نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١

صفحات ١ - ٢٠

تبیین الگوهای مکانی شدت‌های خشکسالی در ایران

سوسن حیدری[1]؛ دانشجوی دکترای آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. تهران.

مصطفی کریمی[1]؛ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. تهران.

قاسم عزیزی؛ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. تهران.

علی اکبر شمسی‌پور؛ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. تهران.

دریافت مقاله :۱۴۰۱/۰۲/۰۶ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۱۱/۱۷

چکیده

شناخت الگوهای مکانی رخداد خشکسالی نقش مهمی در پایش، پیش‌آگاهی و پیش‌بینی، مقابله، کاهش آسیب‌پذیری و افزایش سازگاری با این مخاطره دارد. هدف پژوهش شناسایی پراکنش مکانی و تحلیل الگوهای مکانی سالانه، فصلی و ماهانه شدت‌های خشکسالی ایران است. با این هدف، استخراج شدت‌های خشکسالی از داده‌های بارش ماهانهٔ بازکاوی شده (ERA۵) مرکز پیش‌بینی میان مدت اروپا (ECMWF) در بازه زمانی ۲۰۲۱-۱۹۷۹ و شاخص ZSI انجام شد. برای دستیابی به هدف تحقیق و تبیین الگوی مکانی حاکم بر فراوانی شدت‌های خشکسالی (بسیارشدید، شدید، متوسط و ضعیف) از روش‌های آمار فضایی مانند خودهمبستگی موران جهانی، شاخص انسیلن محلی موران و لکه‌های داغ استفاده شد. نتایج شاخص موران جهانی نشان داد که با افزایش شدت، پراکنش مکانی پدیده خشکسالی خوشه‌ای شده است. توزیع مکانی شاخص موران محلی و لکه‌های داغ نیز این امر را تأیید می‌کنند. تضاد بسیار واضح در خوشه‌های محلی رخداد بالا (پایین) و همچنین لکه‌های داغ (سرد) خشکسالی‌های شدید (بسیار شدید) سالانه در جنوب، جنوب‌شرق و شرق دیده شد. در فصل پاییز خشکسالی‌های ضعیف تا بسیارشدید، جهت‌گیری جنوب‌شرقی- شمال‌غربی دارند. اما در فصل بهار و زمستان الگوی مکانی خشکسالی بسیارشدید برعکس خشکسالی شدید و متوسط است. با وجود تغییرپذیری نسبتاً بالای بیشینه خودهمبستگی فضایی مثبت خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید ماهانه، الگوی مکانی آن‌ها تقریباً مشابه است. تشکیل خوشه‌های مکانی خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید در شمال‌غرب، شمال‌شرق و به‌ویژه سواحل خزری، هشدار جدی در مورد مدیریت منابع آب به‌خصوص برای فعالیت‌های مبتنی بر رخداد بارش، مانند کشاورزی است.

واژه‌های کلیدی: مخاطرات طبیعی، الگوهای فضایی، آماره موران، خودهمبستگی فضایی، لکه‌های داغ

[1]. نویسنده مسئول: Email : Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

مقدمه

خشکسالی یا کمبود بارش در یک دوره معین نسبت به میانگین بلندمدت آن، گسترده‌ترین مخاطره طبیعی سیاره زمین است (Mastrangelo et al., ۲۰۱۲). این مخاطره بر بخش‌های مختلف از جمله تولید برق‌آبی، بهداشت، صنعت، گردشگری، کشاورزی، دامدارای، محیط‌زیست و اقتصاد تأثیر منفی می‌گذارد (Fang et al. ۲۰۱۹; Guo et al. ۲۰۱۹; Han et al. ۲۰۱۹; Huang et al. ۲۰۱۹; Liu et al., ۲۰۲۱). برای کاهش این اثرات منفی یا مخرب، باید مشخص شود که خشکسالی چندبار در طول دوره اتفاق افتاده و در کدام مناطق شدیدتر است (Gümüş, ۲۰۱۷). انجام چنین اقداماتی مستلزم تعیین ویژگی‌های خشکسالی است (Mishra & Nagarajan, ۲۰۱۱). این ویژگی‌ها شامل: مساحت، شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هستند که می‌توان با کمک شاخص‌های خشکسالی تعیین نمود. شناخت این مخاطرات در یک ناحیه، منوط به شناخت رفتار این ویژگی، درک الگوهای زمانی-مکانی و بررسی روابط مکانی آن می‌باشد (Guo et al. ۲۰۱۸). پس، کشف تمرکز جغرافیایی، شناخت الگوی حاکم بر فراوانی وقوع و پراکنش زمانی-مکانی و همچنین تغییرات پویایی این مخاطره نقش مهمی در پایش خشکسالی، هشدار اولیه، پیش‌بینی و مقابله با این خطرات احتمالی را تسهیل می‌دهد (Wilhite and Svoboda, ۲۰۰۰; Wang et al. ۲۰۱۹)؛ و این اطلاعات می‌تواند برای ایجاد یک برنامه خشکسالی با ارائه ایده‌هایی به تحلیل‌گران و تصمیم‌گیران در مورد خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد، که در کمک به کاهش اثرات منفی و آسیب‌پذیر و در نهایت محافظت یا جایگزینی برای سازگاری بیشتر را آسان‌تر می‌کند. پژوهشگران زیادی با این رویکردها به سمت استفاده از تحلیل‌های آمار فضایی سوق داده شده‌اند. پژوهش‌های متعددی در مطالعه پدیده‌های اقلیمی همانند خشکسالی با تکنیک‌های آمار فضایی در مناطق مختلفی از جمله: پورتوریکو (Álvarez-Berríos et al, ۲۰۱۸)، چین (Wang et al, ۲۰۱۹; Wu et al, ۲۰۱۹)، حوضه رودخانه میانه ماهاندی هند (Samantaray et al, ۲۰۱۹) کره‌جنوبی (Lee et al, ۲۰۱۸; Quang-Tuong et al, ۲۰۲۰) و حتی ایران (جوی‌زاده و حجازی‌زاده، ۱۳۹۸؛ صلاحی و فریدپور، ۱۳۹۵؛ فریدپور و همکاران، ۱۳۹۸؛ حکیم‌دوست و همکاران، ۱۳۹۳؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۶؛ عسگری و همکاران، ۱۴۰۰) انجام شده است.

ایران به علت موقعیت خاص و تفاوت‌های ارتفاعی، آب‌وهوای متنوعی دارد. آب‌وهوای خشک و نیمه خشک بیشتر مناطق کشور را پوشش می‌دهد (موحدی و همکاران، ۱۳۹۰). علاوه بر این، رخداد بارش در این سرزمین دارای توزیع نامناسب زمانی و مکانی بوده است (بابایی فینی و علیجانی، ۱۳۹۲؛ عزیزی، ۱۳۷۹). الگوهای زمانی و مکانی متغیر بارش در ایران متفاوت و دارای رفتاری با تغییرپذیری بالا است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴؛ عربی، ۱۳۸۴؛ کرم‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). این تغییرپذیری شدید در طول زمان و مکان باعث عدم اطمینان به مقادیر میانگین‌ها می‌شود چون ضریب تغییرات بارش سالانه در بعضی از مناطق بسیار زیاد است (بابایی و فرجزاده، ۱۳۸۱). با توجه به تغییرپذیری بالا در بارش مناطق مختلف، وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید در کشور امری اجتناب‌ناپذیر است (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۸۷). به طوری‌که، در دهه‌های اخیر، ایران متأثر از افزایش خشکسالی می‌باشد که منجر به فرآیند تخریب زمین شده است (Emadodin et al., ۲۰۱۹). این خصیصهٔ شناخته شده اقلیم ایران می‌باشد. بنابراین، در کشورهای درحال توسعه و وسیعی مانند ایران که کمبود آب یکی از معضلات آن است مطالعه و شناسایی رفتار خشکسالی یکی از مسائل حائز اهمیت (هاشمی عنا و همکاران، ۱۳۹۴؛ علیزاده، ۱۳۸۹) و یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی و اقتصادی و از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران و برنامه‌ریزان کشور می‌باشد. تا بتوان با مدیریت صحیح و اصولی در مناطق مختلف ایران، خسارت‌های ناشی از این مخاطره را کاهش داد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

تاکنون مطالعات زیادی در مورد خشکسالی در ایران انجام شده است که نتایج این مطالعات نشان داده که رفتار خشکسالی در درازمدت در ایران، از یک رفتار منظم و منطقی برخوردار است (دوستان، ۱۳۹۴). انواع خشکسالی در تمام مناطق کشور رخداده است (مجرد و همکاران، ۱۳۹۳). اما در چند دهۀ اخیر، ایران دوره‌های خشکسالی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده است (دوستان، ۱۳۹۸). از لحاظ زمانی رفتار خشکسالی‌ها در نواحی همگن فضایی در ایران همسان بوده (دوستان، ۱۳۹۴) و الگوی تغییرات خشکسالی دوره‌ای نبوده است (بازگیر و همکاران؛ ۱۳۹۹). از لحاظ مکانی در شمال‌غرب، غرب، شرق، جنوب‌غرب و مرکز کشور بیشتر خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید رخ داده (بابایی فینی و علیجانی، ۱۳۹۲؛ علیزاده و محمدی،۱۳۹۴؛ صلاحی و فریدپور، ۱۳۹۵)، این خشکسالی‌های (شدید و بسیارشدید) در بخش‌هایی از کشور که از وضعیت بارشی نسبتاً مناسب‌تری برخوردار هستند، اتفاق افتاده (خیری و همکاران، ۱۴۰۰) که نگران کننده است. در مقابل در مناطق مرکز، جنوب و جنوب‌شرق خشکسالی‌ها متوسط و ملایم است (علیجانی و بابایی فینی، ۱۳۸۸). همچنین فراوانی وقوع خشکسالی‌های ملایم، متوسط و شدید در کشور، خیلی بیشتر از خشکسالی‌های بسیار شدید است (مجرد و همکاران، ۱۳۹۳). الگوی تغییرات مکانی شدت خشکسالی در ایران نشان‌دهندۀ دو کانون اصلی خشکسالی در جنوب‌شرق و مرکز ایران می‌باشد (Hosseini et al., ۲۰۲۱). این در حالی است که نتایج برخی از پژوهش‌ها به عدم تبعیت توزیع فراوانی خشکسالی‌های کشور از الگوی جغرافیایی خاصی اشاره دارد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۳).

