان می‌دهند (Soltani و Saadati، ۲۰۰۷).

طبقه‌بندی مقادیر SPI در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI): این شاخص (McKee و همکاران، ۱۹۹۳) با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، برف، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارایه شد. درک این که بارندگی تأثیرهای مختلفی بر این منابع آب دارد، منجر به این شد که شاخص SPI تدوین و ارائه شود. شاخص SPI برای اندازه‌گیری کمبود بارندگی از این منابع است. رطوبت خاک در زمان کوتاه‌تری شرایط غیر نرمال بارندگی را منعکس می‌کند، در حالی که آب زیرزمینی، جریان‌های سطحی و ذخائر آب سطحی در زمان طولانی‌تری نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند (Svoboda، ۲۰۱۲). شاخص SPI از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$SPI = Pi - P/S \quad (1)$$

که در آن، Pi مقدار بارش در دوره مورد نظر، P میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. از آن جایی که SPI

جدول ۲- طبقه‌بندی نمایه SPI (McKee و همکاران، ۱۹۹۳)

طبقه ترسالی یا خشکسالی	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی ملایم	نزدیک به نرمال	خشکسالی ملایم	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
مقدار SPI	۲ و بالاتر	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۲ و کمتر

$$\alpha \Gamma = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (3)$$

این توزیع، چوله به راست با حد پایین صفر مشابه توزیع فراوانی بارش است که به تدریج فراوانی بارش‌ها افزایش و در نقطه‌ای به اوج می‌رسد و سپس کاهش و در نقطه‌ای به صفر می‌رسد. برای محاسبه SPI لازم است، تابع چگالی احتمال توزیع گاما بر توزیع فراوانی مجموع بارش‌ها (برای هر مقیاس زمانی) در هر ایستگاه برآزش داده شود. مقادیر α ، β تابع چگالی احتمال توزیع گاما برای هر ایستگاه، برای هر مقیاس زمانی مدنظر برآورد می‌شود.

پارامترهای شدت، مدت و فراوانی خشکسالی:

قبل از شروع کار می‌بایست بررسی مقدماتی بر روی سری داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها صورت گیرد. سری

از نظر ریاضی، SPI بر مبنای احتمالات تجمعی بارندگی در یک ایستگاه استوار است. Thom (۱۹۶۶)، دریافت که توزیع گاما برای سری‌های زمانی بارش‌های اقلیمی بهترین برآزش را دارد. از این‌رو، McKee و همکاران (۱۹۹۳)، شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما قرار دادند. تابع چگالی یا فراوانی توزیع گاما بر حسب معادله زیر می‌باشد.

$$g = 1/\beta \alpha \Gamma(\alpha) x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (2)$$

که در آن، α پارامتر شکل $\alpha = 0^1$ ، β پارامتر مقیاس $\beta > 0^2$ و x مقدار بارش $x > 0$ می‌باشد. $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما از رابطه (۳) به دست می‌آید.

¹ Shape factor

² Scale factor

دیگر خوشه‌بندی، تقسیم نقاط به گروه‌هاست، به‌طوری که مجموع مربعات نقاط به مراکز خوشه اختصاصی آن‌ها به کمینه رسیده است (Yoo و همکاران، ۲۰۱۲).

در این پژوهش، از شاخص SPI ۱۲ ماهه، از آن‌جا که بر اساس مطالعه Svoboda (۲۰۱۲)، نشان‌دهنده الگوهای بارش بلندمدت بوده و معمولاً با جریان‌ها، ذخایر و حتی سطح آب‌های زیرزمینی گره خورده، استفاده می‌شود. همچنین، از تحلیل‌های خوشه‌بندی داده‌های SPI ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر بر اساس ماه‌های سال و ۲۶ ایستگاه برای $12 \times 12 \times 26$ داده به کمک نرم‌افزارهای آماری Systat و SPSS بهره گرفته شد. از میان روش‌های اتصال آماری از روش Ward استفاده شد. این روش اتصال^۱ آماری به جای میانگین واریانس داده‌ها را ملاک قرار داده، به کلامی دیگر از واریانس داده‌ها استفاده می‌نماید. همچنین، برای تحلیل خوشه‌بندی داده‌های SPI ابتدا به‌صورت لایه‌های مکانی در آمده، از روش فاصله اقلیدسی^۲ استفاده شد. در ادامه، داده‌های میانگین ۱۲ ساله فراوانی نسبی شاخص SPI برای هر ماه (ژانویه تا دسامبر) مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه خوشه‌بندی شد. تعداد خوشه‌ها بر اساس برآیند بررسی منابع طبقات اقلیمی حوزه آبخیز گاوخونی (پنج خوشه به‌وسیله Eslamian و همکاران، ۲۰۰۶) و همچنین، پیش‌فرض نرم‌افزارهای آماری Systat و SPSS که تعداد چهار خوشه در نظر گرفته بودند، تعیین شد. به این ترتیب، داده‌های خشکسالی حاصل به چهار خوشه تقسیم‌بندی شد و سپس به‌صورت لایه‌های جداگانه (برای هر سال چهار لایه) در محیط GIS درآمد.

پهنه‌بندی: اولین گام در استفاده از زمین‌آمار تهیه لایه‌های درون‌یابی شده‌ای است که تا حد امکان ماهیت تغییرات مکانی داده‌ها را نشان دهد. تغییرات مکانی از نظر فاصله اقلیدسی و جهت مورد بررسی قرار می‌گیرند (Mahini و Kamyab، ۲۰۱۱). تحلیل تغییرات بر روی جفت داده‌های خشکسالی SPI انجام

داده‌ها باید دارای معیارهای پایه‌ای از قبیل تصادفی بودن، همگنی، ایستایی و نداشتن داده پرت باشند (Rezaee Pazhand، ۲۰۱۱). در مرحله بعد، با استفاده از داده‌های SPI، پارامترهای شدت خشکسالی و فراوانی خشکسالی تهیه شد (Mirahsani و همکاران، ۲۰۱۷).

تحلیل خوشه‌بندی: خوشه‌بندی یک روش طبقه‌بندی نظارت نشده داده‌های مختلف به گروه‌ها است. خوشه‌بندی باید خصوصیات زیر را داشته باشد. (۱) همگنی درون خوشه‌بندی، (۲) همگنی بین خوشه‌بندی مانند داده‌های متعلق به خوشه‌های مختلف باید در صورت امکان متفاوت باشند (Shamshirband و همکاران، ۲۰۱۵). در خوشه‌بندی، هدف یافتن مجموعه متناهی از خوشه‌ها برای توصیف داده‌هاست. به عبارتی، خوشه‌بندی یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت است و فرایند خودکاری است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر هستند (خوشه) تقسیم می‌شوند. بنابراین، خوشه مجموعه‌ای از اشیا می‌باشد که در آن اعضای مجموعه با یکدیگر مشابه بوده، با اشیا موجود در خوشه (مجموعه)‌های دیگر غیر مشابه است. برای مشابه بودن، می‌توان معیارهای مختلفی را در نظر گرفت. مثلاً، می‌توان معیار فاصله را برای خوشه‌بندی مورد استفاده قرار داد و ایستگاه‌های برداشت داده بارش را که به یکدیگر نزدیک‌تر هستند را به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفت که به این نوع خوشه‌بندی، خوشه‌بندی مبتنی بر فاصله نیز گفته می‌شود. در تحلیل خوشه‌بندی یک ماتریس $n \times p$ شامل n مشاهده از p ویژگی اندازه‌گیری شده ایجاد می‌شود. در این حالت، شباهت بین خوشه‌ها بر اساس فاصله اقلیدسی محاسبه و ماتریس شباهت تشکیل می‌شود (Eslamian و همکاران، ۲۰۰۶).

بر اساس مطالعه Mackee و همکاران (۲۰۱۴)، دو روش اساسی در تحلیل خوشه‌ای وجود دارد که شامل روش سلسله مراتبی و روش تقسیمی است. تحلیل خوشه‌بندی از ویژگی‌های خشکسالی برای تقسیم‌بندی مناطق به خوشه‌های منحصر به فرد متقابل استفاده می‌کند، به‌طوری که هر یک از ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه قرار گیرند. هدف

¹ Linkage

² Euclidean distance

متغیر در یک جهت اتفاق می‌افتد. یعنی با افزایش یک متغیر، متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد و برعکس. اگر مقدار r منفی شد، بدین معنی است که دو متغیر در جهت عکس هم عمل می‌کنند، به عبارت دیگر با افزایش مقدار یک متغیر، مقادیر متغیر دیگر کاهش می‌یابد و برعکس. اگر مقدار به دست آمده صفر شود، نشان می‌دهد که هیچ رابطه‌ای بین دو متغیر وجود ندارد. در این معادله، $COV(X, Y)$ کوواریانس دو متغیر، $\sigma X, \sigma Y$ انحراف معیار هر کدام از دو متغیر می‌باشد (Javadi و همکاران، ۲۰۱۳).

