

خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک مطالعه موردی: کبوترآباد اصفهان

محمود احمدی^۱، کاظم نصرتی^۲ و هیوا سلکی^۳

چکیده

خشکسالی، نتیجه کاهش طبیعی در مقدار بارش دریافتی طی یک دوره زمانی مشخص در یک ناحیه معین معمولاً یک فصل یا بیشتر است. به این دلیل که داده‌های طولانی‌مدت بارش نسبت به سایر داده‌های آب‌وهوایی و هیدرولوژیک به آسانی قابل دسترس هستند، این داده‌ها به‌طور گسترده‌ای برای محاسبه شدت خشکسالی به‌کار گرفته می‌شوند. هدف از این مطالعه ضمن پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی-تبخیر و تعرق استاندارد شده در ایستگاه کبوترآباد اصفهان، تعیین ارتباط این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده و رطوبت خاک می‌باشد. نتایج نشان داد شدیدترین خشکسالی‌ها در این ایستگاه در سال ۲۰۰۰ بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ روی داده است. بیشترین فراوانی آن مربوط به مقیاس ۳ و ۶ ماهه است که نشان‌دهنده خشکسالی هواشناسی بیشتر در این منطقه بوده است. با افزایش مقیاس زمانی، خشکسالی هم تداوم بیشتری داشته است. همچنین نتایج نشان داد 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. با توجه به کارایی شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده و لحاظ نمودن بیان آب این شاخص دارای همبستگی قابل قبول با میزان رطوبت خاک نشان داد. نتایج این مطالعه می‌تواند در تعریف شاخصی برای ارتباط بین انواع خشکسالی‌ها (مانند هواشناسی و هیدرولوژیک) مفید باشد.

کلیدواژه‌گان: خشکسالی، رطوبت خاک، شاخص بارش استاندارد شده، اما شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده.

۱. استادیار دانشگاه شهید بهشتی

۲. استادیار دانشگاه شهید بهشتی

۳. کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی

مقدمه

خشکسالی مخاطره‌ای است که توسط بسیاری از دانشمندان در میان تمام مخاطرات طبیعی به عنوان پیچیده‌ترین اما کم‌شناخته‌شده‌ترین پدیده توجه شده است و افراد بیشتری را نسبت به سایر مخاطرات تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی مخاطره طبیعی پنهان و به‌کندی شروع شونده است (Wilhite et al, 2007). در واقع این پدیده، شکل معمول اقلیم است که وقوع آن ناگزیر می‌باشد (Wilhite, 2000) و می‌تواند به عنوان یک پدیده آب‌وهوایی معمول و تکرارشونده تلقی گردد (Hisdall, et al, 2000). اغلب مناطق آب‌وهوایی ممکن است خشکسالی را تجربه کنند. این پدیده در تمام مناطق آب‌وهوایی، علیرغم ویژگی‌هایی که می‌توانند به‌طور چشم‌گیری بین آن‌ها متفاوت باشند، همانند مناطق با بارش کم و زیاد، رخ می‌دهد (Mishra & Singh, 2010 و Hisdall & Tallaksen, 2000 و Mpelasoka, et al, 2008). به ویژه نواحی جنب مرطوب، نیمه‌خشک و خشک بیشتر در معرض خشکسالی قرار دارند زیرا این نواحی اغلب توسط بارش‌های بسیار متغیر در طی سال مشخص می‌شوند (Wilhite, 2010). حتی شروع بارش به موقع نیز نمی‌تواند یک فصل بدون خشکسالی را ضمانت کند به دلیل اینکه فراوانی، تراکم، مقدار و دوره بارش نیز نقش چشم‌گیری در وقوع خشکسالی ایفا می‌کنند (Swati, et al, 2012).

خشکسالی پدیده‌ای تکرار شونده است که در طول تاریخ به تمدن بشری آسیب رسانده است (Heim, 2002) و باعث انحطاط تمدن‌ها بوده و منجر به بسیاری از مهاجرت‌ها به سرزمین‌هایی که وضع مطلوب‌تری داشته‌اند، شده است (Kangas & Brown, 2007). این پدیده، شبکه پیچیده‌ای از تأثیرات را ایجاد می‌کند که ممکن است به منطقه‌ای خارج از منطقه تحت تأثیر آن قرار گرفته نیز برسد (Wilhite et al, 2007, Hisdal & Tallaksen, 2003). پیچیدگی تأثیرات بیشتر به خاطر وابستگی بسیاری از بخش‌ها به آب برای تولید کالا و تأمین خدمات ایجاد می‌شود (Wilhite et al, 2007). خشکسالی پرهزینه‌ترین مخاطره طبیعی در جهان است (Logan, et al, 2010). نتایج آن بسته به موقعیت، زمان‌بندی، وسعت و نوع جامعه یا بخش اجتماعی بسیار متغیر است (Logan et al, 2010). همچنین تأثیر یک خشکسالی تابعی از بزرگی رویداد و آسیب‌پذیری اجتماعی ناحیه بر اساس چگونگی در معرض مخاطره قرار گرفتن و یا مکانیسم‌های غلبه بر آن است (Campana, et al, 2012).

