

خوشه‌بندی پهنه جغرافیایی ایران از لحاظ رخداد خشکسالی‌های بلندمدت هواشناسی

منیره فغانی^{1*}، خلیل قربانی²، میثم سالاری جزی³

تاریخ دریافت: 1394/12/10 تاریخ پذیرش: 1395/7/10

چکیده

شناخت مناطق همگن از لحاظ وضعیت رخداد خشکسالی در طول زمان، این امکان را فراهم می‌کند علاوه بر درک وسعت منطقه‌ای خشکسالی‌ها، نحوه تاثیر سیستم‌های موثر بر بارش در مناطق مختلف را شناسایی کرد. بر اساس این مفهوم در این پژوهش از آمار و اطلاعات بلندمدت 26 ساله داده‌های بارش 120 ایستگاه سینوپتیک که در کل پهنه جغرافیایی ایران توزیع شده، استفاده شد. برای محاسبه شدت خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در پنجره زمانی 12، 24، 48 ماهه محاسبه و به منظور پهنه‌بندی خشکسالی از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده شد. شبکه مکانی نقاطی به فواصل مکانی 10 کیلومتر 10 کیلومتر ایجاد شده و برای نقاط این شبکه، مقادیر درون‌یابی شده SPI توسط نرم‌افزار GIS استخراج گردید. ماتریس تشکیل شده تحت سناریوهای مختلف (یک‌سالانه، دوسالانه، چهارسالانه) به روش K میانگین خوشه‌بندی و تعداد پهنه خوشه‌ها به روش ضریب نیم‌رخ محاسبه شدند. نتایج نشان داد که پهنه جغرافیایی ایران از لحاظ تغییرات زمانی خشکسالی‌های بلندمدت یک‌سالانه، دوسالانه، چهارسالانه به ترتیب به 9، 9 و 12 خوشه دسته‌بندی می‌شود و با طولانی شدن پنجره زمانی، از تعداد خوشه‌ها کاسته می‌شود. همچنین در تمامی این خوشه‌بندی‌ها، استان‌های شمالی حاشیه دریای خزر، هر یک در خوشه‌های جداگانه قرار داشتند و همچنین جنوب شرقی ایران که از رژیم بارشی موسمی تبعیت می‌کند، خوشه‌های جداگانه‌ای را به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی - مکانی، خشکسالی، خوشه‌بندی k میانگین، شاخص بارش استاندارد شده

مقدمه

اجتماعی-اقتصادی به جای خواهد گذاشت و گاه اثرات غیرمستقیم و مضر آن تا حدی است که می‌تواند به بحران جهانی تبدیل شوند (کاوای، 1380). کشور ایران با قرار گرفتن در منطقه خشک و بیابانی با بارشی حدود یک سوم بارش جهانی و نوسان‌های شدید مکانی و زمانی بارش، از آن دسته کشورهایی است که خسارات فراوانی را از لحاظ خشکسالی در گستره‌های مختلف، به ویژه طی دهه‌های اخیر متحمل شده است. در سال‌های اخیر محققان به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی شاخص‌های مختلفی را ارائه کردند و هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به کارگیری نوع متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوت، طراحی شده‌اند (Richard & Heim., 2002). (Rouault and Richard., 2003) با استفاده از شاخص بارش استاندارد، گسترش مکانی و شدت خشکسالی، جنوب آفریقا را در مقیاس‌های 3 ماهه، 6 ماهه و 12 ماهه بررسی کردند و دریافتند که این شاخص ابزار مناسبی برای پایش گسترش مکانی و شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه است. (Lukas and Giddings et al., 2004؛ Vasililiades., 2004؛ Bhuiyan., 2004؛ Hung et al., 2005؛ 2005) برای پایش خشکسالی در نقاط مختلف دنیا، از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند و این شاخص را یک ابزار قوی برای مطالعه خشکسالی معرفی نمودند. (پیرمردیان و

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین مشکلات را نه تنها در مدیریت منابع آب، بلکه در مسائل اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌کند اما تاکنون مساله تعریف، شناسایی و پیش‌بینی آن حل نشده است (Machlica and Stojkovova., 2008). بنابراین ارائه یک تعریف واحد برای خشکسالی بسیار مشکل می‌باشد چرا که بسته به تفاوت‌های اقلیمی، نیازها و نظام‌های موجود و راهبردهای اتخاذ شده در نقاط مختلف می‌توان تعاریف متفاوتی از پدیده خشکسالی ارائه نمود که بیش از 150 تعریف از آن در جهان وجود دارد (Wilhite and Glantz., 1985). با این حال خشکسالی در صورت تداوم، خسارات بسیار گسترده‌ای را در جنبه‌های کشاورزی، هیدرولوژیک و

- 1- دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 - 2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 - 3- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- * - نویسنده مسئول: (Email: monir.faghani@yahoo.com)

داد که بر حسب مقدار و زمان دریافت بارش در ایران، هشت ناحیه بارشی متمایز وجود دارد. (حیدری و علیجانی، 1378) با استفاده از 49 متغیر اقلیمی در 43 ایستگاه سینوپتیک کشور و با به کارگیری تکنیک‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، شش قلمرو اقلیمی کشور به همراه زیر قلمروهای آن‌ها را مشخص نمودند. (مروتی، 1392) با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و درون‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی و خوشه‌بندی به روش وارد 9 منطقه هم رفتار از لحاظ خشکسالی در ایران را شناسایی نمود. در این پژوهش مناطقی از پهنه جغرافیایی ایران که از لحاظ وضعیت خشکسالی در پنجره‌های زمانی بلندمدت یک‌سالانه (12 ماهه)، دوسالانه (24 ماهه)، چهارسالانه (48 ماهه)، شرایط نزدیک به یکدیگر را دارند، بطور جداگانه خوشه‌بندی و مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

