

بررسی کارایی و اصلاح نمایه SPI در پایش خشکسالی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران

سعید شیوخی سوغانلو^۱، مهدی نادی^{۲*}

(۱) دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (Saeid.shiukhy@gmail.com).
(۲) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(نویسنده مسئول: Mehdi.nadi@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵

چکیده:

نمایه بارش استاندارد پرکاربردترین نمایه برای پایش وضعیت خشکسالی است. اما این نمایه تنها از تابع توزیع پیش فرض گاما برای برآزش بر داده‌های بارش استفاده می‌کند و تغییرات فصلی بارش را در نظر نمی‌گیرد. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی نمایه SPI در پایش خشکسالی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و رفع ایرادات آن است. پس از آن نمایه SPI با حالت اصلاح شده آن (SPI_{mod}) در طی دوره‌ی (۱۹۵۶-۲۰۱۰) مقایسه شد. نتایج نشان داد تابع توزیع حدنهایی عمومی در بیش از ۵۷ درصد موارد مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال داده‌های بارش است و توزیع پیش فرض گاما تنها در ۱۱ درصد موارد به عنوان توزیع مناسب انتخاب شد. مقایسه ضرایب کاپا نشان داد که با افزایش پنجره زمانی میزان توافق نمایه‌های SPI_{mod} و SPI افزایش می‌یابد. مقدار این شاخص برای مقیاس یک ماهه ایستگاه‌های تهران (۰/۳۱)، مشهد (۰/۳۳)، بوشهر (۰/۳۲) و خرم‌آباد (۰/۲۶) بدست آمد در حالی که در پنجره زمانی نه ماهه، شاخص کاپا در ایستگاه تهران به مقدار (۰/۴۹) و در ایستگاه‌های مشهد، بوشهر و خرم‌آباد به ترتیب با مقادیر (۰/۴۷)، (۰/۵۶) و (۰/۴۵) افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد فراوانی و جابه‌جایی طبقات خشکسالی در مقیاسه این دو نمایه دستخوش تغییرات بسیار زیادی خواهد شد. به طوریکه جابه‌جایی طبقات نرمال، خشکسالی شدید و ترسالی شدید به ترتیب با مجموع فراوانی ۲۵۹، ۱۴۷ و ۱۱۱ رخداد در پنجره زمانی سه ماهه و جابه‌جایی طبقات خشکسالی متوسط، نرمال و ترسالی متوسط به ترتیب با مجموع فراوانی ۶۸، ۵۴ و ۲۸ رخداد در پنجره زمانی نه ماهه قابل توجه بود.

کلید واژه‌ها: پایش خشکسالی؛ تابع توزیع احتمال؛ شاخص کاپا؛ نمایه پایش خشکسالی

مقدمه

کشور بویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک با تهدید خشکسالی مواجه شوند (امین و ملکی‌نژاد، ۱۳۹۶). از آنجا که پیامدهای ناشی از بروز خشکسالی به تدریج نمایان می‌شوند اما به‌طور کاملاً فراگیر و گسترده تمام نقاط را دربرمی‌گیرند، لذا برآورد اثرات و خسارت‌های احتمالی خشکسالی، بر خلاف سایر مخاطرات طبیعی از قبیل سیل و طوفان که خود تحت تاثیر خشکسالی قرارمی‌گیرند، تا حدی غیرممکن یا امری بسیار دشوار

خشکسالی مهمترین پدیده مخاطره‌آمیز طبیعی محسوب می‌شود که در اثر نواسانات اقلیمی در تمامی نواحی جهان رخ داده و همواره آثار زیانبار و مخربی را به‌دنبال دارد (اقتدارنژاد و همکاران، ۱۳۹۶). بروز پیامدهای جبران‌ناپذیر ناشی از وقوع خشکسالی از یک طرف، و استقرار کشور ایران در کمربند بیابانی کره زمین از سوی دیگر، موجب شده است تمامی نواحی اقلیمی

SPI در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. طبقه‌های خشکسالی بر اساس نمایه SPI (McKee et al., 1993).

نمایه SPI	طبقه
≥ 2	ترسالی خیلی شدید
$1/5 \leq SPI < 2$	ترسالی شدید
$1 \leq SPI < 1/5$	ترسالی متوسط
$-1 < SPI < 1$	نرمال
$-1/5 < SPI \leq -1$	خشکسالی متوسط
$-2 < SPI \leq -1/5$	خشکسالی شدید
$-2 \geq SPI$	خشکسالی خیلی شدید

دیگر مزایای این نمایه امکان پایش منابع رطوبتی کوتاه مدت (رطوبت خاک) و درازمدت (منابع آب سطحی و زیرزمینی) است که این قابلیت امکان توصیف وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی را فراهم می‌سازد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۰). از این رو این نمایه از سایر نمایه‌های پایش خشکسالی متمایز می‌باشد (هاشمی‌نصب و همکاران، ۲۰۱۵). از طرفی، این نمایه دارای ایرادات جدی می‌باشد که می‌بایست هنگام استفاده از آن مورد توجه قرار بگیرد. ناکارآمدی در ماه‌های با بارش صفر (محسنی‌ساروی و همکاران، ۱۳۸۴)، چولگی زیاد و عدم برازش مناسب توزیع احتمال پیش فرض (توزیع گاما) بر داده‌های بارش (Sonmez et al., 2005) می‌باشد. همچنین Govindaraju و Kao (۲۰۱۰) به عدم در نظرگیری نوسانات فصلی در محاسبه نمایه SPI، اشاره نمودند که ممکن است سبب بروز خطاهای چشمگیری در پایش وضعیت خشکسالی شود. در مورد عدم برازش تابع گاما به عنوان تابع توزیع پیش فرض، حجابی و بذرافشان (۱۳۹۴) و مساعدی و قبائی‌سوق (۱۳۹۰) بدان اشاره نمودند که علاوه بر ایشان دریافتند که، استفاده از تابع توزیع مناسب، منجر به جابجایی طبقات خشکسالی بویژه در طبقات خفیف و

