

تحلیل روند مشخصه‌های خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص‌های تک و چندمتغیره

سنا عبدالهی^۱، ام‌البین بدرافشان^{۲*}، مرضیه شکاری^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

پدیده خشکسالی دارای مشخصه‌های اصلی شدت، مدت، پیک و فراوانی است. در این تحقیق، دو شاخص ارزیابی خشکسالی تک متغیره SPI و شاخص چندمتغیره کمبود توام مبتنی بر کاپولا (JDI) مقایسه شده است. در این رابطه، ویژگی‌های خشکسالی شامل شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج در مشخصه شدت و مدت نشان می‌دهد، طولانی‌ترین تداوم و حداکثر شدت خشکسالی هر ایستگاه متعلق به شاخص JDI است. نتایج در بررسی فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف نشان می‌دهد که JDI در مقایسه با SPI-12 در اکثر ایستگاه‌ها، کلاس خشکسالی خیلی شدید را تخمین می‌زند اما برخلاف آن، SPI-12 تخمین غیرمنتظره‌ای در برآورد کلاس خشکسالی در برخی ایستگاه‌ها روبروست. علاوه بر این، آزمون روند من-کندال برای ویژگی‌های خشکسالی بیانگر این است که JDI روند رو به کاهش خشکسالی را در ایران تخمین می‌زند در حالی که SPI-12 در اکثر ایستگاه‌ها روند قابل توجهی ندارد. در نهایت نتایج نشان داد، JDI ارزیابی کاملی از خشکسالی برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات خشکسالی، کاپولا، تجربی، شاخص کسری توام، تجزیه و تحلیل چند متغیره، تجزیه و تحلیل روند

^۱ کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، شماره تماس و ایمیل ۰۷۶-۳۳۷۱۱۴۹-sana.923110539@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، نویسنده مسئول شماره تماس و ایمیل ۰۷۶-۳۳۷۱۱۰۴۹-O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

^۳ استادیار گروه آمار و ریاضی، گروه ریاضیات و آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، شماره تماس و ایمیل: ۰۷۶-۳۳۱۱۰۴۹-Shekarimuni@hormozgan.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی است که سالانه موجب وارد آمدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می‌گردد (Bazrafshan et al., 2010). این پدیده یکی از بلایای طبیعی پرهزینه و کمتر شناخته شده‌ای است که بیش از هر بلای طبیعی دیگر خسارات کشاورزی، زیست محیطی، اقتصادی، و اجتماعی به همراه دارد (مقصود و بذرافشان، ۱۳۹۶). عوامل شناخته شده و ناشناخته زیادی می‌توانند موجب وقوع و تداوم خشکسالی شوند؛ از جمله گرم شدن زیاد منطقه، افزایش گازهای گلخانه‌ای، کاهش میزان بارندگی، اثر تغییر مکان مراکز کم‌فشار و پرفشار، اثر سلسله کوه‌های مرتفع، و غیره. بخش‌های وسیعی در مرکز، جنوب و شمال آمریکا، اروپا، آسیا، آفریقا و استرالیا در سال‌های گذشته با خشکسالی دراز مدت مواجه شده‌اند (Mishra et al., 2010). در کشور ما نیز، به علت موقعیت خاص (بیش از ۹۰ درصد از مساحت کشور در منطقه خشک و نیمه‌خشک (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵) و ویژگی‌های زمین‌شناسی و آب و هوایی متفاوت، درصد فراوانی وقوع خشکسالی و شدت آن زیاد می‌باشد. امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی مدیریت منابع آب بحث خشکسالی است که همواره خسارت‌های جبران‌ناپذیر بسیاری بر جوامع انسانی وارد کرده است و در هر رژیم آب و هوایی و منطقه‌ای ممکن است روی دهد. از این رو بررسی خشکسالی و آثار آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به خصوصیات پیچیده‌ی این پدیده‌ی اقلیمی فهم و توسعه‌ی ابزارهایی به‌منظور پیش‌بینی کمی و کیفی خشکسالی، به مدیریت این پدیده جهت کاهش اثرات و شدت خسارات آن در سطوح مختلف جامعه کمک فراوانی خواهد نمود از جمله توابع کاپولا به دلیل انعطاف‌پذیری بالایی که دارد، ابزار مناسبی برای آنالیزهای دو یا چند متغیره هیدرومتئورولوژیکی معرفی شده اند (Bazrafshan et al., 2019) و بطور گسترده‌ای توسط محققین در

تحلیل دو یا چندمتغیره بارش، رواناب، خشکسالی و سیل استفاده شده اند. توابع کاپولا نماینده توزیع‌های چندمتغیره هستند که می‌توانند هر فرم تابع حاشیه‌ای را داشته باشند، طیف گسترده‌ای از آنها وجود دارد و می‌توان توزیع مشترک متغیرهای همبسته را از آنها بدست آورد (Kao and Guvindaraju, 2010).

شیائو^۱ (۲۰۰۶) به تحلیل توزیع توام مدت و شدت خشکسالی‌های یک ایستگاه باران‌سنجی با استفاده از تابع مفصل گلامبوس پرداختند. نتایج نشان داد، این شاخص قادر است درک صحیحی از زمان شروع و خاتمه خشکسالی ارائه دهد. کائو و گویندراجو (۲۰۱۰)، ژانگ^۲ و همکارانش (۲۰۱۳) و سیستی^۳ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از کاپولای چندمتغیره به بررسی ویژگی شاخص خشکسالی پرداختند. این محققین از دو خانواده ارشمیدسی و بیضوی در اتصال مشخصه‌های خشکسالی بهره بردند. نتایج حاکی از کارایی قابل قبول توابع کاپولا در پایش خشکسالی است. یانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، بذرافشان و همکاران (۲۰۱۹) و (۲۰۲۰) و میرعباسی و همکاران (۱۳۹۲) برای ساخت شاخص خشکسالی چند متغیره غیرخطی از تابع کاپولای چندبعدی استفاده کردند. نتایج نشان داد، توابع کاپولا به دلیل انعطاف‌پذیری و توانایی در پذیرش تعداد متغیرهای زیاد، برای آنالیز چندمتغیره خشکسالی بسیار مناسبند. مرور مطالعات پیشین در ایران نشان می‌دهد، عموم تحقیقات در زمینه پایش خشکسالی هواشناسی، کاربرد شاخص‌های تک (SPI) و یا دومتغیره (RDI و SPEI) است و کمتر مطالعه‌ای با استفاده از توابع کاپولای ارشمیدسی و بیضوی صورت پذیرفته است، لذا از مهم‌ترین اهداف تحقیق حاضر، ساخت شاخص چندمتغیره هواشناسی کاپولا محور، محاسبه مشخصه‌های خشکسالی ناشی از آن و تحلیل روند مشخصه‌ها و در نهایت مقایسه آن با شاخص تک‌متغیره SPI است.

³ Cisty

⁴ Yang

¹ Shiao

² Zhang

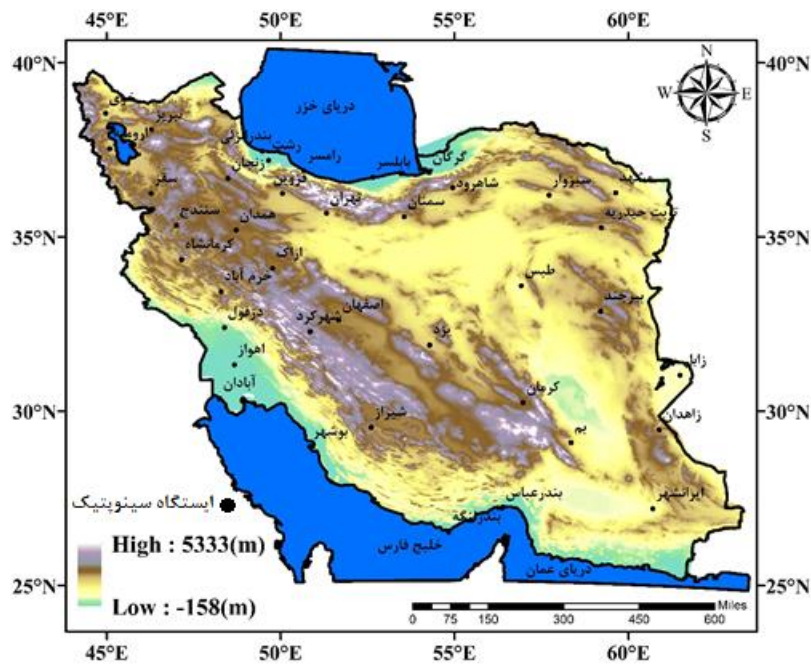


مواد و روش‌ها

مطالعه موردی

گردآوری شد (IRIMO, 2020)، استفاده گردید. شکل ۱، توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در ایران را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، از داده‌های بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۹ که از سازمان هواشناسی کشور



