

پایش خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI

علیرضا حسینی^{۱*}، پرستو باغبانان^۲، تهمنه چهر آرا^۳

۱ - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، alireza.tmu@gmail.com

۲ - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، baghbananp@gmail.com

۳ - استادیار، گروه اقلیم شناسی دانشگاه پیام نور، Ta_ch_55_ir@yahoo.com

چکیده:

خشکسالی به عنوان یکی از بلاای طبیعی و پدیده ای اجتناب ناپذیر از دیرباز در کشورهای مختلف به کرات به وقوع می پیوندد، مطالعات و بررسی های انجام شده نشانگر آن است که کشور ایران با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی خود همانند بسیاری از کشورهای منطقه غرب آسیا در وضعیت مناسبی از لحاظ تامین آب قرار ندارد. یکی از راه های تعدیل خشکسالی ارزیابی و پایش خشکسالی بر اساس شاخص هایی است که بتوان بر اساس آن میزان شدت و تداوم آن را در یک منطقه تعیین نمود در مقاله حاضر روند (خشک سالی) شدت، تداوم خشک سالی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده برای بازه های زمانی ۳،۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه مورد ارزیابی قرار گرفت در این بررسی مورد مطالعه قرار گرفته است. ویژگی این روش کمک می کند تا کمی از رخدادهای خشک سالی را در مکان ها و مقیاس های زمانی متفاوت مقایسه کنیم. به منظور پایش خشک سالی از اطلاعات بارندگی ماهانه ایستگاه های سینوپتیک ایستگاه های درون حوضه شامل ارومیه، تبریز، خوی و همچنین ایستگاه خارج از حوضه اردبیل برای دوره آماری ۲۰۱۷ - ۱۹۸۸ استفاده شد. و با استفاده از نرم افزار SPI محاسبات مربوط به شاخص بارش استاندارد شده انجام گرفت بررسی ها نشان داد که فراوانی رخداد دوره های خشک کوتاه مدت (سه ماهه) و میان مدت (شش ماه) در کلیه ایستگاه ها بیشتر از ۸۰ مورد است، در حالی که فراوانی رخداد دوره های خشک بلندمدت در مقیاس های زمانی ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه خیلی کمتر است و همچنین تداوم دوره های خشک در تمامی بازه های زمانی به ترتیب در ایستگاه های ارومیه، خوی، اردبیل، تبریز روی داده است.

واژه های کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، حوضه دریاچه ارومیه، دوره زمانی خشکسالی

مقدمه

خشکسالی مهمترین و مخرب ترین پدیده اقلیمی و از جمله بلاای طبیعی است که رخداد آن اثرات زیان باری را بر محیط های اکولوژیک وارد می سازد و وقوع آن در اغلب مناطق جهان اجتناب ناپذیر است و به لحاظ تلفات جانی پیامدهای اقتصادی و اجتماعی در مقایسه با سایر بلاای طبیعی از اهمیت بیشتری برخوردار است. خشکسالی را می توان معلول یک دوره شرایط خشک غیرعادی دانست که به اندازه کافی دوام داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژی یک ناحیه ایجاد شود. (Wilhite, 2000)

شرایط آب و هوایی خشک یا بیابانی در ایران به طور طبیعی سبب شده که در آن، سال های با مقدار بارندگی کمتر از میانگین به مراتب بیشتر از سال های با مقدار بارندگی بیش از میانگین دراز مدت سالانه باشد. فراوانی خشکسالی در دهه های اخیر در میان حوادث طبیعی که جمعیت های انسانی را تحت تأثیر قرار داده اند بیش از سایر حوادث بوده است، صفدری و همکاران (۱۳۸۲). کمبود ذاتی منابع آب در کشور و بروز خشکسالی های پیاپی در سال های اخیر و افزایش چشمگیر استفاده از منابع زیر زمینی از سوی دیگر ایجاب می نماید که بیش از پیش به نحوه و میزان اثرات خشکسالی ها توجه گردد (محمدی و شمسی پور، ۱۳۸۲).

خشکسالی از جمله پدیده های محیطی مخاطره آمیزی می باشد که ویژگی های آن از جمله شدت، مدت، گسترش فضایی آن در مکان های مختلف، متفاوت است، که هر چه شدت و گستره ی فضایی این مخاطره اقلیمی بیشتر باشد اثرات شدید تری را در بخش های مختلف بر جای می گذارد. کاهش بارش ها، افزایش دما و پایین آمدن رطوبت از جمله اثرات جدی خشکسالی می باشند.

پدیده خشکسالی ماهیتی اقلیمی داشته و عمدتاً از ناهنجاریها و بی نظمی های ایجاد شده در بارش مناطق بوجود می آید. این پدیده که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک با شدت و فرکانس های زیادتر و حتی در بعضی مناطق نسبتاً مرطوب نیز هر از چندگاهی نمود پیدا می کند بر حیات بشر و دیگر جانوران تأثیر می گذارد و زمانی ابعاد وسیعتری میگیرد که دارای ابعاد اقتصادی و اجتماعی باشد (قویدل رحیمی، ۱۳۸۱).

با توجه به اینکه متغیرهای مختلفی بصورت مستقیم و یا غیر مستقیم در رخداد خشکسالی دخالت دارند، و این مسئله که در مقایسه با سایر بلاای طبیعی تعیین شروع و خاتمه آن کار مشکلی می باشد، برای تحلیل فضایی خشکسالی ها ارائه شاخصی که بتواند به صورت منظم در مقیاس زمانی و مکانی دقیق خشکسالی را تحلیل نماید از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می باشد.

شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی؛ ساده و روشنی از خصوصیات اصلی آن یعنی تداوم، شدت و سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد شاخص بارش استاندارد شده SPI از جمله شاخص هایی است که می تواند چنین خصوصیات مزبور را توجیه نماید و چون نیاز به اطلاعات و آمار کمتری داشته و جهت محاسبه روش ساده تری می باشد در مقایسه با شاخص هایی نظیر پالمر قابلیت ارزیابی و پایش نزدیک به زمان واقعی (ماهانه) این شاخص موقعیت نسبتاً مناسبی دارا می باشد علاوه بر آن در بازه های زمانی مختلف قابل محاسبه است.

پیشینه تحقیق:

بی گمان خشکسالی از جمله اصلی ترین و قدیمی ترین مخاطرات طبیعی است که انسانها از دیر باز با آن آشنا بوده اند. آغاز بررسی علمی اظهارات کلی به اوایل قرن بیستم مربوط دانست که به تدریج به پیشرفت علم آب و هواشناسی و هواشناسی این موضوع بیشتر مورد توجه قرار گرفت (فرج زاده، ۱۳۸۴). ارائه روشهای طبقه بندی آب و هوایی توسط محققینی همچون تورنت وایت (۱۹۴۸)، کوپن^۱ (۱۹۳۱) و کنراد^۲ (۱۹۵۰) را نقطه عطفی در این بررسی ها ذکر نمود. در بررسی های این محققین به مفاهیمی

¹ Thornthwaite

² koppen

همچون کمبود رطوبت خاک و یا نوسان مقادیر بارندگی بر می خوریم که گویای توجه به مسئله خشکی و خشکسالی است. هائیز و همکاران ۱۹۹۸ در پژوهشی تحت عنوان شاخص های خشکسالی در بررسی سال ۱۹۹۶ ایالات کلرادو آمریکا توسط شاخص بارش استاندارد SPI اثبات کردند که این شاخص قادر به تشخیص زمان شروع خشک سالی و پیشرفت آن می باشد. هانگ^۴ (۲۰۰۱) به ارزیابی سه شاخص بارش استاندارد شده SPI، نمرات استاندارد شده بارش سالیانه ZSIAP و روش CZI مزایا و معایب هر روش را عین کردند. لیدی^۵ (۲۰۰۹) با برآورد و تخمین خصوصیات زمانی و مکانی خشکسالی ها در حوضه سد هیرفانلی در ترکیه جهت تحلیل منطقه ای خشکسالی به منظور دست یابی به اطلاعات مفید جهت مدیریت پایدار منابع آب، توانست ویژگی های زمانی - مکانی ماهانه شدت - گستره سطح - منحنی فراوانی خشکسالی را به روش SPI، برای دوره برگشت های مختلف برای منطقه ایجاد کرده، سپس با استفاده از این روش، شدت و دوره های برگشت خشکسالی قدیمی انتخاب شده در منطقه فراهم و ارزیابی مصایب خشکسالی در منطقه ارائه نمود. شاه^۵ و همکاران (۲۰۱۵) در کار خود با استفاده از آمار ۴۰ ساله بارش (۱۹۷۱ - ۲۰۱۰) خشکسالی سورات از منطقه گجرات در هند را به کمک شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه پایش کرده اند. نتایج نشان داد که در ۵۰٪ مواقع مقدار SPI شرایط عادی به شرایط خیس و مقادیر منفی نشان می دهد. لیویا و همکاران (۲۰۱۴) شاخص خشکسالی SPI و SPEI با استفاده از داده های مدل COSMO در دو حوزه آبخیز اسلواکی مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی کمی بین شاخص های مذکور در جنوب اسلواکی در مقیاس های سه ماهه وجود دارد. استیج و همکاران (۲۰۱۵) نیز به مقایسه توزیع فراوانی شاخص خشکسالی SPI و SPEI در اروپا پرداختند آنها توزیع های دو پارامتری گاما و مقادیر حد عمومی را به ترتیب برای شاخص SPI و SPEI مناسب تشخیص دادند.

صلاحی (۱۳۸۸) با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه سینوپتیک اردبیل و با استفاده از شاخص های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) درصدی از نرمال (PNPI) و معیار بدون بعد، خشکسالی های به وقوع پیوسته در این شهرستان مورد ارزیابی قرار داد. رزمخواه (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص خشکسالی SPI سه ماهه برای ایستگاه های سینوپتیک استان فارس، به منظور تهیه نقشه پهنه بندی خشکسالی درون باری با استفاده از سه روش IDW با توان های ۱، ۲ و ۳ صورت گرفته سه نقشه پیش بینی شاخص خشکسالی SPI سه ماهه ترسیم گردید. دولتی مهر (۱۳۹۰) با استفاده از نمایه SPI ویژگی های خشکسالی را در آذربایجان غربی پایش کرد، نتایج تحقیق وی نشان می دهد شدیدترین خشکسالی در ایستگاه اردبیل رخ داده و یک دوره پنج ساله خشک و پنج ساله مرطوب را تجربه کرده است لذا روند خشکسالی در استان تناوبی می باشد. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی خشک سالی و ترسالی حوضه ارس با استفاده از نمایی های مبتنی بر بارش پرداخت و نتایج کلی نشانگر این موضوع است که در همه ایستگاه ها پدیده خشکسالی توام با شدت و ضعف هایی حاکم می باشد و در اکثر ایستگاه ها وضعیت بارش در حالت نرمال است. زارع زاده مهریزی و مرید (۱۳۹۰) در مطالعه ای به پایش خشکسالی با استفاده از شاخص های هواشناسی و تراز مخزن سد در سیستم آب زاینده رود اصفهان پرداختند. در این تحقیق از دو شاخص شناخته شده هواشناسی خشکسالی مؤثر EDI و بارندگی استاندارد SPI را با روش هیدرولوژیکی بر اساس تراز مخزن، برای پایش خشکسالی سیستم منابع آب زاینده رود مقایسه شد که بدین منظور دوره خشکسالی ۱۳۷۷-۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر کدام از روش ها قابلیت هایی دارند که طی دوره خشکسالی می توانند به مدیریت خشکسالی کمک کنند. همچنین نتایج نشان داد که برای اعلام شروع وضعیت خشکسالی بهتر است از روش SPI با دوره ۶ ماهه استفاده گردد؛ و طول دوره بهره برداری و اعمال اقدامات مدیریتی برای پایش روش تراز مخزن و برای اعلام خاتمه آن EDI قابل توصیه است.