بخشی از پژوهش‌های انجام شده داخلی برروی الگوهای مکانی پدیده خشکسالی، بدون استفاده از روش‌های آمار فضایی بوده و تعداد محدود دیگر که از این تحلیل‌ها استفاده نموده‌اند فقط شدت کلی خشکسالی را بررسی و الگوهای مکانی شدت‌های مختلف خشکسالی را مورد مطالعه قرار نداده‌اند. هدف اصلی پژوهش، شناسایی پراکنش و الگوهای مکانی شدت‌های خشکسالی ایران با استفاده از توابع تحلیل مکانی آمار فضایی براساس فراوانی شدت‌های خشکسالی (بسیارشدید، شدید، متوسط و ضعیف) با رویکرد چند مقیاسه سالانه، فصلی و ماهانه می‌باشد. پس، این پژوهش به پرسش‌های: الف) پراکنش مکانی داده‌های شدت‌های خشکسالی در ایران چگونه بوده؟ و ب) تغییرپذیری الگوهای مکانی خشکسالی‌های ایران در مقیاس‌های زمانی مختلف چگونه است؟ پاسخ خواهد داد.

داده‌ها و روش کار

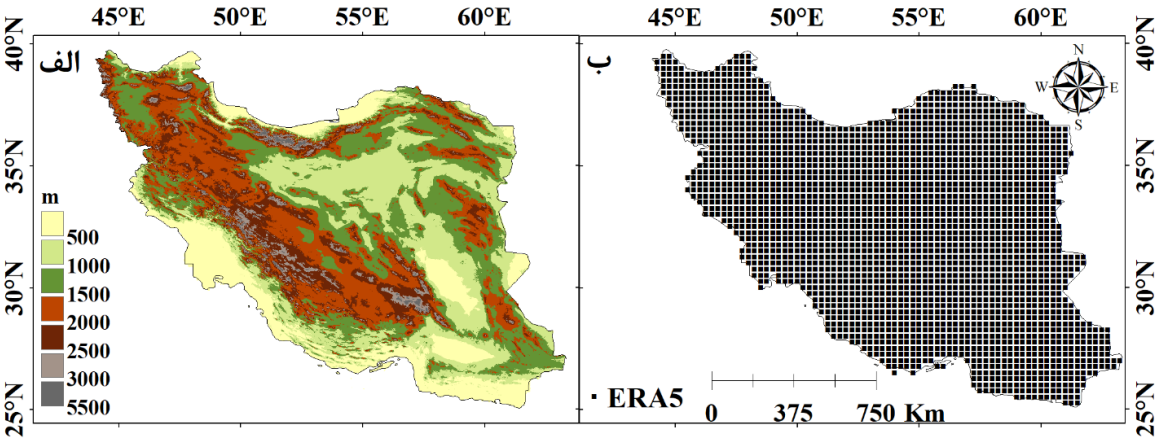
تغییرپذیری فراتر از نرمال بارش عامل ایجاد، توسعه و تداوم خشکسالی هواشناسی است (Lloyd-Hughes and Saunders, ۲۰۰۲). داده‌های هواشناسی زیربنای برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم مختلف محیطی و مسائل مربوط به آن از جمله خشکسالی است (Haylock et al., ۲۰۰۸). با وجود این، پراکنش نامناسب و همچنین داده‌های مفقودی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش، سبب بکارگیری داده‌های شبکه‌بندی شده بازتحلیل بارش شده است که در آن از منابع داده‌ای مختلف همانند داده‌های ایستگاهی، ماهواره‌ای برپایه خروجی مدل‌های جوی استفاده می‌شوند(میری و همکاران، ۱۳۹۵؛ علی‌بخشی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Wang et al., ۲۰۱۹).

یکی از جدیدترین محصولات بازکاوی شده، داده‌های ERA۵ نسل پنجم مجموعه داده‌های شبکه‌بندی تحلیل مجدد توسط ECMWF (https://www.ecmwf.int) است که قدرت تفکیک مکانی هر گره ۰/۲۵×۰/۲۵ و قدرت تفکیک زمانی آن ساعتی، روزانه و ماهانه هستند و از سال ۱۹۷۹ تا کنون در دسترس قرار دارند (Hersbach et al., ۲۰۲۰). این داده‌ها به طور یکنواخت در فضا توزیع شده‌اند که به طور مؤثر خطاهای ناشی از درون‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

را جبران می‌کند. دقت این داده‌ها بخصوص بارش، در مطالعات مختلفی بررسی و آن را مناسب و استفاده از آن را توصیه نموده‌اند (Jiang et al., ۲۰۲۱; Wang et al., ۲۰۱۹; Rakhmatova et al., ۲۰۲۱; Taghizadeh et al., ۲۰۲۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹؛ پیل‌پایه و همکاران، ۱۳۹۹).

پایگاه داده برای پژوهش، ERA۵ است که بازه زمانی ۴۳ ساله از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ در مقیاس ماهانه را پوشش می‌دهد، سپس داده‌های بارش با استفاده از نرم افزار MATLAB آرایه‌ای به ابعاد ۵۰۴×۵۹×۷۸ به دست آمد. در این آرایه ۵۹×۷۸ تعداد گره‌ها با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه و ۵۰۴ نماینده ماه است (شکل ۱ ب). در گام نخست داده‌های سری زمانی، ماهانه، فصلی و سالانه که به صورت سال آبی از داده‌های دریافتی ایجاد شد. سال آبی در ایران از اکتبر الی سپتامبر در نظر گرفته می‌شود ولی از آنجایی‌که دوره شروع بارش‌های سالانه ناحیه خزری به‌طور معمول از ماه سپتامبر می‌باشد، برای یکسان‌سازی زمانی تغییرپذیری بارش در محاسبات شاخص خشکسالی، سال آبی در این تحقیق از ماه سپتامبر الی آگوست سال بعد در نظر گرفته شد. سپس این داده‌ها در قالب ماتریسی با آرایش s (زمان در سطر و مکان در ستون‌ها) مرتب گردید.



شکل ۱. توپوگرافی منطقه مورد پژوهش و پراکنش مکانی داده‌های ERA۵

بعد از تشکیل پایگاه داده، شاخص ZSI برای محاسبه شدت خشکسالی در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه استفاده شد. روش محاسبه شاخص Z-Score، که شاخصی بدون بعد است، از داده‌های اصلی بارش استفاده می‌کند. مقدار کمی این شاخص از تقسیم میانگین بر انحراف معیار به دست می‌آید. مقادیر زیاد مثبت و مقادیر کم منفی است. محاسبه این شاخص بسیار ساده بوده و نیازی به تغییر داده‌های مناسب برای توزیع‌های گاما یا پیرسون نوع سوم ندارد و در بسیاری از مطالعات خشکسالی مانند مرید و همکاران (۲۰۰۷)، صالح نیا و همکاران (۲۰۱۷) و محمودی و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

$$ZSI=\frac{X_i-\overline{X}}{\delta} \qquad (۱)$$

X_i ، $\overline{X}$ و δ به ترتیب مقادیر بارش، میانگین بلند مدت و انحراف معیار بارش در دوره زمانی دلخواه ماه، فصل یا سال می‌باشد (Mahmoudi et al., ۲۰۱۹). طبقه‌بندی این شاخص به سه بخش خشکسالی، ترسالی و نرمال است. که

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

شدت‌های خشکسالی آن شامل ۴ طبقه (خشکسالی بسیار شدید (شاخص کمتر از ۱/۲۵-)، شدید (۱/۲۵- تا ۰/۸۴-)، متوسط (۰/۸۴- تا ۰/۵۲-) و ضعیف (۰/۵۲- تا ۰/۲۵-) می‌باشد (Mashari et al., ۲۰۱٤; Ekwezuo et al., ۲۰۲۰). در گام بعد فراوانی شدت خشکسالی‌های سالانه، فصلی و ماهانه برای هر گره داده برای استفاده در تحلیل‌های آمار فضایی محاسبه شد. جزئیات تحلیل‌های آمار فضایی، به‌ویژه رابطه‌های ریاضی آن در بسیاری از منابع همانند Ghalhari و همکاران (۲۰۱٦) و عسگری (۱۳۹۰) آمده و در اینجا به‌علت محدودیت بیان نشده است.

در مرحله تحلیل‌های آمار فضایی ابتدا، چگونگی توزیع فضایی داده‌ها و این‌که آن‌ها از چه الگو و قاعده‌ای پیروی می‌کنند، بررسی می‌شود (Illian et al., ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر با هدف درک توزیع فضایی داده‌ها و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مورد سطح اعتماد آماری، از تحلیل الگو موران جهانی (Moran I) استفاده شد. نتایج حاصل از این واکاوی که به‌صورت آماره کلی و عددی است، نشان‌دهندهٔ الگوی توزیع خوشه‌ای[۱]، تصادفی[۲] یا پراکنده[۳] در مکان می‌باشد. با استفاده از نمره استاندارد Z و آمارهٔ p (P-value) امکان ارزیابی و معنی‌داری نمایه مهیا است. در گام بعد برای شناسایی مکان‌هایی که رخدادهای بالا یا پایین شدت‌های خشکسالی به صورت همگن، خوشه مکانی تشکیل داده و یا مکان‌هایی که رخداد شدت‌های خشکسالی در آن محل متفاوت از اطراف خود بوده از نمایهٔ موران محلی (LISA) استفاده شد. به عقیدهٔ انسیلن[۴] (۹۳ :۱۹۹۵) مکان دارای دو نوع تأثیر یعنی وابستگی و ناهمگونی فضایی است که مستقیما از قانون توبلر[۵] (۱۹۷۹) پیروی می‌کند؛ بدین معنی که ارزش‌های نزدیک به هم، شباهت بیشتری دارند و منجر به تجمع می‌شوند. دوم، تأثیر فضایی از تفاوت‌های ناحیه‌ای متأثر می‌شود که خود حاصل یگانه بودن ذاتی هر مکان است؛

بنابراین اگر مقادیر I مثبت (خودهمبستگی مکانی مثبت) باشد، نشان می‌دهد که رخداد موردنظر توسط رخدادهایی مشابه دربرگفته شده است و بنابراین در آن محل، رخدادهای همگن وجود داشته یا به عبارتی تشکیل خوشه مکانی می‌دهند. اگر مقادیر I منفی (خودهمبستگی مکانی منفی) باشد، به معنای آن است که رخداد توسط رخدادهایی که شباهتی به آن ندارند، دربرگرفته شده یا توزیع داده‌ها ناخوشه است. لایهٔ خروجی ایجاد شده با این نمایه، (HH[۶] خوشه مکانی مقادیر بالا-بالا) که نشان‌دهندهٔ خوشه مکانی با رخداد بالا است که نواحی اطراف نیز مقادیر بالایی از رخداد داشته‌اند و خودهمبستگی فضایی مثبت است. (LL[۷] خوشه مکانی مقادیر پایین-پایین) با خودهمبستگی فضایی مثبت، نواحی با پایین‌ترین فراوانی رخداد است که در اطراف نیز مقادیر کم فراوانی وجود دارد. (HL[۸] ناخوشه بالا-پایین) نمایانگر مکانی است که مقادیر بالای رخداد در اطراف خود، رخداد کم خشکسالی و (LH[۹] ناخوشه پایین-بالا) برعکس نمایانگر مکانی است که مقادیر پایین رخداد در اطراف خود رخداد بالای خشکسالی را تجربه کرده‌اند، که در هر دو، خودهمبستگی مکانی مقدار منفی است. به‌طورکلی می‌توان گفت که این ابزار نشان می‌دهد که در کجا مقادیر زیاد و یا کم پدیده در فضا به طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند و همچنین کدام عوارض دارای مقادیری بسیار متفاوت از عوارض پیرامون خود (عسگری، ۱۳۹۰) مکان یا شرایط خاص هستند.

