نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

صفحات ۲۰-۱

تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال غرب ایران با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی

برومند صلاحی[1]، دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مجتبی فریدپور، دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۵

چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های اثرگذار بر محیط است که در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک آثار فراوانی بر جای می‌گذارد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارندگی ۲۳ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی در بازه زمانی ۲۰ ساله در شمال غرب ایران، به بررسی و تحلیل فضایی خشکسالی پرداخته‌شده است. ابتدا با استفاده از مقادیر SPI، دوره‌های خشکسالی و ترسالی منطقه شناسایی شدند و با استفاده از افزونه Geostatistic Analyst اقدام به پهنه‌بندی خشکسالی با روش درون‌یابی کریجینگ معمولی با مدل نیم‌پراشنگار گوسین و با کمترین خطای RMS شد. در ادامه با استفاده از واریوگرام مناسب، یاخته‌هایی به ابعاد ۵*۵ کیلومتر جهت انجام تحلیل فضایی بر منطقه مورد مطالعه گسترانیده شد. به‌منظور تبیین الگوی حاکم بر خشکسالی در شمال غرب ایران از آماره‌های سراسری و موضعی موران در حکم رویکردهای تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی استفاده شد. نتایج شاخص موران در مورد خشکسالی نشان داد که مقادیر مربوط به سال‌های مختلف در طول دوره آماری دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک (Moran's I >۰/۹۵۹۳۴۴) می‌باشند و نشان می‌دهد که توزیع فضایی خشکسالی خوشه‌ای است. همچنین نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value، خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی را مورد تائید قرارداد. در نهایت جهت شناسایی الگوهای فضایی حاکم بر خشکسالی از آماره‌ی عمومی G استفاده شد. نتایج این آماره نشان داد که قسمت غرب و شمال غرب منطقه دارای الگوی خشکسالی ملایم و جنوب شرق منطقه دارای الگوی خشکسالی بسیار شدید می‌باشد که در سطح ۰/۹۹ درصد معنادار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: خودهمبستگی فضایی، زمین‌آمار، خشکسالی، شاخص SPI، شاخص موران، شمال غرب ایران.

۱. نویسنده مسئول: Email: . bromand۴۱۶@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

مقدمه

از چهل بلای طبیعی موجود در جهان، ۳۱ مورد آن در ایران رخ می‌دهد. خشکسالی به دلیل گستردگی و تبعات کوتاه‌مدت و بلندمدت همه جانبه‌ی آن، از مهم‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود. خشکسالی معمولاً برخلاف سایر بلایای طبیعی، به آرامی شروع شده و با پیشروی، موجب هدررفت منابع می‌شود (کردوانی، ۱۳۸۰: ۴۰). خشکسالی رخدادی طبیعی است که مکرراً یا متناوباً رخ می‌دهد و وقوع آن تقریباً در هر نوع اقلیمی محتمل است[۱]. خشکسالی عموماً نتیجه کاهش طبیعی اندازه‌ی بارشی است که به‌طور متوسط در یک دوره مشخص نازل می‌شود (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۰). در دهه‌های اخیر، در میان حوادث طبیعی، وقوع پدیده خشکسالی از حیث تعداد و فراوانی بیش از سایر حوادث بوده است. تفاوت خشکسالی با سایر بلایای طبیعی در این است که این پدیده به‌تدریج و در یک دوره زمانی تقریباً طولانی عمل نموده و اثرات آن پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی آشکار گردد[۲]؛ از آنجایی که تعیین دقیق زمان شروع خشکسالی کاری سخت است، این پدیده را یک پدیده خزنده قلمداد می‌کنند (Kogan, ۲۰۰۰). وقوع خسارات ساختاری در پدیده خشکسالی کمتر است و به همین دلیل کمک‌رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها، پیچیده‌تر و سخت‌تر است[۳] (Peters, ۲۰۰۳). نمایه‌های متعددی برای تعیین ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی ارائه شده است. این نمایه‌ها عموماً بر مبنای یک و یا چند عنصر اقلیمی محاسبه می‌شوند. نمایه‌های خشکسالی PDSI (Palmer,۱۹۶۵)، CMI(Palmer, 1968) و SWSI(Shafer and Dezman, ۱۹۸۲) بر مبنای عناصر مختلف آب و هوایی و هیدرولوژیکی قابل محاسبه هستند و در همه‌جا اندازه‌گیری نمی‌شوند[۴]. بر اساس بررسی‌های انجام شده، وزن بارندگی در نمایه‌های خشکسالی بیش‌تر از بقیه متغیرها است. از این رو این متغیر به‌تنهایی بیش از ۸۰ درصد تغییرات نمایه‌های خشکسالی را توصیف می‌کند (Keyantash and Dracup, ۲۰۰۳). شاید به همین دلیل است که در بسیاری از کشورهای دنیا اغلب از نمایه‌هایی بهره گرفته می‌شود که تنها از متغیر بارندگی را در نظر گرفته باشد. از نمایه‌هایی که صرفاً بر مبنای متغیر بارندگی استوارند می‌توان به نمایه درصد از نرمال (Willeke, et. al., ۱۹۹۴) و BMDI (Bhalme and Mooly, ۱۹۸۰)، دهک‌ها (Gibbs and Maher, ۱۹۶۷) و SPI (McKee, ea. Al., ۱۹۹۳, ۱۹۹۵) اشاره کرد. نمایه SPI معمولاً به دلیل سهولت در محاسبات و استفاده از داده‌های بارش قابل‌دسترس، برای هر مقیاس زمانی مورد نظر قابل محاسبه بوده و به عنوان یکی از مناسب‌ترین نمایه‌ها برای تحلیل خشکسالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته شده است (Hayes, et. Al., ۱۹۹۹). شاخص SPI برای هر منطقه جغرافیایی، بر اساس میزان بارندگی بلندمدت آن محاسبه می‌شود[۵]. ابتدا لازم است توزیع آماری مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی برازش داده شود. آنگاه با استفاده از احتمالات مساوی، تابع تجمعی توزیع به توزیع نرمال تبدیل می‌شود به طوری که بعد از استانداردسازی، متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود (Edward and Makee, ۱۹۹۷). معمولاً در بررسی‌های تغییرپذیری داده‌های محیطی به‌ویژه عناصر آب و هوایی، دو رویکرد اساسی در نظر گرفته می‌شود. ابتدا رویکردی که به تغییرات زمانی توجه می‌کند و رویکرد دوم رویکردی

۱- http://ganj.irandoc.ac.ir/articles/۸۱۰۲۰۳
۲- http://www.nlai.ir/tabid/۲۵۹۸/mid/۵۸۵۳/ctl/asnad/Default.aspx?Subjectmid=۵۸۵۰&SubjectID=٤۹۳۵
۳- http://www.niazemarkazi.com/papers/۱۰۰۰٤۰۸۹.html
٤- http://www.sid.ir/fa/VEWSSID/s_pdf/۲۳۱۱۳۸۸۰۵۱۹۷.pdf
۵- http://www.mealy-continent.blogfa.com/post-۵۳.aspx

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

است که تغییرات فضایی عنصر مورد نظر را بررسی می‌کند. در ارتباط با تغییرات زمانی، اغلب بررسی‌های صورت گرفته عمدتاً مبتنی بر تحلیل‌های روند و تغییرات داده‌های محیطی بوده است (Hartmann, et. al., ۲۰۰۸؛ Brunetti, et. al., ۲۰۰۰). تغییرپذیری و خودهمبستگی‌های فضایی- به عنوان نگرشی نو در ارتباط با متغیرهای محیطی- در رویکرد دوم مورد توجه قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر، مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های آماری توجه اقلیم شناسان را برای رسیدن به این مهم به خود جلب کرده است (Fu, et. al., ۲۰۱۴). علیرغم اینکه خشکسالی‌ها عمدتاً ناشی از کمبود بارندگی بوده و اغلب تحت تأثیر این عنصر اقلیمی هستند ولی متأسفانه تحقیقات چندانی در زمینه تحلیل فضایی خشکسالی صورت نگرفته است. در زمینه تحلیل فضایی متغیرهای مختلف جغرافیایی نیز پژوهش‌هایی انجام گرفته که به چند نمونه آن پرداخته می‌شود.

آلرد و سابیرند (۲۰۱۲) با بهره‌گیری از رویکرد کاربردی آمار فضایی، مناطق حساس به تغییرات آب و هوایی در منطقهٔ کولمر[۱] واقع در شمال شرق فرانسه را مشخص کردند (Allard, and Soubeyrand, ۲۰۱۲). دی‌لوکنا و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی میدان‌های حرارتی منطقهٔ شهری ریودوژانیرو در برزیل با استفاده از تحلیل لکه‌های داغ پرداختند (De Lucena, et.al. ۲۰۱۳). بجت و همکاران (۲۰۱۵) در تحلیل فضایی روند دما در صربستان، از داده‌های میانگین دمای ماهانهٔ ۶۴ ایستگاه سینوپتیک استفاده کردند و روند دما را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در تحلیل خودهمبستگی فضایی از روش موران بهره جستند (Bajat, et. al., ۲۰۱۵). روبسون و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اقلیمی ایستگاه‌های مهم هواشناسی جهان، بهترین نوع الگوی تابع K رایپلی را معرفی کردند. (Robeson, et. al., ۲۰۱٤). پژوهش‌هایی نظیر (Hartmann, et. al., ۲۰۱۰)، (Ageena, et. al., ۲۰۱٤)، (Nemec, et. al., ۲۰۱۳) و (Kim, and Singh, ۲۰۱٤) نیز به بررسی این الگوها پرداخته‌اند. فتاحی و صداقت کردار (۱۳۸۶) با تحلیل منحنی‌های شدت - مدت و فراوانی، خشکسالی‌های ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. حکیم دوست و همکاران (۱۳۹۳) در تحلیل خشکسالی آب و هوایی و اثرات آن بر تغییرات الگوی مکان‌گزینی سکونتگاه‌های روستای استان مازندران از تحلیل آماره‌ی عمومی G بهره جستند. علی‌آبادی و داداشی رودباری (۱۳۹۴) نیز تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه‌ی ایران را بررسی نمودند.