به نظر می‌رسد (Keyantash and Dracup, 2002). بنابراین مطالعه و پیش‌بینی خشکسالی نه تنها در محدوده منطقه‌ای بلکه در گستره ملی مستلزم پایش دقیق آن می‌باشد (هدایتی دزفولی، ۱۳۸۴). در طی سال‌های اخیر محققان بسیاری اقدام به پایش و پیش‌بینی خشکسالی کردند که می‌توان به تحقیقات (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴a، ۱۳۸۴b)، (آوند و دولت‌کردستانی، ۱۳۹۸)، (Moghaddasi Bazrafshan et al., 2006)، (Morid et al., 2005)، (et al., 2006)، (Akbari et al., 2016)، (Haied et al., 2017)، (2015)، (Mohammadi et al., 2017)، (Tirivarombo et al., 2018)، (Said et al., 2019) و (Surendran et al., 2019) اشاره کرد. برای پایش وضعیت خشکسالی نمایه‌های زیادی توسعه داده شده‌اند که به صورت گسترده‌ای بعنوان ابزاری کلیدی، جهت کمی‌سازی تعریف خشکسالی در اجرای برنامه‌های خشکسالی استفاده می‌شوند (Wilhite et al., 2007). از جمله نمایه‌های پایش وضعیت خشکسالی می‌توان به نمایه بارش استاندارد^۱ (SPI)، نمایه شدت خشکسالی پالمیر PDSI، نمایه ناهنجاری بارش RAI و دهک‌ها DI اشاره کرد (مساعدی و قبائی‌سوق، ۱۳۹۰). با این وجود، استفاده از نمایه بارش استاندارد SPI بر اساس عنصر بارش و نمایه پالمیر بر مبنای معادله توازن رطوبت خاک نقش بسیار حائز اهمیتی را در زمینه واکاوی و پایش خشکسالی ایفا می‌کند (اقتدارنژاد و همکاران، ۱۳۹۶). از آنجائیکه بسیاری از مناطق کشور دارای اقلیم نیمه‌خشک تا خشک بوده لذا رطوبت موجود در خاک و جریان‌های سطحی عمدتاً تحت تاثیر تغییرات بارش قرار دارند. با توجه به اینکه نمایه‌های خشکسالی علاوه بر سادگی در محاسبات بایستی بتوانند شدت خشکسالی را نیز به خوبی مشخص نمایند، نمایه بارش استاندارد (SPI) ارائه شد (McKee et al., 1993). این نمایه یکی از پرکاربردترین نمایه‌های پایش خشکسالی به حساب می‌آید. طبقه‌بندی کلاسه‌های خشکسالی نمایه

¹ Standardized Precipitation Index

حالت اصلاح شده آن (SPI_{mod}) در پایش طبقات خشکسالی اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور مقایسه دو نمایه SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی مناطق خشک و نیمه‌خشک، از داده‌های بارش ماهانه چهار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک با اقلیم‌های متفاوت استفاده شد. که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس اقلیم‌بندی دمارتن گسترش یافته برای هر ایستگاه یک شاخص دمایی و یک شاخص رطوبتی تعیین می‌شود که شاخص رطوبتی همان شاخص دومارتن و شاخص دمایی میانگین دمای سردترین ماه سال در نظر گرفته می‌شود. سپس بر مبنای ضرایب بدست آمده اقلیم ایستگاه که ترکیبی از وضعیت رطوبتی و دمایی است، تعیین می‌گردد (Rahimi et al, 2013). در جدول شاخص‌های دمایی و رطوبتی و اقلیم ایستگاه‌ها مشخص شده است. ایستگاه‌های مورد مطالعه از اقلیم‌های نیمه‌خشک معتدل، خشک سرد، نیمه‌خشک سرد و خشک گرم انتخاب شدند. همچنین در این مطالعه از دوره‌ی آماری سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۶۵ استفاده شد.

متوسط خشکسالی خواهد شد. همچنین نتایج Beilin و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که فرض پیروی داده‌های بارندگی از توزیع گاما در مقیاس‌های زمانی بیش از یک ماهه‌ی SPI، همواره صادق نیست.

لذا نقش بررسی توابع توزیع احتمال و چگونگی تاثیرشان بر مقدار نمایه SPI بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد. اما در مورد عدم در نظرگیری نوسانات فصلی مطالعه‌ای یافت نشد. با توجه به اینکه نمایه SPI ماه‌های پربارش و کم بارش را در کنار یکدیگر قرار داده و بر همه ماه‌های سال یک تابع توزیع احتمال برازش می‌دهد، این نگرانی وجود دارد که همیشه در ماه‌های کم بارش مقدار این نمایه منفی و در فصل بارش مقدار آن بالاتر از نرمال است. واقعیتی که با اصل تعریف خشکسالی در تضاد است. همچنین این ایراد در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به دلیل نوسانات زیاد بارش ماهانه ممکن است جدی‌تر باشد. بدین ترتیب هدف از این تحقیق، بررسی کارایی نمایه SPI در پایش خشکسالی می‌باشد. همچنین تعیین مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال، به‌جای اتکا بر تابع توزیع پیش فرض گاما و حذف اثرات فصلی در محاسبه نمایه SPI است. سپس مقایسه نمایه SPI با

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مورد بررسی.

ایستگاه سینوپتیک	اقلیم ایستگاه	عرض جغرافیایی (deg)	طول جغرافیایی (deg)	ضریب دومارتن	شاخص دمایی (C°)	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	انحراف معیار بارندگی سالانه (mm)
خرم‌آباد	نیمه‌خشک معتدل	۳۳ ۲۶	۴۸ ۱۷	۱۸/۷۱	۰	۱۱۴۷/۸	۵۰۹	۱۲۷/۱
تهران	خشک سرد	۳۵ ۴۱	۵۱ ۱۸	۸/۵۳	-۰/۴	۱۱۹۱	۲۳۲/۸	۷۱/۶
مشهد	نیمه‌خشک سرد	۳۶ ۱۴	۵۹ ۳۷	۱۰/۵۹	-۳/۸	۹۹۹/۲	۲۵۵/۱	۷۰/۷
بوشهر	خشک گرم	۲۸ ۵۷	۵۰ ۴۹	۸/۰۷	۱۰/۲	۹	۲۷۹/۱	۱۶۶/۱

بصورت سالانه جمع می‌شوند و در صورتی که $w \leq 12$ باشد دیگر همپوشانی نخواهند داشت و درجه‌ی خودهمبستگی میان داده‌ها کاهش خواهد یافت.

McKee و Edwards (۱۹۹۷) به منظور محاسبه نمایه بارش استاندارد SPI تابع توزیع گاما، و Guttman (۱۹۹۹) تابع توزیع پیرسون تپ ۳ را بعنوان مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال معرفی کردند. از طرفی، Bazrafshan و همکاران (۲۰۱۵) و نوحی و عسگری (۱۳۸۵) تابع توزیع جایگزین مناسب‌تری را به جای تابع توزیع پیش فرض گاما در ایران پیشنهاد دادند. از اینرو، در این پژوهش امکان برآزش ۸ تابع توزیع احتمال مختلف شامل؛ نرمال، لوگ-نرمال، گاما، ویبول، نمایی، حدنهایی، حدنهایی عمومی و پرتو عمومی بر داده‌های بارش بررسی شد. در ادامه با بهره‌گیری از آزمون نکویی برآزش کلوموگروف-اسمیرنوف اقدام به انتخاب تابع توزیع مناسب شد.

- شاخص کاپای وزنی کوهن^۱

با توجه به اینکه وضعیت خشکسالی در هر ماه به صورت طبقات گسسته خشکسالی بیان می‌شود به منظور مقایسه و بررسی میزان توافق طبقات خشکسالی پایش شده در هر دو نمایه مورد بررسی، از آماره‌ی کاپای کوهن استفاده شد. این آماره نخستین بار توسط Kohen (۱۹۶۰) معرفی شد. فرض کنید P_{ij} نسبت کل اجزایی از سری زمانی است که به طبقه‌ی i از یک سری و به طبقه‌ی j از سری دوم اختصاص دارد. این نسبت‌ها می‌توانند داخل یک ماتریس شکل بگیرند که قطر اصلی آن شامل نسبت‌های منحصر بفرد P_{ij} اجزایی است که در هر دو سری مطابقت دارند. P_0 مجموع مقادیر P_{ii} است. با در نظر گرفتن $Pe_{,ii}$ به عنوان حاصل ضرب مجموع نسبت‌های ردیف و ستون مربوطه $(Pe_{,ii} = P_{\bullet i} \cdot P_{i \bullet})$ ، مقدار قابل انتظار توافق، برابر است با جمع مقادیر $Pe_{,ii}$ ؛ این جمع را Pe می‌نامیم.