۱-Clustered
۲-Random
۳-Dispersed
٤-Anselin
٥- Tobler
٦-High-High
۷-Low-Low
۸-High-Low
۹-Low-High

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

در پایان با هدف مشخص نمودن نواحی رخداد بالا و پایین شدت‌های خشکسالی از تحلیل لکه‌های داغ[۱]، آمارهٔ گتیس-ارد جی استار[۲] که توسط Ord و همکاران (۱۹۹۵) ارائه گردیده، بهره گرفته شد. این ابزار در حقیقت هر رخداد را در چارچوب رخدادهای که در همسایگی‌اش قرار دارند، در نظر می‌گیرد که در این‌جا رخدادهای زیاد و کم شدت‌های خشکسالی در یک نقطه با توجه به فروانی آن در نقاط همسایه می‌باشد. در آمارهٔ گتیس-ارد جی استار برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، که نوعی امتیار Z است. برای مقادیر Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هر چه Z بزرگتر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و خوشه‌های گرم (رخداد بالا) تشکیل می‌دهند. برای مقادیر Z منفی و معنادار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z کوچکتر باشد، به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود که خوشه‌های سرد (رخداد کم) را نشان می‌دهند. نتایج خروجی لکه‌های داغ در سه سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد یعنی به ترتیب با سطح معنی‌داری Z مساوی با ۱/۶۴، ۱/۹۶ و ۲/۵۸ ارائه می‌شود.

شرح و تفسیر نتایج

تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی، دو نوع خروجی (به صورت عددی و گرافیکی) ارائه می‌دهد. به‌طور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک به یک و مثبت باشد، داده‌ها خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای داشته و اگر مقدار شاخص نزدیک به منفی یک باشد، آنگاه داده‌ها الگوی پراکنده خواهند داشت. نتایج مقدار شاخص موران جهانی برای هر سه مقیاس مورد مطالعه (سالانه، فصلی و ماهانه) بین ۰/۴ تا ۰/۹۱ متغیر می‌باشد که نشان‌دهندهٔ درجه نسبتا بالایی از الگوی خوشه‌ای در فراوانی رخداد شدت‌های خشکسالی کشور در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است (جدول ۱).

۱-Hot Spot Analysis
۲-Getis-Ord Gi start

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

جدول ۱. خروجی آمارهٔ موران جهانی شدت‌های خشکسالی ایران (ماهانه، فصلی و سالانه، ردیف تیره مقدار آماره موران و ردیف روشن مقدار Z)

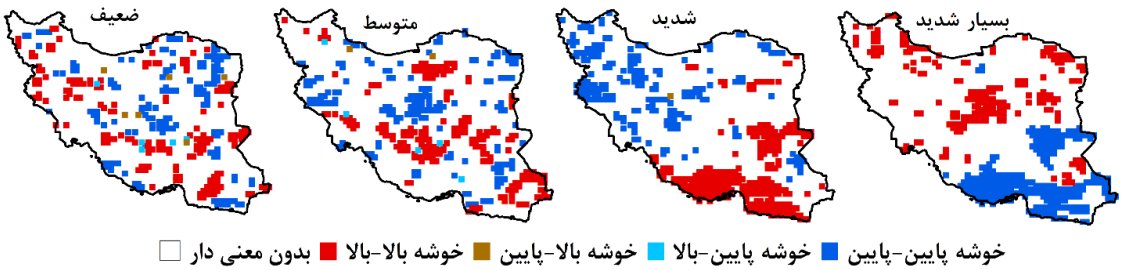
شدت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	بهار	تابستان	پاییز	تابستان	سالانه
بسیارشدید	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۱	۰/۷۱
	۵۱/۸	۵۲/۳	۶۰/۹	۶۰/۶	۵۷/۳	۵۸/۲	۵۶/۵	۵۹/۴	۵۱/۶	۴۷/۱	۴۷/۲	۵۲/۹	۵۵/۱	۵۵/۶	۵۸/۷	۵۵/۱	۴۷/۶
شدید	۰/۷۲	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۷۱	۰/۶۳
	۴۸/۸	۶۱/۱	۵۵/۱	۵۶/۶	۴۸/۲	۵۲/۱	۴۶/۳	۵۰/۸	۵۰/۴	۵۷/۳	۵۷/۱	۴۵/۵	۴۸/۱	۴۸/۳	۵۵/۳	۴۸/۵	۴۳/۱
متوسط	۰/۶۱	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۶	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۵۹	۰/۴۷
	۴۱/۵	۵۰/۵	۵۰/۷	۵۷/۴	۴۷/۷	۴۸/۱	۴۷/۴	۵۱/۴	۴۳/۵	۴۵/۹	۴۵/۳	۴۸/۱	۴۵/۳	۳۹/۸	۴۹/۲	۳۹/۸	۳۲/۱
ضعیف	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۴۰	۰/۵۲	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۳۹
	۴۳/۱	۵۲/۹	۴۸/۹	۳۳/۴	۳۸/۱	۳۳/۱	۳۲/۹	۴۱/۸	۴۳/۸	۴۷/۷	۴۵/۳	۴۳/۶	۲۷/۲	۳۵/۴	۴۷/۳	۲۸/۲	۲۶/۵

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

بالاترین مقدار شاخص (۰/۹۰) در ماه اکتبر (خشکسالی شدید)، نوامبر و دسامبر (خشکسالی بسیارشدید) بوده است. آماره Z برای همه مقیاس‌های زمانی و همه شدت‌ها، بزرگ (بین ۲۶ تا ۶۱) می‌باشد. بنابراین در مجموع می‌توان استباط نمود که تغییرات خشکسالی کشور با اطمینان بسیار بالایی از الگوی خوشه‌ای تبعیت می‌کند. بنابراین با توجه به بزرگ بودن مقدار Z و پایین بودن مقدار p-value، می‌توان فرضیه نبود خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها در هر سه مقیاس مورد مطالعه را رد و نتیجه گرفت که رخدادهای خشکسالی با شدت‌های متفاوت، دارای توزیع خوشه‌ای در فضای سرزمینی ایران هستند.

شکل ۲ توزیع فضایی آماره موران محلی یا خوشه‌های مکانی شدت‌های خشکسالی (بسیارشدید، شدید، متوسط و ضعیف) سالانه را نشان می‌دهد. در نگاه اول تضاد خوشه مکانی رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید کشور، دو خوشه کاملا مشخص و مجزا را نشان داده، به‌طوری‌که در خشکسالی شدید، غرب، شمال‌غرب و مرکز، خوشه مکانی فراوانی کم و در جنوب، جنوب‌شرق و شرق خوشه مکانی فراوانی بالا شکل گرفته اما در خشکسالی بسیارشدید خوشه‌های مکانی تقریباً برعکس رخداد خشکسالی‌های شدید هستند. این شرایط در خوشه‌های مکانی خشکسالی شدید و بسیارشدید در جنوب، شرق و جنوب‌شرق کشور با وضوح بیشتری قابل مشاهده است. فراوانی بالای رخداد خشکسالی شدید و فراوانی اندک خشکسالی بسیارشدید در این نواحی، خوشه‌های مکانی مشخصی تشکیل داده‌اند. خوشه بالا-بالا (پایین- پایین) رخداد خشکسالی‌های شدید (خشکسالی بسیارشدید) در نواحی مذکور نشان‌دهندهٔ رخداد بیشتر خشکسالی‌های شدید (خشکسالی بسیارشدید) نسبت به دیگر شدت‌های خشکسالی در اکثر مساحت این نواحی بوده و فقط پهنه کوچکی در اطراف زاهدان این همگنی را برهم زده است. نکته قابل ذکر دیگر این‌که با افزایش شدت خشکسالی، گسترهٔ خوشه‌های مکانی همگن در هردو فراوانی کم و زیاد افزایش یافته است. این شرایط نشان می‌دهد که، خشکسالی-های شدیدتر در پهنه‌های وسیع و همگن و خشکسالی با شدت کم، به‌صورت ناهمگن و پراکنده رخ می‌دهند (شکل ۲). علاوه‌بر آن در مرکز نیز خشکسالی‌های متوسط، در شمال و جنوب این ناحیه دو خوشه کاملاً متفاوت تشکیل داده‌اند. در بخش جنوبی خشکسالی‌های متوسط با رخداد زیاد و در شمال آن رخدادهای کم، خوشه‌های مکانی بزرگ و همگنی تشکیل داده‌اند. ناخوشه‌های مکانی یا مناطق با رخدادهای متفاوت از اطراف خود در هر دو توزیع HL و LH بسیار نادر و تنها در شدت‌های متوسط و ضعیف دیده می‌شوند.