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

CDF حاشیه‌ای $u_w = F_{X_w}(x_w)$ بدست آمد، که در آن SPI برابر $SPI = \Phi^{-1}(u_w)$ است. $\Phi(\cdot)$ تابع توزیع تجمعی عادی استاندارد است. جدول ۱ طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس SPI نشان می‌دهد. از این شاخص می‌توان برای تعیین مقدار کمبود بارش در مقیاس ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه استفاده کرد (مک کی، و همکاران، ۱۹۹۳).

روش‌های مورد استفاده

خشکسالی‌های هواشناسی بر اساس شاخص SPI

SPI شاخصی است که برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه این شاخص، فرض می‌کنیم X_w نمایندگی از کل بارش در طی ماه‌های W است. با برازش توزیع گامای دو پارامتری به سری زمانی، X_w تابع توزیع تراکمی یا

جدول (۱): طبقه‌بندی توصیفی خشکسالی بر اساس شاخص SPI (مکی و همکاران، ۱۹۹۳)

مقادیر SPI	کلاس خشکسالی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱/۴۹ تا ۱	ترسالی متوسط
۰/۹۹ - ۰ تا ۰/۹۹	تقریباً نرمال
۰ تا -۱	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت مهم است) را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که هیچ‌یک از u_i ها نمی‌تواند به تنهایی اطلاعات u_j های دیگر را انعکاس دهد و هر u_i منفرد می‌تواند فقط یک دید جزئی از خشک‌سالی هواشناختی را بازتاب دهد (بذرافشان و همکاران، ۲۰۲۰).

شاخص کمبود توأم خشک‌سالی (JDI)

در این مطالعه برای ایجاد شاخص JDI از ۱۲ تا SPI اصلاح‌شده استفاده گردید. KC تابع توزیع مفصل همان احتمال تجمعی $KC(t) = P[C(u_1, u_2, \dots, u_{12}) \leq t]$ می‌باشد. استفاده از KC این امکان را می‌دهد که معیار احتمالاتی شرایط کمبود توأم محاسبه شود که می‌تواند به‌عنوان یک شاخص خشک‌سالی کمبود توأم تفسیر شود. شاخص کمبود توأم JDI به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$JDI = \Phi^{-1} K_C \quad (2)$$

در واقع KC همان CDF توأم $\{C_1, C_2, \dots, C_{12}\}$ است. همانند SPI مقدار $KC > 0.5$ نشان‌دهنده‌ی شرایط مرطوب کلی (JDI مثبت) و $KC < 0.5$ نشان‌دهنده شرایط خشکی کلی (JDI منفی) و $KC = 0.5$ نشان‌دهنده شرایط نرمال (JDI=0) می‌باشد (کائو و گویندراجو، ۲۰۱۰).

ساختار وابستگی مبتنی بر SPI اصلاح شده

برای محاسبه شاخص SPI اصلاح‌شده یا SPI^{mod} کائو و گویندراجو (۲۰۱۰) پیشنهاد کردند که X_w را با ماه مختوم به آن جمع و به‌صورت X_w^{month} نشان داده شود که در آن month نشان‌دهنده یکی از ماه‌های ژانویه، فوریه، ... و دسامبر می‌باشد. برای مثال، X_1^{Jan} بیانگر بارش ژانویه و X_5^{Aug} بیانگر کل بارش پنج ماهه از آوریل تا اوت می‌باشد. به این ترتیب، نمونه‌ها در هر گروه X_w^{month} به‌طور سالانه جمع‌آوری می‌شوند. واضح است تا زمانی که $w \leq 12$ باشد نمونه‌ها هیچ‌گونه هم‌پوشانی ندارند. به‌عبارت دیگر، درجه خودهمبستگی بین داده‌ها به مقدار زیادی کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر، نمونه‌های داخل گروه یکسان X_w^{month} تحت اثرات فصلی مشابه قرار دارند و بنابراین، تغییرات فصلی به یک شیوه مناسب در نظر گرفته می‌شوند. با برازش دادن توزیع آماری بر هر گروه به‌طور مجزا SPI^{mod} مشابه با SPI متداول از رابطه زیر محاسبه شد:

(۱)

$$SPI_w^{mod} = \phi^{-1}(u_w^{month}) = \phi^{-1}(F_{X_w^{month}}(x_w^{month}))$$

حاشیه‌های بارش (توابع توزیع احتمال تراکمی تک‌متغیره) $\{u_1, u_2, \dots, u_{12}\}$ با بازه‌های زمانی مختلف از ۱ تا ۱۲ ماهه را می‌توان از طریق شیوه SPI^{mod} ایجاد نمود. u_1 وضعیت بارش ماه گذشته (u_1 برای تشخیص دادن آغاز خشک‌سالی مهم است) و u_{12} وضعیت بارش سال گذشته (برای تشخیص



داری معین α باشد، فرض صفر پذیرفته شده و روند وجود ندارد. مقادیر مثبت آماره Z روند صعودی و مقادیر منفی نیز روند نزولی را نشان می دهند. آزمون من-کندال در نرم افزار R و پهنه بندی مقادیر روندها در نرم افزار ArcGIS با استفاده از روش IDW صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی 12 - SPI و JDI

بر اساس روش های پیشنهادی، SPI-12 و JDI در ۳۹ ایستگاه در ایران طی دوره مورد مطالعه برآورد شد. شکل ۲، تغییرات سری زمانی دو شاخص را در چهار ایستگاه در نمونه های اقلیمی مختلفه نمایش می دهد. می توان دریافت که JDI نوسانات بیشتری را در مقایسه با SPI نشان می دهد و شرایط تقریباً مشابهی برای ایستگاه های مورد نظر، از لحاظ شرایط خشکسالی و ترسالی حاکم است در حالی که SPI بطور کلی دوره های نسبتاً طولانی تری از خشکسالی و ترسالی را نشان می دهد. شکل ۳ تغییر SPI اصلاح شده را از ۱ تا ۱۲، JDI و SPI-12 را برای ایستگاه مشهد طی اردیبهشت تا مرداد ۱۳۹۲ را نشان می دهد. در شکل (الف) و (ب) مقادیر SPImod مشاهده شده در بازه های زمانی w_4 تا w_{12} برای ماه اردیبهشت و فروردین نشان دهنده وضعیت خشکسالی است، که حاصل تاثیر چند ماه گذشته در شاخص JDI وضعیت خشکسالی را نمایش می دهد. در واقع JDI حاصل تغییرات رطوبت قبلی خاک است و از آنجائیکه ماه های ۸ تا ۱۲ دوره های خشک را طی کرده، JDI وضعیت خشکسالی شدید ($-1/25$) را برای سال گذشته نمایش می دهد، در حالیکه SPI-12 وضعیت ملایم ($-0/65$) را نشان می دهد. در تیرماه نیز w_1 تا w_6 در وضعیت ترسالی و w_7 تا w_{12} در حالت نرمال بوده و JDI حاصل ۱۲ ماه گذشته را نرمال نمایش می دهد در حالی که SPI شرایط را خشکسالی ملایم نمایش می دهد. در مورد مرداد نیز همین تفسیر صادق است. JDI تعیین واقع گرایانه تری

تجزیه و تحلیل ویژگی های خشکسالی

بر اساس لوکاس و واسیلیادس (۲۰۰۴) تداوم خشکسالی هنگامی آغاز می شود که مقادیر SPI منفی و زمانی پایان خواهد یافت که SPI به مقادیر مثبت برگردد. شدت خشکسالی توسط S بوسیله معادله (۳) تعریف شده است:

$$S = \left| \sum_{i=1}^D SPI_i \right| \quad (3)$$

SPI را می توان با JDI جایگزین کرد و فراوانی کلاس های خشکسالی به عنوان تعداد وقایع در هر دسته SPI و JDI نسبت به فرکانس تجمعی وقایع برای مقیاس های زمانی مختلف تعریف شده است (Mathbout et al., 2018).