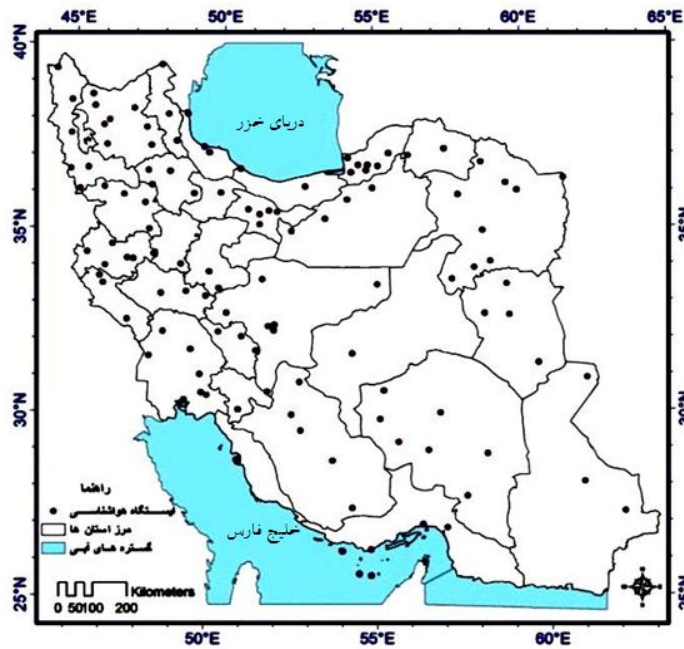
منطقه مطالعاتی در این پژوهش کشور ایران می‌باشد. ایران از کشورهای آسیای غربی است و در منطقه خاورمیانه و نیز آسیای مرکزی و قفقاز واقع شده است. ایران به علت موقعیت خاص و ویژگی‌های توپوگرافیک، از آب‌وهوای متفاوتی برخوردار است. واقع شدن ایران بر روی کمربند بیابانی و عمل فرونشینی هوا در این کمربند، این منطقه را در مقایسه با کره زمین به سرزمینی خشک بویژه در نواحی پست شرقی و داخلی تبدیل کرده است. ویژگی عمده پراکنش بارندگی در ایران، آن است که بارش سالانه در سطح کشور هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی اختلاف چشمگیری نشان می‌دهد. این نحوه پراکنش زمانی-مکانی بارش در ایران متاثر از پراکنش سامانه‌های گردش جوی جهانی می‌باشد که کم‌ترین تغییر در الگوی آن، ناهنجاری‌های شدید آب‌وهوایی را به دنبال می‌آورد. از این رو وقوع بارش در مناطق مختلف کشور یکسان نیست و دارای تغییرات زمانی-مکانی است. بنابراین مشخص است که ویژگی‌های آب‌وهوایی ایران از جمله بارش، تنها به شرایط محلی بستگی ندارد بلکه عواملی دیگر تحت عنوان عوامل بیرونی منطقه‌ای و سیاره‌ای سامانه گردش جوی بر نوسانات عناصر آب‌وهوایی ایران، از جمله بارش موثر است که میزان بارندگی متوسط سالانه ایران حدود 250 میلی‌متر و دامنه تغییرات آن 50 تا 2000 میلی‌متر در سال می‌باشد (علیزاده، 1381).

داده‌های مورد نیاز

در این پژوهش از داده‌های 120 ایستگاه سینوپتیک متعلق به سازمان هواشناسی کشور، طی دوره آماری 26 ساله (1390-1365) که از پراکنش مناسبی برخوردار بودند، بعد از تخمین داده‌های حذف

همکاران، 1387) مقادیر شاخص بارش استاندارد را در مقیاس‌های زمانی 6، 12، 24 ماهه جهت تعیین شدت خشکسالی ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان فارس محاسبه کردند و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با طولانی شدن دوره خشکسالی و تداوم آن، دو عامل شدت و گستره مکانی خشکسالی افزایش می‌یابند. از آنجایی که شاخص‌های خشکسالی به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌شوند، لازم است تا به منظور بررسی وسعت خشکسالی، به صورت مکانی نیز پردازش شده و نقشه‌های مربوطه به آن ارائه گردند (آخری و همکاران، 1385). فرآیند برآورد پارامترهای مختلف هواشناسی بر اساس مناطق نمونه بردای شده، در مکان‌هایی که فاقد این اطلاعات باشند، درون‌یابی فضایی نامیده می‌شود (فرجی و عزیز، 1385). (Sun et al., 2000; Touazi et al., 2004) روش زمین‌آمار کریجینگ را جهت تبدیل داده‌های نقطه‌ای شدت خشکسالی به سطح مناسب دانسته‌اند. (انصاری و داوری، 1386) نشان دادند که در چهار روش مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ روش مناسبی برای درون‌یابی و در نهایت پهنه‌بندی شدت دوره‌های خشک است. (حمیدیان پور و همکاران، 1392) به منظور پایش و تحلیل فضایی خشکسالی در استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که، بهترین روش برای درون‌یابی شدت خشکسالی شاخص SPI، روش کریجینگ عمومی می‌باشد. (سبحانی و همکاران، 1392) به منظور الگوسازی بارش، از روش‌های زمین‌آمار استفاده کردند و بر اساس نتایج حاصله، دریافتند که روش درون‌یابی کریجینگ و IDW از بقیه روش‌ها مناسب‌تر است. محققان به منظور تحلیل‌های مکانی و زمانی خشکسالی و شناسایی مناطق همگن اقلیمی در مقیاس‌های مکانی متفاوت از انواع روش‌های خوشه‌بندی استفاده می‌کنند. در سال‌های اخیر شمار پژوهش‌های اقلیمی که به کمک تحلیل‌های چند متغیره، به خصوص تحلیل خوشه‌ای انجام شده باشد رو به افزایش است. (Santos et al, 2010) جهت ارزیابی الگوی مکانی-زمانی شاخص خشکسالی SPI از روش‌های خوشه‌بندی K میانگین و تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده کردند. (Romero et al, 1999) طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی پدیدآورنده بارش‌های سنگین در اسپانیا را به روش خوشه‌بندی انجام دادند. (Gocic & Trajkovic, 2014) به بررسی خصوصیات مکانی-زمانی خشکسالی در صربستان به روش خوشه‌بندی ادغامی بر اساس داده‌های 29 ایستگاه همدیدی طی یک دوره آماری 60 ساله پرداختند. برای این منظور از شاخص SPI و روش تحلیل مولفه‌های اصلی جهت تشخیص الگوی خشکسالی استفاده کردند و صربستان را به 3 خوشه متفاوت از لحاظ شرایط وقوع خشکسالی تقسیم‌بندی کردند. (مسعودیان، 1384) نواحی بارشی ایران را با روش خوشه‌بندی شناسایی کرد و با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی فواصل اقلیدی ماتریس 366×5214 ، به روش ادغام وارد نشان