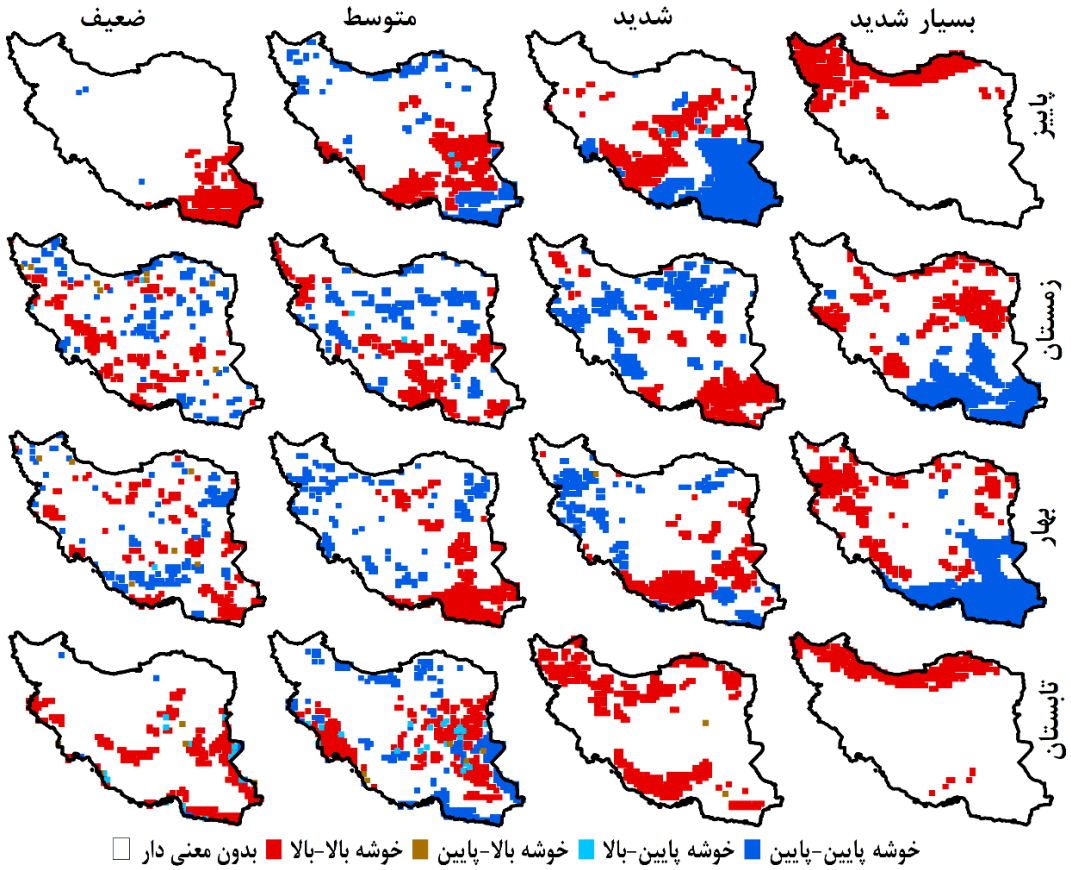
شکل ۲. توزیع فضایی موران محلی (خوشه-ناخوشه) فراوانی شدت‌های خشکسالی سالانه

خوشه، ناخوشه‌های مکانی فراوانی شدت‌های خشکسالی فصلی در شکل ۳ آمده است. در فصل پاییز خودهمبستگی فضایی مثبت یا فراوانی بالایِ خشکسالی ضعیف تنها در جنوب‌شرق خوشه مکانی مشخصی تشکیل داده که نمایانگر ناحیه همگن رخدادهای بالای خشکسالی ضعیف در ایران است. با افزایش شدت خشکسالی خوشه‌های مکانی فراوانی بالا به سمت شمال جابجا شده‌اند به طوری که در خوشه مکانی فراوانی بالای خشکسالی‌های بسیارشدید محدود به نوار

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

شمالی کشور از گلستان تا کردستان شده است. در خشکسالی متوسط و شدید، جنوب‌شرق خوشه رخداد پایین و در جنوب، شرق و مرکز رخدادهای بالا خوشه مکانی همگن تقریباً وسیع تشکیل داده‌اند.

همچنین الگوهای مکانی فراوانی بالای خشکسالی بسیارشدید در دو فصل زمستان و بهار نیز مشابه بوده و در هر دو فصل، در نواحی جنوب‌غرب، غرب و شمال‌شرق خوشه‌های مشخص مکانی دیده می‌شود. تنها تفاوت بارز این دو فصل، منطقه شمال‌غرب است که در زمستان برخلاف بهار، خوشه مکانی رخدادهای بالای این شدت از خشکسالی شکل نگرفته است. گرچه در الگوهای مکانی رخداد خشکسالی‌های شدید و متوسط این دو فصل تفاوت‌های جزئی دیده می‌شود ولی فراوانی کم خشکسالی‌های شدید و متوسط در هر دو فصل در نیمهٔ شمالی و در مقابل فراوانی بالا در جنوب و شرق خوشه همگن تشکیل داده و فقط در جنوب‌شرق شرایط متفاوت بوده است. همانند خشکسالی سالانه، الگوی مکانی فراوانی بالا و کمِ خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید در فصل زمستان نیز متضاد می‌باشند (شکل ۳). همانند فراوانی شدت‌های خکسالی سالانه، در خشکسالی فصلی نیز ناخوشه به ندرت تشکیل و فقط در خشکسالی متوسط فصل تابستان در مرکز و شرق مناطق با رخداد کم در پهنه‌های رخداد بالا مشاهده می‌شوند.

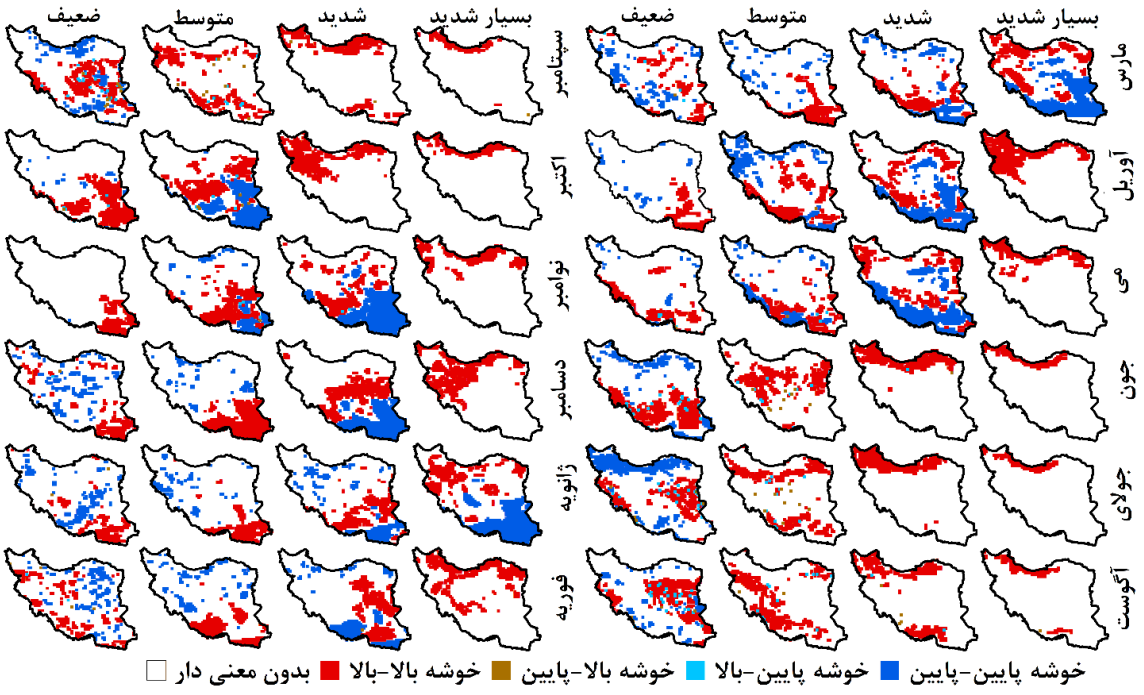


شکل ۳. توزیع فضایی موران محلی (خوشه-ناخوشه) فراوانی شدت‌های خشکسالی فصلی

شکل ۴ خودهمبستگی فضایی یا الگوی مکانی شدت‌های خشکسالی ماهانه طی دوره (۲۰۲۰-۱۹۷۹) را نشان می‌دهد. الگوی مکانی غالب و مشخص همانند مقیاس فصلی، خوشه‌های وسیع و همگن مکانی در شمال و ناحیه جنوب شرق کشور است که در جنوب شرق خوشه‌های مکانی فراوانی کم ولی در شمال کشور، فراوانی بالای آن دیده می‌شود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

در نوار شمالی کشور از شمال‌شرق تا شمال غرب، به‌خصوص در سواحل جنوبی دریای‌خزر، خشکسالی‌های شدید تا بسیارشدید در اکثر ماه‌ها، خوشه‌های مکانی فراوانی بالا تشکیل داده‌اند. این شرایط در ماه‌های سپتامبر و اکتبر که در ناحیه خزری و آوریل و می که در ناحیه شمال‌غرب از مهمترین ماه‌های بارشی آن نواحی می‌باشند، محسوس‌تر است. خوشه مکانی فروانی کم خشکسالی شدید و بسیارشدید در ماه‌های فصل پاییز و تابستان دیده نمی‌شود و این مؤید رخداد بالای این شدت از خشکسالی در پهنه‌های وسیع، بیشتر در نیمه‌شمالی کشور است. در بیشتر ماه‌های دوره سرد و بارشی سال، ناحیه جنوب و جنوب‌شرق خوشه رخداد پایین خشکسالی‌های شدید و حتی بسیارشدید را نمایش می دهند. (شکل ۴).



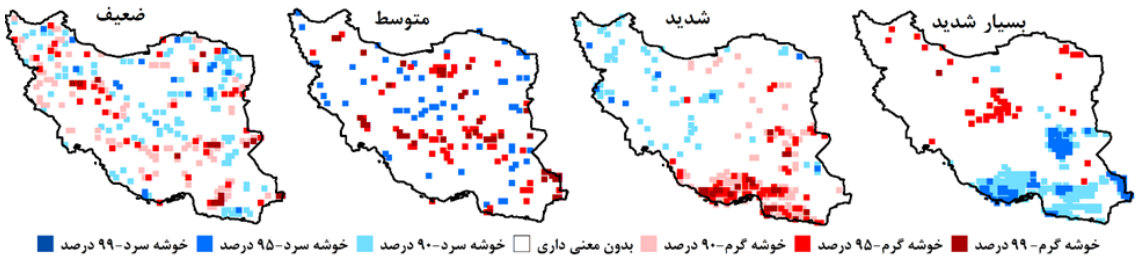
شکل ۴. توزیع فضایی موران محلی (خوشه-ناخوشه) فراوانی شدت‌های خشکسالی ماهانه

آنچه در بالا آمده بود، خوشه‌های همگن یا ناخوشه‌های مکانی از نظر فراوانی رخداد شدت‌های خشکسالی را نشان می‌داد. در ادامه نتایج تحلیل لکه داغ آمار فضایی همانند آماره موران، خودهمبستگی فضایی فراوانی رخدادهای شدت‌های خشکسالی بررسی خواهد شد. نتایج تحلیل لکه‌های داغ گرچه در الگوی نقشه، بسیار نزدیک به آماره موران محلی (همگنی و ناهمگنی مکانی رخدادهای بالا و پایین) است، اما در لکه‌های داغ نواحی رخداد بالا (لکه داغ یا خوشه گرم) و کم (لکه سرد یا خوشه سرد) شدت‌های خشکسالی را به نمایش می‌گذارد (شکل ۵ تا ۷).