- نمایه بارش استاندارد (SPI)

نمایه بارش استاندارد (SPI) اولین بار توسط McKee و همکاران (۱۸) در ایالت کلرادو آمریکا به منظور پایش خشکسالی ارائه گردید. به طوریکه امروزه از این نمایه در سراسر جهان بطور گسترده‌ای استفاده می‌شود. برای محاسبه این شاخص ابتدا میانگین متحرک داده‌های بارش ماهانه بر اساس پنجره زمانی مشخص w (معمولاً ۱ تا ۱۲ ماه) محاسبه می‌شود $(X_w(t))$. سپس با فرض پیروی داده‌های بارش از توزیع گاما، این توزیع به صورت پیش فرض بر روی سری زمانی ماهانه‌ی بارش تجمعی برآزش می‌یابد. در مرحله بعد احتمال بدست آمده از توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال استاندارد (با میانگین ۰ و واریانس ۱) منتقل شده و عدد معادل سطح هم احتمال به عنوان شاخص SPI در نظر گرفته می‌شود (۲۱).

- نمایه بارش استاندارد اصلاح شده SPI_{mod}

Govindaraju و Kao (۲۰۱۰) به دلایل مهمی چون عدم در نظر گرفتن رژیم سالانه بارش (ناتوانی در تفکیک ماه‌های پر باران از ماه‌های خشک) و همچنین همپوشانی مقادیر مختلف بارندگی در پنجره زمانی معین در طول سری زمانی (برآزش نا اریب توزیع‌های احتمالاتی بویژه در پنجره‌های زمانی بزرگ‌تر)، نمایه بارش SPI_{mod} را بعنوان جایگزینی مناسب در پایش خشکسالی به جای نمایه بارش SPI پیشنهاد کردند. Bazrafshan و همکاران (۲۰۱۵) و Govindaraju و Kao (۲۰۱۰)، پیشنهاد کردند که بارندگی جمع شده برای پنجره زمانی معین $X_w(t)$ بر اساس ماه پایانی گروه‌بندی شود. به عبارت دیگر برای پنجره زمانی معین، سری $X_w(t)$ به ۱۲ سری کوچک‌تر بر اساس ۱۲ ماه سال تقسیم می‌شود. بنابراین در SPI_{mod} ، $X_w(t)$ به $X_w^m(y)$ تغییر پیدا می‌کند که m نمایه ماه برای ماه پایانی پنجره زمانی w ، m نشان دهنده‌ی ماه‌های سال از ۱ (ژانویه) تا ۱۲ (دسامبر) بوده و y نیز نمایه سال می‌باشد. در این روش نمونه‌ها در هر مجموعه $X_w^m(y)$

^۱ Kohen

$$t = \frac{K}{SE} \quad \text{رابطه (۳):}$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum w_{ij}^2 P_{e,ij} - (\sum w_{ij} P_{e,ij})^2}{n(\sum w_{ij} P_{e,ij})^2}} \quad \text{رابطه (۴):}$$

نتایج و بحث

ابتدا مناسب ترین تابع توزیع تجمعی قابل برازش بر داده های بارش بررسی شد. نتایج جدول ۴ که فراوانی انتخاب هر یک از توابع توزیع مورد بررسی را نشان می دهد، تابع توزیع حدنهایی عمومی با فراوانی بیش از ۵۷/۶۴ درصد، بیشترین درصد انتخاب را داشت و پس از آن توابع توزیع ویبول و پرتو عمومی به ترتیب با ۳۳/۸ و ۱۰/۸۸ درصد در رتبه های بعدی قرار گرفتند. همچنین توزیع پیش فرض گاما تنها در ۱۱/۳۴ درصد موارد به عنوان توزیع مناسب انتخاب شد.

جدول ۴. فراوانی توابع توزیع برازش یافته بر بارش ایستگاه های مورد مطالعه

درصد فراوانی نسبی	فراوانی	نماد تابع	تابع توزیع
۷/۶۴	۳۳	N	نرمال (Normal)
۸/۳۳	۳۶	LN	لوگ-نرمال (Log-Normal)
۱۱/۳۴	۴۹	G	گاما (Gama)
۳۳/۸۰	۱۴۶	W	ویبول (Weibol)
۲/۰۸	۹	E	نمایی (Exponential)
۱/۶۲	۷	EV	حدنهایی (Extreme value)
۵۷/۶۴	۲۴۹	GEV	حدنهایی عمومی (General extreme value)
۱۰/۸۸	۴۷	GP	پرتو عمومی (General pareto)

با توجه به اینکه کلاس های خشکسالی به صورت داده های گسسته گزارش می گردد از کاپای وزنی کوهن برای مقایسه توافق دو نمایه مورد بررسی استفاده شد. که نتایج بدست آمده از بررسی شاخص کاپای وزنی در پنجره های زمانی مختلف در جدول ۵ گزارش شد. بر پایه

آماره ی کاپا به صورت زیر تعریف می شود (نادی و همکاران، ۱۳۹۳):

$$k = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad \text{رابطه (۱):}$$

Koch و Landis (۱۹۷۷) طبقه بندی منعکس را برای حدود مختلف K پیشنهاد کردند (جدول ۳).

جدول ۳. محدوده شاخص کاپای وزنی کوهن (K) (Henry et al., 2016).

مقدار شاخص K	توصیف وضعیت توافق
< ۰/۴	ضعیف تا خیلی ضعیف
۰/۴ - ۰/۶۰	متوسط
۰/۶۱ - ۰/۸۰	خوب
> ۰/۸	خیلی خوب تا عالی

در مقایسه طبقات خشکسالی در سری های بدست آمده از دو نمایه، عدم توافق بین طبقه خشکسالی خفیف تا متوسط به بزرگی عدم توافق خشکسالی خفیف تا بسیار شدید نیست.

از این رو با در نظر گرفتن وزن های معین برای هر یک از حالات عدم توافق می توان مقایسه دقیق تری از طبقات SPI در سری های مشاهده شده و پیش بینی شده داشت. با در نظر گرفتن وزن w_{ij} برای عدم توافق در درایه i ماتریس، عدم توافق وزنی از مجموع حاصل ضرب نسبت P_{ij} در w_{ij} بدست می آید. بنابراین، آماره ی کاپای وزنی از رابطه زیر بدست می آید:

$$k = 1 - \frac{\sum w_{ij} P_{ij}}{\sum w_{ij} P_{e,ij}} \quad \text{رابطه (۲):}$$

چنانچه آماره t از عدد جدول t-student در سطح احتمال معین بزرگ تر باشد فرض صفر رد و فرض یک پذیرفته می شود. اگر سطح احتمال ۹۵٪ درصد را مد نظر قرار دهیم چنانچه آماره t بزرگ تر از ۱/۶۴ باشد می توان ادعا نمود که به احتمال ۹۵٪ دو نمایه SPI و SPI_{mod} با یکدیگر توافق دارند. در پایان نیز، کلیه محاسبات مربوطه در محیط نرم افزار متلب انجام شد.