برای بررسی سوال مطالعه، تأثیر ارتفاع ایستگاهها (به عنوان یک عامل شکل زمین) با پارامترهای خشکسالی در حوزه آبخیز گاوخونی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های SPI و ارتفاع ایستگاه بررسی می‌شود. فرمول محاسبه آن به صورت زیر است.

$$r = \frac{COV(X, Y)}{\sigma X, \sigma Y} \quad (4)$$

نتایج و بحث

تعیین شاخص خشکسالی استاندارد (SPI): در این پژوهش، شاخص خشکسالی SPI بلندمدت ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر مربوط به ۲۶ ایستگاه حوزه آبخیز گاوخونی به کمک نرم‌افزار SPI_sl_6 برای هر ایستگاه محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. نمودار تغییرات SPI در دوره آماری ۱۲ ساله منتهی به دسامبر در ۲۶ ایستگاه واقع در محدوده حوزه آبخیز گاوخونی در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ تهیه شد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

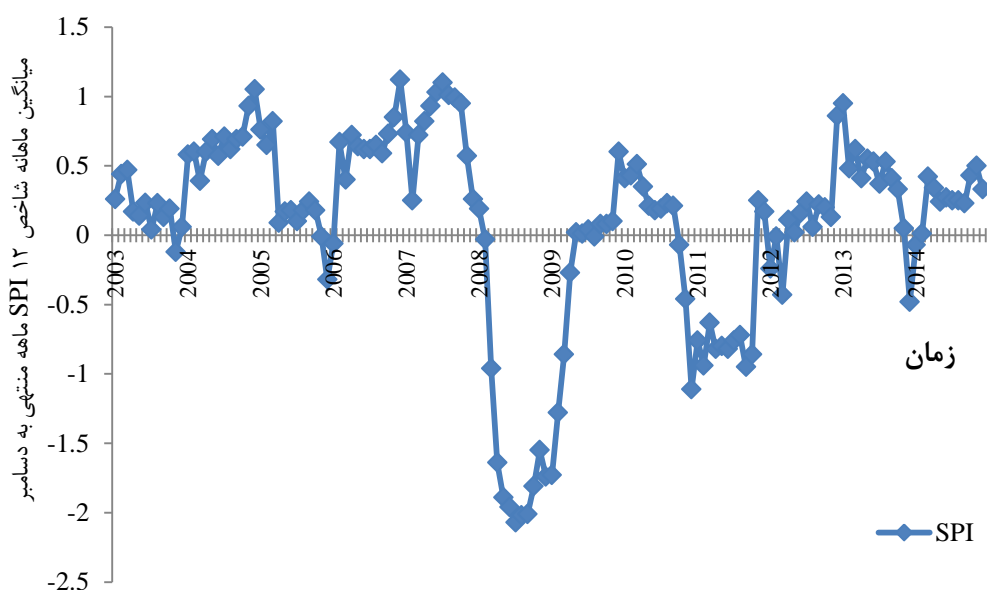
نمودار شکل ۲، نشان داد که حوزه آبخیز گاوخونی طی دوره مطالعه در سال ۲۰۰۸ در همه ماه‌ها با خشکسالی بسیار شدید و در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ در ماه نوامبر با خشکسالی ملایم، در سال ۲۰۰۹ در ماه‌های ژانویه تا آوریل با خشکسالی بسیار شدید، در سال ۲۰۱۰ از ماه‌های سپتامبر تا دسامبر با خشکسالی شدید، در سال ۲۰۱۲ در ماه‌های ژانویه و مارس با خشکسالی ملایم و در سال ۲۰۱۳ در ماه‌های نوامبر و دسامبر با خشکسالی ملایم مواجه شده است.

می‌شود. در این پژوهش، به منظور درون‌یابی و پهنه‌بندی مکانی-زمانی ماهانه لایه‌های مربوط به هر خوشه خشکسالی (حاصل از مرحله خوشه‌بندی)، ابتدا از روش پلی‌گون‌های تیسن در محیط ArcGIS استفاده شد. بدین ترتیب که بعد از خوشه‌بندی داده‌های SPI در نرم‌افزار SPSS این مقادیر به شکل لایه‌های جداگانه شده و سپس اقدام به پهنه‌بندی داده‌ها با استفاده از روش پلی‌گون‌های تیسن شد. به عبارتی، جهت تبدیل داده‌های SPI ایستگاه‌های نقطه‌ای (۲۶ ایستگاه) به شکل پلی‌گون، این داده‌ها پهنه‌بندی شدند. برای تهیه پهنه‌های مکانی-زمانی ماهانه خشکسالی، خوشه‌های حاصل از داده‌های میانگین ۱۲ ساله فراوانی خشکسالی SPI برای هر ماه از سال (۱۲ ماه از ۱۲ سال) پهنه‌بندی شد و به شکل پلی‌گون‌های هم‌رنگ نمایش داده شد و در نهایت، نقشه‌های سری زمانی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ حاصل شد.

در مرحله بعد، از لایه‌های شدت خشکسالی و فراوانی خشکسالی حاصل از داده‌های SPI برای انجام میان‌یابی با استفاده از روش کریجینگ جهانی استفاده شد. این داده‌ها در نرم‌افزار ArcGIS و با قبول پیش فرض‌های نرم‌افزار در مقادیر قطعه‌ها، سقف و دامنه‌ها و ناهمسان‌گردی پهنه‌بندی شد. سپس نتایج به صورت طبقات خشکسالی بسیار شدید، شدید و ملایم طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ صورت گرفت.

همبستگی پیرسون: ضریب همبستگی که یک متغیر فاصله اقلیدسی است، ابتدا وجود یا عدم وجود رابطه دو متغیر را نشان داده و پس از آن در صورت وجود رابطه، شدت آن را تعیین می‌کند. برای تشخیص وجود رابطه و به عبارتی معنادار بودن ضریب از جداول مربوطه استفاده می‌شود که دارای احتمالات مختلف هستند. ضریب همبستگی بین +۱ و -۱ متغیر است. در واقع، رابطه دو متغیر می‌تواند مثبت یا منفی باشد. هر چه ضریب همبستگی پیرسون (r) به عدد +۱ یا -۱ نزدیک‌تر شود، نشانگر آن است که میزان وابستگی دو متغیر بیشتر می‌باشد. اگر مقدار به دست آمده مثبت باشد، به معنی آن است که تغییرات دو

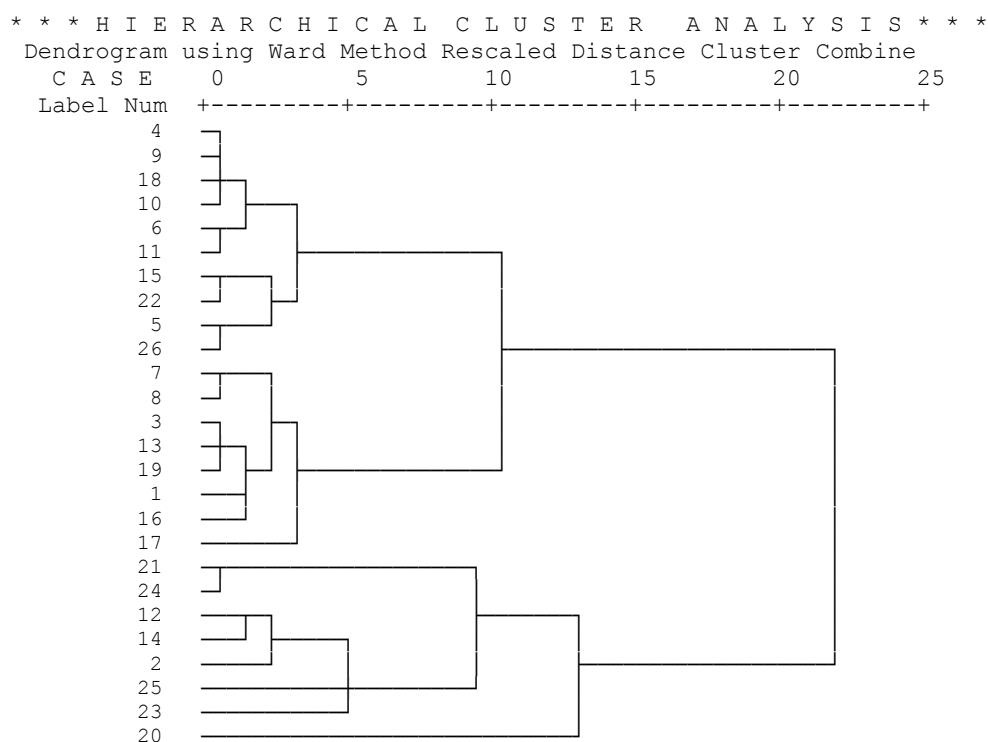
¹ Pearson correlation



شکل ۲- SPI ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ مربوط به ۲۶ ایستگاه مورد مطالعه

مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS خوشه‌بندی شد که در نمودار درختی شکل ۳ نشان داده شده است.

خوشه‌بندی مکانی زمانی خشکسالی
خوشه‌بندی مکانی زمانی ۱۲ ساله: برای داده‌های
خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه‌های محدوده مورد



شکل ۳- خوشه‌بندی میانگین ۱۲ ساله شاخص SPI ۱۲ ماهه ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ (۱ تا ۲۶ شماره ایستگاه‌ها)

خوشه‌بندی مکانی زمانی (ماهانه): خوشه‌بندی زمانی بر اساس میانگین ۱۲ ساله (از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴)

نداشته و به تنهایی در خوشه ۴ قرار می‌گیرد. این خوشه‌ها بیشترین تفاوت را با هم دارند، در حالی که اعضای آن بیشترین شباهت را به هم دارند. همچنین، در این خوشه‌بندی بیشترین مساحت از حوضه را خوشه ۲ به خود اختصاص داده است.