تحلیل روند من-کندال

آزمون من-کندال یک تست غیرپارامتری آماری است که برای تجزیه و تحلیل روند استفاده می شود. مراحل محاسبه شامل محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر K بصورت رابطه ۴، محاسبه واریانس توسط رابطه ۵ و محاسبه آماره Z با استفاده از رابطه ۶ است.

$$sign(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

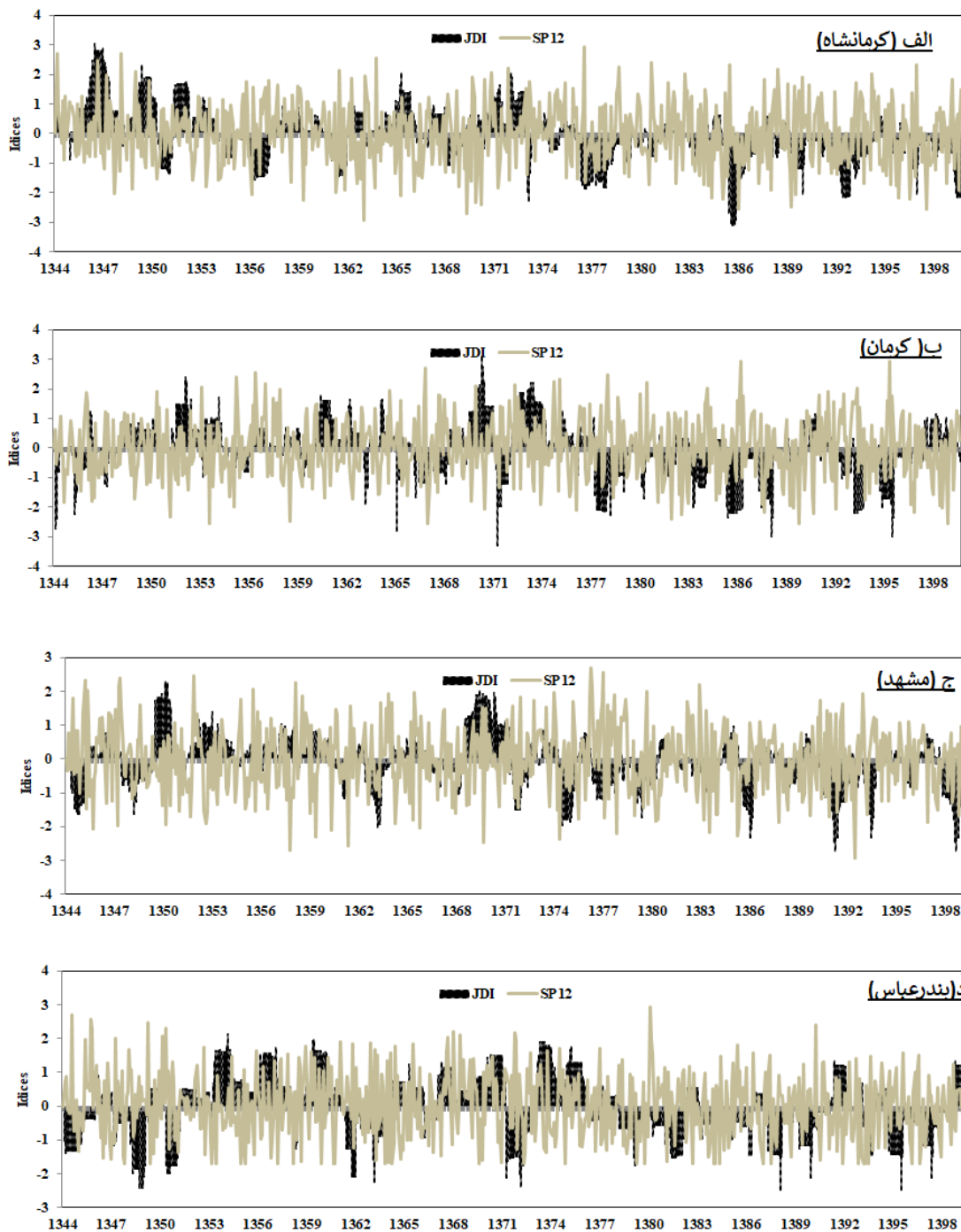
$$Var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

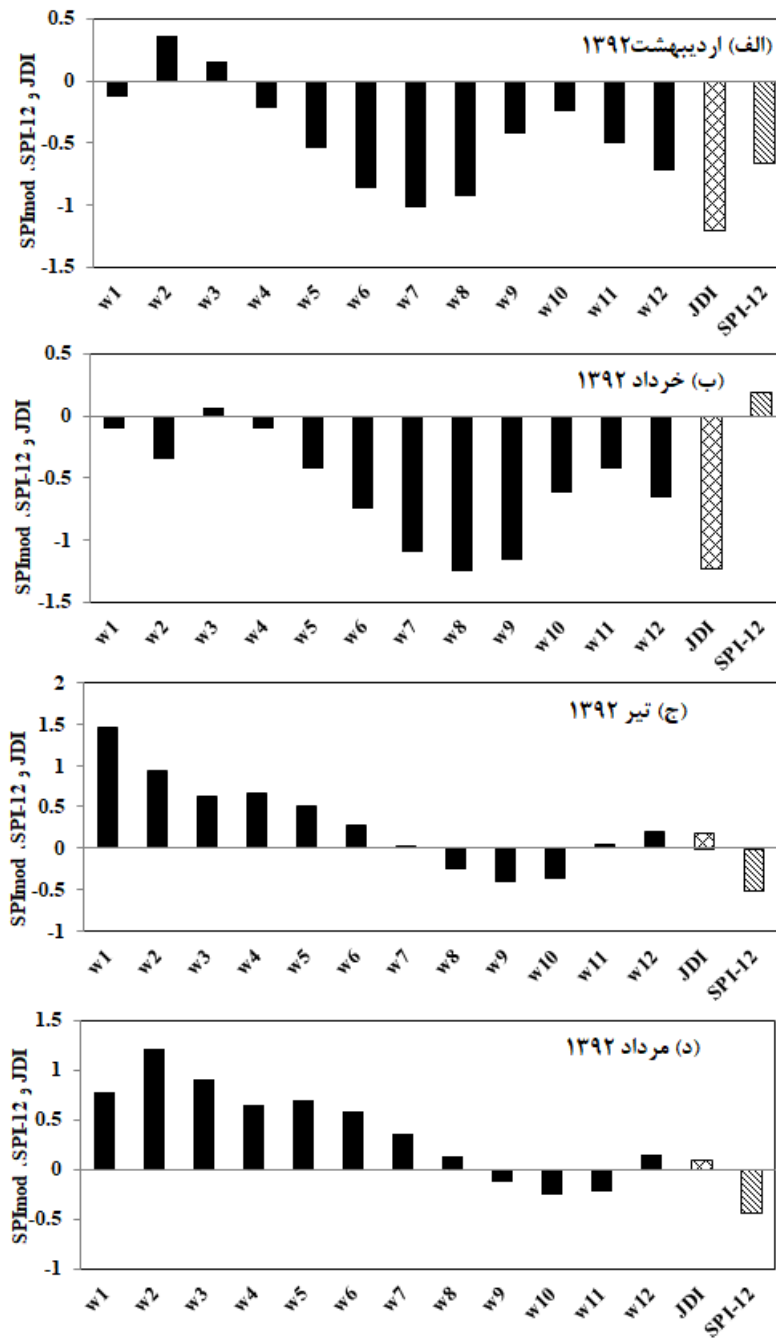
N تعداد داده ها، X_i و X_j داده ها در سری زمانی و Z آماره تست استاندارد است. با توجه به آزمون آماری دوطرفه کای اسکوتر، اگر $|z| \leq z_{\alpha/2}$ در سطح معنی