بررسی جزئیات دقیق فراوانی طبقات خشکسالی با استفاده از نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در مقیاس‌های زمانی مختلف، در ایستگاه‌های مورد بررسی نتایج متفاوتی را نشان داد. نتایج حاصل از این بررسی در پنجره‌های زمانی سه ماهه (شکل ۱) و نه ماهه (شکل ۲) ارائه شد. با توجه به نتایج شکل ۱، نمایه SPI در ایستگاه بوشهر با اقلیم خشک گرم، بصورت کاملاً محسوسی در پایش طبقات مختلف ترسالی با مشکل مواجه بود. بطوریکه این نمایه هیچکدام از طبقات خشکسالی خیلی شدید، شدید و متوسط را تشخیص و پایش نمود. به عبارتی نمایه SPI در دوره آماری ۵۵ ساله مورد بررسی هیچگونه وضعیت خشکسالی را در مورد بارش‌های سه ماهه متوالی نشان نداد که این مطلب بسیار غیرواقعی و غیر ملموس می‌باشد. نتایج این نمایه اختلاف بسیار زیادی با نمایه SPI_{mod} داشت. در واقع، تمامی طبقات خشکسالی به استثنای طبقه خشکسالی خیلی شدید دستخوش تغییرات قابل ملاحظه‌ای در پایش وضعیت خشکسالی شدند. بیشترین جابه‌جایی در طبقه نرمال با ۱۴۴ رخداد و پس از آن در طبقه خشکسالی شدید با ۱۱۴ رخداد مشاهده شد. در ایستگاه‌های تهران و مشهد که به ترتیب دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک سرد بودند، نتایج مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پنجره زمانی سه ماهه نسبت به ایستگاه بوشهر اختلاف کمتری داشت و تفاوت آنها در پیش‌بینی طبقات ترسالی خیلی شدید و خشکسالی خیلی شدید

نتایج، در پنجره زمانی سه ماهه، مقدار شاخص کاپا برای ایستگاه‌های تهران (۰/۳۱)، مشهد (۰/۳۳)، بوشهر (۰/۳۲) و خرم‌آباد (۰/۲۶) بود. لذا مقادیر بسیار پایین شاخص کاپا نشان از توافق ضعیف نمایه‌های بارش SPI و SPI_{mod} بود. در واقع نتایج پایش خشکسالی با استفاده از نمایه بارش SPI با یافته‌های بدست آمده از نمایه بارش SPI_{mod} اختلاف چشمگیری را نشان دادند. در پنجره زمانی نه ماهه وضعیت توافق دو نمایه بارش SPI و SPI_{mod} اندکی بهبود یافت. به‌طوریکه شاخص کاپا در ایستگاه تهران به مقدار (۰/۴۹) و در ایستگاه‌های مشهد، بوشهر و خرم‌آباد به ترتیب با مقادیر (۰/۴۷)، (۰/۵۶) و (۰/۴۵) افزایش یافت (جدول ۵). بدین ترتیب در پنجره‌زمانی نه ماهه در مقایسه با پنجره‌های زمانی یک، سه و شش ماهه، وضعیت توافق نمایه‌های بارش SPI و SPI_{mod} از وضعیت ضعیف به حالت توافق متوسط تغییر پیدا کرد. اما در مورد پنجره زمانی دوازده ماهه شاخص کاپا در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد.

مقدار این شاخص در ایستگاه‌های تهران، مشهد و خرم‌آباد مقداری مشابه و برابر (۰/۸۹) و در ایستگاه بوشهر (۰/۹۳) بدست آمد. نتایج بدست آمده از مقدار شاخص کاپا در پنجره زمانی دوازده ماهه، حاکی از بیشترین توافق بین نمایه‌های بارش SPI و SPI_{mod} بود و در نتیجه این دو نمایه در وضعیت توافق عالی قرار گرفتند (جدول ۵).

جدول ۵. بررسی مقادیر کاپای وزنی و وضعیت توافق نمایه‌های بارش استاندارد SPI و SPI_{mod} در پنجره‌های زمانی مختلف در ایستگاه‌های

مورد مطالعه.

پنجره زمانی	تهران		مشهد		بوشهر		خرم آباد	
	کاپا	وضعیت توافق	کاپا	وضعیت توافق	کاپا	وضعیت توافق	کاپا	وضعیت توافق
یک ماهه	0.31*	ضعیف	0.33	ضعیف	0.32	ضعیف	0.26	ضعیف
سه ماهه	0.29	ضعیف	0.20	ضعیف	0.08	ضعیف	0.23	ضعیف
شش ماهه	0.33	ضعیف	0.31	ضعیف	0.27	ضعیف	0.24	ضعیف
نه ماهه	0.49	متوسط	0.47	متوسط	0.56	متوسط	0.45	متوسط
دوازده ماهه	0.89	عالی	0.89	عالی	0.93	عالی	0.89	عالی

*: همه شاخص‌های محاسبه شده در حد اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

بیشترین جابه‌جایی در طبقه نرمال با ۱۴۴ رخداد و پس از آن در طبقه خشکسالی شدید با ۱۱۴ رخداد مشاهده شد. در ایستگاه‌های تهران و مشهد که به ترتیب دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک سرد بودند، نتایج مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پنجره زمانی سه ماهه نسبت به ایستگاه بوشهر اختلاف کمتری داشت و تفاوت آنها در پیش‌بینی طبقات ترسالی خیلی شدید و خشکسالی خیلی شدید نسبت به سایر طبقات آشکارتر بود. به‌طوریکه فراوانی طبقه ترسالی خیلی شدید در تهران بیشترین جابه‌جایی در طبقه ترسالی شدید با ۳۶ رخداد و کمترین جابه‌جایی در طبقه ترسالی متوسط با ۳ رخداد دیده شد. در حالی که در ایستگاه مشهد بیشترین و کمترین جابه‌جایی به ترتیب مربوط به طبقات نرمال و خشکسالی شدید با ۴۴ و ۶ رخداد بود (جدول ۶).

همچنین نتایج مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در ایستگاه خرم‌آباد با اقلیم نیمه‌خشک معتدل در پیش‌بینی طبقات خشکسالی خیلی شدید، ترسالی شدید و ترسالی خیلی شدید، اختلاف بسیار محسوس را نشان داد. که براساس نتایج، نمایه SPI در طبقات مذکور فاقد فراوانی بود. در حالی که نمایه SPI_{mod} فراوانی طبقات خشکسالی خیلی شدید، ترسالی شدید و ترسالی خیلی شدید را به ترتیب ۱۴، ۲۷ و ۸ رخداد پیش‌بینی کرد (شکل ۱). به‌طور کلی مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پنجره زمانی سه ماهه نشان داد، بیشترین اختلاف در پایش وضعیت

نسبت به سایر طبقات آشکارتر بود. به‌طوریکه فراوانی طبقه ترسالی خیلی شدید در تهران بیشترین جابه‌جایی در طبقه ترسالی شدید با ۳۶ رخداد و کمترین جابه‌جایی در طبقه ترسالی متوسط با ۳ رخداد دیده شد. در حالی که در ایستگاه مشهد بیشترین و کمترین جابه‌جایی به ترتیب مربوط به طبقات نرمال و خشکسالی شدید با ۴۴ و ۶ رخداد بود (جدول ۶).