در شدت خشکسالی بسیارشدید سالانه خوشه سرد وسیع و بزرگی در جنوب‌شرق، جنوب و شرق کشور مشاهده می‌شود (شکل ۵). این منطقهِ رخداد کم خشکسالی بسیارشدید در سطح ۹۰ و ۹۵ درصد معنی‌دار بوده اما خوشه گرم (مناطق رخداد بالا) که در مرکز ایران قرار دارد در سطح ۹۵ و حتی ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. دیگر خوشه‌های سرد و گرم به‌ویژه گرم، به‌صورت پراکنده در شمال‌شرق و شمال‌غرب دیده می‌شوند. خوشه‌های سرد در جنوب، جنوب‌شرق و شرق در خشکسالی شدید به خوشه‌های گرم یا نواحی با فراوانی بالای رخداد خشکسالی شدید تبدیل شده است. شدت این خوشه‌های گرم در ناحیه جنوب و شمال ساحل خلیج فارس و تنگه هرمز بیشتر بوده است. خوشه‌های سرد این

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

شدت از خشکسالی به‌شکل پراکنده در نمیه غربی و تا حدودی مرکز کشور مشاهده می‌شود. اما خوشه‌های سرد و گرم خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط همانند خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید مجتمع نبوده و در سراسر کشور پراکنده شده‌اند. ولی با این حال خوشه‌های گرمِ مشخص خشکسالی متوسط در شمال دشت کویر و خوزستان، دشت‌های شرق زاگرس تا شمال ارتفاعات کرمان و شرق سیستان‌وبلوچستان قابل رؤیت است. بنابراین خشکسالی‌های شدید با اطمینان بالا بیشتر در ثلث جنوب‌شرقی کشور و خشکسالی‌های بسیارشدید در مرکز و شمال‌شرق رخ داده‌اند.

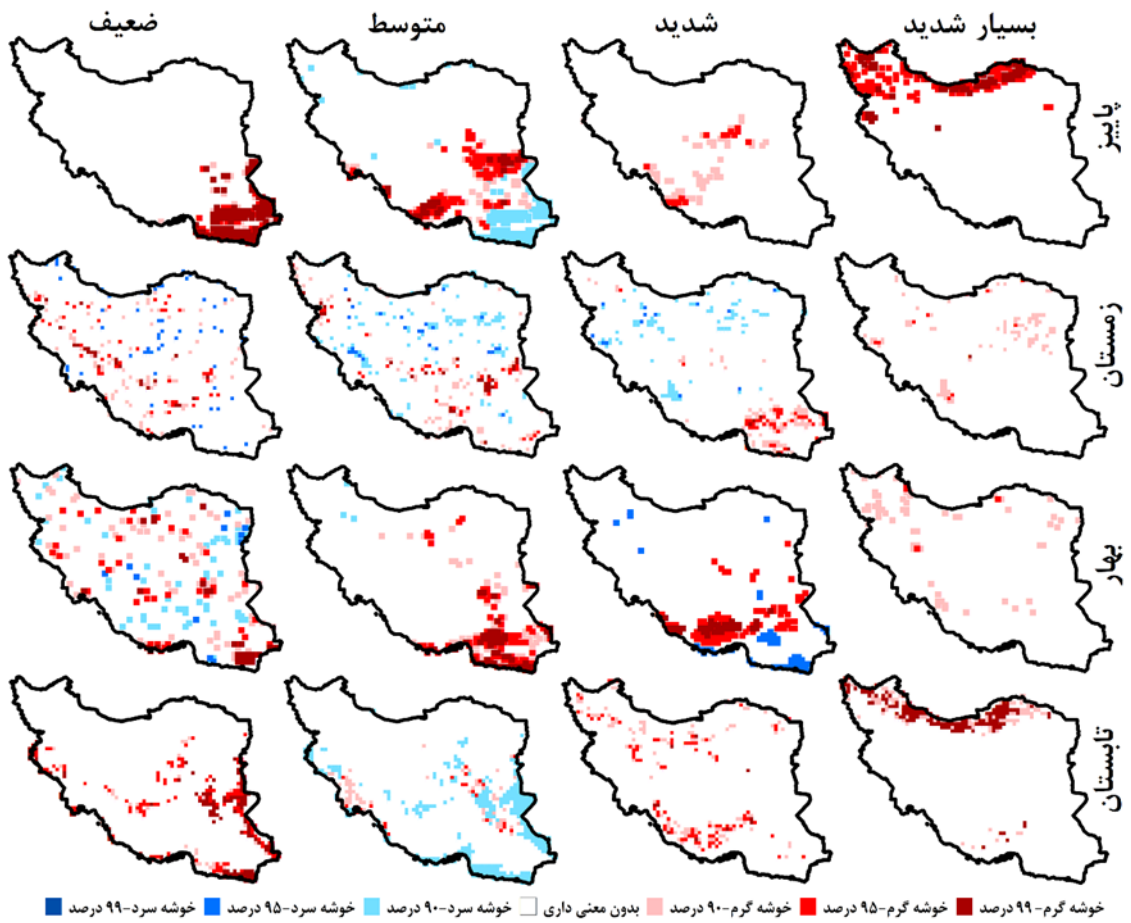


شکل ۵. پراکنش الگوی لکه‌های داغ (خوشه‌های گرم وسرد) فراوانی شدت‌های خشکسالی سالانه

در فصل پاییز به جز در خشکسالی متوسط که خوشه سرد ۹۰ درصد در منتهی‌الیه جنوب‌شرق وجود دارد، در همه شدت‌ها فقط خوشه‌های گرم (فراوانی بالای رخداد خشکسالی) مشاهده می‌شود (شکل ۶). پراکنش مکانی خوشه‌های گرم با افزایش شدت، از خشکسالی ضعیف به بسیارشدید از جنوب‌شرق به جنوب و شرق و سپس جنوب‌غرب، مرکز و در نهایت نوار شمالی و شمال‌غرب جابه‌جا شده‌اند. این شرایط با تفاوت‌هایی در فصل تابستان نیز رخداده، به طوری‌که، فقط در خشکسالی متوسط خوشه‌های سرد به‌شکل واضح در سواحل جنوب و مرز شرقی قابل رؤیت است، اما خوشه‌های گرم از خشکسالی ضعیف که در سواحل مکران مرزهای شرقی و بخشی از فلات مرکزی به نوار شمالی، به‌خصوص در سواحل جنوب دریای خزر جابه‌جا شده است (شکل ۶). بنابراین در این دو فصل خشکسالی‌های بسیارشدید و شدید رخداد بیشتری به ترتیب در جنوب‌شرق و شمال کشور داشته‌اند. اما در دو فصل بارشی ایران (زمستان و بهار) فقط در فصل بهار خوشه‌های گرم خشکسالی‌های متوسط و شدید در جنوب شرق، شرق و جنوب قابل مشاهده است. خوشه‌های گرم خشکسالی بسیارشدید زمستان و بهار در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار بوده و خوشه‌های مجتمع و وسیعی تشکیل نمی‌دهند. می‌توان گفت تنها خشکسالی شدید در فصل زمستان در ناحیه‌ی جنوب شرق خوشه‌ی گرم (فراوانی بالا) به وجود آورده است. در شدت‌های متوسط و ضعیف، خوشه‌های گرم و سرد در سراسر کشور پراکنده می‌باشند (شکل ۶).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

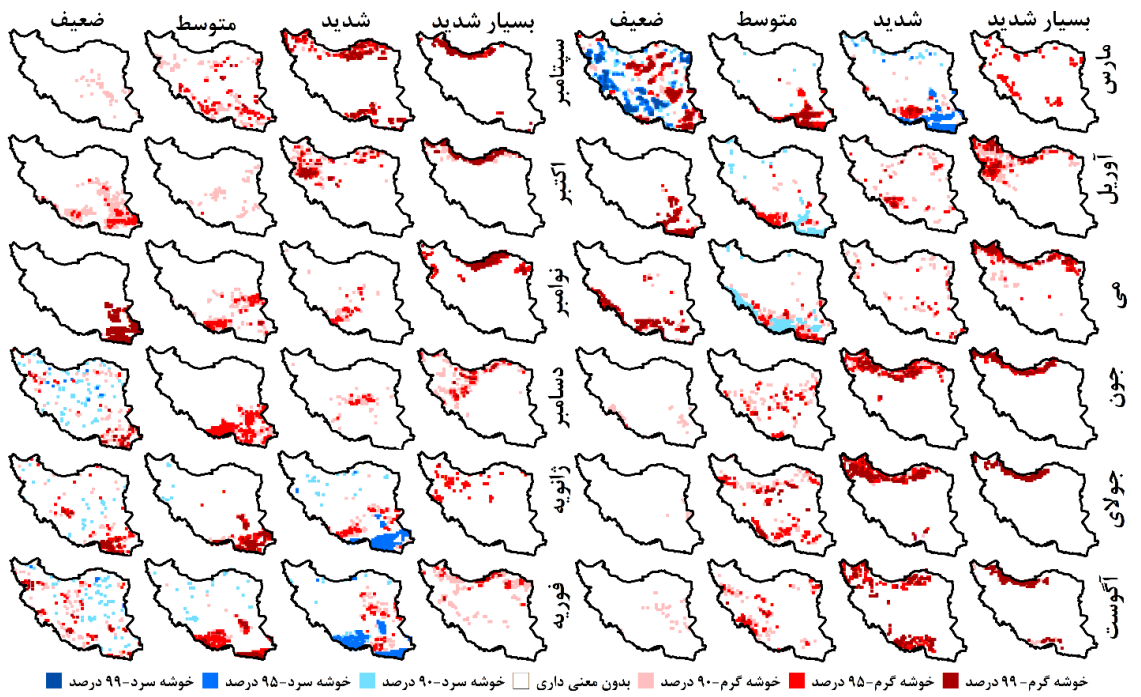
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]



شکل ۶. پراکنش الگوی لکه‌های داغ (خوشه‌های گرم وسرد) فراوانی شدت‌های خشکسالی فصلی

تحلیل لکه‌های داغ فراوانی رخداد شدت خشکسالی ماهانه به صورت خوشه‌های سرد (فراوانی کم) و گرم (فراوانی بالا) در شکل ۷ آمده است. در نگاه کلی در بیشتر ماه‌ها و شدت‌های خشکسالی، خوشه‌های گرم (فراوانی بالا) به چشم آمده و فقط در ماه‌های ژانویه، فوریه (خشکسالی شدید) و مارس (خشکسالی ضعیف و شدید) به طور واضح خوشه سرد در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد در جنوب و جنوب‌شرق به جز خشکسالی ضعیف ماه مارس که در جنوب و غرب کشور است، قابل مشاهده است (شکل ۷). تقریباً همانند خوشه‌های سرد و گرمِ رخدادِ خشکسالی فصلی، ارتفاعات البرز، سواحل خزر، شمال‌غرب، جنوب و جنوب‌شرق کشور، خوشه‌های گرم بیشتر در سطح ۹۹ درصد در اکثر ماه‌ها و با شدت کمتر در دوره‌ی سرد سال دیده می‌شود. تفاوت این نواحی در شدت‌های خشکسالی می‌باشد، به طوری که، در منطقه‌ی جنوب و جنوب‌شرق و گاهی مرکز شدت‌های ضعیف و متوسط بیشتر خوشه گرم تشکیل داده‌اند، اما در نیمه‌ی شمالی در شدت‌های شدید و بسیارشدید خوشه گرم شکل گرفته است. استثناهایی همانند خوشه گرمِ خشکسالی بسیارشدید ماه آوریل، خشکسالی شدید ماه‌های سپتامبر و آگوست و خشکسالی متوسط ماه‌های فوریه، مارس و نوامبر در جنوب وجود دارد (شکل ۷).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]