عزیزی مبصر و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص ناهنجاری‌های بارندگی به پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در شمال غرب ایران پرداختند و نشان دادند که اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر وسعت، شدت و گسترش مکانی، خشکسالی نسبتاً ضعیفی داشته‌اند. عساکره و شادمان (۱۳۹۴) در شناسایی روابط فضایی روزهای گرم ایران، ۱۵۳۹ روز گرم فراگیر را مورد شناسایی قرار دادند. آن‌ها در شناسایی الگوهایی پراکنش و روابط فضایی روزهای گرم فراگیر، از آماره‌های موران کلی، موران محلی و نمایه گیتس-اُرد جی استار بهره بردند. صداقت و نظری پور (۱۳۹۴) در بررسی تغییرات زمانی-مکانی بارش دوره سرد سال در ایران، از تحلیل اکتشافی زمین‌آمار و روش‌های خودهمبستگی فضایی عمومی و محلی استفاده کردند. فلاح قالهری و همکاران (۱۳۹۴) در تحلیل فضایی پراکنش رطوبت نسبی در ایران، از روش‌های خودهمبستگی فضایی موران، شاخص انسلین محلی موران، لکه‌های داغ و نرم‌افزار GIS استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که

۱- Colmar

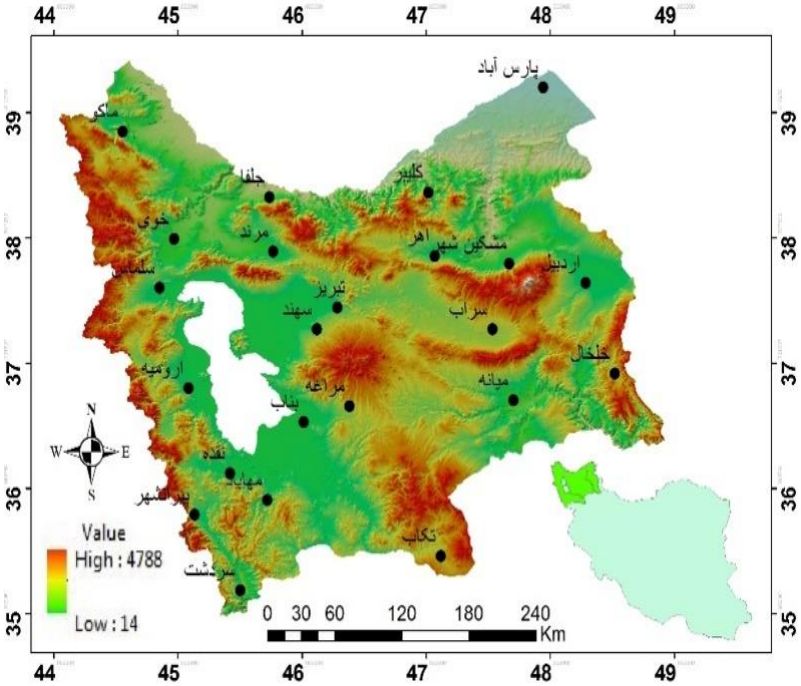
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

الگوی پراکنش فضایی رطوبت در ایران، الگویی خوشه‌ای است. کیانی و کاظمی (۱۳۹۴) نیز در تحلیل توزیع خدمات عمومی شهر شیراز، از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نرم‌افزار Geoda، شاخص موران و آماره عمومی G استفاده کردند. خسروی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از تکنیک تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی (ESDA) و آماره موران محلی، به تحلیل فضایی فشار بخار آب در جنوب و جنوب غرب ایران پرداختند. طلوعی و همکاران (۱۳۹۰)، صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲)، ثقفیان و همکاران (۱۳۹۲)، پورزیدی و همکاران (۱۳۹۳)، امیدوار و همکاران (۱۳۹۳)، ساداتی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴)، اسدی و جلالی (۱۳۹۴) و بلیانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در مطالعات خود از روش‌های زمین آمار در تحلیل خسکسالی استفاده کرده‌اند. یافته‌های ذکر شده نشان می‌دهد که در پژوهش‌های اقلیمی در سطح ایران، علیرغم قابلیت‌های مناسب آمار فضایی در تحلیل پدیده‌های جغرافیایی، در بررسی خشکسالی‌های هواشناسی، از قابلیت تحلیلی این آماره‌ها استفاده کافی به عمل نیامده است. با توجه به تکرار خشکسالی شمال غرب ایران و درگیر بودن این منطقه از این بلای طبیعی، در این پژوهش سعی شده است با رویکرد استفاده از توابع تحلیلی مکانی آمار فضایی و شناسایی روابط خودهمبستگی فضایی، پهنه‌های خشکسالی در شمال غرب ایران مورد واکاوی قرار گیرد.

داده‌ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شمال غرب ایران است که شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های میانگین ۲۰ ساله مجموع بارش ماهانه (سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴) برای ۲۳ ایستگاه سینوپتیک در محدوده شمال غرب ایران استفاده شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و همچنین پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

در این پژوهش برای بررسی شاخص خشکسالی SPI، از داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های مورد نظر استفاده شده است. با عنایت به وجود خلأ آماری در برخی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه، ابتدا آمار مورد نظر تکمیل گردید. از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و روش رگرسیون خطی برای بازسازی نواقص آماری بهره گرفته شد. داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌ها برای هرماه به‌طور مجزا برای طول دوره آماری مورد نظر در فایل‌های جداگانه وارد محیط Excel شد و سپس این فایل‌ها به محیط نرم‌افزار Minitab وارد گردید و همبستگی بین آن‌ها جهت بازسازی خلأهای آماری به دست آمد. با تشکیل پایگاه داده‌های مکانی در محیط ARC GIS۱۰.۳، به منظور تحلیل میانیابی از افزونه Geostatistic Analyst و نیز از خودهمبستگی فضایی و سراسری موران در محیط نرم‌افزار GeoDa و GIS برای آشکارسازی روابط فضایی متغیرها استفاده شد.

شاخص بارندگی استانداردشده توسط ((Mckee, et. al., ۱۹۹۳ و ((Edvard and Makee, ۱۹۹۷ ارائه شد. هدف آن‌ها در ارائه شاخص بارندگی استانداردشده، بررسی و تحلیل آنومالی‌ها و بارندگی‌های سنگین بوده است. این شاخص ضمن دارا بودن قابلیت محاسبه برای بازه‌های زمانی مختلف، در ارزیابی شدت خشکسالی نیز از اهمیت فراوانی برخوردار است (فتاحی و صداقت‌کردار، ۱۳۸۶: ۷۹). این شاخص برای هر منطقه جغرافیایی بر اساس آمار بارش بلندمدت در یک دوره آماری مشخص، معلوم می‌شود. از آنجایی که این شاخص نرمالیزه است، لذا آب و هواهای مرطوب و خشک قادرند به کمک این شاخص تعیین شوند. شاخص بارندگی استانداردشده بیان می‌کند که یک ناحیه ممکن است در یک یا چند مقیاس زمانی، به‌طور هم‌زمان ترسالی و در مقیاس‌های زمانی دیگر، خشکسالی داشته باشد، یعنی ناحیه‌ای ممکن است دچار خشکسالی کشاورزی شده باشد اما از لحاظ هیدرولوژی، در حال تجربه‌ی شرایط ترسالی باشد (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۱: ۴؛ بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴). اختصاص ارزش عددی به وقوع بارندگی در مقیاس زمانیِ معین، هدف شاخص SPI می‌باشد (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۸۷: ۷؛ ساداتی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۹؛ درویشی بایگی، ۱۳۸۱). این شاخص با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق Xij بارندگی فصلی در ایستگاه بارندگی i، با j تعداد مشاهده، X_{im} میانگین درازمدت بارندگی و σ انحراف معیار است. در جدول ۱، محاسبات شاخص بارش نرمال شده یا SPI ارائه شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت شاخصSPI

طبقه خشکسالی	مقدار عددی SPI
خشکسالی بسیار شدید	≤ -۲
خشکسالی شدید	۱/۵-تا ۱/۹۹-
خشکسالی متوسط	۱-تا ۱/۴۹-
خشکسالی ملایم	۰ تا ۰/۹۹-
بدون خشکسالی	<۰/۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