همانطور که آسیب‌پذیری به خشکسالی به طور جهانی افزایش یافته است، توجه بیشتری به کاهش خطرات جلب شده است (Wilhite, et al, 2000).

خشکسالی، نتیجه کاهش طبیعی در مقدار بارش دریافتی طی یک دوره زمانی مشخص در یک ناحیه معین معمولاً یک فصل یا بیشتر است (Hisdall & Tallaksen, 2000 و Wilhite, 2010). اگرچه، عوامل آب‌وهوایی دیگر همانند دماهای بالا، بادهای زیاد و رطوبت نسبی کم، اغلب در مناطق بسیاری از جهان با آن همراه شده‌اند و می‌توانند شدت رویداد را بدتر کنند. همچنین این پدیده به زمان‌بندی (به عنوان مثال، فصل اصلی وقوع، تأخیر در شروع فصل بارانی، وقوع بارش در رابطه با مراحل اصلی رشد محصول) و تأثیر بارش (مانند تراکم بارش، تعداد رویدادهای بارش) مربوط می‌شود (Wilhite, 2010). ویژگی‌های خشکسالی در یک ناحیه، عمدتاً تابع عوامل آب‌وهوایی منطقه‌ای بوده‌اند (Pandy, et al, 2008) و ویژگی‌های این پدیده باعث می‌شود که از سایر مخاطرات متفاوت باشد. از جمله آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره نمود: اول؛ دشوار است که شروع و پایان آن مشخص گردد به دلیل اینکه تأثیرات خشکسالی طی یک دوره زمانی، به کندی جمع می‌شوند و ممکن است سال‌ها پس از پایان یافتن آن نیز این تأثیرات ادامه یابند. بنابراین به عنوان یک پدیده خزننده شناخته می‌شود (Wilhite, 2000 و Sirdas & Duran Sahin, 2008). دوم؛ به دلیل سختی در تعریف اینکه چگونه خشکسالی ممکن است جامعه را تحت تأثیر قرار دهد، هیچ تعریف قابل قبول جهانی از خشکسالی وجود ندارد. (Logan et al, 2010)، در واقع تعریف خشکسالی باید منطقه‌ای و کاربردی باشد. تنوع‌پذیری گسترده بخش‌های تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته، توزیع متنوع زمانی و جغرافیایی و تقاضای به وجود آمده در تأمین آب توسط سیستم‌های مورد استفاده انسانی این کار را دشوار می‌سازد که یک تعریف واحد از خشکسالی گسترش یابد. سوم؛ بر خلاف سیل، هاریکان و بیشتر مخاطرات طبیعی، تأثیرات خشکسالی غیر ساختاری هستند و در سطح وسیع جغرافیایی گسترش می‌یابد (Wilhite, 2000 و Wilhite, 2010) و چهارم اینکه؛ چندین نوع خشکسالی وجود دارند و عوامل یا پارامترهایی که خشکسالی را تعریف می‌کنند، از نوعی به نوع دیگر متفاوت خواهند بود (Wilhite, 2010).

به‌طور کلی، چهار نوع خشکسالی وجود دارد: ۱. هواشناسی؛ ۲. کشاورزی؛ ۳. هیدرولوژیک و ۴. اقتصادی - اجتماعی. خشکسالی هواشناسی که گاهی آن را اقلیم‌شناسی نیز می‌نامند، شرایط جوی

