

## تحلیل خشکسالی و ترسالی اقلیمی در حوضه آبریز دره رود اردبیل با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی

مجتبی فریدپور<sup>۱</sup>، بتول زینالی<sup>۲\*</sup>، صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۳</sup>، اردوان قربانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه محقق اردبیلی

<sup>۲</sup> استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی،

<sup>۳</sup> دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی

<sup>۴</sup> دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۳

### چکیده

خشکسالی به دلیل گسترده‌گی و تبعات کوتاه‌مدت و بلندمدت همه جانبه‌ی آن، از مهم‌ترین بلاهای طبیعی محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر جهت تشخیص و تحلیل خشکسالی و ترسالی در حوضه آبریز دره رود واقع در شمال غرب ایران، از داده‌های بارندگی سالانه ۳۸ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در یک دوره زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۹۱ تا ۲۰۱۴-۱۵) استفاده شد. ابتدا با استفاده از شاخص SPI با توزیع مناسب گاما و شاخص خشکسالی Deciles دوره‌های خشکسالی و ترسالی منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. ایستگاه‌های مورد مطالعه از لحاظ همگنی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی در سه کلاس همگن از نظر خشکسالی قرار گرفتند. در ادامه نتایج خشکسالی با روش کریجینگ ساده، مدل نیم پراشنگار کروی و با کمترین خطای RMS، در محیط نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی گردید. واریوگرام تهیه‌شده، جهت انجام تحلیل فضایی خشکسالی، به یاخته‌هایی به ابعاد ۱×۱ کیلومتر تعمیم داده شد. به منظور تبیین الگوی حاکم بر خشکسالی در منطقه از آماره‌های سراسری و موضعی موران در حکم رویکردهای تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی شاخص موران نشان داد که توزیع فضایی حاکم بر خشکسالی در منطقه از یک الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا پیروی می‌کند به طوری که در طول دوره آماری مقدار به دست آمده از شاخص موران مثبت و نزدیک به یک (Moran's  $I > 0.95$ ) می‌باشد. همچنین با توجه به مقادیر بالای امتیاز استاندارد Z و صفر بودن مقدار P-Value، معنی‌دار بودن توزیع خوشه‌ای خشکسالی اثبات می‌گردد. در نهایت از آماره عمومی G جهت شناسایی الگوهای فضایی حاکم بر خشکسالی استفاده شد. نتایج نشان داد که شرق و شمال شرق منطقه دارای الگوی خشکسالی بسیار شدید می‌باشد که سطح معنی‌داری آن برابر با ۰/۹۹ می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص SPI، شاخص Deciles، زمین‌آمار، خودهمبستگی فضایی، آماره عمومی موران.

### مقدمه

پدیده‌های بلندمدتی هستند که مناطق وسیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و موجب رکود شدید بیشتر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی می‌شوند (ویلیت و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰: ۶۹۸). خشک‌سالی را می‌توان به صورت رخداد منطقه‌ای و مداوم کمبود میانگین

**طرح مسئله:** مخاطرات طبیعی به سه دسته فرآیندهای بیولوژیک، زمین‌شناسی-ژئومورفولوژیک و هیدرومتئورولوژیک تقسیم می‌شوند که در بین آنها، بلاهای هیدرومتئورولوژیک؛ مانند خشک‌سالی‌ها،

پدیده خزنده می‌دانند (کوگان<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰: ۱۱۲). معمولاً در بررسی‌های تغییرپذیری داده‌های محیطی به‌ویژه عناصر آب و هوایی، دو رویکرد الف) تغییرات زمانی و ب) تغییرات فضایی مورد توجه می‌باشد. بررسی‌های تغییرات زمانی، عمدتاً مبتنی بر تغییر روند و تغییرات داده‌های محیطی بوده است (هارتمن و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸: ۲۵). در رویکرد دوم، تغییرپذیری و خودهمبستگی‌های فضایی که به‌عنوان نگرشی نو در ارتباط با متغیرهای محیطی به شمار می‌آیند، مورد توجه بوده است (فو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۴: ۳۶). هدف از تحلیل فضایی، تحلیل پراکندگی‌ها یعنی توصیف ساختار فضایی و استدلال این ساختارها از طریق روابط فضایی و سرانجام برنامه‌ریزی فضایی فعالیت‌های انسان است. از نظر فلسفه علم، تحلیل فضایی با پراکندگی‌ها به‌منزله هستی‌های مستقل سروکار دارد. دانش حاصل به‌صورت نظریه‌های مستقل و جهانی بیان می‌شود. روش‌شناسی کمی و تجربی در قالب علم مهم زمین‌آمار همه پردازش‌های آماری مانند درون‌یابی، شناسایی ساختار فضایی، تغییرات فضایی و سرانجام برنامه‌ریزی فضایی را اجرا می‌کند (علی‌جانی، ۱۳۹۴).

**مفاهیم دیدگاهها و مبانی نظری:** تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از مدل‌های زمین‌آمار صورت گرفته است، اما در زمینه تحلیل فضایی خشکسالی با استفاده از آماره موران و خودهمبستگی فضایی، تحقیقات چندانی صورت نگرفته است که در ادامه به برخی از آنها پرداخته می‌شود. آلد و سابیرند<sup>۶</sup> (۲۰۱۲) در پژوهشی در منطقه کولمر<sup>۷</sup>، واقع در شمال شرق فرانسه، برای داده‌های آب و هوایی و الگوهای پراکندگی اپیدمیولوژی گونه‌های گیاهی، از رویکرد کاربردی آمار فضایی بهره برده، مناطق حساس به تغییرات آب و هوایی را مشخص کردند. دی‌لوکنا و همکاران<sup>۸</sup>

دسترسی آب تعریف نمود (تالکسن و وان‌لانن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴: ۱۲). همچنین خشکسالی پدیده‌ای است که می‌تواند در هر نوع آب و هوایی نمایان شود که توصیف زمانی و مکانی آن بسیار دشوار است (نصرتی، ۱۳۹۱: ۲۵). به همین منظور یکی از اهداف مهم ارزیابی اکولوژیکی و توان محیطی مناطق در قالب آمایش سرزمین، شناسایی و استفاده انسان از کاربری‌های مختلف یک منطقه با کمترین هزینه و با قدرت پیش‌بینی توان بالقوه محیط می‌باشد. بنابراین منابع آب و هوایی همراه با منابع اکولوژیکی دارای اهمیت می‌باشند. ارزیابی سرزمین شامل پیش‌بینی یا سنجش کیفیت سرزمین برای یک کاربری خاص از نظر کشاورزی، تولید، آسیب‌پذیری و نیازمندی‌های مدیریتی است که با مقایسه مدل‌های مختلف انجام می‌گیرد (مخدوم، ۱۳۸۴). بررسی مناطق تحت تأثیر تنش آبی و خشکسالی یکی از راهکارهای شناخت توان محیطی مناطق و نیل به اهداف آمایش سرزمینی است. خشکسالی پدیده‌ای است که اساساً با کمبود بارش و یا در برخی موارد با تبخیر و تعرق در یک منطقه مرتبط است. بر اساس نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه خشکسالی، مشخص شده است که بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع خشکسالی دارند که با وجود این بارش مهم‌ترین عامل در تعیین آغاز شدت و خاتمه خشکسالی است (هیم<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰: ۱۵۰؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳۰). در دهه‌های اخیر در میان حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده‌اند، تعداد و فراوانی پدیده‌های خشکسالی بیش از سایر حوادث بوده است، همچنین تمایز این پدیده با سایر بلایای طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا این پدیده به‌تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل می‌کند و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود؛ بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی است، این پدیده را یک

3. Kogan

4. Hartmann et al

5. Fu et al

6. Allard and Soubeyrand

7. Colmar

8. De Lucena et al

1. Tallaksen and Van Lanen

2. Him

پس از واکاوی‌های انجام‌شده ۱۵۳۹ روز گرم فراگیر را شناسایی نمودند. نتایج نشان داده است که الگوی فضایی برازنده روزهای گرم فراگیر ایران یک الگوی خوشه‌ای است که معنی‌داری آن در سطح ۹۹ درصد تأیید می‌گردد. فلاح قاله‌ری و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل فضایی پراکنش رطوبت نسبی در ایران در یک دوره آماری ۳۰ ساله پرداختند. در این تحقیق روش‌های خود همبستگی فضایی موران، شاخص انسلین محلی موران، لکه‌های داغ و نرم‌افزار GIS استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که الگوی پراکنش فضایی رطوبت در ایران یک الگوی خوشه‌ای است. کیانی و کاظمی (۱۳۹۴) به تحلیل توزیع خدمات عمومی شهر شیراز با مدل‌های خود همبستگی پرداختند. در این تحقیق که از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار Geoda و شاخص موران و آماره عمومی G استفاده شده نتایج نشان داده است که دسترسی شهروندان به خدمات عمومی شهری برابر نیست و از مدل مرکز پیرامون تبعیت می‌کند. صداقت و نظری پور (۱۳۹۴)، به بررسی تغییرات زمانی-مکانی بارش دوره سرد سال در ایران طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۹ با استفاده از داده‌های ماهانه بازسازی‌شده مرکز اقلیم‌شناسی بارش پرداختند. نتایج آن نشان داده است که بارش کشور در تمامی ماه‌های سال دارای همبستگی فضایی مثبت معنی‌داری (الگوی خوشه‌ای) می‌باشد. خدایی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی شاخص ترکیبی بهبودیافته خشکسالی (OSDI) در مناطقی با پوشش اراضی ناهمگن، نتیجه گرفتند که در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ در مناطق مرکزی و جنوب شرق استان تهران و مناطق مرکزی و شمالی استان قم، خشکسالی شدیدی رخ داده است. خشوعی اصفهانی و همکاران (۱۳۹۵) در طراحی شاخصی یکپارچه، از تلفیق لایه‌های استاتیک و دینامیک استفاده و نتیجه گرفتند که سال آبی ۱۳۷۲ به‌عنوان ترسالی و سال آبی ۱۳۷۸ به‌عنوان بحرانی‌ترین سال از لحاظ خشکسالی بوده است. با توجه به پیشینه تحقیقات در خصوص اهمیت خشکسالی، در این تحقیق به بررسی و شناخت

میدان‌های حرارتی منطقه شهری ریودوژانیرو در برزیل را با استفاده از تحلیل لکه‌های داغ بررسی کردند. بجت و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) به تجزیه و تحلیل روند دما در صربستان با استفاده از داده‌های متوسط دمای ماهانه ۶۴ ایستگاه همدید و ارزیابی روند دامنه‌های دما بر اساس روند خطی کمترین مربعات معمولی و آزمون خودهمبستگی فضایی و روش موران جهانی نتیجه گرفتند که روند درجه حرارت در سراسر صربستان از الگوی تصادفی تبعیت می‌کند. پژوهش‌هایی از این دست، بسیارند که می‌توان پژوهش‌های (هارتمن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸؛ آگنا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴؛ نیمک و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳؛ کیم و سینک<sup>۵</sup>، ۲۰۱۴) را نام برد که به بررسی الگوهای تحلیل فضایی پرداخته‌اند.

در ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه شروع شده است. به‌طور مثال حکیم دوست و همکاران (۱۳۹۳) به تحلیل خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی مکان‌گزینی سکونتگاه‌های روستای استان مازندران پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تحلیل آماره عمومی G مناطق با خشکسالی بیشتر در کنار هم دیگر قرار گرفته و از روند خوشه‌ای با تمرکز بالای خشکسالی برخوردار می‌باشند. مرادی و قلی‌زاده (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص SPI به بررسی تأثیر خشکسالی بر تغییرات دبی ماهانه در حوضه آبی دهگلان پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از همبستگی مناسب نتایج SPI و سری زمانی دبی در این حوضه است.

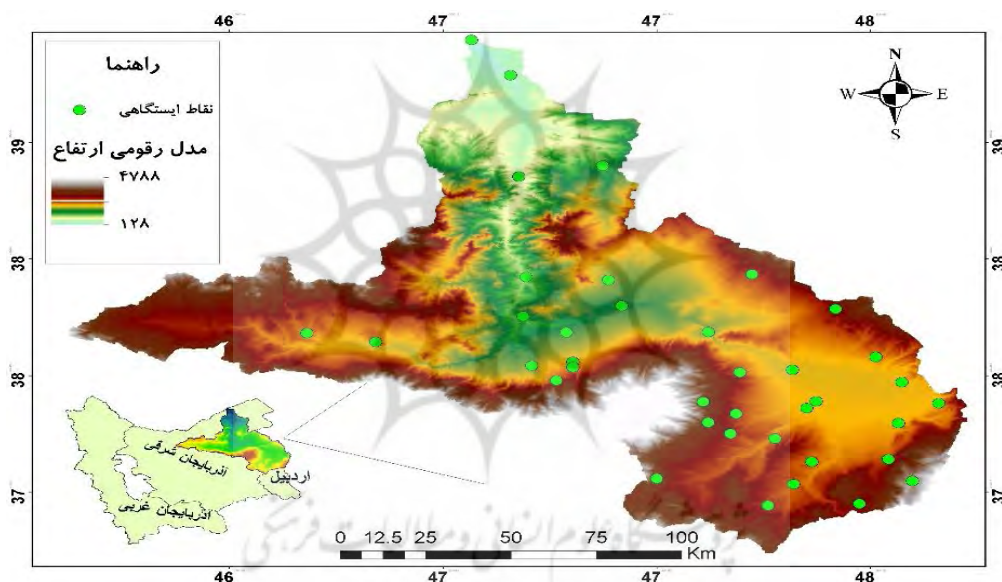
خسروی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی و تحلیل فضایی فشار بخار آب در جنوب و جنوب غرب ایران با استفاده از تکنیک تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی (ESDA) و آماره موران محلی سپس تأثیر این عنصر مهم اقلیمی در کانون‌های جمعیتی را مورد تحلیل قرار دادند. عساکره و شادمان (۱۳۹۴) به شناسایی روابط فضایی روزهای گرم در ایران زمین پرداخته و

1. Bajat et al
2. Hartmann et al
3. Ageena et al
4. Nemeč et al
5. Kim and Singh

### محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز دره رود در شمال غرب ایران با مساحتی معادل ۱۴۲۰۰ کیلومتر مربع، بخشی از آب‌های سطحی استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی را به سمت رودخانه ارس و دریای خزر زهکشی می‌نماید. این حوضه از هفت زیر حوضه بانام‌های سراب اهر چای (شهرستان اهر-ورزقان)، سراب قره‌سو، قره‌سو میانی و بالیخی چای (شهرستان اردبیل)، پایاب قره‌سو و پایاب اهر چای (شهرستان مشگین‌شهر) و پایاب دره رود (شهرستان پارس‌آباد مغان) تشکیل شده است (شکل ۱).

پهنه‌های مرتبط با خشکسالی در یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین حوضه‌های آبریز شمال غرب کشور یعنی حوضه دره رود پرداخته شده است. برای این منظور رویکرد مورد استفاده در این تحقیق، استفاده از توابع تحلیلی مکانی آمار فضایی و همچنین شناسایی روابط خودهمبستگی فضایی در بین یاخته‌های خشکسالی با استفاده از نتایج شاخص SPI می‌باشد. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز سد زاینده‌رود پرداختند. در این تحقیق از شاخص‌های خشکسالی SWSI, SPI استفاده شده است. نتایج این تحقیق همبستگی بالای مدل SPI و خشکسالی هیدرولوژیکی دارد به طوری که ضریب همبستگی ( $R=0.78$ ) به دست آمده است.



شکل ۱: موقعیت مکانی حوضه دره رود و ایستگاه‌های مورد مطالعه

### روش تحقیق

در این تحقیق جهت تحلیل خشکسالی از داده‌های میانگین ۲۴ ساله مجموع بارش ماهانه (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳) برای ۳۸ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در محدوده منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برخی از ایستگاه‌های هواشناسی خلأ آماری داشته و لازم بود با روش مناسب بازسازی شوند و برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و روش رگرسیون خطی استفاده شد. همچنین پایگاه داده‌های مکانی در محیط GIS تشکیل شد و به منظور

آشکارسازی روابط فضایی متغیرها از خودهمبستگی فضایی و سراسری موران، از نرم‌افزارهای GeoDa1.6.6 و GIS 10.5 استفاده گردید.

**شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI<sup>۱</sup>):** شاخص بارندگی استاندارد شده که توسط مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ ارائه شده، جهت کمی نمودن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است (مک‌کی و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳). همچنین مشخصه اصلی

1. Standardized Precipitation Index

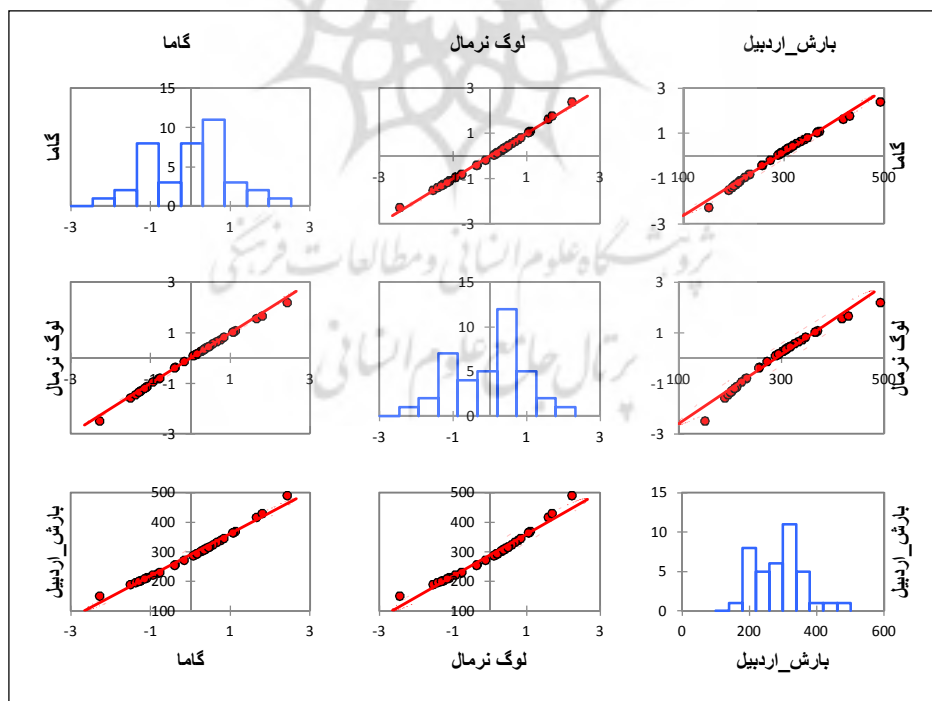
2. Mckee et al

مقیاس زمانی معین می‌باشد، تا بتوان نواحی با آب‌وهوای کاملاً متفاوت را مقایسه کرد (درویشی بایگی، ۱۳۸۱). شاخص خشکسالی SPI به دو روش توزیع  $\Gamma$  و Log-normal و همچنین شاخص خشکسالی Deciles با استفاده از نرم‌افزار DrinC محاسبه شد. با توجه به نزدیک بودن نتایج دو توزیع و البته ضریب همبستگی بالاتر توزیع  $\Gamma$  با بارندگی‌های اولیه ایستگاه‌ها، این توزیع جهت برآزش و تحلیل خشکسالی‌های رخ داده در حوضه دره رود اردبیل مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه ضرایب همبستگی پیرسون در دو توزیع  $\Gamma$  و Log-normal با بارش سالانه در ایستگاه اردبیل به‌عنوان نمونه آورده شده است.

اصلی SPI انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف است، زیرا که خشکسالی‌ها از لحاظ مدت بسیار گسترده می‌باشند؛ بنابراین با تشخیص و پایش آن‌ها با انواع مقیاس‌های زمانی می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده مقیاس‌های زمانی اثرات خشکسالی را بر روی میزان توانایی منابع آب نشان می‌دهند. به طوری که کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد و در صورتی که کمبود بارش در مقیاس زمانی طولانی مدت اتفاق بیافتد، اغلب بر روی آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر و منابع آب تأثیر می‌گذارد (آسیایی، ۱۳۸۵: ۵۰). هدف شاخص SPI اختصاص ارزش عددی به هر حادثه بارندگی در

جدول ۱: ماتریس همبستگی پیرسون جهت انتخاب توزیع مناسب در ایستگاه اردبیل

Variables	گاما	لوگ نرمال	بارش_اردبیل
گاما	۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۴
لوگ نرمال	۰/۹۹۹	۱	۰/۹۸۶
بارش_اردبیل	۰/۹۹۴	۰/۹۸۶	۱



شکل ۲: اسکاتر پلات همبستگی توزیع مناسب با بارش سالانه (ایستگاه اردبیل)

normal در ایستگاه اردبیل به‌عنوان نمونه و نماینده سایر ایستگاه‌های حوزه دره رود که در جدول ۱ و

با توجه به نتایج همبستگی بارش سالانه و مقادیر خشکسالی با استفاده از دو توزیع  $\Gamma$  و Log-

مراحل محاسبه شاخص SPI به روش گاما با توجه به حجم مقاله صرف نظر شده است و به تقسیم‌بندی طبقات خشکسالی در جدول ۲ اکتفا می‌گردد.

