

پایش و ارزیابی شدت دوره‌های خشک مشهد در مقیاسهای زمانی متفاوت با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI)^۱

سیدحسین ثنائی‌نژاد، 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

مقدمه

بارندگی در آن اتفاق افتاده (دوره خشک)، میزان کمبود 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 دوره‌های خشک و تاثیرات کمبود آب تابع پیچیده‌ای از منابع آبی موجود و چگونگی بهره‌برداری از آنها می‌باشد، که بر اساس مقیاس زمانی که در آن کمبود بارندگی اتفاق افتاده، و نیز شدت و درجه این کمبود انواع متفاوتی از دوره‌های خشک (هواشناسی، کشاورزی،

تعریف دوره خشک (Drought) همواره یک مانع دست و پاگیر برای پایش و تجزیه و تحلیل درست آن می‌باشد با این وجود تاکنون تعاریف زیادی برای آن ارائه شده که تمام تعاریف در این نکته مشترکند که دوره‌های خشک در اثر کمبود رطوبت ناشی از کمبود بارندگی در طول یک دوره زمانی مشخص، بوجود می‌آید و میزان آسیب‌های ناشی از آن به عوامل زیادی بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به طول دوره‌های که کمبود

^۱ - 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

هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی) پدیدار می‌گردد. بعنوان مثال، دوره‌های خشک کشاورزی (رطوبت خاک) در یک مقیاس زمانی کوتاهتری نسبت به دوره‌های خشک هیدرولوژیکی (آبهای زیرزمینی، جریان رودخانه‌ای و منابع آب) اتفاق می‌افتد.

دوره خشک یا خشک دوره معادل کلمه Drought است و متفاوت از کلمه خشکی (Dry) که نشان‌دهنده اقلیم خشک است، می‌باشد. زیرا برخلاف عرف معمول که از کلمه Drought به عنوان خشکسالی یاد می‌شود در ادامه مشخص خواهد شد که این واژه، واژه مناسبی نیست و خشکسالی از تداوم دوره‌های خشکی که باعث بوجود آمدن اثرات زیانباری در مدت یک سال می‌شوند، بوجود می‌آید، 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 نمی‌توان آن سال را بعنوان سال خشک معرفی نمود، بلکه تنها همان دو ماه یا دوره دو ماهه، بعنوان دوره خشک (Drought) معرفی می‌گردد و اثرات ناشی از کمبود ذخیره رطوبتی هم به همان دو ماه برمی‌گردد، یا ممکن است یک دوره خشک ۱۵ ماه طول بکشد، که این دوره خشک مجدداً نمی‌تواند نشان دهنده در سال خشک یا خشکسالی‌های متوالی باشد. بطور کلی تکرار، تداوم و شدت دوره‌های خشک همگی توابعی هستند که به طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته‌اند. بنابراین برای پایش دوره‌های 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 شاخص‌های پایش دوره‌های خشک و حتی می‌توان گفت تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی برای پایش دوره خشک مدنظر قرار گرفته است و بدین جهت از انعطاف‌پذیری بالایی در تعیین و پایش این دوره‌ها و بررسی اثرات این پدیده بر ذخایر آبی کوتاهمدت (بخش کشاورزی) و بلندمدت (آبهای زیرزمینی)، برخوردار است در صورتیکه شاخص‌هایی مانند شاخص پالم (Palmer, ۱۹۶۵) که کاربرد بسیاری در سطح جهان دارد، این امکان را بدست نمی‌دهد و این شاخص بطور ذاتی یک مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را در محاسباتش مدنظر قرار می‌دهد (McKee و همکاران، ۱۹۹۵). با توجه به خصوصیات شاخص SPI، این شاخص در سراسر دنیا برای پایش دوره‌های خشک

مورد استفاده قرار گرفته است. پایش دوره‌های خشک سالهای ۹۴-۱۹۹۳ کلرادو توسط (McKee و همکاران، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) نمونه‌ای از پایش این دوره‌ها با استفاده از SPI می‌باشد. 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. دوره‌های 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 دوره‌های خشک نیواسکا توسط McKee و Edwards (۱۹۹۷) با استفاده از SPI نمونه‌ای 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 دوره‌های 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 دوره‌های خشک این کشور از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI) و شاخص پالم (PDSI^۱) استفاده کردند. مطالعات فوق از جمله مهمترین مطالعاتی است که به بحث در مورد شاخص SPI پرداختند هرچند که مطالعات پراکنده زیادی در سراسر 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 مدنظر 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 کليماٹولوژی 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

^۱ Palmer Drought Severity Index

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:

$$DM = - \left[\sum_{j=1}^x SPI_{jt} \right] \quad [11]$$

که t 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 -1 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.

$$SPI = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \quad [12]$$

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

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 تأثیر 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 طوری که هیچ منطقه‌ای از کشور در این سال تحت تأثیر 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 تناوب و تکراری دوره‌هایی با درجه مشخص بوقوع می‌پیوندد؟

مواد و روشها

در ابتدا داده‌های ماهانه بارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد در دوره آماری ۱۹۶۸-۱۹۹۹ 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 بوقوع 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).