³ Konrad

⁴ Huang

⁵ Shah

شاخص بارش استاندارد (SPI):

شاخص بارش استاندارد شاخصی است که براساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی متفاوت به کار برده می‌شود همچنین رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش بینی می‌کند و به تخمین شدت خشکسالی کمک کرده و نسبت به شاخص پالمر از پیچیدگی کمتری برخوردار می‌باشد. محاسبه شاخص بارش استاندارد شده برای هرمنقطه براساس ثبت داده‌های بارش در بلندمدت برای یک دوره دلخواه استوار می‌باشد این گزارشات (بارش) در بلندمدت با یک توزیع احتمال متناسب شده‌اند، بنابراین متوسط بارش استاندارد شده برای هر نقطه و برای هر دوره دلخواهی صفر و انحراف معیار آن یک می‌باشد (ادوارد و مکی ۱۹۹۷). ارقام مثبت شاخص بارش استاندارد معرف بهتری نسبت به میانگین بارش می‌باشد درحالی که مقادیر منفی این شاخص معرف پایین تری نسبت به میانگین بارش می‌باشند. چون شاخص بارش استاندارد شده رقومی شده است یعنی به صورت عدد درآمده بنابراین می‌تواند به روش یکسانی اقلیم‌های خشک و مرطوب باشد همچون می‌توان دوره‌های مرطوب را نیز از طریق این شاخص نشان داد.

شاخص SPI از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SPI = \frac{P_i \pm 1}{S}$$

P_i = مقدار بارش در دوره مورد نظر

\bar{P} = میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر

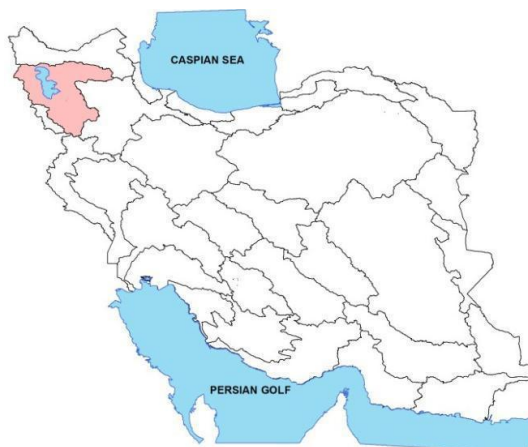
S = انحراف معیار مقدار بارش

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص های SPI

وضعیت	درصد از نرمال
خیلی خیلی مرطوب	بزرگتر یا مساوی ۲
خیلی مرطوب	۱.۵ تا ۱.۹۹
کمی مرطوب	۱ تا ۱.۹۹
نزدیک به نرمال	۰.۹۹ تا ۰.۹۹
کمی خشک	-۱ تا -۱.۴۹
خشک شدید	-۱.۵ تا -۱.۹۹
شدید بسیار خشکسالی	-۲ از کمتر

منطقه مورد مطالعه:

حوضه دریاچه ارومیه از نظر جغرافیایی بین 35° و $40'$ تا 39° و $30'$ عرض شمالی و 44° و $13'$ تا 47° و $50'$ طول شرقی واقع شده میانگین بارش سالانه این حوضه 339 میلی متر است مساحت حوضه دریاچه ارومیه 51876 کیلومتر مربع است که 3.5 درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. حدود 65 درصد این حوضه را مناطق کوهستانی و 24 درصد آن را دشت، و 11 درصد از این حوضه را محدوده دریاچه پوشانده است این دریاچه در میان دو استان آذربایجان غربی و شرقی واقع شده است وسعت دریاچه ارومیه 5750 کیلومتر است این دریاچه عمدتاً از رودخانه‌های زرینه رود، سیمینه رود، تلخه رود، گذار، باراندوز، شهرچای، نازلو و زولا تغذیه می‌شود.



شکل ۱- موقعیت حوضه دریاچه ارومیه در تقسیم بندی حوزه آبخیز

مواد و روش ها

در این بررسی از آمار بارندگی ماهانه ایستگاه های سینوپتیک ارومیه، تبریز، خوی و اردبیل در طول دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۷ استفاده شد به منظور تصحیح آماری داده های بارندگی ماهانه؛ آزمون تصادفی بودن یا همگنی داده ها انجام گردید، که کلیه ایستگاه ها همگن تشخیص داده شد پس از اطمینان از همگن بودن و تصادفی بودن داده های ماهانه سری های زمانی در بازه های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه تشکیل شد. هر یک از سری های زمانی با مقیاس های زمانی متفاوت با توزیع های مختلف مورد برازش واقع که بهترین روش توزیع گاما و پیرسون شناخته شد، تام (1966) پی برد که توزیع آماری گاما برازش خوبی بر سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد. تابع توزیع گاما به آماری گاما برازش خوبی بر سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد. در این پژوهش ایستگاه اردبیل به عنوان یک ایستگاه خارج از حوضه آبخیز ارومیه برای بررسی گسترش خشکسالی به خارج از حوضه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به خصوصیات SPI این شاخص در سراسر دنیا برای پایش دوره های خشکسالی مورد استفا ده است. برای محاسبه این شاخص از توزیع گاما برای برازش داده های بلند مدت بارش استفاده می شود که پس از محاسبه های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به شاخص SPI انجام می گیرد. تابع توزیع گاما به شرح زیر است:

$$\frac{1}{G(x)\beta^a\Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/\beta} \quad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن a پارامتر شکل؛ β پارامتر مقیاس؛ x مقدار بارش بر حسب میلی متر است. تمامی آن ها بیش از صفر است. عبارت $\Gamma(a)$ تابع گاما است. تابع احتمال تجمعی به صورت زیر محاسبه می شود (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳):

$$\int_0^x Y(X) dx = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} \int_0^x X^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad \text{(معادله 3)}$$