شده و کنترل کیفیت آماری داده‌ها، به عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1- منطقه و شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی

دست آوردن تابع احتمال تجمعی بارندگی برای ماه مورد نظر و مقیاس زمانی معین در ایستگاه تحت بررسی، استفاده می‌شود. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z یا SPI با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. در تقسیم‌بندی‌های قبلی، وضعیت نمایه خشکسالی SPI به سه طبقه تقسیم بندی می‌شد ولی اخیراً به پنج طبقه تقسیم شده است (جدول 1).

جدول 1- طبقات نمایه خشکسالی SPI (بذر افشان، 1381)

ویژگی بارشی	نماد	مقادیر نمایه
بسیار تر	SP1	بزرگتر از 1/5
تر	SP2	1 تا 1/5
نرمال	SP3	-1 تا 1
خشک	SP4	-1/5 تا -1
بسیار خشک	SP5	کمتر از -1/5

روش‌های درون‌یابی و پهنه‌بندی خشکسالی

به روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده، در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده نشده‌اند، درون‌یابی می‌گویند. در واقع درون‌یابی، تغییرات پیوسته‌ی فضایی را به صورت یک سطح تعریف شده مجسم می‌سازد که به دو

محاسبه شاخص بارش استاندارد¹ (SPI)

به منظور تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است. شاخص بارش استاندارد بر اساس نمایه اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش پیشنهاد شد (McKee et al., 1993). اساس نمایه بارش استاندارد بر طبق محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. تنها ورودی مورد نیاز برای محاسبه شاخص بارش استاندارد، داده‌های بارندگی ماهانه یا هفتگی است. شاخص بارش استاندارد از بهترین و جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه‌ی خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. این نمایه صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس زمانی چندگانه طراحی شده است. محاسبه شاخص بارش استاندارد، شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی کل بارندگی برای یک ایستگاه معین می‌باشد. سپس، پارامترهای α و β مربوط به تابع چگالی احتمال گاما برای هر ایستگاه، در هر مقیاس زمانی و برای هر ماه سال برآورد می‌شود در مرحله بعد، از پارامترهای $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ برای به

1- SPI: Standardized Precipitation Index

خوشه‌بندی، به هر داده یک درجه تعلق، به ازای هر خوشه نسبت داده می‌شود. ولی در روش خوشه‌بندی قطعی پس از خوشه‌بندی، هر داده دقیقاً به یک خوشه تعلق می‌گیرد. روش‌های قطعی به دو نوع سلسله مراتبی⁹ و تفکیکی تقسیم می‌شوند. در روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی، به خوشه‌های نهایی بر اساس میزان عمومیت آن‌ها ساختاری سلسله مراتبی، معمولاً به صورت درختی نسبت داده می‌شود که به این درخت سلسله مراتبی دندوگرام¹⁰ می‌گویند. روش سلسله مراتبی نیز به دو نوع شکافتی¹¹ و ادغامی¹² تقسیم می‌شود. در روش خوشه‌بندی شکافتی ابتدا تمام داده‌ها به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند و سپس طی یک فرآیند تکراری در هر مرحله داده‌هایی که شباهت کم‌تری به هم دارند به خوشه‌های مجزا شکسته می‌شوند و این روال تا رسیدن به خوشه‌هایی که دارای یک عضو هستند ادامه پیدا می‌کند. به این روش خوشه‌بندی، روش از بالا به پایین¹³ نیز گفته می‌شود. در خوشه‌بندی ادغامی ابتدا هر داده به عنوان خوشه‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود و در طی فرآیندی تکراری در هر مرحله خوشه‌هایی که شباهت بیش‌تری با یکدیگر دارند ترکیب می‌شوند تا در نهایت یک خوشه و یا تعداد مشخصی خوشه حاصل شود. به این روش خوشه‌بندی از پایین به بالا¹⁴ نیز گفته می‌شود. روش‌های پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند متوسط، میانه، مبتنی بر مرکز و وارد از روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی ادغامی می‌باشند. در روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص است که به این روش، روش مرکزگرا¹⁵ نیز گفته می‌شود. در روش‌های مرکزگرا فرض بر آن است که خوشه‌ها به صورت شکل‌های محدب هستند و مرکز خوشه نماینده خوبی برای آن خوشه می‌باشد. بنابراین روش‌های مرکزگرا گزینه مناسبی برای پیدا کردن خوشه‌هایی با شکل‌های اختیاری نیستند. روش k میانگین، k مدوید، kمد، k احتمال و x میانگین از انواع روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی می‌باشند. روش k میانگین اولین بار توسط (Macqueen., 1967) ارائه شد. این روش علی‌رغم سادگی آن یک روش پایه برای بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی دیگر (مانند خوشه‌بندی فازی) محسوب می‌شود. تعداد خوشه‌ها در این روش ثابت و از پیش تعیین شده است و این روش برای خوشه‌بندی داده‌هایی طراحی شد که به صورت عددی (کمی) باشند و خوشه دارای مرکزی به نام میانگین باشد. در این روش ابتدا اشیا به صورت تصادفی به k خوشه تقسیم می‌شوند و