درونیابی عبارت است از فرایند برآورد مقادیر کمّی برای نقاط فاقد داده با استفاده از نقاط مجاور و معلوم (Chang, ۲۰۰۴). روش‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از روش IDW با سه توان ۱،۲،۳، روش کریجینگ معمولی، ساده و عام با مدل‌های دایره‌ای، کروی، گوسین و نمایی. با استفاده از تابع شعاعی پایه (RBF) شامل مدل‌های اسپیلاین کاملاً منظم، مولتی کوادریک معکوس، مولتی کوادریک، اسپیلاین با کشش و اسپیلاین صفحه نازک، نقشه‌های مربوط به پهنه‌بندی مقادیر به دست آمده از شاخص SPI به دست آمد. با بکارگیری روش‌های گوناگون درونیابی بر داده‌های مشابه، نتایج مختلفی حاصل می‌شود. هر روش برآورد، دارای خطای برآوردِ مخصوص به خود است؛ بنابراین، لازم است با معیارهای ارزیابی خطاها به کنترل دقت برآوردگرها پرداخت (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۵؛ پورزیدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۸۲). آماره‌های تشخیصی مانند ریشه دوم مربعات خطا (RMS) و مقدار استاندار شده آن (SRMS)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین انحرافات خطا (MBE) و متوسط مربعات خطا (ASE) برای این منظور در این پژوهش استفاده شده است. تجزیه و تحلیل پراکندگی‌ها، تحلیل و استدلال ساختار فضایی از طریق روابط فضایی و انجام برنامه‌ریزی فضایی فعالیت‌های انسانی از اهداف تحلیل فضایی است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴).

خودهمبستگی فضایی[۱]، یکی از شاخه‌های کاربردی و در حال رشد آمار فضایی است. خودهمبستگی فضایی به رابطه بین مقادیر باقی‌مانده در طول خط رگرسیون می‌پردازد. در صورتی که مقادیر باقی‌مانده با هم ارتباط خوبی داشته باشند، خودهمبستگی قوی رخ می‌دهد. هنگامی که مقادیر یک متغیر که از نظر جغرافیایی به هم نزدیک هستند باهم مرتبط باشند، خودهمبستگی فضایی رخ می‌دهد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۶؛ عسگری،۱۳۹۰:۶۰). خود همبسته بودن ارزش صفت‌های مطالعه شده همان خودهمبستگی فضایی است و همبستگی آن‌ها به نظم جغرافیایی پدیدها قابل اسناد است (محمدی و فیروزی مجنده، ۱۳۹۴: ۵۷) (Clark and Hosking, ۱۹۸۶). در صورتی که ارزش صفات پدیده‌های جغرافیایی رابطه معنی‌دار با یکدیگر داشته باشند (قوی یا ضعیف)، خودهمبستگی فضایی قوی شکل می‌گیرد. در صورتی که ضرایب ویژگی پدیده‌های جغرافیایی مجاور، فاقد ارتباط و نظم ظاهری مشخصی باشند، آن ویژگی‌ها دارای ارتباط فضایی ضعیف و یا دارای الگوی تصادفی هستند (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۹).

شاخص موران، ضریب گری و آماره عمومی G[۲] مدل‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری آماره‌ای خودهمبستگی فضایی به شمار می‌روند ((Lee, et. al., ۲۰۰۱). شاخص‌های موران و گری علیرغم اینکه ویژگی‌های مشترکی دارند، معهذا دارای مشخصات آماری متفاوتی هستند (شوریابی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴). به دلیل اینکه توزیع مشخصات شاخص موران مطلوب‌تر است، اغلب تحلیل‌گران با آن موافق‌اند ((Clark and Hosking, ۱۹۸۶). دو روش ذکر شده متکی بر مقایسه‌ی ارزش‌های واحدهای ناحیه‌ای همسایگی‌ها هستند. در صورتی که واحدهای ناحیه‌ای همسایگی و طول ناحیه دارای ارزش‌های همسانی باشند، در این حالت آماره‌ها خودهمبستگی فضایی قوی را نشان می‌دهند (همان منبع). این در حالی است که اگر واحدهای ناحیه‌ای همسایگی ارزش‌های ناهمسانی داشته باشند، آماره‌ها معرف خودهمبستگی فضایی منفی خیلی قوی خواهند بود (شوریابی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴). دو مدل مذکور، از روش‌های مختلفی برای مقایسه‌ی ضرایب همبستگی‌ها استفاده می-

۱-Spatial Autocorrelation
۲-General G-Statistic

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

کنند. برای تشخیص نوع الگوی حاکم بر خشکسالی‌های اقلیمی منطقه مورد بررسی (شمال غرب ایران) از روش خودهمبستگی فضایی سراسری (موران) استفاده شد. شاخص موران به شرح زیر است (شوریابی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵):

$$I = \frac{n\sum\sum W_{ij}(x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})}{W\Sigma(x_i - \bar{x})^2} \qquad (۲)$$

که در آن، Xi ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحدهای ناحیه‌ای i و n تعداد واحدهای ناحیه‌ای است. ضریب موران بین ۱- تا ۱ متغیر است. ضریب ۱- به معنای تعامل فضایی منفی و ضریب ۱ معادل تعامل فضایی مثبت است. در صورت فقدان تعامل فضایی، ضرایب مورد انتظار موران برابر صفر است (شوریابی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵). ضرایب مورد انتظار موران با رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$E_1 = \frac{I}{(n-1)} \qquad (۳)$$

که در آن، n تعداد واحدهای ناحیه‌ای و EI ضریب مورد انتظار است. الگوی پراکنش فضایی هنگامی که شاخص موران بزرگ‌تر از مقدار ضریب مورد انتظار باشد، تائید می‌شود (Lee, et. al., ۲۰۰۱).

شاخص موضعی موران یا شاخص موضعی پیوند فضایی توسط انسلین (۲۰۰۵) مطرح شد (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۶). این شاخص سعی دارد نقاط موضعی را تشخیص دهد و چگونگی تأثیر مکان‌های انفرادی در پیوندهای فضایی را مشخص نماید. با فرض وجود تعدادی عارضه جغرافیاییِ وزن‌دهی شده، این شاخص نشان می‌دهد که در چه مکان‌هایی مقادیرِ زیاد و یا کمِ این پدیده‌ها به‌طور خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند و نیز کدام عوارض دارای مقادیر ناهمگون از عوارض اطرافشان هستند (Anselin, ۲۰۰۵). این شاخص با رابطه (۴) تعریف می‌گردد (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۶):

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S_x^2}\sum_j \left[W_{ij}(x_i - \bar{x})\right] \qquad (۴)$$

در اینجا، S_x^2 واریانس معادله است و با روش رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$S_x^2 = \sum_j (x_i - \bar{x})^2 / n \qquad (۵)$$

که در آن، مقدار مثبت از I_i بیانگر آن است که مناطق با ارزشِ 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: ۱۰۶).

شاخص موران برای و توصیف همبستگی فضایی جهانی طراحی شده است. الگوهای فضایی در برخی مواقع به‌عنوان نقاط داغ[۱] و نقاط سرد[۲] تمرکز نامیده می‌شوند (کیانی و کاظمی، ۱۳۹۴: ۶). اگر ارزش‌های بالا، نزدیک هم باشند، شاخص موران و ضریب گری خودهمبستگی فضایی مثبت نسبتاً بالا را اثبات می‌کنند، این طبقه از ارزش‌های بالا به‌عنوان نقطه‌ی تمرکز (داغ) موسوم است. خودهمبستگی فضایی مثبت بالا چنانچه توسط ارزش‌های پایین مجاور با هم ایجاد شده باشند این طبقه می‌تواند نقطهٔ سرد نام گیرد (شوریابی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵). شاخص موران نمی‌تواند این دو خودهمبستگی

۱-Hot Spots
۲-Cold Spots

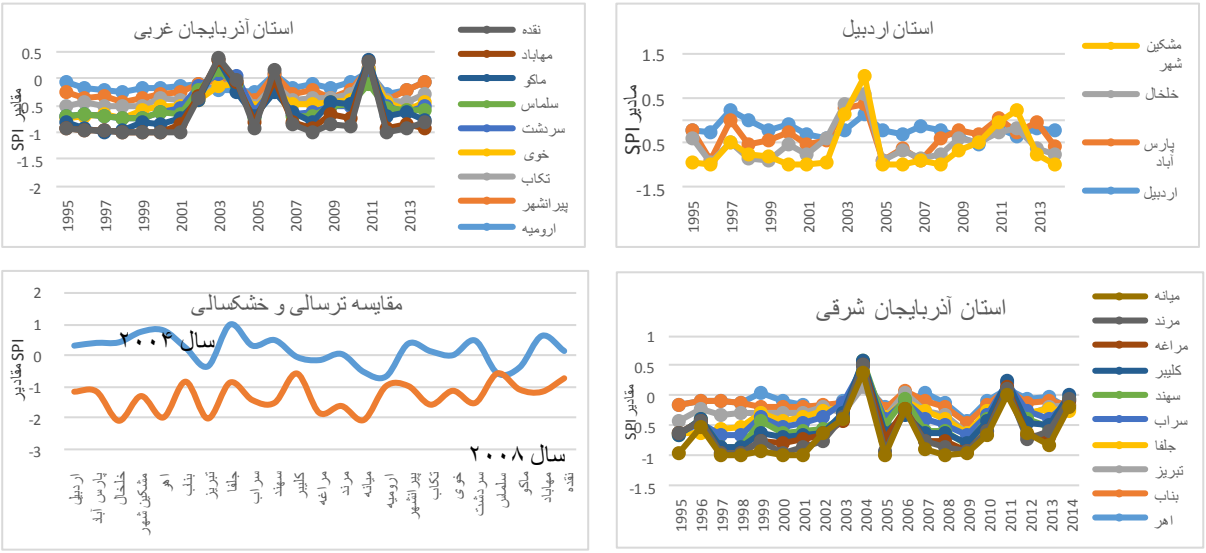
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