همچنین شکل ۲ قابل مشاهده است، توزیع Gamma جهت تحلیل و بررسی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. در این قسمت از توضیح

جدول ۲: طبقه‌بندی شدت شاخص SPI

مقدار عددی SPI	طبقه خشکسالی	مقدار عددی SPI	طبقه خشکسالی
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط	$\geq -2$	خشکسالی بسیار شدید
۰ تا ۰/۹۹-	خشکسالی ملایم	-۱/۵ تا -۱/۹۹-	خشکسالی شدید
		$< 0/0$	بدون خشکسالی

جدول ۳: طبقات خشکسالی شاخص Deciles

Threshold range	طبقات خشکسالی
Deciles 1-2(lowest 20 %)	خیلی کمتر از نرمال
Deciles 3-4(next lowest 20 %)	کمتر از نرمال
Deciles 5-6(middle 20 %)	نزدیک به نرمال
Deciles 7-8(next highest 20 %)	بالای نرمال
Deciles 9-10(highest 20 %)	خیلی بالاتر از نرمال

۲۰۰۷؛ کانلو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸ و بهزادی، ۲۰۱۳)، استفاده شده است. کانلو و همکاران (۲۰۰۸) اشاره می‌کند که می‌توان از شاخص Deciles به عنوان شاخصی برای شناسایی نشانه‌هایی از خشکسالی استفاده کرد اما این شاخص اطلاعاتی در خصوص شروع، پایان و شدت خشکسالی که از ویژگی‌های مهم نظارت بر خشکسالی هستند، به دست نمی‌دهد.

الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی<sup>۴</sup> (AHC): خوشه‌بندی سلسله مراتبی (AHC) یک روش طبقه‌بندی بر پایه تکرار است که اصل این روش ساده است. این الگوریتم به صورت دو رویکرد از بالا به پایین و از پایین به بالا می‌باشد. الگوریتم‌های پایین‌تر به عنوان خوشه‌های تک‌تک و منفرد می‌باشند که به طرف بالا خوشه‌ها به صورت جفت (یا زوج) با یکدیگر ادغام شده و در نهایت با یک خوشه واحد که شامل تمام دسته‌های ادغام شده است، ادغام می‌شوند. این عملیات خوشه‌بندی، یک درخت خوشه‌بندی دندروگرام<sup>۵</sup> تولید می‌کند که ریشه آن شامل تمام

شاخص خشکسالی Deciles: گیبس و ماهر<sup>۱</sup> (۱۹۶۷) یکی از تکنیک‌های نظارت بر خشکسالی بر اساس بارش ماهانه به اسم Deciles را پیشنهاد دادند. این شاخص جهت استفاده در هواشناسی استرالیا جهت ارزیابی وضعیت کمبود بارش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در محاسبه شاخص Deciles، بارندگی طولانی مدت ماهانه، برای ایجاد یک توزیع فراوانی تجمعی ابتدا از بالاترین مقدار به پایین‌ترین مقدار رتبه‌بندی می‌شوند. سپس توزیع بر پایه احتمالات برابر به ۱۰ قسمت یا Deciles تقسیم می‌شود. طبقات خشکسالی در این شاخص شامل ۵ طبقه می‌باشد که در جدول ۳ قابل مشاهده است. در اولین Deciles طبقات ۱ و ۲ مقدار بارندگی را شامل می‌شوند که کمتر از ۱۰٪ مقدار کل بارش می‌باشد. Decil دوم که اعداد ۳ و ۴ هستند، مقدار بارندگی است که کمتر از ۲۰٪ درصد کل بارش را شامل می‌شود. به همین ترتیب تا Decil دهم مقدار بارش بر اساس آستانه‌های تعریف شده تقسیم‌بندی می‌شوند. شاخص Deciles در مطالعات مختلفی مانند (تساکیس و همکاران<sup>۲</sup>،

3. Kanellou et al

4. Agglomerative hierarchical clustering (AHC)

5. Dendrogram

1. Gibbs and Maher

2. Tsakiris et al

(ASE) استفاده شد (نظری پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۵؛ پورزیدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۸۲).

**خودهمبستگی فضایی:** تحلیل خودهمبستگی فضایی موران<sup>۳</sup> برای توصیف ویژگی‌های فضایی متغیر خشکسالی اقلیمی حوضه دره رود استفاده شد؛ و با استفاده از آن میانگین تفاوت فضایی بین تمامی عوارض (پیکسل‌های مربوط با شاخص SPI) فضایی و عوارض یا پیکسل‌های مجاور آن‌ها را شناسایی کنیم (بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳: ۱۶۳). شاخص موران به شرح زیر است.

$$I = \frac{n \sum \sum W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$X_i$  ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحدهای ناحیه‌ای،  $i$ ،  $n$  تعداد واحدهای ناحیه‌ای، وزن  $W_{ij}$ . ضریب موران بین  $-1$  تا  $1$  متغیر است.  $-1$  برابر تعامل فضایی منفی و  $1$  برابر تعامل فضایی مثبت است. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد، ضرایب مورد انتظار موران برابر صفر است. ضرایب مورد انتظار موران برابر است با (رابطه ۲):

$$E_1 = \frac{l}{(n-1)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$n$  تعداد واحدهای ناحیه‌ای،  $EI$  ضریب مورد انتظار. وقتی که شاخص موران مورد محاسبه‌ی بزرگ‌تر از مقدار ضریب مورد انتظار باشد، الگوی پراکنش فضایی تأیید می‌شود و برعکس (لی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱: ۹۱). با توجه به مفاهیم ارائه‌شده در خصوص شاخص موران، چنانچه شاخص موران به مثبت  $(+1)$  تمایل داشته باشد، مقادیر داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کنند و چنانچه مقدار شاخص موران منفی (نزدیک به عدد  $-1$ ) باشد، مقادیر داده‌ها از هم گسسته و از الگوی پراکنده پیروی می‌کنند (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۵؛ فلاح قاهره‌ی، ۱۳۹۴: ۶۴۲). در موران جهانی، فرض صفر این است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عناصر مرتبط (در این تحقیق نتایج حاصل از شاخص خشکسالی بعد از

مشاهدات است) مانینگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). در این تحقیق الگوریتم AHC در نرم‌افزار XLSTAT محاسبه و ترسیم شد.

**پهنه‌بندی خشکسالی:** در این پژوهش برای تشخیص و تحلیل و همچنین پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی از شاخص SPI و با استفاده از مدل‌های مختلف زمین‌آمار در محیط GIS استفاده گردید. جهت شناخت دوره‌های مختلف خشکسالی ابتدا تمامی ایستگاه‌ها به همراه مقادیر خشکسالی در محیط Excel وارد و در ادامه برای شناخت بهتر سال‌های مشترک خشکسالی در تمامی ایستگاه‌ها از نمودار Stacked Area (شکل ۲) در محیط اکسل استفاده شد که مقادیر SPI را بزرگ‌تر و با اغراق بیشتری نشان می‌دهد. همچنین به منظور شناخت اولیه مناطق همگن از نظر خشکسالی اقلیمی بر پایه SPI، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (AHC) بر روی نتایج SPI ایستگاه‌های منطقه در طی سال‌های مورد مطالعه، با استفاده از افزونه XLStat در محیط نرم‌افزار Excel انجام شد. در ادامه به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده به کمک نقاط مجاور و معلوم که به نام پیمونگاه، نمونه و یا مشاهده موسوم‌اند، میانبایی یا درون‌یابی<sup>۲</sup> می‌گویند (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۵). برای این منظور از روش‌های IDW با سه توان ۱، ۲، ۳ و روش کریجینگ معمولی، ساده و عام با مدل‌های نیم پراشنگار دایره‌ای، کروی، گوسین و نمایی و تابع شعاعی پایه (RBF) شامل مدل‌های اسپیلاین کاملاً منظم، مولتی کوادریک معکوس، مولتی کوادریک، اسپیلاین با کشش و اسپیلاین صفحه نازک استفاده و نقشه‌های مربوط به پهنه‌بندی مقادیر به دست آمده از شاخص SPI تهیه شد. برای انتخاب بهترین مدل میانبایی با کمترین خطا از آماره‌های تشخیصی شامل ریشه دوم مربعات خطا (RMS) و مقدار استاندارد شده آن (SRMS)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین انحرافات خطا (MBE) و متوسط مربعات خطا

3. Moran's I  
4. Lee et al

1. Manning et al  
2. Interpolation

است. این شاخص جهت شناخت و طبقه‌بندی الگوهای فضایی کارآمد نبوده، اما در بسیاری از مواقع به به‌عنوان نقاط داغ<sup>۲</sup> و نقاط سرد<sup>۳</sup> تمرکز نامیده می‌شوند (کیانی و کاظمی، ۱۳۹۴: ۶). برای مثال اگر ارزش‌های بالا در عوارض جغرافیایی، نزدیک یکدیگر باشند، شاخص موران و ضریب گری دلالت بر خودهمبستگی فضایی مثبت نسبتاً بالا دارند، این طبقه (خوشه) از ارزش‌های بالا ممکن است به‌عنوان نقطه‌ی تمرکز (داغ) نامیده شود. اما خودهمبستگی فضایی مثبت بالا نشان داده‌شده با شاخص موران و ضریب گری ممکن است به‌وسیله‌ی ارزش‌های پایین مجاور با یکدیگر به وجود آمده باشند. این نوع، از خوشه می‌تواند به‌عنوان نقطه سرد نامیده شود (شوریانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵). در شاخص موران نمی‌توان این دو نوع، از خودهمبستگی فضایی را متمایز کنند. آماره‌ی عمومی  $G$  بر شاخص موران در تعیین نقاط مثبت (داغ) و منفی (سرد) در سطح ناحیه مورد مطالعه ترجیح دارد. این نقاط داغ و سرد می‌تواند به‌عنوان تمرکزهای فضایی در نظر گرفته شوند (توماس و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۸۰). آماره عمومی  $G$  به

$$G(d) = \frac{\sum \sum W_{ij}(d) x_i x_j}{\sum \sum x_i x_j} \quad (\text{رابطه ۵})$$

به این خاطر که  $i \neq j$ ، آماره عمومی  $G$  به‌وسیله معیار فاصله ( $D$ ) تعریف شده است، درون آن فاصله واحدهای ناحیه‌ای می‌تواند به‌عنوان همسایه‌ای  $I$  مدنظر قرار گیرند. وزن  $W_{ij}(d)$  برابر ۱ است، اگر در داخل فاصله  $d$  باشد و در صورت عکس برابر صفر (۰) است؛ بنابراین، وزن‌های ماتریس اساساً یک ماتریس متقارن دوتایی است، اما ارتباطات همسایگی به‌وسیله‌ی فاصله‌ی  $d$  تعریف شده است (توماس و همکاران، ۱۹۸۰). مجموع وزن‌های ماتریس  $W$  برابر است با

$$W = \sum_i \sum_j W_{ij}(d) \quad (\text{رابطه ۶})$$

تهیه بهترین نوع میانبایی) با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد؛ حال زمانی که مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار  $Z$  محاسبه‌شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ (خارج از محدوده اطمینان قرار گیرد)، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد (فلاح قاله‌ری: ۱۳۹۴: ۶۴۳). اگر شاخص موران بزرگ‌تر از صفر باشد، داده‌ها نوعی خوشه‌بندی فضایی را نشان می‌دهند. اگر مقدار شاخص کمتر از صفر باشد، عوارض بررسی‌شده دارای الگوی پراکنده هستند (علیجانی و همکاران: ۱۳۹۴: ۷۸).