نقشه‌های طبقات بسیار شدید، شدید و ملایم شدت و فراوانی نسبی خشکسالی شاخص SPI با استفاده از روش کریجینگ جهانی پهنه‌بندی شدند که در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

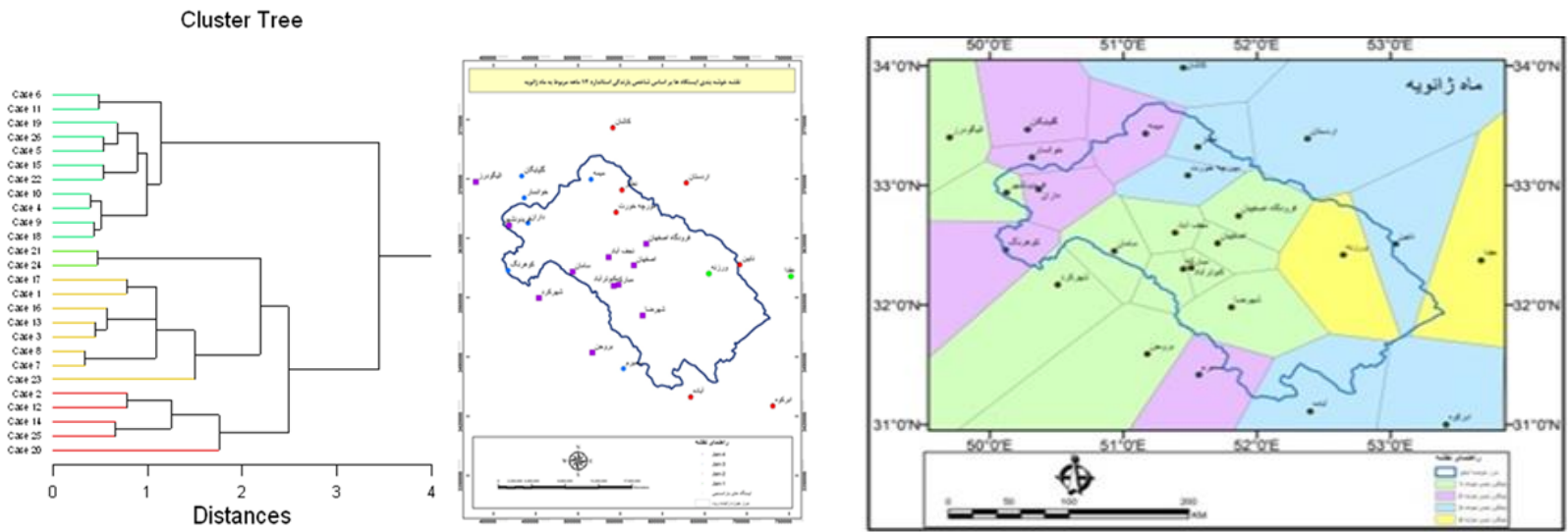
نتایج حاصل از مقایسه نقشه شکل ۱۶ با نقشه ۱ نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین خوشه‌ها مربوط به مناطق پایین‌دست و کم ارتفاع حوزه آبخیز یعنی مناطق شرقی و مرکزی و کوچک‌ترین خوشه‌ها مربوط به ارتفاعات یعنی غرب و سرچشمه، جایی که تغییرات عناصر اقلیمی در مقیاس کم تفاوت بسیاری دارند، می‌باشد که با مطالعه Lashanizand و همکاران (۲۰۱۴)، منطبق است.

همچنین، نقشه‌های طبقات بسیار شدید، شدید و ملایم شدت و فراوانی نسبی خشکسالی شاخص SPI با استفاده از روش کریجینگ جهانی پهنه‌بندی شدند که در شکل ۱۷ نشان داده شده است. بر این اساس، نقشه‌های فراوانی نسبی و شدت خشکسالی شکل ۱۷، حاکی از آن است که حوزه آبخیز گاوخونی در بازه مطالعه در قسمت جنوب و جنوب شرقی یعنی ایستگاه‌های ابرکوه و آباد با خشکسالی بسیار شدید و در شمال حوزه آبخیز یعنی ایستگاه‌های میمه، نطنز، مورچه‌خورت، فرودگاه اصفهان و قسمت‌هایی از اصفهان با خشکسالی ملایم و در بقیه حوضه با فراوانی خشکسالی شدید روبه‌رو بوده است. همچنین، در قسمت جنوبی حوزه آبخیز یعنی ایستگاه‌های ابرکوه و آباد با خشکسالی ملایم و در ایستگاه‌های عقدا، نایین، ورزنه، شهرضا، کبوترآباد، مبارکه، بروجن، سمیرم، شهرکر و کوه‌رنگ با خشکسالی شدید مواجه بوده است و بقیه ایستگاه‌ها نیز با خشکسالی بسیار شدید روبه‌رو بوده‌اند.

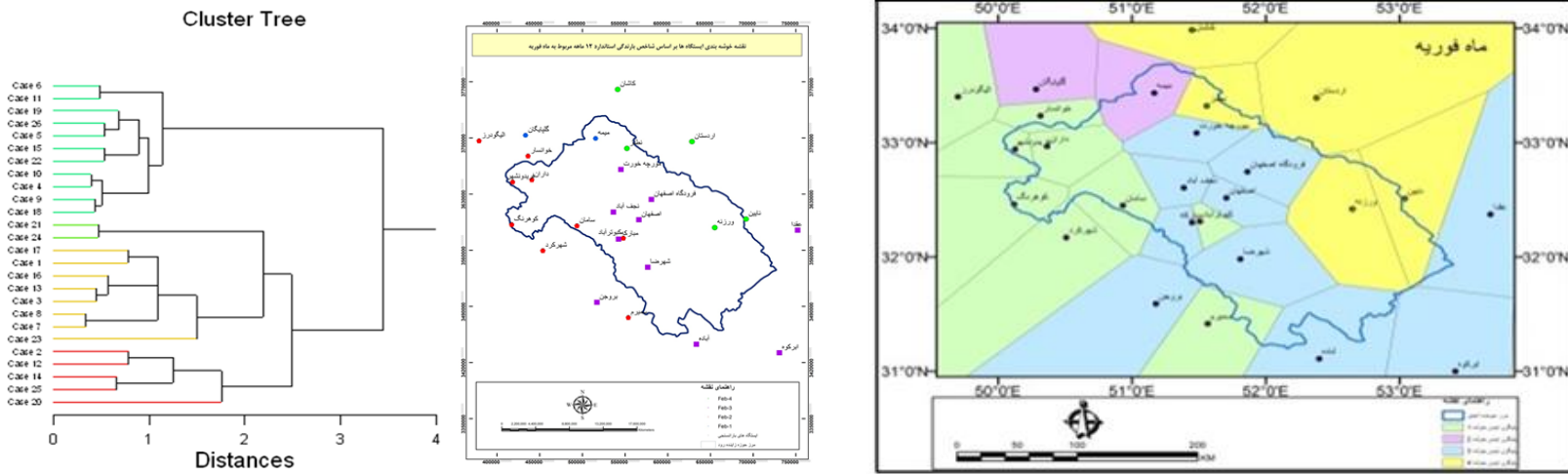
برای هر ماه مربوط به داده‌های SPI حاصل شد. بدین منظور، این داده‌ها برای هر ماه، یعنی ژانویه ۱۲ سال سپس فوریه ۱۲ سال، سپس مارس ۱۲ سال تا دسامبر ۱۲ سال میانگین‌گیری و سپس با کمک نرم‌افزار SPSS SYSTAT خوشه‌بندی شد (شکل‌های ۴ تا ۱۵).

در مرحله بعد، داده‌های نقطه‌ای حاصل جهت تبدیل به پلی‌گون با استفاده از روش‌های پلی‌گون‌های تیسن پهنه‌بندی شد. شکل‌های گراف‌های درختی، نقشه‌های پراکندگی نقطه‌ای ایستگاه‌های هر خوشه و پهنه‌بندی ایستگاه‌ها در نقشه‌های شکل‌های ۴ تا ۱۵ نشان داده شده است. این نقشه‌ها بیانگر پراکندگی مکانی میانگین بلندمدت ۱۲ ساله هر ماه از سال است. همچنین، نقشه‌های شکل‌های ۴ الی ۱۵ نشان می‌دهند که شرایط اقلیمی در مناطق شرقی و شمالی نسبت به شرایط سایر گروه‌ها یکنواخت‌تر است. می‌توان نتیجه گرفت که این شاخص منحصر در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق استان به‌طور محسوسی بالاتر از مناطق دیگر است که نشان‌دهنده خطر بالای مناطق شرقی به لحاظ وقوع خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید است که با نتایج مطالعه Eslamian و همکاران (۲۰۰۶) منطبق است.

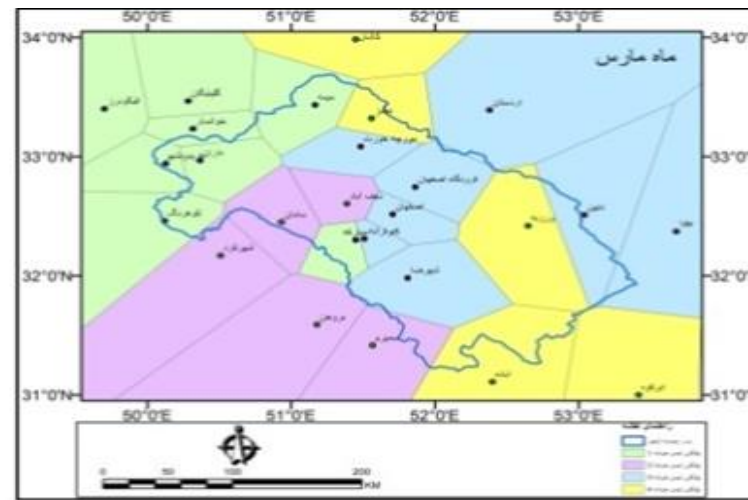
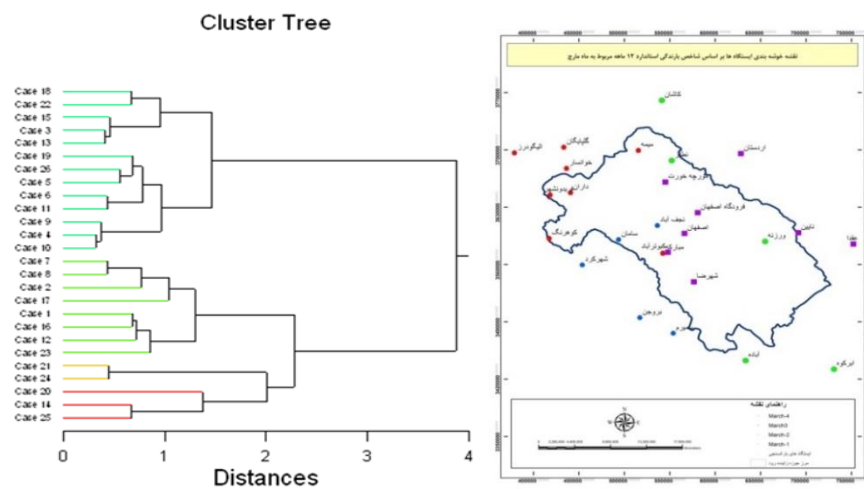
در ادامه، این داده‌ها با استفاده از روش تیسن پلی‌گون‌بندی شد که نقشه حاصل در شکل ۱۶ نشان داده شده است. نقشه شکل ۱۶ نشان می‌دهد که در طی این ۱۲ سال ایستگاه‌های داران، فریدون‌شهر، گلپایگان، خوانسار، کوه‌رنگ، میمه، شهرکرد، سمیرم، سامان و الیگودرز بیشترین شباهت را به هم داشته‌اند و در خوشه ۱ قرار می‌گیرند. همچنین، ایستگاه‌های فرودگاه اصفهان، مبارکه، بروجن، شهرضا، نجف‌آباد، اصفهان، کبوترآباد و مورچه‌خورت بیشترین شباهت به هم را داشته‌اند و در خوشه ۲ قرار می‌گیرند. به علاوه، ایستگاه‌های نایین، نطنز، ابرکوه، اردستان، عقدا، آباد و کاشان بیشترین شباهت را به هم داشته‌اند و در خوشه ۳ قرار می‌گیرند. بر اساس نقشه شکل ۱۶، ایستگاه ورزنه در این ۱۲ سال با هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها شباهت



