

ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی بر اساس داده‌های سری‌های زمانی سنجش از دور در مرکز استان خوزستان

بهزاد متشفع^{۱*}، ساره هاشم‌گلوگردی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۴

چکیده

خشکسالی به یکی از رایج‌ترین و پیچیده‌ترین بلایای طبیعی تبدیل شده است که تأثیر زیادی بر روی توسعه پایدار جوامع دارد. سنجش از دور با داشتن اطلاعات مکانی و زمانی، ابزار مناسبی برای ارزیابی و بررسی این پدیده است. در پژوهش حاضر روند مکانی و زمانی تغییرات خشکسالی در مرکز استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور از تصاویر سنجنده ETM+ طی یک دوره ۲۰ ساله استفاده شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، ابتدا ۴۱۱ نقطه تصادفی روی تصاویر انتخاب و ارزش‌های پیکسل‌های مربوط به باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج و در مقابل هم پلات شد و شیب بهترین خط برازش شده موسوم به خط خاک به دست آمد. سپس با استفاده از این شیب و مقادیر باندهای ذکر شده، مقادیر شاخص خشکسالی PDI محاسبه شد. سپس با کاربرد روش طبقه‌بندی شکست طبیعی درجات مختلف از هم تفکیک شد و روند تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی با استفاده از آزمون روند من-کندال فصلی در سطوح مختلف معنی‌داری تعیین گردید. نتایج نشان داد تغییرات مکانی درجه بدون خشکسالی در سطح ۵٪ و ۱۰٪ و درجه خشکسالی کم در سطح ۱۰٪ معنی‌دار بودند و درجات دیگر هیچ‌گونه روندی در سطوح معنی‌داری مختلف نداشتند. در مقابل تغییرات زمانی درجه بدون خشکسالی در سطوح معناداری ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ دارای روند معناداری نبود و درجات خشکسالی کم در سطح ۵٪ و ۱۰٪، خشکسالی متوسط در سطح ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ و خشکسالی شدید در سطح ۵٪ و ۱۰٪ دارای روند معنادار بودند که حاکی از افزایش شدت خشکسالی در منطقه طی دوره مورد مطالعه بود.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، شاخص PDI، سری زمانی، روند.

۱. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا، بهبهان، ایران، نویسنده مسئول، bmoteshaffeh@gmail.com

۲. دانش‌آموخته دوره دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، کاشان، ایران،

* این مقاله برگرفته از پژوهش مستقل بوده است.

مقدمه

سایر عوامل کاهش می‌یابد. بنابراین ترکیب این پارامترها می‌تواند روش‌های مفیدی را برای تشخیص کمی توزیع مکانی و زمانی خشکسالی فراهم کند (غلام و همکاران، ۲۰۰۷a). از سوی دیگر، از آنجا که آب مورد نیاز گیاه عمدتاً از رطوبت موجود خاک در ناحیه ریشه تأمین می‌شود، رطوبت خاک مستقیم‌ترین و مهم‌ترین عامل در برآورد خشکسالی است (کین^۹ و همکاران، ۲۰۰۸). ریچاردسون و ویگانند^{۱۰} برای اولین بار مفهوم خط خاک را در فضای ویژگی طیفی Red-NIR^{۱۱} سنجنده MSS^{۱۲} ماهواره لندست پیشنهاد کردند. در واقع خط خاک یک توصیف جامع از بازتاب سطح وسیعی از خاک است (فنگ^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۳). در سال ۲۰۰۷ غلام و همکاران دریافتند خط خاک می‌تواند شرایط رطوبتی متفاوت خاک را مشخص کند و بر اساس آن شاخص PDI^{۱۴} را با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک سنجنده ETM+ و بر اساس الگوهای طیفی تغییرات رطوبت خاک در فضای NIR-Red توسعه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد روند این شاخص نتایج بسیار مشابهی با شاخص‌های NDVI، LST^{۱۵} و VTCI^{۱۶} دارد و همچنین همبستگی معنادار قوی با داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در زمین دارد. بنابراین شاخص PDI به‌عنوان شاخصی ساده و مؤثر برای پایش خشکسالی معرفی شد. این شاخص نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر سنجنش از دور، ساده‌تر و کاراتر است (متکان و همکاران، ۲۰۱۱). ابراهیمی خوسفی و همکاران (۲۰۱۰) شاخص عمودی خشکسالی PDI، شاخص عمودی خشکسالی اصلاح‌شده MPDI و شاخص ذخیره آب گیاه VSWI^{۱۷} را به‌منظور بررسی خشکسالی در مناطق مرکزی ایران به کار بردند. نتایج حاصل شده کاربردی بودن شاخص‌های به کار برده شده را در تعیین خشکسالی نشان داد. زورمند (۲۰۱۴) برای پایش خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی عمودی، شاخص

خشکسالی یک بلای طبیعی شدید است که در اثر کاهش غیرطبیعی بارندگی ایجاد می‌شود. این پدیده در مقایسه با سایر بلایای طبیعی تأثیرات گسترده‌ای در مکان و زمان دارد و باعث خسارات شدید می‌شود (پارک^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). به دلیل گرمایش زمین و تقاضای فزاینده برای منابع آبی، خشکسالی به یکی از رایج‌ترین و پیچیده‌ترین بلایای طبیعی تبدیل شده است (لی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). اثرات مستقیم خشکسالی از طریق تعامل بین کمبود آب و مؤلفه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی یا اقتصادی رخ داده و تولیدات کشاورزی، تأمین آب عمومی، تولید انرژی، حمل‌ونقل از طریق آب، گردشگری، سلامت انسان، تنوع زیستی و اکوسیستم‌های طبیعی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (گزارش دفتر کاهش خطر بلایای سازمان ملل متحد^۳، ۲۰۲۱). رویکردهای پایش خشکسالی از نظر تاریخی بر اندازه‌گیری‌های مبتنی بر ایستگاه، مانند شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)^۴ متمرکز شده است (پالمر^۵، ۱۹۶۵). در مقابل روش‌های سنجنش از دوری علاوه بر پوشش‌های زمانی مکرر قادر به پوشش‌های منطقه‌ای وسیع هستند (روزبهرانی و همکاران، ۲۰۱۵). در اواخر قرن بیستم، هم‌زمان با پیشرفت‌های فناوری‌های سنجنش از دور و رصد زمین، تغییر الگو در رویکردهای پایش خشکسالی رخ داد و امکان مشاهده و نظارت بر متغیرهای کلیدی مرتبط با خشکسالی در مقیاس‌های زمانی و مکانی بزرگ‌تر از آنچه قبلاً با استفاده از روش‌های مرسوم امکان‌پذیر بود، فراهم شد (وست^۶ و همکاران، ۲۰۱۹). شاخص‌های مختلف سنجنش از دوری برای ارزیابی خشکسالی وجود دارند که عمدتاً بر اساس شاخص‌های NDVI^۷ و LST^۸ یا ترکیبی از آن دو هستند. به‌طور کلی با توسعه خشکسالی، NDVI کاهش می‌یابد، آلودگی سطح و دمای سطح افزایش می‌یابد و رطوبت خاک به‌شرط پایداری