انسلین شاخص موضعی موران یا شاخص موضعی پیوند فضایی را پیشنهاد داد که می‌کوشد تا نقاط موضعی را تشخیص دهد و اینکه چگونه مکان‌های انفرادی در پیوندهای فضایی مؤثر هستند. این ابزار با توجه به وزن عوارض جغرافیایی، مشخص می‌کند که چه عوارضی از نظر پراکندگی دارای الگوی خوشه‌ای هستند و یا نسبت به عوارض پیرامون خود، دارای مقادیر بسیار متفاوت می‌باشند (انسلین<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). این شاخص برای منطقه  $i$  پیوند فضایی بین یک ارزش را در  $i$  و نزدیک به آن به روش رابطه (۳) تعریف شد.

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S_x^2} \sum_j [W_{ij}(x_j - \bar{x})] \quad (\text{رابطه ۳})$$

در اینجا،  $S_x^2$  واریانس معادله است و به روش رابطه (۴) محاسبه شد.

$$S_x^2 = \sum_j (x_j - \bar{x})^2 / n \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن، مقدار مثبت از  $I_i$  بیانگر آن است که مناطق با ارزش زیاد (زیاد-زیاد) یا (High-High) و مناطق با ارزش کم با مناطق با ارزش کم (کم-کم) یا (Low-Low) محصور شده‌اند. مقدار منفی از  $I_i$  نشانگر آن است که ارزش کم با ارزش زیاد (کم-زیاد) یا (Low-High) یا ارزش زیاد با ارزش کم (زیاد-کم) یا (High-Low) احاطه شده است (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۶).

**شاخص موران:** شاخص موران به‌خوبی برای خواص آماری و توصیف همبستگی فضایی جهانی ساخته‌شده

2. Hot Spots  
3. Cold Spots  
4. Thomas et al

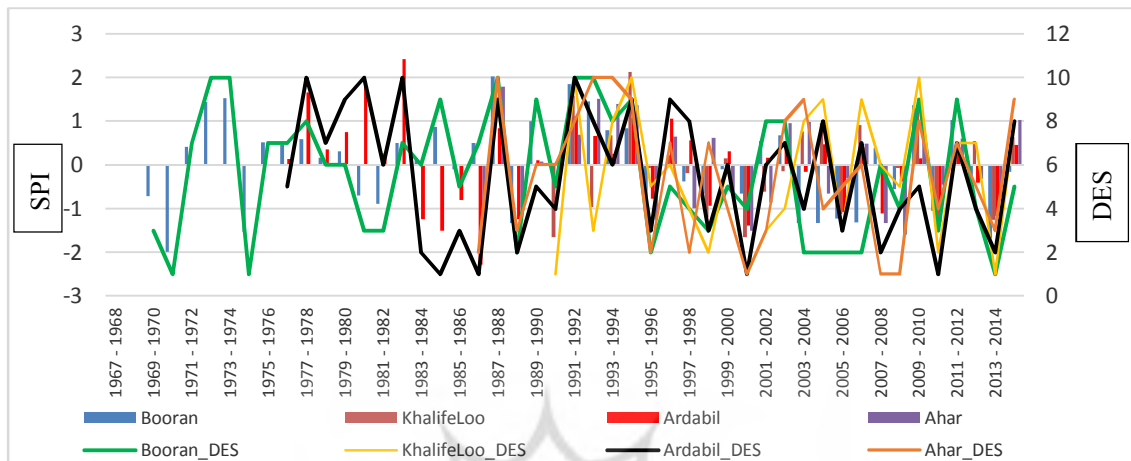
1. Anselin



## بحث اصلی

باران سنجی خلیفه لو (شرق حوضه)، سینوپتیک اهر (غرب حوضه) و سینوپتیک اردبیل (جنوب حوضه) انتخاب و بررسی شد. نتایج به دست آمده (شکل ۳) نشان دهنده همخوانی مناسب دو شاخص خشکسالی مورد بررسی در منطقه می باشد.

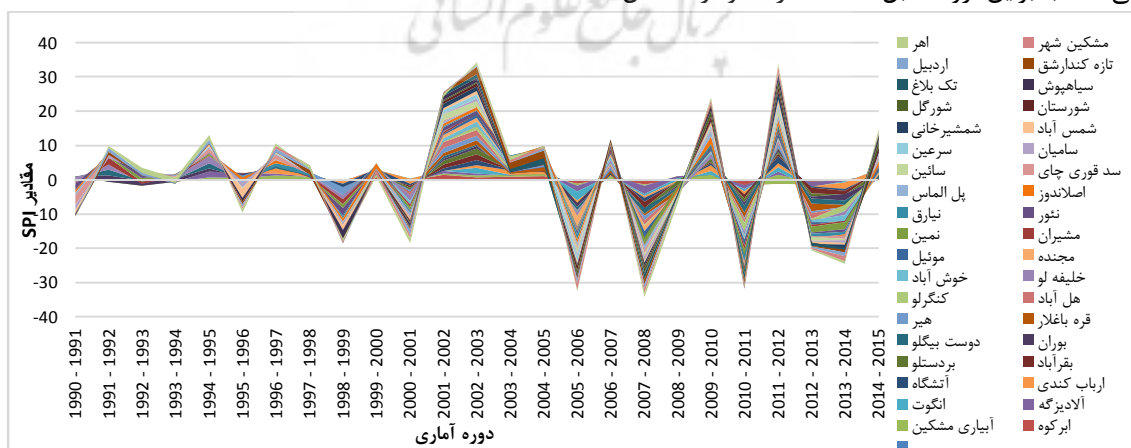
جهت بررسی و مقایسه خشکسالی های رخ داده در حوضه دره رود با استفاده از دو شاخص SPI و Deciles، با توجه به تعداد زیاد ایستگاه های منطقه، تعداد ۴ ایستگاه باران سنجی بوران (شمال حوضه)،



شکل ۳: مقایسه خشکسالی SPI و Deciles در ایستگاه های نمونه

از شاخص SPI، نشان می دهد که نتایج خشکسالی برای منطقه مورد مطالعه کاملاً متقارن می باشند و هیچ اغراقی در بالا یا پایین بودن محور X ها از نظر ترسالی و خشکسالی بسیار شدید و خارج از حد انتظار وجود ندارد و داده ها نرمال می باشند. این مطلب در تحقیقات Mckee و همکاران (۱۹۹۳) در ایالت کلرادو آمریکا و Bhuiyan و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه Aravalli در هند به اثبات رسیده است.

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، دوره های خشکسالی و ترسالی تقریباً در تمامی ایستگاه ها مشابه و نزدیک به هم می باشد. در این شکل با توجه به تعداد زیاد ایستگاه ها و عدم نمایش همه آنها در یک نمودار استاندارد به صورت واضح، از نمودار Stacked Area در محیط اکسل استفاده شد که نتایج شاخص SPI را با اغراق بیشتری جهت نشان دادن تغییرات سری زمانی و شناخت شباهت ها، نشان می دهد. بنابراین، روند قابل مشاهده در نمودار حاصل



شکل ۴: دوره های خشکسالی و ترسالی در منطقه مورد مطالعه

در هر ایستگاه در طول دوره آماری، به‌عنوان شدیدترین خشکسالی انتخاب شد که در ادامه در جدول ۴ قابل مشاهده است.

شدیدترین خشکسالی‌های رخ داده در منطقه یکی از پارامترهای مهم در شناسایی و تحلیل خشکسالی می‌باشد که در حوضه دره رود بالاترین مقدار SPI به

جدول ۴: شدیدترین خشکسالی‌های رخ داده در حوضه دره رود اردبیل

ایستگاه	سال	مقدار SPI	ایستگاه	سال	مقدار SPI
ابرکوه	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	-۱/۵۰	مشیران	۱۹۷۵ - ۱۹۷۴	-۲/۱۷
آبیاری مشکین	۱۹۸۳ - ۱۹۸۴	-۲/۵۵	نمین	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	-۲/۰۹
آلادیزگه	۲۰۰۷ - ۲۰۰۸	-۲/۴۵	نئور	۱۹۸۹ - ۱۹۹۰	-۲/۲۹
انگوت	۲۰۰۵ - ۲۰۰۶	-۲/۵۴	نیارق	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	-۱/۸۷
ارباب کندی	۲۰۱۳ - ۲۰۱۴	-۱/۹۲	اصلاندوز	۱۹۷۰ - ۱۹۷۱	-۱/۸۴
آتشگاه	۱۹۹۸ - ۱۹۹۹	-۱/۸۳	پل الماس	۱۹۸۸ - ۱۹۸۹	-۲/۰۸
بقرآباد	۲۰۰۷ - ۲۰۰۸	-۱/۹۱	سد قوری چای	۱۹۹۰ - ۱۹۹۱	-۲/۸۰
بردستلو	۲۰۱۴ - ۲۰۱۵	-۲/۰۰	سائین	۱۹۹۹ - ۲۰۰۰	-۱/۳۰
بوران	۱۹۷۰ - ۱۹۷۱	-۱/۹۹	سامیان	۱۹۸۶ - ۱۹۸۷	-۲/۰۱
دوست بیگلو	۱۹۸۸ - ۱۹۸۹	-۲/۱۷	سرعین	۲۰۰۳ - ۲۰۰۴	-۲/۹۲
قره باغلاز	۲۰۱۲ - ۲۰۱۳	-۲/۲۷	شمس آباد	۱۹۹۵ - ۱۹۹۶	-۲/۸۹
هیر	۱۹۹۸ - ۱۹۹۹	-۲/۲۸	شمشیرخانی	۲۰۱۳ - ۲۰۱۴	-۱/۷۵
هل آباد	۲۰۱۲ - ۲۰۱۳	-۱/۵۵	شورستان	۲۰۰۵ - ۲۰۰۶	-۱/۵۵
کنگرلو	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	-۲/۴۲	شورگل	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	-۱/۳۴
خلیفه لو	۱۹۹۰ - ۱۹۹۱	-۱/۶۶	سیاهپوش	۱۹۹۸ - ۱۹۹۹	-۲/۶۱
خوش آباد	۲۰۱۴ - ۲۰۱۵	-۲/۰۵	تک بلاغ	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	-۱/۷۰
مجنده	۲۰۰۵ - ۲۰۰۶	-۳/۰۷	تازه کندارشق	۲۰۰۷ - ۲۰۰۸	-۱/۵۰
مونیل	۲۰۰۷ - ۲۰۰۸	-۲/۳۱	اردبیل	۱۹۸۶ - ۱۹۸۷	-۲/۲۸
اهر	۲۰۰۸ - ۲۰۰۹	-۱/۵۹	مشکین شهر	۲۰۰۵ - ۲۰۰۶	-۲/۱۸