که بر اثر نبود یا کاهش بارش طی یک دوره زمانی معین ایجاد می‌شود، را می‌گویند که می‌تواند به سرعت گسترش یابد و به‌طور ناگهانی پایان یابد (Heim, 2002). عموماً برای مطالعه خشکسالی هواشناسی از داده‌های بارش استفاده می‌گردد (Mishra & Singh, 2010). خشکسالی کشاورزی، خشکی در لایه‌های سطحی خاک (منطقه ریشه)، در یک دوره بحرانی طی فصل رشد روی می‌دهد که باعث کاهش محصول می‌شود، اگرچه ممکن است لایه‌های عمیق‌تر خاک اشباع باشد (Heim, 2002). فشار خشکسالی نخستین علت کاهش محصول در سرتاسر جهان است (Street, et al, 2006). کاهش رطوبت خاک به چندین عامل که خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به همراه تفاوت‌هایی بین تبخیر - تعرق واقعی و تبخیر - تعرق پتانسیل، بستگی دارد. نیاز آبی گیاه به شرایط حاکم آب‌وهوایی، ویژگی‌های بیولوژیک گیاه معین و خصوصیات طبیعی و بیولوژیک خاک وابسته است (Mishra & Singh, 2010). طی یک دوره طولانی‌مدت، کاهش بارش باعث خشکسالی هیدرولوژیک می‌گردد که نتیجه آن کاهش آب‌های سطحی و زیرقشری (همانند سطح ذخایر و آب‌های زیرزمینی، جریان‌ها و توده برف) است (Wilhite, 2010 و Heim, 2002). برای تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک، داده‌های جریان به‌طور گسترده‌ای به کار برده می‌شوند. (Mishra & Singh, 2010) ونلان و پیترز (۲۰۰۰)، خشکسالی آب‌های زیرزمینی را ارائه نموده‌اند. طبق تعریف آنها، زمانی که سطح آب زیرزمینی از یک سطح بحرانی در یک دوره زمانی مشخص پایین بیفتد، خشکسالی آب‌های زیرزمینی در آب‌خوان‌ها رخ می‌دهد (Hisdal & Tallaksen, 2000). خشکسالی اجتماعی - اقتصادی، زمانی روی می‌دهد که تقاضا برای یک کالای اقتصادی (آب) از عرضه آن پیشی می‌گیرد (Mishra & Singh, 2010). تأثیرات اجتماعی خشکسالی اغلب توسط شرایط خشکسالی نسبی ایجاد می‌شوند که نتیجه انحراف موقت از وضعیت نرمال تأمین و تقاضای آب است (Logan et al, 2010). بدین ترتیب برای پایش خشکسالی و مدیریت آن به شاخصی نیاز است تا بتواند با حداقل پارامترهای ورودی بهترین وضعیت را از نظر خشکسالی‌ها ارائه دهد. بنابراین شاخصی جدید بر اساس میزان بارندگی و درجه حرارت و محاسبه تبخیر و تعرق و بیلان آب به نام شاخص بارندگی-تبخیر و تعرق استاندارد شده توسط ویسنت-سرانو^۱ و همکاران (۲۰۱۰) ارائه گردید.

این شاخص توانایی محاسبه شاخص خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف را دارد و با توجه به در نظر گرفتن بیلان آب در ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک مهم می‌باشد. بدین ترتیب هدف از این مطالعه ضمن پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده در ایستگاه کیوتراآباد اصفهان، تعیین ارتباط این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده (که به صورت رایج استفاده می‌گردد) و رطوبت خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی ایستگاه مطالعاتی

در این مطالعه از آمار بارندگی ماهانه، میانگین درجه حرارت ماهانه و میانگین رطوبت خاک ماهانه تا عمق ۵۰ سانتی‌متری با دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۸۷-۲۰۰۷) ایستگاه هواشناسی کیوتراآباد اصفهان استفاده گردید. نرمال بودن داده‌ها، صحت و همگنی داده‌ها بررسی و خلاءهای آماری با استفاده از روش نسبت نرمال برای ایستگاه بازسازی گردید.

روش تحقیق

محاسبه شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

به این دلیل که داده‌های طولانی‌مدت بارش نسبت به سایر داده‌های آب‌وهوایی و هیدرولوژیک به آسانی قابل دسترس هستند، این داده‌ها به‌طور گسترده‌ای برای محاسبه شدت خشکسالی به کار گرفته می‌شوند. اگرچه بارش به تنهایی ممکن نیست طیف تمام ویژگی‌های خشکسالی را نشان دهد، اما نخستین شاخص خشکسالی و پایه بیشترین سیستم‌های دیده‌بانی خشکسالی است (Pandy, et al, 2008).

اولین بار مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳)، روش SPI یا بارش استاندارد شده را برای محاسبه خشکسالی ارائه دادند. از جمله مزایای این شاخص می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱. سادگی (برای محاسبه خشکسالی، تنها داده‌های بارش مورد نیاز است). ۲. مقیاس‌های زمانی متفاوت: انواع مقیاس‌های زمانی برای کمبود بارش که بر پنج نوع منبع آب قابل استفاده (رطوبت خاک،

آب‌های زیرزمینی، توده برف، جریان و مخازن ذخیره) تأثیرگذار است را نشان می‌دهند. از این مقیاس‌ها در انواع خشکسالی استفاده می‌شود به عنوان مثال از مقیاس‌های کوتاه‌مدت برای مطالعه خشکسالی هواشناسی و مقیاس‌های طولانی مدت برای مطالعه خشکسالی‌های کشاورزی و هیدرولوژیک استفاده می‌گردد. ۳. استاندارد شدن: فراوانی خشکسالی‌های شدید در هر منطقه و مقیاس زمانی ملایم‌تر شده است (Mc Kee، ۱۹۹۳ و Ceglar، ۲۰۱۱).