9. Qin

10. Richardson and Wiegand

11. Near-Infrared

12. Multispectral Scanner System

13. Feng

14. Perpendicular Drought Index

15. Land Surface Temperature

16. Vegetation Temperature Condition Index

17. Vegetation Supply Water Index

1. Park

2. Li

3. United Nations Office for Disaster Risk Reduction

4. Palmer Drought Severity Index

5. Palmer

6. West

7. Normalized Difference Vegetation Index

8. Land Surface Temperature

شرایط اقلیمی و امکان فعالیت‌های کشاورزی در طول سال و راه داشتن به دریای آزاد و همچنین دسترسی آسان و سریع به بازارهای مصرف داخلی و خارجی به‌موجب برخورداری از تمام امکانات ارتباطی هوایی، دریایی، ریلی و زمینی در سطح جهانی ممتاز و کم‌نظیر است (عصاره و امیری، ۲۰۱۵). اما خشکسالی‌های اخیر خوزستان به دلیل کاهش بارش‌ها همراه با افت آب‌های زیرزمینی، این منطقه را در یک موقعیت بحرانی قرار داده که لطمات زیادی را بر پیکره اقتصادی آن به‌ویژه بخش کشاورزی که بیش از ۹۰٪ از آب‌های زیرزمینی در این بخش مصرف می‌شود، وارد کرده است (گلمهر و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین بحران ریزگردهای خوزستان به‌ویژه در سال‌های اخیر بر کسی پوشیده نیست و تداوم دوره خشکسالی بر میزان غلظت ریزگرد اثر مستقیم دارد (لاهیجان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶). بنا بر آنچه گذشت، پژوهش حاضر با هدف بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی در مرکز استان خوزستان با استفاده از شاخص سنجهش از دوری مرتبط با رطوبت سطح خاک انجام شد؛ شاخصی که به‌رغم سهولت و مستقیم‌تر بودن، کمتر در مطالعات داخل کشور به آن پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۷۶۳۵/۴۲ کیلومتر مربع واقع در مرکز استان خوزستان بوده و بین عرض ۳۱° ۳۳' ۶۹" و ۳۱° ۰' ۱۷" و طول ۴۸° ۳۵' ۵۱" و ۴۹° ۳۹' ۲" شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). غرب و جنوب غرب منطقه مطالعاتی شامل شهرستان اهواز و رودخانه کارون و اراضی کشاورزی فاریاب اطراف آن است که از شمال شرقی به شهرستان‌های ویس و ملاثانی می‌رسد. شهرستان رامهرمز و مناطق کشت‌شده اطراف آن در قسمت جنوب شرق منطقه قرار گرفته و منطقه از سمت شمال شرق به شهرستان هفتگل و چین‌خوردگی‌های زاگرس محدود می‌شود. در بخش‌های مرکزی منطقه، بخش غیزانیه و تپه‌های شنی غیزانیه قرار گرفته‌اند. علاوه بر اراضی فاریاب ذکر شده، کاربری‌های اراضی موجود در محدوده مطالعاتی شامل اراضی دیم، مراتع با پوشش متوسط و فقیر است و بیشه‌زار و درختچه‌زارهایی نیز بر روی برخی از تپه‌های شنی موجود در

خشکسالی عمودی اصلاح‌شده و شاخص خشکی دمایی - گیاهی و مقایسه آن با شاخص اقلیمی بارش استاندارد شده در استان خراسان رضوی بهره برده و به این نتیجه رسید که هر دو شاخص PDI و MPDI قادر به تشخیص خشکسالی در مقیاس منطقه‌ای هستند، اما MPDI می‌تواند معرف بهتری برای شرایط رطوبتی و پوشش گیاهی باشد. شهابفر و همکاران (۲۰۱۲) برای پایش خشکسالی در ایران از سری‌های زمانی سنجنده مودیس^۱ بهره برده و شاخص‌های عمودی خشکسالی^۲ و عمودی خشکسالی اصلاح‌شده^۳ را محاسبه و در مقابل شاخص‌های هواشناسی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از وجود همبستگی معنادار مثبتی بین این شاخص‌ها و خشکی سطح خاک بود. همچنین نتایج نشان داد شاخص PDI مناسب‌تر برای بررسی خشکسالی اراضی فاقد پوشش گیاهی است و شاخص MPDI بیشتر مناسب اراضی دارای پوشش گیاهی است. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۸ توسط کین و همکاران برای بررسی خشکسالی در شمال غرب چین انجام شد، داده‌های سنجنده مودیس و شاخص PDI استفاده شد. نتایج همبستگی شاخص PDI با رطوبت خاک با نتایج حاصل از همبستگی شاخص خشکسالی شناخته‌شده TVX^۴ با رطوبت خاک مقایسه شد. نتایج نشان داد شاخص PDI همبستگی بیشتری با رطوبت خاک داشته و همچنین این شاخص با شرایط خشکی زمین همبستگی بسیار بالایی دارد. چن^۵ و همکاران (۲۰۱۹) از شاخص‌های عمودی خشکسالی استخراج‌شده از تصاویر سنجنده مودیس به دلیل ساده بودن و کارا بودن، برای بررسی خشکسالی در استان هبی^۶ چین بهره برده و به این نتیجه رسیدند که اطلاعات خشکسالی استخراج‌شده از هر دو شاخص PDI و MPDI همبستگی خوبی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده رطوبت خاک دارند.

استان خوزستان علاوه بر برخورداری از ذخایر نفت و گاز حدود یک‌سوم از آب‌های سطحی کشور را به خود اختصاص داده است. پنج رودخانه بزرگ و پرآب ایران کارون، دز، کرخه، جراحی و هندیجان در آن جاری است که با توجه به

1. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
2. Perpendicular Drought Index
3. Modified Perpendicular Drought Index
4. Temperature-Vegetation Index
5. Chen
6. Hebei

به پدیده‌های سطح زمین به دست آمد. همچنین به دلیل از کار افتادن تصحیح‌کننده خط اسکن^۴ سنجنده ETM+ در سال ۲۰۰۳، تصاویر این سنجنده دارای گپ‌های گوه‌ای شکل در دو طرف تصویر هستند که منجر به از دست رفتن حدود ۲۲٪ از داده‌ها می‌شود. بنابراین این اطلاعات با استفاده از افزونه SLC Landsat_GapFill.sav در نرم‌افزار ENVI 5.3 بازیابی شدند.

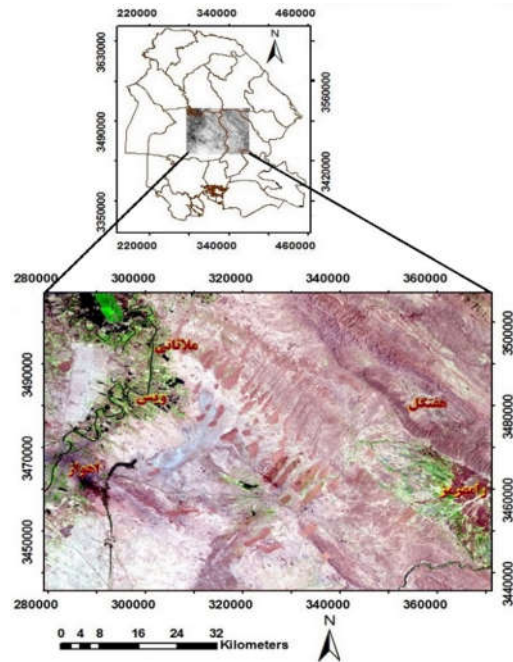
شاخص PDI

شاخص خشکسالی PDI بر اساس ویژگی‌های پراکنندگی رطوبت خاک در فضای طیفی NIR-Red در خاک‌های فاقد پوشش گیاهی ایجاد شد (تائو و همکاران، ۲۰۲۱). در دامنه طیفی باند قرمز تا مادون قرمز نزدیک، بازتاب خاک لخت زیاد است و به آرامی افزایش می‌یابد. با وجود این، به دلیل ویژگی‌های جذب قوی آب، بازتاب خاک با افزایش رطوبت، به‌ویژه در منطقه مادون قرمز نزدیک، به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین هرگونه عملیات ریاضی که بتواند تفاوت بین باند مادون قرمز نزدیک و قرمز را تقویت کند، می‌تواند اطلاعات خاک را از پوشش گیاهی متمایز ساخته و برای توصیف پوشش گیاهی و وضعیت خشکی سطحی استفاده شود (غلام، ۲۰۰۷a). شکل (۲) مفهوم شاخص PDI را نشان می‌دهد. این شاخص بر اساس خطوط موازی با خط خاک توسعه داده شد. این خطوط همگی عمود بر نرمال خط خاک (L) هستند که از مبدأ سیستم مختصات می‌گذرد. با دور شدن پیکسل‌های یک خط خاص از خط نرمال، مقادیر PDI از ۰ به ۱ افزایش می‌یابد (امانی و همکاران، ۲۰۱۷). پیکسلی با مقدار PDI بزرگ‌تر که دورتر از مبدأ مختصات قرار می‌گیرد تنش آب بیشتری نسبت به پیکسلی دارد که PDI کمتری دارد و نزدیک مبدأ محور مختصات قرار می‌گیرد. مبدأ محور مختصات نشان‌دهنده تنش آبی کمتر یا سطح مرطوب است (شهابفر و همکاران، ۲۰۱۲). رابطه ریاضی شاخص PDI به شکل رابطه (۱) است (غلام و همکاران، ۲۰۰۷a,b).

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{Red} + MR_{NIR}) \quad (1)$$

در این رابطه R_{Red} و R_{NIR} مقادیر بازتابش مربوط به

منطقه وجود دارد و خاک سطحی لخت و عاری از پوشش گیاهی، در بخش‌های زیادی از منطقه به چشم می‌خورد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location of the study area

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده شامل ۲۰ تصویر سنجنده ETM+ با سطح تصحیحات^۱ با مشخصات شماره گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۸ و مربوط به ماه جولای سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸ بودند (غیر از دو تصویر که از پایگاه اینترنتی سازمان زمین‌شناسی آمریکا <https://earthexplorer.usgs.gov>) بارگیری شدند. به دلیل اینکه شاخص خشکسالی PDI مربوط به خاک است، ماه جولای انتخاب شد تا پوشش گیاهی دخیل، حداقل باشد.

انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز روی تصاویر

ابتدا خطای رادیومتری تصاویر برطرف شد و سپس از الگوریتم QUAC^۲، برای تصحیحات اتمسفری تصاویر استفاده شد (ENVI 5.3). در اجرای این روش تصحیح اتمسفری، برای انجام تصحیحات تنها نیاز به مشخصات تقریبی مکان‌های باند سنجنده است و به داده‌های دیگر نیاز نیست (برنشتاین^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). بدین ترتیب در نهایت بازتابش خالص مربوط

4. Scan Line Corrector
5. Wedge-Shaped

1. L1TP
2. QUick Atmospheric Correction
3. Bernstein

تعیین روند تغییرات زمانی خشکسالی

طبقه‌بندی شکست طبیعی روی ۴۱۱ نقطه تصادفی اعمال و مقادیر حداقل و حداکثر به هر طبقه در هر سال مشخص شد. سپس میانگین حداکثر و حداقل هر طبقه به‌عنوان نماینده خشکسالی برای آن درجه و آن سال در نظر گرفته شد و در نهایت سری‌های زمانی ۲۰ ساله برای درجات مختلف خشکسالی محاسبه گردید.

آنالیز روند من-کندال

تاکنون روش‌های آماری متعددی برای تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده است. مبنای تمام این روش‌های آماری، مطرح نمودن دو فرض صفر H0 و فرض یک H1 و آزمودن نمودن آن‌ها بر اساس روش‌ها و تکنیک‌های خاص آماری است که در نهایت منجر به رد فرض صفر می‌شود و یا اینکه دلایل و شواهد کافی برای رد آن مشاهده نمی‌شود (علی‌جانی و همکاران، ۲۰۱۵). به دلیل اینکه داده‌ها مربوط به فصل جولای هر سال بودند، آزمون روند من-کندال فصلی بر روی داده‌ها اجرا شد. این آزمون یک آزمون ناپارامتریک است که داده‌ها را برای روندهای یکنواخت در داده‌های فصلی تجزیه و تحلیل می‌کند. این تست که توسط هیرش^۱، اسمیت^۲ و اسلک^۳ (برای سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده) در دهه ۱۹۸۰ توسعه یافت، محبوب‌ترین تست روند در مطالعات زیست‌محیطی است و آزمون روند من-کندال را به‌طور جداگانه در هریک از فصل‌های سال اجرا می‌کند. آمار کلی Sk از جمع کردن آمار Kendall S هر فصل محاسبه می‌شود:

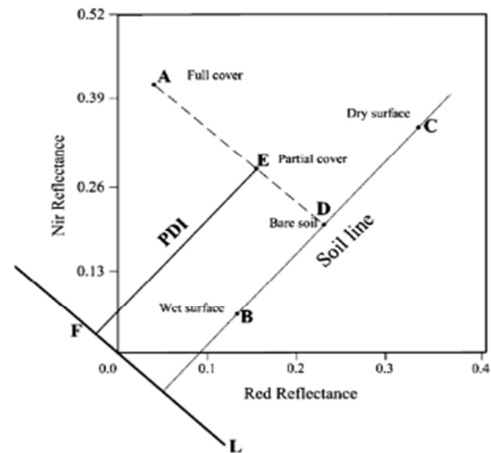
$$S_k = \sum_{L=1}^m S_L \quad (2)$$

که S_L مقادیر S برای فصل L و m تعداد فصل‌هاست (هلسل و فرانز^۴، ۲۰۰۶).

برای بررسی روند مکانی و زمانی خشکسالی در منطقه آنالیز روند من-کندال فصلی در سطوح معنی‌داری ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ انجام شد.

نمودار مراحل مختلف پژوهش به‌صورت شکل (۳) است:

باندهای قرمز و مادون قرمز و M شیب خط خاک است که با آنالیز رگرسیون به دست می‌آید.



شکل (۲): مفهوم شاخص PDI

Figure (2). Concept of the PDI (Ghulam et al., 2007a)

برای به دست آوردن شاخص خشکسالی در هر سال، تعداد ۴۱۱ نقطه روی تصاویر به‌طور تصادفی انتخاب شد و مقادیر بازتاب طیفی مربوط به باندهای قرمز و مادون قرمز استخراج و در نرم‌افزار SPSS مقابل هم پلات شد و شیب خط خاک به دست آمد. سپس با کاربرد فرمول فوق، مقدار شاخص خشکسالی برای آن‌ها در هر سال محاسبه شد.

تعیین روند تغییرات مکانی خشکسالی

مقادیر PDI محاسبه‌شده برای ۴۱۱ نقطه با کاربرد روش طبقه‌بندی شکست طبیعی جنکز به ۴ درجه مختلف بدون خشکسالی، خشکسالی کم، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید تقسیم‌بندی شد. این نوع طبقه‌بندی بر اساس توزیع نرمال داده‌هاست و نقاط عطف داده‌ها مرز بین طبقات را مشخص می‌کند. در این روش پس از تعیین تعداد طبقات، نرم‌افزار با یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌ها در هر طبقه و به حداکثر رساندن اختلاف بین طبقات می‌کند (هاشم‌گلوگردی و همکاران، ۲۰۲۲). به این ترتیب درجات مختلف خشکسالی تعیین و مقادیر شکست برای نمونه‌های تصادفی مشخص شد. در نهایت این مقادیر به کل منطقه تعمیم داده شد و مساحت‌های مربوط به هریک از درجات خشکسالی در طی ۲۰ سال محاسبه گردید.

1. Hirsch
2. Smith
3. Slack
4. Helsel and Frans

با اعمال شیب خط خاک در رابطه (۱) مقدار شاخص خشکسالی برای سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸ محاسبه و مقادیر شاخص خشکسالی برای نقاط تصادفی از تصاویر استخراج شد.

طبقه‌بندی شاخص خشکسالی

نتایج طبقه‌بندی شکست طبیعی بر روی شاخص خشکسالی و طبقه‌بندی آن به چهار درجه بدون خشکسالی، خشکسالی کم، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید و حدود بالا و پایین هر طبقه در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): مقدار شاخص خشکسالی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸
Table (2): Drought index values from of 1999 to 2018

سال	بدون خشکسالی	خشکسالی کم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید
۱۹۹۹	۰/۰۹۴۲۶۱	۰/۲۷۳۸۰۷	۰/۳۶۶۸۳۳	۰/۴۲۶۹۷۶
	۰/۲۷۳۸۰۶	۰/۳۶۶۸۲۲	۰/۴۲۶۹۷۵	۰/۵۳۱۵۶۱
۲۰۰۰	۰/۱۲۴۳۶	۰/۳۱۴۲۳۶	۰/۳۸۸۹۲۸	۰/۴۴۷۷۶۷
	۰/۳۱۴۲۳۵	۰/۳۸۸۹۲۸	۰/۴۴۷۷۶۶	۰/۵۴۹۵۵۱
۲۰۰۱	۰/۱۲۸۹۹۴	۰/۳۱۹۵۱۸	۰/۳۹۶۸۰۶	۰/۴۵۳۴۸۴
	۰/۳۱۹۵۱۷	۰/۳۹۶۸۰۵	۰/۴۵۳۴۸۳	۰/۵۵۴۳۵۸
۲۰۰۲	۰/۱۱۸۱۲۱	۰/۳۰۶۹۹۴	۰/۳۸۲۵۶۷	۰/۴۳۵۰۸۷
	۰/۳۰۶۹۹۳	۰/۳۸۲۵۶۶	۰/۴۳۵۰۸۶	۰/۵۵۴۷۹۳
۲۰۰۳	۰/۰۴۹۴۹۹	۰/۲۶۵۷۸۶	۰/۴۰۸۴۰۳	۰/۴۷۶۰۰۱
	۰/۲۶۵۷۸۵	۰/۴۰۸۴۰۲	۰/۴۷۶۰۰۰	۰/۵۸۱۲۹۰
۲۰۰۴	۰/۱۰۹۴۴۴	۰/۲۹۵۸۶۸	۰/۴۰۸۶۳۲	۰/۴۷۶۶۳۶
	۰/۲۹۵۸۶۷	۰/۴۰۸۶۳۱	۰/۴۷۶۶۳۵	۰/۵۷۴۸۶۱
۲۰۰۵	۰/۱۱۳۵۱۴	۰/۳۳۶۲۴۶	۰/۴۳۲۷۰۲	۰/۴۹۴۰۰۲
	۰/۳۳۶۲۴۵	۰/۴۳۲۷۰۱	۰/۴۹۴۰۰۱	۰/۶۰۲۶۹۳
۲۰۰۶	۰/۰۶۵۰۸۱	۰/۳۲۹۸۶۸	۰/۴۴۱۳۶۹	۰/۵۱۵۰۴۷
	۰/۳۲۹۸۶۷	۰/۴۴۱۳۶۸	۰/۵۱۵۰۴۶	۰/۶۲۴۰۱۳
۲۰۰۷	۰/۱۰۴۵۷۳	۰/۳۰۲۸۸۲	۰/۳۹۶۴۹۵	۰/۴۵۴۳۵۳
	۰/۳۰۲۸۸۱	۰/۳۹۶۴۹۴	۰/۴۵۴۳۵۲	۰/۵۳۷۳۳۱
۲۰۰۸	۰/۲۵۰۴۸۹	۰/۳۸۵۱۵۵	۰/۴۶۷۰۸۶	۰/۵۲۳۳۴۷
	۰/۳۸۵۱۵۴	۰/۴۶۷۰۸۵	۰/۵۲۳۳۴۶	۰/۶۳۴۶۸۱
۲۰۰۹	۰/۱۶۳۲۶۵	۰/۳۶۹۸۷۰	۰/۴۸۷۳۹۸	۰/۵۵۸۴۸۲
	۰/۳۶۹۸۶۹	۰/۴۸۷۳۹۷	۰/۵۵۸۴۸۱	۰/۶۶۱۹۳۳
۲۰۱۰	۰/۱۴۷۶۵۹	۰/۳۰۴۵۷۲	۰/۴۰۳۱۸۲	۰/۴۷۳۱۸۵
	۰/۳۰۴۵۷۱	۰/۴۰۳۱۸۱	۰/۴۷۳۱۸۴	۰/۵۶۵۲۴۳
۲۰۱۱	۰/۰۵۶۲۴۸	۰/۲۸۷۰۹۴	۰/۴۲۰۸۰۴	۰/۴۹۸۲۵۳
	۰/۲۸۷۰۹۳	۰/۴۲۰۸۰۳	۰/۴۹۸۲۵۲	۰/۶۰۵۸۴۴
۲۰۱۲	۰/۱۱۳۹۰۰	۰/۲۳۶۲۶۸	۰/۴۰۴۸۸۱	۰/۴۷۸۰۳۴
	۰/۱۱۳۹۰۰	۰/۲۳۶۲۶۷	۰/۴۰۴۸۸۰	۰/۵۷۸۱۶۴
۲۰۱۳	۰/۱۱۶۴۵۷	۰/۳۱۲۰۲۲	۰/۴۲۴۸۸۶	۰/۵۰۵۱۵۶
	۰/۳۱۲۰۲۱	۰/۴۲۴۸۸۵	۰/۵۰۵۱۵۵	۰/۶۴۱۴۸۹