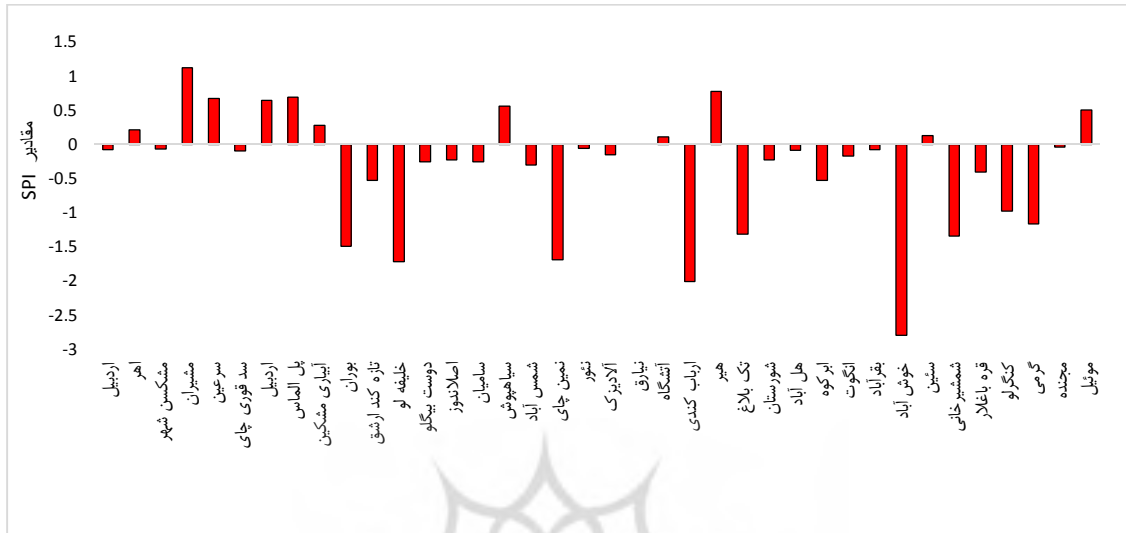
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۴، در منطقه مورد مطالعه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ یک دوره ترسالی با تداوم شش‌ساله قابل توجه در منطقه رخ داده است اما از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ دوره‌های خشکسالی و ترسالی به تناوب در منطقه اتفاق افتاده است که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده دوره‌های خشکسالی قابل توجه‌تر می‌باشند. با توجه به هدف این پژوهش در خصوص تحلیل فضایی خشکسالی، سال ۲۰۱۳ به‌عنوان سالی که اکثر ایستگاه‌ها در این سال خشکسالی اقلیمی را نشان می‌دهند، انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۵).

نتایج خشکسالی در سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که ایستگاه باران‌سنجی خوش آباد بالاترین مقدار خشکسالی (۲/۸-) را در بین سایر ایستگاه‌ها به خود

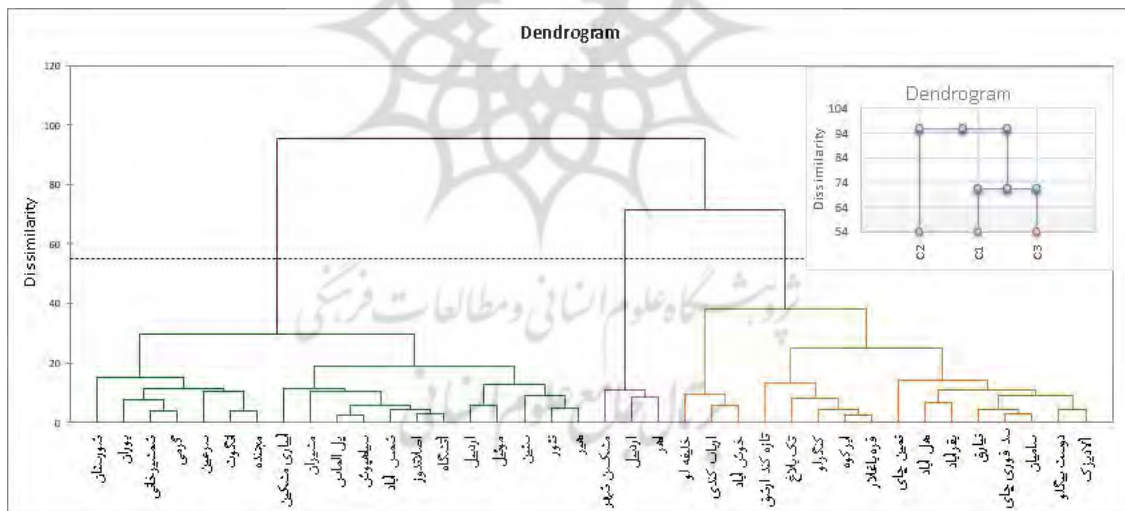
اختصاص داده است. این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به این سؤال است که مقادیر خشکسالی به‌دست‌آمده در منطقه، آیا از لحاظ روابط فضایی و خودهمبستگی فضایی با یکدیگر ارتباط دارند یا فقط از نظر مکانی قابل طبقه‌بندی می‌باشند؟ جهت پاسخ‌گویی به این سؤال ابتدا باید بهترین پهنه با کمترین میزان خطا را در محیط GIS بر روی داده‌های خشکسالی به‌دست‌آمده، برآزش داد. برای این منظور با استفاده از مدل‌های مختلف زمین‌آمار اقدام به مقایسه مدل‌های نیم پراشنگار مختلف با کمترین خطا شد که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. قبل از بررسی شاخص‌های تحلیل فضایی، نمودار درختی، تصویری از گروه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر خشکسالی در بازه زمانی مورد مطالعه ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که حوضه

خشکسالی نیازمند مدل‌های آماری از جمله تحلیل‌های مربوط به خودهمبستگی فضایی است که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

دره رود از نظر خشکسالی اقلیمی به سه منطقه همگن خوشه‌بندی می‌شود (شکل ۶) این نتیجه یک شناخت اولیه از رفتار ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه از نظر خشکسالی به دست می‌دهد، اما تحلیل جامع



شکل ۵: مقادیر خشکسالی در سال ۲۰۱۳ در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۶: مناطق همگن خشکسالی اقلیمی حاصل از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (AHC)

مذکور به درون‌یابی داده‌های ایستگاهی مربوط به شاخص SPI در حوضه دره رود اردبیل پرداخته شد. شکل شماره ۷ پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد.

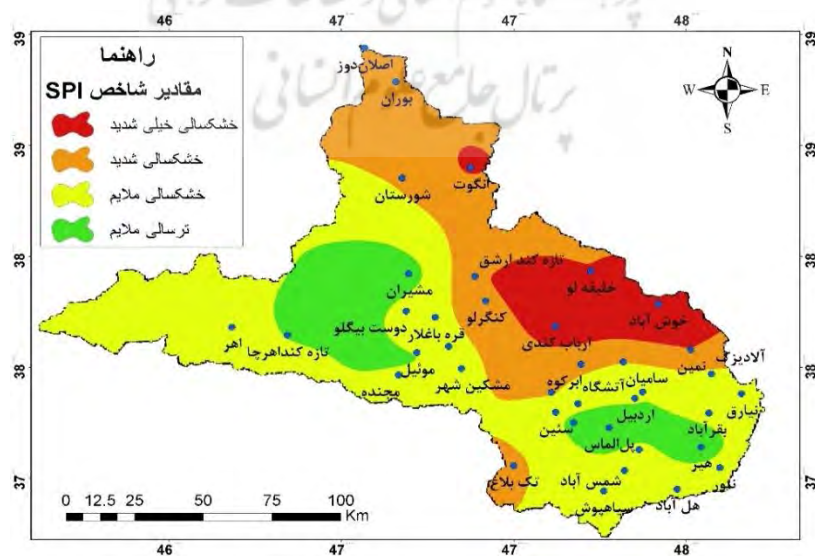
نتایج حاصل از مقایسه نیم‌پراشنگارهای مختلف در جدول ۵ نشان داد که روش درون‌یابی کریجینگ ساده با مدل نیم‌پراشنگار کروی الگوی توزیع فضایی خشکسالی اقلیمی در حوضه دره رود اردبیل را به خوبی تبیین می‌کند؛ بنابراین، با استفاده از روش

جدول ۵: نتایج ارزیابی روش‌های گوناگون بر آردرگر زمین‌آمار با نیم‌پراشنگارهای متفاوت جهت پهنه‌بندی خشکسالی

معادله رگرسیون	معیار ارزیابی		مدل	روش
	RMS	Mean		
$Y = -0.284X + -0.1051$	۰.۷۷۴	۰.۰۶۰	اسپیلاین کاملاً منظم	RBF
$Y = -0.4106X + -0.131$	۰.۹۷۲	۰.۰۴۰	اسپیلاین صفحه نازک	
$Y = -0.2916X + -0.0908$	۰.۷۶۷	۰.۰۷۷	مولتی کوادریک معکوس	
$Y = -0.276X + -0.102$	۰.۸۳۲	۰.۰۳۰	مولتی کوادریک	
$Y = -0.230X + -0.146$	۰.۷۷۴	۰.۰۶۳	اسپیلاین با کشش	
$Y = -0.141X + -0.167$	۰.۷۹۷	۰.۰۹۴	1	IDW
$Y = -0.181X + -0.108$	۰.۸۰۸	۰.۱۲۱	2	
$Y = -0.205X + -0.060$	۰.۸۲۵	۰.۱۲۰	3	

معادله رگرسیون	ASE	SRMS	MAE	RMS	Mean	مدل	روش
$Y = -0.315X + -0.130$	۰.۶۸۳	۱.۱۶۹	۰.۰۲۰	۰.۸۲۸	۰.۰۲۴	دایره‌ای	کریجینگ معمولی
$Y = -0.291X + -0.169$	۰.۶۷۱	۱.۲۳۱	۰.۰۲۵	۰.۸۵۷	۰.۰۲۷	گوسی	
$Y = -0.309X + -0.160$	۰.۶۸۱	۱.۱۴۲	۰.۰۲۸	۰.۸۱۱	۰.۰۳۳	کروی	
$Y = -0.279X + -0.152$	۰.۶۹۱	۱.۱۲۳	۰.۰۱۶	۰.۷۹۷	۰.۰۲۶	نمایی	
$Y = -0.266X + -0.148$	۰.۷۴۲	۰.۹۸۷	۰.۰۴۸	۰.۷۷۳	۰.۰۴۴	دایره‌ای	کریجینگ ساده
$Y = -0.222X + -0.129$	۰.۷۲۱	۱.۰۶۲	۰.۰۸۲	۰.۸۰۰	۰.۰۵۷	گوسی	
$Y = -0.272X + -0.140$	۰.۷۳۴	۰.۹۹۷	۰.۰۶۰	۰.۷۷۲	۰.۰۵۰	کروی	
$Y = -0.259X + -0.126$	۰.۷۳۰	۱.۰۱۳	۰.۰۶۰	۰.۷۷۶	۰.۰۵۰	نمایی	کریجینگ عام
$Y = -0.315X + -0.130$	۰.۶۸۳	۱.۱۶۹	۰.۰۲۰	۰.۸۲۸	۰.۰۲۴	دایره‌ای	
$Y = -0.291X + -0.169$	۰.۶۷۱	۱.۲۳۱	۰.۰۲۵	۰.۸۵۷	۰.۰۲۷	گوسی	
$Y = -0.309X + -0.160$	۰.۶۸۱	۱.۱۴۲	۰.۰۲۸	۰.۸۱۱	۰.۰۳۳	کروی	
$Y = -0.279X + -0.152$	۰.۶۹۱	۱.۱۲۳	۰.۰۱۶	۰.۷۹۷	۰.۰۲۶	نمایی	