شکل ۷. پراکنش الگوی لکه‌های داغ (خوشه‌های گرم وسرد) فراوانی شدت‌های خشکسالی ماهانه

نتایج شاخص موران جهانی برای هر سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه نشان‌دهندۀ الگوی بسیار خوشه‌ای رخدادهای خشکسالی کشور بود که نتایج پژوهش حجازی‌زاده و جوی‌زاده (۱۳۹۸) که با استفاده از داده‌های ایستگاهی البته با تعداد محدود انجام گرفته نیز این امر را تأیید می‌کند. تضاد خوشه مکانی رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید سالانه کشور در نواحی شرق، جنوب‌شرق و جنوب نیز یک نتیجه جالب توجه است که دوستکامیان و همکاران (۱۴۰۰) این شرایط را به علت بارش کم و ضریب تغییرات مکانی بالای بارش در این نواحی دانسته‌اند. همچنین مشاهده خوشه‌های مکانی رخداد بالایِ خشکسالی بسیارشدید سالانه در نواحی مرکزی، شرق، شمال‌شرق و شمال‌غرب و رخداد پایینِ خشکسالی شدید در نواحی جنوب، جنوب‌شرق و شرق کشور با برخی از پژوهش‌های خشکسالی که با آمار کلاسیک به صورت منطقه‌ای انجام شده است (بابایی فینی و علیجانی، ۱۳۹۲؛ مجرد و همکاران، ۱۳۹۳) هماهنگی دارد. تضاد خوشه‌های مکانی شدت‌های خشکسالی نشان‌دهندۀ ارتباط خشکسالی با بی‌هنجاری‌های زمانی-مکانی بارش، به طوری‌که با افزایش بارش، تغییرات مکانی بارش کاهش و در نتیجه همگنی مکانی بارش افزایش می‌یابد (عساکره و رزومی قلندری، ۱۳۹۳).

لکه‌های رخداد بالایِ شدت ضعیف و متوسط در جنوب-جنوب‌شرق در پاییز و بهار می‌تواند به علت تغییرپذیری بالای گردش جو در شروع و پایان بارش این نواحی متأثر از نوسانات آغاز و اتمام موسمی جنوب آسیا باشد. برخی از پژوهش‌ها نیز ارتباط بارش‌های این نواحی با رفتار موسمی جنوب آسیا بیان داشته‌اند (نجار سلیقه، ۱۳۸۰؛ آب‌خرافات، ۱۳۹۵). به‌طوری‌که الگوهای چرخه‌ای حاکم بر بارش این منطقه از کشور رفتار متمایزی نسبت به سایر بخش‌هایی کشور دارد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در این ناحیه در دوره‌های آتی تحت تاثیر شرایط تغییر اقلیم، افزایش شدت خشکسالی برای آن پیش بینی شده است (الوانکار و همکاران، ۱۳۹۵). رخدادهای خشکسالی بسیارشدید در فصل زمستان و بهار، الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت در جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب داشته است. این در حالی است که بارش در این زمان از سال در این مناطق متمرکز می‌باشد (مسعودیان، ۱۳۸۴، رضیئی و عزیزی، ۱۳۸۷). برخی از پژوهشگران

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

دلیل این امر را تغییرپذیری الگوهای همدید بارش‌زای این دو فصل به‌ویژه فعالیت واچرخند عربی (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵) یا پرفشار عربستان ذکر کرده‌اند (زنگنه و همکاران ، ۱۳۹۴). خوشه گرم یا تمرکز رخدادهای بالای خشکسالی بسیارشدید در نوار شمالی کشور بخصوص ناحیه خزری می‌تواند به‌دلیل تغییرپذیری بالای بارش در شروع دوره بارشی سالانه (در انتهای تابستان و شروع فصل پاییز) این منطقه که فصل پربارش آن ناحیه (جهانبخش‌اصل و کرمی، ۱۳۷۸؛ دوستکامیان و همکاران، ۱۴۰۰) و همچنین پربارش‌ترین ناحیه بارشی کشور در این زمان از سال (مسعودیان، ۱۳۸۸، دوستکامیان و میرموسوی، ۱۳۹۴؛ دوستکامیان و همکاران، ۱۴۰۰) است، باشد. گرچه بیشتر توجهات در خشکسالی به نواحی خشک و نمیه خشک کشور می‌باشد (عربی و بدراق‌نژاد، ۱۴۰۰) اما مشاهده این شرایط در نوار شمالی گویای این است که رخداد با فراوانی بالای خشکسالی بسیارشدید حتی در نواحی پربارش نباید دور از انتظار باشد.

اکثر مناطق ایران به‌ویژه غرب و جنوب‌غرب، عمده بارش خود را در طی ماه‌های دسامبر تا مارس دریافت می‌کنند (Raziei et al, ۲۰۰۹; Hadi Pour et al, ۲۰۲۰) به‌طوری‌که ماه‌های اکتبر و نوامبر در نیمه‌شمالی، آوریل و می در شمال‌غرب (مسعودیان، ۱۳۸۴) و دسامبر تا مارس در جنوب‌شرق کشور (رضیئی، ۱۳۹۶؛ دوستکامیان و همکاران، ۱۴۰۰) از ماه‌های پربارش سال در این مناطق است. تشکیل خوشه مکانی رخداد خشکسالی بسیارشدید در این دوره زمانی در شمال، شمال‌غرب و غرب کشور که در بخش‌های زیادی از آن فعالیت‌های اقتصادی مانند کشاورزی به میزان و تقویم بارش وابسته است، نگران کننده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ایران به دلیل شرایط اکولوژیکی، موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک جهان، در زمره کشورهای آسیب‌پذیر ناشی از مخاطرات طبیعی از جمله خشکسالی است. به طوری‌که در قرن اخیر خشکسالی‌های شدید زیادی را تجربه کرده است. رخداد خشکسالی و اثرات آن، یکی از چالش‌های مهم مدیریت منابع آب در قرن حاضر می‌باشد.

خوشه مکانی خشکسالی بسیارشدید، شدید، متوسط و ضعیف در مقیاس ماهانه با استفاده از هر دو آمارهٔ موران محلی و لکه‌های داغ، گویایی این واقعیت است که در ایران بیشینه وقوع شدت‌های خشکسالی به لحاظ مکانی و زمانی با وجود اینکه در دوره‌های مختلف دارای نوساناتی بوده است، اما بیشتر خشکسالی‌های بسیارشدید و شدید در نواحی غرب، شمال‌غرب و کرانه‌های ساحلی خزر رخداده است. این در حالی است که فقدان وقوع خشکسالی‌های شدید و یا خوشه‌های مکانی رخداد پایینِ خشکسالی در نواحی جنوب‌شرق و تا حدودی جنوب بوده است. در مقیاس سالانه، جنوب، جنوب‌شرق و شرق نقش قابل توجهی در خوشه مکانی رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیارشدید داشته است. به طوری که این مناطق از کشور دارای خودهمبستگی فضایی مثبت بوده است. این درحالی‌است که در همین نواحی خودهمبستگی فضایی منفی در فصل پاییز برای خشکسالی شدید حاکم بوده است. این امر می‌توان نشان‌دهندهٔ بی‌هنجاری و گرایش به تمرکز بیشتر بارش در ایران و همچنین تغییرات زیادی رژیم‌های فصلی و محلی بارش باشد.

براساس نتایج پژوهش، وقوع بالای خشکسالی بسیارشدید و شدید در هر سه مقیاس (ماهانه، فصلی و سالانه) حتی در مرطوب‌ترین اقلیم کشور (شمال ایران به‌خصوص سواحل جنوبی دریای خزر) نشان می‌دهد که خشکسالی‌های با شدت بالا می‌تواند در همه نواحی کشور بدون توجه به شرایط آب‌وهوایی، رخ دهد. بنابراین این می‌تواند پیام هشداردهنده برای برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب، کشاورزی و حتی تأمین آب شرب کشور باشد که انتظار رخداد خشکسالی متعدد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

و شدید را فقط در مناطق کم بارش نداشته باشند. اگر خشکسالی‌های بسیارشدید و شدید مکرر، با سوء مدیریت منابع آبی همراه گردد، مسائل مرتبط با آب از شرایط بحرانی به شرایط غیرقابل جبران و فوق‌بحرانی تبدیل شده که این می‌تواند جامعه و اقتصاد ایران را با خطرات جدی روبرو نماید.

منابع

آب‌خرابات، شعیب؛ مجید رضایی‌بنفشه؛ سعید جهان‌بخش‌اصل؛ مصطفی کریمی و علی‌اکبر رسولی. ۱۳۹۵. تحلیل دینامیکی-سینوپتیکی سازوکار بارش‌های تابستانهٔ جنوب‌شرق ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳: ۳۳۵-۳۴۹.

بابایی فینی، ام سلمه و منوچهر فرجزاده. ۱۳۸۱. الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران. *مدرس علوم انسانی*، **۴**: ۷۰-۵۱.

بابایی فینی، ام‌السلمه و بهلول علیجانی. ۱۳۹۲. تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلندمدت ایران. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. **۳**: ۱۲-۱.

بازگیر، سعید؛ ابراهیم اسعدی اسکویی؛ فائزه عباسی؛ پرویز رضازاده و مسعود حقیقت. ۱۳۹۹. مطالعه تطبیقی کارایی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مناطق مختلف اقلیمی ایران. *تحقیقات آب و خاک ایران*، **۱۱**: ۲۷۶۰-۲۷۵۱.

پیرمرادیان، نادر؛ سیدامیر شمس‌نیا و محمدعلی شاهرخ‌نیا. ۱۳۸۷. پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی ۱۳۷۸-۸۰ استان فارس با استفاده از شاخص معیار شده‌ی بارش (SPI) در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS). *مهندسی آب*، **۲**: ۷۰-۶۱.

