



## تحلیل تغییرات زمانی - مکانی خشکسالی های فصلی هواشناسی

منیره فغانی<sup>۱</sup>، خلیل قربانی<sup>۲\*</sup>، میثم سالاری جزی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶

### چکیده

خشکسالی هواشناسی از مهم ترین پدیده های زیان بار جوی است که به طور مستمر و متناوب در هر اقلیمی رخ می دهد. در این پژوهش جهت شناسایی و پهنه بندی مناطق مشابه از لحاظ وضعیت رخداد خشکسالی از روش خوشه بندی استفاده شد. به این منظور، اطلاعات بارش ۲۵ ساله ۱۲۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در کل پهنه جغرافیایی ایران از سازمان هواشناسی کشور اخذ و پس از کنترل کیفی آن ها، شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) در پنجره زمانی ۳ ماهه برای ۴ فصل سال محاسبه شد. سپس مقادیر SPI در محیط GIS با روش کریجینگ درون یابی گردید. اطلاعات مقادیر درون یابی شده برای شبکه نقطه ای به فواصل ۱۰ کیلومتری، ۱۶۲۰۳ نقطه استخراج و ماتریسی از داده های درون یابی شده فصلی طی ۲۵ سال تشکیل شد. در نهایت، شبکه نقاط بر اساس اطلاعات شاخص خشکسالی در فصل های مختلف به روش K-means خوشه بندی شدند. نتایج نشان داد که تعداد پهنه خوشه ها در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۸، ۱۰، ۹ و ۶ عدد می باشد. ضمن آن که نوع سامانه های بارشی که در فصول مختلف وارد ایران می شوند، جهت و شکل خوشه ها را تحت تأثیر قرار می دهد.

**واژه های کلیدی:** خشکسالی، خوشه بندی، کریجینگ، شاخص بارش استاندارد شده، K-means

### مقدمه

همه رژیم های اقلیمی و مناطق جغرافیایی رخ می دهد، اما اثرات و فراوانی آن در رژیم های خشک و نیمه خشک بیش تر نمایان می شود (چناری، ۱۳۸۵). واقع شدن ایران بر روی کمربند خشک جهانی موجب شده است که نوسانات بارندگی در این کشور شدید باشد که در برخی از سال ها، در اثر طغیان آبی رودخانه، سیلاب رخ داده و در بعضی سال ها، رخداد خشکسالی موجب آسیب های فراوان گردد (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۸). ایران در طول تاریخ صدها دوره خشکسالی را پشت سر گذاشته است، به ویژه در دهه اخیر با صدمات زیادی ناشی از خشکسالی روبرو شده است. ویژگی های خشکسالی ایران نشان می دهد که به طور کلی هیچ منطقه ای از کشور از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهای این پدیده مخرب را تجربه می نماید. پدیده خشکسالی موجب کاهش سریع جریان های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره برداری از آب های زیرزمینی و نشست زمین می شود (پاپلی یزدی، ۱۳۷۸). از این رو برای کاهش اثرات این پدیده و مدیریت خطر

خشکسالی از پدیده های جوی است که خسارات زیادی را به زندگی انسان و اکوسیستم های طبیعی وارد می آورد و با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت هایی دارد. عمده این تفاوت ها در تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن می باشد. بارش عمده ترین پارامتری است که در تعریف خشکسالی به کار رفته است، یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کم تر یا بیش تر بودن ریزش های جوی از میانگین بارش یک منطقه سنجدیده می شود (زارع ابیانه و محبوبی، ۱۳۸۳). خشکسالی در

<sup>۱</sup> دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

(\*نویسنده مسئول: ghorbani.khalil@yahoo.com)

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

آن، شناسایی و ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری می‌باشد. بدیهی است شناخت خشکسالی منجر به مدیریت بهتر و مناسب‌تر تغییرات به وجود آمده و در نهایت کاهش اثرات ناشی از آن خواهد شد. بنابراین نیاز به پایش و تعیین شدت و تداوم خشکسالی، پژوهشگران را بر آن داشته است تا شاخص‌هایی برای پایش دوره‌های خشک استفاده کنند. محققان زیادی در زمینه شاخص‌های خشکسالی مطالعه نمودند از جمله (دایگنی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱؛ سرانو و لوپز مورنو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵) که عکس‌العمل‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های زمانی مختلف خشکسالی اقلیمی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)<sup>۳</sup> در دشت رودخانه آراگون بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص SPI قادر به برآورد تخمین وضعیت خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی می‌باشد. پیری و همکاران (۱۳۹۲) به منظور انتخاب مناسب‌ترین نمایه خشکسالی، با استفاده از ضریب همبستگی به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های زوج شده SPI-RAI و PN-RAI در اکثر ایستگاه‌ها از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردارند. شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص بارش استاندارد به مطالعه خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب در شرق استان کرمانشاه پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شاخص SPI شاخص مناسبی جهت بررسی اثرات خشکسالی می‌باشد. قربانی و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه تطبیقی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی SIAP و SPI به روش داده‌کاوی در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در هیچ یک از مقیاس‌های زمانی فصلی، نیم‌سالانه و سالانه، بین طبقات خشکسالی از هر یک از این دو نمایه در بیش‌تر موارد، تطابق خوبی مشاهده نشد و رفتار متفاوتی از خشکسالی را نشان می‌دهند. همچنین (درویشی بایگی، ۱۳۸۱؛ رضانی، ۱۳۸۰؛ صفدری، ۱۳۸۲؛ عباسی، ۱۳۸۰) شاخص SPI را برای پایش خشکسالی مناسب تشخیص داده‌اند. به کمک شاخص‌های خشکسالی می‌توان میزان خشکسالی را در مقیاس زمانی بررسی نمود ولی اطلاعات نقطه‌ای این شاخص‌ها در ایستگاه‌ها برای بررسی گسترش