فضایی را متمایز کند. در تعیین نقاط مثبت و منفی در سطح ناحیه مورد بررسی، آماره‌ی عمومی G بهتر از شاخص موران عمل می‌کند (کیانی و کاظمی، ۱۳۹۴: ۶). این نقاط داغ و سرد معمولاً به‌عنوان تمرکزهای فضایی در نظر گرفته می‌شوند (Thomas, et. al., ۱۹۸۰). آماره‌ی عمومی G با رابطه زیر به دست می‌آید (شوریابی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵):

$$G(d) = \frac{\sum\sum W_{ij}(d)\, x_i x_j}{\sum\sum x_i x_j} \qquad (۶)$$

شرح و تفسیر نتایج

در این پژوهش برای تحلیل و پهنه‌بندی خشکسالی از شاخص SPI در محیط ArcGIS استفاده گردید. ابتدا برای شناخت دوره‌های خشکسالی در طول دوره آماری، نتایج شاخص SPI به‌صورت نمودار (شکل ۲) برای سه استان مورد مطالعه به‌صورت مجزا در محیط Excel ترسیم گردید. با توجه به نتایج شکل ۲ مشاهده می‌شود که دوره‌های ترسالی و خشکسالی برای تقریباً تمامی ایستگاه‌ها مشابه می‌باشد.



شکل ۲: وضعیت خشکسالی و ترسالی در مناطق مورد مطالعه و مقایسه سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ ایستگاه‌ها مشابه

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۲، در سال ۲۰۰۴ اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای ترسالی نسبتاً خوب بوده و این نشان‌دهنده دقت نتایج به دست آمده از شاخص SPI می‌باشد. همچنین با توجه به هدف این پژوهش یعنی بررسی شاخص خشکسالی در طول دوره آماری و بررسی تحلیل خودهمبستگی فضایی، سال ۲۰۰۸ به‌عنوان نمونه مورد تحلیل فضایی قرار گرفته و نتایج عددی خودهمبستگی سایر سال‌ها برای جلوگیری از حجیم شدن مقاله در جدول ۳ آورده شده است. این پژوهش در پی پاسخگویی به این سوال است که آیا ایستگاه‌های مورد استفاده، از نظر مقادیر به دست آمده از شاخص خشکسالی SPI، وابستگی فضایی دارند یا نه؟ در این قسمت برای پهنه‌بندی خشکسالی در شمال غرب ایران، داده‌های شاخص استاندارد بارش (SPI) ایستگاه‌های مورد مطالعه وارد پایگاه داده اطلاعات GIS گردید و با استفاده از فنون

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

زمین‌آمار پهنه‌بندی شد. همچنین برای بهترین مدل پهنه با کمترین خطا جمعاً ۲۰ نقشه به دست آمد که نتایج حاصل از بررسی مدل‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده است

جدول ۲: نتایج ارزیابی روش‌های گوناگون برآوردگر کریجینگ با نیم‌پراشنگارهای متفاوت برای درونیابی خشکسالی

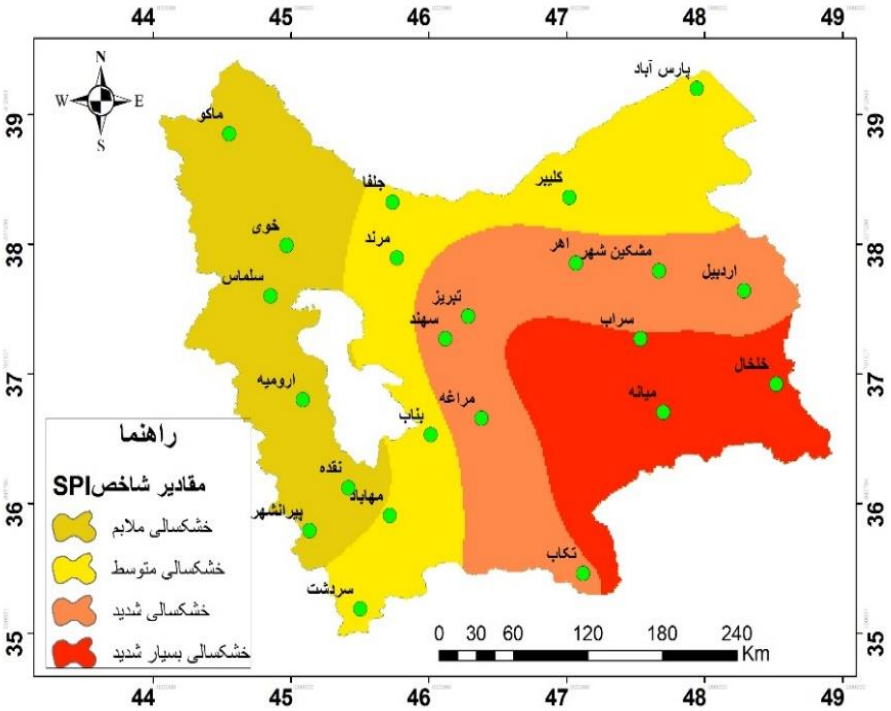
روش	مدل	معیار ارزیابی		معادله رگرسیون
		Mean	RMS	
RBF	اسپیلاین کاملاً منظم	۰.۰۰۱	۰.۴۳۹	Y=۰.۱۴x+ -۱.۱۴
	اسپیلاین صفحه نازک	۰.۰۰۱	۰.۴۳۷	Y=۰.۱۳x+ -۱.۱۶
	مولتی کوادریک معکوس	۰.۰۲۳	۰.۴۷۷	Y=۰.۲۹x+ -۱.۲۹
	مولتی کوادریک	-۰.۰۰۰	۰.۴۵۰	Y=۰.۰۷x+ -۱.۲۵
	اسپیلاین با کشش	۰.۰۸۴	۰.۷۰۶	Y=۰.۳۰x+ -۰.۸۹
IDW	۱	-۰.۰۰۰	۰.۴۵۲	Y=۰.۰۴x+ -۱.۲۹
	۲	-۰.۰۰۲	۰.۴۷۱	Y=۰.۰۷x+ -۱.۲۵
	۳	۰.۰۰۹	۰.۵۲۱	Y=۰.۰۵x+-۱.۲۶

روش	مدل		Mean	RMS	MAE	SRMS	ASE	معادله رگرسیون
کریجینگ	کریجینگ معمولی	دایره‌ای	-۰.۰۱۶	۰.۴۲۴	-۰.۰۲۴	۰.۹۰۹	۰.۴۷۳	Y=۰.۱۶x+ -۱.۱۳
		گوسی	-۰.۰۰۶	۰.۴۲۵	-۰.۰۱۳	۰.۹۱۵	۰.۴۶۹	Y=۰.۱۵x+ -۱.۱۵
		کروی	-۰.۰۰۴	۰.۴۲۸	-۰.۰۱۲	۰.۹۱۸	۰.۴۷۳	Y=۰.۱۵x+ -۱.۱۵
		نمایی	-۰.۰۱۴	۰.۴۳۷	-۰.۰۲۹	۰.۹۳۸	۰.۴۶۹	Y=۰.۱۰x+ -۱.۲۲
	کریجینگ ساده	دایره‌ای	-۲.۸۴۹	۰.۴۳۶	-۰.۰۰۰	۰.۹۵۶	۰.۴۵۶	Y=۰.۰۸x+ -۱.۲۳
		گوسی	-۰.۰۰۱	۰.۴۳۱	-۰.۰۰۴	۰.۹۴۴	۰.۴۵۸	Y=۰.۹x+ -۱.۲۲
		کروی	-۰.۰۰۰	۰.۴۳۵	-۰.۰۰۱	۰.۹۵۱	۰.۴۵۷	Y=۰.۰۸x+ -۱.۲۳
		نمایی	-۰.۰۰۳	۰.۴۳۶	-۰.۰۰۷	۰.۹۴۶	۰.۴۶۲	Y=۰.۰۸x+ -۱.۲۴
	کریجینگ عام	دایره‌ای	-۶.۲۷۹	۰.۴۳۰	-۰.۰۰۴	۰.۹۱۹	۰.۴۷۵	Y=۰.۱۷x+ -۱.۱۲
		گوسی	-۰.۰۰۴	۰.۴۲۶	-۰.۰۱۱	۰.۹۱۸	۰.۴۷۰	Y=۰.۱۵x+ -۱.۱۴
		کروی	-۰.۰۰۴	۰.۴۲۸	-۰.۰۱۲	۰.۹۱۸	۰.۴۷۳	Y=۰.۱۵x+ -۱.۱۵
		نمایی	-۰.۰۱۴	۰.۴۳۷	-۰.۰۲۹	۰.۹۳۸	۰.۴۶۹	Y=۰.۱۰x+ -۱.۲۲