به منظور محاسبه این شاخص ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه استخراج و سری‌های زمانی تشکیل می‌گردد. سپس تابع توزیع آماری گاما بر سری داده‌های بارندگی حاصل از مرحله قبل برازش داده می‌شود و احتمالات تجمعی توزیع گاما محاسبه می‌گردد. در نهایت تابع تجمعی گاما به تابع نرمال استاندارد Z و (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌گردد. طبق این شاخص، دوره‌های خشکسالی و ترسالی به هفت دسته طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱).

جدول ۱: طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس SPI و SPEI

ارزش	SPI و SPEI	علامت اختصاری	معادل انگلیسی	طبقه
۳	≥ 2	EW	Extremely Wet	شدیداً مرطوب
۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	SW	Severely Wet	خیلی مرطوب
۱	۱ تا ۱/۴۹	MW	Moderately Wet	مرطوب متوسط
۰	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	N	Normal	نرمال
-۱	-۱ تا -۱/۴۹	MD	Moderately Dry	خشکی متوسط
-۲	-۱/۵ تا -۱/۹۹	VD	Very Dry	خیلی خشک
-۳	≤ -2	ED	Extremely Dry	شدیداً خشک

محاسبه شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس رویکرد توزنت‌وایت استفاده می‌نماید. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه i به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقادیر D در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که k (ماه‌ها) مقیاس زمانی مورد نظر و n ماه مورد نظر در محاسبه می‌باشد. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می‌گردد (نصرتی، در حال چاپ).

پس از محاسبه شاخص‌ها با استفاده از SPSS، داده‌ها به ارزش‌های طبقه‌بندی شده در شاخص‌ها دسته‌بندی شدند و در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه، به بررسی فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی‌ها پرداخته شد. در نهایت ارتباط بین شاخص‌ها و رطوبت خاک بررسی شد. به این منظور میانگین وزنی ماهانه داده‌های رطوبت خاک بر اساس عمق تعیین شد و به صورت اعداد استاندارد تبدیل شدند تا امکان مقایسه با مقادیر استاندارد شاخص خشکسالی را داشته باشند.