توزیع مکانی شرایط خشکسالی ماه دی سال ۱۳۸۸ در شکل ۴ نشان داده شده است. بر این اساس می‌توان گفت که در شاخص JDI بخش‌های وسیعی از شمال و مرکز ایران به سمت جنوب دارای خشکسالی ملایم و ترسالی می‌باشد. خرم‌آباد، اهواز، بیرجند و کرمان دارای خشکسالی بسیار شدید و خشکسالی شدید است. خشکسالی متوسط نیز بخش‌هایی از ایران (شیراز، بوشهر، تربت حیدریه، ایرانشهر و تهران) را در بر گرفته است. در مقابل شاخص SPI، بخش‌های وسیعی از ایران دارای خشکسالی متوسط، اراک، اصفهان، شهرکرد، اهواز، بوشهر، آبادان، بیرجند و تربت حیدریه دارای خشکسالی شدید و بخش‌هایی از شمال غرب و جنوب شرق دارای خشکسالی ملایم و ترسالی می‌باشد.

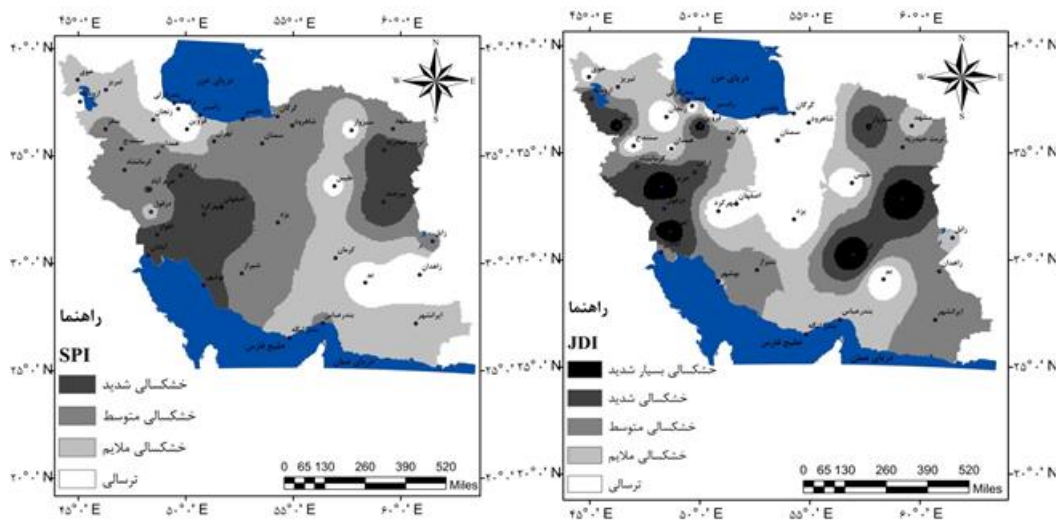
از شرایط خشکسالی را نشان می‌دهد زیرا براساس ساختار وابستگی مشاهدات قبلی رطوبت خاک را پایش می‌کند. تفاوت SPI-12 و JDI از مفاهیم روش‌شناسی آنها ناشی می‌شود. بر خلاف SPI-12 که نشان دهنده تنوع خشکسالی در ماه ۱۲ است، JDI از اطلاعات SPI اصلاح شده برای شبیه‌سازی شرایط خشکی ماه‌های گذشته استفاده می‌کند. علاوه بر این، JDI احتمال مشترک SPI-mod را در نظر می‌گیرد و نمای کلی از شرایط خشکسالی را نشان می‌دهد. JDI برخلاف SPI-12 مبتنی بر احتمال مشترک همه SPI-mod می‌باشد و یک دید جامع از شرایط خشکسالی ارائه می‌کند. این نتیجه با یافته‌های کائو و گویندراجو (۲۰۰۸) و میرعباسی و همکاران (۲۰۱۳) کاملاً منطبق می‌باشد.



شکل (۲): نقشه سری زمانی JDI و SPI-12 در چهار ایستگاه مختلف



شکل (۳): مقایسه SPI اصلاح شده، JDI و SPI-12 در ایستگاه مشهد

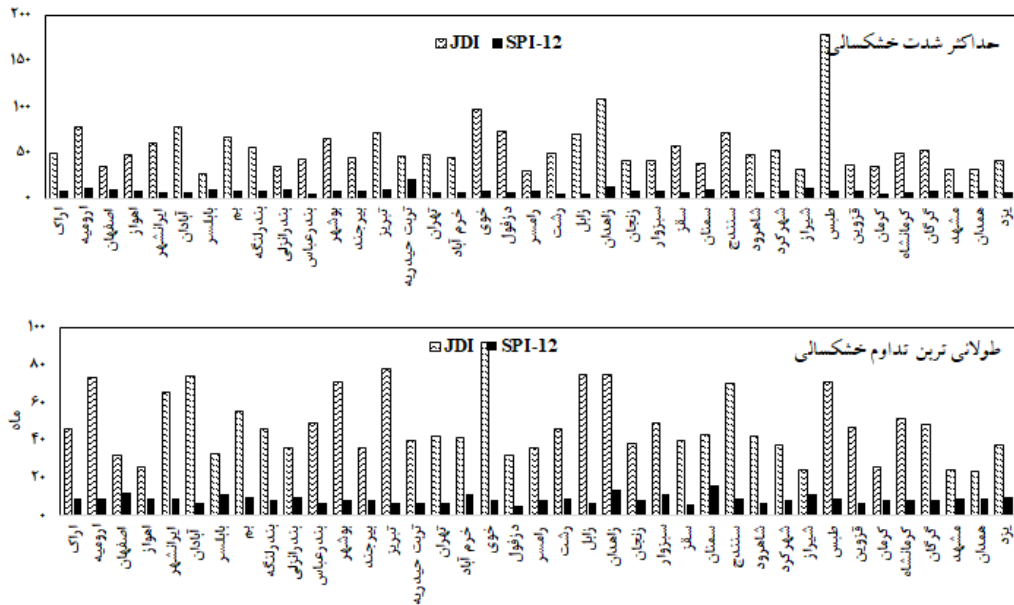


شکل (۴): توزیع مکانی JDI و SPI - 12 در مناطق ایران (دی ماه ۱۳۸۸)

طولانی‌ترین تداوم خشکسالی در ایستگاه‌های خوی، ارومیه، آبادان، بوشهر، تبریز، زابل، زاهدان، سنندج و طبس) توسط JDI مشاهده گردید برای مقایسه خصوصیات برآورد شده توسط دو شاخص از T-test استفاده شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که بین مقادیر شدت و مدت برآورد شده دو شاخص تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

تجزیه و تحلیل آماری شدت و مدت خشکسالی

حداکثر تداوم خشکسالی و شدت برآورد شده توسط دو شاخص مورد بررسی در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده در تمام ایستگاه‌ها شاخص تک‌متغیره SPI-12 مقادیر بیشتری از شدت و تداوم خشکسالی را نشان می‌دهد. بصورت موردی، بیشترین شدت در ایستگاه طبس، زاهدان و خوی و