جغرافیایی و تعیین وسعت مناطق دچار خشکسالی کفایت نمی‌کند از این رو بسط و گسترش منطقه‌ای آن‌ها لازم می‌باشد به این منظور لازم است که از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده نمود. به این جهت محققان از روش‌های مختلف درون‌یابی به پهنه‌بندی خشکسالی پرداختند. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای در دشت یزد به تحلیل مکانی خشکسالی با استفاده از سه روش عکس وزن فاصله (IDW)<sup>۴</sup> و کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. ارزیابی نتایج حاصله بر اساس معیار RMSE نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و در نهایت به عنوان روش نهایی و مناسب جهت تحلیل مکانی خشکسالی منطقه انتخاب شد. عیوضی و مساعدی (۱۳۹۰) به منظور پایش و سنجش خشکسالی در هر منطقه از روش‌های درون‌یابی‌های قطعی IDW، GPF<sup>۵</sup>، RBF<sup>۶</sup> و زمین‌آماری Kriging استفاده نمودند. با ارزیابی نتایج به دست آمده نشان داده شده که روش‌های زمین‌آماري نسبت به روش‌های قطعی برتر می‌باشند. ثقفیان و همکاران (۱۳۹۱) مدل گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بهترین الگو برای درون‌یابی میانگین بارش سالانه در استان فارس می‌باشد. محققین مختلفی به منظور بررسی وسعت خشکسالی از روش‌های خوشه‌بندی استفاده کرده‌اند و با مطالعه در زمینه تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی به تفکیک دوره‌های خشکسالی و ترسالی و تفکیک انواع اقلیم‌ها و مناطقی که از لحاظ وضعیت رخداد خشکسالی در زمان‌های مختلف رفتار یکسانی را نشان می‌دهند پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر شمار پژوهش‌های اقلیمی که به کمک تحلیل‌های چند متغیره، به خصوص تحلیل خوشه‌ای انجام شده، رو به افزایش گذاشته است. برای نمونه، (أمیسا و جگتپ<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸) برای تعیین تغییر جغرافیایی بارندگی فصل رشد در سه دهه گذشته نیجریه از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده و شش الگوی فصلی بارندگی منطقه را تعیین کردند. رایزر و کیوتیل<sup>۸</sup> (۲۰۰۷) به منظور تعیین فصل بارانی در

<sup>۴</sup> IDW: Inverse Distance Weighted

<sup>۵</sup> GPI: Global Polynomial Interpolation

<sup>۶</sup> RBF: Radial Basis Function

<sup>۷</sup> Amissa and Jagtap

<sup>۸</sup> Reiser and Kutiel

<sup>۱</sup> Dupigny

<sup>۲</sup> Serrano and Lopez- Moreno

<sup>۳</sup> Standardized Precipitation Index

به یکدیگر را طی فصول مختلف سال، دارند، خوشه‌بندی و مقایسه شوند.

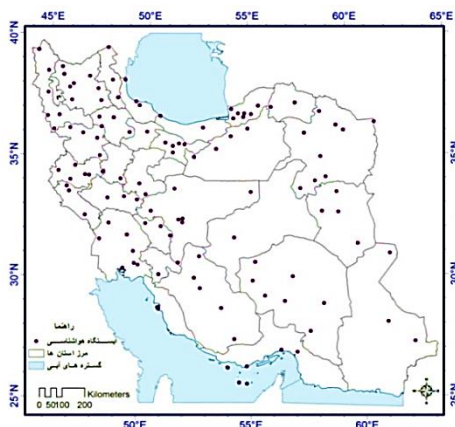
## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در این پژوهش کل پهنه جغرافیایی ایران می‌باشد. کشور ایران ۱۶۴۸۱۹۸ کیلومتر مربع یا ۶۳۶۳۷۵ مایل مربع وسعت دارد که در محدوده ۲۵ درجه و ۳ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵ دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است و به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی که در ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی واقع شده است، از شرایط آب و هوایی برخوردار است که جزو مناطق کم‌باران جهان به شمار می‌آید. میزان بارندگی متوسط سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر و دامنه تغییرات ۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد و بخش اعظم آن دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و بیابان‌های وسیع است.

### داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش جهت بررسی وسعت و پهنه‌بندی خشکسالی‌ها از لحاظ بعد زمانی و مکانی و همچنین خوشه‌بندی آن از داده‌های ماهانه بارش ۱۲۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در سطح کشور در طول دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۰) که از پراکنش مناسبی برخوردار بودند استفاده شد. در شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی در گستره کشور نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه و شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی

منطقه مدیترانه، به جمع‌آوری داده‌های بارش روزانه دوره ۲۰۰۶-۱۹۳۱ مبادرت ورزیده، پس از آرایش ماتریس داده‌ها با اعمال تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، ضمن دسته‌بندی روزهای بارشی، منطقه مورد مطالعه را به دو ناحیه حداقل تابستانی و حداکثر زمستانی تفکیک نمودند. مدرس (۱۳۸۵) به منظور یافتن نواحی همگن و تحلیل فراوانی بارش از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و روش گشتاورهای خطی استفاده نمود و به این نتیجه رسید که ۸ منطقه همگن بارش در ایران وجود دارد که می‌تواند تغییرات جغرافیایی و اقلیمی را در ایران نشان دهد. حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) با استفاده از ۴۹ متغیر اقلیمی در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور و با به‌کارگیری تکنیک‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، ۶ قلمرو اقلیمی کشور به همراه زیر قلمروهای آن‌ها را مشخص نمودند. رضیئی و عزیزی (۱۳۸۶) نیز برای شناخت پهنه‌های بارشی غرب ایران از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بهره گرفتند. پس از کاهش متغیرها به ۴ مؤلفه مینا، بر روی نمرات، تحلیل خوشه‌ای انجام گرفت و در نهایت غرب ایران را به پنج پهنه همگن بارشی طبقه‌بندی کردند. مسعودیان (۱۳۸۴) نواحی بارشی ایران را شناسایی کرد. وی با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی فواصل اقلیدسی ماتریس  $۵۲۱۴ \times ۳۶۶$  به روش ادغام وارد نشان داد که بر حسب مقدار و زمان دریافت بارش در ایران، هشت ناحیه بارشی متمایز وجود دارد. ژئوسیس و تراژکویچ<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) به بررسی خصوصیات مکانی- زمانی خشکسالی در صربستان به روش خوشه‌بندی ادغامی بر اساس داده‌های ۲۹ ایستگاه همدیدی طی یک دوره آماری ۶۰ ساله پرداختند. برای این منظور از شاخص SPI و روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت تشخیص الگوی خشکسالی استفاده کردند و صربستان را به ۳ خوشه متفاوت از لحاظ شرایط وقوع خشکسالی تقسیم‌بندی کردند. هدف از این پژوهش، خوشه‌بندی نقاط مختلف پهنه جغرافیایی ایران از لحاظ وضعیت خشکسالی در طی یک دوره آماری بلند مدت ۲۵ ساله می‌باشد. در این پژوهش سعی خواهد شد مناطقی که از لحاظ وضعیت خشکسالی، شرایط نزدیک

<sup>1</sup> Gocic and Trajkovic

### درون‌یابی و پهنه‌بندی خشکسالی

به منظور ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود. روش‌های درون‌یابی با استناد به این قانون جغرافیایی که هر پدیده‌ای مرتبط است با پدیده دیگری اما پدیده‌های نزدیک نسبت به پدیده‌های دور به هم وابسته‌ترند، از یک سری نقاط با مقادیر معلوم در اطراف نقاط با مقادیر مجهول استفاده کرده و مقادیر آن‌ها را تخمین می‌زنند (توبلر<sup>۴</sup>، ۱۹۷۰). برخی از روش‌های درون‌یابی با برقراری روابط آمار کلاسیک بین مقادیر نقاط معلوم اقدام به تخمین مقادیر مجهول می‌کنند که آن‌ها را درون‌یاب‌های قطعی می‌نامند. از روش‌های درون‌یابی قطعی می‌توان به روش‌های چندجمله‌ای سراسری و موضعی، روش وزنی، عکس فاصله‌ها و روش اسپیلاین اشاره کرد. اما برخی از روش‌ها مانند روش کریجینگ با استفاده از ویژگی‌های وابستگی فضایی متغیر مورد نظر اقدام به تخمین مقادیر نقاط مجهول می‌کنند و آن‌ها را درون‌یاب‌های زمین‌آمار می‌نامند. در روش سراسری کلیه نقاط مشاهده‌ای در محاسبات نقطه یا نقاط مجهول دخالت داده می‌شوند. درحالی‌که در روش موضعی فقط از نقاط مشاهده‌ای موجود در یک محدوده (همسایه نزدیک یا پنجره) استفاده می‌شود. سپس، کلیه نقاط مجهول در محدوده مورد مطالعه با حرکت پنجره‌ها به صورت گام به گام در کل پهنه تخمین زده می‌شوند (قربانی، ۱۳۹۱).

### روش کریجینگ<sup>۵</sup>

کریجینگ یک روش تخمین آماری است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، برآورد می‌کند. این روش بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطی نا اریب<sup>۶</sup> با کم‌ترین پراش تخمین است. این تخمین‌گر 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

### محاسبه شدت خشکسالی با استفاده از شاخص

#### بارش استاندارد شده

جهت تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص به منظور تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (سیلوا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳). شاخص بارش استاندارد شده (SPI) از بهترین و جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. شاخص بارندگی استاندارد اولین بار توسط (مک‌کی و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳) برای پایش خشکسالی در ایالت کلرادو ارائه شد. تنها ورودی مورد نیاز (SPI) داده‌های بارندگی ماهانه یا هفتگی است. اساساً SPI یک شاخص چند منظوره است، به این معنی که امکان کاربرد آن در پنجره‌های زمانی مختلف وجود دارد. برای مثال، شرایط رطوبتی خاک به کمبودهای نسبتاً کوتاه‌مدت بارندگی واکنش نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان از پنجره زمانی یک تا سه ماه برای محاسبه SPI استفاده کرد. این در حالی است که آب‌های زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره مخزن تحت تأثیر کمبودهای درازمدت بارندگی قرار می‌گیرند و می‌بایست پنجره زمانی را بزرگ‌تر انتخاب کرد. از این رو، برازش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی داده‌های بارندگی، اولین گام در محاسبه شاخص مذکور است. بر طبق مطالعات (ادواردز و مک‌کی<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷) مشخص شده است که توزیع گاما برازش مناسبی بر داده‌های بارندگی ماهانه ایالات متحده دارد و ثنوری شاخص در ابتدا بر مبنای این توزیع بیان شد. در تقسیم‌بندی‌های قبلی، وضعیت خشکسالی SPI به سه طبقه ولی اخیراً به پنج طبقه تقسیم شده است (جدول ۱).

جدول ۱- طبقات نمایه خشکسالی SPI (بدر افشان، ۱۳۸۱)

ویژگی بارشی	نماد	مقادیر نمایه
بسیار تر	SP1	بزرگ‌تر از ۱/۵
تر	SP2	۱ تا ۱/۵
نرمال	SP3	۱ تا -۱
خشک	SP4	-۱/۵ تا -۱
بسیار خشک	SP5	کم‌تر از -۱/۵

<sup>4</sup> Tobler

<sup>5</sup> Kriging

<sup>6</sup> Best Linear Unbiased Estimator

<sup>1</sup> Silva

<sup>2</sup> McKee et al.