شکل (۳): روندنمای انجام مراحل مختلف پژوهش
Figure (3): The flowchart of different steps of research the

نتایج

محاسبه شاخص خشکسالی

نتایج حاصل از محاسبه شیب خط خاک در فضای طیفی NIR-Red برای ۴۱۱ نقطه تصادفی، در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): شیب خط خاک سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸
Table (1): Slope of soil line from 1999 to 2018

سال	شیب خط خاک (M)
۱۹۹۹	۰/۷۲۹
۲۰۰۰	۰/۸۲۹
۲۰۰۱	۰/۷۶۸
۲۰۰۲	۰/۸۱۱
۲۰۰۳	۰/۷۸۴
۲۰۰۴	۰/۷۴۰
۲۰۰۵	۰/۷۳۲
۲۰۰۶	۰/۷۷۳
۲۰۰۷	۰/۷۶۲
۲۰۰۸	۰/۷۶۸
۲۰۰۹	۰/۷۷۷
۲۰۱۰	۰/۷۹۹
۲۰۱۱	۰/۸۱۹
۲۰۱۲	۰/۷۶۹
۲۰۱۳	۰/۸۵۲
۲۰۱۴	۰/۸۳۴
۲۰۱۵	۰/۸۵۳
۲۰۱۶	۰/۸۱۳
۲۰۱۷	۰/۸۴۶
۲۰۱۸	۰/۸۱۰

۲۵۹۷/۰۸	۳۰۰۷/۰۱	۱۷۳۱/۱۲	۳۰۰/۲۱	۲۰۰۸	۰/۴۷۱۳۷۰	۰/۴۱۰۰۲۶	۰/۳۲۱۹۷۸	۰/۱۴۹۳۲۷	۲۰۱۴
۱۹۸۷/۸۷	۳۲۹۳/۶۸	۲۰۲۷/۶۷	۳۲۶/۲۱	۲۰۰۹	۰/۵۷۱۷۷۶	۰/۴۷۱۳۶۹	۰/۴۱۰۰۲۵	۰/۳۲۱۹۷۷	
۲۳۴۹/۸۷	۳۱۹۵/۴۵	۱۶۸۳/۸۶	۴۰۶/۲۴	۲۰۱۰	۰/۴۸۷۰۵۵	۰/۴۲۰۶۷۷	۰/۳۲۶۱۵۴	۰/۱۴۲۷۲۹	۲۰۱۵
۲۳۹۳/۱۶	۳۱۸۷/۱۷	۱۸۳۲/۶۱	۲۲۲/۴۸	۲۰۱۱	۰/۶۱۳۳۶۱	۰/۴۸۷۰۵۴	۰/۴۲۰۶۷۶	۰/۳۲۶۱۵۳	
۳۲۱۹/۶۹	۲۹۰۶/۲۶	۱۳۸۷/۲۵	۱۳۱/۲۲	۲۰۱۲	۰/۴۶۹۳۰۸	۰/۴۲۱۳۸۴	۰/۳۵۱۱۲۹	۰/۲۰۲۵۴۵	۲۰۱۶
۲۰۶۲/۴۹	۳۰۲۶/۵۳	۲۰۰۶/۰۹	۵۴۰/۳۱	۲۰۱۳	۰/۵۶۵۲۳۵	۰/۴۶۹۳۰۷	۰/۴۲۱۳۸۳	۰/۳۵۱۱۲۸	
۲۲۳۵/۸۰	۲۷۰۱/۵۷	۲۱۴۰/۲۶	۵۵۷/۷۹	۲۰۱۴	۰/۵۱۰۶۸۲	۰/۴۴۰۵۷۳	۰/۳۲۴۸۳۳	۰/۱۲۵۶۴۸	۲۰۱۷
۲۴۴۴/۸۶	۲۸۰۵/۵۲	۱۷۹۹/۲۲	۵۸۵/۸۰	۲۰۱۵	۰/۶۶۶۰۴۵	۰/۵۱۰۶۸۱	۰/۴۴۰۵۷۲	۰/۳۲۴۸۳۲	
۱۶۸۸/۹۰	۲۷۱۹/۶۹	۲۴۴۵/۸۴	۷۸۱/۰۰	۲۰۱۶	۰/۵۴۲۵۰۶	۰/۴۶۸۱۰۶	۰/۳۶۸۲۲۱	۰/۱۷۲۷۳۹	۲۰۱۸
۲۱۹۳/۳۳	۲۸۷۸/۶	۱۹۷۵/۹۶	۵۸۷/۵۳	۲۰۱۷	۰/۶۴۰۸۳۸	۰/۵۴۲۵۰۵	۰/۴۶۸۱۰۵	۰/۳۶۸۲۲۰	
۲۶۷۷/۳۹	۲۵۸۶/۴۶	۱۷۷۸/۸۸	۵۹۲/۶۹	۲۰۱۸					

تعیین روند تغییرات مکانی خشکسالی

با مشخص شدن حدود بالا و پایین شاخص خشکسالی نقاط تصادفی، برای تعیین روند تغییرات مکانی، این حدود به کل منطقه تعمیم داده شد و سپس مساحت تحت پوشش هر درجه خشکسالی در هر سال طبق جدول (۳) تعیین شد و سری‌های زمانی مساحت به دست آمد و سپس روند تغییرات مکانی خشکسالی با آنالیز روند من-کندال مورد بررسی قرار گرفت.

جدول (۳): سری‌های زمانی مساحت درجات مختلف خشکسالی

Table (3): Area time series of different degrees of drought

سال	مساحت به کیلومتر مربع			
	بدون خشکسالی	خشکسالی کم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید
۱۹۹۹	۳۰۲/۲۱	۲۵۱۸/۱	۲۸۵۸/۶۸	۱۹۵۶/۴۳
۲۰۰۰	۴۹۶/۵۳	۲۰۴۵/۶۱	۳۱۳۷/۹۳	۱۹۵۵/۳۵
۲۰۰۱	۴۴۱/۱۳	۱۶۴۵/۱۷	۲۹۰۴/۷۲	۲۶۴۴/۴۱
۲۰۰۲	۵۵۷/۸۸	۲۴۳۵/۹۶	۲۷۸۴/۰۳	۱۸۵۷/۵۶
۲۰۰۳	۲۳۵/۳۳	۲۲۰۰/۶۳	۲۸۳۳/۸۳	۲۳۶۵/۶۳
۲۰۰۴	۳۴۳/۱۴	۱۸۹۹/۲۶	۲۹۳۳/۶۰	۲۴۵۹/۴۳
۲۰۰۵	۴۷۲/۴۴	۲۴۴۲/۷۴	۲۶۶۹/۸۶	۲۰۵۰/۳۸
۲۰۰۶	۵۰۰/۲۲	۲۱۹۵/۱۴	۲۷۴۹/۳۸	۲۱۹۰/۶۸
۲۰۰۷	۴۷۹/۶۸	۲۱۴۹/۴۲	۲۷۷۱/۸۶	۲۲۳۴/۴۵

