

پایش و ارزیابی شدت دوره‌های خشک مشهد در مقیاسهای زمانی متفاوت با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI^1)

سیدحسین ثنائی نژاد، حسین انصاری، کامران داوری و سعید مرید*^۲

چکیده

دوره خشک (Drought) یک پدیده طبیعی است که به کندی آغاز، به آرامی گسترش و به شدت بر همه جوانب فعالیت‌های بشری تاثیر می‌گذارد. این پدیده خزنده در تمام رژیم‌های اقلیمی شامل نواحی با بارندگی زیاد یا کم اتفاق می‌افتد، که وقوع آن ناشی از کمبود بارندگی برای یک دوره زمانی مشخص نسبتاً طولانی نسبت به بارندگی نرمال می‌باشد. بررسی دوره‌های خشک در یک دوره آماری ۳۲ ساله (۱۹۶۸-۱۹۹۹) در منطقه مشهد گویای آنست که وقوع این دوره‌ها در این منطقه یک مشخصه نرمال و طبیعی است که به کرات اتفاق می‌افتد. در این منطقه بطور متوسط در هر ۱۰ سال دوره‌های خشک شدیدی با تداوم زیاد (بیشتر از یک سال) اتفاق افتاده است. روند تغییرات طولانی مدت دوره‌های خشک در این منطقه نشان می‌دهد که در سالهای اخیر تکرار و تداوم خشکی‌ها در کلیه مقیاسهای زمانی افزایش اما شدت آنها کاهش یافته است. این بررسی نشان می‌دهد که شدیدترین دوره خشک یک ساله (خشکسالی) در طول دوره آماری در سال ۱۹۷۱ اتفاق افتاده و سال ۱۹۹۲ مرطوبترین سال در طول دوره آماری بوده است. همچنین مشخص شد که در اثر ترکیب دوره‌های خشک با مقیاس زمانی کوتاه که دارای تداوم کم و شدت زیاد هستند، دوره‌های خشکی با مقیاس زمانی طولانی شکل می‌گیرد که شدت کمتر و تداوم بیشتری دارند.

واژه‌های کلیدی: دوره خشک، تداوم دوره خشک، تکرار دوره خشک، شاخص استاندارد شده بارندگی

¹ - Standardized Precipitation Index

^۲- به ترتیب عضو هیئت علمی گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد: میدان آزادی - دانشگاه فردوسی - دانشکده کشاورزی - گروه آبیاری. E- Mail: Sanaei_h@yahoo.co.uk، دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس، عضو هیئت علمی گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و عضو هیئت علمی گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

* وصول: ۸۱/۱۰/۱۵ و تصویب: ۸۲/۶/۹

مقدمه

تعریف دوره خشک (Drought) همواره یک مانع دست و پاگیر برای پایش و تجزیه و تحلیل درست آن می باشد با این وجود تاکنون تعاریف زیادی برای آن ارائه شده که تمام تعاریف در این نکته مشترکند که دوره های خشک در اثر کمبود رطوبت ناشی از کمبود بارندگی در طول یک دوره زمانی مشخص، بوجود می آید و میزان آسیب های ناشی از آن به عوامل زیادی بستگی دارد. از جمله این عوامل می توان به طول دوره های که کمبود بارندگی در آن اتفاق افتاده (دوره خشک)، میزان بارندگی مؤثری که کمبود منابع آبی قابل استفاده را باعث شده، میزان عرضه و تقاضای آب، مدت زمان تبدیل بارندگی به هر یک از منابع قابل استفاده و مقیاس زمانی متفاوت مربوط به نحوه استفاده از آب و منابع آبی اشاره کرد. بنابراین شدت دوره های خشک و تاثیرات کمبود آب تابع پیچیده ای از منابع آبی موجود و چگونگی بهره برداری از آنها می باشد، که بر اساس مقیاس زمانی که در آن کمبود بارندگی اتفاق افتاده، و نیز شدت و درجه این کمبود انواع متفاوتی از دوره های خشک (هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی) پدیدار می گردد. بعنوان مثال، دوره های خشک کشاورزی (رطوبت خاک) در یک مقیاس زمانی کوتاهتری نسبت به دوره های خشک هیدرولوژیکی (آبهای زیرزمینی، جریان رودخانه ای و منابع آب) اتفاق می افتد.