جدول ۲ با آشکارسازی نتایج صحت‌سنجی مدل‌های مختلف نشان داد که روش درون‌یابی کریجینگ معمولی با مدل نیم‌پراشنگار گوسین الگوی توزیع فضایی خشکسالی در شمال غرب ایران را به خوبی تبیین می‌کند؛ بنابراین، با استفاده از روش فوق به درون‌یابی داده‌های ایستگاهی مربوط به شاخص SPI در شمال غرب ایران پرداخته شد که در شکل شماره ۳ پهنه‌بندی خشکسالی شمال غرب ایران در سال ۲۰۰۸ به عنوان سالی که تمامی ایستگاه‌ها دارای خشکسالی شدید و همچنین این خشکسالی دارای تداوم ۴ ساله می‌باشد، آورده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]



شکل ۳: پهنه‌بندی خشکسالی شمال غرب ایران با روش کریجینگ معمولی، مدل گوسین

- **تحلیل فضایی خشکسالی شمال غرب ایران**

نتایج تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی، به‌صورت عددی برای تمامی سال‌های دوره آماری مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. به‌طورکلی اگر شاخص موران نزدیک به ۱+ باشد[۱]، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای است و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد ۱- باشد، داده‌ها از هم گسسته و پراکنده است[۲] (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۵؛ فلاح قالهری؛ ۱۳۹۴: ۶۴۲). در موران جهانی، فرض صفر این است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عناصر مرتبط (نتایج حاصل از شاخص خشکسالی بعد از تهیه بهترین نوع میان‌یابی) با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد (علی‌آبادی و داداشی رودباری: ۱۳۹۴: ۹۶)؛ 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 (علی‌آبادی و داداشی رودباری: ۱۳۹۴: ۹۶؛ فلاح قالهری؛ ۱۳۹۴: ۶۴۳). اگر شاخص موران از صفر بزرگ‌تر باشد، داده‌ها مبین خوشه‌بندی فضایی هستند. اگر مقدار این شاخص کمتر از صفر باشد، آنگاه عوارض بررسی شده از الگوی پراکنده تبعیت می‌کنند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۸). در تحقیق حاضر با توجه به مقادیر جدول ۳ مشاهده می‌شود که شاخص موران برای تحلیل نتایج حاصل از مقادیر شاخص استاندار بارش (SPI) در تمامی سال‌های مورد مطالعه، بیش از ۰/۹۵ است. از آنجایی که مقادیر به دست آمده موران مثبت و نزدیک به یک هستند، می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی در شمال غرب ایران در طول دوره آماری دارای خودهمبستگی فضایی و همچنین دارای الگوی خوشه‌ای بالا در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد است. این یافته با نتیجه کار

۱ - http://shirazgis.blogfa.com/post-۱۵۷.aspx
۲ - http://gis-rs-gps.ir/۲۰۱۶/۱۰/۱۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

فلاح قالهری (۱۳۹۴: ۶۴۳) همسو است. با این وجود اگر قرار بود داده‌های مربوط به خشکسالی به طور طبیعی در فضا پخش شده باشند، شاخص موران باید مقدار ۰/۰۰۰۰۲۲- 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 شمال غرب ایران را رد نمود.

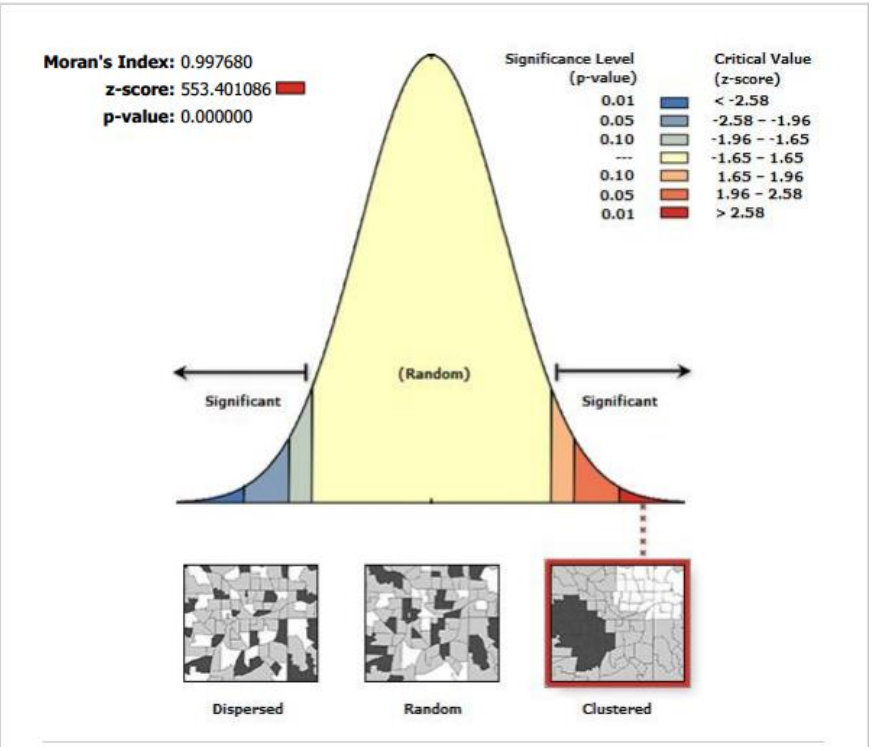
جدول ۳: نتایج خلاصه تحلیل موران خشکسالی شمال غرب ایران

سال	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	واریانس	z-score	p-value
۱۹۹۵	۰/۹۵۹۳۴۴	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۲۶/۵۹۵۴۲۱	۰/۰۰۰۰۰۰
۱۹۹۶	۰/۹۸۰۷۳۶	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۴/۰۰۳۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۰
۱۹۹۷	۰/۹۹۹۰۷۵	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۵۴/۱۷۶۵۱۳	۰/۰۰۰۰۰۰
۱۹۹۸	۰/۹۹۲۶۸۰	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۵۰/۶۲۵۹۳۷	۰/۰۰۰۰۰۰
۱۹۹۹	۱/۰۰۲۹۵۲	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۵۶/۳۲۵۲۷۹	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۰	۰/۹۸۸۶۳۹	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۸/۳۸۸۸۵۳	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۱	۰/۹۶۲۴۶۴	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۳۳/۸۷۴۰۵۱	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۲	۱/۰۰۲۰۵۹	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۵۵/۸۴۲۲۳۰	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۳	۰/۹۸۸۲۰۶	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۸/۱۵۰۰۶۷	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۴	۰/۹۸۹۹۶۰	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۹/۱۲۶۲۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۵	۰/۹۸۶۳۷۸	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۷/۱۳۸۳۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۶	۰/۹۸۳۵۵۱	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۵/۵۶۸۷۳۴	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۷	۰/۹۸۶۹۴۲	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۷/۴۴۵۰۳۶	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۸	۰/۹۹۷۶۸۰	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۵۳/۴۰۱۰۸۶	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۹	۰.۹۸۲۳۷۲	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۴/۹۱۰۷۷۸	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۰	۰/۹۸۲۳۷۲	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۴/۹۱۰۷۷۸	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۱	۰/۹۸۶۳۷۴	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۷/۱۳۳۹۶۹	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۲	۱/۰۱۴۷۴۳	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۶۲/۸۶۸۹۹۱	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۳	۰/۹۹۰۱۷۴	-۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۵۴۹/۲۳۸۴۱۴	۰/۰۰۰۰۰۰
۲۰۱۴	۰.۹۸۵۶۵۵	-۰.۰۰۰۰۲۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۵۴۶.۷۳۳۴۷۸	۰.۰۰۰۰۰۰

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود در تمامی سال‌های مورد مطالعه، مقدار شاخص موران جهانی بیش از ۰/۹۵ درصد بوده است. این نوع از توزیع داده‌ها مبین آن است که الگوی پراکنش فضایی خشکسالی در شمال غرب ایران در فاصله‌ها و مقیاس‌های چندگانه از مقیاسی به مقیاس دیگر تغییر می‌کند (فلاح قالهری؛ ۱۳۹۴: ۶۴۳) و این نتیجه بیان کنندۀ وجود تفاوت‌های فضایی ویژه در فاصله‌ها و مقیاس‌های مختلف در این منطقه از کشور است. در شکل ۴ نتایج حاصل از گزارش موران جهانی برای سال ۲۰۰۸ قابل مشاهده می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]