بررسی جزئیات دقیق فراوانی طبقات خشکسالی با استفاده از نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در مقیاس‌های زمانی مختلف، در ایستگاه‌های مورد بررسی نتایج متفاوتی را نشان داد. نتایج حاصل از این بررسی در پنجره‌های زمانی سه ماهه (شکل ۱) و نه ماهه (شکل ۲) ارائه شد. با توجه به نتایج شکل ۱، نمایه SPI در ایستگاه بوشهر با اقلیم خشک گرم، بصورت کاملاً محسوسی در پایش طبقات مختلف ترسالی با مشکل مواجه بود. به‌طوریکه این نمایه هیچکدام از طبقات خشکسالی خیلی شدید، شدید و متوسط را تشخیص و پایش ننمود. به عبارتی نمایه SPI در دوره آماری ۵۵ ساله مورد بررسی هیچگونه وضعیت خشکسالی را در مورد بارش‌های سه ماهه متوالی نشان نداد که این مطلب بسیار غیر واقعی و غیر ملموس می‌باشد. نتایج این نمایه اختلاف بسیار زیادی با نمایه SPI_{mod} داشت. در واقع، تمامی طبقات خشکسالی به استثنای طبقه خشکسالی خیلی شدید دستخوش تغییرات قابل ملاحظه‌ای در پایش وضعیت خشکسالی شدند.

جدول ۶. تعداد ماه‌های عدم تطابق دو نمایه SPI و SPI_{mod} در پایش طبقات مختلف خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی در پنجره زمانی سه ماهه.

طبقات خشکسالی	تهران	بوشهر	مشهد	خرم‌آباد	مجموع فراوانی
ترسالی خیلی شدید	۱۳	۹	۱۰	۸	۴۰
ترسالی شدید	۳۶	۱۹	۲۹	۲۷	۱۱۱
ترسالی متوسط	۳	۳۲	۲۰	۹۳	۱۴۸
نرمال	۲۲	۱۴۴	۴۴	۴۹	۲۵۹
خشکسالی متوسط	۲۵	۳۱	۲۵	۲۴	۱۰۵
خشکسالی شدید	۸	۱۱۴	۶	۱۹	۱۴۷
خشکسالی خیلی شدید	۱۵	۱	۱۴	۱۴	۴۴

پایین (یک، سه، شش ماهه)، نشان داد. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان اینگونه اظهار داشت که استفاده از تابع توزیع پیش فرض گاما در محاسبه نمایه بارش SPI در پایش خشکسالی عمومیت نداشته و می‌بایست با توجه به داده‌های بارش در اقلیم‌های مختلف بویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، از تابع توزیع مناسب جهت برازش داده‌های بارندگی بهره برد. یافته‌های این مطالعه با نتایج مساعدی و قبائی سوق (۱۳۹۰)، Bazrafshan و همکاران (۲۰۱۵) مبنی بر لزوم استفاده از تابع توزیع جایگزین مناسب‌تری به جای تابع توزیع پیش فرض گاما همخوانی داشت. البته در تحقیق حاضر برازش توابع توزیع احتمال بیشتری (۸ تابع توزیع احتمال) بر داده‌های بارش بررسی شد و تابع حد نهایی عمومی بیشترین فراوانی انتخاب را داشت. چیزی که در مطالعات فوق بدان پرداخته نشده بود.

عدم کارایی نمایه SPI در مقایسه با SPEI در مطالعه نصرتی (۱۳۹۳) نیز اشاره شده است بطوریکه ایشان نشان داد که این دو نمایه دارای همبستگی معنی‌دار بودند اما شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی داشت. حجابی و بذرافشان (۱۳۹۴) نیز با مقایسه دو رهیافت محاسبه‌ی شاخص بارندگی استاندارد (SPI_g و SPI_p) در اقلیم‌های خشک و مرطوب ایران نشان دادند که در هر سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به طور متوسط فراوانی اختلاف معنی‌دار در نتایج دو روش، در طبقه نرمال حداکثر بود. همچنین طبقات ترسالی خیلی شدید، ترسالی خفیف، خشکسالی متوسط و خشکسالی خفیف دارای بیشترین فراوانی از لحاظ اختلاف معنی‌دار در نتایج دو روش بودند. این نتایج با یافته‌های این پژوهش مبنی بر اختلاف بسیار قابل توجه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی بویژه جابه‌جایی طبقات خشکسالی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، همخوانی داشت. همچنین مساعدی و قبائی سوق (۱۳۹۰) نیز نشان دادند که، انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال در نمایه SPI باعث جابه‌جایی طبقات مختلف خشکسالی در ۱۰ ایستگاه از ۱۱ ایستگاه مورد