اگر $T = \frac{X}{\beta}$ آنگاه تابع اخیر به شکل تابع گامای ناقص در می آید:

$$G(X) \frac{1}{\Gamma(a)} \int_0^x T^{a-1} e^{-t} dt \quad \text{(معادله 4)}$$

که در آن T ، نسبت مقادیر بارش به پارامتر مقیاس است.

از آنجای که تابع گاما برای مقادیر $X=0$ تعریف نشده است و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$H(X) = q + (1 - q)G(x) \quad \text{معادله (5)}$$

در این رابطه q احتمال صفر است و در صورتی که m تعداد مقادیر صفر در یک سری زمان بارش باشد، q را می توان از طریق معادله زیر به دست آورد:

$$q = \frac{m}{n} \quad \text{معادله (6)}$$

پس از محاسبه احتمال تجمعی کل، $H(x)$ ، مقادیر تغییر تصادفی نرمال استاندارد هم احتمال، با احتمال مذکور که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است، محاسبه می گردد. این مقادیر همان شاخص SPI است. معادلات زیر مقدار Z یا SPI را از روی $H(X)$ محاسبه می کنند:

$$Z = SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{معادله (7)}$$

$$Z = SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{معادله (8)}$$

که در آن

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(X)^2} \right]} \quad \text{معادله (9)}$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(X))^2} \right]} \quad \text{معادله (10)}$$

در این معادله $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$ مقادیر ثابت و $H(X)$ احتمال تجمعی است.

$$d_1 = 3/432788, d_2 = 0/118929, d_3 = 0/003308, C_0 = 2/535537, C_1 = 0/1802853, C_2 = 0/030328$$

نتایج و بحث

زمانی که شاخص بارش استاندارد شده دارای توالی های منفی باشد خشک سالی رخ می دهد و زمانی که مقادیر SPI برابر ۱- یا کمتر شود خشک سالی تشدید می شود. با مثبت شدن شاخص بارش استاندارد شده دوره خشک سالی خاتمه می یابد. بنابراین تداوم خشک سالی با توجه به زمان شروع و پایان آن تعریف می شود و شدت آن برای هر یک از ماههای وقوع خشک سالی تعیین می گردد بزرگی تجمعی خشک سالی (توالی SPI های منفی) نیز می تواند شاخص مؤثری برای پیش خشک سالی باشد که برابر با جمع SPI های منفی متوالی برای کلیه ماهه های یک دوره خشک سالی است. جدول (2) نمونه ای از شدت و تداوم خشک سالی های ۲۰۱۷-۱۹۸۸ را بر اساس شاخص بارش استاندارد شده برای بازه زمانی ۶ ماهه ایستگاه ارومیه را نشان می دهد. با بررسی شدت خشک سالی هر دوره می توانیم مقایسه کمی از شدت خشک سالی در ایستگاه ها و نواحی متفاوتی داشته باشیم. برای مثال ایستگاه ارومیه با 48 ماه متوالی خشک، بیشترین تداوم خشک سالی را طی دوره خشک سالی ۲۰۱-۱۹۸۸ داشته اند.

جدول ۲- بیشترین تداوم خشکسالی طی دوره مورد مطالعه

ماه	سال	ارومیه	تبریز	خوی	اردبیل
1998	1	-1.15	-0.68	0.21	1.67
1998	2	-1.38	-0.58	0.01	1.53
1998	3	-1.05	-0.68	0	1.44
1998	4	-0.35	-0.29	-0.09	1.15
1998	5	-0.18	0.37	-0.13	0.9
1998	6	0	0.34	-0.23	0.83
1998	7	-0.22	0.5	-1.28	0.51
1998	8	-0.03	0.59	-1.36	0.23
1998	9	-0.19	0.39	-1.38	0.03
1998	10	-1.14	0.06	-1.71	-0.16
1998	11	-2.22	-0.97	-2.07	-0.96
1998	12	-1.91	-0.62	-2.21	-1.06
1999	1	-1.88	-1.1	0.61	0.94
1999	2	-1.75	-1.44	0.51	0.6
1999	3	-2.16	-1.33	0.5	0.48
1999	4	-1.42	-0.91	0.46	-0.11
1999	5	-0.75	-0.66	0.42	-0.18
1999	6	-0.82	-0.86	0.18	-0.4
1999	7	-0.81	-0.81	-0.51	-0.52
1999	8	-0.74	-0.78	-0.53	-0.64
1999	9	-0.61	-0.58	-0.89	-0.95
1999	10	-0.18	0.84	-1.57	-1.1
1999	11	-0.59	0.88	-2.01	-1.11
1999	12	-1.35	0.6	-2.04	-1.55
2000	1	-1.13	0.59	-0.4	1.69
2000	2	-1.29	0.55	-0.48	0.78
2000	3	-1.34	0.31	-0.52	0.73
2000	4	-1.06	-0.97	-0.53	0.69
2000	5	-1.16	-1.51	-0.54	0.52
2000	6	-0.88	-0.72	-0.59	0.36
2000	7	-1.03	-1.04	-0.61	0.25
2000	8	-0.96	-0.99	-0.69	0.19
2000	9	-1.25	-1.14	-0.71	0.14
2000	10	-1.52	-0.47	-0.87	0.02
2000	11	0.03	0.4	-0.97	-0.85
2000	12	-0.09	0.03	-1.37	-1.78
2001	1	-0.03	-0.12	-0.44	0.61
2001	2	-0.13	0	-0.65	0.21
2001	3	-0.33	-0.04	-0.67	0.1