شیوه قطعی و زمین‌آمار انجام می‌شوند. در روش‌های قطعی برای درون‌یابی از توابع ریاضی استفاده می‌شود که بعضی از روش‌های درون‌یابی شامل درون‌یابی فاصله معکوس وزن‌دار¹ (IDW)، روش تابع شعاعی² (RBF)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی³ (LPI) و درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی⁴ (GPI) می‌باشند. درون‌یاب‌های زمین‌آمار بر مبنای تئوری متغرات ناحیه‌ای پایه‌گذاری شده است و به توابع ریاضی و آماری متکی است. این درون‌یاب‌ها از مدل واریوگرام (تغییرنما) برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده استفاده می‌کنند مانند روش کریجینگ که یک روش تخمین آماری است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، برآورد می‌کند رابطه 1. این روش بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین گر خطی ناریب⁵ با کم‌ترین پراش تخمین است. این تخمین گر اختلالات ناشی از تمرکز زیاد نقاط اندازه‌گیری را به طور خودکار رفع می‌کند. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی، خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود (اقدسی، 1383).

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (1)$$

$Z^*(x_i)$: مقدار برآورد در نقطه X_i ; λ_i : وزن مربوط به متغیر Z ،
 $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

خوشه‌بندی

خوشه‌بندی یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت می‌باشد و فرآیند خودکاری است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند که به این دسته‌ها خوشه⁶ گفته می‌شود. فرآیند خوشه‌بندی شامل تهیه ماتریس داده‌ها، تبدیل مقیاس و استاندارد کردن داده‌ها، محاسبه ماتریس مجاورت (فاصله یا شباهت)، اعتبار و اجرای یک روش خوشه‌بندی، اعتبار سنجی می‌باشد. به طور کلی روش‌های خوشه‌بندی به دو دسته کلی، فازی⁷ و قطعی⁸ تقسیم می‌شوند. در خوشه‌بندی فازی پس از

8- Crisp or Hard

9- Hierarchical

10- Dendrogram

11- Divisive

12- Agglomerative

13- Top-Down

14- Bottom-Up

15- Centerbased methods

1- IDW: Inverse Distance Weighted

2- RBF: Radial Basis Functions

3- LPI: Local Polynomial Interpolation

4- GPI: Global Polynomial Interpolation

5- Best Linear Unbiased Estimator

6- Cluster

7- Fuzzy

خوشه خودش نزدیک‌تر است تا به خوشه همسایه‌اش، در واقع بیانگر خوب بودن طبقه‌بندی است و زمانی که $s(i)$ نزدیک به 1- باشد به این مفهوم است که فاصله شی i با خوشه خودی زیاد و همسایه کم است و گویای نامناسب بودن طبقه‌بندی است. زمانی که $s(i)$ نزدیک به صفر باشد روشن نیست که این شی باید در خوشه خودش قرار گیرد یا همسایه. در نمودار نیم‌رخ، $s(i)$ به صورت میله‌هایی افقی نمایش داده می‌شود که برای هر خوشه به ترتیب نزولی است و همچنین ابزاری برای سنجش کیفیت خوشه‌بندی می‌باشد و پژوهش‌گر می‌تواند با دیدن آن تمایزی بین خوشه‌های به طور کامل مجزا و نه چندان مجزا قائل شود.

آماده‌سازی داده‌ها جهت انجام تحلیل خوشه‌ها

در این پژوهش، پس از محاسبه شاخص خشکسالی SPI در پنجره‌های زمانی مختلف، این مقادیر در پنجره‌های زمانی 12، 24، 48 ماهه هر یک از 26 سال داده موجود برای کل پهنه جغرافیایی ایران، در اندازه شبکه، گرید ده کیلومتری، پهنه‌بندی شدند. مقادیر هر یک از گریدهای نقشه رستری طی سال‌های مختلف استخراج و ماتریس مکانی-زمانی، از سری زمانی داده‌های استخراج شده از نقشه‌های رستری تهیه شد. سطرهای ماتریس را هر یک از گریدها و ستون‌های ماتریس را مقادیر شاخص خشکسالی طی دوره زمانی 26 سال تشکیل دادند. در محیط نرم‌افزار مطلب، و بر اساس کد موجود، ماتریس تشکیل شده فراخوانی و پس از تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از روش ضریب نیم‌رخ، هر یک از گریدها با روش k میانگین خوشه‌بندی و نقشه رستری آن‌ها برای هر یک از پنجره‌های زمانی 12، 24، 48 ماهه ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خشکسالی

به منظور پهنه‌بندی خشکسالی، روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط Arc Gis مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمون بر روی شدت خشکسالی در پنجره‌های زمانی 12، 24، 48 ماهه انجام شد (جدول 2). نتایج نشان داد در بین روش‌های مختلف درون‌یابی مورد استفاده، روش کریجینگ بر اساس کم‌ترین ریشه میانگین مربعات خطا، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی خشکسالی است. بر این اساس نقشه‌های شدت خشکسالی به روش درون‌یابی کریجینگ استخراج شدند.

نتایج حاصل از خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی‌های

سالانه

در این پژوهش وضعیت خشکسالی‌ها در پنجره‌های زمانی 12، 24، 48 ماهه به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

در گام بعد فاصله هر یک از اشیا از مرکز خوشه خود محاسبه می‌شود. در صورتی که فاصله شی مورد نظر از میانگین خوشه خود زیاد و به خوشه دیگری نزدیک‌تر باشد، این شی به خوشه‌ای که نزدیک‌تر است اختصاص می‌یابد. این کار آنقدر تکرار می‌شود تا تابع خطا حداقل شود و یا اعضای خوشه‌ها تغییر نکنند. اگر D مجموعه داده‌ها با n شی باشد، c_1, c_2, \dots, c_k بیانگر k خوشه مجزای D باشند، در این صورت تابع خطا (EF) که مجموعه فواصل هر شی از مرکز خوشه خودش تعریف می‌شود از رابطه 2 به دست می‌آید.

$$EF = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} d(x, \mu(C_i)) \quad (2)$$

که در آن μ نشان دهنده مرکز (میانگین) خوشه، و $d(x, \mu(C_i))$ فاصله هر شی از مرکز خود است. فاصله هر شی از خوشه خود می‌تواند بر پایه اقلیدسی یا روش‌های دیگر محاسبه شود (مؤمنی، 1390).