پیل‌پایه، علیرضا؛ داوود نجفیان قوجه بیگلوریال؛ سعید توفیقی و اکبر رحمتی. ۱۳۹۹. تحلیل وضعیت خشکسالی در سطح کشور ایران با استفاده از محصول بارشی مرکز ECMWF. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۳**: ۲۹-۴۶.

جعفری، غلامحسین؛ فاطمه بختیاری و مهدی دوستکامیان. ۱۳۹۶. بررسی و تحلیل ارتباط فضایی خشکسالی‌ها با دبی حوضه‌های آبی قزل اوزن. *جغرافیا و توسعه*، **۴۸**: ۹۴-۷۹.

جهانبخش‌اصل، سعید و فریبا کرمی، ۱۳۷۸. تحلیل سینوپتیکی تأثیر پرفشار سیبری بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر. *تحقیقات جغرافیایی*، **۳**-۴: ۱۳۱-۱۰۷.

حجازی‌زاده، زهرا و سعید جوی‌زاده. ۱۳۹۸. تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۵۳**: ۲۷۷-۲۵۱.

حکیم‌دوست، سیدیاسر؛ محسن رستگار؛ علی‌محمد پورزیدی و حسین حاتمی. ۱۳۹۳. تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان‌گزینی سکونتگاه‌های روستایی (مطالعه موردی روستاهای استان مازندران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۱۱**: ۷۵-۶۱.

خیری، راضیه؛ فیروز مجرد؛ جعفر معصوم‌پور و فرهادی، بهمن. ۱۴۰۰. ارزیابی تغییرات خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص‌های SPEI و SC-PDSI. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، **۱**: ۱۷۴-۱۴۳.

دوستان، رضا. ۱۳۹۴. تحلیلی بر خشکسالی‌های ایران در نیم قرن گذشته. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، **۲۴-۲۳**: ۱۸-۱.

دوستان، رضا. ۱۳۹۸. تحلیلی بر تحقیقات خشکسالی در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۴**: ۹۴-۵۳.

دوستکامیان، مهدی و سیدحسین میرموسوی. ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل خوشه‌های آستانه بارش‌های شدید ایران. *جغرافیا و توسعه*، **۴۱**: ۱۴۶-۱۳۱.

دوستکامیان، مهدی؛ حسین عساکره و محمد دارند. ۱۴۰۰. بررسی و تحلیل آشفتگی، نوسانات و جهش نواحی بارشی ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۶۰**: ۱۴۹-۱۲۷.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

رحیم‌زاده، فاطمه؛ ابراهیم فتاحی و سیده فاطمه حسینی دستک. ۱۳۸۴. بررسی تغییرپذیری اقلیمی در ایران با بهره‌گیری از مدل‌های آماری. *تحقیقات منابع آب ایران*، **۲**: ۷۳-۶۱.

رضیئی، طیب. ۱۳۹۶. شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره. *فیزیک زمین و فضا*، **۳**: ۶۹۵-۶۷۳.

زنگنه، سعید؛ حسن لشکری و محمد مرادی. ۱۳۹۴. تحلیل سینوپتیکی پرفشار عربستان و اثر آن بر خشکسالی‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، **۱۵**: ۳۱-۱۷.

صلاحی، برومند و مجتبی فریدپور. ۱۳۹۵. تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال‌غرب ایران با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۳**: ۲۰-۱.

عربی، زهرا و ایوب بدراق نژاد. ۱۴۰۰. سنجش و تحلیل همبستگی سری زمانی خشکسالی‌ها مبتنی بر تصاویرماهواره مودیس وشاخص اقلیمی بارش استاندارد شده(SPI) در دامنه شرقی زاگرس. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۴**: ۸۸-۷۱.

عربی، زهرا. ۱۳۸۵. تحلیل سینوپتیکی بارندگی دوره ۲۱ تا ۲۶ تیرماه ۱۳۷۸ در ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، **۵۶**: ۱۵-۱.

عزیزی، جوانشیر؛ علی رسول‌زاده؛ اکبر رحمتی؛ افشین شایقی و آیدین باختر. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد داده‌های بارتحلیل شده ERA-۵ در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل. *تحقیقات آب‌وخاک ایران*، **۱۱**: ۲۹۵۱-۲۹۳۸.

عزیزی، قاسم. ۱۳۷۹. الینو و دوره های خشکسالی- ترسالی در ایران، *پژوهش‌های جغرافیایی*، **۳۸**: ۷۱-۸۴.

عزیزی، قاسم؛ طیب رضیئی. ۱۳۸۷. بررسی توزیع مکانی بارندگی فصلی و سالانه در غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، **۶۵**: ۹۳-۱۰۸.

عساکره، حسین و رباب رزمی قلندری. ۱۳۹۳. توزیع زمانی و رژیم بارش در شمال‌غرب ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، **۱**: ۱۶۰-۱۴۵.

عسگری، شمس‌اله؛ طیب رضیئی؛ احمد حسینی و نادر شوهانی. ۱۴۰۰. تحلیل فضایی ارتباط خشکیدگی جنگل بلوط با خشکسالی-های اخیر در استان ایلام. *فضایی جغرافیایی*، **۷۳**: ۱۵۳-۱۴۱.

عسگری، علی. ۱۳۹۰. تحلیل‌های آمار فضایی با ARCGIS، چاپ اول. سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.

علی‌بخشی، سیده مریم؛ علیرضا فرید حسینی؛ کامران داوری؛ امین علیزاده و هنری مونیکا. ۱۳۹۷. ارزیابی داده‌های بارش زمینی، ماهواره GPM و MERRA (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف‌رود). *مدیریت حوزه آبخیز*، **۱۸**: ۱۲۲-۱۱۱.

علیجانی، بهلول و ام السلمه بابایی فینی. ۱۳۸۸. تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه مدت ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، *پیش شماره*: ۱۲۱-۱۰۹.

علیجانی، بهلول؛ علی بیات؛ مهدی دوستکامیان و یدالله بلیانی. ۱۳۹۵. تحلیل طیفی سری‌های زمانی بارش سالانه ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۵۷**: ۲۳۶-۲۱۷.

علیزاده، امین. ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ ۲۸، مشهد: دانشگاه امام رضا.

علیزاده، شهمراد و حسین محمدی. ۱۳۹۴. مدلسازی سیستم دینامیک با استفاده از الگوی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی در ایران. *جغرافیا*، ۴۷: ۱۶۰-۱۴۱.

فریدپور، مجتبی؛ بتول زینالی؛ صیاد اصغری سراسکانرود و اردوان قربانی. ۱۳۹۸. تحلیل خشکسالی و ترسالی اقلیمی در حوضه آبریز دره رود اردبیل با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی. *آمایش جغرافیایی فضا*، **۳۴**: ۱۵۲-۱۳۳.

کرم‌پور، مصطفی؛ زهرا زارعی چقابلکی؛ منصور حلیمی و مصطفی نوروزی میرزا. ۱۳۹۷. بررسی نوسان بارش ماهانه و سالانه ایران در طیف‌های مختلف. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، **۱۰۵**: ۲۱۷-۱۹۹.

کریمی، مصطفی؛ فرامرز خوش‌اخلاق؛ سعید بازگیر و مهناز جعفری. ۱۳۹۵. نقش گردش وردسپهر زیرین پرفشار عربستان در بارش ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۴**: ۵۸۷-۵۶۹.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

مجرد، فیروز؛ راضیه خیری و زهرا نوری. ۱۳۹۳. تحلیل فراوانی خشکسالی‌های روزانه در ایران با شاخص خشکسالی مؤثر، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۳۵**: ۴۸-۲۹.

مسعودیان، سیدابوالفضل. ۱۳۸۴. شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. *پژوهش‌های جغرافیایی*، **۵۲**، ۵۹-۴۷.

مسعودیان، سیدابوالفضل. ۱۳۸۸. نواحی بارشی ایران. *جغرافیا و توسعه*، **۱۳**: ۹۱-۷۹.

موحدی، سعید؛ حسین عساکره؛ علی‌اکبر سبزی‌پرور؛ ابوالفضل مسعودیان و زهره مریانجی. بررسی تغییرپذیری رژیم بارش در ایران. ۱۳۹۰. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، **۶**: ۱۴۴۷-۱۴۳۴.

میری، مرتضی؛ طیب رضیئی و مجتبی رحیمی. ۱۳۹۵. ارزیابی و مقایسهٔ آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. *فیزیک زمین و فضا*، **۳**: ۶۵۷-۶۷۲.

نجارسلیقه، محمد. ۱۳۸۰. الگوهای سینوپتیکی بارش‌های تابستانه جنوب‌شرق ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، **۳**: ۱۲۵-۱۱۴.

الوانکار، سید رضا؛ فرزانه نظری و ابراهیم فتاحی. ۱۳۹۵. تاثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی های ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۲**: ۱۲۰-۹۹.

هاشمی‌عنا، سیدکرامت؛ محمود خسروی؛ تقی طاوسی. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک با رویکر تغییراقلیم در گستره‌ی ایران زمین. *فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. **۲۲**: ۳۳-۱۸.

Álvarez-Berríos, N.L.; S. Soto-Bayó, E. Holupchinski, S.J. Fain, and W.A. Gould. ۲۰۱۸. Correlating drought conservation practices and drought vulnerability in a tropical agricultural system. *Renewable Agriculture and Food Systems*, ***3***: ۲۷۹-۲۹۱. **DOI**: https://doi.org/۱۰,۱۰۱۷/S۱۷٤۲۱۷۰٥۱۸۰۰۰۱۱X.

Anselin, L. ۱۹۹٥. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, ۲: ۹۳-۱۱٥. **doi**.org/۱۰,۱۱۱۱/j.۱٥۳۸-٤٦۳۲,۱۹۹٥.tb۰۰۳۳۸.x.

Ekwezuo, C.S.; and J.C. Madu, ۲۰۲۰. Evaluation of Different Rainfall-based Drought Indices Detection of Meteorological Drought Events in Imo State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, ٤: ۷۱۳-۷۱۷. **DOI**: ۱۰,٤۳۱٤/jasem.v۲٤i٤,۲٥.

Emadodin, I.; T. Reinsch, and F. Taube. ۲۰۱۹. Drought and desertification in Iran. *Hydrology*, ۳: ٦٦. **doi**.org/۱۰,۳۳۹۰/hydrology٦۰۳۰۰٦٦.

Fang, W.; S, Huang, Q. Huang, G. Huang, H. Wang, G. Leng, L. Wang, and Y. Guo. ۲۰۱۹. Probabilistic assessment of remote sensing-based terrestrial vegetation vulnerability to drought stress of the Loess Plateau in China. *Remote Sensing of Environment*, ***232***: ۱۱۱۲۹۰. **doi**.org/۱۰,۱۰۱٦/j.rse.۲۰۱۹,۱۱۱۲۹۰.