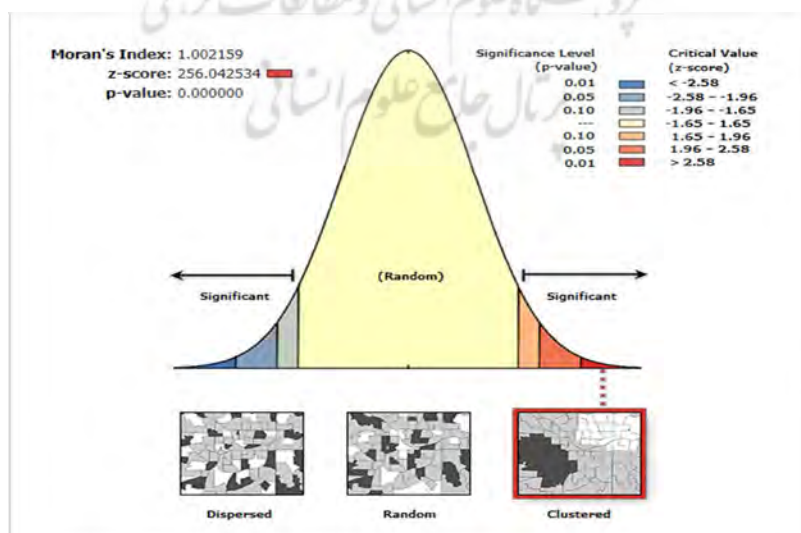
شکل ۷: پهنه‌بندی خشکسالی حوضه آبریز دره رود اردبیل با روش کریجینگ ساده، مدل کروی

در این بخش جهت محاسبه و تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی، ابتدا مقادیر به صورت عددی برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ (به جهت مشابه بودن اکثر نتایج و جلوگیری از تکرار) در جدول ۶ به دست آمد که در نهایت سال ۲۰۱۳ به عنوان سال نمونه، مورد تحلیل کامل همراه با نقشه‌های نهایی قرار گرفت. با توجه به مقادیر جدول ۶ مشاهده می‌شود که شاخص موران برای تحلیل نتایج حاصل از مقادیر شاخص استاندارد بارش (SPI) در تمامی سال‌های مورد مطالعه، بیش از ۰/۹۵ است. از آنجا که مقادیر به دست آمده موران مثبت و نزدیک به

یک هستند، می‌توانیم نتیجه بگیریم که خشکسالی در حوضه آبریز دره رود اردبیل در طول دوره آماری دارای خودهمبستگی فضایی و همچنین دارای الگوی خوشه‌ای بالا در سطح ۰/۹۰، ۰/۹۵ و ۰/۹۹ درصد است. با این وجود اگر قرار بود داده‌های مربوط به خشکسالی به طور طبیعی در فضا پخش شده باشند، شاخص موران باید مقدار ۰-۰۰۰۰۰۳۰ را اختیار می‌نمود. همچنین با توجه با بالا بودن امتیاز استاندارد Z و کوچک بودن مقدار P-Value می‌توان فرضیه عدم وجود خودهمبستگی فضایی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه را رد نمود.

جدول ۶: نتایج خلاصه تحلیل موران خشکسالی حوضه دره رود اردبیل

سال	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	واریانس	z-score	p-value
۲۰۰۰	۰.۹۹۸۱۳۴	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۵.۰۱۳۵۷۷	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۱	۱.۰۰۴۴۲۰	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۶۲۷۶۲۳	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۲	۰.۹۹۹۰۰۲	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۵.۲۳۴۷۸۰	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۳	۱.۰۰۴۲۲۲	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۵۷۴۳۶۰	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۴	۱.۰۰۴۷۹۸	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۷۱۴۸۶۷	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۵	۱.۰۰۲۵۱۷	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۱۳۴۰۶۱	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۶	۰.۹۹۹۹۹۶	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۵.۴۹۱۰۴۴	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۷	۱.۰۰۳۳۹۴	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۳۷۰۷۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۸	۰.۹۹۴۰۹۴	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۳.۹۸۲۹۷۶	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۹	۱.۰۰۲۳۰۴	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۰۸۴۲۴۰	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۰	۱.۰۰۴۵۸۰	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۶۷۷۹۵۵	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۱	۱.۰۰۳۵۸۰	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۴۱۵۲۶۳	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۲	۱.۰۰۶۳۲۳	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۷.۱۱۴۳۹۰	۰.۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۳	۱.۰۰۲۱۵۹	-۰.۰۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۰۱۵	۲۵۶.۰۴۲۵۳۴	۰.۰۰۰۰۰۰



شکل ۸: گزارش همبستگی فضایی خشکسالی با شاخص موران

هستند: نقاط بالا - بالا: ۱؛ نقاطی را شامل می‌شوند که هر دو پیکسل موردنظر یا هر همسایگی عارضه جغرافیایی (خشکسالی سالانه) دارای ارزش بالا بوده و از اطراف نیز توسط نقاطی محاصره شده‌اند که دارای مقدار بالایی آن خصیصه (در اینجا مقادیر شاخص SPI) می‌باشند. نقاط پایین - پایین ۲ نقاطی را شامل می‌شوند که هر دو پیکسل موردنظر یا هر همسایگی عارضه جغرافیایی (خشکسالی سالانه) دارای ارزش پایین بوده و از اطراف نیز توسط نقاطی محاصره شده‌اند که دارای مقدار پایین آن خصیصه می‌باشند. نقاط پایین - بالا: ۳؛ نقاط یا همسایگانی هستند که در آن یک مقدار کم توسط مقادیر بالایی محاصره شده‌اند. نقاط بالا - پایین ۴ نقاط یا همسایگانی هستند که در آن یک مقدار زیاد توسط مقادیر پایینی محاصره شده‌اند (علیچانی، همکاران، ۱۳۹۴: ۷۹؛ نظری پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۳؛ بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳: ۲۳۱).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار GeoDA و همچنین شکل ۹ شیب‌خط رگرسیون عبوری از میان تمامی مقادیر خشکسالی قابل‌مشاهده است، با توجه به این نتایج و همچنین قرارگیری نقاط در دو ربع کاملاً متمایز، الگوی خوشه‌ای بودن خشکسالی در سال ۱۳۰۳ به‌درستی تبیین می‌شود به‌طوری‌که دو الگوی خوشه‌ای بالا-بالا و پایین-پایین در پیکسل‌های مختلف خشکسالی متمرکز هستند. دو الگوی کاملاً متمایز مشاهده‌شده در شکل ۹ که با شیب‌خط رگرسیون به‌دست‌آمده است را می‌توان به‌صورت نقشه در شکل ۱۰ مشاهده نمود. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، الگوی خشکسالی در حوضه دره رود در سال ۲۰۱۳ متشکل از دو بخش متفاوت است که یکی مربوط به ترسالی ملایم که در قسمت شمالی رشته‌کوه سبلان (در ایستگاه‌های مشیران، اهر، تازه کند اهر و موئیل) و جنوب شرق این رشته‌کوه (ایستگاه‌های اردبیل، آتشگاه، بقرآباد، پل الماس،

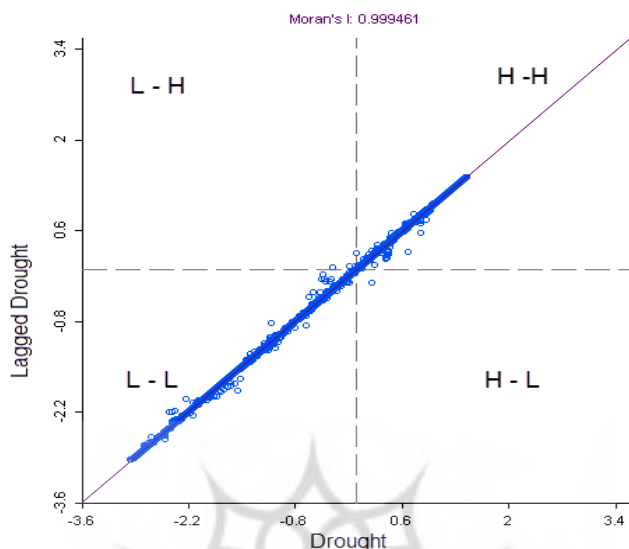
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۶، مشاهده می‌شود سال‌های موردبررسی در حوضه دره رود، از نظر شاخص موران جهانی دارای مقادیر مثبت و نزدیک به ۱+ هستند. این نتیجه بیان‌کننده این نکته است که الگوی پراکنش فضایی خشکسالی در حوضه دره رود در فاصله‌ها و مقیاس‌های چندگانه از مقیاسی به مقیاس دیگر تغییر می‌کند. همچنین بیان‌کننده وجود تفاوت‌های فضایی ویژه در مقادیر خشکسالی در مقیاس‌های مختلف است. نتایج حاصل از آماره عمومی موران جهانی برای سال ۲۰۱۳ در شکل ۸ به‌صورت گزارش قابل‌مشاهده است.