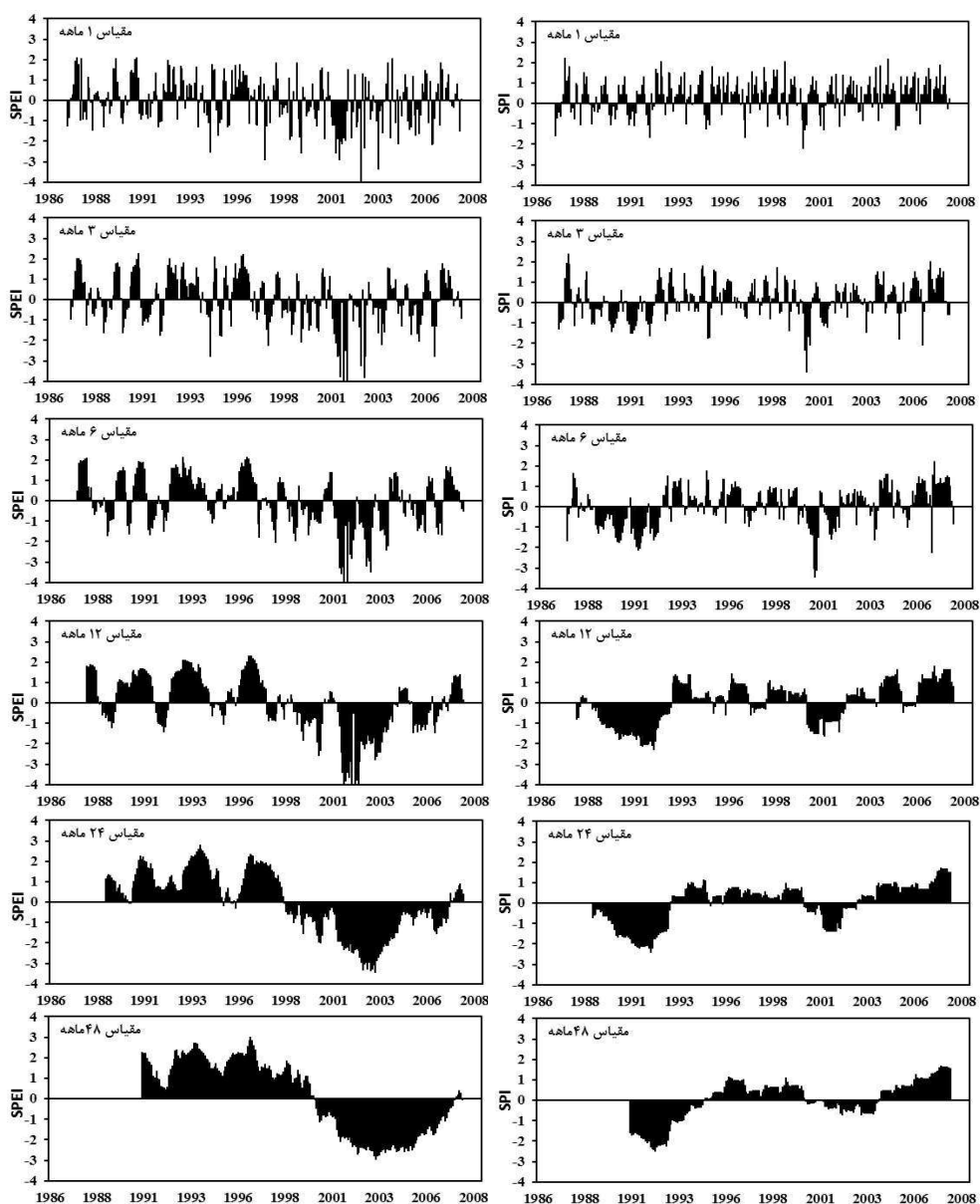
نتایج

شاخص‌های SPI و SPEI برای ایستگاه مورد نظر محاسبه گردید. شکل ۱ ارزیابی شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای ایستگاه کبوترآباد اصفهان را در بازه زمانی ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب زیاد است. با افزایش مقیاس‌های زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد اما تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. در این ایستگاه هماهنگی بین هر دو شاخص بسیار زیاد است. با افزایش مقیاس زمانی از این هماهنگی کاسته شده و در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه به جز در خشکسالی شناخته شده دوره زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ در سایر موارد معکوس می‌باشد (شکل ۱).

اما با این وجود نتایج نشان داد که میانگین تداوم خشکسالی‌ها در شاخص SPEI طولانی مدت‌تر از تداوم خشکسالی‌ها در SPI می‌باشد. این نتایج در تمامی بازه‌های زمانی صدق می‌نماید. به طوری که در مقیاس زمانی ۳ ماهه میانگین تداوم خشکسالی‌ها در ایستگاه‌ها بر

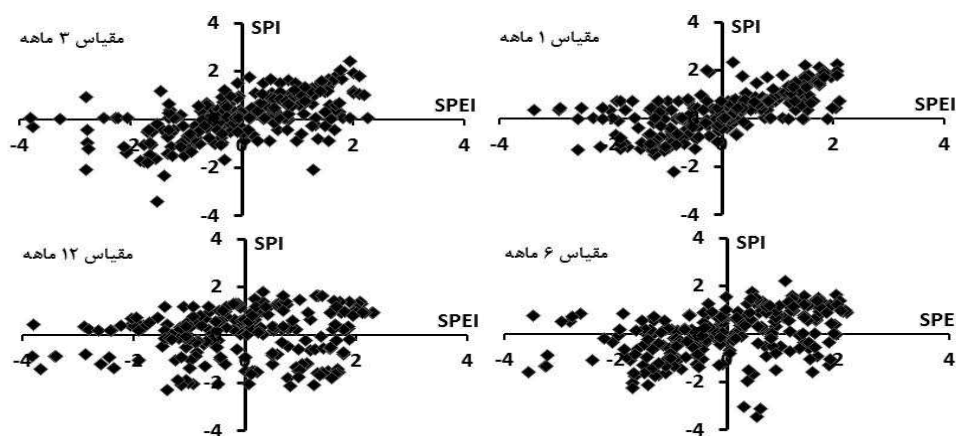
طبق شاخص SPI ۳/۱ ماه است اما مطابق با شاخص SPEI ۴/۳ ماه می‌باشد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه تداوم خشکسالی‌ها در شاخص SPI و SPEI به ترتیب برابر با مقادیر ۱۳/۶ و ۱۵/۸ و در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه تداوم خشکسالی‌ها در شاخص SPI و SPEI به ترتیب برابر با مقادیر ۲۰/۱ و ۲۴/۲ می‌باشد. بیشترین تداوم خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بر اساس محاسبات شاخص SPEI رخ داد. بیشترین شدت خشکسالی بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ توسط شاخص SPEI مشخص شده است که مرتبط با گرم شدن هوا در این بازه‌های زمانی می‌باشد.