دوره خشک یا خشک دوره معادل کلمه Drought است و متفاوت از کلمه خشکی (Dry) که نشان دهنده اقلیم خشک است، می باشد. زیرا برخلاف عرف معمول که از کلمه Drought به عنوان خشکسالی یاد می شود در ادامه مشخص خواهد شد که این واژه، واژه مناسبی نیست و خشکسالی از تداوم دوره های خشکی که باعث بوجود آمدن اثرات زیانباری در مدت یک سال می شوند، بوجود می آید، مثلاً ممکن است در یک سال خاص تنها در دو ماه از سال مقدار شاخص، شرایط کمبود ذخیره رطوبتی نسبت به نرمال را نشان داده و در دیگر ماهها، ذخیره رطوبتی بیشتر از نرمال باشد، لذا نمی توان آن سال را بعنوان سال خشک معرفی نمود، بلکه تنها همان دو ماه یا دوره دو ماهه، بعنوان دوره خشک (Drought) معرفی می گردد و اثرات ناشی از کمبود ذخیره رطوبتی هم به همان دو ماه برمی گردد، یا ممکن است یک دوره خشک ۱۵ ماه طول بکشد، که این دوره خشک مجدداً نمی تواند نشان دهنده دو سال خشک یا خشکسالی های متوالی باشد. بطور کلی

تکرار، تداوم و شدت دوره های خشک همگی توابعی هستند که به طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته اند. بنابراین برای پایش دوره های خشک، ارائه شاخصی که در آن مقیاس زمانی مدنظر قرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار بوده و برای تحلیل و بررسی این پدیده و اثرات آن بر محیط کاربردهای فراوانی دارد. بدین جهت میتوان از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI) که به وسیله McKee و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده، استفاده کرد. این شاخص یکی از معدود شاخص های پایش دوره های خشک و حتی می توان گفت تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی برای پایش دوره خشک مدنظر قرار گرفته است و بدین جهت از انعطاف پذیری بالایی در تعیین و پایش این دوره ها و بررسی اثرات این پدیده بر ذخایر آبی کوتاهمدت (بخش کشاورزی) و بلندمدت (آبهای زیرزمینی)، برخوردار است در صورتیکه شاخص هایی مانند شاخص پالم (Palmer, ۱۹۶۵) که کاربرد بسیاری در سطح جهان دارد، این امکان را بدست نمی دهد و این شاخص بطور ذاتی یک مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را در محاسباتش مد نظر قرار می دهد (McKee و همکاران، ۱۹۹۵). با توجه به خصوصیات شاخص SPI، این شاخص در سرتاسر دنیا برای پایش دوره های خشک مورد استفاده قرار گرفته است. پایش دوره های خشک سالهای ۹۴-۱۹۹۳ کلرادو توسط (McKee و همکاران، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) نمونه ای از پایش این دوره ها با استفاده از SPI می باشد. در تحقیقی دیگر Yamoah و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که استفاده از نتایج SPI برای تعیین اثرات آب و هوا بر روی عملکرد گیاهان خیلی سودمند است. دوره های خشک ۶-۱۹۹۵ صحراهای جنوبی و ایالات جنوب غربی ایالات متحده هم با استفاده از SPI توسط Hayes و همکاران (۱۹۹۸) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پایش و تحلیل دوره های خشک نبراسکا توسط Edwards و McKee (۱۹۹۷) با استفاده از SPI نمونه ای دیگر از این تحقیقات است. مقادیر SPI برای ۴۰ ایستگاه در ۷ بخش اقلیمی متفاوت در ترکیه نیز برای دوره آماری ۹۷-۱۹۴۰ و برای مقیاسهای زمانی ۱۲، ۶، ۳ و ۲۴ ماهه توسط Komuscu (۱۹۹۹) محاسبه شد. از SPI برای پایش دوره های خشک مناطق ساحلی غرب آفریقا توسط Agnew (۲۰۰۰) استفاده شد. از جمله مطالعات دیگر میتوان به مطالعات محققین در مجارستان (Szalai و همکاران، ۱۹۹۳؛ Bussay و همکاران، ۲۰۰۰) اشاره کرد. آنها در مطالعاتشان برای پایش دوره های خشک این کشور از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI) و شاخص پالم