شکل (۵): حداکثر شدت خشکسالی و مدت زمان بر اساس JDI و SPI-12

جدول (۲): آزمون T-test برای شدت و مدت خشکسالی در دو شاخص مورد بررسی

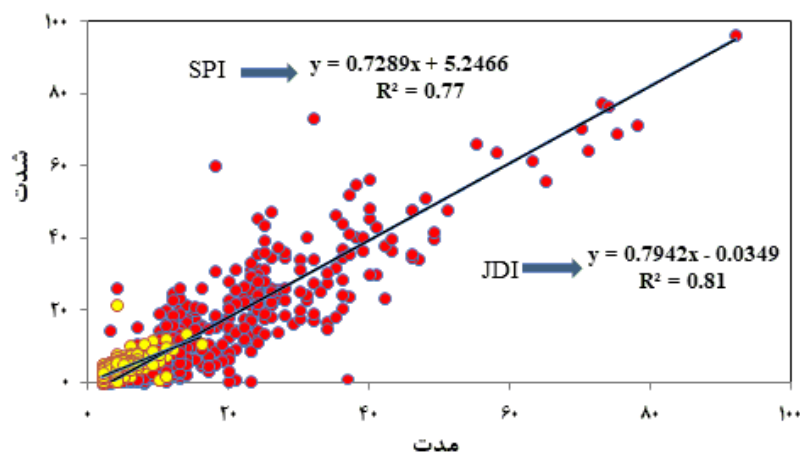
نام ایستگاه	شدت		مدت	
	t	Pvalue	t	Pvalue
اراک	۴/۴۲	۰/۰۲۴	۳/۵۳	۰/۰۰۲
ارومیه	۲/۲۵	۰/۰۳۶	۳/۲۵	۰/۰۰۴
اصفهان	۳/۲۳	۰/۰۰۴	۴/۶۲	۰/۰۰
اهواز	۲/۸۲	۰/۰۰۹	۴/۷۲	۰/۰۰
ایرانشهر	۱/۶۷	۰/۰۱	۲/۵۳	۰/۰۲۵
آبدان	۲/۲۰	۰/۰۳۸	۳/۰۶	۰/۰۰۵
بابلسر	۳/۳۹	۰/۰۰۲	۴/۵۸	۰/۰۰
بم	۲/۴۶	۰/۰۲۳	۳/۷۸	۰/۰۰۱
بندرلنگه	۲/۷۴	۰/۰۱۵	۴/۴۶	۰/۰۰
بندرانزلی	۳/۲۶	۰/۰۰۳	۴/۷۸	۰/۰۰
بندرعباس	۴/۳۵	۰/۰۰۱	۴/۹۸	۰/۰۰
بوشهر	۲/۷۱	۰/۰۱۶	۲/۹۸	۰/۰۰۹
بیرجند	۳/۰۵	۰/۰۰۶	۳/۹۹	۰/۰۰۱
تبریز	۲/۲۷	۰/۰۳۵	۲/۷۴	۰/۰۱۳
تربت حیدریه	۲/۹۶	۰/۰۰۸	۳/۷۲	۰/۰۰۲
تهران	۳/۱۴	۰/۰۰۶	۳/۶۹	۰/۰۰۲
خرم آباد	۲/۷۱	۰/۰۱۳	۳/۷۱	۰/۰۰۱
خوی	۱/۸۴	۰/۰۸	۲/۵۵	۰/۰۱۹
دزفول	۱/۶۱	۰/۰۱۳	۳/۷۱	۰/۰۰۲

ادامه جدول (۲): آزمون T-test برای شدت و مدت خشکسالی در دو شاخص مورد بررسی

رامسر	۳/۷۲	۰/۰۰۱	۴/۴۰	۰/۰۰
رشت	۲/۷۱	۰/۰۱۲	۳/۵۳	۰/۰۰۲
زابل	۲/۳۰	۰/۰۳۳	۲/۴۹	۰/۰۲۲
زاهدان	۱/۶۶	۰/۰۱	۲/۸۹	۰/۰۰۹
زنجان	۲/۵۳	۰/۰۱۸	۳/۸۰	۰/۰۰۱
سبزوار	۴/۲۶	۰/۰۰۱	۵/۴۶	۰/۰۰
سقز	۲/۴۶	۰/۰۲۴	۴/۲۴	۰/۰۰
سمنان	۳/۰۷	۰/۰۰۵	۴/۶۲	۰/۰۰
سنندج	۱/۴۸	۰/۱۵۷	۲/۸۷	۰/۰۱۱
شاهرود	۴/۱۴	۰/۰۰	۵/۷۳	۰/۰۰
شهرکرد	۲/۹۷	۰/۰۰۸	۴/۶۳	۰/۰۰
شیراز	۳/۸۳	۰/۰۰۱	۵/۴۴	۰/۰۰
طبرس	۰/۹۲۶	۰/۰۴	۱/۱۴	۰/۰۳
قزوین	۲/۷۷	۰/۰۱	۳/۵۵	۰/۰۰۱
کرمان	۳/۷۶	۰/۰۰۱	۵/۳۹	۰/۰۰
کرمانشاه	۳/۳۴	۰/۰۰۳	۴/۱۸	۰/۰۰
گرگان	۲/۴۵	۰/۰۲۲	۳/۳۰	۰/۰۰۳
مشهد	۳/۵۹	۰/۰۰۲	۵/۰۸	۰/۰۰
همدان	۳/۷۸	۰/۰۰۱	۵/۱۱	۰/۰۰
یزد	۳/۳۲	۰/۰۰۴	۴/۶۷	۰/۰۰

اما شیب خط رگرسیونی و میزان وابستگی در مورد JDI بیشتر از SPI است. این وضعیت خاطرنشان می‌کند که شدت خشکسالی پایش شده با استفاده از JDI شدیدتر از مقادیر بدست آمده نسبت به SPI-12 است.

ساختار همبستگی بین شدت و مدت خشکسالی بین ایستگاه‌های مورد بررسی در دو شاخص در شکل ۶ نمایش داده شده است. براساس نتایج بدست آمده دو مشخصه خشکسالی دارای همبستگی بالایی هستند،



شکل (۶): رابطه رگرسیونی بین شدت خشکسالی و مدت خشکسالی در دو شاخص مورد بررسی

گردید. شکل ۷؛ توزیع مکانی مقادیر آماره من کندال را در مناطق مورد مطالعه نمایش می‌دهد. براساس شکل فوق، شدت خشکسالی با استفاده از JDI در ایران دارای روند کاهشی است، این در حالی است که براساس شاخص SPI-12، وسعت زیادی از ایران را بدون روند و یا روند افزایشی نشان داده است. در مورد مدت خشکسالی نیز شاخص JDI روند قویتری را نشان می‌دهد، بطوری که بیش از ۷۰ درصد مساحت ایران دارای روند کاهشی زمان تداوم خشکسالی است. در مقابل شاخص SPI-12 روند خشکسالی را در ۷۰ درصد منطقه روند افزایشی را در سطح ۹۰ درصد اطمینان نشان می‌دهد. در مورد مشخصه فراوانی خشکسالی، نتایج حاصل از تحلیل روند نشان می‌دهد، که براساس شاخص JDI، روند فراوانی خشکسالی‌های شدید در بخش‌های زیادی از مناطق ایران به‌خصوص در بخش‌های میانی رو به کاهش (در سطح اعتماد ۹۰ و ۹۵ درصد) است. این در حالی است که شاخص SPI-12، بیش‌ترین وسعت منطقه را از نظر فراوانی بدون روند و یا روند افزایشی معرفی می‌نماید. نتایج بسیاری از محققین نظیر بذرافشان و همکاران (۲۰۱۹، ۲۰۲۰) و میرعباسی و همکاران (۱۳۹۲) در ایران نشان‌دهنده روند کاهشی خشکسالی در ایران است.