هر دو شاخص SPI و SPEI دارای محدوده یکسان می‌باشند (جدول ۱). بنابراین می‌توان آن‌ها را از طریق ضریب همبستگی پیرسون مقایسه نمود. نتایج این روش ارزیابی شاخص‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ برای ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. شکل ۲ رگرسیون خطی بین دو شاخص SPI و SPEI را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر رابطه مناسب دو شاخص در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت است به طوری که ضریب همبستگی پیرسون در سطح یک درصد برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ ماهه به ترتیب برابر با ۰/۸۱، ۰/۷۵، ۰/۵۶ و ۰/۴۳ (در سطح ۰/۰۱ دو طرفه $p < ۰/۰۰۱$) می‌باشد. در مقیاس‌های زمانی بالاتر همبستگی بین دو شاخص دیده نمی‌شود.



شکل ۱: ارزیابی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف

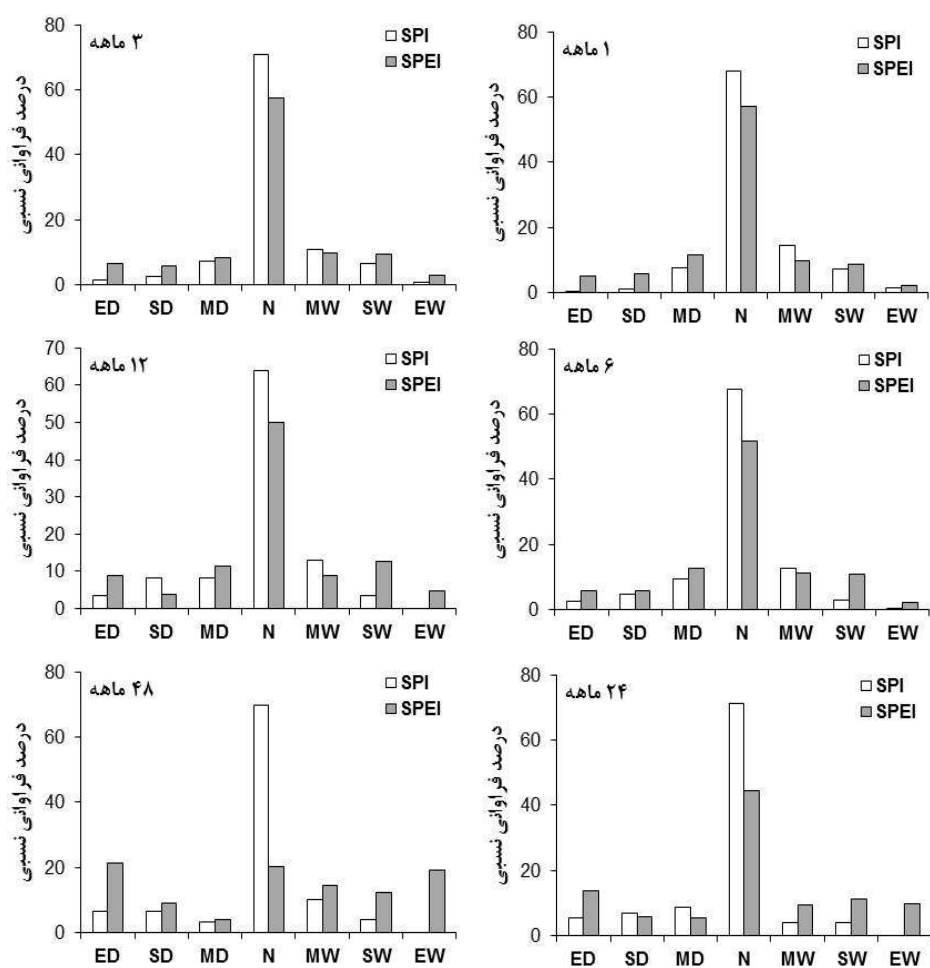
در ایستگاه کبوترآباد



شکل ۲: ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه کیوتراآباد

یکی از راه‌های دیگر ارزیابی شاخص‌های خشکسالی مقایسه عمق شدت خشکسالی گزارش شده توسط شاخص‌های خشکسالی در هر یک از سالهای آماری است. در واقع، این مقایسه دارای اهمیت بسیاری است برای ارزیابی سنج‌های خشکسالی از نقطه نظر کلاس شدت خشکسالی می‌بایست توصیف کیفی مقادیر عددی سنج‌ها را کمی نمود. یعنی به هر یک از کلاسهای شدت خشکسالی عددی ثابت که معرف آن طبقه شدت باشد منتسب نمود. با توجه به یکسان بودن طبقه‌بندی هر دو شاخص SPI و SPEI مقایسه آن دو امکان‌پذیر می‌باشد. به منظور ارزیابی دقیق‌تر، فراوانی نسبی طبقه‌های مختلف هر دو شاخص با مقیاس‌های زمانی مختلف در بازه زمانی مورد مطالعه مطابق با جدول ۲ تعریف و محاسبه گردید.