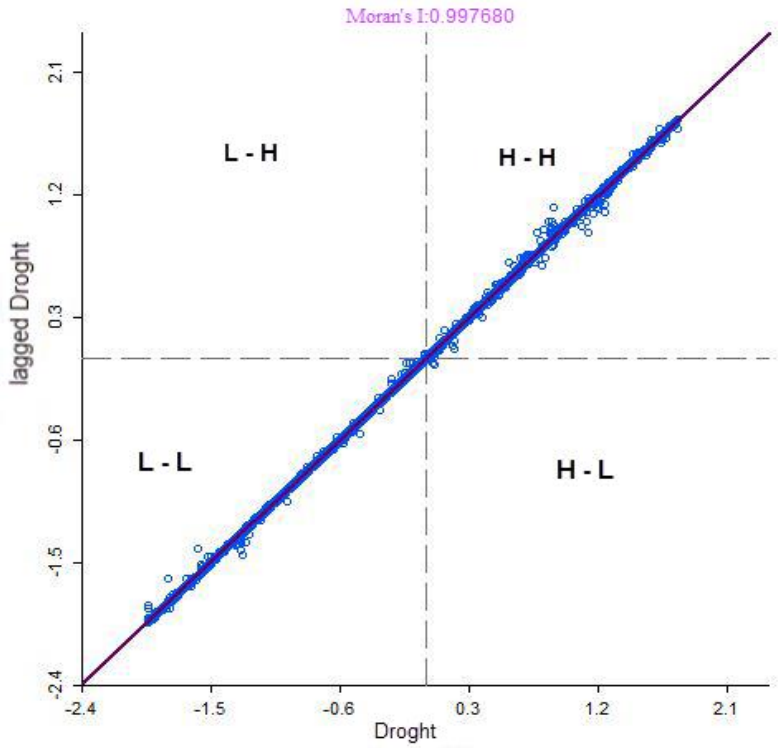
شکل ۴: گزارش خودهمبستگی فضایی خشکسالی با شاخص موران

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۴ مشاهده می‌شود که همبستگی به دست آمده از تحلیل موران جهانی تنها برای مشخص نمودن نوع الگوی خشکسالی حاکم بر منطقه مفید می‌باشد (فلاح قالهری؛ ۱۳۹۴: ۶۴۴). برای نشان دادن توزیع فضایی الگوی حاکم بر پراکنش فضایی خشکسالی در شمال غرب ایران در یک دوره آماری ۲۰ ساله، از موران محلی استفاده گردید. تحلیل مربوط به موران محلی با توجه به مقادیر I، چگونگی توزیع عوارض در فضا به‌صورت خوشه‌ای، تصادفی و پراکنده بودن را توجیه می‌کند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۹). چنانچه مقدار I برای یک عارضه منفی باشد، نشان دهنده متفاوت بودن مقدار آن عارضه با مقادیر عوارض اطراف آن می‌باشد و این نوع عوارض را ناخوشه می‌نامند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۹؛ فلاح قالهری؛ ۱۳۹۴: ۶۴۴). همچنین نتایج به دست آمده از آماره موران محلی را می‌توان با مقادیر به دست آمده از امتیاز استاندار محاسبه شده و P-Value نیز تفسیر و تحلیل نمود. در نمودار به دست آمده از طریق نرم‌افزار GeoDa (شکل ۵) و همچنین نقشه‌های به دست آمده در نرم‌افزار GIS (شکل ۶) علائم H-H، L-L، H-L و H-L مبین این واقعیت است که چهار ربع از پراکنش نگار خودهمبستگی فضایی آماره موران در متغیر خشکسالی سالانه بدین‌صورت قابل تفسیر هستند: نقاط بالا – بالا[۱]: نشان دهنده شباهت ارزش عددی یاخته‌ها در همسایگی یکدیگر بوده که دارای مقادیر بالا در خصیصه مورد نظر می‌باشند (در اینجا مقادیر شاخص SPI). نقاط پایین–پایین[۲]: نقاطی را شامل می‌شوند که هر دو یاخته مورد نظر 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

۱-High-High
۲-Low-Low
۳-Low-High

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

محاصره شده‌اند. نقاط بالا – پایین[۱] نقاطی هستند که در آن یک مقدار زیاد توسط مقادیر پایینی محاصره شده‌اند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۹؛ نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۳).

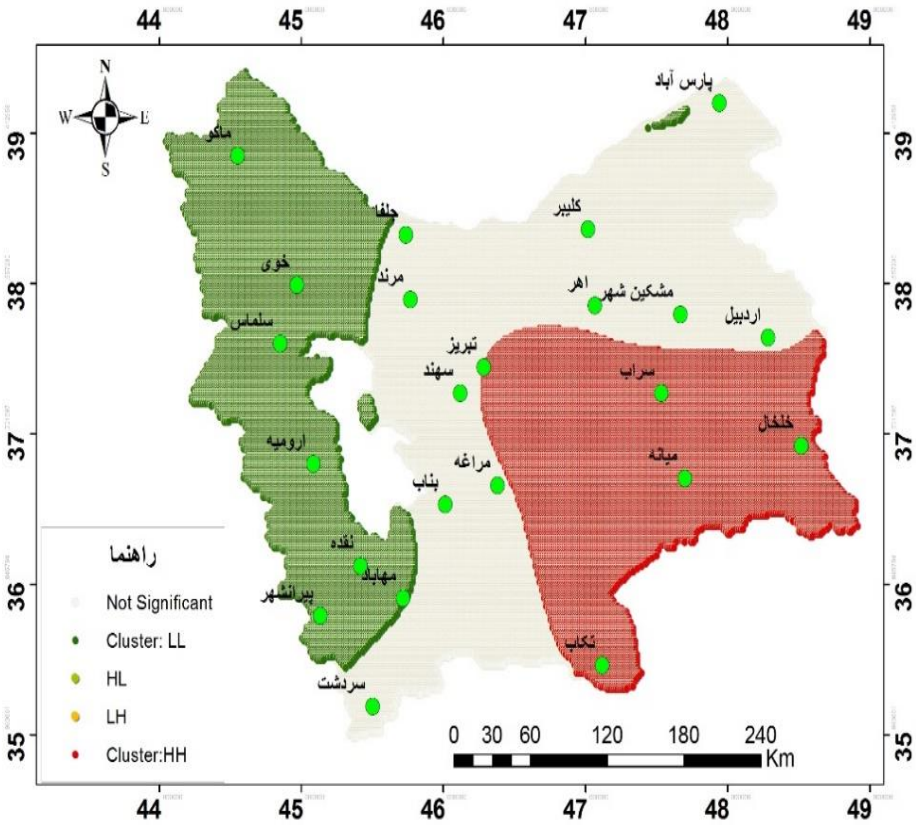


شکل ۵: نمودار پراکنش نگار موران عمومی (جهانی) خشکسالی سالانه شمال غرب ایران در سال ۲۰۰۸

بر اساس شکل ۵، شیب خط رگرسیون عبوری از میان نقاط و همچنین مقدار آماره I موران به دست آمده (۰/۹۹= Moran's I) مبین این است که پیکسل‌های موجود در همسایگی یکدیگر به‌صورت الگویی خوشه‌ای در دو ربع از چهار ربع موجود در نمودار پراکنش نگار موران قرار گرفته‌اند؛ به عبارت دیگر، دو الگوی خوشه‌ای بالا-بالا و پایین-پایین به‌صورت پیکسل‌های همسایگی در فضا متمرکز هستند (بلیانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۶). همچنین بر اساس شکل ۶، مشاهده می‌شود خشکسالی در شمال غرب ایران در سال ۲۰۰۸ متشکل از دو بخش خشکسالی ملایم در قسمت غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های ماکو، خوی، سلماس، ارومیه، نقده، مهاباد و پیرانشهر) و خشکسالی بسیار شدید در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های سراب، خلخال، تکاب، تبریز و میانه). نتایج حاصل از شکل ۵ گویای این واقعیت است که الگوی خوشه‌ای خشکسالی در شمال غرب ایران، از دو نوع بالا- بالا و پایین- پایین در سال مربوطه تشکیل شده است.

۱-High-Low

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]



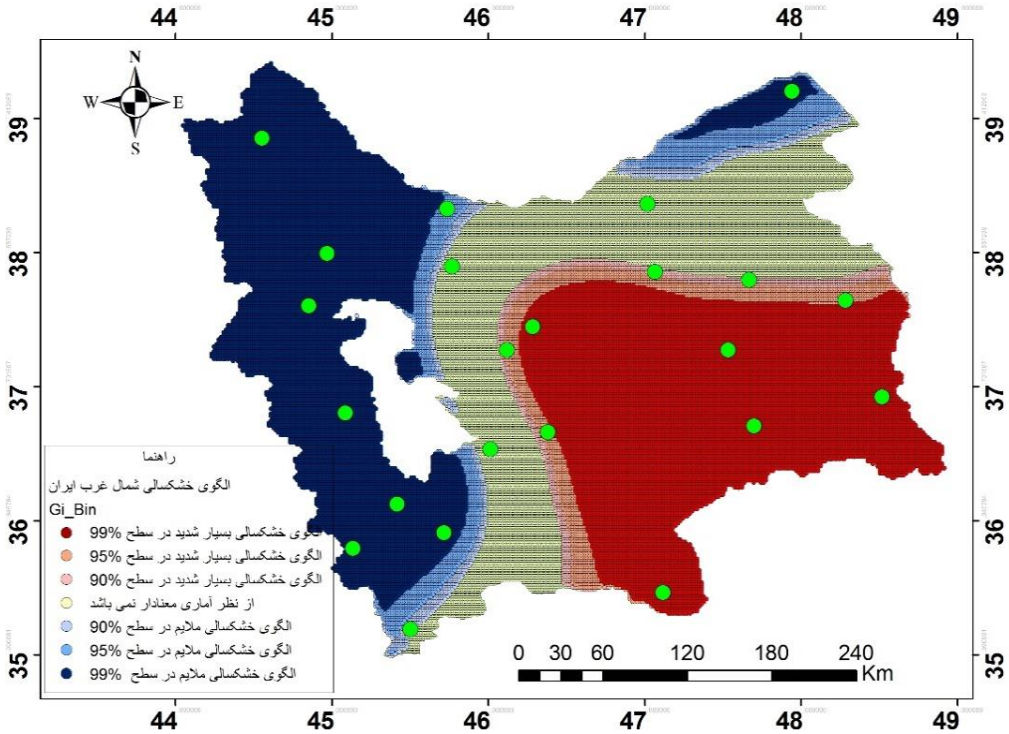
شکل ۶: خروجی شاخص موضعی موران در مورد توزیع فضایی خشکسالی