اخیر (سالهای ۱۹۹۹-۱۹۹۰) به جهت افزایش تکرار دوره های خشک در مقیاس زمانی کوتاه (۱ تا ۶ ماهه) و ترکیب این دوره های خشک، تداوم دوره های 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 دوره ها کاهش یافته است.

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

۳) در بررسی SPI های کوچکتر از صفر و تداوم دوره های 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 تداوم های متفاوت از ۱ تا ۲۸ ماه بوقوع پیوندد (تقریباً ۵۰ درصد طول دوره های که داده های 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 می دهد که در بین دوره های 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.

محاسبه شاخص SPI تعیین تابع توزیع احتمال است که بتوان سریهای زمانی طولانی مدت داده های بارندگی را توصیف نمود). هنگامیکه رابطه احتمال داده های بارندگی موجود بدست آمد، احتمال نقطه ای هر یک از داده های 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 می باشد، مورد استفاده قرار گرفت. این مقادیر، مقدار SPI را برای هر داده بارندگی نشان می دهد (شکل ۱). بعد از محاسبه SPI، با استفاده از معادله [۱] تداوم هر یک از SPI ها با مقیاس زمانی متفاوت که نشان دهنده دوره های خشک با شدت و زمان متفاوت هستند، محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی ها 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. خصوصیات دوره های خشک منطقه مورد مطالعه را با توجه به شکل ۱ و نتایج بدست آمده از مدل ارائه شده برای محاسبه SPI می توان بصورت زیر بیان کرد:

۱) نمودارهای شکل ۱ نشان می دهد که در کلیه مقیاسهای زمانی در سالهای اخیر (سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹) در منطقه مورد نظر تکرار دوره های خشک افزایش (۱۵ ماه خشک در مقیاسهای زمانی متفاوت)، اما شدت آنها کاهش یافته است (تقریباً تمام دوره های خشک در این دو سال در طبقات دوره های خشک متوسط به پائین قرار می گیرد، بجز ماه ۱۲ سال ۱۹۹۹ که در گروه دوره های خشک شدید واقع می شود). همچنین این شکل نشان می دهد که در دهه های

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	SPIهای 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	۳۳	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	زمان وقوع	
				سال	ماه
۳ ماهه	۴	۱۹۷۱/۶	۱۹۷۱/۳	۱۱	۱۹۷۴
	۱	۱۹۷۴/۱	۱۹۷۳/۱		
	۱	۱۹۷۴/۱۱	۱۹۷۴/۱۱		
	۱	۱۹۷۷/۴	۱۹۷۷/۴		
	۱	۹۶/۱	۹۶/۱		
۶ ماهه	۷	۱۹۷۱/۹	۱۹۷۱/۳	۹	۱۹۷۱
۹ ماهه	۱۲	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۰/۱۲	۹	۱۹۷۱
	۱	۱۹۸۰/۱۲	۱۹۸۰/۱۲		
۱۲ ماهه	۱۳	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۰/۱۱	۳	۱۹۷۱
۱۸ ماهه	۱۰	۱۹۷۱/۱۱	۱۹۷۱/۲	۵	۱۹۷۱
۲۴ ماهه	۱۳	۱۹۷۳/۱	۱۹۷۱/۱	۱۱	۱۹۷۱

و خشک عکس العمل نشان می دهد. در مقیاسهای زمانی طولانی تر (۶ ماهه یا 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 نرمال و استاندارد کردن مقادیر بارندگی می توان از این شاخص برای تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی دوره های خشک و مقایسه آنها در مناطق مختلف استفاده کرد.