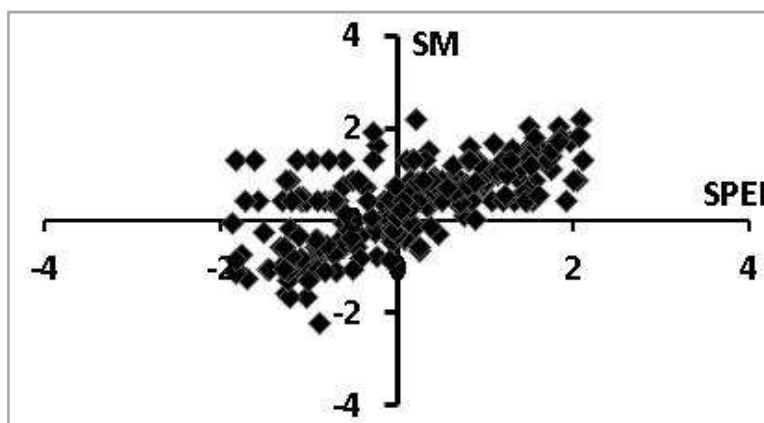
شکل ۳ هیستوگرام طبقات خشکسالی با مقیاس زمانی یک‌ماهه را برای ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ تفاوت معنی‌داری بین فراوانی نسبی طبقات خشکسالی حاصل از دو شاخص خشکسالی دیده نمی‌شود. اما طبقه نرمال شاخص SPI در تمامی مقیاس‌های زمانی دارای فراوانی بیشتری در مقایسه با مقادیر محاسبه شده از شاخص SPEI می‌باشد. طبقاتی که نشانه خشکسالی است مانند خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید در شاخص SPEI دارای فراوانی نسبی بیشتر در مقایسه با مقادیر مشابه در شاخص SPI است که می‌تواند دلیلی بر حساسیت شاخص SPEI به تغییرات بارندگی و منظور نمودن پارامتر درجه حرارت در این شاخص باشد.



شکل ۳: درصد فراوانی نسبی طبقات شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۷ در ایستگاه کیوتراآباد.

ED: خشکسالی بسیار شدید، SD: خشکسالی شدید، MD: خشکسالی متوسط، N: نرمال، MW: رطوبت متوسط، SW: رطوبت شدید، EW: رطوبت بسیار شدید.

مقایسه داده‌های رطوبت خاک با شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده با توجه به اینکه نتایج نشان داد شاخص SPEI دارای هماهنگی با شاخص SPI است از این شاخص به منظور بررسی ارتباط خشکسالی با رطوبت خاک استفاده شد. چون این شاخص بیانگر بیلان آب است. شکل ۴ ارتباط شاخص استاندارد شده رطوبت خاک و شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ارتباط معنی‌داری بین شاخص رطوبت خاک و شاخص خشکسالی وجود دارد.



شکل ۴: ارتباط بین شاخص خشکسالی SPEI در مقیاس‌های زمانی یک ماهه و رطوبت خاک استاندارد شده در ایستگاه کبوترآباد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در ایستگاه کبوترآباد اصفهان مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت. طی دوره آماری مورد مطالعه شدیدترین خشکسالی‌ها در سال ۲۰۰۰ روی داده است. در این ایستگاه بیشترین فراوانی روی داده مربوط به مقیاس‌های کوتاه‌مدت ۳ و ۶ ماهه است که بیشتر، خشکسالی هواشناسی را دربرمی‌گیرد و با بیشتر شدن مقیاس زمانی، از فراوانی آن‌ها کاسته شده است. در منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمانی کوتاه‌تر، گرچه فراوانی خشکسالی‌ها بیشتر بوده است، اما تداوم آن‌ها کم بوده و با افزایش مقیاس زمانی، خشکسالی هم تداوم بیشتری داشته است. در مجموع بیشترین وضعیت خشکسالی در منطقه مربوط به طبقه نرمال بوده

است. نتایج این مطالعه در بررسی کارایی شاخص SPEI با دیگر مطالعات هماهنگی دارد. به طوری که ویسنت-سرانو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه اثرات فرآیند گرم شدن بر خشکسالی‌ها و منابع آب در اسپانیا 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. پوتاپ و موزنی^۱ (۲۰۱۱) کاربرد شاخص SPEI را به عنوان یک شاخص جدید خشکسالی در جمهوری چک مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که صرف نظر از مقیاس زمانی، این شاخص دارای قابلیت تشخیص شدت خشکسالی تحت تاثیر افزایش شرایط دمایی در دهه‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ است. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند که ارزیابی خشکسالی در این دوره‌ها در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. نصرتی (در حال چاپ) شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در اقلیم‌های مختلف کشور را محاسبه و مقایسه نمود. در این مطالعه طبقات خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۷ در شاخص SPEI دارای فراوانی نسبی بیشتر در مقایسه با مقادیر مشابه در شاخص SPI را نشان داد که می‌تواند دلیلی بر حساسیت شاخص SPEI به تغییرات بارندگی و منظور نمودن پارامتر درجه حرارت در این شاخص باشد.