با توجه به نتایج به دست آمده تاکنون، مناطق دارای پراکنش فضایی مثبت (خوشه‌های مربوط به خشکسالی ملایم) و منفی (خوشه‌های مربوط به خشکسالی بسیار شدید) بودند، مشخص گردید. برای کسب اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های با ارزش زیاد و کم، از تحلیل لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) آماره گتیس-ارد جی ((Getis-Ord Gi*) استفاده شد. امتیاز Z محاسبه شده در این تحلیل نشان می‌دهد که کجای داده‌ها مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵). این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند توجه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد مهم است، ولی به‌تنهایی ممکن است یک لکه داغ و از نظر آماری دارای معناداری بالایی نباشد. به منظور قلمداد شدن یک عارضه به عنوان یک لکه داغ، لازم است ضمن دارا بودن معناداری آماری، باید خود و عوارض مجاورش دارای مقادیر بالا باشند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵).

نتایج این تحلیل در شکل ۷ نشان می‌دهد که شاخص خشکسالی برای ایستگاه‌های ماکو، خوی، سلماس، ارومیه، نقده، مهاباد، پیرانشهر و پارس‌آباد که از الگوی خشکسالی ملایم در منطقه پیروی می‌کنند در سطح اطمینان ۰/۹۹ معنادار می‌باشد. همچنین ایستگاه جلفا دارای خشکسالی ملایم در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد معنادار و برای ایستگاه سردشت خشکسالی ملایم در سطح اطمینان ۰/۹۰ درصد معنادار تشخیص داده شده است. در ادامه با توجه به شکل ۷ الگوی خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های سراب، خلخال، تکاب، تبریز و میانه در سطح اطمینان ۰/۹۹ درصد معنادار بوده و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

همچنین برای ایستگاه‌های اردبیل، سهند و مراغه، الگوی خشکسالی بسیار شدید در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد معنادار و برای ایستگاه‌های مشکین‌شهر و اهر الگوی خشکسالی بسیار شدید در سطح اطمینان ۰/۹۰ درصد معنادار می‌باشد. در نهایت ایستگاه‌های مرند، کلیبر و بناب در سال آماری مورد مطالعه ازنظر خشکسالی فاقد معناداری آماری تشخیص داده شده است.



شکل ۷: پراکنش الگوی لکه‌های داغ برای خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در سال نمونه

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی روابط مکانی با استفاده از تکنیک‌های آمار فضایی از جمله شاخص آماره خودهمبستگی فضایی، یکی از روش-های مؤثر برای درک وابستگی‌های مکانی در داده‌های جغرافیایی است (بلیانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱). در این پژوهش از داده‌های ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در یک دوره ۲۰ ساله استفاده شد. ابتدا با استفاده از مقادیر بارندگی سالانه به بررسی دوره‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد (SPI) پرداخته شد. نتایج این شاخص نشان داد که در ایستگاه‌های مورد مطالعه دوره‌های خشکسالی و ترسالی مشابه هستند. نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران در مورد شناسایی الگوهای توزیع فضایی خشکسالی، نشان دادند که مقادیر مربوط به سال‌های مختلف در طول دوره آماری دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک (Moran's I>۰/۹۵۹۳۴۴) می‌باشند و این نشان می‌دهد که توزیع فضایی خشکسالی، خوشه‌ای است زیرا هرچه این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده تمرکز بالای داده‌ها است (حکیم دوست و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value خوشه‌ای بودن توزیع فضایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

خشکسالی را اثبات کرد. نتایج حاصل از تحلیل آماره عمومی G به منظور کسب اطمینان از وجود مناطق دارای خوشه‌های با ارزش زیاد و کم، نشان داد که ایستگاه‌های ماکو، خوی، سلماس، ارومیه، نقده، مهاباد، پیرانشهر و پارس‌آباد که از الگوی خشکسالی ملایم در منطقه پیروی می‌کنند در سطح اطمینان ۰/۹۹ معنادار می‌باشد. همچنین ایستگاه جلفا دارای خشکسالی ملایم در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد معنادار و برای ایستگاه سردشت خشکسالی ملایم در سطح اطمینان ۰/۹۰ درصد معنادار تشخیص داده شده است. در ادامه الگوی خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های سراب، خلخال، تکاب، تبریز و میانه در سطح اطمینان ۰/۹۹ درصد معنادار بوده و همچنین برای ایستگاه‌های اردبیل، سهند و مراغه، الگوی خشکسالی بسیار شدید در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد معنادار و برای ایستگاه‌های مشکین‌شهر و اهر الگوی خشکسالی بسیار شدید در سطح اطمینان ۰/۹۰ درصد معنادار می‌باشد. با آشکارسازی خوشه‌های مربوط به خشکسالی و ترسالی در شمال غرب ایران با استفاده از تکنیک تحلیل فضایی موران و آماره عمومی G می‌توان شناخت کاملی نسبت به نواحی درگیر خشکسالی در این منطقه داشت و اقدامات لازم را در مدیریت آن اندیشید.

منابع

اسدی، آرزو و مسعود جلالی. ۱۳۹۴. بررسی و ارزیابی روش‌های زمین‌آماری گریجینگ در توزیع فضایی بارش (مطالعه موردی: شمالغرب کشور)، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۵۲: ۲۰۴-۱۸۷.

امیدوار، کمال؛ رضا ابراهیمی و فاطمه راستی. ۱۳۹۳. ارزیابی برخی روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی شدت خشکسالی؛ مطالعه موردی مناطق شمالغرب و مرکزی ایران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۷: ۴۳-۳۰.

بداق جمالی، جواد؛ مهدی آسیایی، سینا صمدی نقاب و سهیلا جوانمرد. ۱۳۸۴. مدیریت ریسک خشکسالی (شناخت و راهکارها)، چاپ اول. انتشارات سخن‌گستر، تهران.

بداق جمالی، جواد؛ جوانمرد، سهیلا و رضا شیرمحمدی. ۱۳۸۱. پایش و پهنه بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش، تحقیقات جغرافیایی، ۶۷: ۲۱-۴.

بلیانی، یدالله؛ خسروانی، وحید؛ سلیمی، سعدون؛ بیات، علی؛ شاکری، فهیمه و مجید افسر (۱۳۹۵). مدل سازی روابط مکانی-فضایی بارش سالانه خوزستان رویکردی از تکنیک‌های تحلیل آمار فضایی،کنفرانس بین المللی توسعه پایدار،استراتژی و چالش‌ها، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

پورزیدی، علی‌محمد؛ کیا بزرگمهر و سیدیاسر حکیم دوست. ۱۳۹۳. بررسی فضایی خشکسالی اقلیمی بر اساس بارش استاندارد SPI مطالعه موردی: استان مازندران، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۴: ۱۹۴-۱۷۹.

پورمحمدی، محمدرضا؛ صدر موسوی، میرستار و سعید حسین آبادی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوی اختلاط کاربری زمین در محلات شهر سبزوار، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲۲: ۵۳-۳۴.

پیرمرادیان، نادر؛ شمس نیا، سیدامیر؛ بوستانی، فردین و محمدعلی شاهرخ‌نیا. ۱۳۸۷. ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس، بوم شناسی گیاهان زراعی (دانش نوین کشاورزی)، ۱۳: ۲۱-۷.

ثقفیان، بهرام؛ هما رزمخواه و باقر قرمزچشمه. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی :استان فارس)، مجله مهندسی منابع آب، ۴: ۳۸-۲۹.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

حکیم دوست، سید یاسر؛ محسن رستگار، علی محمدپورزیدی و حسین حاتمی. ۱۳۹۳. تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان گزینی سکونتگاه‌های روستایی مطالعه موردی روستاهای استان مازندران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱: ۷۵-۶۱.

خسروی، یونس؛ حسن لشکری، علی‌اکبر متکان و حسین عساکره. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی فشار بخارآب در جنوب و جنوب غرب ایران با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی با تأکید بر مراکز و کانون‌های جمعیتی، فصلنامه مدیریت شهری، ۳۹: ۲۲۰-۲۰۱.

درویشی بایگی، نادر. ۱۳۸۱. پایش خشکسالی در استان خراسان با استفاده از نمایه‌های خشکسالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

ساداتی‌نژاد، سید جواد؛ علوی‌نیا، سید حسن؛ عابدی، رقیه؛ هنربخش، افشین و خدایار عبدالهی. ۱۳۹۴. تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی در حوزه کارون یک، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۲: ۱۱۷-۱۰۸.