<sup>3</sup> Edwards and McKee

نیز به دو نوع شکافتی<sup>۴</sup> و ادغامی<sup>۵</sup> تقسیم می‌شود. در روش تحلیل خوشه‌ای شکافتی ابتدا تمام داده‌ها به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند و سپس در طی یک فرایند تکراری در هر مرحله داده‌هایی شباهت کم‌تری به هم دارند به خوشه‌های مجزایی 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 پایین<sup>۶</sup> نیز گفته می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای ادغامی ابتدا هر داده به عنوان خوشه‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود و در طی فرایندی 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 تحلیل خوشه‌ای از پایین به بالا<sup>۷</sup> نیز گفته می‌شود. روش‌های پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند متوسط، میانه، مبتنی بر مرکز و وارد از روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی ادغامی می‌باشند. در روش‌های تحلیل خوشه‌ای تفکیکی تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص است و می‌بایست بررسی شود هر شی در کدام خوشه جای می‌گیرد. به این روش‌ها، روش مرکزگرا<sup>۸</sup> نیز گفته می‌شود. روش k میانگین، k مدوید، K مد، k احتمال و x میانگین از انواع روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی می‌باشند. روش K-mean اولین بار توسط (مک کوپین<sup>۹</sup>، ۱۹۶۷) ارائه شد. این روش علی‌رغم سادگی آن یک روش پایه برای بسیاری از روش‌های تحلیل خوشه‌ای دیگر (مانند تحلیل خوشه‌ای فازی) محسوب می‌شود. تعداد خوشه‌ها در این روش ثابت و از پیش تعیین شده است و این روش برای تحلیل خوشه‌ای داده‌هایی طراحی شد که به صورت عددی (کمی) باشند و خوشه دارای مرکزی به نام میانگین باشد. در این روش ابتدا اشیاء به صورت تصادفی به k خوشه تقسیم می‌شوند. در گام بعد فاصله هر یک از اشیاء 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

اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود. محاسبه کریجینگ بر اساس معادله (۱) است (اقدسی، ۱۳۸۳).

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

که در آن  $Z^*(x_i)$  مقدار برآورد در نقطه  $X_i$ ،  $\lambda_i$  وزن مربوط به متغیر  $Z$ ، مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

### تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای 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، خوشه<sup>۱</sup> گفته می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص نیست و مشاهدات را به گونه‌ای در خوشه‌ها یا گروه‌ها ترکیب می‌کند که هر گروه یا خوشه با توجه به یک خصوصیت ویژه همگن است و هر گروه با توجه به همان خصوصیت با گروه‌های دیگر متفاوت است. در یک تحلیل خوشه‌ای دو گام اساسی وجود دارد: گام اول محاسبه میزان شباهت یا درجه نزدیکی داده‌ها، گام دوم چگونگی ادغام داده‌ها بر حسب میزان شباهتشان. برای گام اول از معیار فاصله استفاده می‌شود و هر چه فاصله بین دو مشاهده کم‌تر باشد اشیاء در یک خوشه قرار داده می‌شوند. برای گام دوم از شیوه‌های مختلفی برای پیوند داده‌ها استفاده می‌شود که شامل روش‌های پیوند تکی، کامل، میانگین، مرکز ثقل، میانه، وارد می‌باشد. به طور کلی فرآیند تحلیل خوشه‌ای شامل تهیه ماتریس داده‌ها، تبدیل مقیاس و استاندارد کردن داده‌ها، محاسبه ماتریس مجاورت (فاصله یا شباهت)، اعتبار و اجرای یک روش تحلیل خوشه‌ای، اعتبار سنجی می‌باشد. روش‌های قطعی تحلیل خوشه‌ای به دو نوع سلسله مراتبی<sup>۲</sup> و تفکیکی تقسیم می‌شوند. در روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی، به خوشه‌های نهایی بر اساس میزان عمومیت آن‌ها ساختاری سلسله مراتبی، معمولاً به صورت درختی نسبت داده می‌شود. به این درخت سلسله مراتبی دندوگرام<sup>۳</sup> می‌گویند. روش سلسله مراتبی

<sup>4</sup> Divisive

<sup>5</sup> Agglomerative

<sup>6</sup> Top-Down

<sup>7</sup> Bottom-Up

<sup>8</sup> Centerbased methods

<sup>9</sup> Macqueen

<sup>1</sup> Cluster

<sup>2</sup> Hierarchical

<sup>3</sup> Dendrogram

هرچقدر  $s(i)$  به  $+1$  نزدیک تر باشد نشان می‌دهد که شی  $i$  به خوشه خودش نزدیک تر است تا به خوشه همسایه‌اش، بیان‌گر خوب بودن طبقه‌بندی است. زمانی که  $s(i)$  نزدیک به  $-1$  باشد به این مفهوم است که فاصله شی  $i$  با خوشه خودی زیاد و همسایه کم است گویای نامناسب بودن طبقه‌بندی است. زمانی که  $s(i)$  نزدیک به صفر باشد روشن نیست که این شی باید در خوشه خودش قرارگیرد یا همسایه. در نمودار نیم‌رخ،  $s(i)$  به صورت میله‌هایی افقی نمایش داده می‌شود که برای هر خوشه به ترتیب نزولی است. نمودار نیم‌رخ، ابزاری برای سنجش کیفیت یکی از جواب‌های تحلیل خوشه‌ای است. پژوهشگر می‌تواند با دیدن آن تمایزی بین خوشه‌های به طور کامل مجزا و نه چندان مجزا قائل شود. همچنین متوسط پهنای نیم‌رخ<sup>۳</sup> که آن را با  $\bar{S}$  نشان می‌دهیم، متوسط  $s(i)$  همه اشیاء است. این شاخص، نشان‌گر خوبی برای تعیین تعداد خوشه‌هاست و می‌توان تعداد خوشه‌ها را کم و زیاد کرد، پس از ترسیم نمودار نیم‌رخ می‌توان متوسط پهنای نیم‌رخ را برای هر کدام حساب کرد تا مشخص شود چه تعدادی از خوشه‌ها بیش‌ترین متوسط پهنای نیم‌رخ را از آن خود می‌کند. به بیش‌ترین متوسط پهنای نیم‌رخ، ضریب نیم‌رخ گفته شده و با  $SC$  طبق معادله (۶) نشان داده می‌شود (مومنی، ۱۳۹۰).