همچنین شاخص استاندارد شده رطوبت خاک و شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده که بیانگر بیلان آب است دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد. این نتایج می‌تواند در ارایه شاخصی که بتواند ارتباط بین انواع خشکسالی را نشان دهد مفید می‌باشد.

کتابشناسی

1. 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;
2. Ceglar, A., (2011), Drought indices, Drought Management Center for Southeastern Europe;
3. Costa, A. C., (2011), Local patterns and trends of the Standard Precipitation Index in southern Portugal (1940- 1999), Advances in Geosciences, 30: 11-16;
4. Heim R. JR, August 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States, American meteorological society, pp. 1149 – 1165;
5. Hisdal, H & L.M., Tallaksen, (2003), Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark, Journal of Hydrology, 281, pp.230 – 247;
6. Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M., Demuth, S., (2000), Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? International Journal of climatology, 21: 317-333;
7. Kangas, Ryan S., Brown, Timothy J., 2007, Characteristics of US drought and pluvials from a high-resolution spatial dataset, International Journal of Climatology, 27: 1303- 1325;
8. Logan, K.E., Brunzell, N.A., Jones, A.R., Feddema, J.J., (2010), Assessing spatiotemporal variability of drought in the U.S. central plains, journal of Arid Environments, vol. 74, pp. 247 – 255;
9. Mc Kee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1993), the relationship of drought frequency and duration to time scale, Eighth conference on Applied Climatology, 17 – 22 January ,California;
10. Mishra, A.K., Singh V.P., (2010), A review of drought concepts, Journal of Hydrology, 391, pp. 202 – 216;
11. Mpelasoka, F., Hennessy, K., Jones, R., Bates, B., 2008, Comparison of suitable drought indices for climate change impacts assessment over Australia towards resource management, International Journal of climatology, 28: 1283- 1292;
12. Pandey, R. P., Dash, B. B., Mishra, S. K., Singh R., (2008), Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India), Hydrological Processes, 22: 1895- 1907;
13. Pandey, S., Pandey, A. C., Nathawat, M. S., Kumar, M. Mahanti, N. C., (2012), Drought hazard assessment using geoinformatics over parts of Chotanagpur plateau region, Jharkhand, India, Natural Hazards, Springer, DOI 10.1007/s11069-012-0093-9;
14. Potop, V., and M. Možný, (2011). The application a new drought index– Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí, 2-

- 4;
15. Sirdas, Sevinc, Duran Sahin, Ahmet, (2008), Relationship between drought and solar irradiation variables, *Hydrological Processes*, 22: 1460-1472;
16. Street, N. R., Oskar, S., Sjodin, A., Tucker, J., Rodriguez- Acosta, M., Nilsson, P., Jansson, S. and Taylor, G., 2006, The genetics and genomics of the drought response in populus, *The Plant Journal*, 48: 321- 341;
17. Vicente-Serrano, S.M., J.I., López-Moreno, A., Drummond, L., Gimeno, R., Nieto, E., Morán-Tejeda, J., Lorenzo-Lacruz, S., Beguería, and J., Zabalza, (2011). Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930-2006). *Climate Research*, 48, 203–212;
18. Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería, and J. I. López-Moreno, (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718;
19. Wilhite, D. A., (2010), Quantification of agricultural drought for effective drought mitigation and preparedness: Key issues and challenges, *Agricultural drought indices proceedings of an expert meeting, 2-4 June 2010, Murcia, Spain*, 13-21;
20. Wilhite, Donald A., (2000), Drought as a natural hazard: concepts and definitions, chapter 1. In: Wilhite D.A. (ed) *Drought: a global assessment, natural hazards and disaster series*. Routledge Publishers, UK;
21. Wilhite, Donald A., (2000), Drought preparedness and Response in the context of Sub-Saharan Africa, *Journal of contingencies and crisis management*, Vol. 8, No. 2, pp. 81-92;
22. Wilhite, Donald A., Hayes, Michael J., Knutson, Cody, Smith, Kelly Helm, (2000), Planning for drought: Moving from crisis to risk management, *JAWRA (Journal of the American Water Resources Association)*, VOL.36, NO.4, PP: 697-710;
23. Wilhite, Donald A., Svoboda, Mark D., Hayes, Michael J., (2007), understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness, *Water resource management*, Vol 21, pp: 763-774.