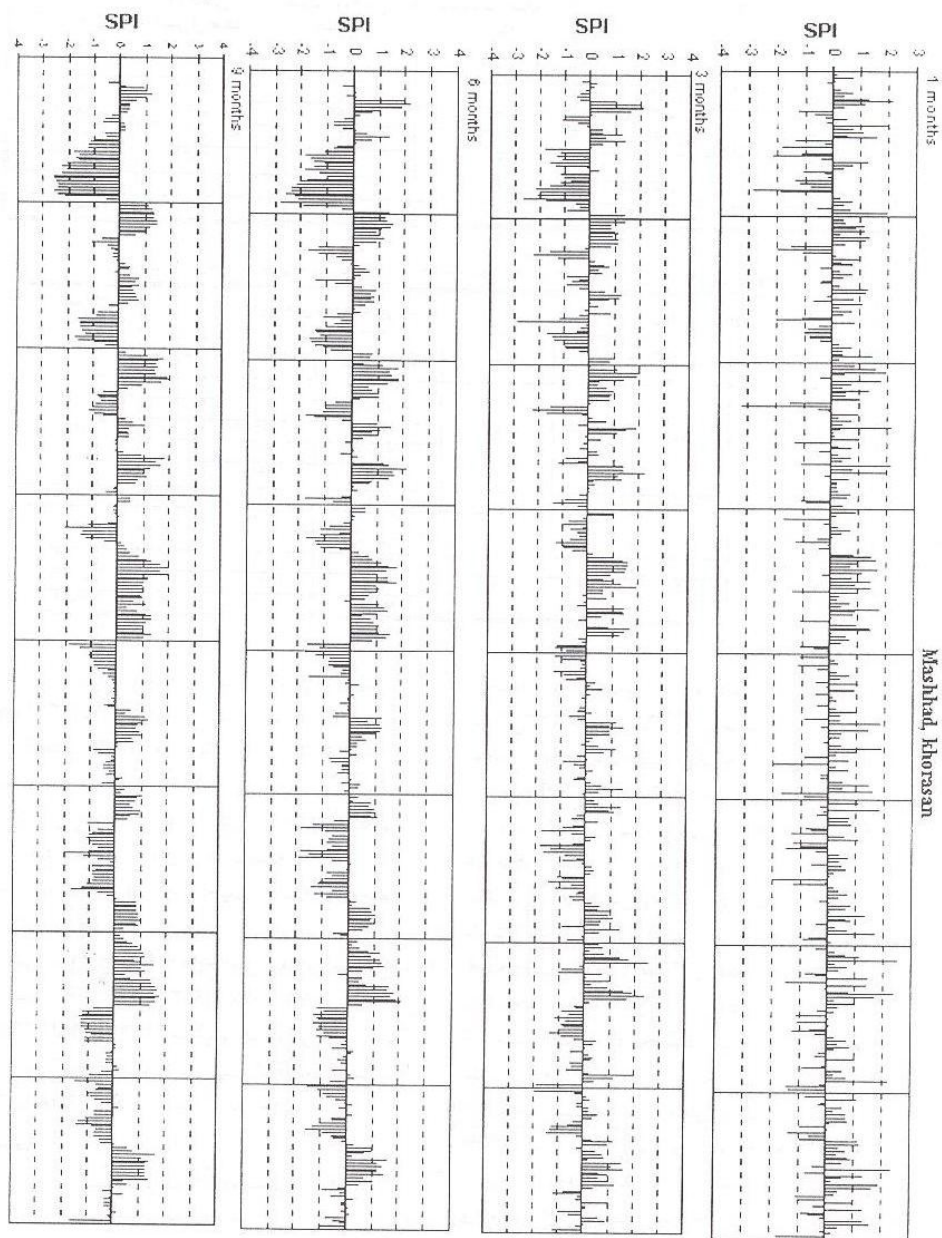
۴) تجزیه و تحلیل دوره های خشک خیلی شدید در منطقه (جدول ۳) نشان می دهد که این نوع از دوره های خشک با محاسبات SPI در مقیاسهای زمانی مختلف دارای تکرار و تداوم های متفاوتی می باشند. این نتایج سال ۱۹۷۱ را بعنوان خشکترین سال در طول دوره آماری مشخص می کند. دوره های خشک به وقوع پیوسته در این سال بیشترین تداوم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