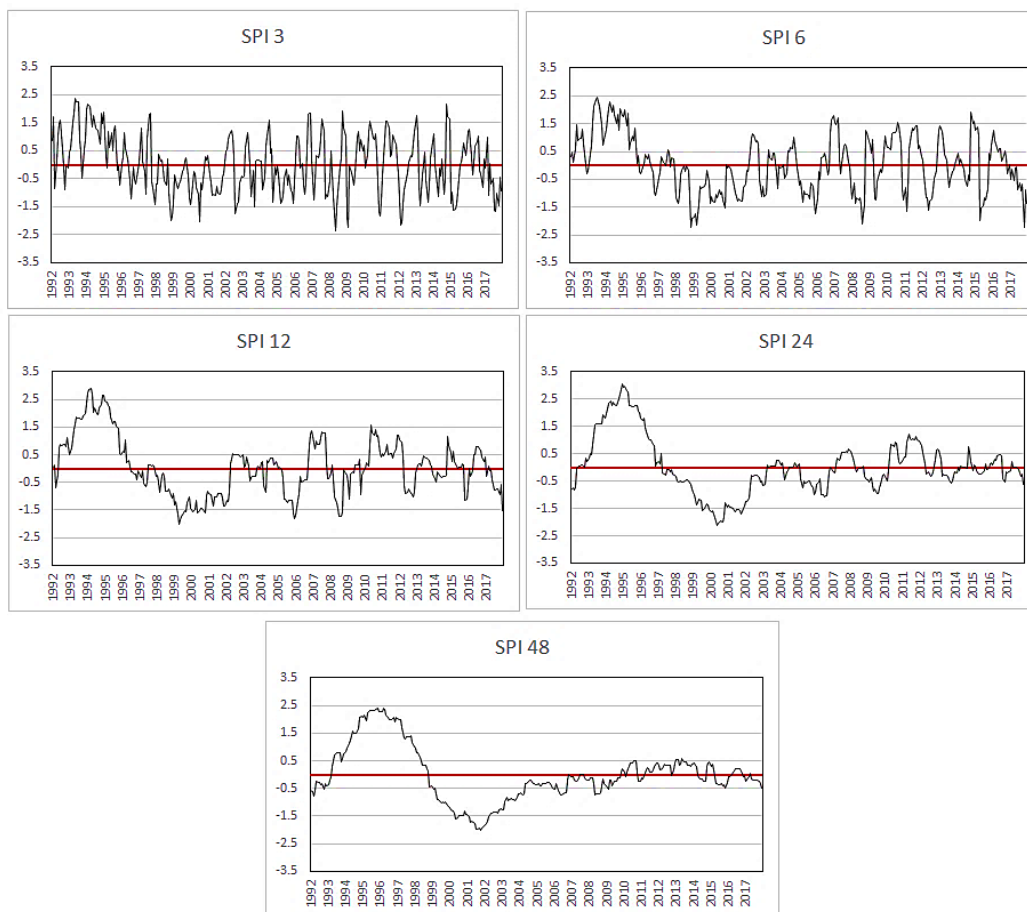
2001	4	-0.54	-0.96	-0.7	-0.38
2001	5	-1	-0.81	-0.85	-0.61
2001	6	-1.12	-1.04	-0.88	-0.76
2001	7	-1.27	-0.93	-0.92	-1.01
2001	8	-1.21	-1.07	-1.05	-1.3
2001	9	-1.3	-1.49	-1.15	-1.46
2001	10	-1.3	-1.24	-1.33	-1.62
2001	11	-0.8	-0.06	-1.36	-1.78
2001	12	-0.68	0.35	-1.61	-1.96

جدول (۳)، نیز تعداد دوره های خشکسالی اتفاق افتاده در بازه های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه را نشان می دهد. با توجه به جدول مشخص می گردد که بیشترین تعداد دوره های خشک در دوره زمانی ۴۸ ماهه تقریباً در اکثر ایستگاه ها مشاهده می شود. حداکثر تعداد دوره های خشکسالی در دوره زمانی ۳ ماهه در ایستگاه ارومیه با ۵۵ مورد، در دوره زمانی ۱۲ ماه در ایستگاه اردبیل با ۶۳ مورد، در بازه زمانی ۲۴ ماهه در خوی با ۶۳ رویداد و در بازه زمانی ۴۸ ماهه نیز در خوی با ۶۱ رخداد وجود دارد.

جدول ۲- بیشترین تعداد خشکسالی در حوضه طی دوره مورد مطالعه

ایستگاه ها	تعداد دوره های خشک در مقیاس ۳ ماهه	تعداد دوره های خشک در مقیاس ۶ ماهه	تعداد دوره های خشک در مقیاس ۱۲ ماهه	تعداد دوره های خشک در مقیاس ۲۴ ماهه	تعداد دوره های خشک در مقیاس ۴۸ ماهه
تبریز	۳۶	۴۱	۳۸	۳۷	۶۰
ارومیه	۵۵	۶۱	۵۳	۴۱	۴۳
خوی	۴۵	۴۶	۵۶	۶۳	۶۱
اردبیل	۴۴	۵۲	۶۳	۴۷	۵۶

روند تغییرات شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه ارومیه در شکل (۲)، قابل شمایده می باشد. همانگونه که در تصویر مشاهده می گردد، بیشترین تعداد خشکسالی ها در دوره های ۳ و ۶ ماهه رخ داده است و در دوره های ۲۴ و ۴۸ ماهه از تعداد دوره های خشکسالی کاسته شده است. همچنین می توان گفت شدیدترین خشکسالی ها در دوره زمانی بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ رخ داده اند. اکثر رخداد خشکسالی ها در بازه زمانی ۳ و ۶ ماهه در بین سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۳ بوده، در حالیکه در بازه های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بیشتر در بین سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است.