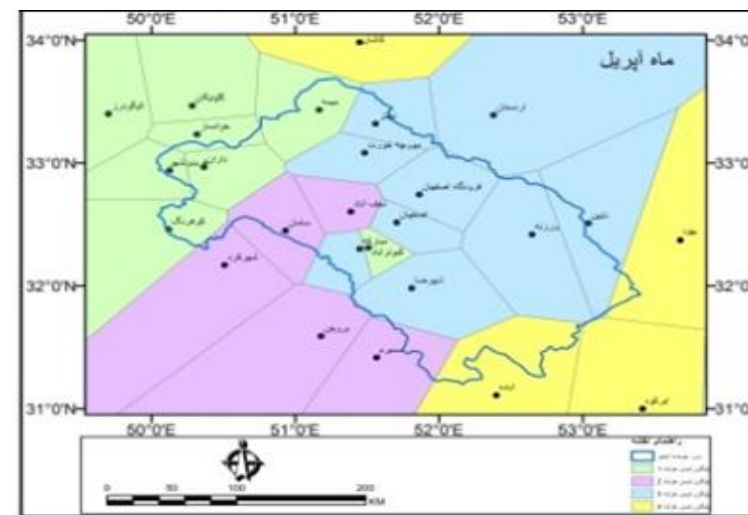
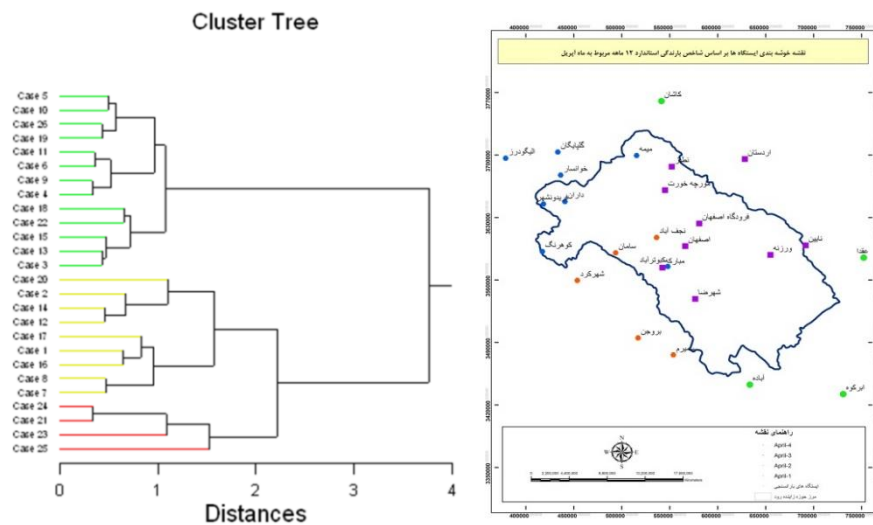
شکل ۴- خوشه‌بندی مکانی-زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه ژانویه ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ- نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست- پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



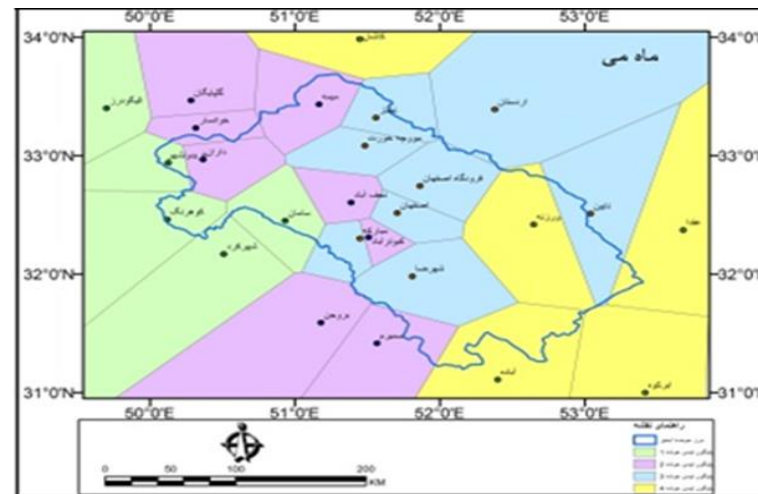
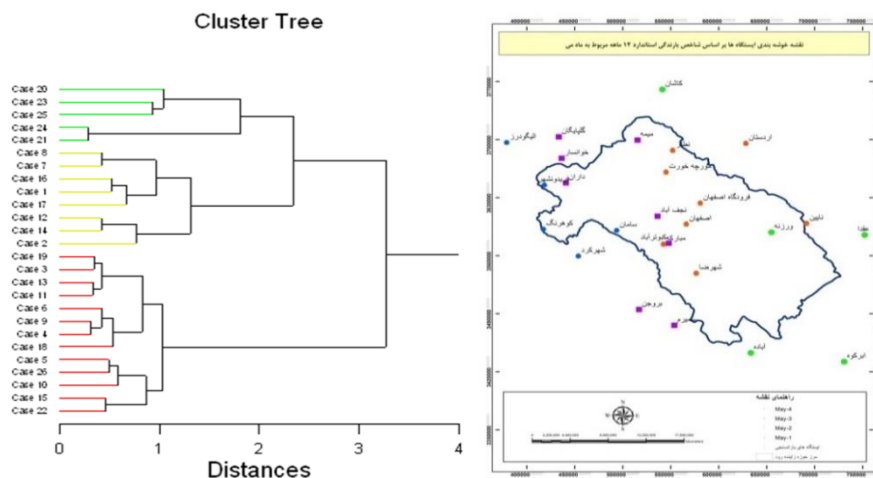
شکل ۵- خوشه‌بندی مکانی-زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه فوریه ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



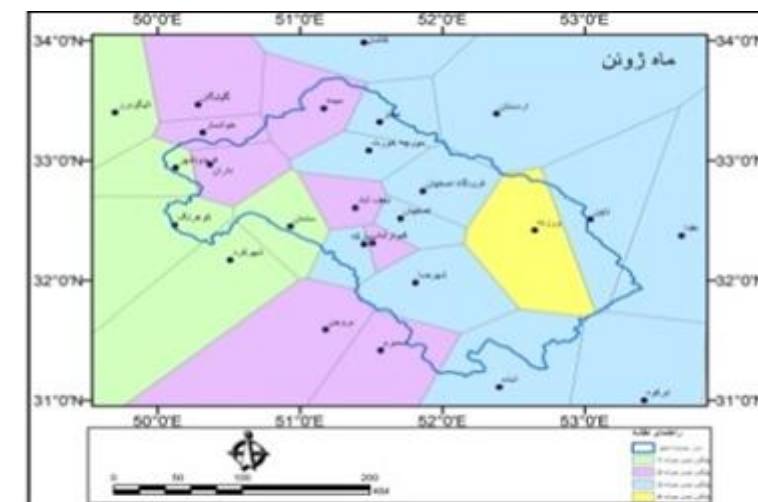
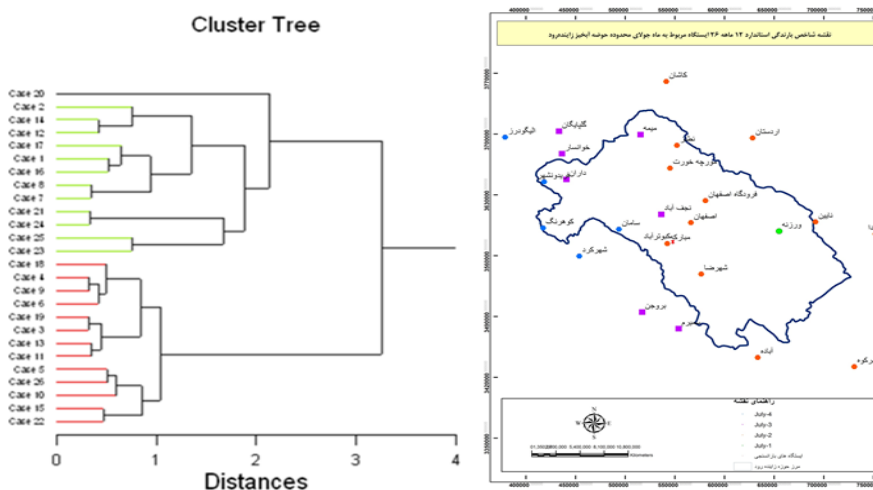
شکل ۶- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه مارس ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