ارزیابی و تعداد بهینه خوشه‌ها

به دلیل اینکه خوشه‌بندی فرآیند غیرنظارتی است و بسیاری از روش‌های آن به شدت تحت تاثیر مفروضات اولیه‌شان هستند، لازم است ارزیابی در مورد نتایج خوشه‌بندی در تحقیقات کاربردی صورت پذیرد تا اعتبار آن تایید شود. در واقع یکی از ارکان مهم در مسئله خوشه‌بندی آن است که تعداد بهینه خوشه‌ها را مشخص کنیم. روش‌های مختلفی برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها ارائه شده است. یکی از این روش‌ها ترسیم نمودار و تعیین ضریب نیم‌رخ است. به طور کلی، نمودار نیم‌رخ 2 بر پایه ماتریس عدم تشابه بنا نهاده شده است و ابزاری برای خوشه‌بندی است (Rousseuw., 1987). همچنین شاخصی به نام شاخص نیم‌رخ به وسیله روسیوف (1987) ارائه شده است که مقادیر این شاخص از 1 تا 1- تغییر می‌کند. شاخص نیم‌رخ برای شی i از رابطه 3 و 4 محاسبه می‌شود:

$$b(i) = \min_c d(i, c) \quad (3)$$

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\text{Max}\{a(i), b(i)\}} \quad (4)$$

$a(i)$: متوسط فاصله شی i با خوشه A ; $b(i)$: متوسط فاصله شی i با خوشه B ; $s(i)$: شاخص نیم‌رخ برای شی i ; $d(i, c)$: فاصله شی i با خوشه c ; $\min_c d(i, c)$: کم‌ترین میانگین فاصله شی i با همه اشیا خوشه c

هرچقدر $s(i)$ به 1+ نزدیک‌تر باشد نشان می‌دهد که شی i به

1. Validity
2. Silhouette plot

جدول 2- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بر اساس ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

SPI 48	SPI 24	SPI 12	انواع روش‌های درون‌یابی
0/77	0/88	0/99	وزن عکس فاصله
0/84	0/82	0/91	چندجمله‌ای سراسری با درجه 1
0/85	0/81	0/90	چندجمله‌ای سراسری با درجه 2
0/76	0/80	0/91	چندجمله‌ای سراسری با درجه 3
0/72	0/81	0/91	چندجمله‌ای موضعی با درجه 1
0/85	1/01	1/13	چندجمله‌ای موضعی با درجه 2
8/19	9/8	18/61	چندجمله‌ای موضعی با درجه 3
0/74	0/84	0/92	اسپیلاین
0/71	0/79	0/86	کریجینگ معمولی

خوشه‌بندی مکانی بر اساس وضعیت خشکسالی یک‌سالانه (12 ماهه)

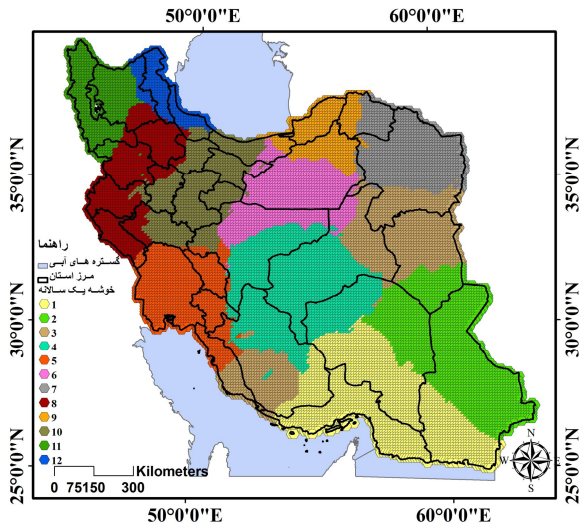
خوشه‌بندی مکانی بر اساس وضعیت خشکسالی دوسالانه (24 ماهه)

تعداد بهینه خوشه‌ها در سناریو دوسالانه بر اساس ترسیم نمودار نیم‌رخ، 9 خوشه بدست آمد (شکل 4). از طرفی همچنین خوشه استان سیستان و بلوچستان بیشترین فاصله را با بقیه خوشه‌ها دارد (جدول 4). بیش‌تر این خوشه‌ها در غرب و شمال غرب کشور قرار دارند. نکته قابل توجه آن است که وضعیت خشکسالی در استان گلستان، خراسان شمالی و رضوی و قسمتی از استان سمنان در یک خوشه قرار می‌گیرد و این استان شمالی با دیگر استان‌های شمالی کشور شامل گیلان و مازندران، رفتار متفاوتی را از لحاظ وقوع یا عدم وقوع خشکسالی نشان می‌دهد (شکل 5).

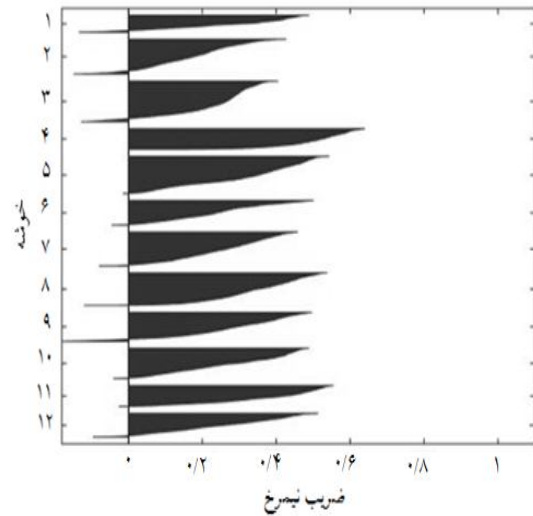
تعداد بهینه خوشه‌ها در سناریو یک‌سالانه بر اساس ترسیم نمودار نیم‌رخ، 12 خوشه می‌باشد (شکل 2). در بین خوشه‌ها، خوشه جنوب‌شرقی ایران (استان سیستان و بلوچستان) بیشترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها دارد (جدول 3). وضعیت خشکسالی در 3 استان شمالی کشور در یک خوشه قرار نمی‌گیرد. بر این اساس وقوع خشکسالی در هر یک از این استان‌ها دلیلی بر وقوع یا عدم وقوع خشکسالی در دیگر استان‌های کشور نیست. در نیمه جنوبی کشور نیز 5 خوشه متفاوت وجود دارد و این به دلیل نوع رژیم بارش آن است که بارش آن از نوع مانسون بوده و از سمت هندوستان و دریای عمان نشأت می‌گیرد (شکل 3).