تناوب و تکراری دوره‌هایی با درجه مشخص وقوع می‌پیوندند؟

مواد و روشها

در ابتدا داده‌های ماهانه بارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد در دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۶۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای پایش شرایط دوره‌های خشک و بررسی روند تغییرات طولانی مدت آن از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI)، استفاده شد. به کمک این شاخص می‌توان عواملی نظیر تاریخ شروع و خاتمه و نیز تداوم و شدت دوره‌های خشک را در مقیاسهای زمانی مختلف پایش کرد. دوره خشک در مقیاس زمانی مشخص و در یک دوره معین، زمانی وقوع می‌پیوندد که در آن دوره SPI بصورت پیوسته منفی باشد. این دوره زمانی شروع می‌شود که SPI برای اولین بار به زیر صفر رسیده و زمانی که این مقدار به بالای صفر افزایش یابد، به پایان می‌رسد. شدت دوره‌های خشک هم که بعنوان یک پارامتر مهم در پایش و تحلیل این دوره‌ها می‌باشد، با استفاده از شاخص SPI قابل تعریف است، لذا مک‌کی و همکاران طبقه‌بندی ارائه شده در جدول ۱ را با توجه به خصوصیات شاخص و زمان وقوع آن در یک دوره آماری طولانی مدت (حداقل ۳۰ ساله) ارائه دادند (McKee و همکاران، ۱۹۹۳). یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در پایش و تحلیل دوره‌های خشک، تداوم این دوره‌هاست که با استفاده از شاخص تجمعی تداوم بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$DM = - \left[\sum_{i=1}^x SPI_{ji} \right] \quad [1]$$

که i با اولین ماه شروع دوره خشک شروع و تا زمانیکه این دوره در ماه x خاتمه پیدا کند، ادامه می‌یابد. J هم نشان دهنده مقیاس زمانی دوره خشک مورد نظر می‌باشد. DM واحد ماه را دارد و از نظر عددی برابر با تداوم دوره خشک است (در هر ماه خشک SPI برابر ۱- فرض می‌شود). تداوم دوره‌های خشک شامل تداوم وضعیت موجود از زمان شروع تا زمان اتمام آن می‌باشد. برای محاسبه SPI در زمانیکه توزیع داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند، می‌توان از معادله ارائه شده توسط مک‌کی که بصورت زیر می‌باشد، استفاده کرد.

$$SPI = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \quad [2]$$

که در آن δ انحراف از معیار داده‌های بارندگی، X مقادیر بارندگی ماهانه، و \bar{X} متوسط بارندگی ماهانه در طول دوره آماری می‌باشد. برای محاسبه پارامترهای فوق الذکر، ابتدا مجموعه‌ای از متوسط دوره‌ها

(PDSI¹) استفاده کردند. مطالعات فوق از جمله مهمترین مطالعاتی است که به بحث در مورد شاخص SPI پرداختند هرچند که مطالعات پراکنده زیادی در سرتاسر دنیا موارد استفاده از این شاخص را مورد بحث قرار داده‌اند. در تقریباً تمام مطالعات بررسی شده توسط نگارندگان این مقاله، شاخص استاندارد شده بارندگی به جهت استفاده آن از مقیاس زمانی برای پایش دوره‌های خشک، بعنوان شاخصی مناسب و با کارایی بالا مد نظر قرار گرفته است. در ایران هم متأسفانه با توجه به خسارات بسیار زیاد دوره‌های خشک، تحقیقات بسیار کمی صورت گرفته است. در مطالعه‌ای در سال ۱۳۷۴ از شاخص درصد نرمال جهت بررسی ویژگیهای عمومی خشک‌دوره‌ها در کل کشور (فراوانی، شدت، دوره تداوم و گسترش یا وسعت) برای دوره زمانی ۱۹۵۶ تا ۱۹۸۵ میلادی در ۳۱ ایستگاه سینوپتیک و کليما تولوژی استفاده شد و مشخص شد که دوره‌های خشک جنوبی کشور با حداکثر فراوانی از گستردگی بیشتری برخوردارند و همین که از بخش‌های جنوبی و مرکزی کشور فاصله گرفته می‌شود از شدت و فراوانی دوره‌های خشک نیز کاسته می‌شود (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۷۴). در مطالعه‌ای دیگری در کشور محققین به بررسی الگوهای مکانی توزیع دوره‌های خشک هواشناسی، با استفاده از مدل توزیع منطقه‌ای پرداختند. نتایج حاصل از مدل برای دوره آماری ۱۹۶۱/۶۱ تا ۱۹۸۹/۹۰ نشان داد که در ۲۲٪ از سالها کل ایران تحت تاثیر خشکسالی (دوره خشک یک ساله) بوده است. شدیدترین خشکسالی‌ها در سالهای هیدرولوژیکی ۱۹۶۲/۶۳ و ۱۹۷۳/۷۴ با دوره برگشت صد ساله در ۵۰٪ از مساحت کشور و دوره برگشت ۵۰ سال در کل کشور اتفاق افتاده است. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که سال ۱۹۷۲/۷۳ سال بسیار مرطوبی بوده است، به طوریکه هیچ منطقه‌ای از کشور در این سال تحت تاثیر خشکسالی نبوده است (مرادی و بذرافشان، ۱۳۸۰).