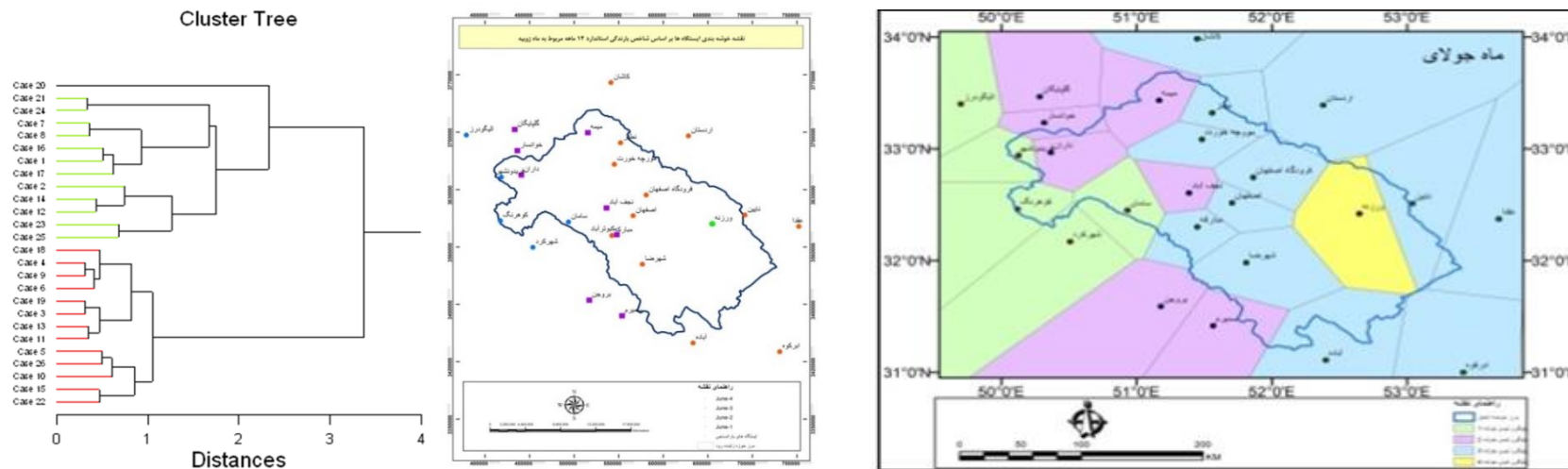
شکل ۷- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه آوریل ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



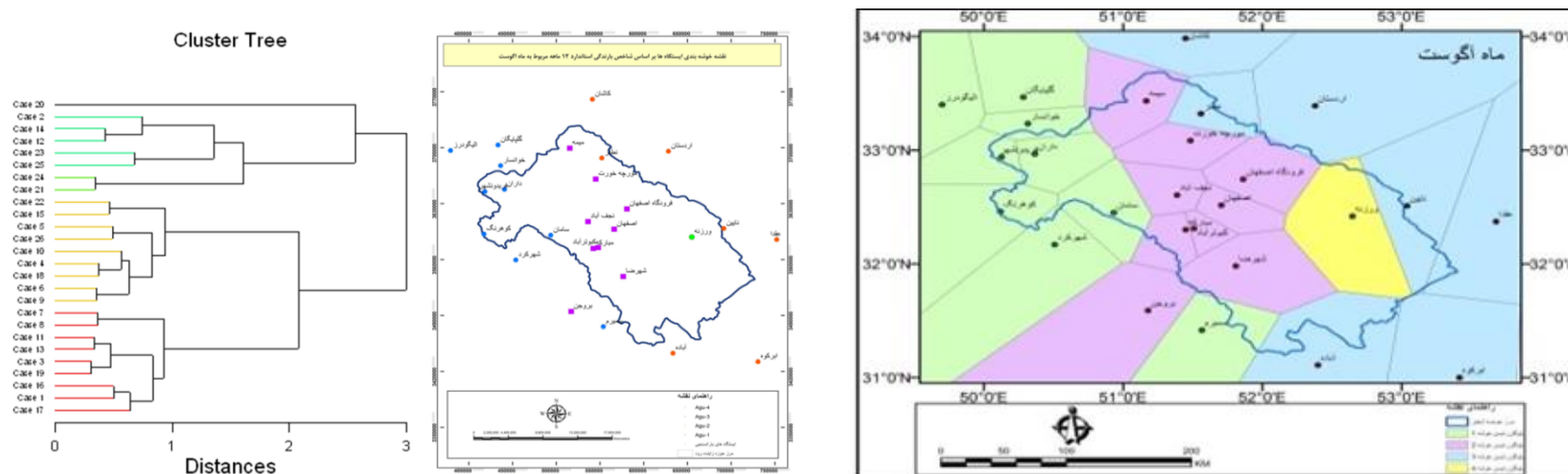
شکل ۸- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



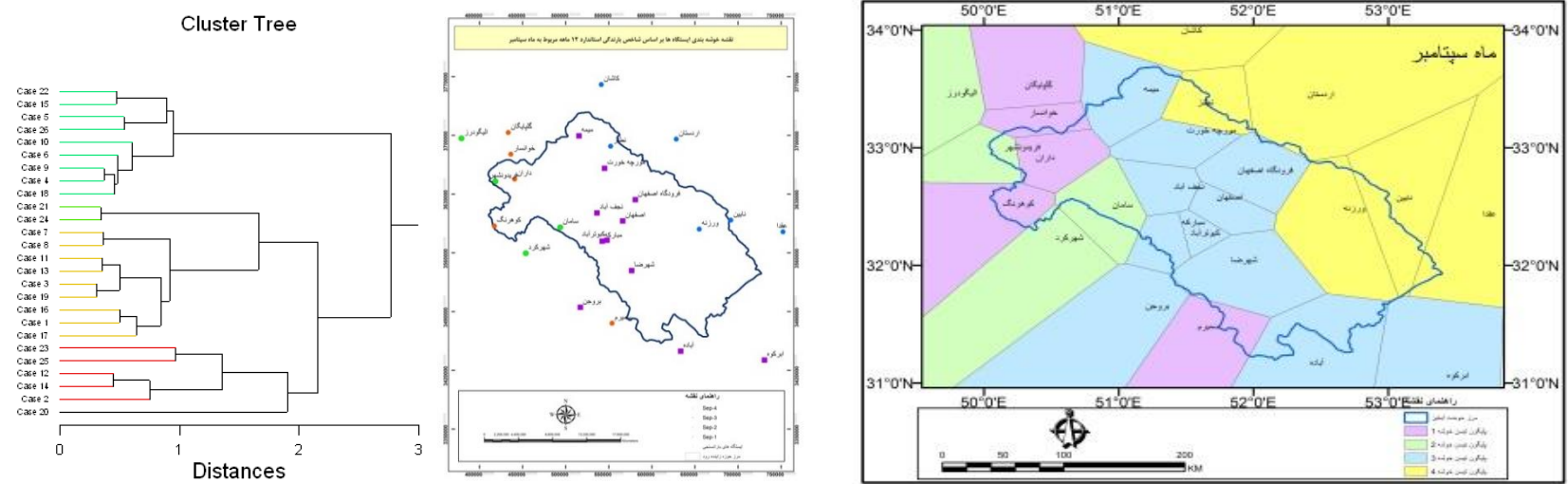
شکل ۹- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه ژوئن ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



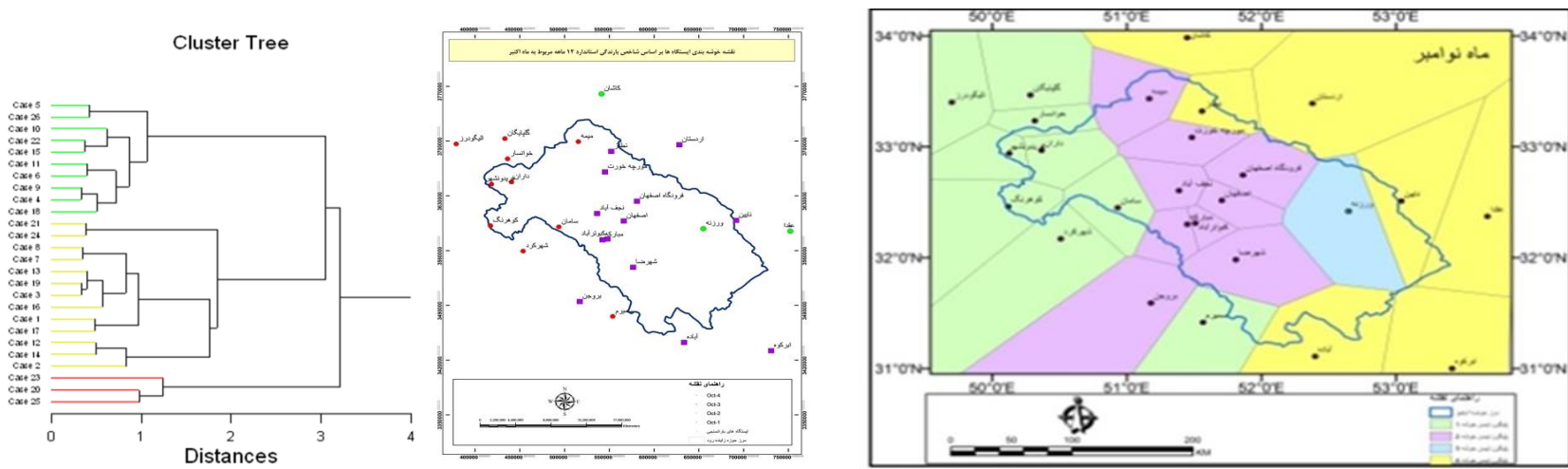
شکل ۱۰- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه ژوئیه ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