$$SC = \text{Max}_k \bar{S}(k) \quad (6)$$

دامنه  $SC$  نیز  $[-1, +1]$  است، هر چه قدر به یک نزدیک تر باشد، نشان‌دهنده اعتبار بیشتر تحلیل خوشه‌ای است. مقادیر بالای  $0.5$  نشان دهنده اعتبار قابل پذیرش و مقادیر بالای  $0.7$  بیان‌گر ساختار عالی خوشه‌بندی است.

#### آماده‌سازی داده‌ها جهت تحلیل خوشه‌ها

در این پژوهش، پس از محاسبه شاخص خشکسالی  $SPI$  در پنجره‌های زمانی مختلف، این مقادیر برای فصل‌های مختلف هر یک از ۲۵ سال داده موجود برای کل پهنه جغرافیایی ایران در اندازه شبکه گرید  $10$  کیلومتری پهنه‌بندی شدند. مقادیر هر یک از گریدهای نقشه رستری طی سال‌های مختلف استخراج و ماتریس

آنقدر تکرار می‌شود تا تابع خطا حداقل شود، و یا اعضای خوشه‌ها تغییر نیابد. 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 معادله (۲) به دست می‌آید (مومنی، ۱۳۹۰).

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

که در آن  $\mu$  نشان‌دهنده 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.

#### ارزیابی و تعداد بهینه خوشه‌ها

در واقع یکی از ارکان مهم در مسأله تحلیل خوشه‌ای آن است که تعداد بهینه خوشه‌ها را مشخص کنیم. روش‌های مختلفی برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها ارائه شده است. که یکی از این روش‌ها ترسیم نمودار و تعیین ضریب نیم‌رخ است. به طور کلی، نمودار نیم‌رخ<sup>۱</sup> بر پایه ماتریس عدم تشابه بنا نهاده شده است که ابزاری برای خوشه‌بندی است (روسپوف<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷). شاخص نیم‌رخ برای شی  $i$ ، از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

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

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

که در آن  $a(i)$  متوسط فاصله شی  $i$  با خوشه  $A$ ،  $b(i)$  متوسط 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 اشیاء خوشه  $C$  می‌باشد. هنگامی که خوشه‌ای دارای یک شی باشد، روشن نیست که  $a(i)$  چگونه باید تعریف شود که در این گونه مواقع مقدار آن صفر قرار می‌گیرد. با این تعاریف می‌توان به سادگی نشان داد که در معادله (۵):

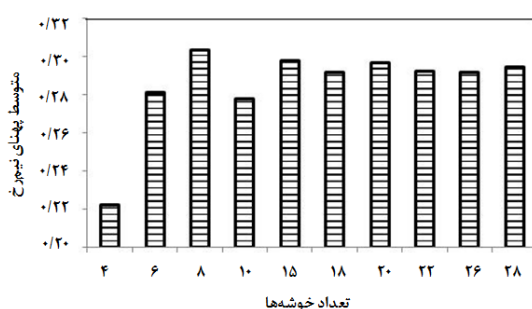
$$-1 \leq s(i) \leq 1 \quad (5)$$

<sup>1</sup> Silhouette plot

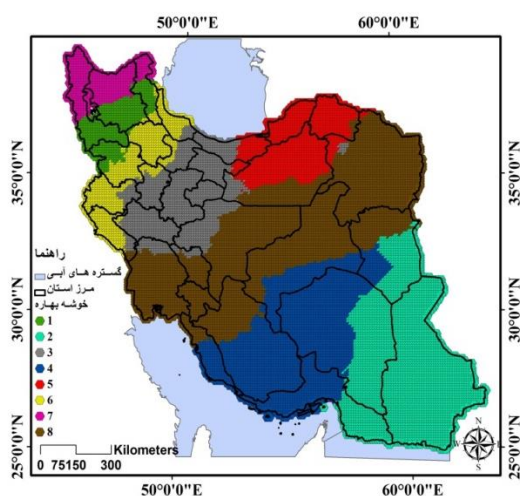
<sup>2</sup> Rousseuw

<sup>3</sup> Average silhouette width

خوشه‌بندی خشکسالی در فصل بهار: تعداد بهینه خوشه‌ها در فصل بهار بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۲)، ۸ خوشه به دست آمد. الگوی خوشه‌ها در فصل بهار به صورت شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد و این می‌تواند به دلیل ورود سیستم‌های بارش‌زایی باشد که از سمت شمال اروپا وارد ایران می‌شود. در این فصل کل استان سیستان و بلوچستان تحت تأثیر سیستم مانسون و بارش‌های موسمی قرار می‌گیرد و بیش‌ترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها دارد و استان‌های شمالی ایران نیز در خوشه‌های جداگانه قرار می‌گیرند شکل (۳).



شکل ۲- متوسط پهنای نیم‌رخ خوشه‌ها در فصل بهار



شکل ۳- خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی فصلی در بهار

خوشه‌بندی خشکسالی در فصل تابستان: تعداد بهینه خوشه‌ها در فصل تابستان بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۴)، ۱۰ خوشه به دست آمد. الگوی خوشه‌ها در فصل تابستان غربی- شرقی و شمالی- جنوبی می‌باشد. استان‌های شمالی کشور در ۳ خوشه متمایز قرار می‌گیرند. گلستان و خراسان شمالی

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 ۲۵ سال تشکیل دادند. در محیط نرم‌افزار Matlab و بر اساس کد موجود، ماتریس تشکیل شده فراخوانی و پس از تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از روش متوسط پهنای نیم‌رخ، هر یک از گریدها با روش K-mean خوشه‌بندی و نقشه رستری آن‌ها برای هر یک از فصل‌ها ترسیم شدند.