با توجه به مطالب ارائه شده در فوق و کمبود شدید مطالعات در ایران و از جمله مناطق خشک، هدف از انجام این تحقیق ارائه مدلی جهت پایش و ارزیابی دوره‌های خشک بوده که بتوان با استفاده از آن امکان پاسخگویی به سؤالات ذیل را فراهم خواهد ساخت:

چگونه می‌توان دوره‌های خشک را با هم مقایسه کرد؟ قدرت یا شدت هر دوره چقدر است؟ گستردگی مکانی و تداوم دوره‌های خشک چگونه است؟ روند تغییرات این دوره‌ها در گذشته و حال چگونه بوده و خواهد بود؟ با چه

¹ - Palmer Drought Severity Index

خصوصیات دوره‌های خشک منطقه مورد مطالعه را با توجه به شکل ۱ و نتایج بدست آمده از مدل ارائه شده برای محاسبه SPI می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

۱) نمودارهای شکل ۱ نشان می‌دهد که در کلیه مقیاسهای زمانی در سالهای اخیر (سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹) در منطقه مورد نظر تکرار دوره‌های خشک افزایش (۱۵ ماه خشک در مقیاسهای زمانی متفاوت)، اما شدت آنها کاهش یافته است (تقریباً تمام دوره‌های خشک در این دو سال در طبقات دوره‌های خشک متوسط به پایین قرار می‌گیرد، بجز ماه ۱۲ سال ۱۹۹۹ که در گروه دوره‌های خشک شدید واقع می‌شود). همچنین این شکل نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر (سالهای ۱۹۹۹-۱۹۹۰) به جهت افزایش تکرار دوره‌های خشک در مقیاس زمانی کوتاه (۱ تا ۶ ماهه) و ترکیب این دوره‌های خشک، تداوم دوره‌های خشک با مقیاس زمانی بالاتر افزایش (در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، دوره خشک با تداوم ۲۸ ماه، در مقیاس ۱۸ ماهه دوره خشک با تداوم ۳۹ ماه و در مقیاس ۲۴ ماهه دوره خشک با تداوم ۳۶ ماه) و نتیجتاً تکرار این دوره‌ها کاهش یافته است.

۲) نتایج نشان دادند که در این منطقه در هر ۱۰ سال در طول دوره آماری بطور متوسط، دوره‌های خشک با تداوم بیشتر از یک سال اتفاق افتاده است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند که دوره آماری ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۰ دوره‌های نسبتاً مرطوب بوده و تداوم دوره‌های خشک در این دوره نسبت به دوره‌های دیگر کمتر می‌باشد.

۳) در بررسی SPI‌های کوچکتر از صفر و تداوم دوره‌های خشک در طی ۳۲ سال گذشته (جدول ۲)، مشخص شد که در ۱۸۵ ماه، SPI در مقیاس زمانی یک ساله کمتر از صفر بوده است، این مسئله باعث شده که نهایتاً ۱۴ دوره خشک با تداوم‌های متفاوت از ۱ تا ۲۸ ماه بوقوع پیوندد (تقریباً ۵۰ درصد طول دوره‌های آن بررسی شده است). دوره خشک ۱۹۹۵/۱۰ تا ۱۹۹۸/۱ بیشترین تداوم (۲۸ ماه) در این مقیاس زمانی را داشته است. نتایج این بررسی همچنین نشان می‌دهد که در بین دوره‌های خشک بوقوع پیوسته در منطقه، دوره خشک ۱۹۹۴/۱۱ تا ۱۹۹۸/۱ بیش از ۳ سال (۳۹ ماه) به درازا کشیده است. برای مقیاسهای زمانی دیگر نتایج در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