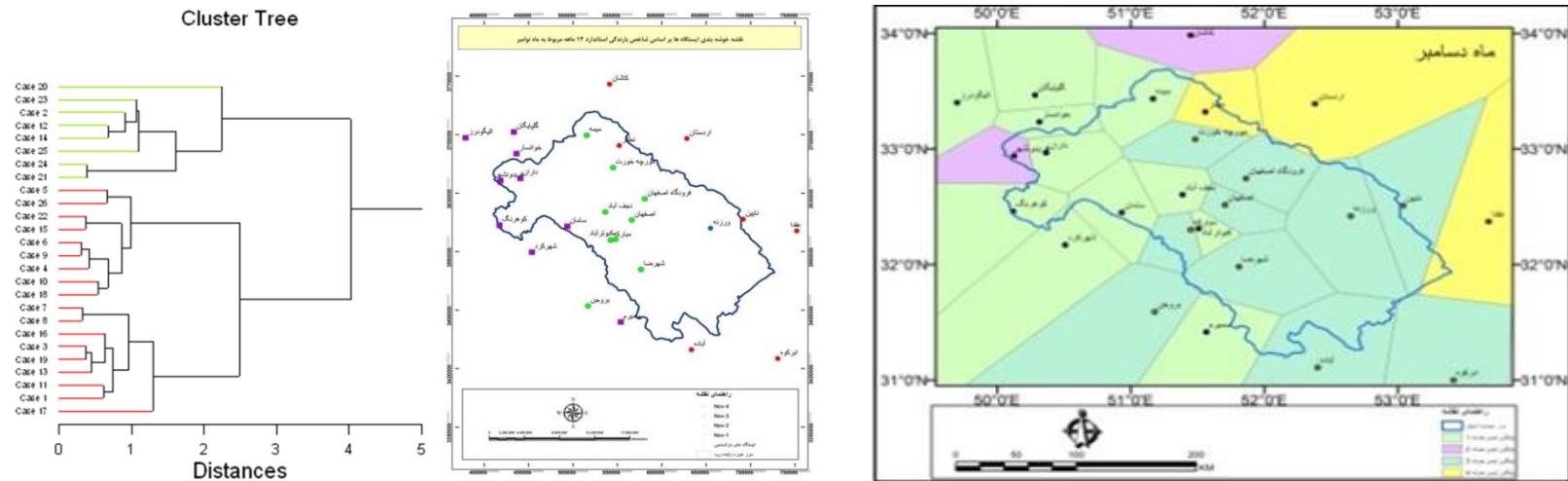
شکل ۱۱- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه اوت ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



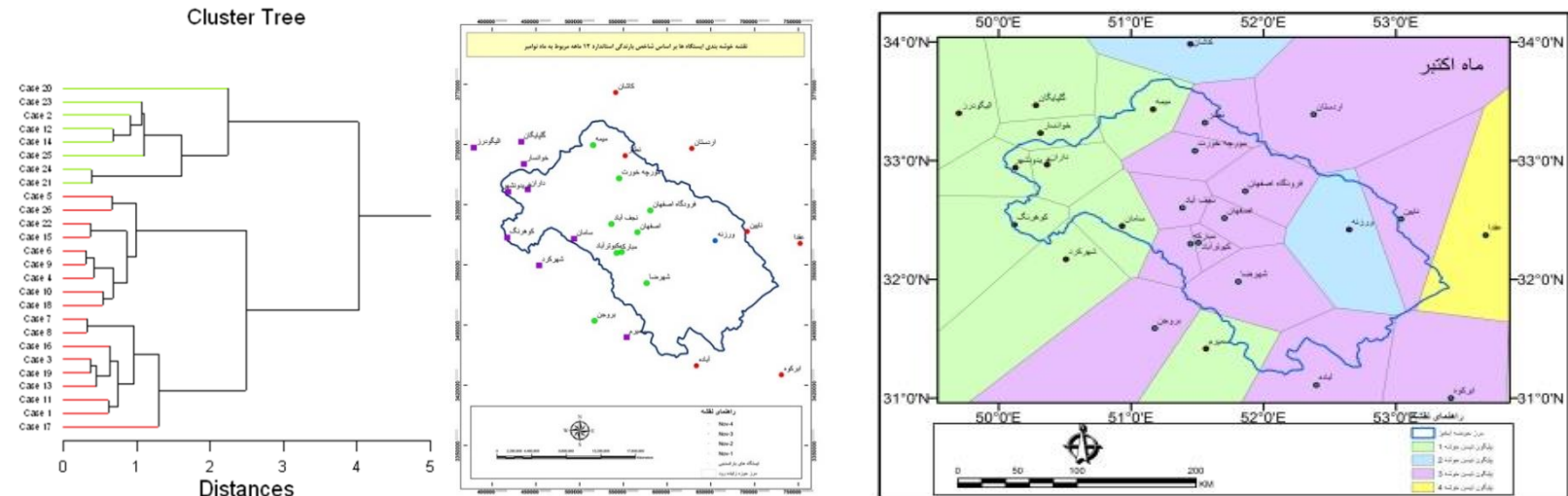
شکل ۱۲- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه سپتامبر ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



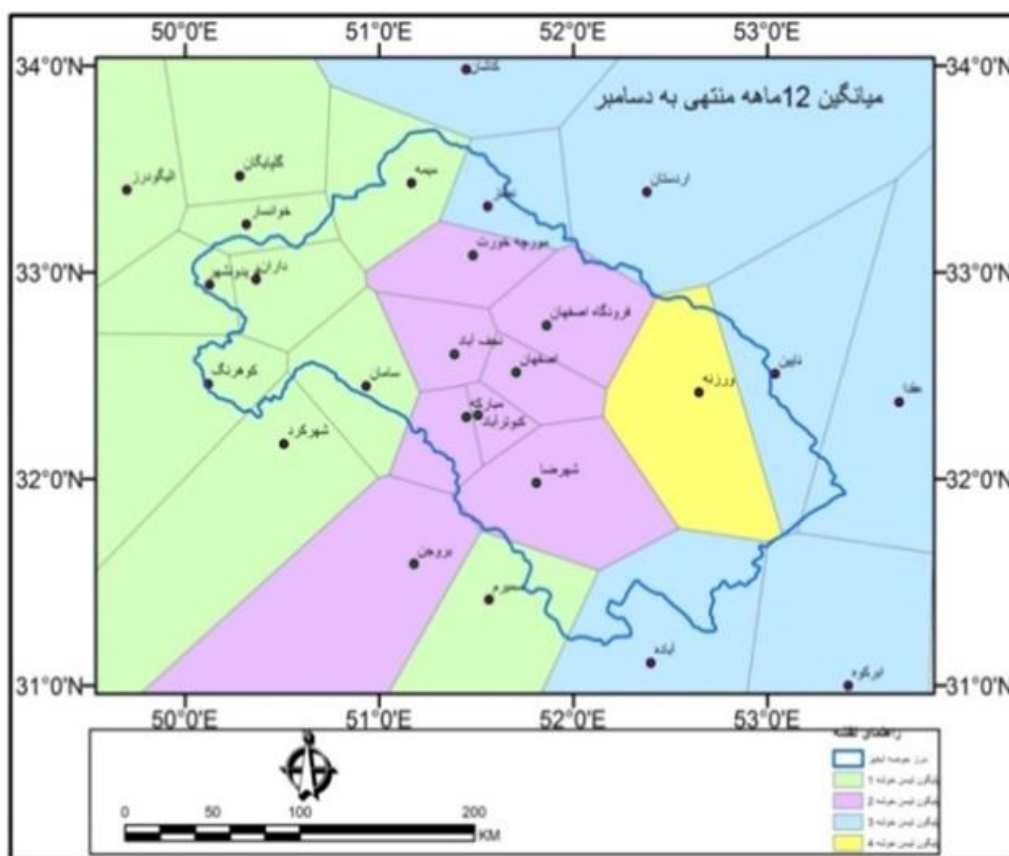
شکل ۱۳- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه اکتبر ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



شکل ۱۴- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه نوامبر ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



شکل ۱۵- خوشه‌بندی مکانی زمانی میانگین ۱۲ ساله ماه دسامبر ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی (شکل چپ: نمودار درختی، شکل وسط نقشه خوشه‌بندی، شکل راست نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌ها)



شکل ۱۶- خوشه‌بندی و درون‌یابی پلی‌گون‌های تیسین داده‌های میانگین ۱۲ ساله SPI ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر ۲۶ ایستگاه محدوده حوزه آبخیز گاوخونی