## نتایج و بحث

### نتایج حاصل از پهنه‌بندی خشکسالی

به منظور پهنه‌بندی خشکسالی، روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط ArcGIS و با به‌کارگیری معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمون بر روی شدت خشکسالی در پنجره‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه انجام شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد در بین روش‌های مختلف درون‌یابی مورد استفاده، روش کریجینگ با مقدار خطای کمتر، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی خشکسالی است. بر این اساس کلیه شاخص‌های خشکسالی مورد نظر در پنجره‌های زمانی فصل‌های مختلف با روش کریجینگ درون‌یابی شدند.

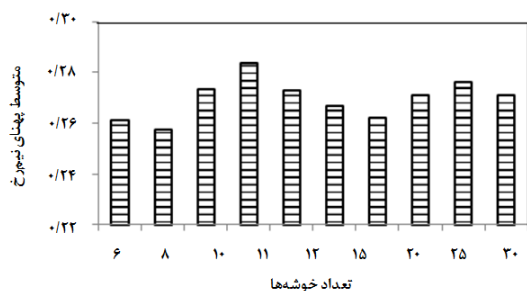
جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی

RMSE	انواع روش‌های درون‌یابی
۰/۶۷	وزن عکس فاصله
۰/۸۱	چندجمله‌ای سراسری با درجه ۱
۰/۷۹	چندجمله‌ای سراسری با درجه ۲
۰/۷۲	چندجمله‌ای سراسری با درجه ۳
۰/۶۵	چندجمله‌ای موضعی با درجه ۱
۰/۷۱	چندجمله‌ای موضعی با درجه ۲
۲۶/۹۳	چندجمله‌ای موضعی با درجه ۳
۰/۶۳	اسپیلاین
۰/۶۲	کریجینگ معمولی

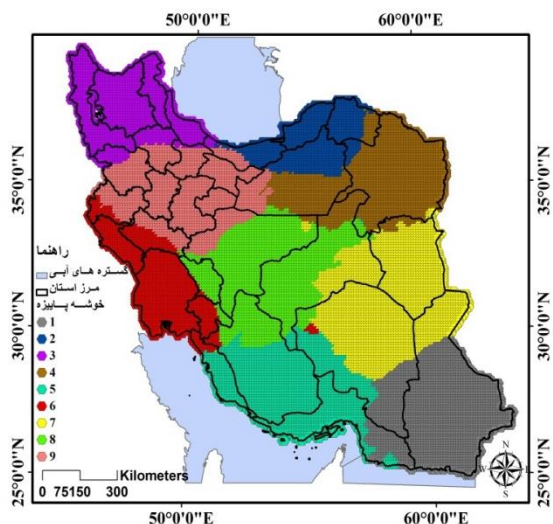
### نتایج خوشه‌بندی زمانی مکانی خشکسالی‌های فصلی

در این پژوهش وضعیت خشکسالی‌ها در چهار فصل سال به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن‌ها در ادامه ذکر شده است.

شرایط متفاوت تری را نشان می‌دهد و با استان‌های شمال غربی کشور شامل استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی و غربی در یک خوشه قرار می‌گیرند و همچنین وسعت خوشه مربوط به جنوب شرقی کشور که از رژیم مانسون برخوردار است در فصل پاییز کاهش یافته است (شکل ۷).



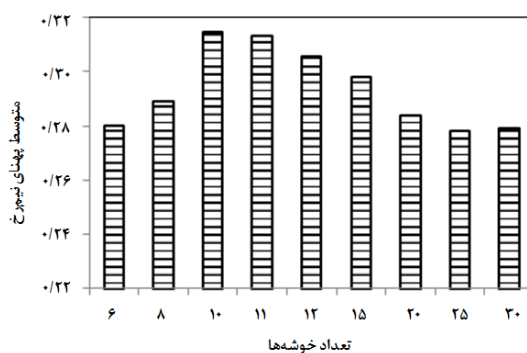
شکل ۶- متوسط پهنای نیم‌رخ خوشه‌ها در فصل پاییز



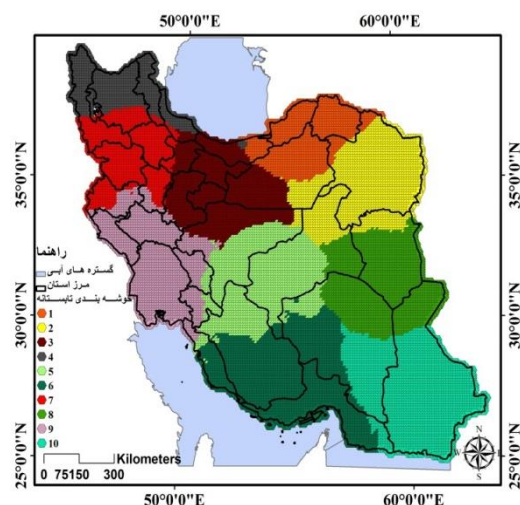
شکل ۷- خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی فصلی در پاییز

**خوشه‌بندی خشکسالی در فصل زمستان: تعداد**  
 بهینه خوشه‌ها در فصل زمستان بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۸)، ۶ خوشه به دست آمد. در فصل زمستان الگوی خوشه‌ها تا حدودی از الگوی شمال غربی- جنوب شرقی تبعیت می‌کند ولی به شدت الگوی فصل بهار نمی‌باشد و علت آن می‌تواند ورود سیستم‌های بارش‌زایی باشد که از سمت غرب ویدریای مدیترانه ایران را در بر می‌گیرند. همچنین در بین سناریوهای در نظر گرفته شده، وضعیت خشکسالی در فصل زمستان کم‌ترین خوشه‌ها را در بر می‌گیرد که نشان می‌دهد سیستم‌های بارش‌زا در فصل زمستان مناطق وسیع تری را در بر می‌گیرند و همچنان استان