با توجه به نتایج شکل ۸، بالا بودن مقدار  $Z$  ( $Z > 1/96$ )، همچنین قرارگیری دامنه توزیع در ناحیه قرمز رنگ، نشان‌دهنده الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا برای خشکسالی در منطقه دره رود می‌باشد. صفر بودن مقدار P-Value و مثبت بودن آماره موران نیز تأییدکننده این مدعا است. همان‌طور که در شکل ۸ قابل مشاهده می‌باشد، نتایج همبستگی به‌دست‌آمده از آماره موران عمومی یا جهانی در GIS، تنها نشان‌دهنده نوع الگو و رفتار خوشه‌ای بر روی خشکسالی اتفاق افتاده در منطقه است. این آماره نمی‌تواند بیانگر و نمایش‌دهنده نوع رفتار فضایی پدیده موردنظر ضمن در نظر گرفتن خوشه‌ای بودن رفتار خشکسالی، بر روی نقشه باشد. به همین دلیل جهت نشان دادن توزیع الگوی حاکم بر پراکنش فضایی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، از مدل موران محلی استفاده گردید. این دستور با توجه به مقادیر I، چگونگی توزیع عوارض در فضا به‌صورت پراکنده، تصادفی و یا خوشه‌ای بودن توجیه می‌کند (علیچانی و همکاران: ۱۳۹۴: ۷۹؛ بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳: ۲۳۰). در نمودار به‌دست‌آمده از طریق نرم‌افزار GeoDa (شکل ۹) و همچنین نقشه‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار GIS (شکل ۱۰) علائم H-H، H-L، L-L و H-L بین این واقعیت است که چهار ربع از پراکنش نگار خودهمبستگی فضایی آماره موران در متغیر خشکسالی سالانه بدین‌صورت قابل تفسیر

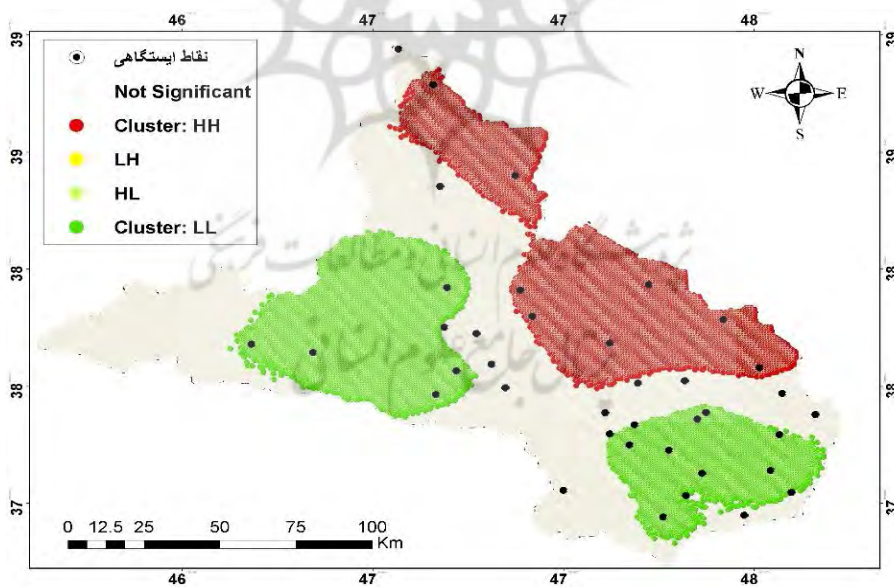
1. High-High
2. Low-Low
3. Low-High
4. High-Low

ارشق، انگوت و بوران). همان‌طور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، الگوی خشکسالی در سال ۲۰۱۳ در حوضه دره رود، از دو نوع بالا-بالا و پایین-پایین تشکیل شده است.

سرعین، هیر، سد قوری چای، شمس آباد، سیاه‌پوش و نئور) و دیگری خشکسالی شدید و خیلی شدید در نیمه شرق و شمال شرق حوضه (ایستگاه‌های نمین، ارباب کندی، خوش آباد، خلیفه لو، کنگر لو، تازه کند



شکل ۹: نمودار پراکنش نگار موران عمومی (جهانی) خشکسالی سالانه حوضه آبریز دره رود در سال ۲۰۱۳



شکل ۱۰: خروجی شاخص موضعی موران در مورد توزیع فضایی خشکسالی

به منظور حصول اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های با ارزش زیاد و کم، از تحلیل لکه‌های داغ<sup>۱</sup> آماره گتیس-ارد جی استفاده شد. در این ابزار خوشه‌بندی

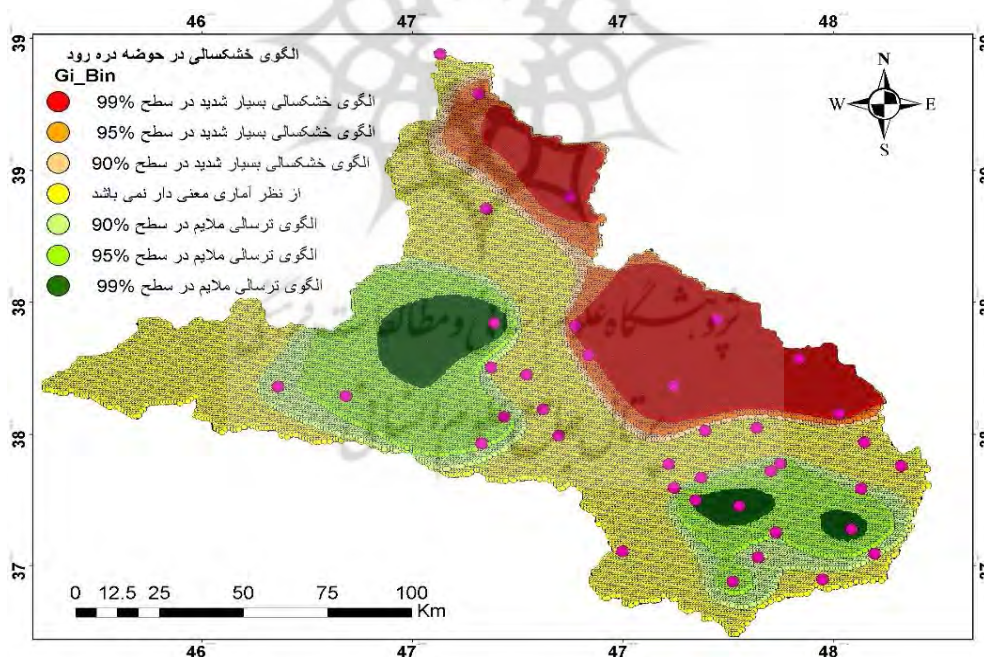
با توجه به نتایج به دست آمده تاکنون، مناطق دارای پراکنش فضایی مثبت (خوشه‌های مربوط به ترسالی ملایم) و منفی (خوشه‌های مربوط به خشکسالی بسیار شدید) بودند، مشخص گردید؛ اما

1. Hot Spot Analysis

هیر، پل الماس و سرعین که از الگوی ترسالی ملایم در منطقه پیروی می‌کنند در سطح ۹۹٪ معنادار می‌باشند. همچنین ایستگاه‌های اردبیل، سد قوری چای، تازه کند ارشق، موئیل و سیاه‌پوش دارای ترسالی ملایم در سطح ۹۵٪ معناداری و در نهایت ایستگاه‌های اهر، دوست بیگلو، آتشفشان، سنین، بقرآباد، نئور و شمس‌آباد دارای الگوی ترسالی ملایم در سطح ۹۰٪ معناداری هستند. در ادامه توزیع فضایی خشکسالی با توجه به شکل ۹ خشکسالی خیلی شدید در منطقه را نیز از نظر معناداری می‌توان چنین تفسیر نمود. الگوی خشکسالی خیلی شدید در ایستگاه‌های نمین، خوش‌آباد، ارباب‌کندی، خلیفه‌لو، تازه‌کند ارشق و انگوت در سطح ۹۹٪ معنادار بوده و ایستگاه‌های بوران و کنگر‌لو در سطح ۹۵٪ معنادار می‌باشند. در نهایت سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر آماری معنادار نمی‌باشند.

مقادیر زیاد یا کم داده‌ها، با استفاده از امتیاز محاسبه شده Z نشان داده می‌شود این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی-اش قرار دارند نگاه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی به تنهایی ممکن است یک لکه داغ و از نظر آماری معنادار نباشد. برای اینکه یک عارضه یک لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر بالا باشند. در اصل آماره گتیس-ارد جی خود نوعی امتیاز Z محسوب می‌شود که می‌توان برحسب آن معنی‌داری و یا عدم معنی‌داری شکل توزیع فضایی را مورد آزمون قرارداد (علی‌جانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵؛ بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳: ۲۳۵).

نتایج به دست آمده از آماره گتیس-ارد جی و تحلیل لکه‌های داغ در شکل ۱۱ نشان می‌دهد که نتایج شاخص خشکسالی برای ایستگاه‌های مشیران،



شکل ۱۱: پراکنش الگوی لکه‌های داغ برای خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در سال ۲۰۱۳

را در یک عدد خلاصه نمود (عسگری، ۱۳۹۰: ۱۰). در پژوهش حاضر از داده‌های بارندگی سالانه ۳۸ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در یک دوره زمانی ۲۴ ساله در حوضه آبریز دره رود اردبیل استفاده شد. ابتدا

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

آمار فضایی به ما کمک می‌کند تا رفتار پدیده‌های جغرافیایی را بهتر درک نماییم. همچنین به کمک آمار فضایی می‌توان نحوه توزیع پدیده‌های متعدد در فضا



خوشه‌های بارزش زیاد یا کم از آماره عمومی G استفاده شد که نتایج را به صورت پهنه‌ای محاسبه می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل آماره عمومی G نشان داد که ایستگاه‌های مشیران، هیر، پل الماس و سرعین که از الگوی ترسالی ملایم در منطقه پیروی می‌کنند که در سطح ۹۹٪ معنادار می‌باشند. همچنین ایستگاه‌های اردبیل، سد قوری چای، تازه کند ارشق، موئیل و سیاه‌پوش دارای ترسالی ملایم در سطح ۹۵٪ معناداری و در نهایت ایستگاه‌های اهر، دوست بیگلو، آتشگاه، سئین، بقرآباد، نئور و شمس‌آباد دارای الگوی ترسالی ملایم در سطح ۹۰٪ معناداری هستند. در ادامه توزیع فضایی خشکسالی با توجه به شکل ۹ خشکسالی خیلی شدید در منطقه را نیز از نظر معناداری می‌توان چنین تفسیر نمود. الگوی خشکسالی خیلی شدید در ایستگاه‌های نمین، خوش آباد، ارباب کندی، خلیفه لو، تازه کند ارشق و انگوت در سطح ۹۹٪ معنادار بوده و ایستگاه‌های بوران و کنگر لو در سطح ۹۵٪ معنادار می‌باشند. در نهایت سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر آماری معنادار نمی‌باشند. در نهایت با استفاده از تکنیک‌های تحلیل فضایی موران و همچنین آماره گتیس-ارد جی و تحلیل لکه‌های داغ، می‌توان شناخت جامعی از خشکسالی در حوضه آبریز دره رود و همچنین سایر مناطق کشور داشت. پیشنهاد می‌شود این مدل برای سایر حوضه‌های درگیر خشکسالی نیز اجرا گردد تا اقدامات لازم و به موقع در سطح مدیریتی و شناخت مناطق حساس نسبت به خشکسالی صورت گیرد.

اساس بارش استاندارد SPI. مطالعه موردی: استان مازندران. آمایش جغرافیایی فضا، دوره چهارم، شماره چهاردهم، گلستان.

۴. حکیم دوست، سید یاسر، محسن رستگار، علی محمدپورزیدی و حسین حاتم. ۱۳۹۳. تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان‌گزینی سکونتگاه‌های روستایی مطالعه موردی روستاهای استان مازندران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۱۱، مشهد.