شکل ۲- تغییرات شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه ارومیه

با توجه به جدول (۳)، حداکثر تعداد دوره های خشکسالی در بازه زمانی ۶ ماهه رخ داده است. بیشترین موارد وقوع خشکسالی های متوسط در بازه زمانی ۶ ماهه، ۴۸ مورد، بالاترین رخداد خشکسالی های شدید در بازه زمانی ۴۸ ماهه، ۱۹ مورد، بیشترین تعداد رخداد خشکسالی های بسیار شدید در دوره زمانی ۳ ماهه، ۶ مورد روی داده اند.

جدول ۳- بیشترین تعداد خشکسالی در ایستگاه ارومیه طی دوره مورد مطالعه

تعداد خشکسالی های بسیار شدید	تعداد خشکسالی های شدید	تعداد خشکسالی های متوسط	دوره زمانی
۶	۱۱	۳۸	خشکسالی های ۳ ماهه
۴	۹	۴۸	خشکسالی های ۶ ماهه
۱	۱۸	۳۴	خشکسالی های ۱۲ ماهه
۳	۱۷	۲۱	خشکسالی های ۲۴ ماهه
۱	۱۹	۲۳	خشکسالی های ۴۸ ماهه

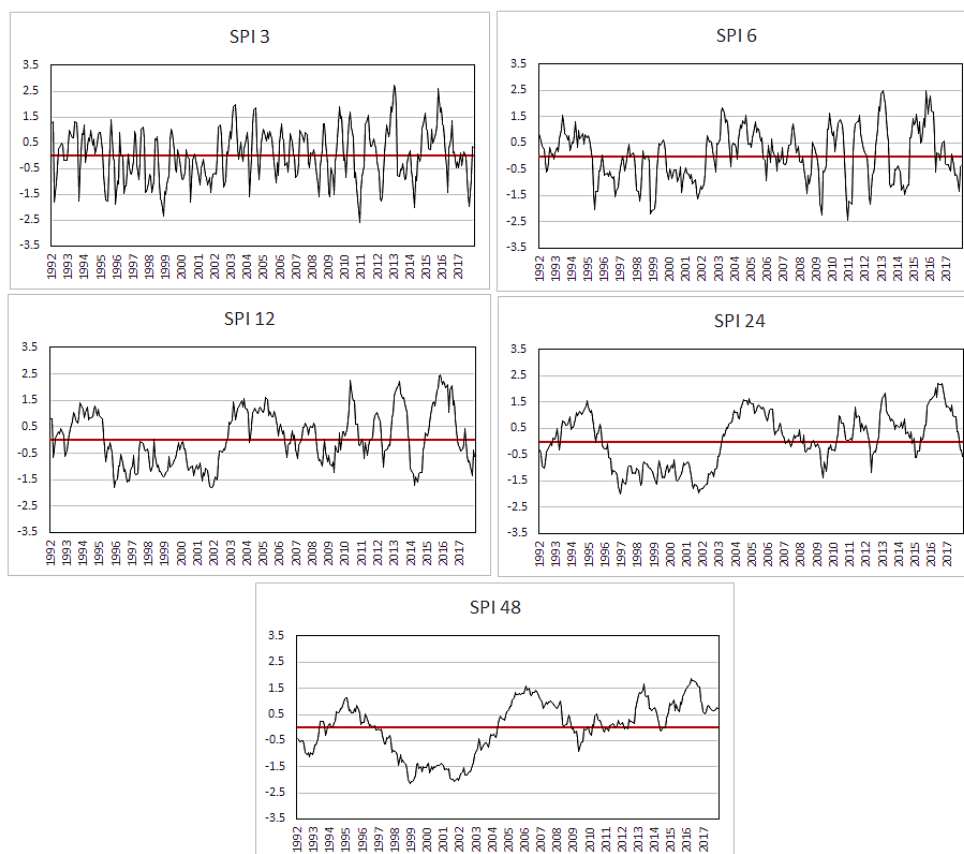
شکل (۳)، تغییرات روند زمانی شاخص SPI، را برای ایستگاه خوی نشان می دهد. با توجه به نمودارها، می توان ذکر نمود که نوسانات بسیار شدیدی در دوره های زمانی مختلف مشاهده می گردد. بیشترین شدت خشکسالی ها در دوره های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در

بین سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ اتفاق افتاده اند. اما در بازه های زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه بیشترین دوره های خشکسالی در بین سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۴ روی داده است.

علاوه بر این مطابق جدول (۴)، میتوان ذکر نمود که بیشترین تعداد خشکسالی های متوسط در بازه زمانی ۱۲ ماهه، ۴۳ مورد، بیشتری تعداد خشکسالی های شدید در دوره زمانی ۴۸ ماهه، ۳۰ مورد، و بالاترین رخداد خشکسالی های بسیار شدید در دوره زمانی ۴۸ ماهه، ۸ بار روی داده است.