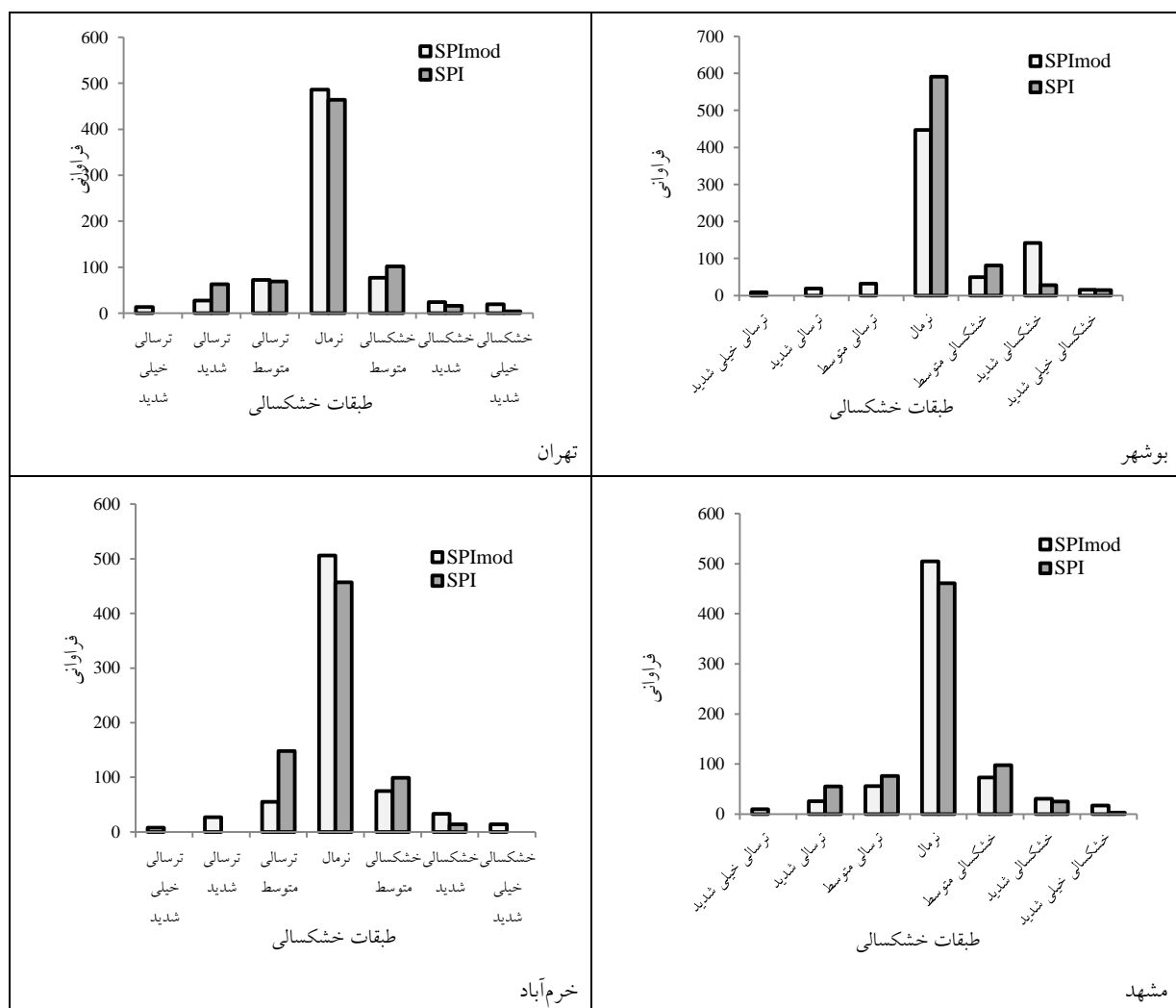
خشکسالی در طبقات نرمال، خشکسالی شدید و ترسالی شدید به ترتیب با فراوانی ۲۵۹، ۱۴۷ و ۱۱۱ رخداد وجود دارد (جدول ۶). بدین ترتیب می‌توان اینگونه اظهار داشت که در پنجره زمانی سه ماهه، نمایه SPI در پیش‌بینی فراوانی طبقات خشکسالی اختلاف چشمگیری با نمایه SPI_{mod} داشته و حتی این ایراد در مناطق با اقلیم نیمه‌خشک معتدل نیز تشدید شده است.

همچنین نتایج حاصل از تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی با استفاده از نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پنجره زمانی نه ماهه، ارائه گردید (شکل ۲). بر اساس نتایج بدست آمده در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، فراوانی طبقات خشکسالی در مقایسه با پنجره زمانی سه ماهه اختلاف آشکاری نداشتند. به‌طوریکه در ایستگاه تهران طبقه نرمال با ۷ جابه‌جایی و طبقه ترسالی متوسط با ۲ جابه‌جایی به ترتیب بیشترین و کمترین تغییر را نشان دادند. در ایستگاه بوشهر طبقات نرمال و خشکسالی متوسط با ۱۸ مورد جابه‌جایی بیشتر دستخوش تغییر شدند و کمترین جابه‌جایی مربوط به طبقه ترسالی خیلی شدید با ۱ مورد جابه‌جایی بود. (جدول ۷). این در حالی بود که در ایستگاه مشهد و خرم‌آباد به‌طور مشابهی طبقه خشکسالی متوسط به ترتیب با ۲۴ و ۲۳ رخداد جابه‌جایی و طبقه خشکسالی شدید با ۱ مورد جابه‌جایی بیشترین و کمترین تغییر را نشان دادند (جدول ۷). به‌طور کلی مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پنجره زمانی نه ماهه نیز نشان داد، بیشترین جابه‌جایی طبقات در پایش وضعیت خشکسالی در طبقات خشکسالی متوسط، نرمال و ترسالی متوسط به ترتیب با فراوانی ۶۸، ۵۴ و ۲۸ مورد وجود داشت که در مقایسه با پنجره زمانی سه ماهه اختلاف کمتری نشان داد (جدول ۷).

در حقیقت می‌توان اینگونه بیان کرد که در پنجره‌های زمانی بالاتر، استفاده از نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی بویژه تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی در اقلیم‌های مختلف مورد مطالعه، اختلاف چندان زیادی نشان نداد و تقریباً نتایج یکسانی را در مقایسه با پنجره‌های زمانی

در این تحقیق ادعا می شود تا گام زمانی ۶ ماهه نمایه SPI دارای ایراد جدی در پایش خشکسالی است این در حالیست که اغلب منابع رطوبتی مانند رطوبت خاک و جریان رودخانه در گام های زمانی SPI کمتر از ۶ ماه بررسی می شوند.

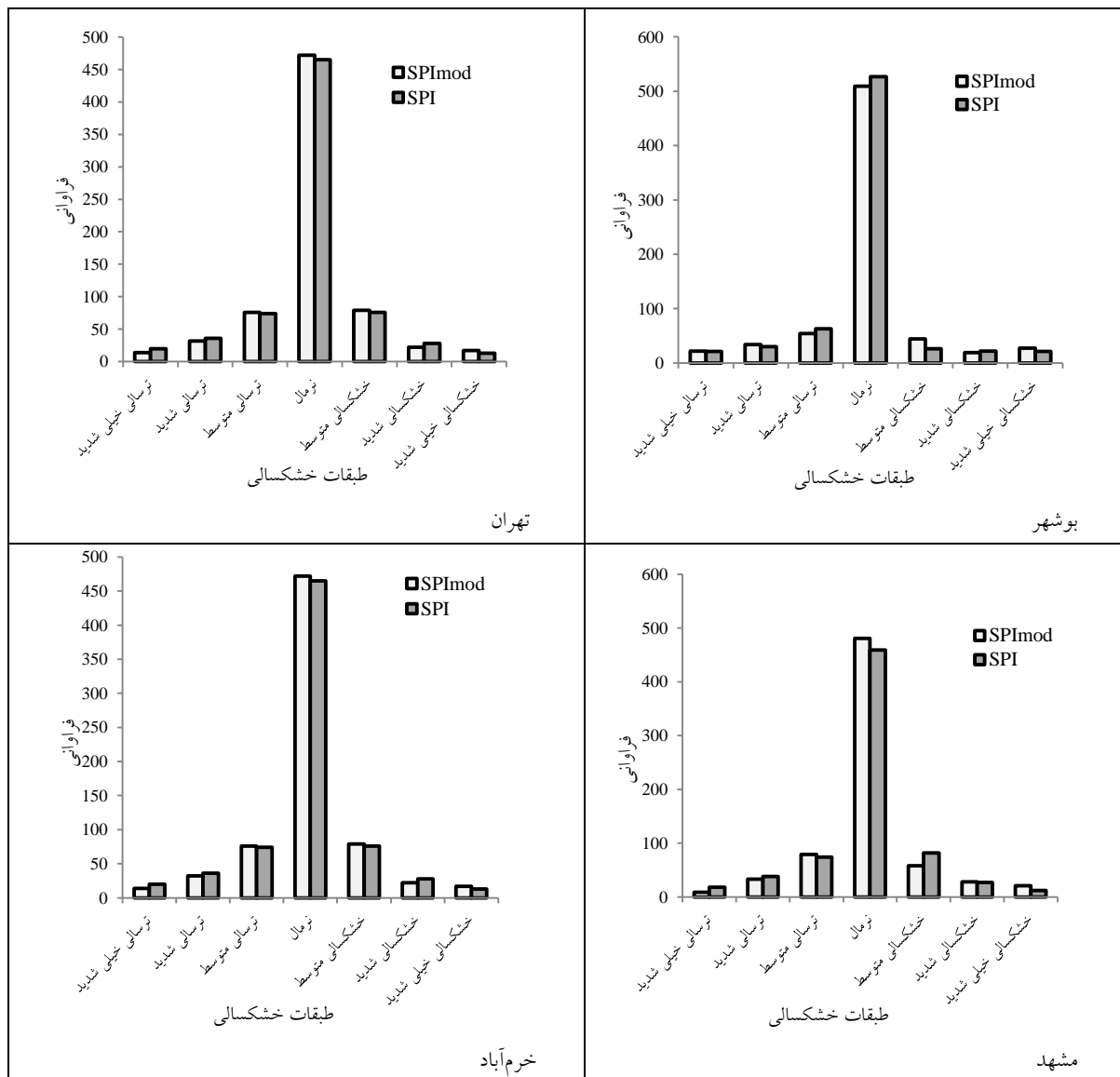
بررسی می شود. اما بر اساس منابع موجود بررسی شده توسط نویسندگان تاکنون هیچ یک از مطالعات انجام شده در ایران به طور جدی ضعف نمایه SPI در پایش خشکسالی در ایستگاه های خشک و نیمه خشک اشاره نمودند به طوریکه