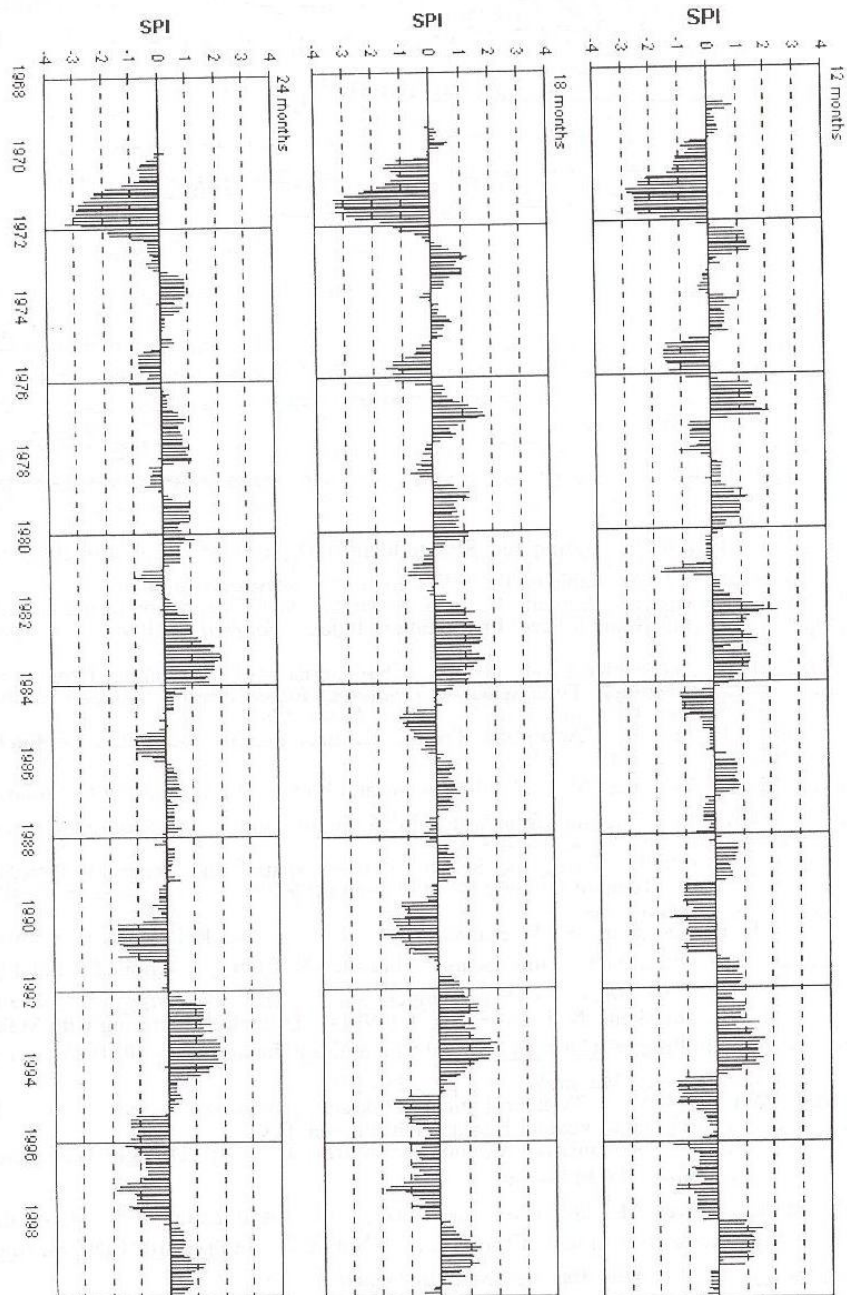
نتایج بررسی ها و پایش دوره های خشک با استفاده از SPI نشان می دهد که:

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



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

ادامه شکل ۱ -



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.، موحّد 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: ۳۱-۵۰.
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. Edvards, 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. Komuseu, 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 Svoboda, 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*.

Monitoring and Assessment of Drought Severity in Mashhad at Different Time Scales Using Standardized Precipitation Index (SPI)

S.H. Sanainejad, H. Ansari, K. Davari, and S. Morid¹

Abstract

Drought is a natural phenomenon that starts gradually, and extends tranquilly. However, it affects human activities drastically. This creeping disaster happens almost in any kind of climate all over the world, be it humid or dry, when there is a deficit in the precipitations of a certain time period in comparison to the normal precipitation of the same period. Study of drought periods of Mashhad over a 32 years period (1968 – 1999) demonstrates that drought periods in this region are recurring usual events. Almost in every 10 years, there is a severe and long (more than a year) drought period. The trend of 32 years precipitation data reveals that in the recent years duration and frequency of the drought events have increased for all time scales, but their severity has decreased. This study shows that from 1968 to 1999, the most severe one-year drought occurred in 1971, and the wettest one-year period occurred in 1992. Finally, the study proves that the combinations of small-time-scale droughts, with short durations and great severities, forms large-time-scale droughts, with long durations and moderate severities.

Keywords: Drought, Drought duration, Drought frequency, Standardized Precipitation Index (SPI)

¹ Sci. Faculty of Irrigation Dept. at Ferdosi Univ., Ph.D. Student of Irrigation and Drainage at Tarbiat Modarres Univ., Sci. Faculty of Irrigation Dept. at Ferdosi Univ., and Sci. Faculty of Irrigation Dept. at Tarbiat Modarres Univ., respectively.