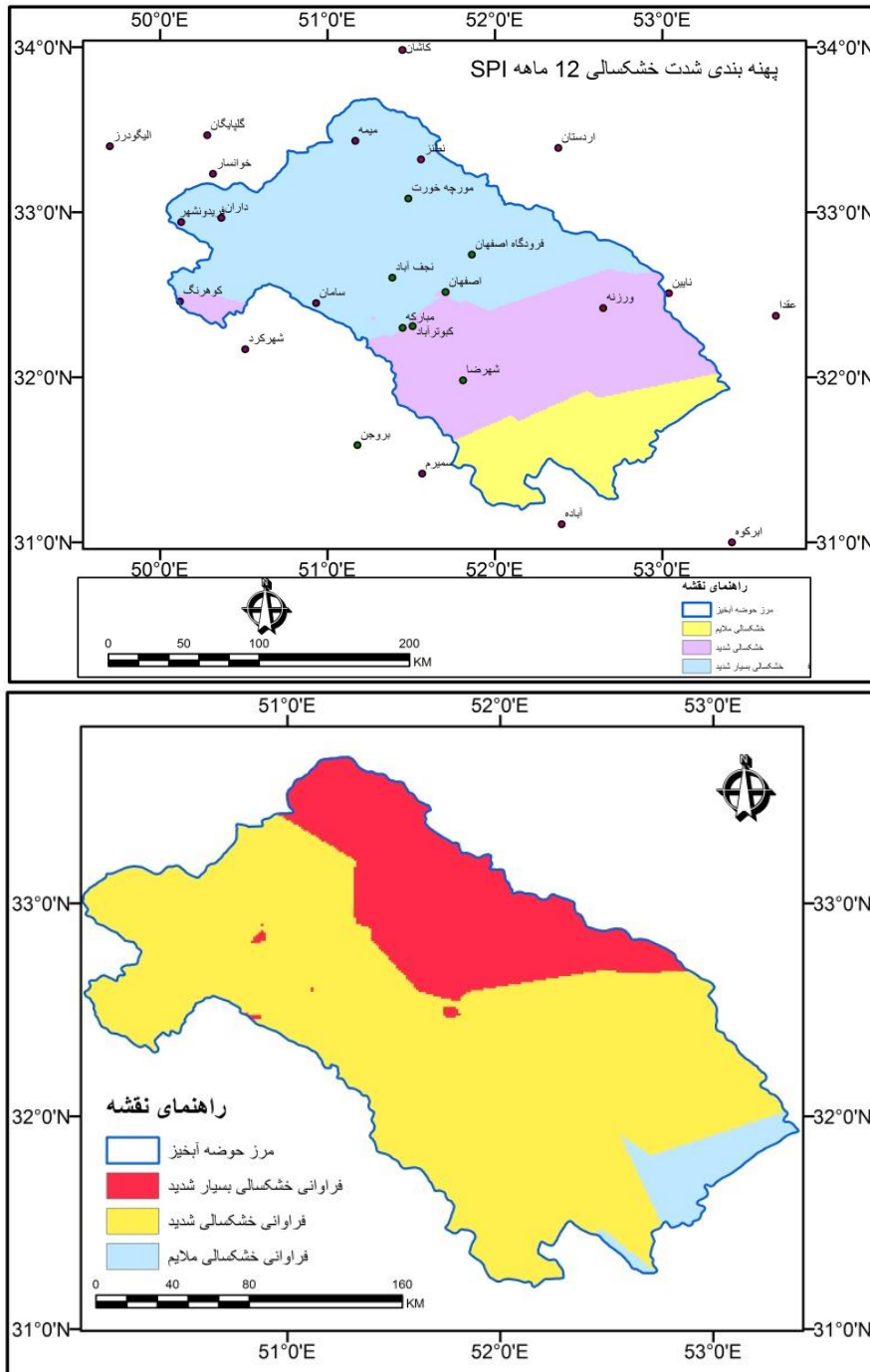
ارتفاع هر ایستگاه مربوط به هر خوشه با استفاده از همبستگی پیرسون محاسبه شد. به عبارتی، همبستگی ارتفاع ایستگاه‌های چهار خوشه حاصل با داده‌های شدت و فراوانی شاخص بارندگی استاندارد ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر محاسبه شد که در جدول ۳ آورده شده است. داده‌های جدول ۳، بر اساس داده‌های بلندمدت ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر گروه‌بندی شدند. بر این اساس، همبستگی ارتفاع با داده‌های شاخص خشکسالی خوشه یک برابر $0/566-$ است. این نشان می‌دهد که ارتفاع ایستگاه‌های این خوشه با داده‌های شاخص خشکسالی همبستگی معنی‌داری دارند که حاکی از آن است که با افزایش ارتفاع خشکسالی کاهش یافته است. در مورد خوشه ۲، همبستگی ارتفاع با داده‌های شاخص خشکسالی خوشه برابر $0/728-$ است. این نشان می‌دهد که ارتفاع ایستگاه‌های این خوشه با داده خشکسالی همبستگی بالا دارد، بدان معنی که با افزایش ارتفاع خشکسالی کاهش یافته است. در مورد خوشه ۳، همبستگی

در ادامه، درصد مساحت پوشیده شده در حوضه به‌وسیله طبقات خشکسالی بسیار شدید، شدید و ملایم و شدت و فراوانی نسبی خشکسالی شاخص SPI حوزه آبخیز گاوخونی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در نمودارهای شکل ۱۸ آورده شده است. نمودارهای شکل ۱۸، حاکی از آن است که در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در حوزه آبخیز $15/43$ درصد با شدت خشکسالی بسیار شدید روبه‌رو شده است. $4/72$ درصد از این حوضه با فراوانی خشکسالی بسیار شدید مواجه شده است. همچنین، $32/55$ درصد با شدت خشکسالی شدید روبه‌رو شده است. $73/76$ درصد از این حوضه دچار خشکسالی بسیار شدید شده است. به‌علاوه، $52/01$ درصد با شدت خشکسالی ملایم روبه‌رو شده است. $4/72$ درصد از این حوضه نیز با فراوانی خشکسالی ملایم مواجه شده است.

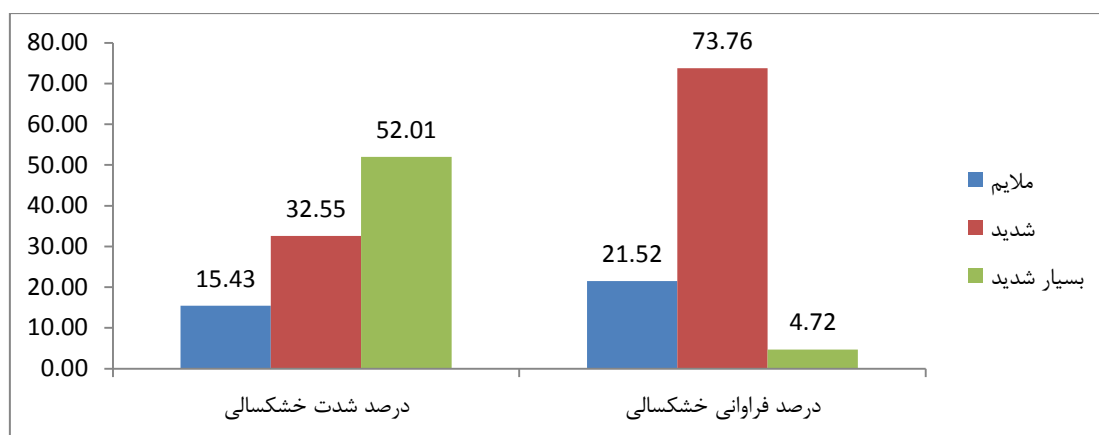
همبستگی پیرسون: برای بررسی رابطه بین ارتفاع خوشه‌های ایستگاهی با احتمال وقوع خشکسالی در آن، رابطه شدت و فراوانی خشکسالی هر ایستگاه با

ارتفاع با شاخص خشکسالی برابر ۰/۷۵۹- می‌باشد. این حاکی از آن است که ارتفاع ایستگاه‌های این خوشه با داده‌های شاخص خشکسالی همبستگی بالا دارد. همبستگی بالا و منفی داده‌های شاخص خشکسالی با ارتفاع بدان معنی است که با افزایش ارتفاع خشکسالی کاهش می‌یابد.

ارتفاع با شاخص خشکسالی برابر ۰/۷۵۹- می‌باشد. این حاکی از آن است که ارتفاع ایستگاه‌های این خوشه با داده‌های شاخص خشکسالی همبستگی بالا دارد. همبستگی بالا و منفی داده‌های شاخص خشکسالی با ارتفاع بدان معنی است که با افزایش ارتفاع خشکسالی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۷- نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین ۱۲ ساله شدت (بالا) و فراوانی نسبی خشکسالی SPI ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر (پایین)، مربوط به ۲۶ ایستگاه در حوزه آبخیز گاوخونی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ به روش کریجینگ جهانی



شکل ۱۸- گراف‌های مساحت طبقات اقلیمی حوزه آبخیز گاوخونی بر اساس داده‌های SPI سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، این حوزه آبخیز، در اصل جزو مناطق کم آب ایران به حساب می‌آید. هر چند اقلیم ارتفاعات منطقه غرب حوضه و سرشاخه رودخانه زاینده‌رود، مرطوب است، اما بررسی داده‌های آماری بارندگی این دوره زمانی ۱۲ ساله نشان می‌دهد که این مناطق نیز از خشکسالی در امان نبوده است. این نتیجه، با مطالعه Raziee و همکاران (۲۰۱۶)، نیز منطبق است. همچنین، پهنه‌بندی نقشه‌های مقادیر شدت خشکسالی و فراوانی نسبی خشکسالی با توجه به تفاوت بسیار زیاد میزان متوسط بارش از سرشاخه‌های حوضه در غرب (۱۵۰۰ میلی‌متر) تا پایاب حوضه در شرق (۵۰ میلی‌متر) این حوزه آبخیز قابل توجیه است.

در این مطالعه، معیار فاصله برای خوشه‌بندی، خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت و ایستگاه‌هایی که فاصله کمتری داشتند، به یکدیگر نزدیک‌تر بوده و به‌وسیله الگوریتم نرم‌افزار به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته شدند. بر همین اساس، همبستگی این داده‌ها با ارتفاع، بررسی شد و مشخص شد که ارتفاع ایستگاه‌های هر چهار خوشه با داده‌های شاخص شدت خشکسالی بالا بود. در حالی که، این مولفه تنها با داده‌های فراوانی نسبی خشکسالی خوشه ۴ همبسته بودند. این مساله به دلیل پست بودن حوضه به‌جز در سرشاخه‌ها منطقی است. به‌عبارتی، توزیع زمانی و مکانی بارندگی، تأثیرپذیری زیادی از تغییرات ارتفاع دارد که با نتیجه مطالعه Siabi و Sanaee-Nezhad (۲۰۱۳) هماهنگی دارد.

از آن‌جا که در این مطالعه ۱۲ ساله، بیشترین میزان

خشکسالی‌های حوضه در زمستان‌ها در ماه‌های اکتبر و نوامبر که معمولاً دارای بیشینه بارش است، رخ داده و با توجه به این‌که در سیر وقوع مراحل خشکسالی اصولاً ابتدا خشکسالی هواشناسی نمایان می‌شود و در پی آن به‌ترتیب خشکسالی‌های کشاورزی، هیدرولوژیکی و نهایتاً اقتصادی-اجتماعی حادث می‌شوند، لذا، خشکسالی کنونی در این حوضه، با توجه به طولانی شدن دوره از مرحله خشکسالی هواشناسی عبور کرده، به مرحله خشکسالی کشاورزی و پس از آن هیدرولوژیکی رسیده است. این مسئله نشانگر بحران جدی و گسترده در این حوضه است. با توجه شرایط حوضه آبخیز به می‌توان گفت که وضعیت از مرحله هشدار برای کشاورزان و مدیران منطقه هم عبور کرده و می‌تواند به ورشکستگی آبی منجر شود. که تنها عزم جدی همگانی به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح و تلاش در جهت افزایش بهره‌وری آب را می‌طلبد. این مسأله، توجه و برنامه‌ریزی اضطراری و هرچه سریع‌تر مسئولان و اجرای سختگیرانه قوانین را دو صد چندان روشن می‌کند.