برای تعیین مجموعه داده با مقیاسهای زمانی J ، ماهه (J) برابر ۱، ۲، ...، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ (ماهه) ارائه شد. انتخاب این مجموعه‌ها با توجه به تأثیر کمبودهای بارندگی بر هر یک از انواع منابع آبی قابل استفاده، مشخص می‌شود. این مجموعه در حال تغییر، برای هر ماه یک مقدار جدیدی را با توجه به مقادیر J ، ماه قبل بدست می‌دهد (برای مثال در مقیاس زمانی ۶ ماهه برای ماه هفتم سال ۱۹۹۹، در ابتدا مقدار بارندگی تجمعی آن ماه با ۵ ماه قبل آن بدست آمده، و بعنوان بارندگی ماه هفتم سال ۱۹۹۹ در مقیاس زمانی ۶ ماهه مدنظر قرار می‌گیرد، این روند محاسباتی برای کلیه ماههای قبل از ماه هفتم سال ۱۹۹۹ در کل دوره آماری بجز ۶ ماه اول دوره آماری، هم انجام می‌گیرد و این مجموعه داده بعنوان یک مجموعه داده جدید در مقیاس زمانی ۶ ماهه مدنظر قرار می‌گیرد). هر مجموعه داده با مناسبترین توزیع احتمال ۱ - براساس نظریه اصلاحی مک کی و گاتمن توزیع گاما، بعنوان مناسبترین توزیع مدنظر قرار گرفته است، لذا معادله شماره ۲ مستقیماً قابل استفاده نخواهد بود. لازم به ذکر است که نحو محاسبات توزیع احتمال داده‌ها توسط این دو محقق ارائه شده است، که در آن اصلاحاتی برای زمانی که داده بارندگی ماهانه برابر صفر است، مدنظر قرار گرفته است (McKee و همکاران، ۱۹۹۵؛ Guttman، ۱۹۹۹) جهت تعریف روابط احتمالاتی بارندگی، مشخص می‌گردد (اولین گام در محاسبه شاخص SPI تعیین تابع توزیع احتمال است که بتوان سریهای زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی را توصیف نمود). هنگامیکه رابطه احتمال داده‌های بارندگی موجود بدست آمد، احتمال نقطه‌ای هر یک از داده‌های بارندگی مشاهده شده، محاسبه و برای محاسبه انحراف بارندگی در یک تابع چگالی احتمال نرمال استاندارد که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار واحد می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. این مقادیر، مقدار SPI را برای هر داده بارندگی نشان می‌دهد (شکل ۱). بعد از محاسبه SPI، با استفاده از معادله [۱] تداوم هر یک از SPI‌ها با مقیاس زمانی متفاوت که نشان دهنده دوره‌های خشک با شدت و زمان متفاوت هستند، محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی‌ها در شکل ۱ برای مقادیر سری SPI و تداوم آن با مقیاسهای زمانی متفاوت برای ۳۲ سال داده بارندگی ماهانه شهر مشهد نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقات شدت دوره های خشک بر اساس مقادیر SPI

مقادیر SPI	طبقات شدت دوره های خشک	زمان مربوط به هر طبقه
بزرگتر از ۰	بدون خشکی	٪۴۰
۰ تا ۰/۹۹ -	دوره خشک ملایم	≈ ٪۲۴
۱/۰۰ - تا ۱/۴۹ -	دوره خشک متوسط	٪۹/۲
۱/۵۰ - تا ۱/۹۹ -	دوره خشک شدید	٪۴/۴
≤ - ۲/۰۰	دوره خشک خیلی شدید	٪۲/۳

جدول ۲- شاخص استاندارد شده بارندگی کوچکتر از صفر و تداوم دوره های خشک در طی سالهای ۱۹۶۸-۱۹۹۹