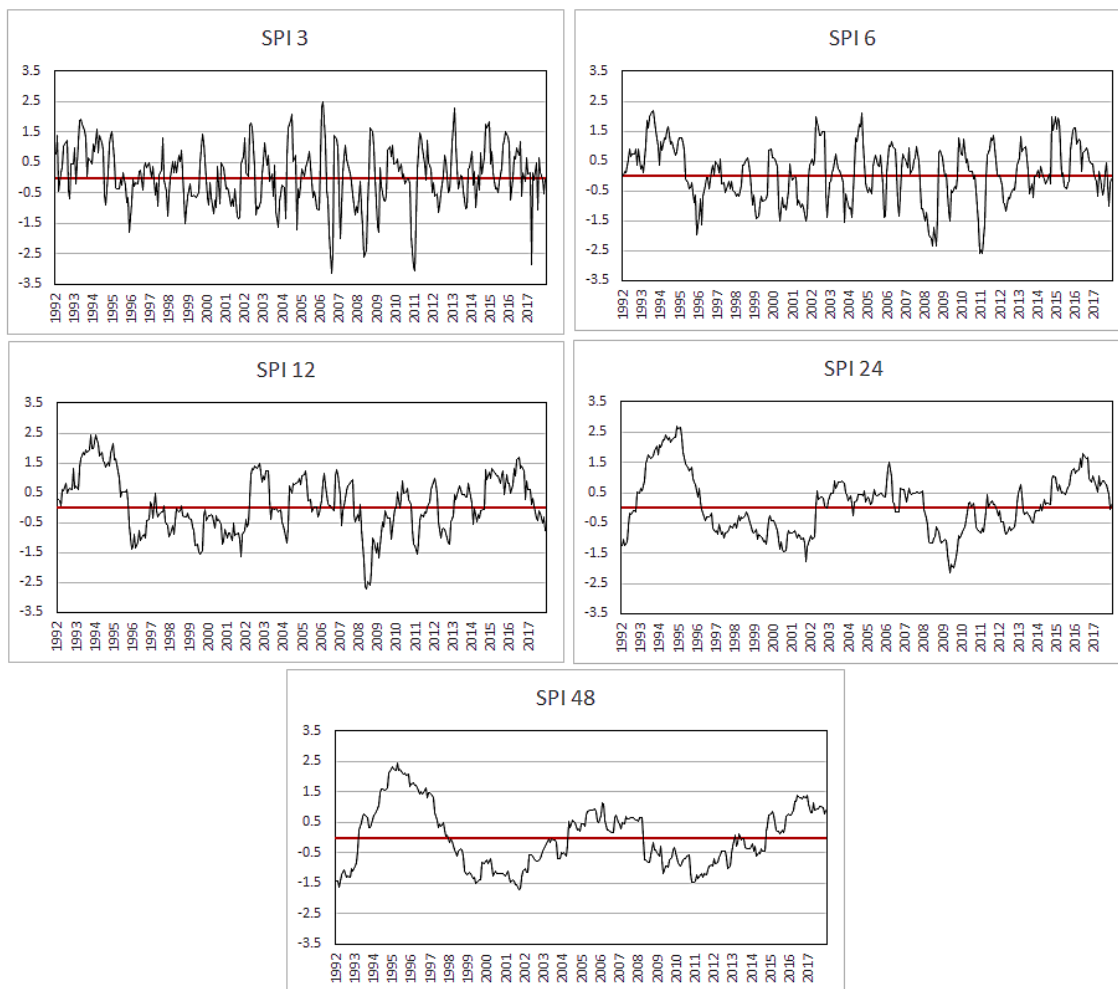
جدول ۴- بیشترین تعداد خشکسالی در ایستگاه خوی

دوره زمانی	تعداد خشکسالی های متوسط	تعداد خشکسالی های شدید	تعداد خشکسالی های بسیار شدید
خشکسالی های ۳ ماهه	۲۳	۱۹	۳
خشکسالی های ۶ ماهه	۲۸	۱۱	۷
خشکسالی های ۱۲ ماهه	۴۳	۱۳	۰
خشکسالی های ۲۴ ماهه	۴۱	۲۲	۰
خشکسالی های ۴۸ ماهه	۲۳	۳۰	۸



شکل ۳- تغییرات شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه خوی

ارزیابی روند تغییرات زمانی شاخص بارش استاندارد شده برای ایستگاه تبریز در شکل (۴)، نشان می دهد که در دوره های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه حداکثر شدت خشکسالی ها در بین سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ روی داده است، در حالیکه در دوره های زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه در بین سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ اتفاق افتاده است. همچنین با توجه به جدول (۵)، مشخص می گردد که بیشترین تعداد دوره های خشکسالی متوسط در دوره زمانی ۴۸ ماهه، ۵۵ مورد، بالاترین تعداد رخداد خشکسالی های شدید در دوره زمانی ۶ ماهه، ۱۰ مورد، بیشترین تعداد رخداد خشکسالی های بسیار شدید در دوره زمانی ۳ ماهه، ۷ رویداد می باشد.