جدول (۴): نتایج روند تغییرات مکانی طبقات خشکسالی با آنالیز من-کندال فصلی

Table (4): The results of changes in the spatial trend of drought degrees using seasonal Mann-Kendall analysis

درجات خشکسالی	سطح ۱ درصد		سطح ۵ درصد		سطح ۱۰ درصد	
	p-value	Sen's slope	p-value	Sen's slope	p-value	Sen's slope
بدون خشکسالی	۰/۰۵۰	۱۷/۹۸	۰/۰۵۰**	۱۷/۹۸	۰/۰۵۰*	۱۷/۹۸
خشکسالی کم	۰/۰۹۰	-۵۲/۴۶	۰/۰۹۰	-۵۲/۴۶	۰/۰۹۰*	-۵۲/۴۶
خشکسالی متوسط	۰/۲۸	-۱۶/۱۱	۰/۲۸	-۱۶/۱۱	۰/۲۸	-۱۶/۱۱
خشکسالی شدید	۰/۳	۳۷/۸۵	۰/۳	۳۷/۸۵	۰/۳	۳۷/۸۵

*** معناداری در سطح ۱٪ ** معناداری در سطح ۵٪ * معناداری در سطح ۱۰٪

نتایج آنالیز روند مکانی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه طبق جدول (۴) و شکل (۴) است. همان طور که جدول (۴) نشان می‌دهد روند تغییرات تنها در مورد درجه خشکسالی کم و بدون خشکسالی معنادار بود. برای درجه بدون خشکسالی با مقدار احتمال برابر ۰/۰۵۰ وجود روند در تغییرات مکانی در سطح ۵٪ و ۱۰٪ و برای درجه خشکسالی کم با مقدار احتمال برابر ۰/۰۹۰ در سطح ۱۰٪ تأیید شد. درجات خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید به ترتیب با مقادیر احتمال برابر ۰/۲۸ و ۰/۳ که از سطوح معناداری تعیین شده بیشتر بودند، فاقد روند در تغییرات مکانی بودند. بنابراین وجود روند برای درجه بدون خشکسالی تنها در سطح ۱٪ رد شد. درجه خشکسالی کم هم تنها در سطح ۱۰٪ دارای روند تغییرات مکانی معناداری بود. بنابراین فرض صفر در سطوح ۱٪ و ۵٪ رد شد. درجات خشکسالی متوسط و شدید به دلیل بالاتر بودن مقدار احتمال از سطوح معنی داری ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ فاقد هرگونه روند در تغییرات مکانی خشکسالی بودند.

که در مورد درجه بدون خشکسالی این شیب در سطح ۵٪ و ۱۰٪ معنادار است.

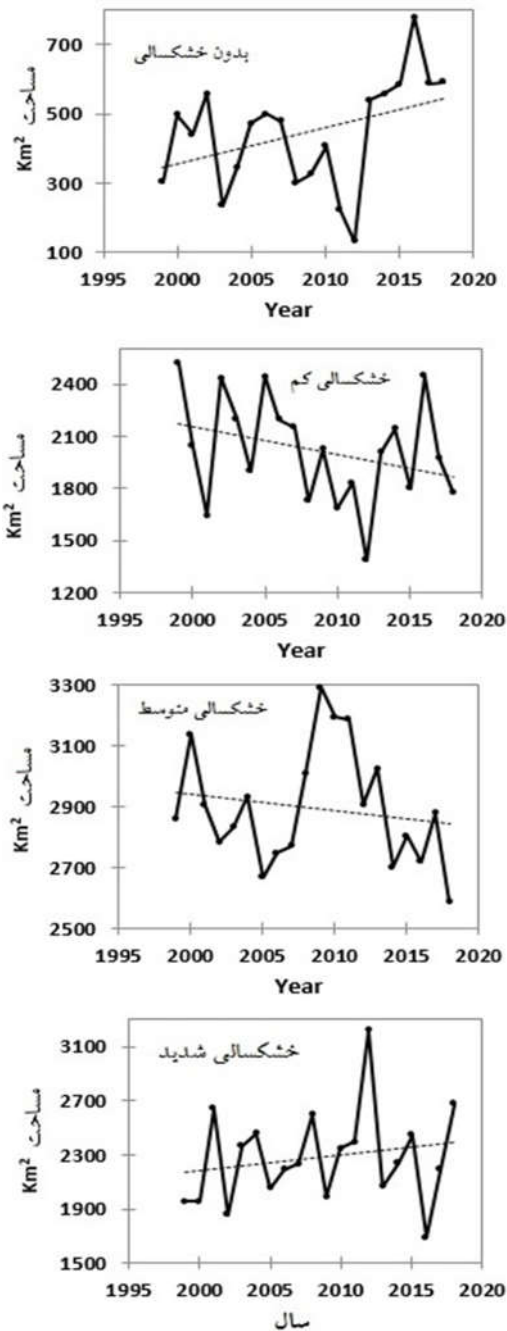
تعیین روند تغییرات زمانی خشکسالی

برای بررسی روند تغییرات زمانی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه و برای ایجاد سری زمانی مقادیر خشکسالی در هر سال و برای هر طبقه، میانگین حدود طبقات مختلف خشکسالی در هر سال (جدول ۲) محاسبه شده و به عنوان نماینده آن طبقه در آن سال در سری زمانی مقادیر خشکسالی قرار گرفت (جدول ۵) و سپس روند تغییرات آن بررسی شد. نتایج اجرای آزمون من-کندل بر روی مقادیر شاخص خشکسالی برای سال‌های مختلف و درجات مختلف در جدول (۶) و شکل (۵) آورده شده است.

جدول (۵): سری‌های زمانی مقادیر شاخص خشکسالی

Table (5): Area time series of different degrees of drought

سال	بدون خشکسالی	خشکسالی کم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید
۱۹۹۹	۰/۱۸۴	۰/۳۲۰	۰/۳۹۷	۰/۴۷۹
۲۰۰۰	۰/۲۱۹	۰/۳۵۲	۰/۴۱۸	۰/۴۹۹
۲۰۰۱	۰/۲۲۴	۰/۳۵۸	۰/۴۲۵	۰/۵۰۴
۲۰۰۲	۰/۲۱۳	۰/۳۴۵	۰/۴۰۹	۰/۴۹۵
۲۰۰۳	۰/۱۵۸	۰/۳۳۷	۰/۴۴۲	۰/۵۳۲
۲۰۰۴	۰/۲۰۳	۰/۳۰۲	۰/۴۴۳	۰/۵۲۶
۲۰۰۵	۰/۲۲۵	۰/۳۸۴	۰/۴۶۳	۰/۵۴۸
۲۰۰۶	۰/۱۹۷	۰/۳۸۶	۰/۴۷۸	۰/۵۷۰
۲۰۰۷	۰/۲۰۴	۰/۳۵۰	۰/۴۲۵	۰/۴۹۶
۲۰۰۸	۰/۳۱۸	۰/۴۲۶	۰/۴۹۵	۰/۵۷۹
۲۰۰۹	۰/۲۶۷	۰/۴۲۹	۰/۵۲۳	۰/۶۱۰
۲۰۱۰	۰/۲۲۶	۰/۳۵۴	۰/۴۳۸	۰/۵۱۹
۲۰۱۱	۰/۱۷۲	۰/۳۵۴	۰/۴۶۰	۰/۵۵۲
۲۰۱۲	۰/۱۷۵	۰/۳۲۱	۰/۴۴۱	۰/۵۲۸
۲۰۱۳	۰/۲۱۴	۰/۳۶۸	۰/۴۶۵	۰/۵۷۳
۲۰۱۴	۰/۲۳۶	۰/۳۶۶	۰/۴۴۱	۰/۵۲۵
۲۰۱۵	۰/۲۳۴	۰/۳۷۳	۰/۴۵۴	۰/۵۵۰
۲۰۱۶	۰/۲۷۷	۰/۳۸۶	۰/۴۴۵	۰/۵۱۷
۲۰۱۷	۰/۲۲۵	۰/۳۸۳	۰/۴۷۶	۰/۵۸۸
۲۰۱۸	۰/۲۷۰	۰/۴۱۸	۰/۵۰۵	۰/۵۹۲



شکل (۴): نمودار روند تغییرات مکانی درجات خشکسالی طی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸

Figure (4): The graph of changes in the spatial trend of drought degrees

شکل (۴) و جدول (۴) نشان می‌دهند که شیب تغییرات مکانی درجات خشکسالی کم و متوسط دارای روند کاهشی بوده و مقدار شیب سن ثبت شده برای این دو درجه به ترتیب برابر ۵۲/۴۶- و ۱۶/۱۱- است که این شیب در مورد درجه خشکسالی کم در سطح ۱۰٪ معنادار بود. شیب تغییرات مکانی درجات بدون خشکسالی و خشکسالی شدید افزایشی است

جدول (۶): نتایج روند تغییرات زمانی طبقات خشکسالی با آنالیز من کندال فصلی

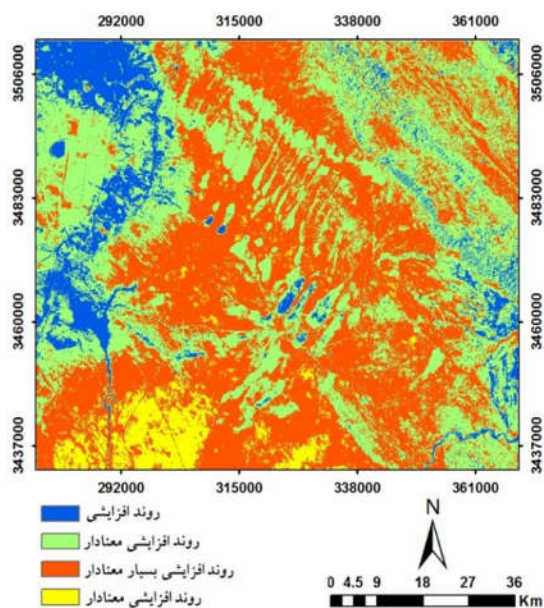
Table (6): The results of changes in the temporal trend of drought degrees using seasonal Mann-Kendall analysis

درجات خشکسالی	سطح ۱ درصد		سطح ۵ درصد		سطح ۱۰ درصد	
	p-value	Sen's slope	p-value	Sen's slope	p-value	Sen's slope
بدون خشکسالی	۰/۱۳	۰/۰۰۵	۰/۱۳	۰/۰۰۵	۰/۱۳	۰/۰۰۵
خشکسالی کم	۰/۲۳	۰/۰۰۶	۰/۰۲۳**	۰/۰۰۶	۰/۰۲۳*	۰/۰۰۶
خشکسالی متوسط	۰/۰۰۶***	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۵
خشکسالی شدید	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴*	۰/۰۰۷

*** معناداری در سطح ۱٪ ** معناداری در سطح ۵٪ * معناداری در سطح ۱۰٪

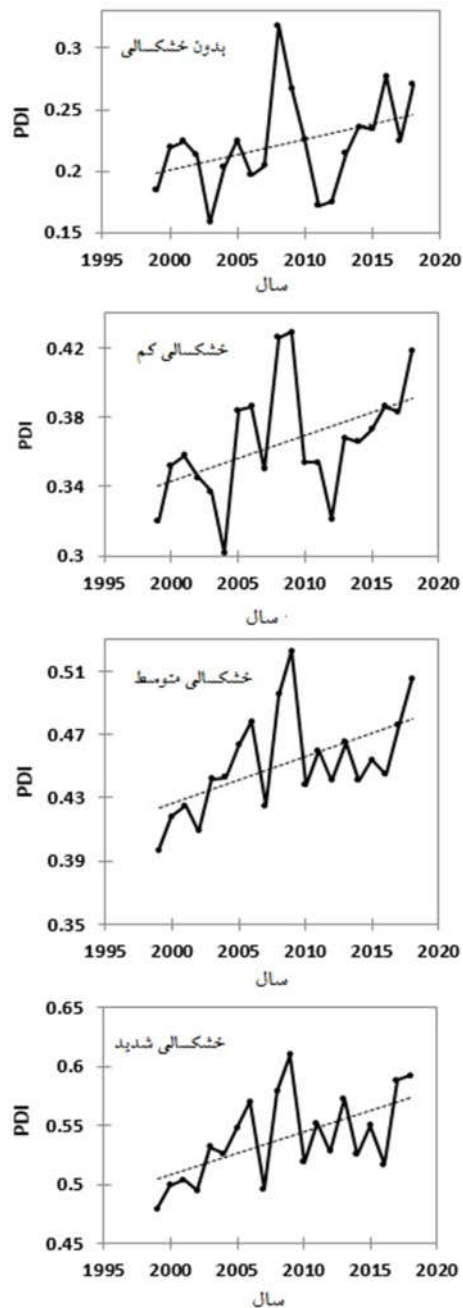
نتایج جدول (۶) و شکل (۵) نشان می‌دهند مقدار خشکسالی در تمامی درجات روند افزایشی داشته است. فرض صفر برای درجهٔ بدون خشکسالی در تمام سطوح رد شد و میزان احتمال وجود روند برابر ۰/۱۳ بوده که از تمام سطوح معناداری تعیین شده بیشتر بود؛ لذا هیچ‌گونه روند معناداری در میزان خشکسالی در این درجه وجود ندارد. به‌عکس در درجهٔ متوسط وجود روند در تمامی سطوح معنی‌داری تأیید شد و مقدار احتمال وجود روند برابر با ۰/۰۰۶ و کوچک‌تر از تمامی سطوح معناداری بود. وجود روند در مقدار شاخص خشکسالی درجهٔ کم و شدید هم به‌ترتیب با مقدار احتمال ۰/۰۲۳ و ۰/۰۱۴ در دو سطح ۵٪ و ۱۰٪ تأیید شد.

همچنین توزیع مکانی میانگین تغییرات روند شاخص خشکسالی بر سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸ در شکل (۶) آورده شده است. نقشهٔ مذکور نشان می‌دهد به‌طور کلی روند خشکسالی در منطقه افزایشی بوده است.



شکل (۶): توزیع مکانی میانگین تغییرات روند شاخص خشکسالی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸

Figure (6): Spatial trends of different drought degrees from 1999-2018

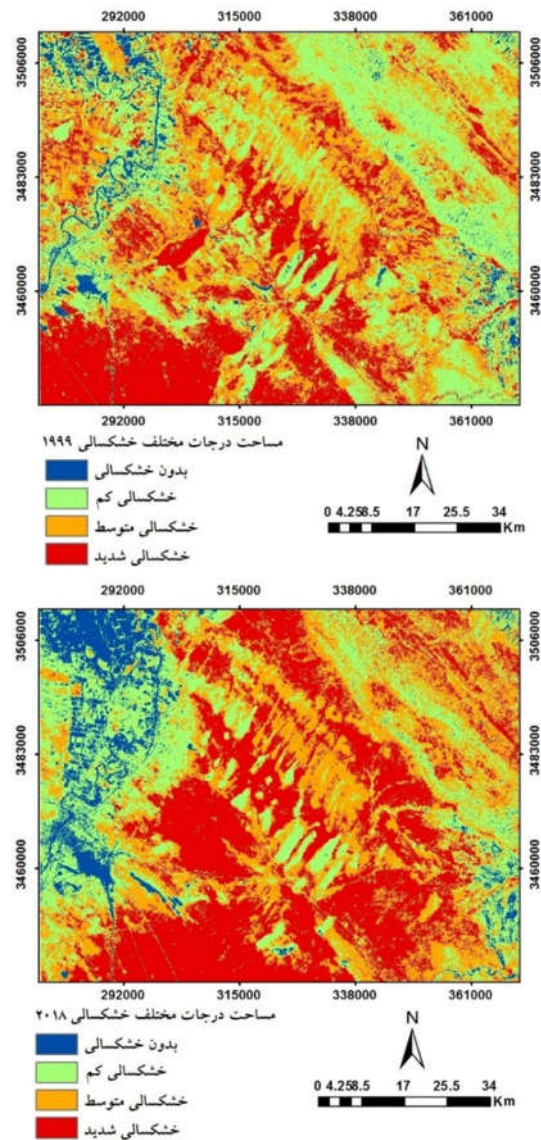


شکل (۵): نمودار روند تغییرات زمانی درجات خشکسالی طی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۸

Figure (5): The graph of changes in the temporal trend of drought degrees

(۶) مشهود است مربوط به شمال شرق منطقه مطالعاتی است که از نظر کاربری عمدتاً جزء مراتع متوسط و با پوشش کم بوده که دچار تخریب شده‌اند. همچنین پوشش گیاهی برخی از پهنه‌های شنی نیز در اثر تخریب از درجه خشکسالی کم در سال ۱۹۹۹ به درجه متوسط خشکسالی در سال ۲۰۱۸ تبدیل شده‌اند. روند کاهش مساحت درجه متوسط و افزایش درجه شدید که در نقشه شکل (۷) نیز مشهود است، حاکی از این است که برخی از مناطق که در سال ۱۹۹۹ دچار درجه متوسط خشکسالی بوده‌اند، در سال ۲۰۱۸ جزء درجه شدید قرار گرفته‌اند. همچنین میانگین مساحت درجات مختلف خشکسالی طی ۲۰ سال برای درجه‌های بدون خشکسالی، کم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۵/۸۰، ۲۶/۴۲، ۳۷/۹۴ و ۲۹/۸۳٪ بوده است.