مقیاس زمانی	SPI های کمتر از صفر	تعداد دوره های خشک	بیشترین تداوم به ماه	زمان وقوع دوره خشک با بیشترین تداوم	
				زمان خاتمه	زمان شروع
۳ ماهه	۱۸۶	۴۰	۱۵	۱۹۸۴/۱۰	۱۹۸۳/۸
۶ ماهه	۱۸۱	۳۴	۲۲	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۰/۲
۹ ماهه	۱۳۵	۲۳	۲۴	۱۹۹۱/۱	۱۹۸۹/۱
۱۲ ماهه	۱۸۵	۱۴	۲۸	۱۹۹۸/۱	۱۹۹۵/۱۰
۱۸ ماهه	۱۷۱	۱۴	۳۹	۱۹۹۸/۱	۱۹۹۴/۱۱
۲۴ ماهه	۱۴۱	۱۳	۳۷	۱۹۷۳/۲	۱۹۷۰/۲

جدول ۳ - تعداد، تداوم، زمان وقوع و خاتمه دوره های خشک خیلی شدید در مشهد

مقیاس زمانی (ماه)	دوره های خشک خیلی شدید					منفی ترین SPI در طول دوره آماری	
	تداوم	زمان خاتمه	زمان شروع	تعداد	زمان وقوع		
					سال	ماه	
۳ ماهه	۴	۱۹۷۱/۶	۱۹۷۱/۳	۵	۱۹۷۴	۱۱	-۲/۸۵
	۱	۱۹۷۳/۱	۱۹۷۳/۱				
	۱	۱۹۷۴/۱۱	۱۹۷۴/۱۱				
	۱	۱۹۷۷/۴	۱۹۷۷/۴				
	۱	۹۶/۱	۹۶/۱				
۶ ماهه	۷	۱۹۷۱/۹	۱۹۷۱/۳	۱	۱۹۷۱	۹	-۲/۷۶
۹ ماهه	۱۲	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۰/۱۲	۲	۱۹۷۱	۹	-۲/۵۷
	۱	۱۹۸۰/۱۲	۱۹۸۰/۱۲				
۱۲ ماهه	۱۳	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۰/۱۱	۱	۱۹۷۱	۳	-۲/۸۴
۱۸ ماهه	۱۰	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۱/۲	۱	۱۹۷۱	۵	-۳/۳۰
۲۴ ماهه	۱۳	۱۹۷۲/۱	۱۹۷۱/۱	۱	۱۹۷۱	۱۱	-۳/۲۹

کرده و به سرعت به تغییرات بارندگی ها و شرایط مرطوب و خشک عکس العمل نشان می دهد. در مقیاسهای زمانی طولانی تر (۶ ماهه با بالا) این تغییرات کمتر است که این موضوع یک خصوصیت دیگر حاصله از این تحقیق برای شاخص SPI را در مناطق خشک به تصویر می کشد.

(۲) با افزایش مقیاسهای زمانی، دوره های خشک کوچکتر با هم ترکیب شده و دوره های خشک بزرگتری را با تکرار کمتر و تداوم بیشتر بوجود آورده اند که تا حدودی از شدت آنها کاسته شده است. این موضوع با دوره های خشک نسبتاً شدید و طولانی مدت اوایل دهه ۱۹۷۰ و اواخر دهه ۱۹۹۰ بطور کامل به تصویر کشیده شده است. این مسئله هم مجدداً خصوصیات دیگر از شاخص SPI را نشان می دهد.

(۳) نتایج بدست آمده از تحقیق نشان می دهد که از شاخص SPI می توان برای پایش دوره های خشک کشاورزی (دیم و آبی)، دوره های خشک هواشناسی، و دوره های خشک منابع آب (قنات، کاریزها، مخازن بزرگ و کوچک، منابع آب سطحی فصلی و دائمی و منابع آب زیرزمینی کم عمق و عمیق) با توجه به مقیاس زمانی بکار رفته در محاسبات استفاده کرد. نتایج این تحقیق همچنین نشان که با توجه به

(۴) تجزیه و تحلیل دوره های خشک خیلی شدید در منطقه (جدول ۳) نشان می دهد که این نوع از دوره های خشک با محاسبات SPI در مقیاسهای زمانی مختلف دارای تکرار و تداوم های متفاوتی می باشند. این نتایج سال ۱۹۷۱ را بعنوان خشکترین سال در طول دوره آماری مشخص می کند. دوره های خشک به وقوع پیوسته در این سال بیشترین تداوم را در بین دوره های خیلی خشک به خود اختصاص داده است.