در یک خوشه و استان‌های گیلان، اردبیل و آذربایجان‌های شرقی و غربی در یک خوشه دیگر قرار می‌گیرد. در این وضعیت نیز جنوب شرقی ایران، استان سیستان و بلوچستان بیش‌ترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها برقرار می‌کند نکته قابل توجهی که می‌توان به آن پی‌برد آن است که بسیاری از استان‌های بزرگ کشور در یک خوشه قرار نمی‌گیرند. به طور مثال در خوشه‌بندی فصل تابستان، جنوب و شمال استان فارس در خوشه‌های جداگانه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۵).



شکل ۴- متوسط پهنای نیم‌رخ خوشه‌ها در فصل تابستان



شکل ۵- خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی فصلی در تابستان

**خوشه‌بندی خشکسالی در فصل پاییز: تعداد**  
 بهینه خوشه‌ها در فصل پاییز بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۶)، ۹ خوشه به دست آمد. در این فصل الگوی خوشه‌ها شکل الگوی غربی- شرقی و شمالی- جنوبی به خود گرفته است و استان‌های مازندران و گلستان از لحاظ شرایط وقوع یا عدم وقوع خشکسالی در یک خوشه قرار می‌گیرند، ولی همچنان استان گیلان



جنوب شرقی است و در فصولی (تابستان، پاییز) که سیستم‌های بارش‌زا از سمت غرب وارد کشور می‌شوند چینش خوشه‌ها غربی- شرقی می‌باشند.

۲. همچنین در تمامی خوشه‌بندی‌ها، جنوب شرقی ایران که تحت تأثیر 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 می‌شود.

۳. در این پژوهش از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود تا از ایستگاه‌های تبخیرسنجی وزارت نیرو نیز استفاده شود.

۴. در این پژوهش پیشنهاد می‌شود تا از روش‌های خوشه‌بندی فازی نیز استفاده و نتایج آن با روش‌های کلاسیک مقایسه شود.

### منابع

اقدسی، ف. ۱۳۸۳. ارزیابی چند روش زمین‌آماری ترسیم میدان عددی بارندگی روزانه و سالانه (مطالعه موردی: دشت برخوار). نشریه آب و خاک، ۲۶(۳): ۷۴۳-۷۵۲.

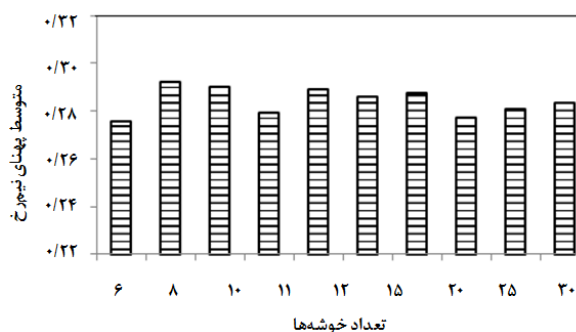
بذرافشان، ج. ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی کرج.

پاپلی یزدی، م. ح. ۱۳۷۸. آیین‌های باران‌خواهی در زمان خشکسالی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، ۵۵: ۱۸۶-۲۱۱.

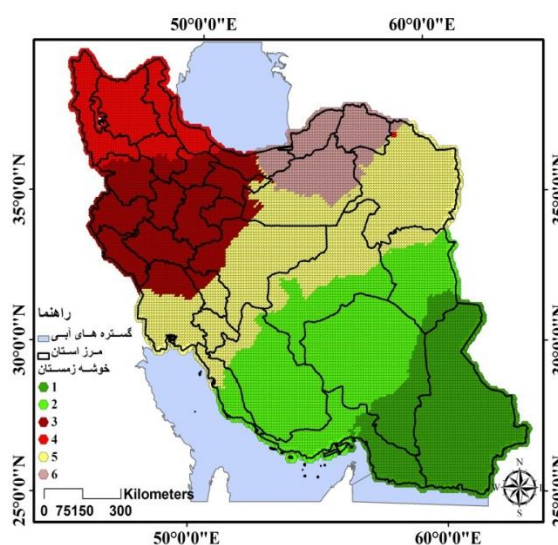
پیری، ح.، راهداری، و.، ملکی، س. ۱۳۹۲. ارزیابی تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). نشریه مهندسی منابع آب، ۹۶: ۱۱-۱۱۴.

تقی‌زاده مهرجردی، ر.، زارعیان‌جهرمی، م.، محمودی، ش.، حیدری، ا.، سرمیدان، ف. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان. نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۵(۲): ۶۴-۷۲.

سیستان و بلوچستان بیش‌ترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها دارا می‌باشد (شکل ۹). به طور کلی نتایج این پژوهش را می‌توان با پژوهش مدرس (۱۳۸۵) که توابع توزیع منطقه‌ای بارش در ایران را بررسی نمود، مقایسه کرد که ایشان نیز کل پهنه جغرافیایی ایران را به ۸ منطقه بارشی تقسیم‌بندی نمود. همچنین نتایج همخوانی دارد با پژوهش حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) که به شش پهنه اقلیمی در ایران دست یافت.