جدول (۳): فرکانس‌های خشکسالی مبتنی بر JDI و SPI - 12

ایستگاه	SPI - 12					JDI				
	WS	MID	MD	SD	ED	WS	MID	MD	SD	ED
اراک	۲۷۶	۲۱۶	۶۸	۲۴	۵	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
ارومیه	۲۷۷	۲۱۱	۷۰	۲۹	۲	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
اصفهان	۳۱۴	۱۶۶	۵۹	۲۹	۲۱	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
اهواز	۳۳۰	۱۵۳	۶۲	۲۴	۲۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
ایران‌شهر	۳۸۶	۱۵۴	۲۸	۱۲	۹	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
آبادان	۲۹۱	۲۰۳	۵۳	۳۷	۵	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
بابل‌سر	۲۹۰	۲۰۵	۵۷	۲۶	۱۱	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
بم	۳۱۵	۱۸۰	۳۷	۳۸	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۱۹
بندرلنگه	۳۲۹	۱۶۸	۳۶	۳۹	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۲۳
بندرانزلی	۲۷۶	۲۱۹	۶۳	۲۴	۷	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
بندرعباس	۳۰۳	۱۸۴	۵۶	۳۱	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۱۵
بوشهر	۳۳۲	۱۶۲	۵۱	۲۱	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۲۳

تجزیه و تحلیل فراوانی کلاس‌های خشکسالی در دو شاخص مورد بررسی

طبق آستانه تعریف شده در جدول ۱، کلاس‌های مرطوب و خشکسالی برای کلیه ایستگاه‌ها استخراج شده و در جدول ۳ نمایش داده شده است. فرکانس‌های نسبی پنج کلاس از جمله وضعیت ترسالی (WS)، خشکسالی ملایم (MID)، خشکسالی متوسط (MD)، خشکسالی شدید (SD) و خشکسالی بسیار شدید (ED) برآورد شده است.

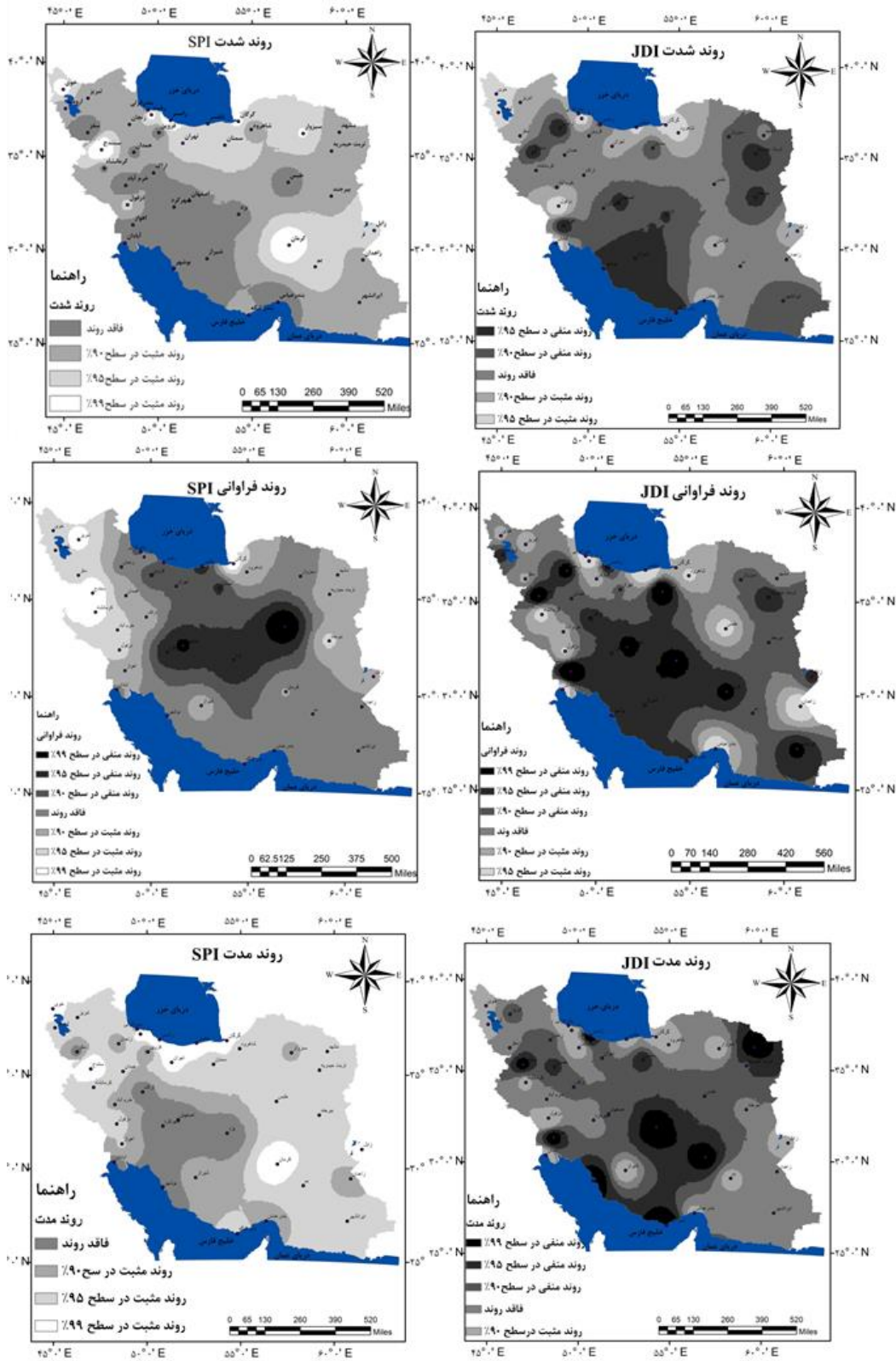
طبق جدول ۳، نتایج نشان می‌دهد، شاخص SPI-12، فراوانی خشکسالی خیلی شدید را در ۷ ایستگاه صفر برآورد نموده است. در مقابل شاخص JDI در هیچ ایستگاهی، مقدار فراوانی خشکسالی را در سه کلاس مورد بررسی، صفر برآورد ننموده است و با مقادیر مورد انتظار در جدول ۱ (توصیفات خشکسالی شاخص‌ها) توافق خوبی دارد.

تجزیه و تحلیل روند مکانی مشخصه‌های خشکسالی

روند سری‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در دوره مورد بررسی در دو شاخص SPI-12 و JDI با استفاده از آزمون تحلیل روند من- کندال محاسبه

ادامه جدول (۳): فرکانس‌های خشکسالی مبتنی بر JDI و SPI - 12

بیرجند	۳۳۱	۱۶۷	۳۲	۵۳	۶	۲۹۵	۲۰۱	۵۴	۲۶	۱۳
تبریز	۳۰۱	۲۰۱	۵۵	۱۸	۱۴	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
تربت حیدریه	۲۹۷	۱۹۹	۵۸	۲۱	۱۴	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
تهران	۳۲۷	۱۷۶	۴۰	۲۲	۲۴	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
خرم‌آباد	۳۰۸	۱۸۴	۳۶	۵۲	۹	۲۹۵	۲۰۱	۵۴	۲۶	۱۳
خوی	۲۸۷	۲۰۶	۷۳	۲۲	۱	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
دزفول	۴۲۵	۱۳۷	۱	۰	۲۶	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۱۰
رامسر	۲۸۳	۲۰۵	۷۱	۲۱	۹	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
رشت	۲۶۶	۲۳۲	۸۱	۱۰	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
زابل	۳۲۳	۱۶۳	۴۰	۳۳	۳۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۰
زاهدان	۳۰۸	۲۱۲	۲۷	۴	۳۸	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
زنجان	۳۰۹	۱۹۳	۵۳	۱۹	۱۵	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
سبزوار	۲۷۴	۲۴۴	۳۳	۳۱	۷	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
سقز	۲۸۲	۲۱۸	۵۴	۱۶	۱۹	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
سمنان	۲۹۳	۲۰۷	۳۷	۳۵	۱۷	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
سنندج	۲۹۷	۲۰۹	۵۸	۲۸	۱۵	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
شاهرود	۳۰۳	۱۹۸	۵۹	۲۳	۶	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
شهرکرد	۳۱۴	۱۷۳	۵۲	۳۹	۱۱	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
شیراز	۳۰۳	۱۹۸	۵۹	۲۳	۶	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
طیس	۴۹۸	۳۲	۰	۰	۵۹	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۱۱
قزوین	۲۸۹	۲۱۱	۴۲	۲۳	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
کرمان	۳۲۰	۱۸۶	۳۶	۱۸	۲۹	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
کرمانشاه	۳۱۱	۱۸۹	۵۱	۲۳	۱۵	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
گرگان	۲۹۷	۲۳۰	۵۲	۲۰	۸	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
مشهد	۳۰۳	۱۹۸	۵۹	۲۳	۶	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
همدان	۳۰۳	۱۹۸	۵۹	۲۳	۰	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۲۷	۱۳
یزد	۳۰۵	۲۰۶	۳۷	۲۰	۲۱	۲۹۴	۲۰۱	۵۴	۴۰	۹



شکل (۷): روند تغییرات مکانی شدت، زمان تداوم و فراوانی خشکسالی



نتیجه گیری

در این تحقیق از دو شاخص پایش خشکسالی تک متغیره SPI و چندمتغیره JDI استفاده گردید. جهت بررسی رفتار هر شاخص در پایش خشکسالی مشخصه‌های خشکسالی شامل شدت، مدت و فراوانی در کلاس‌های مختلف خشکسالی در ایران برآورد گردید تا کارآمدترین شاخص در پایش خشکسالی منطقه مشخص گردد.