(۱) با بررسی خروجی مدل و نتایج ارائه شده در شکل ۱ مشخص شد که سالهای ۱۹۷۳، ۱۹۷۷، ۱۹۸۳، ۱۹۸۶، ۱۹۸۸، ۱۹۹۲، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۹ سالهای مرطوبی (مقادیر مثبت SPI) بوده اند که در بین آنها سال ۱۹۹۲ مرطوبترین سال (بالاترین مقدار SPI) با بیشترین تداوم می باشد.

نتیجه گیری

نتایج بررسی ها و پایش دوره های خشک با استفاده از SPI نشان می دهد که:

(۱) که هرچه مقیاس زمانی شاخص SPI کوتاهتر باشد (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ ماهه) هر ماه جدید تاثیر بیشتری بر روی مجموع دوره بارندگی و نهایتاً مقدار شاخص دارد و شاخص به تکرار از بالا به پائین صفر و بالعکس حرکت

نرمال و استاندارد کردن مقادیر بارندگی می‌توان از این شاخص برای تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی دوره‌های خشک و مقایسه آنها در مناطق مختلف استفاده کرد.

توصیه و پیشنهادات

طرح مطالعاتی صورت پذیرد تا بتوان از آن برای مدیریت بهتر دوره های خشک، تبدیل مدیریت بحران به مدیریت ریسک، بیمه محصولات کشاورزی و ... استفاده کرد.

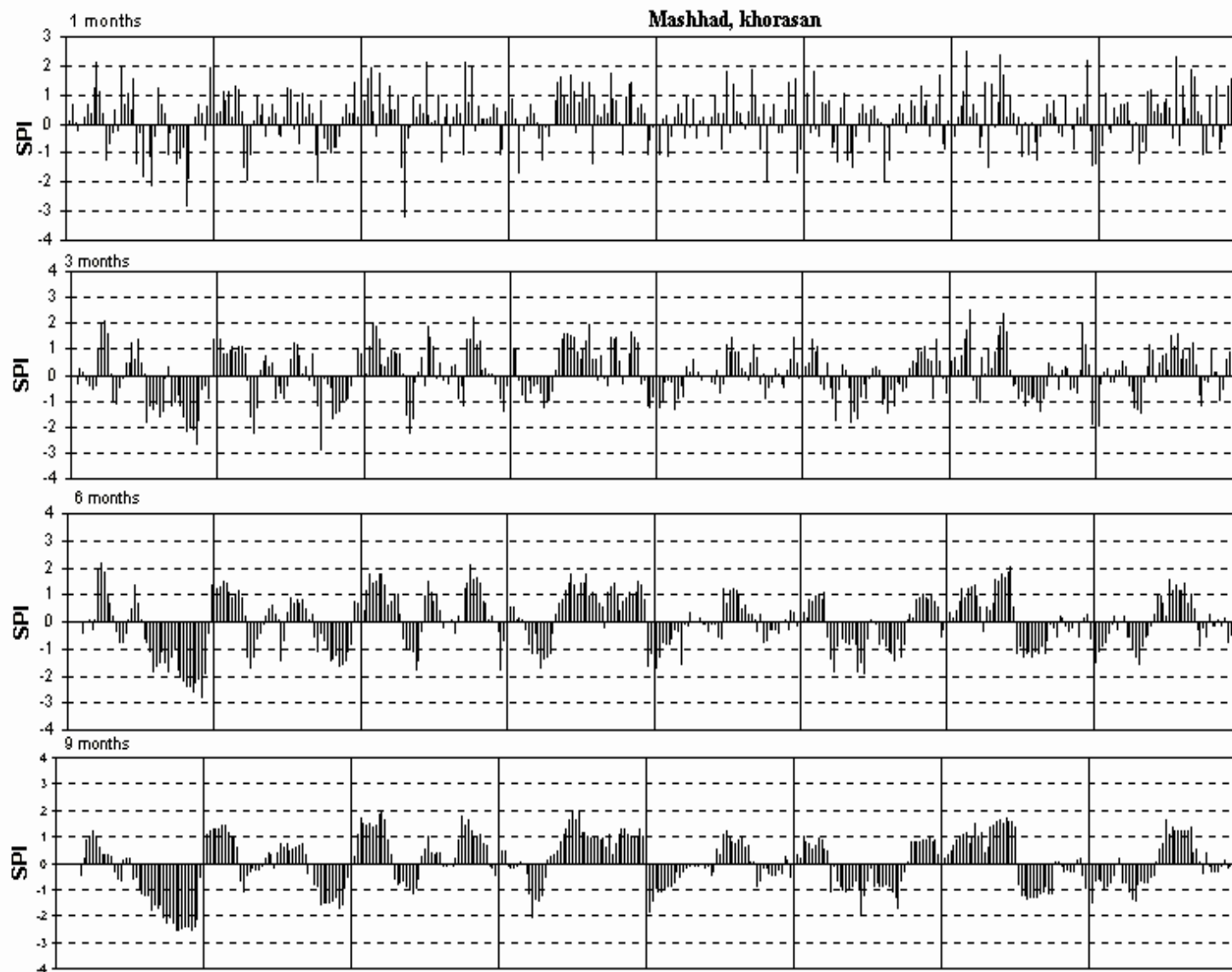
۳- پیشنهاد می شود که نتایج این شاخص با دیگر شاخص ها مانند شاخص شدت دوره های خشک پالمر مقایسه شده و نهایتاً براساس نتایج حاصل از تصاویر ماهواره ای، بهترین شاخص برای پایش دوره های خشک برای هر منطقه تعیین گردد.