با توجه به تغییرات مقدار شاخص خشکسالی تنها درجه‌ای که روند معنی‌دار افزایشی یا کاهش‌ی نداشته، درجه بدون خشکسالی بود که علت آن عمدتاً مربوط به این نکته است که این مناطق یا پهنه‌های آبی هستند یا زمین‌های تحت کشت آبی و مزارع پرورش ماهی که همواره مرطوب بوده‌اند. روند مقدار شاخص خشکسالی برای بقیه درجات معنادار بود و در مورد درجه متوسط به شدت معنادار بود که حاکی از افزایش شدت خشکسالی طی سال‌های مورد مطالعه است. طوفان‌های گرد و خاک در سال‌های اخیر در خوزستان حاکی از همسو بودن نتایج پژوهش حاضر با واقعیت حال حاضر منطقه است. از بیش از یک دهه پیش، تشدید تغییرات آب‌وهوایی و خشکسالی‌ها از یک سو و توسعه طرح‌های عمرانی و برداشت بی‌رویه از منابع آب از سوی دیگر، بسیاری از تالاب‌ها و نواحی مرطوب موجود رو به خشکی نهاد و بیابان‌های کوچکی را ایجاد کرد که منشأ طوفان‌های گردوغبار سال‌های اخیر در استان خوزستان بوده است (حیدریان و همکاران، ۲۰۱۵) که روند آن در پژوهش هاشم‌گلوگردی و همکاران (۲۰۲۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی و مقایسه نتایج مطالعه اخیر با مطالعه حاضر نشان می‌دهد که افزایش خشکسالی و بیابان‌زایی همسو بوده‌اند به طوری که در نقشه‌های تهیه‌شده در هر دو مطالعه، کانون‌های شماره ۳ و ۴



شکل (۷): تفاوت مساحت‌های شاخص خشکسالی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۸
Figure (7): The difference between the drought index areas in 1999 and 2018

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص خشکسالی PDI در مرکز استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز روند تغییرات مکانی خشکسالی نشان داد که تنها مساحت مربوط به درجه بدون خشکسالی دارای روند افزایشی معنادار بود. در این رابطه، شکل (۷) نشان می‌دهد که این افزایش به طور مشخص مربوط به افزایش سطح زمین‌های زیر کشت آبی منابع آبی درون منطقه و به ویژه رودخانه کارون در غرب منطقه مطالعاتی است. کاهش سطح مربوط به درجه خشکسالی کم نیز همان‌طور که در تفاوت دو نقشه در شکل

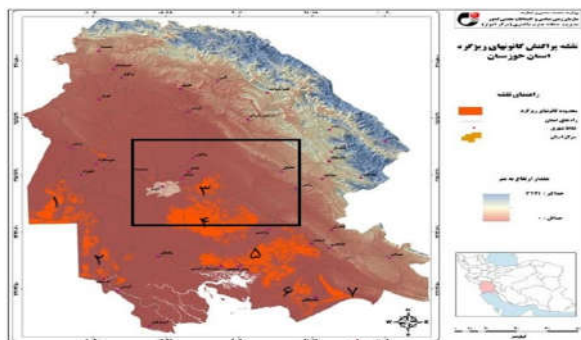
VCI^۶، پوسین^۷ و همکاران (۲۰۲۱) در تعیین روند برای مجموعه داده‌های NDWI^۸ وانگ^۹ و همکاران (۲۰۱۷) برای مجموعه داده‌های ADI^{۱۰}، بهرنگ‌منش و همکاران (۲۰۲۰) برای داده‌های NDVI، روزبهنی و همکاران (۲۰۱۵) برای مجموعه داده‌های NDVI و هاشم‌گلوگردی و همکاران (۲۰۲۲) در مجموعه داده‌های DDI^{۱۱} اشاره کرد.

منابع

1. Alijani, B., Mahmoudi, P. and Doust, M. K., 2015. Statistical Analysis of Climatic Histories of Desertification in Iran, *Geographic Space* 15, 1-18.
2. Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., Masjedi, A. and Dehnavi, S., 2017. Temperature-Vegetation-soil Moisture Dryness Index (TVMIDI). *Remote Sensing of Environment* 197, 1-14.
3. Assareh, A. and Amiri, E., 2015. The frequency of droughts in the Rivers Watershed and wetlands of Khuzestan province on The Basis of different parameters. *Journal of wetland ecobiology* 7, 91-102.
4. Behrang Manesh, M., Khosravi, H., Azarnivand, H. and Alfonso, S., 2020. Quantifying The Trend Of Vegetation Changes Using Remote Sensing (Case Study: Fars Province). *Journal of Plant Ecosystem Conversation* 7, 295-318.
5. Bernstein, L. S., Jin, X., Gregor, B. and Adler-Golden, S. M., 2012. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. *Optical Engineering* 51, 111719-1-111719-11.
6. Chen, Y., Sun, L., Liu, K. and Pei, Z., 2019. "Drought monitoring using MODIS derived perpendicular drought indexes". 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics). Istanbul. Turkey.
7. Ebrahimi Khusfi, M., Darvishzade, R., Matkan, A. and Ashourloo, D., 2010. Drought Assessment in Arid Regions Using Vegetation Indices - a Case Study of "Shirkooch of Yazd" in Central Iran. *Environmental Science* 7, 59-72.
8. Feng, H., Wang, L., Tian, J., Tian, J., Wang, J., Meng, Q., Xiong, Y. and Sheng, L. T., 2013. "The Analysis of Soil Line Accuracy Affected Drought Monitoring Accuracy". 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Melbourne. Australia.
9. Ghulam, A., Qin, Q. and Zhan, Z., 2007a. Designing of the perpendicular drought index. *Environmental Geology* 52, 1045-1052.

6. Vegetation Condition Index
7. Poussin
8. Normalized Difference Water Index
9. Wang
10. Aeolian Desertification Index
11. Desertification Degree Index

بیابان‌زایی در شرق و جنوب اهواز در طبقات افزایش معنادار بیابان‌زایی زیاد و شدید و افزایش معنادار خشکسالی شدید قرار گرفته‌اند (شکل ۸).



شکل (۸): نقشه کانون‌های تولید ریزگرد در استان خوزستان (حیدریان و همکاران، ۲۰۱۵)
Figure (8): Map of dust-producing regions in Khuzestan Province (Heidarian et al, 2015)

غلام و همکاران (۲۰۰۷a) بر اساس ویژگی‌های طیفی رطوبت سطح زمین، شاخص PDI را ارائه دادند. این روش به‌طور مستقیم جایگزین شاخص‌های NDVI و آلبو گردید و مشخص شد که روشی ساده و مؤثر است (لیو و یو، ۲۰۱۹) و می‌تواند به‌طور گسترده در تحلیل و بررسی خشکسالی استفاده شود (وارگس^۲ و همکاران، ۲۰۲۱) که کارا بودن و مؤثر بودن آن در پژوهش حاضر و همچنین پژوهش‌های ابراهیمی خوسفی (۲۰۱۰)، زورمند (۲۰۱۴)، غلام و همکاران (۲۰۰۸)، کین و همکاران (۲۰۰۸)، یانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۱)، شهابفر و همکاران (۲۰۱۲)، چن و همکاران (۲۰۱۹) و نی^۴ و همکاران (۲۰۲۰) مشخص شده است. با توجه به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت شاخص PDI در بررسی و درجه‌بندی طبقات خشکسالی با توجه به شرایط منطقه و همچنین نقشه‌های مطالعات قبلی به‌درستی عمل کرده است. این امر مشخص می‌کند شاخص مذکور ضمن ساده بودن، مؤثر و کاراست. در مورد کاربرد آنالیز من-کنندال در تعیین روند سری‌های زمانی مستخرج‌شده از تصاویر سنجش از دور برای تعیین روند، می‌توان به پژوهش‌های لیانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۱) با کاربرد آزمون من-کنندال در مجموعه داده‌های