شکل ۱. مقایسه نمایه های SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی اقلیم های مورد مطالعه در گام زمانی سه ماهه.

جدول ۷. تعداد ماه های عدم تطابق دو نمایه SPI و SPI_{mod} در پایش طبقات مختلف خشکسالی ایستگاه های مورد بررسی در پنجره زمانی نه ماهه

طبقات خشکسالی	تهران	بوشهر	مشهد	خرم آباد	مجموع فراوانی
ترسالی خیلی شدید	۶	۱	۹	۷	۲۳
ترسالی شدید	۴	۴	۵	۲	۱۵
ترسالی متوسط	۲	۹	۵	۱۲	۲۸
نرمال	۷	۱۸	۲۲	۷	۵۴
خشکسالی متوسط	۳	۱۸	۲۴	۲۳	۶۸
خشکسالی شدید	۶	۳	۱	۱	۱۱
خشکسالی خیلی شدید	۴	۶	۹	۸	۲۷



شکل ۲. مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی اقلیم‌های مورد مطالعه در گام زمانی نه

ماهه.

نتایج، لزوم استفاده از تابع پیش فرض گاما همواره صادق نبوده و جایگزینی توزیع‌های مناسب به‌جای استفاده مطلق از توزیع گاما اجتناب ناپذیر می‌باشد. Bazrafshan و همکاران (۲۰۱۵) و مساعدی و قبائی‌سوق (۱۳۹۰) نیز نتایج مشابهی در این باره گزارش نمودند. مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی حاکی از اختلاف بسیار چشمگیر این دو نمایه در پنجره زمانی سه ماهه در مقایسه با پنجره زمانی نه ماهه بود. به‌طوریکه نتایج بدست آمده از بررسی شاخص کاپای وزنی در

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف مقایسه نمایه‌های SPI و SPI_{mod} جهت پایش خشکسالی مناطق خشک و نیمه خشک ایران انجام شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که از میان پرکاربردترین توابع توزیع احتمال قابل برازش بر داده‌های بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی، توابع توزیع حد نهایی عمومی و ویبول به ترتیب مناسب‌ترین توابع توزیع احتمال بودند و توزیع پیش فرض گاما تنها در ۱۱/۳۴ درصد ماه‌ها مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال بود. بر پایه

نمایه‌ها جستجو کرد. به طوری که نمایه SPI_{mod} به دلیل تفکیک ماهانه بارش، ماه‌های کم بارش و پر بارش را بطور جداگانه تحلیل و پایش می‌کند در حالی که نمایه SPI با در نظرگیری کل دوره در غالب یک سری داده و برآزش یک تابع توزیع احتمال بر آن، ماه‌های کم بارش و پر بارش را در کنار یکدیگر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه بخش بزرگی از گستره ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد، توصیه می‌شود برای پایش دقیق خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از نمایه SPI_{mod} به جای نمایه SPI بویژه در اقلیم‌های گرم و خشک استفاده گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق از محل طرح تحقیقاتی شماره ۱۴-۱۳۹۷-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

پنجره‌های زمانی یک، سه و شش ماهه، برای ایستگاه‌های مورد بررسی بسیار پایین بود که نشان از توافق ضعیف نمایه‌های بارش SPI و SPI_{mod} بود. لذا اختلاف آشکار نمایه‌های SPI و SPI_{mod} در پایش خشکسالی به صورت کاملاً محسوسی نمایان بود. این در حالی بود که در پنجره زمانی نه ماهه اختلاف موجود بین نمایه‌های بارش SPI و SPI_{mod} در مقایسه با پنجره‌های زمانی پایین تر بسیار کمتر بود. همچنین تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی نیز نشان داد که استفاده از نمایه‌های SPI و SPI_{mod} نتایج متفاوتی را به دنبال خواهند داشت. بدین ترتیب می‌توان به نتایجی از قبیل جابه‌جایی طبقات نرمال، خشکسالی شدید و ترسالی شدید به ترتیب با مجموع فراوانی ۲۵۹، ۱۴۷ و ۱۱۱ رخداد در پنجره زمانی سه ماهه و جابه‌جایی طبقات خشکسالی متوسط، نرمال و ترسالی متوسط به ترتیب با مجموع فراوانی ۶۸، ۵۴ و ۲۸ رخداد در پنجره زمانی نه ماهه اشاره کرد. علت این اختلاف‌ها را می‌توان در نحوه محاسبه و تحلیل و پایش خشکسالی توسط هر یک از این

منابع مورد استفاده

- اقتدارنژاد، م. ا.، بذرافشان، ا. و بذرافشان، ج. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده در ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی. ۵(۲): ۳۵-۴۶.
- آوند، م. و دولت کردستانی، م. ۱۳۹۸. پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از مقایسه شاخص‌های SPI, ZSI, CZI و MCZI (مطالعه موردی: استان کهکلوپه و بویر احمد). نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. ۷(۲۷): ۱-۲۲.
- حجابی، س. و بذرافشان، ج. ۱۳۹۰. مقایسه‌ی دو رهیافت محاسبه‌ی شاخص بارندگی استاندارد در اقلیم‌های خشک و مرطوب ایران. نشریه علوم مهندسی آبخیزداری ایران. ۹(۲۸): ۶۱-۶۴.
- محسنی ساروی، م.، صفدری، ع.، ثقفیان، ب. و مهدوی، م. ۱۳۸۳. تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی‌های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI). نشریه منابع طبیعی ایران، ۵۷(۴): ۶۲۰-۶۰۷.
- مساعدی، ا. و قبائی‌سوق، م. ۱۳۹۰. تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بر اساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال. نشریه آب و خاک، ۲۵(۵): ۱۲۰۶-۱۲۱۶.
- مقدسی، م.، مرید، س.، قائمی، ه. و سامانی، ج. م. ۱۳۸۴a. پایش روزانه خشکسالی در استان تهران. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۶(۱): ۵۱-۶۲.