JDI به واسطه استفاده از همه اطلاعات موجود در SPImod یک تا دوازده ماهه، بطور موفقیت‌آمیزی رفتار زمانی خشکسالی را در هر دوره شبیه‌سازی نموده است، برخلاف آن SPI-12 تغییرات زمانی در لحظه را نشان می‌دهد، لذا در پایش خشکسالی خصوصاً در خشکسالی‌های فراگیر، چندان موفق عمل ننموده است. بطوریکه مقادیر تخمین زده شده در خشکسالی‌های خیلی شدید توسط JDI بسیار بیشتر از SPI-12 است. در پهنه‌بندی مکانی خشکسالی‌های فراگیر طی سال ۱۳۸۸ در ایران توسط شاخص SPI-12؛ تنها بخش کوچکی دارای خشکسالی شدید و خیلی شدید بود و بخش اعظم منطقه تحت تاثیر وضعیت نرمال و ترسالی بود، در حالی که شاخص JDI بخش اعظم منطقه را در معرض خشکسالی‌های خیلی شدید و شدید نشان می‌داد.

بررسی مشخصه شدت و مدت خشکسالی در دو شاخص مورد بررسی در تمام ایستگاه‌ها نشان داد، که شاخص JDI؛ قادر است پیک شدت و مدت خشکسالی را بالاتر از SPI-12 تخمین بزند.

بررسی فراوانی خشکسالی در کلاس‌های توصیفی مورد بررسی نشان داد، که SPI-12 در ۷ ایستگاه از ۳۹ ایستگاه، کلاس خشکسالی خیلی شدید را صفر برآورد

نموده است؛ در مقابل شاخص JDI با چنین مشکلی روبرو نبوده است و فراوانی‌های مورد انتظار در هر کلاس در هر ایستگاهی مشاهده می‌شود.

تحلیل روند شدت، مدت و فراوانی خشکسالی طی دوره آماری مورد بررسی نشان داد، که SPI-12 همواره روند ضعیف‌تری را از مشخصه‌های خشکسالی نشان می‌دهد، در حالیکه JDI عموماً روند کاهشی این مشخصه‌ها را در ایران بسیار قوی‌تر و شدید‌خاطر نشان می‌سازد. نهایتاً نتایج نشان می‌دهد، که JDI علاوه بر توصیف علمی وضعیت کلی خشکسالی، قابلیت مشخص کردن زمان شروع خشکسالی‌ها و نیز خشکسالی‌های طولانی مدت با شدت زیاد را دارد و امکان ارزیابی وضعیت خشکسالی را بصورت ماه به ماه را فراهم می‌سازد. مزیت دیگر این شاخص نسبت SPI این است که JDI علاوه بر توصیف علمی وضعیت کلی خشکسالی، قابلیت مشخص کردن آغاز خشکسالی‌ها و نیز خشکسالی‌های طولانی مدت را به صورت هم‌زمان دارد. همچنین این شاخص، ارزیابی خشکسالی بصورت ماه به ماه نیز میسر می‌سازد، چنان‌که می‌توان مقدار بارش مورد نیاز برای رسیدن به شرایط نرمال ($JDI=0$) در ماه‌های آینده را محاسبه نمود. عمق بارش مورد نیاز همراه با احتمال تجاوز آن تفسیر خوبی از وضعیت خشکسالی در آینده در اختیار می‌گذارد که می‌تواند در مطالعات آبی برای پیش‌بینی شرایط رطوبتی منطقه شمال شرق ایران و یا مناطق دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد، کارایی سایر شاخص‌های تک متغیره مانند SRI و Z-index و شاخص‌های دومتغیره مانند SPEI و RDI با شاخص چندمتغیره فوق مقایسه گردد و عدم قطعیت این شاخص‌ها برآورد گردد.

منابع

احمدی، م.، و رادمنش. ۱۳۹۴. کاربرد شاخص کمبود توام (JDI) در تحلیل خشکسالی‌های حاشیه جنوبی دریای خزر. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۳، شماره ۴۶، ص ۴۳۱-۴۴۲.

بذرافشان، الف.، رحیمی، ف.، محمدی کنگرانی، ح. ۱۳۹۵. مدیریت بهینه‌ی آب در شرایط خشکسالی؛ مطالعه موردی دشت سرخون، استان هرمزگان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۳، شماره ۶، ص ۱۰۳-۱۱۷.

مقصود، ف.، و بذرافشان، الف. ۱۳۹۶. توسعه مدل پیش‌بینی وقوع خشکسالی؛ مطالعه موردی شهرستان آبیگ استان قزوین. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۳، شماره ۷، ص ۱۶۶-۱۷۴.

میرعباسی، ر.، نجف آبادی، ر.، فاخری‌فرد، ا.، دین‌پژوه، ی و اسلامیان، س. ۱۳۹۲. پایش بلند مدت خشکسالی‌های ارومیه با استفاده از شاخص کمبود توام، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۴، ص ۸۷ تا ۱۰۳.

Bazrafshan, O. Zamani, H. Shekari, M. 2020. A copula-based index for drought analysis in arid and semi-arid regions of Iran. *Natural Resource Modeling*, 33(1): 122-137.

Bazrafshan, O. Zamani, H. Shekari, M. and Singh, V. P. (2020). Regional risk analysis and derivation of copula-based drought for severity-duration curve in arid and semi-arid regions. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-17.

Cisty, M. Celar, L. and Becova, A. 2015. Application of copulas in analysis of drought and irrigation. *The 9th International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences*, Bratislava, Slovakia.

Kao, S. C. and Govindaraju, R. S. 2010. A copulabased joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380: 121-134.

Mathbout, S. Lopez-Bustins, J. A. Martin-Vide, J. Bech, J. and Rodrigo, F. S. 2018. Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012. *Atmospheric Research*, 200: 153–168.

Mckee, T.B., N. Doeskien, J. and Kleist, J. 1993. the Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. pp. 379-384.

Mishra, A. Singh, V. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202–216.

Morid, S. Smakhtinb, V. and Bagherzadehc, K . 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *Int. J. Climatol.* 27: 2103–2111 drought characteristic in Fars province, Iran. *Catena*. Pp 35-46.

Nalley, D. Adamowski, J. and Khalil, B. 2012. Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008). *Journal of Hydrology*, 475: 204–228.

Shiau, J. T. 2006. “Fitting Drought Duration and Severity with Two-Dimensional Copulas”, *Water Resources Management*, 20(5): 795–815.

Yang, J. Chang, J. Wang, Y. Li, Y. Hu, H., Chen, Y. ... & Yao, J. 2018. Comprehensive drought characteristics analysis based on a nonlinear multivariate drought index. *Journal of Hydrology*, 557: 651-667.

Zhang, Q. Li., J. Singh, V.P. and Xu, C.Y. 2013. Copula-based spatio-temporal patterns of precipitation extremes in China. *International Journal of Climatology*, 33(5): 1140-1152.