شوریابی، مهدی؛ رضوی، محمدمحسن؛ هادی‌پور، مرضیه؛ لاسمی‌پور، ربابه و سلمان حیاتی، ۱۳۹۵. تحلیل توزیع فضایی پارک‌های شهر نیشابور با استفاده از GIS، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و زیرساختهای شهری، تبریز.

صادقی نیا، علیرضا؛ بهلول علیجانی؛ پرویز ضیائیان و شهریار خالدی. ۱۳۹۲. کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی،۳۰: ۹۰-۶۷.

صداقت، مهدی و حمید نظری‌پور. ۱۳۹۴. تغییرات زمانی-مکانی بارش دوره سرد سال در ایران (۲۰۰۹-۱۹۵۰)، پژوهش-های جغرافیای طبیعی، ۳: ۴۳۳-۴۲۱.

طلوعی، سمیرا؛ حسین زاده دلیر، علی؛ قربانی، محمدعلی؛ فاخری‌فرد، احمد و فرزین سلماسی. ۱۳۹۰. تخمین زمانی و مکانی بار معلق رودخانه آجی چای با استفاده از زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی، نشریه دانش آب و خاک، ۲۱: ۱۰۴-۹۳.

عزیزی مبصر، جوانشیر؛ مهناز صابر و لیلا ایرانی. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در شمال غرب ایران با استفاده از شاخص ناهنجاری‌های بارندگی، فصلنامه بین‌المللی پژوهشی منابع آب و توسعه، ۳: ۲۳-۱۲.

عساکره، حسین و حسین شادمان. ۱۳۹۴. شناسایی روابط فضایی روزهای گرم فراگیر در ایران‌زمین، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱: ۷۰-۵۴.

عسگری، علی. ۱۳۹۰. تحلیل آمار فضایی با ArcGIS، چاپ اول. انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری، تهران.

علی‌آبادی، کاظم و عباسعلی داداشی رودباری. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه‌ی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲۱: ۱۰۴-۸۶.

علیجانی، بهلول؛ مهدی دوستکامیان، سعیده اشرفی و فهیمه شاکری. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای بارش ایران طی نیم‌قرن اخیر، جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای، ۱۴: ۸۸-۷۱.

فتاحی، ابراهیم و عبدا... صداقت‌کردار. ۱۳۸۶. تحلیل منحنی‌های شدت - مدت و فراوانی خشکسالی مطالعه موردی؛ ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، ۹: ۹۰-۷۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

فلاح قالهری، غلام عباس؛ مهدی اسدی و عباسعلی داداشی رودباری. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴: ۶۵۰-۶۳۷.

کردوانی، پرویز. ۱۳۸۰. خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران: آب: در کشاورزی، صنعت و شهر. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

کیانی، اکبر و علی‌اکبر کاظمی. ۱۳۹۴. تحلیل توزیع خدمات عمومی شهر شیراز با مدل‌های خودهمبستگی فضایی در نرم‌افزار ArcGIS و Geoda، نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۲۲: ۱۴-۱.

محمدی، علیرضا و ابراهیم فیروزی مجنده. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی مسجد در شهر اردبیل در دور ه معاصر، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات شهری، ۱۷: ۶۶-۵۵.

نظری‌پور، حمید؛ مهدی دوستکامیان و سارا علیزاده. ۱۳۹۴. بررسی الگوهای توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین آمار (بررسی موردی: نواحی مرکزی ایران)، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، (۱)۴۱: ۱۱۷-۹۹.

Ageena, I.; Macdonald, N. and Morse, A.P. ۲۰۱۴. Variability of maximum and mean average temperature across Libya (۱۹۴۵–۲۰۰۹). *Theoretical and Applied Climatology*. **۱۱۷**: ۵۴۹-۵۶۳.

Allard, D.; and Soubeyrand, S. ۲۰۱۲. Skew-normality for climatic data and dispersal models for plant epidemiology: when application fields drive spatial statistics. *Spatial Statistics*. **۱**: ۵۰-۶۴.

Anselin, L. ۲۰۰۵. Exploring spatial data with GeoDaTM: A Workbook, University of Illinois, *rbana-Champaign Urbana*, IL ۶۱۸۰۱.

Bajat, B.; Blagojević, D.; Kilibarda, M.; Luković, J. and Tošić, I. ۲۰۱۵. Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period ۱۹۶۱ –۲۰۱۰. *Theoretical and Applied Climatology*, **۱۲۱(۱)**: ۲۸۹–۳۰۱.

Bhalme, H.N. and Mooley, D.A. ۱۹۸۰. Large-scale drought/floods and monsoon circulation .*Monthly Weather Review*, **۱۰۸**: ۱۱۹۷-۱۲۱۱.

Brunetti, M.; Buffoni, L.; Maugeri, M. and Nanni, T.۲۰۰۰. Trends of Minimum and Maximum Daily Temperatures in Italy from ۱۸۶۵ to ۱۹۹۶. *Theoretical and Applied Climatology*, **۶۶**: ۴۹-۶۰.

Chang, K. T. ۲۰۰۴. Introduction to geographic information system. ۲nd edition, *MCgROW Hill*, NewYork.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

Clark, W.A.V. and Hosking, P.L. ۱۹۸۶. Statistical Methods for geographers, John Wiley and sons, New York, p۳۷۹.

De Lucena, A.J.; Rotunno Filho, O.C.; de Almeida França, J.R.; de Faria Peres, L. and Xavier, L.N.R. ۲۰۱۳. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and applied climatology*. **۱۱۱**: ۴۹۷-۵۱۱.

Edward, D.C.*;* Mckee, B, T. ۱۹۹۷. Characteristics of ۲۰th century drought in the United States and multiple time scales. pp. ۱۵۵. In: *Climatology Report. Colorado State University*.

Fu, W.J.*;* Jiang, P.K.; Zhou, G.M. and Zhao, K.L. ۲۰۱۴. Using Moran's, I and GIS to study the spatial Pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. *Biogeo Sciences*, **۱۱**: ۲۴۰۱-۲۴۰۹.

Gibbs, W.J. and Maher. J.V. ۱۹۶۷. Rainfall deciles as drought indicators, *Bureau of Meteorology Bulletin* No. ۴۸, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.

Hartmann, S.; Baker. And King. L. ۲۰۰۸. Quasi-Periodicities in Chinese Precipitation Time Series. *Theoretical and Applied Climatology*, **۹۲***:* ۱۵۵-۱۶۳.

Hayes, M.J.; Svoboda, M.D; Wilhite, D.A; and Vanyarkho, O.V. ۱۹۹۹. Monitoring the ۱۹۹۶
drought using the Standardized precipitation Index. Bulletin of the *American Meteorological Society*, ۸۰(۳): ۴۲۹- ۴۳۷.

Keyantash, J.; and Dracup. J.A. ۲۰۰۳. The Quantification of drought: An evaluation of drought
indices. *American Meteorological Society*, ۸۳(۸): ۱۱۶۷–۱۱۸۰.

Kim, S.; and Singh, V.P. ۲۰۱۴. Modeling daily soil temperature using data-driven models and spatial distribution. *Theoretical and Applied Climatology*, **۱۱۸, (۳)**:۴۶۵–۴۷۹.

Kogan, F. N., ۲۰۰۰. 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. ۷۵–۸۷. Geneva: *World Meteorological Organization*.

Lee, J.; Wong, D. W.S. ۲۰۰۱. Statistical analysis with arc view GIS, John Wiley and sons, New York, ۱۳۵-۱۳۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]

Mckee, B.T.; Doesken, N. J.; and Kleist, J. ۱۹۹۵. Drought monitoring with multiple time scales.
Proceedings of the ۹th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, USA, pp. ۲۳۳-۲۳۶.

Mckee, B.T.*;* Doesken, N. J.*;* and Kleist, J. ۱۹۹۳. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, ۸th Conference on Applied Climatology. Anaheim CA, *American Meteorological Society*, ۱۷-۲۲ January ۱۹۹۳: ۱۷۹-۱۸۴.

Nemec, J.; Gruber, C.; Chimani, B. and Auer, I. ۲۰۱۳. Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenized data. *International Journal of Climatology*. **۳۳**: ۱۵۳۸-۱۵۵۰.

Palmer, W.C. ۱۹۶۵. Meteorological Drought, Research Paper No. ۴۵, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C

Peters, E.*;* Torfs, P. J. J. F.*;* Van Lanen, H. A. J. and Bier, G. ۲۰۰۳. Propagation of drought through groundwater-a new approach using linear reservoir theory, *Hydro Processes*. **۱۷**: ۳۰۲۳–۳۰۴۰.

Robeson, S.M.; Li, A. and Huang, C. ۲۰۱۴. Point-pattern analysis on the sphere. Spatial Statistics.

Shafer, B.A.; and. Dezman. L.E.۱۹۸۲. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. *IN Proceedings of the (۵۰th) Annual Western Snow Conference*, pp.۱۶۴-۱۷۵. Fort Collins, CO: Colorado State University.

Thomas, R.W.; Hug get, R.J. ۱۹۸۰. Modeling in Geography, a mathematical approach, *Harper and Row, Publisher*, London

Willeke, G.; Hosking, J.R.M; Wallis, J.R; and Guttman. N.B. ۱۹۹۴. The national drought atlas. *Institute for water resources*, report ۹۴-NDS-۴, U.S. Army Corps of Engineers.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.1]