1. Liu and Yue
2. Varghese
3. Yang
4. Nie
5. Liang

24. Park, Y. J., Lim, B. J. and Sung, J. H., 2018. Appraisal of drought characteristics of representative drought indices using meteorological variables. *KSCE Journal of Civil Engineering* 22, 2002-2009.
25. Poussina, Ch., Massota, A., Ginzlerb, Ch., Weberb, D., Chatenoux, B., Lacroix, P., Piller, Th., Nguyen, L. and Giuliani, G., 2021. Drying conditions in Switzerland – indication from a 35-year Landsat time-series analysis of vegetation water content estimates to support SDGs. *Big Earth Data* 5, 445-475.
26. Qin, Q., Ghulam, A., Zhu, L., Wang, L., Li, J. and Nan, P., 2008. Evaluation of MODIS derived perpendicular drought index for estimation of surface dryness over northwestern China. *International Journal of Remote Sensing* 29, 1983-1995.
27. Richardson, A. j. and Wiegand, C. L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43, 1541-1552.
28. Roozbahani, M, Khazaei, K. and Hajeb, M., 2015. "Agricultural drought monitoring using MODIS sensor image series through Mann-Kendall test". The first scientific research conference of new horizons in geography and planning sciences, architecture and urban planning of Iran. Tehran. Iran.
29. Shahabfara, A., Ghulamb, A. and Eitzingera, J., 2012. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 119-127.
30. Tao, L., Ryu, D., Western, A. and Boyd, D., 2021. A New Drought Index for Soil Moisture Monitoring Based on MPDI-NDVI Trapezoid Space Using MODIS Data. *remote sensing* 13, 122.
31. United Nations Office for Disaster Risk Reduction 2021. *GAR Special Report on Drought 2021*. Geneva.
32. Varghese, D., Radulović, M., Stojković, S. and Crnojević, V., 2021. Reviewing the Potential of Sentinel-2 in Assessing the Drought. *remote sensing* 13, 3355.
33. Wang, Y., Zhang, J., Tong, S. and Guo, E., 2017. Monitoring the trends of aeolian desertified lands based on time-series remote sensing data in the Horqin Sandy Land, China. *Catena* 157, 289-298.
34. West, H., Quinn, N. and Horswell, M., 2019. Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment* 232, 111291.
35. Yang, X., Qin, Q., Yao, Y. and Zhao, S., 2011. Comparison and application of PDI and MPDI for drought monitoring in Inner Mongolia.
36. Zormand tarzjani, S., 2014. *Drought Monitoring Using Remote Sensing and Climatic Indices in Khorasan Razavi Province*. M.Sc. thesis, Isfahan University of Technology. 109 pp.
10. Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T. and Li, Z.L., 2007b. Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62, 150-164.
11. Ghulam, A., Qin, Q., Kusky, T. M. and Li, Z-L., 2008. A re-examination of perpendicular drought indices. *International Journal of Remote Sensing* 29, 6037-6044.
12. Golmehri, E., Mortazavi, M. and Parmoon, Gh., 2015. "Investigating the impact of drought on underground water resources and agricultural development in Khuzestan". The Second International Conference on Sustainable City Architecture and Culture. Tehran. Iran.
13. Hashem Geloogardi, S., Vali, A. and Sharifi, M. R., 2022. Investigation of Desertification Trend in the Center of Khuzestan province Using Remote Sensing Time Series Data. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 52, 2743-2857
14. Heidarian, P., Joudaki, M., Darvishi Khatoni, J. and Shahbazi, R. (2015). *Recognized Dust Sources in Khuzestan Province: Ministry of Industry, Mine and Trade Geological Survey of Iran South West Regional Center*.
15. Helsel, D. R. and Frans, L. M., 2006. Regional Kendall Test for Trend. *Environmental Science and Technology*, 40, 4066-4073.
16. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
17. Lahijanzadeh, A. R., Jafarzadeh Haghighifard, N., Khaksar, E. and Karimi, S., 2016. "Dust in Khuzestan province, challenges and solutions". First International Dust Conference. Ahwaz. Iran.
18. Li, Y., Wen, Y., Lai, H. and Zhao, Q., 2020. Drought response analysis based on cross wavelet transform and mutual entropy. *Alexandria Engineering Journal* 59, 1223-1231.
19. Liu, Y. and Yue, H., 2019. Remote Sensing Monitoring of Soil Moisture in the Daliuta Coal Mine Based on SPOT 5/6 and Worldview-2. *Open Geosciences* 11, 866-876.
20. Liang, L., Qiu, S., Yan, J., Shi, Y. and Geng, D., 2021. VCI-Based Analysis on Spatiotemporal Variations of Spring Drought in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 7967.
21. Matkan, A. A., Darvishzade, R., Hosseiniasl, M., Ebrahimi Khusfi, M. and Ebrahimi Khusfi, Z., 2011. Drought Segmentation In Arid Regions Using Knowledge-Base Algorithms At Gis Environment (Case Study: Sheitoor, Yazd). *Journal of Climate Research* 2, 103-116.
22. Nie, Y., Tan, Y., Deng, Y. and Yi, J., 2020. Suitability Evaluation of Typical Drought Index in Soil Moisture Retrieval and Monitoring Based on Optical Images. *remote sensing* 12, 2587.
23. Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. In: *US Weather Bureau Research Paper* 45, 1-58.

Assessing the Trend of Spatio-temporal Drought Changes Using Remote Sensing Time Series Data in Central Khuzestan Province

Behzad Moteshaffeh^{1*}, Sareh Hashem Geloogardi²

Received: 06/07/2022

Accepted: 24/05/2022

Extended Abstract

Introduction: As a dreadful natural disaster caused by a severe reduction in precipitation rate, drought brings about, compared with other natural disasters, far-reaching spatial and temporal consequences, incurring severe damages. On the other hand, in late the 20th century, drought monitoring approaches underwent a paradigm shift, and advances in remote sensing and earth observation technologies allowed observations and monitoring of key drought-related variables over larger temporal and spatial scales than what the then conventional methods had already made possible.

There are different remote sensing indices used to assess drought, including the PDI index which has been developed based on the spectral patterns of soil moisture changes in the NIR-Red space using the red and near-infrared bands of the ETM+ sensor.

Therefore, as Khuzestan province is suffering from drought consequences, including but not limited to dust storms and economic difficulties, this study sought to identify the spatial and temporal trends of drought in the center of Khuzestan province.

Materials and Methods: The study area is located in southwestern Iran and the center of Khuzestan province at 31° 0' 17" to 31° 43' 69" N latitudes and 48° 35' 51" to 49° 32' 2" E longitudes covering an area of 7635/36 km². To conduct the study, some twenty ETM+ remote sensing images of level-1 data taken from 1999 to 2018, (path/row 168/35) were collected from the United States Geological Survey website.

After gathering the required data, some 411 random points were selected on the collected images, the pixel values of red and near-infrared bands were extracted and plotted against each other, and the slope of the best-fitted line, known as the soil line, was obtained. Then, the PDI drought index values were calculated using the slope and the values of the aforementioned bands. Finally, by applying a natural break classification method, different degrees were separated, and the drought's trend of spatial and temporal changes was identified using Mann-Kendall's seasonal trend test at different significance levels.

Results: The results of the spatial trend analysis of drought suggested that the trend was significant only in low drought and non-drought conditions. For the non-drought conditions, the probability of spatial changes was lower than the confidence level at 5% and 10% significant levels, indicating the significance of the conditions at these two levels, and thus, rejecting the null hypothesis at merely the 1% level.

On the other hand, as the low drought conditions showed significant spatial changes only at the 10% significant level, the null hypothesis is rejected at the 1% and 5% levels. However, moderate and severe drought conditions revealed no trends in terms of spatial changes due to the higher probability values of 0.28 and 0.3, respectively, which were higher than the determined significance levels. Moreover, the results of temporal trend analysis indicated no trend for the non-drought conditions, considering the fact that the null hypothesis was rejected at all significant levels. On the contrary, in the moderate drought conditions, a temporal trend was confirmed at all significant levels with the probability rate of 0.006 which was lower than all the assigned levels. Also, a temporal trend was found at low and severe drought conditions at 5% and 10% significance levels with a probability rate of 0.023 and 0.014.

1. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran, Corresponding Author; bmoteshaffeh@gmail.com

2. Ph.D. in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Kashan, Iran; bmoteshaffeh@gmail.com

DOI: 10.22052/deej.2022.11.35.21

Discussion and Conclusion: The spatial analysis of the drought trend suggested that only the area with non-drought conditions had a significant increasing trend, which could be justified by the increase in the area of irrigated land around water bodies in the area, especially around the Karun River in the west of the study area. The reduction in the area of land in the northeast of the study area with the low-drought conditions could be attributed to the rangeland degradation containing low and moderately dense vegetation.

Moreover, the status of drought conditions in some sandy areas has changed from low in 1999 to moderate in 2018 due to vegetation destruction. The decreasing and increasing trends in areas of land with moderate and severe drought conditions, respectively, indicated the worsening of the drought conditions in the study area.

Taking the changes in the drought index into account, it could be said that merely the areas with non-drought conditions remained unaffected by any significant increase or decrease in drought conditions, considering the fact that such areas are mainly wetlands, irrigated farms, and fish farms (that are naturally wet).

However, the trend of the drought index value was found to be (highly) significant for other drought conditions, especially for moderate-drought conditions, indicating an increase in the severity of the drought conditions during the studied years.

The frequent occurrence of dust storms in Khuzestan in recent years suggests that the results of this study correspond to the current reality of the region. In fact, it could be argued that during the last decade, the exacerbation of climate change and drought conditions on the one hand, and the development of construction projects and excessive extraction of water resources, on the other hand, have led to the dryness of many wetlands and wet areas, thus creating small deserts which are regarded as the main sources of dust storms in Khuzestan province within the past few years.

Moreover, according to the findings of recent studies, desertification and drought trends have been increasing in recent years, indicating a great increase in the significance level of desertification in number 3 and 4 desertification centers in the east and southeast of Ahwaz, and a significant increase in the severity of drought conditions. This study proved the efficacy and applicability of the PDI drought index in drought monitoring.

Keywords: Drought, PDI Index, Time Series, Trend.