۱- پیشنهاد می شود که مقادیر این شاخص بصورت ماهانه برای کل ایستگاههایی که دارای آمار و اطلاعات مناسبی هستند محاسبه و از مقادیر بدست آمده برای پایش دوره های خشک استفاده شود.

۲- پیشنهاد می شود که با توجه به خصوصیات شاخص SPI برای پایش دوره های خشک در مقیاسهای زمانی متفاوت، پهنه بندی دوره های خشک براساس شاخص فوق و روشهای مختلف پهنه بندی برای کل کشور در قالب یک

فهرست منابع

۱. فرج زاده، م.، موحد دانش، ع. ا. و قائمی، ه. (۱۳۷۴). "خشکسالی در ایران، با استفاده از برخی شاخص های آماری". *مجله دانش کشاورزی*. جلد ۵، شماره های ۱ و ۲، ص: ۵۰-۳۱.
۲. مرادی، ا. و بذرفشان، ج. (۱۳۸۰). "بررسی الگوهای مکانی توزیع خشکسالی، با استفاده از مدل توزیع منطقه ای خشکسالی هواشناسی". *مجموعه مقالات کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب*. جلد اول: ص: ۱۰۶-۱۱۶، دانشگاه زابل.
3. Agnew, C. T. (2000). "Using the SPI to Identify Drought". Issue of Drought Network News [On-line], 12. Available on the WWW: [url:http://enso.unl.edu/ndmc](http://enso.unl.edu/ndmc).
4. Bussay, A., Hayes, M., Szinell, Cs. and Svoboda, M. (2000). "Monitoring Drought in Hungary with the Standardized Precipitation Index". *Journal of Water International*, 15:339-345.
5. Edwards, D.C. and McKee, T. B. (1997). "Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales". *Climatology Report Number 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins*.
6. Guttman, N.B. (1999). "Accepting The Standardized Precipitation Index". *J. American Water Resour. Assoc.*, 35:311-322.
7. Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite D. A. and Vanyarkho, O. V (1999). "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 429 – 438.
8. Komuscu, A.U.(1999). "Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey". Issue of Drought Network News [On-line], 1. Available on the WWW: [url:http://enso.unl.edu/ndmc](http://enso.unl.edu/ndmc).
9. McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales". In: *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*, January 17 – 22, 1993. *American Meteorological Society, Massachusetts*, pp. 179 - 184.
10. McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1995). "Drought Monitoring with Multiple Time Scales". In: *Proc. 9th Conf. on Applied Climatology*, January 15 – 20, 1995. *American Meteorological Society, Massachusetts*, pp. 233 - 236.
11. Palmer, W.C. (1965). "Meteorological Drought". *Research. Paper No. 45*, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
12. Szalai, S., Szinell, Cs., Bussay, A., and Szentimrey, T (1998). "Drought Tendencies in Hungary". *J. Climatol.*, 18:1479-1491.
13. Yamoah, C., Hayes, M.J. and Savoboda, M. D. (1997). "Application of the Standardized Precipitation Index to Estimate Crop Yield in Nebraska". In: *Proc. 10th Conf. on Applied Climatology*, Boston, MA: *American Meteorological Society*.



شکل ۱- مقادیر شاخص استاندارد شده بارندگی ایستگاه سینوپتیک مشهد در مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه

