



نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران

۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۴
دانشگاه فردوسی مشهد



بررسی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های متفاوت پایش خشکسالی در چند منطقه متفاوت

عادل‌هاتفی - دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری،

دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

ابوالفضل مساعدی* - استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

مهدی جباری نوقابی - گروه آموزشی آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد

* تلفن نویسنده مسئول: ۰۵۱۳۸۷۸۸۸۰۵ - پست الکترونیکی: mosaedi@um.ac.ir

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که در هر رژیم آب و هوایی، بوقوع می‌پیوندد. در این پژوهش به پایش خشکسالی در طی سال‌های ۴۰-۱۳۳۹ الی ۸۹-۱۳۸۸ و مقایسه وضعیت خشکسالی بر اساس سه شاخص SPI، RDI و SPEI در سه ایستگاه سینوپتیک بابلسر، مشهد و زاهدان، پرداخته شده است. پس از اخذ آمار ماهانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های مذکور، ابتدا آزمون‌های اولیه آماری در مورد داده‌ها انجام شد، سپس مقادیر هر یک از ۳ شاخص ذکر شده در مقیاس‌های سالانه و فصلی محاسبه گردید. مقایسه نتایج نشان داد که در اکثر مواقع عملکرد شاخص‌ها در مناطق مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت، یکسان نمی‌باشد. وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در فصل پاییز در مشهد هیچ تفاوتی را با یکدیگر نشان نمی‌دهند. در حالی که بیش‌ترین اختلاف وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان در مشهد مشاهده می‌شود. ضمن آن‌که در فصل‌های پاییز و زمستان در هر سه ایستگاه مورد نظر بیش‌ترین تشابه بین شاخص‌های SPI و SPEI مشاهده می‌شود. پس در این فصول تبخیر و تعرق نقش چندانی در وقوع خشکسالی ندارد و پیشنهاد می‌شود که تنها از شاخص SPI (به دلیل عدم نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق) در پایش خشکسالی این فصل‌ها استفاده شود.

کلید واژه: شاخص بارش استاندارد شده، شاخص شناسایی خشکسالی، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده، پایش خشکسالی، آب و هوا

بررسی وضعیت خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های متفاوت پایش خشک‌سالی در چند منطقه متفاوت

عادل هاتفی، دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه
فردوسی مشهد

ابوالفضل مساعدی*، استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

مسئول مکاتبه، شماره: ۰۵۱۳۸۷۸۸۸۰۵ ایمیل: mosaedi@um.ac.ir

مهدی جباری نوقایی، گروه آموزشی آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی است که در هر رژیم آب و هوایی، بوقوع می‌پیوندد. در این پژوهش به پایش خشک‌سالی در طی سال‌های ۴۰-۱۳۳۹ الی ۸۹-۱۳۸۸ و مقایسه وضعیت خشک‌سالی بر اساس سه شاخص SPI، RDI و SPEI در سه ایستگاه سینوپتیک بابلسر، مشهد و زاهدان، پرداخته شده‌است. پس از اخذ آمار ماهانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های مذکور، ابتدا آزمون‌های اولیه آماری در مورد داده‌ها انجام شد، سپس مقادیر هر یک از ۳ شاخص ذکر شده در مقیاس‌های سالانه و فصلی محاسبه گردید. مقایسه نتایج نشان داد که در اکثر مواقع عملکرد شاخص‌ها در مناطق مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت، یکسان نمی‌باشد. وضعیت خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در فصل پاییز در مشهد هیچ تفاوتی را با یکدیگر نشان نمی‌دهند. در حالی که بیش‌ترین اختلاف وضعیت خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان در مشهد مشاهده می‌شود. ضمن آن که در فصل‌های پاییز و زمستان در هر سه ایستگاه مورد نظر بیش‌ترین تشابه بین شاخص‌های SPI و SPEI مشاهده می‌شود. پس در این فصول تبخیر و تعرق نقش چندانی در وقوع خشک‌سالی ندارد و پیشنهاد می‌شود که تنها از شاخص SPI (به دلیل عدم نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق) در پایش خشک‌سالی این فصل‌ها استفاده شود.

کلید واژه‌ها: شاخص بارش استاندارد شده، شاخص شناسایی خشک‌سالی، شاخص بارش - تبخیر و تعرق
استاندارد شده، پایش خشک‌سالی، آب و هوا

۱- مقدمه

خشک‌سالی پرهزینه‌ترین مخاطره طبیعی در جهان است [۱]. در حال حاضر با وجود رشد روزافزون جمعیت و نیاز بیشتر به منابع آب و همچنین وقوع خشک‌سالی‌های مکرر، توجه جدی و کارشناسانه به پدیده خشک‌سالی، امری اجتناب‌ناپذیر است. خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی و تکرارپذیر است [۲]. این پدیده در همه رژیم‌های اقلیمی و مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد، اما اثرات و فراوانی آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر نمایان می‌شود [۳، ۴].

همچنین تاثیر یک واقعه خشک‌سالی تابعی از بزرگی رویداد و آسیب‌پذیری اجتماعی ناحیه براساس چگونگی در معرض مخاطره قرار گرفتن و یا مکانیسم‌های غلبه بر آن است [۵]. خشک‌سالی یک پدیده متناوب طبیعی است که همراه با کمبود منابع آب در دسترس در یک منطقه جغرافیایی وسیع و در یک دوره زمانی قابل ملاحظه باشد [۶]. براساس این تعریف، خشک‌سالی یک پدیده منطقه‌ای است که با سه بعد مشخص می‌شود: شدت، مدت و وسعت. مهم‌ترین بعد خشک‌سالی شدت آن می‌باشد. اگرچه می‌توان شدت خشک‌سالی را براساس برآورد خسارات واردشده به بخش‌های گوناگون اقتصادی، محیطی و اجتماعی منطقه تحت تاثیر، تخمین زد، اما استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی طرفداران بیشتری دارد. شاخص‌های خشک‌سالی به طور گسترده در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند و همه متخصصان مربوطه از آن‌ها به منظور پایش خشک‌سالی استفاده می‌نمایند. شاخص‌های مختلفی از متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشک‌سالی بهره می‌گیرند که شاخص‌های شدت خشک‌سالی پالمیر^۱ (PDSI)، شاخص بارش استاندارد شده^۲ (SPI)، شاخص شناسایی خشک‌سالی^۳ (RDI) و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده^۴ (SPEI) از آن جمله‌اند.

بارندگی به عنوان بی‌ثبات‌ترین متغیر اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت فراوانی دارد. تغییرات بارش به طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و زیرزمینی انعکاس می‌یابد. به همین دلیل بارش اولین برداری است که می‌تواند در بررسی هر حالتی از خشک‌سالی مورد توجه قرار گیرد [۷]. Edward [۸] به کارگیری SPI را در مقیاس زمانی از یک ماه تا چندین سال فاقد محدودیت بر می‌شمارد، درحالی که محسنی ساروی و همکاران [۹] ضمن تأیید مزیت فوق از آن به عنوان عیب شاخص مذکور یاد کرده‌اند، زیرا شاخص SPI در ماه‌های با بارش صفر ناکارآمد است. در حالی که SPI از بارندگی به عنوان تنها عامل پایش خشک‌سالی استفاده می‌کند. اما کمبود آب فقط نمی‌تواند براساس ورودی (مانند بارندگی) یا خروجی (مانند مصرف آب) تخمین زده شود. براساس این منطق، شاخص دیگری به منظور پایش خشک‌سالی به نام شاخص شناسایی خشک‌سالی RDI برای تشخیص و تعیین خشک‌سالی و شدت، تداوم و وسعت آن پیشنهاد شده است [۱۰] که از داده‌های هر دو عامل موثر بارندگی و تبخیر و تعرق استفاده می‌کند. با توجه به محدودیت شاخص‌های SPI و RDI، در سال‌های اخیر شاخص دیگری به نام شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) به منظور پایش خشک‌سالی ارائه شده است [۱۱]. در این شاخص علاوه بر بارندگی، تبخیر و تعرق هم در نظر گرفته می‌شود.

احمدی و همکاران [۱۲] ضمن پایش خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در ایستگاه کبوترآباد اصفهان، تعیین ارتباط این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و رطوبت خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع‌تری نسبت به خشک‌سالی داشته است. ایشان اضافه می‌نمایند که با توجه به کارایی شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده و لحاظ نمودن بیلان آب این شاخص همبستگی قابل قبول با میزان رطوبت خاک نشان می‌دهد. Tsakiris et al [۱۳] در تحقیقی به مقایسه شاخص‌های DI، SPI و RDI در منطقه‌ی مدیرانه پرداختند. آن‌ها برای ارزیابی کارایی شاخص RDI همبستگی آن با شاخص SPI را ملاک قرار دادند و بیان داشتند که RDI از مشابهت رفتاری بالایی با SPI برخوردار است. Vicente-Serrano et al [۱۴] در مطالعه اثرات فرآیند گرم‌شدن بر خشک‌سالی‌ها و منابع آب در

¹ Palmer Drought severity Index

² Standardized Precipitation Index

³ Reconnaissance Drought Index

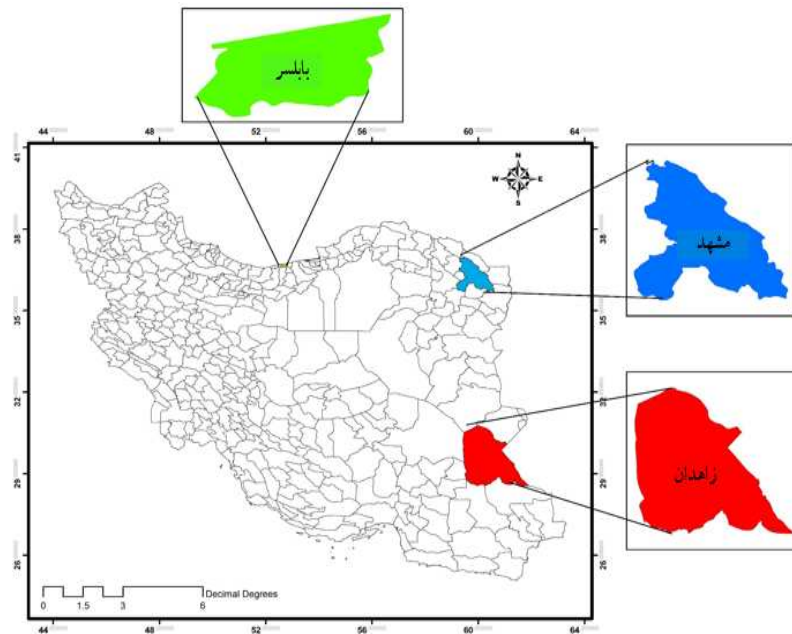
⁴ Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

اسپانیا، با استفاده از دو شاخص خشک‌سالی SPI و SPEI، نشان دادند که بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ افزایش یافته و نتایج دو شاخص خشک‌سالی مورد استفاده مشابه بوده است. با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که شاخص‌های مختلف پایش خشک‌سالی در مناطق مختلف همیشه رفتار یکسانی را از خود در پایش وضعیت خشک‌سالی نشان نمی‌دهند. ولی در ایران هنوز در این مورد گزارشات اندکی وجود دارد. بنا بر این، در تحقیق حاضر به پایش و مقایسه وضعیت خشک‌سالی براساس سه شاخص SPI، RDI و SPEI در سه شهر مشهد، بابلسر و زاهدان با وضعیت‌های متفاوت آب و هوایی پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه شامل سه شهر بابلسر، مشهد و زاهدان می‌باشد که در شرایط آب و هوایی مختلف قرار گرفته‌اند. شکل (۱) موقعیت شهرهای مورد مطالعه در سطح کشور را نشان می‌دهد. مشخصات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی این شهرها در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در سطح کشور

جدول ۱- برخی از خصوصیات جغرافیایی و آب و هوایی شهرهای مورد مطالعه

وضعیت اقلیمی	خصوصیات آب و هوایی			خصوصیات جغرافیایی			ایستگاه	
	متوسط تبخیر و تعرق سالانه (میلی متر)	متوسط بارش سالانه (میلی متر)	متوسط سالانه دما (سانتی گراد)	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی دقیقه درجه	عرض جغرافیایی دقیقه درجه		
مرطوب ساحلی	۶۳۷	۹۰۰	۱۷/۱	-۲۱	۵۲	۳۹	۴۳	بابلسر
کوهستانی	۹۱۷	۲۵۲	۱۴/۳	۹۹۹/۲	۵۹	۳۸	۳۶	مشهد
بیابانی	۱۳۱۲	۸۱	۱۸/۵	۱۳۷۰	۶۰	۵۳	۲۹	زاهدان

۲-۲-۲-۲ داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از آمار ماهانه پارامترهای هواشناسی بارندگی، دمای میانگین، حداقل، حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد، سه ایستگاه سینوپتیک شامل مشهد، بابلسر و زاهدان از سال ۴۰-۱۳۳۹ الی ۸۹-۱۳۸۸ شمسی استفاده گردید. ایستگاه‌های مذکور براساس تقسیم‌بندی اقلیمی علیجانی و همکاران [۱۵] به ترتیب دارای اقلیم کوهستانی، مرطوب ساحلی و بیابانی می‌باشند.

۲-۳-۲ تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا آزمون‌های اولیه آماری در مورد داده‌ها انجام شد. به این منظور از سه آزمون معروف من - کندال برای تشخیص روند، من - ویتنی برای تشخیص همگنی و گرویز - بک برای یافتن داده پرت استفاده شده‌است. تقریباً تمامی ایستگاه‌ها دارای داده‌های کامل و کیفیت آماری مناسبی بودند؛ اگرچه داده‌های مفقوده بعضی ایستگاه‌ها از طریق دستورالعمل فائو بازسازی شدند. ضمن آن‌که از روش فائو پنمن - مانیتث جهت محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده گردید. سپس وضعیت خشکسالی در بازه‌های زمانی فصلی و سالانه بر اساس شاخص‌های SPI، RDI و SPEI در هر ایستگاه و بر اساس هر یک از شاخص‌ها تعیین شد. به این منظور نرم‌افزار R و سایر نرم‌افزارهای متداول مانند Excel مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۴-۲ شاخص‌های خشک‌سالی مورد بررسی

۲-۴-۱- شاخص بارش استاندارد شده (Standardized Precipitation Index):

نمایه بارش استاندارد شده (SPI) توسط مک کی و همکاران^۵ [۱۶] جهت تعیین دوره‌های خشک‌سالی و ارزیابی شدت آن تدوین شد. SPI یک نمایه استاندارد شده است که کمبود بارش را در مقیاس‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌کند [۱۷]. نمایه SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت محاسبه می‌شود. در واقع SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد [۱۸].

۲-۴-۲- شاخص شناسایی خشکسالی (Reconnaissance Drought Index):

شاخص شناسایی خشکسالی RDI توسط ساکیریس^۶ در سال ۲۰۰۴ ارائه گردید [۱۰]. چندی بعد اطلاعات جامع و بیش‌تری از این شاخص به همراه نحوه‌ی محاسبه‌ی آن، توسط ساکیریس و ونگلیس^۷ [۱۹] و ساکیریس و همکاران^۸ [۱۳] انتشار یافت. شاخص RDI از برازش تابع توزیع لوگ‌نرمال بر مقادیر نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل (ETO) و استاندارد نمودن آن بدست می‌آید [۱۳].

۲-۴-۳- شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index):

شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) اولین بار توسط ویسته سرانو^۹ [۱۱] به عنوان یک شاخص خشک‌سالی که به ویژه برای مطالعات اثر گرمایش جهانی بر شدت خشکسالی متناسب بود، مطرح شد. همانند PDSI، SPEI نیز اثر تبخیر و تعرق مرجع را بر شدت خشک‌سالی در نظر می‌گیرد، اما ماهیت چند عددی (مولتی اسکالر) SPEI

⁵ McKee et al.

⁶ Tsakiris

⁷ Tsakiris, Vangelis

⁸ Tsakiris, et al.

⁹ Vicente-Serrano

شناسایی انواع خشک‌سالی متفاوت و اثرات آن را بر سیستم‌های گوناگون قادر می‌سازد [۲۰، ۲۱]. بنابراین روش SPEI حساسیت روش PDSI را در اندازه‌گیری نیاز تبخیری جو دارد که به سادگی محاسبه می‌شود و همین‌طور یک مدل چند عددی (مولتی اسکالر) مانند روش شاخص بارش استاندارد شده (SPI) می‌باشد. Vicente-Serrano et al. [۱۱]، [۲۰، ۲۲، ۲۳] و [۲۴] Beguería et al. توضیحات کاملی از منطق حاکم بر SPEI و نحوه محاسبات آن و مقایسه با دیگر شاخص‌های مرسوم خشک‌سالی از جمله PDSI و SPI ارائه نموده‌اند. روش محاسباتی SPEI شبیه SPI است. به علاوه به نظر می‌رسد که SPEI به علت در نظر گرفتن اختلاف بین بارش و تبخیر و تعرق مرجع (P-ET_o)، نسبت به اینکه فقط بارش را در نظر بگیرد، یک شاخص واقعی‌تری از شدت خشک‌سالی ارائه می‌کند.

در توسعه‌ی شاخص‌های RDI و SPEI از مفاهیم شاخص SPI استفاده گردیده‌است. بنابراین مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشک‌سالی در آن‌ها مشابه با طبقه‌های ارائه شده توسط ادوارد و مک کی^{۱۰} [۲۵] برای شاخص SPI می‌باشد، که در جدول ۲ ارائه شده‌اند. طبق این روش دوره‌ی خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مداوم منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت گردد.

جدول ۲- طبقه‌های مختلف شدت خشک‌سالی در شاخص‌های RDI و SPEI

مقدار شاخص	طبقات خشک‌سالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشک‌سالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشک‌سالی شدید
-۲ یا کمتر	خشک‌سالی بسیار شدید

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از برآزش وضعیت‌های رطوبتی سه شاخص SPI، RDI و SPEI در بازه‌های زمانی سالانه و فصلی در سه شهر بابلسر، مشهد و زاهدان در جدول‌های (۳) و (۴) ارائه شده است. مطابق نتایج این جداول، مقایسه شاخص‌های SPEI و SPI با یک‌دیگر نشان می‌دهد که در مقیاس زمانی سالانه در بابلسر، بر اساس شاخص SPI شرایط نرمال و وضعیت‌های خشک‌سالی بسیار شدید و شدید در مقایسه با شاخص SPEI به تعداد دفعات بیش‌تری به‌وقوع پیوسته است، در حالی که SPI خشک‌سالی متوسط را تعداد دفعات کم‌تری برآورد کرده است. در این شهرستان در مقیاس زمانی سالانه، وضعیت ترسالی بسیار شدید در هر دو شاخص یکسان برآورد شده است، از طرفی شاخص SPI ترسالی شدید را تعداد دفعات کم‌تری گزارش کرده است، در حالی که شاخص SPEI ترسالی متوسط را تعداد دفعات بیش‌تری برآورد کرده است. در مشهد همانند بابلسر، شرایط نرمال SPI با SPEI بسیار متفاوت است و شاخص SPI شرایط نرمال را نسبت به SPEI بیش‌تر برآورد کرده است. از نظر خشک‌سالی، خشک‌سالی بسیار شدید در هر دو شاخص یکسان و مشابه برآورد شده است اما خشک‌سالی شدید و متوسط را شاخص SPEI با تعداد دفعات بیش‌تری برآورد کرده است. در شرایط ترسالی، ترسالی بسیار شدید همانند بابلسر در هر دو شاخص یکسان برآورد شده است، در حالی که شاخص SPI

¹⁰ Edwards and McKee

ترسالی شدید را تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به SPEI برآورد کرده است، در عوض شاخص SPEI ترسالی متوسط را تعداد دفعات بیش‌تری برآورد و گزارش کرده است. در زاهدان، بر اساس شاخص SPI شرایط نرمال و وضعیت‌های خشک‌سالی بسیار شدید و متوسط در مقایسه با سایر شاخص‌ها به تعداد دفعات بیش‌تری به‌وقوع پیوسته است، در حالی که بر اساس این شاخص خشک‌سالی شدید به تعداد دفعات کم‌تری در مقایسه با سایر شاخص‌ها اتفاق افتاده است. از نظر شرایط ترسالی، ترسالی شدید و متوسط در هر دو شاخص یکسان برآورد شده است، اما ترسالی بسیار شدید را شاخص SPI نسبت به شاخص SPEI تعداد دفعات بیش‌تری گزارش کرده است.

جدول ۳- درصد وقوع هر یک از شرایط رطوبتی در مناطق مختلف و براساس شاخص‌های مورد بررسی

SPEI								RDI						SPI						وضعیت خشک‌سالی	بازه زمانی		
ED	SD	MD	N	MW	VW	EW		ED	SD	MD	N	MW	VW	EW	ED	SD	MD	N	MW	VW	EW	شهر	
۰	6	۱۴	۶۳	۸	۴	۲		۲	۸	۱۰	۵۴	۱۴	۶	۶	۲	۸	۴	۷۱	۱۰	۲	۲	بابلسر	سالانه
۲	4	۱۴	۵۳	۲۰	۶	۰		۶	۶	۴	۷۴	۴	۶	۰	۲	۲	۱۲	۶۳	۱۲	۸	۰	مشهد	
۰	۱۴	۲	۷۱	۶	۶	۰		۸	۱۲	۱۰	۵۸	۸	۴	۰	۶	۲	۴	۷۳	۶	۶	۲	زاهدان	
۰	۸	۱۴	۶۶	۰	۱۲	۰		۱۴	۴	۸	۶۰	۶	۸	۰	۴	۲	۱۰	۷۰	۸	۴	۲	بابلسر	بهار
۴	۴	۶	۷۲	۴	۸	۲		۸	۶	۶	۶۶	۸	۶	۰	۴	۴	۸	۶۶	۶	۱۰	۲	مشهد	
۰	۱۶	۰	۷۰	۶	۶	۲		۴	۰	۱۴	۸۰	۲	۰	۰	۰	۴	۱۴	۶۶	۸	۶	۲	زاهدان	
۴	۶	۲	۷۰	۱۰	۶	۲		۴	۲	۴	۷۲	۱۰	۸	۰	۲	۴	۸	۶۸	۱۴	۲	۲	بابلسر	تابستان
۲	۲	۱۶	۶۰	۱۶	۲	۲		۰	۰	۲۰	۴۸	۳۲	۰	۰	۰	۰	۹	۸۲	۱۲	۲	۴	مشهد	
۰	۱۶	۴	۶۸	۸	۰	۴		۰	۰	۰	۷۸	۱۲	۸	۲	۰	۰	۰	۸۶	۴	۸	۲	زاهدان	
۰	۴	۱۲	۶۴	۱۴	۲	۲		۲	۴	۸	۶۸	۸	۶	۲	۴	۰	۱۲	۶۶	۱۴	۰	۲	بابلسر	پاییز
۰	۴	۱۰	۶۶	۱۲	۴	۲		۴	۶	۱۲	۶۶	۶	۴	۰	۰	۴	۱۰	۶۶	۱۲	۴	۲	مشهد	
۰	۱۰	۴	۷۴	۴	۲	۴		۱۰	۲	۰	۸۰	۶	۰	۰	۰	۰	۱۲	۷۲	۸	۴	۲	زاهدان	
۲	۴	۱۰	۷۲	۸	۰	۴		۱۲	۴	۸	۶۲	۶	۲	۶	۲	۴	۱۰	۷۲	۶	۲	۴	بابلسر	زمستان
۲	۴	۱۲	۶۴	۱۴	۲	۲		۰	۶	۱۰	۶۸	۱۴	۲	۰	۰	۶	۱۰	۶۲	۱۸	۲	۲	مشهد	
۲	۲	۱۸	۶۰	۱۲	۴	۲		۶	۱۰	۱۲	۶۰	۸	۲	۲	۲	۴	۱۲	۶۸	۶	۶	۲	زاهدان	

مقایسه شاخص‌های SPEI و RDI با یک‌دیگر نشان می‌دهد که در مقیاس زمانی سالانه در بابلسر، شرایط نرمال SPEI با RDI بسیار متفاوت است و شاخص SPEI وضعیت نرمال را با تعداد دفعات بیش‌تری گزارش می‌نماید. از آن نظر خشک‌سالی، شاخص RDI خشک‌سالی بسیار شدید و شدید را با تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به SPEI برآورد کرده است، اما در عوض خشک‌سالی متوسط را تعداد دفعات کم‌تری گزارش کرده است. از نظر ترسالی، شاخص SPEI هر سه وضعیت ترسالی متوسط، شدید و بسیار شدید را تعداد دفعات کم‌تری نسبت به شاخص RDI برآورد کرده است.

در مشهد، مقایسه این دو شاخص نشان می‌دهد که شاخص SPEI شرایط و وضعیت‌های نرمال و خشک‌سالی بسیار شدید و شدید را نسبت به شاخص RDI تعداد دفعات کم‌تری برآورد کرده است، در حالی که خشک‌سالی متوسط و هم‌چنین

از نظر ترسالی، ترسالی متوسط را شاخص SPEI تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به RDI برآورد کرده است. در این شهرستان هر دو شاخص وضعیت‌های ترسالی شدید و بسیار شدید را مشابه برآورد کرده است. در زاهدان، همانند بابلسر،

شرایط نرمال بسیار متفاوت است و شاخص SPEI شرایط نرمال را با تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به RDI برآورد کرده است. از نظر خشک‌سالی، شاخص RDI خشک‌سالی بسیار شدید و متوسط را تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به SPEI برآورد کرده است، در حالی که خشک‌سالی شدید را تعداد دفعات کم‌تری گزارش کرده است. از نظر ترسالی، وضعیت ترسالی متوسط را شاخص SPEI نسبت به RDI تعداد دفعات کم‌تری برآورد کرده است، در حالی که ترسالی شدید را تعداد دفعات بیش‌تری گزارش کرده است. وضعیت ترسالی بسیار شدید را هم هر دو شاخص یکسان و مشابه برآورد کرده است. به طریق مشابه می‌توان به مقایسه مقادیر اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی با یک‌دیگر بر اساس شاخص‌های مختلف در بازه زمانی فصلی و برای هر شهر پرداخت که نتایج حاصله در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- مقایسه مقادیر اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی با یک‌دیگر بر اساس شاخص‌های مختلف

SPEI - RDI							SPI - SPEI							SPI - RDI							وضعیت خشک‌سالی	بازه زمانی
ED	SD	MD	N	MW	VW	EW	ED	SD	MD	N	MW	VW	EW	ED	SD	MD	N	MW	VW	EW	شهر	
-۲	-۲	۴	۹	-۶	-۲	-۴	۲	۲	-۱۰	۸	۲	-۲	۰	۰	۰	-۶	۱۷	-۴	-۴	-۴	بابلسر	سالانه
-۴	-۲	۱۰	-۲۱	۱۶	۰	۰	۰	-۲	-۲	۱۰	-۸	۲	۰	-۴	-۴	۸	-۱۱	۸	۲	۰	مشهد	
-۸	۲	-۸	۱۳	-۲	۲	۰	۶	-۱۲	۲	۲	۰	۰	۲	-۲	-۱۰	-۶	۱۵	-۲	۲	۲	زاهدان	
-۱۴	۴	۶	۶	-۶	۴	۰	۴	-۶	-۴	۴	۸	-۸	۲	-۱۰	-۲	۲	۱۰	۲	-۴	۲	بابلسر	بهار
-۴	-۲	۰	۶	-۴	۲	۲	۰	۰	۲	-۶	۲	۲	۰	-۴	-۲	۲	۰	-۲	۴	۲	مشهد	
-۴	۱۶	-۱۴	-۱۰	۴	۶	۲	۰	-۱۲	۱۴	-۴	۶	۶	۰	-۴	۴	۰	-۱۴	۶	۶	۲	زاهدان	
۰	۴	-۲	-۲	۰	-۲	۲	-۲	-۲	۶	-۲	۴	-۴	۰	-۲	۲	۴	-۴	۴	-۶	۲	بابلسر	تابستان
۲	۲	-۴	۱۲	-۱۶	۲	۲	-۲	-۲	-۱۶	۲۲	-۴	۰	۲	۰	۰	-۲۰	۳۴	-۲۰	۲	۴	مشهد	
۰	۱۶	۴	-۱۰	-۴	-۸	۲	۰	-۱۶	-۴	۱۸	-۴	۸	-۲	۰	۰	۰	۸	-۸	۰	۰	زاهدان	
-۲	۰	۴	-۴	۶	-۴	۰	۴	-۴	۰	۲	۰	-۲	۰	۲	-۴	۴	-۲	۶	-۶	۰	بابلسر	پاییز
-۴	-۲	-۲	۰	۶	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۴	-۲	-۲	۰	۶	۰	۲	مشهد	
-۱۰	۸	۴	-۶	-۲	۲	۴	۰	-۱۰	۸	-۲	۴	۲	-۲	-۱۰	-۲	۱۲	-۸	۲	۴	۲	زاهدان	
-۱۰	۰	۲	۱۰	۲	-۲	-۲	۰	۰	۰	۰	-۲	۲	۰	-۱۰	۰	۲	۱۰	۰	۰	-۲	بابلسر	زمستان
۲	-۲	۲	-۴	۰	۰	۲	-۲	۲	-۲	-۲	۴	۰	۰	۰	۰	۰	-۶	۴	۰	۲	مشهد	
-۴	-۸	۶	۰	۴	۲	۰	۰	۲	-۶	۸	-۶	۲	۰	-۴	-۶	۰	۸	-۲	۴	۰	زاهدان	

با توجه به جدول (۵) ملاحظه می‌شود که در مقیاس زمانی سالانه در هر سه شهر بابلسر، مشهد و زاهدان بین شاخص‌های SPI و SPEI کم‌ترین اختلاف وجود دارد، زیرا حاصل جمع مقادیر قدر مطلق اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی، در مقایسه این دو شاخص با یک‌دیگر از سایر شاخص‌های دیگر کم‌تر شده است. بیش‌ترین اختلاف در بابلسر و زاهدان بین شاخص‌های SPI و RDI و در مشهد بین شاخص‌های SPEI و RDI می‌باشد. بنابراین نمی‌توان در این شهرها به پایش خشک‌سالی تنها بر اساس مقدار بارندگی (شاخص SPI) پرداخت و بهتر است از شاخص‌هایی که علاوه بر بارندگی، تبخیر و تعرق را هم در نظر می‌گیرند، استفاده نمود. در مجموع اختلاف بین شاخص‌های SPI و SPEI در مقایسه با اختلاف بین شاخص‌های SPI و RDI کم‌تر می‌باشد. با توجه به جدول (۵) در مقیاس زمانی فصلی بیش‌ترین

اختلاف، از نظر عملکرد، بین شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان و در شهر مشهد (۸۰ درصد) می‌باشد. ضمن آن که کم‌ترین اختلاف، بین شاخص‌های SPI و SPEI در فصل پاییز و در شهر مشهد (۰ درصد) می‌باشد.

جدول ۵- حاصل جمع مقادیر قدر مطلق اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی

بازه زمانی	شهر	SPI- RDI	SPI- SPEI	SPEI - RDI
سالانه	بابلسر	۳۵	۲۶	۲۹
	مشهد	۳۷	۲۴	۵۳
	زاهدان	۳۹	۲۴	۳۵
بهار	بابلسر	۳۲	۳۶	۴۰
	مشهد	۱۶	۱۲	۲۰
	زاهدان	۳۶	۳۲	۵۶
تابستان	بابلسر	۲۴	۲۹	۱۲
	مشهد	۸۰	۴۸	۴۰
	زاهدان	۱۶	۵۲	۴۴
پاییز	بابلسر	۲۴	۱۲	۲۰
	مشهد	۱۶	۰	۱۶
	زاهدان	۴۰	۲۸	۳۶
زمستان	بابلسر	۲۴	۴	۲۸
	مشهد	۱۲	۱۲	۱۲
	زاهدان	۲۴	۲۴	۲۴

در این تحقیق، با مقایسه وضعیت‌های رطوبتی بر اساس سه شاخص SPI، RDI و SPEI در سه شهر بابلسر، مشهد و زاهدان می‌توان به این نتیجه رسید که در اکثر مواقع عملکرد و رفتار شاخص‌ها در مناطق مختلف و بازه‌های زمانی متفاوت، مشابه و یکسان نبوده است. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، هر چه مقادیر اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی با یک‌دیگر بر اساس شاخص‌های مختلف به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که رفتار و عملکرد شاخص‌ها تشابه بیشتری دارد. به عنوان مثال در فصل پاییز در مشهد، به دلیل اینکه مقادیر اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی در دو شاخص SPI و SPEI برابر با صفر است، می‌توان نتیجه گرفت که در فصل پاییز در مشهد رفتار شاخص SPI کاملاً مشابه با شاخص SPEI می‌باشد.

با توجه به جدول (۵) می‌توان بیان نمود که در فصل‌های پاییز و زمستان در هر سه ایستگاه مورد نظر، کم‌ترین اختلاف بین شاخص‌های SPI و SPEI اتفاق افتاده است، پس در این فصل‌ها تبخیر و تعرق نقش چندانی در وقوع خشکسالی ندارد. با توجه به مشابهت رفتاری شاخص‌های SPI و SPEI در این فصول و سادگی محاسبات SPI در مقایسه با SPEI (به دلیل عدم نیاز به برآورد تبخیر و تعرق) به منظور پایش خشکسالی می‌توان از شاخص SPI استفاده نمود.

با توجه به جدول (۵) می‌توان نتیجه گرفت بیش‌ترین اختلاف بین شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان و در مشهد می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت پدیده تبخیر و تعرق در فصول گرم و خشک می‌باشد. بنا بر این در فصل تابستان پایش خشکسالی تنها بر اساس شاخص مبتنی بر بارندگی چندان مناسب نمی‌باشد.

۴- مراجع

- [1] Logan, K.E. Brunsell, N.A. Jones, A.R. Feddema, J.J. (2010). Assessingspatiotemporal variability of drought in the U.S. central plains, *journal of Arid Environments*, vol. 74, pp. 247 – 255.
- [2] Sharma, B. R. and Smakhtin, V. U. (2004). Potential of water harvestings a strategic too for drought mitigation, *International Water Management Institute*. 24 pp.
- [۳] چناری، م. (۱۳۸۴). بررسی تغییرات چند نمایه مختلف خشک‌سالی با استفاده از زنجیره مارکف در نمونه‌های اقلیمی البرز جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۱۵۹ص.
- [۴] مساعدی، ا. و عیوضی، م. (۱۳۸۷). شناسایی و پیش‌بینی تعدادی از خصوصیات خشک‌سالی‌های هواشناسی در استان گلستان با استفاده از زنجیره مارکف. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱، ص ۸۹-۹۹.
- [5] Campana, P. Knox, J. Grundstein, A. and Dowd, J. (2012), the 2007- 2009 drought in Athens, Georgia, United States: A climatological analysis and an assessment of future water availability, *JAWRA (Journal of the American Water Resources Association)*, VOL. 48, NO. 2.
- [6] Rossi, G. (2000). Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In *Drought and Drought Mitigation in Europe*. J. Voght and f. somma (Eds) Kluwer Academic publisher, Dordrecht.
- [۷] نوحی، ک.، عسکری، ا. (۱۳۸۴). مطالعه خشک‌سالی و دوره‌های برگشت ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها در منطقه قم، خشک و خشک‌سالی کشاورزی، ش ۱۵، صفحه ۴۷.
- [8] Edward, D. (1993). Methodology: Spi Defined, Chapter 3 of Master's thesis, National Drought Mitigation center.
- [۹] محسنی ساروی، م.، صفدری، ع.ا.، ثقفیان، ب.، و مهدوی، م.، (۱۳۸۳). تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشک‌سالی‌های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI). منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴، ص ۶۰۷-۶۱۸.
- [10] Tsakiris, G. Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management*, 18: 1-12.
- [11] Vicente-Serrano, S.M. S. Beguería, and J. I. López-Moreno, (2010a). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696- 1718.
- [۱۲] احمدی، م.، نصرتی، ک.، و سلکی، ه. (۱۳۹۲). خشک‌سالی و ارتباط آن با رطوبت خاک. مطالعه موردی: کبوترآباد اصفهان، فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال یازدهم، شماره ۳۸، پاییز ۱۳۹۲.
- [13] Tsakiris, G. Pangalou, D. and Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21: 821-833.
- [14] Vicente-Serrano, S.M. Lopez-Moreno, J.I. Drummond, A. Gimeno, L. Nieto, R. Moran-Tejeda, E. Lorenzo-Lacruz, J. Begueria, S., and Zabalza, J. (2011). Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930-2006). *Climate Resources*, 48, 203-212.
- [15] Alijani, B. Ghohroudi, M. and Arabi, N. (2008). Developing a climate model for Iran using GIS. *Theoretical and Applied Climatology*. 92, 103-112
- [16] McKee, T. B. Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). The relation of drought frequency and duration to time scale. *Proceeding, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, 379-384.
- [17] Steinman, A. (2003). Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 39(5): 1217-1233.
- [۱۸] مساعدی، ا و قبائی سوق، م. (۱۳۹۰). تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) براساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۵، ص ۱۲۱۶-۱۲۰۶.
- [19] Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*. 910: 1-9
- [20] Vicente-Serrano S.M. Beguer'ia S. Lorenzo-Lacruz J. Camarero J.J. L'opez-Moreno J.I. Azorin-Molina C. Revuelto J. Mor'an-Tejeda E. S'anchez-Lorenzo A. (2012). Performance of drought indices for ecological, agricultural and hydrological applications. *Earth Int*. 16: 1-27.
- [21] Vicente-Serrano S.M. Gouveia C. Camarero J.J. Beguer'ia S. Trigo R. L'opez-Moreno J.I. Azor'in Molina C. Pasho E. Lorenzo-Lacruz J. Revuelto J. Mor'an-Tejeda E. Sanchez-Lorenzo A. (2013). The response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A*. 110: 52-57.
- [22] Vicente-Serrano S.M. S. Beguer'ia, J.I. L'opez-Moreno, M. Angulo, A. El Kenawy. (2010b). A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscale drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *J. Hydrometeorol*. 11: 1033-1043.

- [23] Vicente-Serrano S.M. L'opez-Moreno J.I. Gimeno L. Nieto R. Mor'an -Tejeda E. Lorenzo-Lacruz J. Beguer'ia S. Azorin-Molina C. (2011). A multi-scalar global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *J. Geophys. Res.* 116: D20109.
- [24] Beguer'ia S. Vicente-Serrano S.M. Reig F. and Latorrea , (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *Int. J. Climatol.* 34: 3001–3023.
- [25] 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, 174 pp.

Investigation of Drought Conditions Based on some Drought Indices in Different Regions

Adeleh Hatefi, M.Sc. Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

Abolfazl Mosaedi*, Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Email: mosaedi@um.ac.ir

Mehdi Jabbbari Nooghabi, Assistant Professor, Department of Statistics, Faculty of Mathematics, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Drought is a natural phenomenon that may be observed in any climate regime. In this study, drought monitoring were examined during a 50 years period from 1961 to 2010, to compare drought conditions based on three drought indices of SPI, RDI and SPEI for Babolsar, Mashhad and Zahedan synoptic stations. At first we verified initial statistical tests for data, and then values of aforesaid indicators calculated in annual and seasonal scales. Comparing results represented that in most cases the performance indices are not the same in different regions and at different intervals time scales. Drought conditions based on SPI and SPEI show no difference in Mashhad for autumn. While the biggest difference of that based on SPI and RDI indices is seen in Mashhad for summer. In addition, in autumn and winter in all three stations, the maximum similarity is observed between indices of SPI and SPEI. Therefore in these seasons, evapotranspiration has no role in drought, so are suggested which can use just SPI index (due to no need to calculating of evapotranspiration).

Key words: *Standardized Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI), Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI), Drought monitoring, Climate*