جدول 3- ماتریس فاصله بین مراکز خوشه‌ها در خشکسالی یک‌سالانه

خوشه 1	خوشه 2	خوشه 3	خوشه 4	خوشه 5	خوشه 6	خوشه 7	خوشه 8	خوشه 9	خوشه 10	خوشه 11	خوشه 12
0	1/55	2/07	2/22	2/98	2/75	2/76	2/85	3/55	3/48	3/41	3/38
1/55	0	1/89	2/65	3/01	3/02	3/03	3/46	3/65	3/75	3/77	3/71
2/07	1/89	0	1/74	1/98	1/76	1/8	2/7	2/71	2/86	2/58	2/42
2/22	2/65	1/74	0	2/04	1/6	2/12	2/36	2/84	2/78	2/57	2/4
2/98	3/01	1/98	2/04	0	1/82	2	1/9	2/72	1/97	2/15	1/82
2/75	3/02	1/76	1/6	1/82	0	1/74	2/02	2/15	1/81	2/13	2/02
2/76	3/03	1/8	2/12	2	1/74	0	2/27	2/3	2/39	2/11	1/74
2/85	3/46	2/7	2/36	1/9	2/02	2/27	0	2/87	1/51	1/42	1/7
3/55	3/65	3/02	2/84	2/72	2/15	2/3	2/87	0	2/82	2/77	2/56
3/48	3/75	1/98	2/78	1/97	1/81	2/39	1/51	2/82	0	2	1/96
3/41	3/77	2/58	2/57	2/78	2/15	2/11	1/42	2/77	2	0	1/37
3/38	3/71	2/42	2/4	2/98	2/75	2/76	2/85	3/55	3/48	3/41	3/38



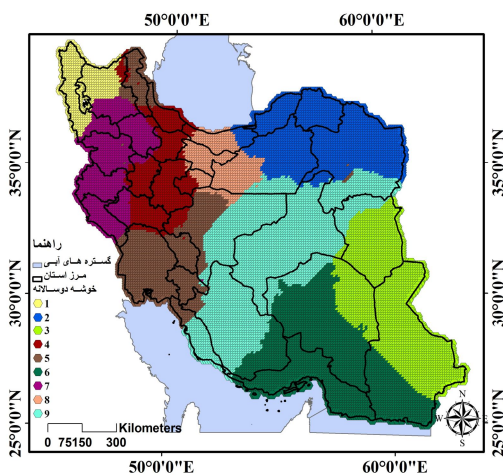
شکل 3- خوشه‌بندی زمانی-مکانی خشکسالی یک‌سالانه



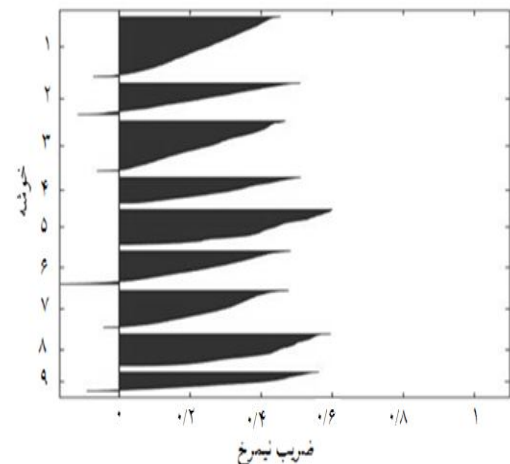
شکل 2- نمودار نیم‌رخ یک‌سالانه

جدول 4- ماتریس فاصله بین مراکز خوشه‌ها در خشکسالی دوسالانه

خوشه 1	خوشه 2	خوشه 3	خوشه 4	خوشه 5	خوشه 6	خوشه 7	خوشه 8	خوشه 9
خوشه 1	0	2/19	3/53	0/93	1/62	2/13	2/93	1/83
خوشه 2	2/19	0	2/99	2/09	2/13	3/36	1/55	3/28
خوشه 3	3/53	2/99	0	3/03	1/35	3/1	3/26	1/94
خوشه 4	0/93	2/09	3/52	0	3/3	1/29	1/14	1/57
خوشه 5	1/62	2/13	3/03	1/21	0	2/91	1/49	1/98
خوشه 6	2/93	3/36	1/35	2/91	0	2/59	3/02	1/79
خوشه 7	2/13	3/1	3/26	1/29	2/59	0	1/49	1/6
خوشه 8	3/28	1/55	1/94	1/49	3/02	1/49	0	1/6
خوشه 9	1/83	3/28	1/94	1/57	1/98	1/79	1/6	0



شکل 5- خوشه‌بندی زمانی-مکانی خشکسالی دوسالانه



شکل 4- نمودار نیم‌رخ دوسالانه

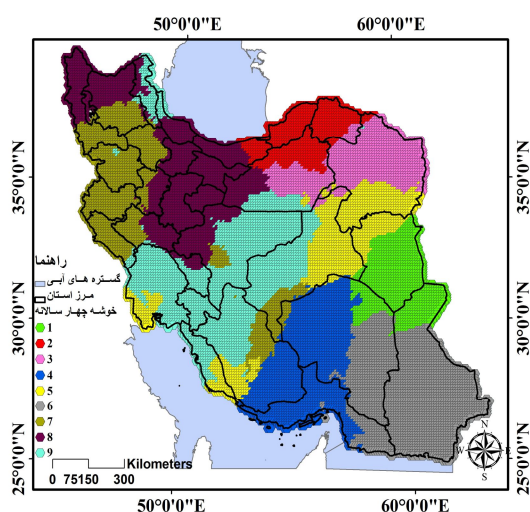
نیم‌رخ، 9 خوشه بدست آمد (شکل 6). در این مورد نیز، خوشه استان سیستان و بلوچستان بیش‌ترین فاصله را با بقیه خوشه‌ها دارد (جدول 5). شرایط خشکسالی در استان گلستان از دیگر استان‌های شمالی کشور متمایز است.

خوشه‌بندی مکانی بر اساس وضعیت خشکسالی چهارسالانه (48 ماهه)

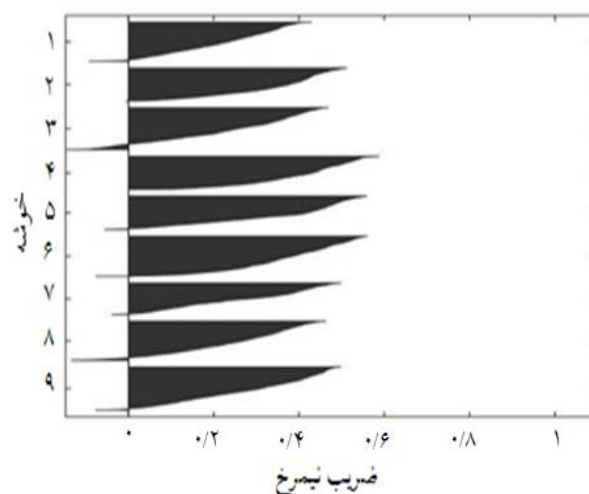
تعداد بهینه خوشه‌ها در سناریو چهارسالانه بر اساس ترسیم نمودار

جدول 5- ماتریس فاصله بین مراکز خوشه‌ها در خشکسالی چهارسالانه

خوشه 1	خوشه 2	خوشه 3	خوشه 4	خوشه 5	خوشه 6	خوشه 7	خوشه 8	خوشه 9
خوشه 1	0	3/26	2/18	1/4	1/55	1/24	3/06	2/58
خوشه 2	3/26	0	1/5	3/04	2/25	3/93	2/02	1/99
خوشه 3	2/18	1/5	0	2/13	1/21	2/94	1/54	1/39
خوشه 4	1/4	3/04	2/13	0	1/73	1/31	2/7	2/16
خوشه 5	1/55	2/25	1/21	1/73	0	2/48	1/89	1/23
خوشه 6	1/24	3/93	2/94	1/31	2/48	0	3/72	3/21
خوشه 7	3/06	2/02	1/54	1/73	2/48	3/72	0	1/08
خوشه 8	2/58	1/99	1/39	2/16	1/23	3/21	1/08	0
خوشه 9	2/58	1/99	1/39	2/16	1/23	3/21	1/08	0



شکل 7- خوشه‌بندی زمانی-مکانی خشکسالی چهارسالانه



شکل 6- نمودار نیم‌رخ چهارسالانه

سیستم‌های بارش‌زا بستگی دارد به طوری که در سال‌هایی که سیستم‌های بارش‌زا از شمال اروپا وارد ایران می‌شوند چینش خوشه‌ها به صورت شمال غربی - جنوب شرقی است و در سال‌هایی که سیستم‌های بارش‌زا از سمت غرب وارد کشور می‌شوند چینش خوشه‌ها غربی - شرقی می‌باشند.

2. استان‌های شمالی ایران شامل گیلان، مازندران و گلستان برخلاف انتظار با توجه به سرسبزی و پرباران‌تر بودن نسبت به دیگر مناطق کشور، در سناریوهای تعریف شده یک‌سالانه، دوسالانه و چهارسالانه در 3 خوشه مختلف قرار داشتند و البته مرز خوشه‌ها منطبق بر مرز سیاسی نمی‌باشد.

3. در تمامی خوشه‌بندی‌ها جنوب شرقی ایران که تحت تاثیر رژیم بارشی موسمی (مانسون) می‌باشد در خوشه‌ای جداگانه قرار دارد و فقط تحت سناریوهای مختلف، وسعت این خوشه تغییر می‌کند به طوری که در برخی از سناریوها تا نیمه‌های استان کرمان را نیز شامل

این استان بیش‌تر با استان خراسان شمالی و شمال استان سمنان هم‌گروه و در یک خوشه می‌باشد (شکل 7). نتایج این پژوهش را می‌توان با پژوهش مروتی (1392) مقایسه کرد که ایشان نیز کل پهنه جغرافیایی ایران را با استفاده شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و درون‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی و خوشه‌بندی به روش وارد، به 9 منطقه هم‌رفتار از لحاظ خشکسالی تقسیم‌بندی نمود. و همچنین مسعودیان (1382)، در پژوهشی رژیم‌های ایران را به روش تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار داد و 12 رژیم بارشی برای ایران معرفی نمود.

نتیجه‌گیری

1. نحوه چینش خوشه‌ها در سطح کشور، به نحوه ورود

1. RDI: Reclamation Drought Index

می‌شود.

رضاع، 808 ص.

پیشنهادها

1. در این پژوهش پیشنهاد می‌شود تا از روش‌های خوشه‌بندی فازی نیز استفاده و نتایج آن با روش‌های کلاسیک مقایسه شود.
2. در این پژوهش از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود تا از ایستگاه‌های تبخیرسنجی وزارت نیرو نیز استفاده شود.