از نتایج پژوهش حاضر می‌توان گفت که تحلیل خوشه‌بندی روش مناسبی برای تحلیل داده‌های خشکسالی است، زیرا، ابزاری برای اکتشاف ساختار داده‌هاست. با این حال، نتایج حاصل از اعمال الگوریتم‌های خوشه‌بندی روی یک مجموعه داده با توجه به انتخاب‌های پارامترهای الگوریتم‌ها می‌تواند بسیار متفاوت از یکدیگر باشد. برای مطالعات آینده، استفاده از شاخص‌های مهم مانند ضریب تبیین و t^2 در انتخاب تعداد خوشه‌ها توصیه می‌شود.

جدول ۳- همبستگی ارتفاع ۲۶ ایستگاه محدوده مطالعه با خوشه‌های شاخص SPI منتهی به دسامبر

خوشه‌ها	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	شدت خشکسالی	همبستگی ارتفاع خوشه با شدت خشکسالی	فراوانی خشکسالی	همبستگی ارتفاع خوشه با فراوانی خشکسالی
۱	داران	۲۲۹۰	-۱/۹۴	-۰/۵۶۶	۰/۰۷۶	-۰/۲۴۵
	فریدون شهر	۲۴۹۰	-۱/۶۷		۰/۰۹	
	گلپایگان	۱۸۷۰	-۱/۷		۰/۰۷۶	
	خوانسار	۲۳۰۰	-۱/۸		۰/۰۸۳	
	کوه‌رنگ	۲۳۶۵	-۱/۶۴		۰/۰۷۶	
	میمه	۱۹۸۰	-۱/۶۰		۰/۰۷	
	شهرکرد	۲۰۵۰	-۱/۶۲		۰/۰۶۳	
	سمیرم	۲۴۵۹/۹	-۲/۰۴		۰/۰۸۳	
	سامان	۲۰۷۵	-۱/۵۰۵		۰/۰۷	
	الیگودرز	۲۰۲۲/۱	-۱/۴۰۹		۰/۷	
۲	فرودگاه اصفهان	۱۵۵۱/۹	-۱/۸۶	-۰/۷۲۸	۰/۱۲۵	۰/۰۷۱
	مبارکه	۱۶۸۰/۲	-۱/۸۵		۰/۱۰	
	بروجن	۲۲۶۰	-۲/۰۸		۰/۰۷۶	
	شهرضا	۱۸۵۸	-۱/۸۱		۰/۰۸۳	
	نجف‌آباد	۱۶۳۶/۲	-۱/۷۳		۰/۰۲۱	
	اصفهان	۱۵۵۰/۴	-۱/۵۸		۰/۱۰	
	کیوترآباد	۱۵۴۲/۵	-۱/۳۷		.	
	مورچه خورت	۱۶۷۳	-۱/۵۸		۰/۰۹	
	نایین	۱۵۷۳/۷	-۱/۷۲		۰/۰۸۳	
	نطنز	۱۶۸۵	-۱/۴۳		۰/۰۴۱	
۳	ابرکوه	۱۵۲۳/۸	-۱/۸۳	-۰/۷۵۹	۰/۱۶	۰/۵۹۵
	اردستان	۱۲۵۵/۵	-۱/۲۰		.	
	عقدا	۱۱۵۰	-۱/۲۱		۰/۰۷۶	
	آیاده	۲۰۳۰	-۱/۸۹		۰/۰۸۳	
	کاشان	۹۵۵	-۱/۳۹		۰/۰۶۲	
۴	ورزنه	۱۴۵۰	-	-	-	-

منابع مورد استفاده

1. Ali-Bakhshi, S.M., M. Mahdavi and Sh. Khalighi. 2010. Rainfall depth-duration simulation curve and effect of the height in Tehran Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(2): 102-110 (in Persian).
2. Alijani, B. 2011. Spatial analysis of daily temperatures and precipitation in Iran. *Journal of Applied Geographical Sciences Research*, 17(20): 26-38 (in Persian).
3. Agnew, C. and A. Warren. 1996. A framework for tackling drought and land degradation. *Journal of Arid Environments*, 33: 309-320.
4. Eslamian, S., R. Modarres and S. Soltani. 2006. Spatial Grouping of drought using standardized precipitation index in Isfahan Province. *Ab Va Fazelab*, 57: 72-75 (in Persian).
5. Lashanizand, M., K. Payamani, S. Ahmadi and I. Veis-Karami. 2014. Ecological climate zonation of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(2): 175-189 (in Persian).
6. Mahini, A.R. and M.R. Kamyab. 2012. *Applied remote sensing and GIS with IDRISI*. 2nd Edition, Mehr Mahdis Publisher, 596 Pages (in Persian).
7. Matkan, A.K, R. Darvishzadeh, A. Hosseini-Asl, M. Ebrahimi-Khosfi and Z. Ebrahimi Khosfi. 2011. Zoning risk of drought in arid environments using basic knowledge of GIS, case study: Sheytur Basin, Yazd. *Researchs of Climatology*, (5 and 6): 104-116 (in Persian).
8. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 2014. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, (American Meteorological Society, Boston, MA, USA), 179-183.
9. Mirahsani, M.S., A.R. Mahini, A.R. Soffianian, R. Modarres, R. Jafari and J. Mohhamadi. 2017. Regional drought monitoring in Zayandeh-rud Basin based on time series variations of the SPI and Satellite-based VCI Indices. *Geography and Environmental Disasters*, doi:10.22067/geo.v6i4.6260, In Press (in Persian).
10. Rezaee Pazhand, H. 2011. Application of statistics and probability in water resources. *Publications of Sokhan Gostar*, 281-419 (in Persian).
11. Raziee, T. 2016. Study of drought in arid and semi-arid region of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(4): 363-378 (in Persian).
12. Soltani, S. and S. Saadati. 2007. Drought zoning in Isfahan Province using SPI. *Watershed Management Science and Engineering*, 1(2): 64-67 (in Persian).
13. Soltani, S. and R. Modarres. 2006. Analysis of frequency and intensity of drought in Isfahan Province. *Manabe Tabiee Iran*, 59(1): 15-26 (in Persian).
14. Shamshirband, S., M. Gocić, D. Petković, H. Javidnia, S.H. Hamid, Z. Mansor and S.N. Qasem. 2015. Clustering project management for drought regions determination: a case study in Serbia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200: 57-65.
15. Siyabi, N. and H. Sanaee-Nejad. 2016. Combining geostatistical methods to increase accuracy of classification and climatic zoning of the climate North East. *Researchs of Climatology*, 1392(15): 32-81 (in Persian).
16. Sluiter, R. 2009. Interpolation methods for climate data literature review. KNMI, De Bilt, Official Website.
17. Svoboda, M., M. Hayes and D. Wood. 2012. *Standardized precipitation index user guide*. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
18. WMO (World Meteorological Organization). 1975. *Droughts and Agriculture*. WMO Technical Note 138.
19. Yoo, J., H. Kwon, T. Kim and J. Ahn. 2012. Drought frequency analysis using cluster analysis and bivariate probability distribution. *Journal of Hydrology*, 420: 102-111.
20. Zare-Zadeh, M. and S. Morid. 2011. Drought monitoring using dam reservoir and meteorological indices, case study of Zayandeh-rud system of Isfahan. *Journal of Water and Soil*, (42): 19-26 (in Persian).

Spatio-temporal monitoring of meteorological drought based on the zoning of station clusters

**Marziye Sadat Mirahsani^{*1}, Reza Moddare², Abdolrasol Salman Mahini³, Alireza Soffianian⁴,
Reza Jafari⁵ and Jahangir Mohhamadi⁶**

¹ PhD Student, Faculty of Environment and Fishery, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Environment and Fishery, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ³ Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Iran, ⁴ Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Iran, ⁵ Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Iran and ⁶ Assistant Professor, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05 April 2017

Accepted: 11 September 2017

Abstract

Gavkhuni Basin has a vital role in Iran's poetry, biomass, agriculture, industry and tourism, faced with drought problems. Clustering approach can be a management approach to reduce drought risk impacts which groups the members with regard to the division based on the Euclidean Distance of stations. In this research, the approach of determining the spatial-temporal distribution of drought clusters in watersheds is used to express variations based on precipitation precipitation index (SPI) parameters of stations, which depends on the probability of precipitation for any time scale. Since the maximum spatial distribution of the meteorological stations in the region and the maximum time period of the long-term and possible long-term statistical period were considered the same, the data of 26 stations from 12 years (2003 to 2014) was used as reference data. In this regard, the 12 months SPI index was first calculated. Then, the 12-month SPI index, which ended in December, was used for cluster analysis of the SPI, and then 144 data were clustered into four groups. Further, zoning analysis was performed on data clusters. Then, the relationship between elevations as an effective landform factor in drought with SPI drought index cluster was investigated using correlation of variables. SPI correlation with mean height of each cluster stations was studied and the results were compared and analyzed. The results of the SPI drought fluctuation chart showed a very severe drought in 2008 and 2009 and 2010, and severe drought in 2010 and mild drought in 2003, 2005 and 2013. Also, 12-month SPI drought data showed a high and negative correlation with height data. Consequently, spatial-temporal monitoring of drought indicators clusters is recommended as a way to manage the impacts of drought risk.

Keywords: Clustering, Correlation, Elevation, SPI, Thiesen Polygons

* Corresponding author: mmirahsani@gmail.com