مقدسی م.، پایمزد، ش. و مرید، س. ۱۳۸۴b. پایش مکانی خشکسالی سالهای ۱۳۷۸-۱۳۷۷ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ استان تهران با استفاده از شاخصهای DI، SPI و EDI و سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علمی- پژوهشی مدرس علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس. سال ۹ شماره ۱، ۱۹۷-۲۱۷.

نادی، م.، پورطهماسبی، ک.، بذرافشان، ج. و براونینگ، ه. ۱۳۹۳. بازسازی حلقه درختی دوره‌های خشک دو قرن اخیر در چند رویشگاه جنگلی ایران. ۱۳۹۳. رساله دکتری. استاد راهنما: دکتر کامران پورطهماسبی. پردیش کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

نصرتی، ک. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) جهت شناسایی خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران. فصلنامه علوم محیطی، ۱۲(۴): ۷۴-۶۳.

نوحی، ک. و عسگری، ع. ۱۳۸۵. مطالعه خشکسالی و دوره بازگشت خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در منطقه قم. خشکسالی کشاورزی، شماره ۱۵، ۴۷-۵۹.

هاشمی نسب، آ.، بذرافشان، ج. و نازی قمشلو، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص خشکسالی کمبود توام تحت شرایط اقلیمی ایران، نشریه حفاظت منابع آب و خاک ایران، ۴(۳): ۵۳-۶۴.

هدایتی دزفولی، ا.، و صداقت‌کردار، ع. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی و روند آن در استان کهکلوپه و بویراحمد. مجله علمی و فنی نیوار، شماره‌های ۵۸ و ۵۹، ۶۱-۷۴.

- Akbari, M., M. Ownegh., Asgari, H., Sadoddin, A. and Khosrvi, H. 2016. Drought Monitoring Based on the SPI AND RDI Indicators under Climate Change Scenarios (Case Study: Semi-Arid Area of West Golestan Province). *ECOPERSIA*. 4(4), 1585-1602.
- Bazrafshan, J., Nadi M. and Ghorbani, KH. 2015. Comparison of Empirical Copula-Based Joint Deficit Index (JDI) and Multivariate Standardized Precipitation Index (MSPI) for Drought Monitoring in Iran. *Water Resources Management*. 29(6): 2027-2044.
- Blain, G.C. 2011. Standardized Precipitation Index based on Pearson Type III Distribution. *Journal of Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(2): 167-180.
- Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20: 37-46.
- Edwards, D.C. and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Journal of Atmospheric Science*, 634:1-30.
- Guttman, N.B. 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: a Calculation Algorithm. *Journal of American Water Resources Association*. 35(2):311-322.
- Haied, N., Foufou, A. Chaab, S. Azlaoui, M. Khadri. Benzahia, K. and Benzahia, I. 2017. Drought assessment and monitoring using meteorological indices in a semi-arid region. *Energy Procedia*. 119: 518-529.
- Henry, F., Herwindiati, E. D. and Mulyono, S. 2016. Sugarcane Land Classification with Satellite Imagery using Logistic Regression Model. *International Conference on Information Technology and Digital Applications*. 6pp.
- Kao, Sh.Ch. and Govindaraju, R.S. 2010. A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380: 121-134.
- Keyantash, J. and Dracup, J.A. 2002. The Quantification of Drought Indices, American Meteorological Society, 83(8): 1167-1180.
- Landis, J.R. and Koch, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Journal of Biometrics*, 33: 159-174.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought frequency and Duration to Time Scales. *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, 179-184.
- Mohammadi, H., Abasi, M. and Bazrafshan, J. 2017. Drought Monitoring in Chaharmahl-Bakhtiyari Province in Iran. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v (32):4, 615-621.
- Moghaddasi, M., Morid S., Byun, H. R., Ghaemi, H. and Samani L.M. (2006) Drought monitoring using deciles index, standardized precipitation index and effective drought index in Tehran Province, Iran, *Iran Agriculture Research*, 23(1)

- Morid, S., Smakhtin, V. and Moghaddasi, M. (2005) Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*.26:971-985.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A. 2013. Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 112: 409-418.
- Said., A.A., Cetin, M. and Yurtal, R. 2019. Drough Assessment and Monitoring Using Some Drought Indicators in the Semi-Arid Putland State of Somalia. *Fresenius Environmental Bulletin*. 28(11A): 8765-8772.
- Sonmez, F.K., Komuscu, A.U., Erkan, A. and Turgu, E. 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulverability in Turkey using the precipitation index. *Natural Hazards*, 35: 243-264.
- Surendran, U., Anagha, B., Raja, P., Kumar, V., Rajan, K. and Jayakumar, M. 2019. Analysis of Drought from Humid, Semi-Arid and Arid Regions of India Using DrinC Model with Different Drought Indices. *Water Resources Management*. 33: 1521-1540.
- Tirivarombo, S., Osupile, D. and Eliasson, P. 2018. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth*, 106: 1-10.
- Wilhite, D.A., Svoboda, M.D. and Hayes, M.J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Recourses Management* 21:763-774. doi:10.1007/s11269-006-9076-5.



Performance evaluation and modification of SPI in drought monitoring of arid and semi arid regions of Iran

Saeid Shiukhy Soqanloo¹ and Mehdi Nadi^{2*}

1*) PhD student of Agrometeorology, Ferdowsi university of Mashhad (FUM).

*Corresponding author email: (Mehdi.nadi@Gmail.com), Tel: 09113106189.

2) PhD of Agrometeorology Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University.

Received: 16-09-2019

Accepted: 14-01-2021

Abstract

Standard precipitation index (SPI) is the most widely drought monitoring index. However, this index only uses the gamma distribution function for fitting precipitation data and does not consider seasonal variations. The purpose of this study was to evaluate the efficiency of SPI in drought monitoring of arid and semi-arid regions of Iran and fix the related problems with this Index. Then the SPI was compared with its modified state (SPI_{mod}) over (1956–2010). The results showed that the generalized extreme value distribution function in more than 57% of the cases was the most appropriate probability distribution function of rainfall data. But the default distribution (Gamma) was selected only in 11% of months. Comparison of Kappa index showed that with increasing time window, the agreement between SPI_{mod} and SPI indexes increases. The amount of one-month Kappa for studied stations was Tehran (0.31), Mashhad (0.33), Bushehr (0.32) and Khorram-Abad (0.26), while for nine-month the Kappa increased. Such that in Tehran (0.49) and in Mashhad, Bushehr and Khorramabad, respectively, with values (0.47), (0.56) and (0.45). Also, the results showed that the frequency and displacement of drought classes would be very variable in comparison to these two indices. As the displacement of normal, severe drought and severe, with a total of 259, 147 and 111 events in the time window-three and displacement of moderate drought, normal and moderate wet year, with a total of 68, 54 And 28 events in time window-nine were noticeable.

Keywords: Drought monitoring, Probability distribution function, Kappa index, Drought monitoring index.