مقادیر SPI سالانه برای همه ایستگاه‌های منطقه محاسبه شد که نتایج نشان داد که دوره‌های خشکسالی و ترسالی به تناوب در منطقه رخ داده است و اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های خشکسالی و ترسالی مشابه هم می‌باشند. سپس برای شناخت اجمالی نسبت به رفتار کلی نتایج خشکسالی، با استفاده از نمودار تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (AHC)، اقدام به خوشه‌بندی داده‌های خشکسالی در کل دوره مورد مطالعه شد که نتایج نشان داد که داده‌های خشکسالی در حوضه دره رود در سه کلاس همگن و تقریباً مشابه، خوشه‌بندی می‌شوند؛ اما جهت تشخیص دقیق و تحلیل آماری پهنه‌های درگیر خشکسالی در منطقه از شاخص موران جهت شناسایی توزیع فضایی خشکسالی، استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی شاخص موران نشان داد که توزیع فضایی حاکم بر خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از یک الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا پیروی می‌کند به طوری که در طول دوره آماری مقدار به دست آمده از شاخص موران مثبت و نزدیک به یک (Moran's  $I > 0.95$ ) می‌باشد. که این ضریب نشان می‌دهد که الگوی حاکم بر توزیع فضایی خشکسالی، یک الگوی خوشه‌ای است زیرا هر چه این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن با تمرکز بالا داده‌ها است (حکیم دوست و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین با توجه به نتایج جدول ۶ و شکل ۸، مقادیر بالای امتیاز استاندارد Z و صفر بودن مقدار P-Value خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی اثبات می‌گردد. جهت اطمینان از وجود مناطق دارای

## منابع

۱. آسیایی، مهدی. ۱۳۸۵. شاخص‌های خشکسالی. ، جلد اول. چاپ اول، مشهد، انتشارات سخن گستر.
۲. بلیانی، یدالله و سید یاسر حکیم دوست. ۱۳۹۳. اصول و مبانی پردازش داده‌های مکانی (فضایی) با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی، ، چاپ اول، تهران، انتشارات آزادپیما.
۳. پورزیدی، علی محمد. کیا بزرگمهر و سید یاسر حکیم دوست. ۱۳۹۳. بررسی فضایی خشکسالی اقلیمی بر

۵. خدایی، مهسا. روزبه شاد، یاسر مقصودی مهرانی و مرجان قائمی. ۱۳۹۵. تعیین یک شاخص بهینه چند سنسور سنجش از دوری به منظور ارتقای فرایند پایش زمان واقعی خشکسالی در مناطقی با پوشش اراضی ناهمگن. آکو هیدرولوژی، دوره سوم، شماره سوم، تهران.
۶. خسروی، یونس. حسن لشکری، علی اکبر متکان و حسین عساکره. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی فشار بخار آب در جنوب و جنوب غرب ایران با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی با تأکید بر مراکز و کانون‌های جمعیتی. مدیریت شهری، دوره ۱۴، شماره ۳۹، تهران.
۷. خشوعی اصفهانی، مهرداد. حمیدرضا صفوی و احمدرضا زمانی. ۱۳۹۵. طراحی سیستم پایش خشکسالی بر اساس شاخص یکپارچه در حوضه آبریز زاینده رود. علوم آب و خاک، دوره بیستم، شماره هفتاد و پنجم، اصفهان.
۸. درویشی بایگی، نادر. ۱۳۸۱. پایش خشکسالی در استان خراسان با استفاده از نمایه های خشکسالی، پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
۹. رحیمی، داریوش و زهرا محمدی. ۱۳۹۶. بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز سد زاینده رود. آمایش جغرافیایی فضا، دوره هفتم، شماره بیست و پنجم، گلستان.
۱۰. شوربانی، مهدی. محمدحسین رضوی، مرضیه هادی پور، ربابه لاسمی پور و سلمان حیاتی. ۱۳۹۵. تحلیل توزیع فضایی پارک‌های شهر نیشابور با استفاده از GIS. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، تبریز.
۱۱. صداقت، مهدی و حمید نظری پور. ۱۳۹۴. تغییرات زمانی-مکانی بارش دوره سرد سال در ایران (۲۰۰۹-۱۹۵۰). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره چهل و هفتم، شماره سوم، تهران.
۱۲. عساکره، حسین و حسین شادمان. ۱۳۹۴. شناسایی روابط فضایی روزهای گرم فراگیر در ایران زمین. تحقیقات جغرافیایی، پیاپی ۱۱۶، شماره یکم، تهران.
۱۳. عساکره، حسین. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میانبایی بارش مطالعه موردی: میان بایی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ ایران زمین. جغرافیا و توسعه، دوره ششم، شماره دوازدهم، زاهدان.
۱۴. عسگری، علی. ۱۳۹۰. تحلیل آمار فضایی با ArcGIS. چاپ اول، تهران، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری.
۱۵. علیجانی، بهلول. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی در مطالعات جغرافیایی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره دوم، شماره سوم، تهران.
۱۶. علیجانی، بهلول. مهدی دوستکامگان، سعیده اشرفی و فهیمه شاکری. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای بارش ایران طی نیم‌قرن اخیر. جغرافیا و آمایش شهری، دوره پنجم، شماره چهاردهم، سیستان و بلوچستان.
۱۷. فلاح قاله‌ری، غلامعباس. مهدی اسدی و عباسعلی داداشی رودباری. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره چهل و هفتم، شماره چهارم، تهران.
۱۸. کیانی، اکبر و علی اکبر کاظمی. ۱۳۹۴. تحلیل توزیع خدمات عمومی شهر شیراز با مدل‌های خودهمبستگی فضایی در نرم‌افزار ArcGIS و Geoda. پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ششم، شماره بیست و دوم، مرودشت.
۱۹. مخدوم، مجید. ۱۳۸۴. شالوده آمایش سرزمین. چاپ ششم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۲۰. مرادی، مسعود. محمدحسین قلس‌زاده. ۱۳۹۳. برآورد فرا سنج‌های مؤثر در دبی رودخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در حوضه آبی دهگلان- کردستان. آمایش جغرافیایی فضا، دوره چهارم، شماره چهاردهم، گلستان.
۲۱. مصطفی‌زاده، رئوف. معصومه شهابی و محسن ذبیحی. ۱۳۹۴. تحلیل خشکسالی هواشناسی در استان کردستان با استفاده از مدل نمودار سه متغیره. آمایش جغرافیایی فضا، دوره پنجم، شماره هفدهم، گلستان.
۲۲. نصرتی، کاظم. ۱۳۹۱. تحلیل منطقه‌ای خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه آبخیز سفیدرود با بهره‌گیری از شاخص جریان پایه. مرتع و آبخیزداری، دوره شصت و پنجم، شماره دوم، تهران.
۲۳. نظری پور، حمید. مهدی دوستکامگان و سارا علیزاده. ۱۳۹۴. بررسی الگوی توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین‌آمار (بررسی موردی: نواحی مرکزی ایران). مجله فیزیک زمین و فضا، دوره چهل و یکم، شماره یکم، تهران.

33. Hartmann, S.B., and King, L. 2008. Quasi - Periodicities in Chinese Precipitation Time Series, *Theoretical and Applied Climatology*, 92: 155-163. DOI: 10.1007/s00704-007-0317-1.
34. Heim, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1149-1165.
35. Kanellou, E., Domenikiotis, C., Blanta, A., Hondronikou, E., and Dalezios, N.R. 2008. "Index -based Drought Assessment in Semi-Arid Area of Greece based on Conventional Data", *European Water*, 23/24: 87/98.
36. Kim, S., and Singh, V.P. 2014. Modeling daily soil temperature using data-driven models and spatial distribution, *Theoretical and Applied Climatology*, 118 (3): 465-479.
37. Kogan, F.N. 2000. Contribution of remote sensing to drought early warning in early warning systems for drought preparedness and drought management, ed. D.A. Wilhite and D.A. Wood, 75–87. Geneva: World Meteorological Organization.
38. Manning, C.D., Raghavan, P., and Schütze, H. 2008. Text classification and naive bayes, *Introduction to information retrieval*, 1: 6.
39. Mckee, B.T., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim CA, American Meteorological Society, 17-22 January 1993: 179-184.
40. Nemeč, J., Gruber, C., Chimani, B., and Auer, I. 2013. Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenized dataset, *International Journal of Climatology*, 33: 1538-1550.
41. Tallaksen, L.M., and van Lanen, H.A.J. 2004. *Hydrological Drought—Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, Elsevier: Amsterdam.
42. Thomas, R.W., and Hug get, R.J. 1980. *Modeling in Geography, a mathematical approach*, Harper and Row, Publisher, London.
24. Ageena, I., Macdonald, N., and Morse, A.P. 2014. Variability of maximum and mean average temperature across Libya (1945–2009), *Theoretical and Applied Climatology*, 117: 549-563. DOI: 10.1007/s00704-013-1012-z.
25. Allard, D., and Soubeyrand, S. 2012. Skew-normality for climatic data and dispersal models for plant epidemiology: when application fields drive spatial statistics, *Spatial Statistics*, 1: 50-64.
26. Anselin, L. 2005. *Exploring spatial data with GeoDaTM: A Workbook*, University of Illinois, rbana-Champaign Urbana, IL 61801.
27. Bajat, B., Blagojević, D., Kilibarda, M., Luković, J., and Tošić, I. 2015. Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961 –2010, *Theoretical and Applied Climatology*, 121(1): 289–301. DOI: 10.1007/s00704-014-1243-7.
28. Behzadi, J. 2013. "An Evaluation of Two Drought Indices, Standard Distribution and Deciles in Guilan, Iran." *Greener Journal of Social Sciences*, 3(9): 472-478.
29. Bhuiyan C., Singh R.P., and Kkogan F.N. 2006. Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) using Different Indices based on Ground and Remote Sensing data, *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, Vol. 8: 289-302.
30. De Lucena, A.J., Rotunno Filho, O.C., de Almeida França, J.R., de Faria Peres, L., and Xavier, L.N.R. 2013. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and Applied Climatology*. 111: 497-511. DOI: 10.1007/s00704-012-0668-0
31. Fu, W.J., Jiang, P.K., Zhou, G.M., and Zhao, K.L. 2014. Using Moran's, I and GIS to study the spatial Pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China, *Biogeosciences*, 11: 2401-2409. DOI: 10.5194/bg-11-2401-2014.
32. Gibbs, W.J., and Maher, J.V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators, *Bureau of Meteorology Bulletin*, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.

44. Wilhite, D.A., Hayes, M., Knutson, C., and Smith, K. H. 2000. Planning for drought: Moving from crisis to risk management, Journal of the American Water Resources Association, 36(4): 697-71.
43. Tsakiris, G., Tigkas, D., Vangelis, H., and Pangalou, D. 2007. Regional Drought Identification and Assessment. Case Study in Crete. In: Rossi et al (ed.), Methods and Tools for Drought Analysis and Management. Springer, Netherlands: 169-191.