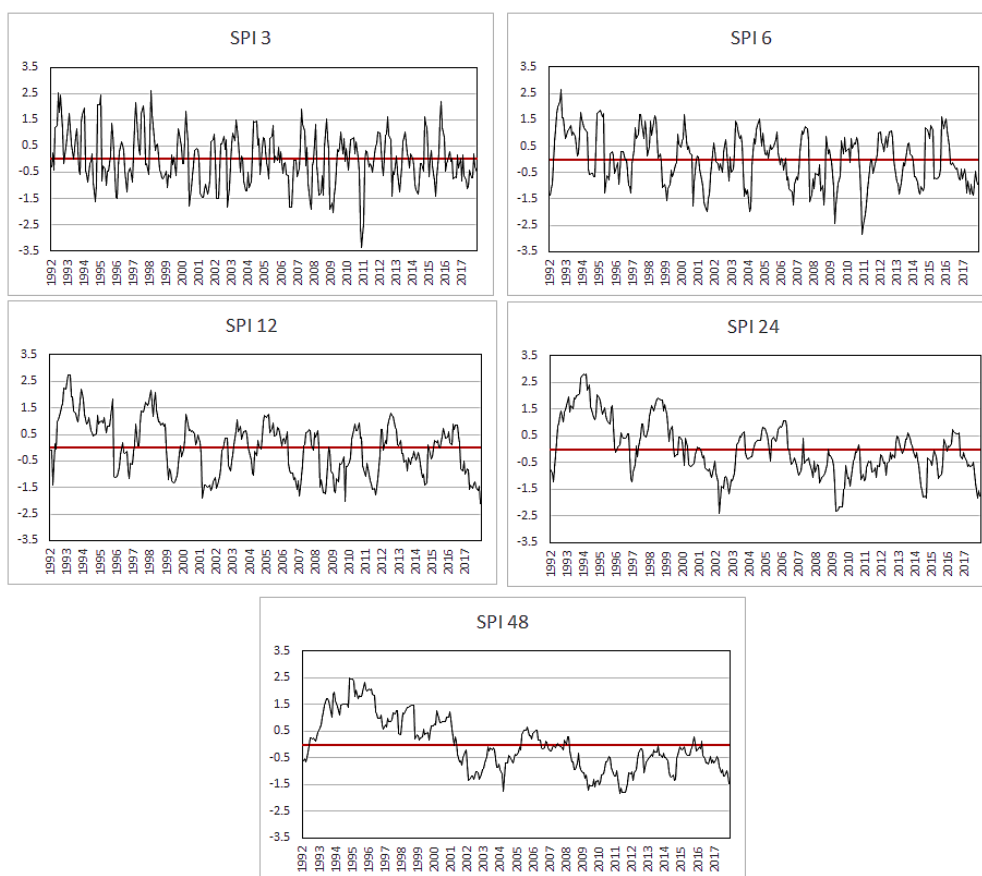
شکل ۴- تغییرات شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه تبریز

جدول ۵- بیشترین تعداد خشکسالی در ایستگاه تبریز

دوره زمانی	تعداد خشکسالی های متوسط	تعداد خشکسالی های شدید	تعداد خشکسالی های بسیار شدید
خشکسالی های ۳ ماهه	۲۰	۹	۷
خشکسالی های ۶ ماهه	۲۵	۱۰	۶

۵	۵	۲۸	خشکسالی های ۱۲ ماهه
۲	۵	۳۰	خشکسالی های ۲۴ ماهه
۰	۵	۵۵	خشکسالی های ۴۸ ماهه

در نمودار (۵) محاسبه شده شاخص بارش استاندارد شده SPI، در ایستگاه اردبیل، مشاهده می نمایم که مقادیر شاخص دارای نوسانات بسیار زیادی بوده و دائما به سمت بالا و پایین میل می کند. همچنین بیشترین رویداد خشکسالی های شدید در دوره های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در بین سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ و در دوره های زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه در بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ رخ داده اند. در تمامی دوره ها شدید ترین خشکسالی ها در تمامی دوره ها اکثرا در سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ دیده می شوند.



شکل ۵۴- تغییرات شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه اردبیل

فراوانی رخداد خشکسالی ها در دوره های مختلف در جدول (۶)، نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می کنیم، بیشترین تعداد خشکسالی های متوسط در دوره ۴۸ ماهه، ۴۴ مورد می باشد. حداکثر تعداد دوره های خشکسالی شدید در دو بازه زمانی ۴۸ و ۱۲ ماهه با ۱۲ مورد، و بیشترین تعداد خشکسالی های بسیار شدید در بازه زمانی ۲۴ ماهه با ۶ رخداد مشاهده می گردد.

جدول ۶- بیشترین تعداد خشکسالی در ایستگاه اردبیل

تعداد خشکسالی های بسیار شدید	تعداد خشکسالی های شدید	تعداد خشکسالی های متوسط	دوره زمانی
۴	۱۱	۲۹	خشکسالی های ۳ ماهه
۴	۱۲	۳۶	خشکسالی های ۶ ماهه
۲	۲۰	۴۱	خشکسالی های ۱۲ ماهه
۶	۹	۳۲	خشکسالی های ۲۴ ماهه
۰	۱۲	۴۴	خشکسالی های ۴۸ ماهه

فهرست منابع

- ۱- فرج زاده، منوچهر، ۱۳۸۴، خشکسالی از مفهوم تا راهکار، انتشارات: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۲۸ ص.
- ۲- صلاحی، برومند، ۱۳۸۸، بررسی خشکسالی های استان اردبیل با استفاده از شاخص های آماری و سینوپتیکی، همایش بحران آب و ضرورت احیای حقایق استان اردبیل، اردبیل، شرکت آب منطقه ای اردبیل با همکاری انجمن علمی مهندسی عمران دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۳- رزمخواه، هما، ۱۳۸۹، بررسی تغییرات منطقه ای شاخص خشکسالی SPI سه ماهه، مطالعه موردی: استان فارس، همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار، استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.
- ۴- زارع زاده مهریزی، محبوبه و مرید، سعید (۱۳۹۰) پایش خشکسالی با استفاده از تراز مخزن سد و شاخص های هواشناسی؛ مطالعه موردی سیستم آب زاینده رود اصفهان، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، سال چهارم و دوم، شماره ۱.

5- Hong, W U, Hayesi, J.M., Weiss, A. and Qihu, 2001. An Evaluation of The Standardized Precipitation Index. The China-Z Index and The Statistical Z-Score”, International Journal of Climatology 21, 745-758.

6- Livia, L., Lukas, S. and Gunther, H., 2014, The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

7- Parry, S, C. Prudhomme, J. Hannaford, B. Hughes, (2010) Examining the Spatio-Temporal Evolution and Characteristics of Large-Scale European Droughts. BHS Third International Symposium, Managing Consequences of a Changing Global Environment, Newcastle 2010, ۱-۸

8- Shah, R; Bharadiya, B; Manekar, M, 2015, Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index(SPI) Method For Surat District, Gujarat, INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015) 1243 – 1249

9- Yildiz, O, 2009. Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey. Academic Journal of Scientific Research and Essay, Volume 4, (4), 249-255