منابع

- اختری، ر، مه‌دیان، م، مرید، س. 1385. تحلیل مکانی شاخص خشکسالی SPI و EDI در استان تهران، تحقیقات منابع آب، 38-33:27.
- اقدسی، ف. 1383. ارزیابی چند روش زمین‌آماري ترسیم میدان عددی بارندگی روزانه و سالانه (مطالعه موردی: دشت برخوار)، مجله آب و خاک. 752-26,3:743.
- انصاری، ح، داوری، ک. 1386. پهنه‌بندی دوره‌های خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS در استان خراسان، مجله علمی و پژوهش‌های جغرافیایی. 1. 38-60:27.
- بذرافشان، ج. 1381. مطالعه‌ی تطبیقی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه‌ی اقلیمی ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی کرج.
- پیرمردیان، ن، شمس‌نیا، ا، شاه‌رخ‌نیا، م. 1387. پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی 1380-1379 استان فارس با استفاده از شاخص معیار شده بارش SPI در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، مجله مهندسی آب. 70-61:2.
- حمیدیان‌پور، م، سلیقه، م، فلاح‌قاله‌ری، غ. 1392. کاربرد انواع روش‌های درون‌یابی به منظور پایش و تحلیل فضایی خشکسالی استان خراسان رضوی، جغرافیا و توسعه، 70-57:30.
- حیدری، ح، علیجانی، ب. 1378. طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره، پژوهش‌های جغرافیایی، 74-57:37.
- سبحانی، ب، ساری‌صراف، ب، آزادی‌مبارکی، م. 1392. الگوسازی بارندگی غرب و جنوب‌غربی دریای خزر با استفاده از روش‌های درون‌یابی فضایی در محیط GIS، مجله جغرافیا و توسعه، 30:34-23.
- علیزاده، ا. 1381. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام
- فرجی سبک‌بار، ح، عزیزی، ق. 1385. ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد، پژوهش‌های جغرافیایی، 58:15-1.
- کاوپانی، م. 1380. بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشکسالی، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، 89-71:1.
- مروتی، ر. 1392. بررسی توزیع مکانی خشکسالی در گستره ایران با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده و روش RDI، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین دانشکده فنی.
- مسعودیان، ا. 1384. شناسایی رژیم بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی، 59-47:52.
- مسعودیان، س. ا. 1382. نواحی اقلیمی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، 2:185-171.
- مؤمنی، م. 1390. خوشه‌بندی داده‌ها (تحلیل خوشه‌ای)، انتشارات تهران، 296ص.
- Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. Proceedings of the 2nd ISPRS Conference, Istanbul.
- Giddings, L., Soto, M., Rutherford, B. M. and Maarouf, A. 2005. Standardized precipitation index zones for Mexico. Atmosfera, 33-56.
- Gocic, M. and Trajkovic, S. 2014. Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia? Journal of Hydrology. 510:110-123.
- Hung, W. U., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Svoboda, M. D. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. International Journal of Climatology. 25: 505-520.
- Lukas, A. and Vasiliades, L. 2004. Probabilistic analysis of drought spatio-temporal characteristics in Thessaly region, Greece. National Hazard and Earth System Sciences. 4:719-731.
- MacQueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations, In proceedings of the 5th Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. 1:281-297.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Boston, 179-184.
- Machlica, A., Stojkovicova, M. 2008. Groundwater

- Journal. American Meteorological Society. 1149-1165.
- Santos,J.F., Pulido-Calvo,I. and Manuela Portela,M. 2010. Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. *Water Resources Research*. 46:1-13.
- Sun,X., Mein,R.G., Keenan,T.D., and Elliott,J.F. 2000. Flood estimation using radar and rain gauge data, *Journal of Hydrology*, 239: 4-18.
- Touazi,M., Laborde,J.P., and Bhiry,N. 2004. Modeling rainfall-discharge at a mean inter-yearly scale in northern Algeria, *Journal of Hydrology*. 269: 179-191.
- Wilhite,D.A., Glantz,M.H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon:The Role of Definitions. *Water International*. 10: 111-120.
- drought in different geological conditions. XXIVth Conference of the Danubian Countries, 1-9.
- Rousseuw,P.J. 1987. Silhoettes a graphical aid to the interpretations and validations of clustering analysis, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20: 53-65.
- Romero,R., Sumner,G., Ramis,C., Genoves,A., 1999. A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 19:765 -785.
- Rouault,M and Richard,Y. 2003. Intensity and Spatial Extension of Drought in South Africa at Different Time Scales. *Water SA*. 29.4:489-500.
- Richard,R., Heim,H. 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States.

Spatial Clustering of Iran Based on Occurrence of Long Term Meteorological Drought

M. faghani^{1*}, Kh. ghorbani², M. salarijazi³

Received: Feb.29, 2016

Accepted: Octo.01, 2016

Abstract

Identifying of homogeneous regions from viewpoint of drought occurrence over time, provide understanding the extent of regional droughts in addition to recognition the impact of different effective precipitation systems in different regions. On the basis of this concept, the long term 25 years rainfall data belonging to 120 synoptic meteorological stations which distributed throughout Iran country are used in this study. Standardized precipitation index (SPI) is applied to calculate drought intensity, in 12, 24, 48 time months window and the Kriging method used for drought zoning. Spatial network with 10 kilometers pixel size is considered and interpolated SPIs values is extracted for this network using Arc GIS environment and used to prepare a matrix. The extracted data in matrix form clustered for in different scenarios i.e. annual, biennial and quadrennial, based on K-means method and optimal numbers of clusters calculated considering silhouette plot values. The results show Iran country classified to 12, 9 and clusters considering annual, biennial and quadrennial long term meteorological drought and prolonging drought time window caused reduction in numbers of clusters. Moreover, each of the three Northern provinces that located in southern Caspian Sea rim, classified in separate clusters and southeastern Iran that followed the monsoon precipitation regime, constitute a separate cluster too.

Keywords: Drought, K-means Clustering, Spatial-Temporal Changes, Standardized Precipitation Index.

1- Graduated Student of MSc of Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2 - Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*-Corresponding Author Email: monir.faghani@yahoo.com)