Ghalhari, G.F.; A.D. Roudbari, and M. Asadi. ۲۰۱٦. Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, ۱۲: ۱-۱۲. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۲٥۱۷-۰۱٦-۲٦۰٦-٤.

Gümüş, V. ۲۰۱۷. Hydrological drought analysis of Asi River Basin with streamflow drought index. *Gazi Univ Fen Blm Derg*, ۱: ٦٥-۷۳. **doi**.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۸,۰۷,۰۸۱.

Guo, H.; A. Bao, F. Ndayisaba, T. Liu, G. Jiapaer, A.M. El-Tantawi, and P. De Maeyer. ۲۰۱۸. Space-time characterization of drought events and their impacts on vegetation in Central Asia. *Journal of Hydrology*, ***564***: ۱۱٦٥-۱۱۷۸.

Guo, Y.; S. Huang, Q. Huang, H. Wang, W. Fang, Y. Yang, and L. Wang. ۲۰۱۹. Assessing socioeconomic drought based on an improved Multivariate Standardized Reliability and Resilience Index. *Journal of Hydrology*, ٥٦۸: ۹۰٤-۹۱۸. **doi**.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۸,۱۱,۰٥٥

Hadi Pour, S.; A.K. Abd Wahab, and S. Shahid. ۲۰۲۰. Spatiotemporal changes in precipitation indicators related to bioclimate in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, ۱: ۹۹-۱۱٥. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۷۰٤-۰۲۰-۰۳۱۹۲-٦.

Han, Z.; S. Huang, Q. Huang, G. Leng, H. Wang, L. He, W. Fang, and P. Li. ۲۰۱۹. Assessing GRACE-based terrestrial water storage anomalies dynamics at multi-timescales and their correlations with teleconnection factors in Yunnan Province, China. *Journal of Hydrology*, ***574***: ۸۳٦-۸٥۰. **doi**.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۹,۰٤,۰۹۳.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

Haylock, M.R.; N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, and M. New. ۲۰۰۸. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for ۱۹۵۰–۲۰۰۶. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, ***113***(D۲۰). **doi**.org/۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۸JD۰۱۰۲۰۱.

Hersbach, H.; B. Bell, P. Berrisford, S. Hirahara, A. Horányi, J. Muñoz-Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, D. Schepers, and A. Simmons. ۲۰۲۰. The ERA۵ global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, ۷۳۰: ۱۹۹۹-۲۰۴۹.**doi**.org/۱۰,۱۰۰۲/qj.۳۸۰۳.

Hosseini, A.; Y. Ghavidel, A. M. Khorshiddoust, and M. Farajzadeh. ۲۰۲۱. Spatio-temporal analysis of dry and wet periods in Iran by using Global Precipitation Climatology Center-Drought Index (GPCC-DI). *Theoretical and Applied Climatology*, ۳: ۱۰۳۵-۱۰۴۵. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۷۰۴-۰۲۰-۰۳۴۶۳-۲.

Huang, S.; L. Wang, H. Wang, Huang, Q., Leng, G., Fang, W. and Zhang, Y., ۲۰۱۹. Spatio-temporal characteristics of drought structure across China using an integrated drought index. *Agricultural Water Management*, ***218***: ۱۸۲-۱۹۲. **doi**.org/۱۰,۱۰۱۶/j.agwat.۲۰۱۹,۰۳,۰۵۳.

Illian, J.; A. Penttinen, H. Stoyan, and D. Stoyan, ۲۰۰۸. *Statistical analysis and modelling of spatial point patterns* (Vol. ۷۰). John Wiley & Sons.

Jiang, Q.; W. Li, Z. Fan, X. He, W. Sun, S. Chen, J. Wen, J. Gao, and J. Wang. ۲۰۲۱. Evaluation of the ERA۵ reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *Journal of Hydrology*, ***595***: ۱۲۵۶۶۰. **doi**.org/۱۰,۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۲۰,۱۲۵۶۶۰

Lee, J.H.; S.Y. Park, J.S. Kim, C. Sur, and J. Chen. ۲۰۱۸. Extreme drought hotspot analysis for adaptation to a changing climate: Assessment of applicability to the five major river basins of the Korean Peninsula. *International Journal of Climatology*, ۱۰: ۴۰۲۵-۴۰۳۲. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.۵۵۳۲.

Liu, Y.; J. Chen, and T. Pan. ۲۰۲۱. Spatial and temporal patterns of drought hazard for China under different RCP scenarios in the ۲۱st century. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, ***52***: ۱۰۱۹۴۸. **doi**.org/۱۰,۱۰۱۶/j.ijdrr.۲۰۲۰,۱۰۱۹۴۸.

Lloyd-Hughes, B.; and M.A. Saunders. ۲۰۰۲. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, ۱۳: ۱۵۷۱-۱۵۹۲. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.۸۴۶.

Mahmoudi, P.; A. Rigi, and M.M. Kamak. ۲۰۱۹. A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, ۳: ۳۱۲۳-۳۱۳۸. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۷۰۴-۰۱۹-۰۲۷۷۸-z.

Mashari Eshghabad, S.; E. Omidvar, and K. Solaimani. ۲۰۱۴. Efficiency of some meteorological drought indices in different time scales (case study: Tajan Basin, Iran). *Ecopersia*, ۱: ۴۴۱-۴۵۳. **doi**.org/۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۳۲۲۲۷۰۰,۲۰۱۴,۲,۱,۳,۰.

Mastrangelo, A.M.; E. Mazzucotelli, D. Guerra, P. De Vita, and L. Cattivelli. ۲۰۱۲. Improvement of drought resistance in crops: from conventional breeding to genomic selection. In *Crop stress and its management: Perspectives and strategies* (pp. ۲۲۵-۲۵۹). Springer, Dordrecht. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹۴-۰۰۷-۲۲۲۰-۰_۷.

Mishra, S.S.; and R. Nagarajan. ۲۰۱۱. Spatio-temporal drought assessment in Tel river basin using Standardized Precipitation Index (SPI) and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, ۱: ۷۹-۹۳. **doi**.org/۱۰,۱۰۸۰/۱۹۴۷۵۷۰۵,۲۰۱۰,۵۳۳۷۰۳.

Morid, S.; V. Smakhtin, and K. Bagherzadeh. ۲۰۰۷. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, ۱۵: ۲۱۰۳-۲۱۱۱. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.۱۴۹۸.

Ord, J.K; and A. Getis. ۱۹۹۵. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, ۴: ۲۸۶-۳۰۶. **doi**.org/۱۰,۱۱۱۱/j.۱۵۳۸-۴۶۳۲,۱۹۹۵.tb۰۰۹۱۲.x

Quang-Tuong, V.; S. Jae-Min, and B. Deg-Hyo. ۲۰۲۰. An Integrated Framework for Extreme Drought Assessments Using the Natural Drought Index, Copula and Gi* Statistic. *Water Resources Management*, ۴: ۱۳۵۳-۱۳۶۸. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۲۶۹-۰۲۰-۰۲۵۰۶-۷

Rakhmatova, N.; M. Arushanov, L. Shardakova, B. Nishonov, R. Taryannikova, V. Rakhmatova, and D.A. Belikov. ۲۰۲۱. Evaluation of the Perspective of ERA-Interim and ERA۵ Reanalyses for Calculation of Drought Indicators for Uzbekistan. *Atmosphere*, ۵: ۵۲۷. **doi**.org/۱۰,۳۳۹۰/atmos۱۲۰۵۰۵۲۷

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

Raziei, T.; B. Saghafian, A.A. Paulo, L.S. Pereira, and I. Bordi. ۲۰۰۹. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water resources management*, ۳: ٤۳۹-٤٥٥. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۲٦۹-۰۰۸-۹۲۸۲-٤

Salehnia, N.; A. Alizadeh, H. Sanaeinejad, Bannayan, M., Zarrin, A. and Hoogenboom, G., ۲۰۱۷. Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of arid land*, ٦: ۷۹۷-۸۰۹. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s٤۰۳۳۳-۰۱۷-۰۰۷۰-y

Samantaray, A.K.; G. Singh, M. Ramadas, and R.K. Panda. ۲۰۱۹. Drought hotspot analysis and risk assessment using probabilistic drought monitoring and severity–duration–frequency analysis. *Hydrological Processes*, ۳: ٤۳۲-٤٤۹. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۲/hyp.۱۳۳۳۷

Taghizadeh, E.; F. Ahmadi-Givi, L. Brocca, and E. Sharifi. ۲۰۲۱. Evaluation of satellite/reanalysis precipitation products over Iran. *International Journal of Remote Sensing*, ۹: ۳٤۷٤-۳٤۹۷. **doi**.org/۱۰,۱۰۸۰/۰۱٤۳۱۱٦۱,۲۰۲۱,۱۸۷٥٥۰۸

Tobler, W.R.; ۱۹۷۹ Cellular geography. In S. Gale and G. Olsson (Eds.), Philosophy in Geography: ۳۷۹-۸٦ (Dordrecht, Reidel). **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹٤-۰۰۹-۹۳۹٤-٥_۱۸

Wang, F.; H. Yang, Z. Wang, Z. Zhang, and Z. Li. ۲۰۱۹. Drought evaluation with CMORPH satellite precipitation data in the Yellow River Basin by using gridded standardized precipitation evapotranspiration index. *Remote Sensing*, ٥: ٤۸٥. **doi**.org/۱۰,۳۳۹۰/rs۱۱۰٥۰٤۸٥

Wang, Q.; Y.Y. Liu, Y.Z. Zhang, L.J. Tong, X. Li, J.L. Li, and Z. Sun. ۲۰۱۹. Assessment of spatial agglomeration of agricultural drought disaster in China from ۱۹۷۸ to ۲۰۱٦. *Scientific reports*, ۱: ۱-۸. **doi**.org/۱۰,۱۰۳۸/s٤۱٥۹۸-۰۱۹-٥۱۰٤۲-x

Wang, R.; J. Zhang, E. Guo, S. Alu, D. Li, S. Ha, and Z. Dong. ۲۰۱۹. Integrated drought risk assessment of multi-hazard-affected bodies based on copulas in the Taoerhe Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, ۱: ٥۷۷-٥۹۲. **doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۷۰٤-۰۱۸-۲۳۷٤-z

Wilhite, D.A; and M.D. Svoboda. ۲۰۰۰. Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, ۱-۲۱.

Wu, X.; Z. Hao, F. Hao, C. Li, and X. Zhang. ۲۰۱۹. Spatial and temporal variations of compound droughts and hot extremes in China. *Atmosphere*, ۲: ۹٥. **doi**.org/۱۰,۳۳۹۰/atmos۱۰۰۲۰۰۹٥.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4] [Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]