Trend Analysis of Drought Characteristics in Iran Using Univariate and Multivariate Indices

Sana Abdollahi¹, Ommolbanin Bazrafshan^{*2}, Marzieh Shekari³

Abstract

The drought phenomenon contains important characteristics, including duration, severity, peak and frequency. In this study, two indices of drought assessment consist of univariate index (Standardized Precipitation Index: SPI) and multivariate copula-based index (JDI: Joint Deficit Index) are compared. In this regard, the drought characteristics, including the severity, duration, and drought frequency have been studied in 39 synoptic stations of Iran during the 1965–2014. The results showed that the longest duration and maximum severity of each station belongs to the JDI. Also, the frequency of drought in different classes shows the JDI estimates the drought frequency with high accurately, but the SPI-12 provided an unexpected estimation in some stations. In addition, the results of the Mann-Kendall test for the drought characteristics showed that the drought trend with JDI is decreasing while SPI-12 does not show a significant trend in the most stations. Finally, the results showed that JDI provides a complete drought assessment for decision makers and water resource managers.

Keywords: Drought Characteristics, Experimental Copula, Joint Deficit Index, Multivariate Analysis, Trend Analysis

¹ MSc Graduated of Watershed Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, 076-33711049; sana.923110539@gmail.com

² Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Corresponding Author: 076-33711049; O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, 076-33711049: Shekarimuni@hormozgan.ac.ir

Research Paper

Trend Analysis of Drought Characteristics in Iran Using Univariate and Multivariate IndicesSana Abdollahi¹,Ommolbanin Bazrafshan^{2*},Marzieh Shekari³

¹ MSc Graduated of Watershed Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, 076-33711049; sana.923110539@gmail.com

^{2*} Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Corresponding Author: 076-33711049; O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, 076-33711049; Shekarimuni@hormozgan.ac.ir



10.22125/IWE.2020.248886.1416

Received:
September.15.2020
Accepted:
December.12.2020
Available online:
June.01.2022

Keywords:
Drought
Characteristics,
Experimental Copula,
Joint Deficit Index,
Multivariate Analysis,
Trend Analysis

Abstract

The drought phenomenon contains important characteristics, including duration, severity, peak and frequency. In this study, two indices of drought assessment consist of univariate index (Standardized Precipitation Index: SPI) and multivariate copula-based index (JDI: Joint Deficit Index) are compared. In this regard, the drought characteristics, including the severity, duration, and drought frequency have been studied in 39 synoptic stations of Iran during the 1965–2014. The results showed that the longest duration and maximum severity of each station belongs to the JDI. Also, the frequency of drought in different classes shows the JDI estimates the drought frequency with high accuracy, but the SPI-12 provided an unexpected estimation in some stations. In addition, the results of the Mann-Kendall test for the drought characteristics showed that the drought trend with JDI is decreasing while SPI-12 does not show a significant trend in the most stations. Finally, the results showed that JDI provides a complete drought assessment for decision makers and water resource managers.

1. Introduction

Drought is a multidimensional phenomenon that the univariate analysis ignores in many dimensions. Due to its high flexibility, Copula functions have been introduced as a suitable tool for bivariate or multivariate analysis of hydrometeorological phenomena (Bazrafshan et al., 2020a). Copula functions are widely used by researchers today in bi- or multivariate analysis of precipitation, runoff, drought, and flood. Copula functions represent multivariate distributions that can have any form of marginal function, there is a wide range of them, and the common distribution of correlated variables can be obtained from them (Kao and Guvindaraju, 2010).

The aim of this study is to construct the Copula-based multivariate meteorological index, calculate drought characteristics, analyze the trend of drought characteristics and compare it with SPI.

* **Corresponding Author:** Ommolbanin Bazrafshan

Address: Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Iran,

Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

Tel: +987633711045

2. Materials and Methods

In this study, daily precipitation data of 39 synoptic stations during 1965 to 2020 were used. These data were collected from the Meteorological Organization of the country (IRIMO, 2020).

The SPI is an index which is used for evaluation of meteorological drought. To compute this index, we suppose that the X_w represents the total precipitation during w months. Due to the histogram of precipitation data, a suitable right skewed distribution is fitted to X_w and the marginal CDF will be computed as $u_w = F_{X_w}(x_w)$. The SPI then is equal to $SPI = \Phi^{-1}(u_w)$ in which $\Phi(\cdot)$ is the cumulative distribution function of the standard normal (Bazrafshan et al., 2020b).

To compute the SPI_{mod}, Kao and Govindaraju (2010) replaced the cumulative precipitation up to w month (X_w^{month}) with the monthly precipitation data. Here w is one of the months through January to December. For instance the X_1^{Jan} represents the precipitation in January while the X_5^{Aug} shows the cumulative precipitation from January to August. Obviously, as long as $w \leq 12$ the samples are not overlapped. In the other hand, the correlation among observations significantly decreases. In addition, the observations in the simultaneous X_w^{month} are affected by the same seasonal periods (Achite et al., 2022).

The SPI^{mod} can be computed same as the SPI using an appropriate fitted distribution as below

$$SPI_w^{\text{mod}} = \Phi^{-1}(u_w^{\text{month}}) = \Phi^{-1}(F_{X_w^{\text{month}}}(x_w^{\text{month}})) \quad (1)$$

In this study, a modified SPI time scale of 1 to 12 months was used to create the JDI index.

$$JDI = \Phi^{-1}K_C \quad (2)$$

K_C which is defined as $K_C(t) = P[C_{U_1, U_2, \dots, U_{12}}(u_1, u_1, \dots, u_{12}) \leq t]$. Here, the $C_{U_1, U_2, \dots, U_{12}}(u_1, u_1, \dots, u_{12})$ is the cumulative probability that measures the $P[U_1 \leq u_1, \dots, U_{12} \leq u_{12}] = t$.

Also, Mann-Kendall test was used to analyze the trend.

3. Results

In temporal distribution of drought, JDI shows more fluctuations compared to SPI and the conditions are almost the same for the stations in terms of dry and wet conditions. But SPI shows relatively longer periods of wet and dry.

In spatial distribution of drought, JDI shows large parts of northern and central Iran with mild drought and wet season. In contrast to SPI, it shows moderate to severe drought.

T-test was used to compare the drought characteristics of the two indicators (Table 2). The results show that there is a significant difference between the values of intensity and duration of the JDI and SPI.

According to Table 3, the results show that SPI has estimated the frequency of severe drought at 7 stations to be zero. In contrast, JDI did not estimate the drought frequency at zero in any of the three classes under study, and it agrees well with the values expected in Table 1.

Analysis of drought severity and duration showed that JDI shows a stronger trend than SPI.

4. Discussion and Conclusion

The data analysis represents that the JDI is more accurate to identify the beginning and the ending times of drought events compared to SPI. In addition, JDI determines the overall deficit condition very well, based on joint cumulative probability. Generally, since JDI monitors the drought events month by month, hence it is able to provide a comprehensive assessment of drought status. Despite the mathematical complication, JDI provides simpler interpretation of drought condition since it combines various time scales in one index. In the other words, for a duration of specific months, JDI estimates only one specific value while SPI provides several various estimations for various time scales.

Finally, it is suggested that the performance of other univariate indices such as SRI and Z-index and bivariate indices such as SPEI and RDI be compared with the above multivariate index and the uncertainty of these indices be estimated.

5. Six important references

1. Achite, M., Bazrafshan, O., Wałęga, A., Azhdari, Z., Krakauer, N., & Caloiero, T. (2022). Meteorological and Hydrological Drought Risk Assessment Using Multi-Dimensional Copulas in the Wadi Ouahrane Basin in Algeria. *Water*, 14(4), 653.
2. Bazrafshan, O. Zamani, H. Shekari, M. 2020a. A copula-based index for drought analysis in arid and semi-arid regions of Iran. *Natural Resource Modeling*, 33(1): 122-137.
3. Bazrafshan, O. Zamani, H. Shekari, M. and Singh, V. P. 2020b. Regional risk analysis and derivation of copula-based drought for severity-duration curve in arid and semi-arid regions. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-17.
4. Kao, S. C. and Govindaraju, R. S. 2010. A copulabased joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380: 121-134.
5. Mckee, T.B., N. Doeskien, J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA.pp. 379-384.
6. Yang, J. Chang, J. Wang, Y. Li, Y. Hu, H., Chen, Y. ... & Yao, J. 2018. Comprehensive drought characteristics analysis based on a nonlinear multivariate drought index. *Journal of Hydrology*, 557: 651-667

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.