شکل ۸ - متوسط پهنای نیم‌رخ زمستانه



شکل ۹ - خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی فصلی در زمستان

### نتیجه‌گیری

در بررسی و تحلیل خوشه‌ای وضعیت خشکسالی‌های فصلی در ایران، مهم‌ترین نتایجی که به دست آمد عبارتند از:

۱. نحوه چینش خوشه‌ها در سطح کشور، به نحوه ورود سیستم‌های بارش‌زا بستگی دارد به طوری که در فصولی که سیستم‌های بارش‌زا از شمال اروپا وارد ایران می‌شوند چینش خوشه‌ها به صورت شمال غربی-

عیوضی، م.، مساعدی، ا. ۱۳۹۰. پایش و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین‌آماري. نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۵: ۷۸-۶۵.

قربانی، خ. ۱۳۹۱. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی روشی برای ترسیم نقشه‌های هم‌بارش در استان گیلان. نشریه آب و خاک، ۲۶(۳): ۷۴۳-۷۵۲.

قربانی، خ.، خلیلی، ع.، علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۹. مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SIAP و SPI به روش داده‌کاوی در استان کرمانشاه. نشریه آب و خاک، ۲۴(۳): ۴۱۷-۴۲۶.

مدرس، ر. ۱۳۸۵. توابع توزیع منطقه‌ای بارش در ایران. نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۵: ۸۶-۹۱.

مساعدی، ا.، مرعشی، م.، کواکبی، غ. ۱۳۸۸. بررسی مقایسه‌ای خشکسالی در مناطق پرباران و کم باران (مطالعه موردی: استان گلستان). نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(۱): ۲۷۷-۲۹۰.

مسعودیان، ا. ۱۳۸۴. شناسایی رژیم بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۲: ۴۷-۵۹.

مؤمنی، م. ۱۳۹۰. خوشه‌بندی داده‌ها (تحلیل خوشه‌ای). انتشارات تهران، ۲۹۶ صفحه.

Amissa, A., Jagtap, S. S. 1998. Geographic variation in growing season rainfall during three decades in Nigeria using principal component and cluster analysis, *Theor. Appl. Climatol.*, 63: 107-116.

Dupigny, L. 2001. Towards characterizing and planning for drought in Vermont- part i: A climatologically perspective. *J. American Water Res. Assoc.*, 37: 505-525.

Edwards, D. C., McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20<sup>th</sup> century drought in the United States a multiple time scales. *Climatology report number 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.

Gocic, M., Trajkovis, S. 2014. Spatiotemporal characteristics of drought in sebria. *J. Hydrol.*, 510: 110-123.

Macqueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *proceedings of the 5<sup>th</sup> 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

تققیان، ب.، رزمخواه، ه.، قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان فارس). نشریه مهندسی منابع آب، ۲۹: ۱-۳۹.

چناری، م. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات چند نمایه مختلف خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف در نمونه اقلیمی البرز جنوبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

حیدری، ح.، علیجانی، ب. ۱۳۷۸. طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷: ۵۷-۷۴.

درویشی بایگی، ن. ۱۳۸۱. پایش خشکسالی با استفاده از نمایه‌های خشکسالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.

رضیئی، ط.، عزیزی، س. ق. ۱۳۸۶. منطقه‌بندی رژیم بارش غرب ایران با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی. تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۲): ۶۲-۶۵.

رضانی، ن. ا. ۱۳۸۰. تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

زارع ابیانه، ح.، محبوبی، ع. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشکسالی. نشریه پژوهش و سازندگی، ۶۴: ۲-۷.

شکیبا، ع.، میرباقری، غ.، خیری، ا. ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۲۵: ۱۰۶-۱۲۴.

صفدری، ع. ا. ۱۳۸۲. تحلیل کمی شدت، تداوم، فراوانی و گستره خشکسالی‌ها به کمک داده‌های بارندگی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

عباسی، ل. ۱۳۸۰. بررسی و ارزیابی شاخص‌های شدت خشکسالی استان خوزستان در سال آبی ۷۹-۱۳۸۰ مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل، ۳: ۵۵-۱۶۸.

- Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 84: 35-46.
- Silva. V. P. R. 2003. On climate variability in northeast Brazil. *J. Arid Environ.*, 54(2): 256-367.
- Tobler, W. R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Econ. Geogr.*, 46: 234-240.
- duration to time scales. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorol. Soc. Boston: 179-184.
- Reiser, H., Kutiel, H. 2007. Rainfall uncertainty in the Mediterranean: definition of the rainy season-A methodological approach. *Theor. Appl. Climatol.*, 94: 35-49.
- Rousseuw, P. J. 1987. Silhouettes a graphical aid to the interpretations and validations of clustering analysis. *J. Comput. Appl. Math.*, 20: 53-65.



## Spatial-temporal analysis of seasonal meteorological drought

M. Faghani<sup>1</sup>, Kh. Ghorbani<sup>\*2</sup>, M. Salarijazi<sup>3</sup>

Received: 22/12/2015

Accepted: 27/07/2016

### Abstract

Meteorological drought is one of the most important natural hazards which frequently occur in any climate. In this study, for regionalization of similar regions from drought situation point of view, a clustering approach was used. For this purpose, 25 years rainfall data of 120 synoptic meteorological stations across Iran were retrieved from IRIMO and examined by routine quality control tests. The drought severity was evaluated using standardized precipitation index (SPI) in a three months window during different seasons of the year. The calculated SPI values were interpolated in Arc GIS environment using Kriging method. The interpolated values formed a matrix consisting 16203 grid points during the 25 years study period. The obtained values were clustered by means of K-means method in different seasons of each year based on SPI values in different seasons. Results indicated that the optimum number of clusters are 8, 10, 9 and 6 for spring, summer, autumn and winter respectively. Besides it was concluded that the type of precipitation systems arriving in Iran during different seasons can affect the clusters direction and shape.

**Keywords:** Drought, Clustering, Kriging, Standardized Precipitation Index, K-means



<sup>1</sup> M. Sc. Graduate, Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

(\*Corresponding author email address: ghorbani.khalil@yahoo.com)

<sup>3</sup> Assistant Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran