

بررسی شاخصهای خشکسالی هیدرولوژیکی SDI و GRI و تاثیر آن در مدیریت جامع حوزه آبخیز

مطالعه موردی: حوزه آبخیز زرینه رود استان کردستان

قاسم مرتضایی فریزهندی^{۱*}، محسن محسنی ساروی^۲، شهرام خلیقی سیگارودی^۲، جعفر لطفی مغانجوقی^۴

۱ - نویسنده مسئول: دانشیار پژوهشکده مطالعات توسعه سازمان جهاد دانشگاهی تهران - مامور در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

mortezaie@ut.ac.ir - mortezaii@acecr.ac.ir

۲ - استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران msaravi@ut.ac.ir

۳ - دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران khalighi@ut.ac.ir

۴ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، Lotfi.j@ut.ac.ir

چکیده:

خشکسالی یک پدیده طبیعی و قابل تکرار است که بخش جدایی ناپذیر از تغییرات اقلیمی می باشد بنابراین هر منطقه ای با هر اقلیمی می تواند آن را تجربه کند.. در این پژوهش در حوزه آبخیز زرینه رود استان کردستان، با استفاده از شاخص های SDI و GRI وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک ارزیابی شد و تاثیر خشکسالی هواشناسی بر هیدرولوژیک تعیین گردید. همبستگی بین شاخص ها در مقیاس های زمانی مختلف بررسی شد . بر این اساس شاخص SPEI بدلیل لحاظ کردن پارامتر دما در کنار بارندگی از همبستگی بالاتری نسبت به شاخص SPI با SDI برخوردار است که در مقیاس زمانی ۶ و ۹ ماهه در همان ماه و یک ماه بعد دارای بیشترین همبستگی می باشد. همچنین SPEI در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه با ۳ ماه تاخیر با شاخص GRI بیشترین همبستگی را دارد که حاکی از تاثیرگذاری خشکسالی هواشناسی بعد از گذشت دو سال و بیشتر بر سطح آب زیرزمینی می باشد. اطلاع از فاصله زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی به عروان عامل اصلی دیگر خشکسالی ها، به مدیران و برنامه ریزان حوزه های آبخیز کمک خواهد کرد تا اقدامات مدیریتی لازم جهت مقابله با خشکسالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی و زیرزمینی به عمل آورند.

واژه های کلیدی: شاخص های SDI و GRI، خشکسالی هیدرولوژیک ، حوزه آبخیز زرینه رود استان کردستان

مقدمه

در صورتی که خشکسالی هواشناسی مدت زیادی ادامه پیدا کند و حجم جریان رودخانه ها یا سطح آبهای زیرزمینی کاهش یابد، به وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی منجر می شود. این پدیده غالباً بر اثر کمبود و یا فقدان بارش زمستانی در عرض های میانی به وجود می آید. بر اساس میزان شدت خشکسالی های هواشناسی که منجر به خشکسالی هیدرولوژیکی می شوند می توان این نوع از خشکسالی را به دو دسته خشکسالی آبهای سطحی و خشکسالی آبهای زیر زمینی تقسیم بندی نمود.

Chamanpira و همکاران (۲۰۱۴) توسط دو شاخص SPI و GRI به بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ در دشت الشتر پرداختند. همبستگی SPI در مقیاس های زمانی مختلف با تاخیر و بدون تاخیر با متوسط سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI بررسی شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد شاخص SPI در مقیاس ۲۴ ماهه بدون تاخیر با متوسط سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱ دارای همبستگی است که این تاثیر خشکسالی هواشناسی را بر منابع زیرزمینی تایید می کند. همچنین رابطه همبستگی بین متوسط سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI ۲۴ ماهه نشان داد ۶۴ درصد واریانس میانگین سطح سفره زیرزمینی تحت تاثیر خشکسالی هواشناسی قرار می گیرد.

محمودی و زینی وند (۱۳۹۳) برای ارزیابی و تحلیل زمانی وقوع خشکسالی از دو شاخص SPI و SDI در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه استفاده کردند. در این تحقیق از داده های بارندگی و دبی حوزه آبخیز کشکان در سال آبی ۱۳۴۸ تا ۴۹ و ۹۰ تا ۹۱ استفاده شده است. بررسی همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI نشان داد بیشترین همبستگی بین دو مقیاس ۹ و ۱۲ ماهه با سطح معنی داری ۹۹ و ۹۵ درصد وجود دارد. همچنین بیشترین همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در همان ماه یا با تاخیر ۱ یا ۲ ماهه مشاهده گردیده است.

زارع و خشنود مطلق (۱۳۹۳) افت آب زیرزمینی را با مقایسه شاخص خشکسالی هواشناسی (SPI) و خشکسالی هیدروژئولوژیکی (GRI) در دشت شهرکرد بررسی کردند. نتایج نشان داد وقوع خشکسالی هیدروژئولوژیکی با تاخیر ۱ ماه از خشکسالی هواشناسی اتفاق می افتد ولی با توجه به اینکه میزان بارندگی در منطقه طی دوره آماری روند کاهشی نداشته این افت سطح آب زیرزمینی بدلیل برداشت بی رویه از منابع آبی در دشت بوده است.

اکرامی و همکاران (۱۳۹۳) تاثیر خشکسالی اقلیمی و آب شناختی را بر روی منابع آب زیرزمینی در محدوده دشت یزد- اردکان در

دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی قرار دادند. جهت تحلیل خشکسالی ها از دو شاخص SPI و GRI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه استفاده کردند. نتایج بررسی رابطه بین دو شاخص SPI و GRI نشان داد با افزایش پایه زمانی ضریب همبستگی بین این دو شاخص نیز افزایش می یابد. همچنین تاخیر زمانی بین دو شاخص اقلیمی و آب شناختی ۱ تا ۲ سال برآورد کردند. همچنین نتایج بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی حاکی از روند نزولی آن بوده و متوسط افت سطح سفره در طول دوره آماری نیم متر در سال گزارش شده است.

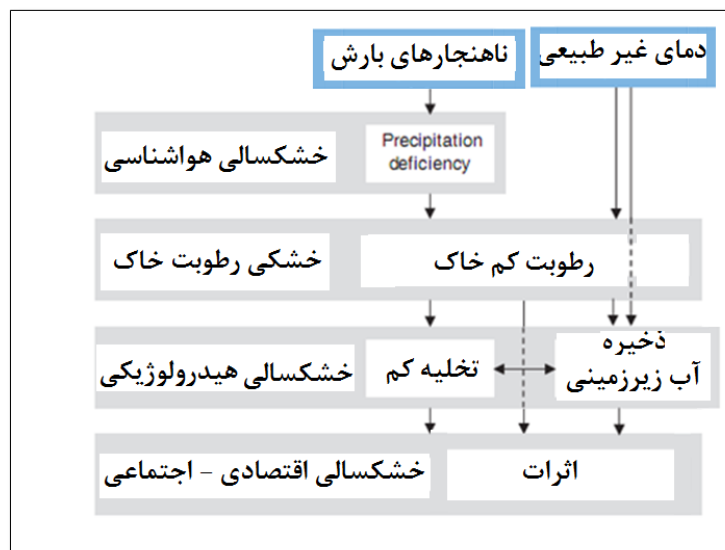
سلیمانی و حقی زاده (۱۳۹۴) از شاخص SPI و SDI برای تحلیل زمانی وقوع خشکسالی ها و تاثیر آن بر کاهش آبدهی دریاچه کیو خرم آباد استفاده کردند. در این تحقیق ارتباط بین دو شاخص را بر اساس داده های بارندگی و دبی جریان تعیین کرد. نتایج حاصل نشان داد رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح اع تمام ۹۹ درصد معنی دار است که در بازه زمانی ۶ ماهه حداکثر مقدار را دارا می باشد. همچنین این که خشکسالی سبب کاهش آب دریاچه گشته که این تاثیر در همان ماه و یا با ۱ ماه تاخیر بر آبدهی دریاچه تاثیر گذار بوده است.

نتایج بررسی روند تغییرات بارش در ۱۰ ایستگاه بارانسنجی و سینوپتیک استان کردستان توسط (حجم و همکاران ۲۰۰۳) نشان داد که از ۱۳۰ سری داده های بارش ماهانه و سالانه ۷۱ سری داری روند افزایشی و ۵۹ سری دارای روند کاهشی می باشند بنابراین نتایج تحلیل روند تغییرات بارش در ایستگاه های مورد بررسی منطقه نشان دهنده این است که روند تغییرات بارش هم از لحاظ زمانی هم از لحاظ مکانی تغییرات مشخصی در طی چهار دهه گذشته نداشته است و تعیین الگوی دقیق تغییرات نسبت به پارامترهای دیگر در منطقه دشوار می باشد. پژوهش های بررسی روند بارش در کشور در بیشتر موارد نشان داده است که روند تغییرات بارش از الگوی خاصی پیروی نمی کند که مطابق نتایج این تحقیق می باشد. بنابراین می توان گفت که اکوسیستم های آبی استان کردستان بیشتر تحت تاثیر دما بوده است.

فتاحیان و همکاران (۲۰۱۴) پژوهشی تحت عنوان تحلیل روند پارامترهای هیدرو - اقلیمی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به منظور شناسایی علل احتمالی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد هر چند روند تغییرات بارش از الگوی مشخصی پیروی نمی کرد، روند دما در سرتاسر حوزه آبخیز افزایشی معنی دار بوده است و همچنین نتایج آن ها نشان داد که جریان رودخانه ای نسبت به بارش بیشتر تحت تاثیر دمای منطقه بوده است.

Lopez-Moreno و Vicente-Serrano (۲۰۰۵) خشکسالی اسپانیا را با مقایسه شاخص SPI در مقیاس های زمانی مختلف با متغیرهای هیدرولوژیکی سطحی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد جریان های سطحی با دوره های مانی کوتاه ۱ الی ۳ ماهه SPI و منابع زیرزمینی با دوره های طولانی تر ۷ تا ۱۰ ماهه بیشترین همبستگی را دارند.

خشکسالی هیدرولوژیکی را باید به همراه تاثیرات کاهش دوره بارش (شامل بارش برف) بررسی کرد. این کاهش بارش در میزان آب رودخانه ها، دریاچه ها، مخازن و سطح آبهای زیرزمینی تاثیر گذار خواهد بود. گرچه مبدا و منشأ تمامی خشکسالی ها کمبود بارش می باشد که خارج از اراده و اعمال بشری است اما هیدرولوژیست ها بیشتر توجه خود را صرف نحوه به پایان رساندن این پدیده و این دوره در حوزه آبخیز و سیستم هیدرولوژیکی معطوف می کنند خشکسالی های هیدرولوژیکی معمولاً همزمان با خشکسالی های اقلیمی و کشاورزی نبوده و با تاخیری نسبت به آنها روی می دهد چرا که زمان طولانی تری مورد نیاز است تا اینکه این کاهش بارش بتواند خود را در اجزای سیستم هیدرولوژیکی از قبیل کاهش رطوبت خاک، جریان آب رودخانه ها و یا سطح آب دریاچه ها و مخازن نشان دهد. بنابر این نقش و تاثیر خشکسالی هیدرولوژیکی در بخشهای مختلف اقتصادی و اجتماعی کاملاً متمایز از یکدیگر است. بعنوان مثال کاهش بارندگی می تواند باعث نقصان و کاهش سریع رطوبت خاک گردد که این امر در وهله اول توسط متخصصین و مسئولین کشاورزی قابل مشاهده و فهم خواهد بود و مسئولین نیروگاههای برقابی و یا محیط زیست با تاخیر چند ماهه ای ممکن است اثرات آن را دریابند. از طرف دیگر آب جاری و یا آب ذخیره شده در سیستمهای هیدرولوژیکی از قبیل رودخانه ها و مخازن بهره برداران متعددی داشته و استفاده های چند منظوره همانند کنترل سیلاب، آبیاری، کشتیرانی، بهداشت و شرب، ماهیگیری و حیات وحش از آنها بعمل می آید و لذا پیامدها و شدت اثرات خشکسالی هیدرولوژیکی را افزون تر و پیچیده تر می سازد و در هنگام وقوع خشکسالی رقابت بر سر استفاده از منابع آبی باعث بروز کشمکش های بین استفاده کنندگان از آب می گردد (شکل ۱).



شکل ۱: رابطه میان خشکسالی های هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی

(Van Loon, 2015)

ضرورت و هدف تحقیق

ضرورت بررسی پدیده ای مثل خشکسالی پیامدهای ناشی از آن است که تقریباً تمام بخش های زندگی بشر را تحت تاثیر قرار می دهد. بر اساس تعاریفی که از خشکسالی ارائه شده است وقوع چنین پدیده ای ناشی از کمبود رطوبت است . بارزترین و شاید عمده ترین عامل وقوع خشکسالی کمبود رطوبت ناشی از نزولات جوی است که بصورت خشکسالی هواشناسی نمایان می شود . با توجه به تاثیر میزان نزولات جوی در کمیت منابع آبی در یک منطقه وقوع خشکسالی هواشناسی تاثیر عمده ای در کاهش منابع آبی در سطح منطقه خواهد شد که این کاهش بصورت در منابع آب زیرزمینی، رودخانه ها و مخازن سد ها نمایان می شود . این کاهش منابع آب زیرزمینی و سطحی بصورت خشکسالی هیدرولوژیک نمایان می شود. بنابراین ارتباط مستقیم و پیچیده مابین کمبود رطوبت ناشی از کاهش نزولات جوی و منابع آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد . لذا با تحلیل و آنالیز هر دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در سطح منطقه می توان به چنین ارتباطی پی برد.

تحقیقات انجام شده نشان می دهد که درصد فراوانی وقوع خشکسالی و شدت آن در کشور بسیار بالا بوده که بیشترین فراوانی با ۵۰

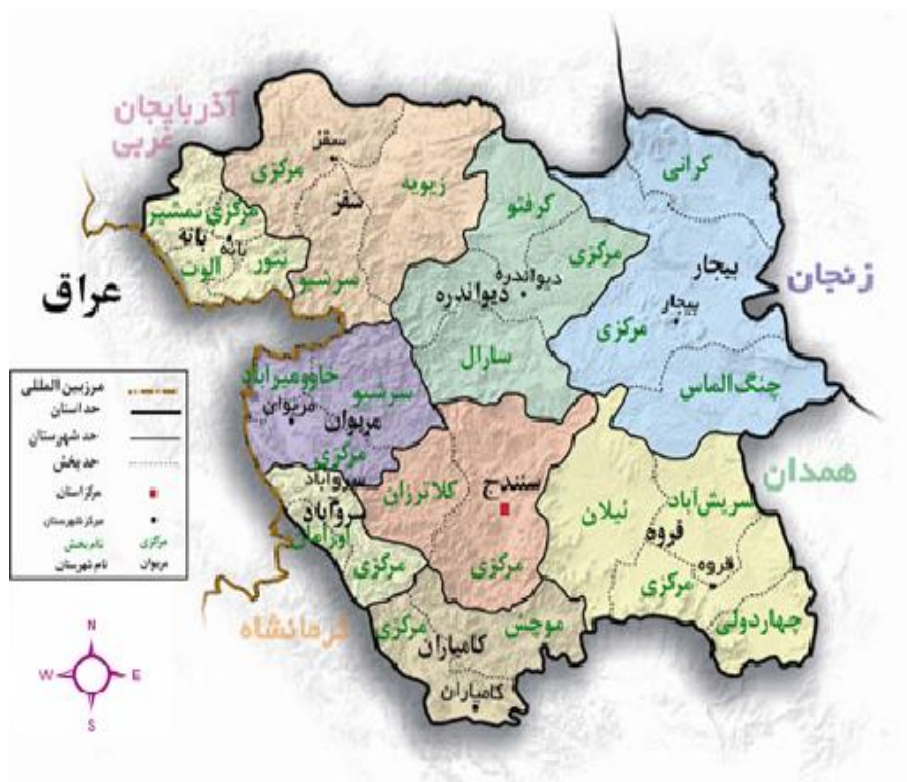
درصد متعلق به منطقه بندرعباس است و پس از آن به ترتیب، زابل ۴۶/۷ درصد، زاهدان ۴۳ درصد، یزد ۴۲ درصد، ایرانشهر ۴۰ درصد و کرمان ۲۷ درصد قرار دارند که همگی جزء مناطق خشک ایران محسوب می شوند. ضمن اینکه باید توجه داشت که در هر دوره ۱۰ ساله انتظار وقوع ۴/۲ سال خشک، همین منابع آب اندک را نیز بسیار شکننده و آسیب پذیر ساخته است (نصرتی و همکاران ۱۳۹۳).

بطور کلی هدف از انجام این تحقیق در ابتدا تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص های مختلف، و تعیین مناسبترین شاخص جهت بررسی خشکسالی در منطقه مطالعاتی می باشد . در نهایت تعیین ارتباطی که بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد به ما کمک می کند تا به فاصله زمانی و یا تاخیری که بین زمان وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک پی ببریم. اطلاع از این فاصله زمانی به مدیران و برنامه ریزان برای مقابله با تاثیرات منفی ناشی از وقوع خشکسالی هواشناسی کمک خواهد کرد و از اثرات احتمالی ناشی از خشکسالی هی درولوژیک در آینده جلوگیری می کند . چرا که با از اطلاع از این تاخیری که مابین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد، فرصت مناسبی خواهد بود تا برنامه ریزان و مدیران در سیستم های منابع آب راهبردهای لازم را در قالب مدیریت ریسک انجام دهند.

مواد و روش ها:

منطقه مورد مطالعه، استان کوردستان با وسعتی معادل ۲۸۲۰۳ کیلومترمربع در غرب ایران و در مجاورت بخش شرقی کشور عراق است. این استان که در دامنه ها و دشت های پراکنده ی سلسله جبال زاگرس میانی قرار گرفته است، محدوده مطالعاتی بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است . استان کوردستان بر اساس آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۵، دارای ۱۰ شهرستان، ۲۵ شهر، ۲۷ بخش، ۸۴ دهستان و ۱۷۶۵ آبادی دارای سکنه بوده است شکل شماره (۲) تقسیمات سیاسی استان کوردستان را نشان می دهد. (استاندارداری کوردستان ۱۳۹۶)

شهرستان های این استان عبارتند از : بانه، بیجار، دیواندره، سقز، سنندج، قروه، کامیاران و مریوان . در حال حاضر استان کوردستان با مجموعه شهرها، روستاها و عشایری که در اقصی نقاط آن پراکنده شده و استقرار یافته اند، به یکی از نواحی در حال توسعه غرب کشور تبدیل شده و از پتانسیل های توریستی و تفرجگاهی قابل توجهی برخوردار است.



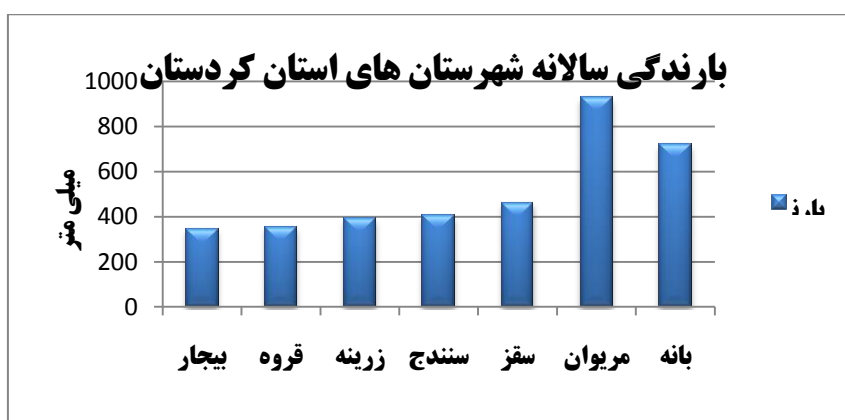
شکل (۲): نقشه تقسیمات سیاسی استان کردستان منبع: استانداری استان کردستان

در این پژوهش جهت تحلیل روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه و متوسط بارش ماهانه و سالانه از ۲ ایستگاه سینوپتیک و ۱۸ ایستگاه بارانسنجی و برای دبی از ۵ ایستگاه آبنجی با طول آماری ۳۰ سال آبی (۶۳-۶۲ تا ۹۳-۹۲) استفاده شد. همچنین برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص جریان استاندارد SDI استفاده و از آمار دبی جریان ایستگاه هیدرومتری به نام تونل به عنوان ورودی برای محاسبه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی GRI در سطح حوضه استفاده گردید. برای تعیین مقادیر SDI مناسبترین تابع توزیع برای برازش به داده های ماهانه بر اساس آزمون های آماری اندرسون- دارلینگ، کلموگراف اسمیرنوف انجام گردید و در نهایت مقایسه شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و SPEI، با شاخص SDI و GRI انجام گردید.

نتایج

مهمترین پارامتر در نشان دادن خشکسالی در هر منطقه میزان نزولات جوی می باشد. دامنه بارش سالانه در استان کردستان به طور

متوسط بالغ بر ۳۰۰ تا ۹۵۰ میلیمتر در سال می باشد. بیشترین میزان بارندگی مربوط به شهرهای مریوان ۹۰۰ و بانه حدود ۷۰۰ میلی متر در سال و کمترین میزان بارندگی در ناحیه شرق حدود ۳۴۰ میلی متر و در قسمت مرکزی استان یعنی سنندج نزدیک به ۴۰۰ میلی متر در سال است. نفوذ توده های مرطوب زمستانی و بهاری در مریوان و دریاچه زریوار تأثیر فراوانی در مرطوب و معتدل شدن هوای این ناحیه دارد (شکل ۳).



شکل (۳): بارندگی استان کردستان

جدول (۱): طبقه اقلیمی آمبرژه و ایوانف ایستگاه های استان کردستان

نام ایستگاه	سنندج	سقز	بیجار	قروه	زرینه
نوع طبقه بندی					
آمبرژه	نیمه خشک سرد	نیمه مرطوب خیلی سرد	نیمه خشک سرد	نیمه خشک سرد	نیمه خشک خیلی سرد
ایوانف	استپ جنگلی	مرطوب جنگلی	استپ جنگلی	استپ جنگلی	مرطوب جنگلی

برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص جریان استاندارد SDI استفاده شده است. در این مرحله نتایج در یکی از ایستگاههای هیدرومتری به نام تونل ارائه می گردد که از آمار دبی جریان این ایستگاه به عنوان ورودی برای محاسبه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در سطح حوضه استفاده گردیده است. مراحل محاسبه این شاخص نیز همانند شاخص های SPI و SPEI در همان مقیاس های زمانی است. بدین منظور برای تعیین مقادیر SDI مناسبترین تابع توزیع برای برازش به داده های ماهانه انتخاب شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته توابع توزیع دو و سه پارامتری را می توان به این سری داده های دبی برازش داد. از بین

توابع دو پارامتر گاما و لوگ نرمال دو پارامتری و از توابع سه پارامتری لوگ - نرمال سه پارمتره، لوگ لجستیک، پیرسون نوع ۳ و مقادیر حدی تعمیم یافته برای داده های دبی مناسب می باشند (Shukla and Wood, 2008).

بر اساس آزمون های آماری اندرسون - دارلینگ، کلموگراف اسمیرنوف تابع لوگ - پیرسون برای ایستگاه هیدرومتری به عنوان مناسب ترین تابع جهت محاسبه شاخص SDI تعیین شدند. شکل های ۴ تا ۹ مقادیر شاخص SDI را در مقیاس های زمانی مختلف نشان می دهد. در مقایسه با شاخص خشکسالی هواشناسی، شاخص SDI نسبت به شاخص SPI از مقادیر شدت بالاتری برخوردار است. لذا می توان انتظار داشت که رابطه شاخص SDI و SPEI از مقدار مناسبتری نسبت به SPI برخوردار باشد. شاخص SDI از حداکثر تداوم بالاتری در مقیاس های زمانی پایین نسبت به شاخص های SPI و SPEI برخوردار است. همچنین روند تغییرات شاخص SDI در مقیاس های زمانی مختلف بررسی شد که بر اساس نتایج حاصل از آزمون در تمام مقیاس های زمانی روند معنی داری وجود دارد (جدول ۲ و ۳).

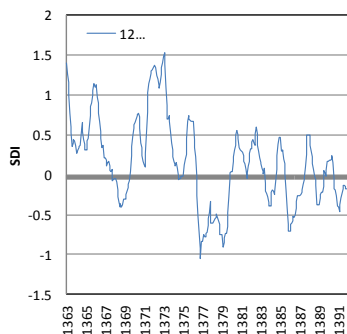
جدول ۲: ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص خشکسالی SPEI و SDI

SPEI48	SPEI24	SPEI12	SPEI9	SPEI6	SPEI3	شاخص
۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۴۶	SDI3
۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۳۲	SDI6
۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۵۳	۰/۳۱	۰/۱۲	SDI9
۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۶۷	۰/۴۴	۰/۲۰	۰/۱۲	SDI12
۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۲۰	۰/۱۲	SDI24
۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۱۴	SDI48

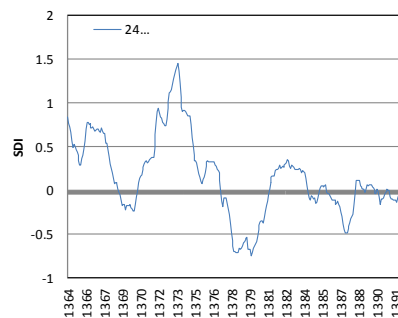
جدول ۳: ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص خشکسالی SPI و SDI

SPI48	SPI24	SPI12	SPI9	SPI6	SPI3	شاخص
۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۴۲	SDI3
۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۳۷	SDI6
۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۱۵	SDI9
۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۰۰۳	۰/۰۹	۰/۰۸	SDI12
۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۷	SDI24
۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۴۶	۰/۰۰۵	۰/۱۱	۰/۰۷	SDI48

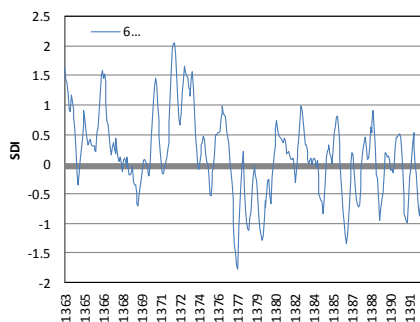
نتایج شاخص خشکسالی $SPEI$ در ایستگاههای سنندج، بلبان، سرچشمه در شکل های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و SPI ظفر به عنوان نمونه در شکل های ۱۳ تا ۱۸ ارائه شده است. در مقایسه با شاخص های خشکسالی هواشناسی شاخص SDI از تغییر پذیری بیشتری در دوره آماری برخوردار است. در مقایسه با شاخص های SPI و $SPEI$ طبقه خشکسالی متوسط از فراوانی بیشتری برخوردار است در حالیکه طبقه خشکسالی نرمال در شاخص های SPI و $SPEI$ فراوانی بیشتری دارا می باشد. همچنین $SPEI$ در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه با ۳ ماه تاخیر با شاخص GRI بیشترین همبستگی را دارد که حاکی از تاثیرگذاری خشکسالی هواشناسی بع د از گذشت دو سال و بیشتر بر سطح آب زیرزمینی می باشد.



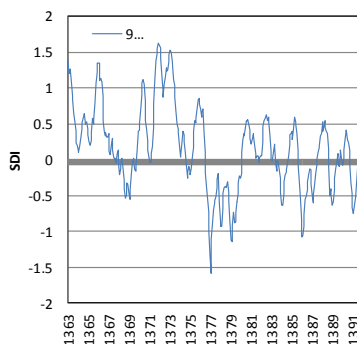
شکل ۵: نتایج شاخص SDI برای دوره ۱۲ ماهه ایستگاه تونل



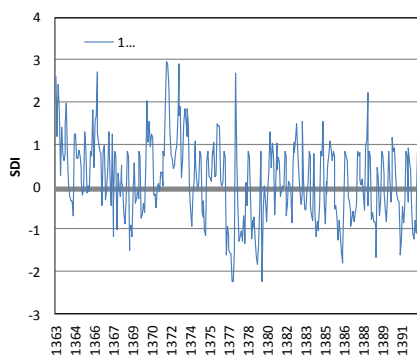
شکل ۴: نتایج شاخص SDI برای دوره ۲۴ ماهه ایستگاه تونل



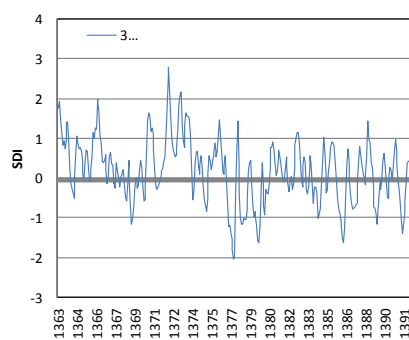
شکل ۷: نتایج شاخص SDI برای دوره ۶ ماهه ایستگاه تونل



شکل ۶: نتایج شاخص SDI برای دوره ۹ ماهه ایستگاه تونل

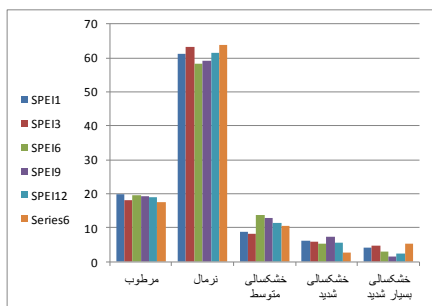


شکل ۹: نتایج شاخص SDI برای دوره ۱ ماهه ایستگاه

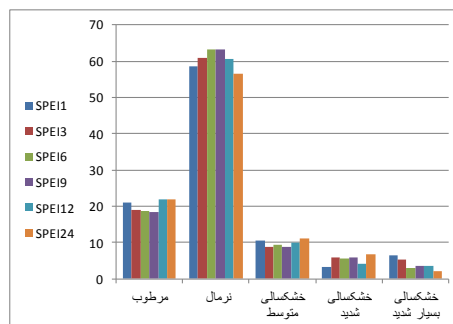


شکل ۸: نتایج شاخص SDI برای دوره ۳ ماهه ایستگاه تونل

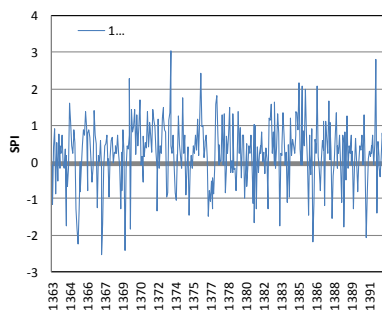
تونل



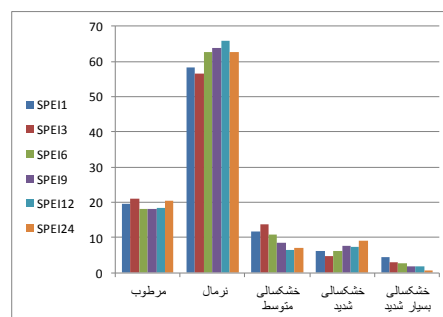
شکل ۱۱-شاخص SPEI در ایستگاه بلبان



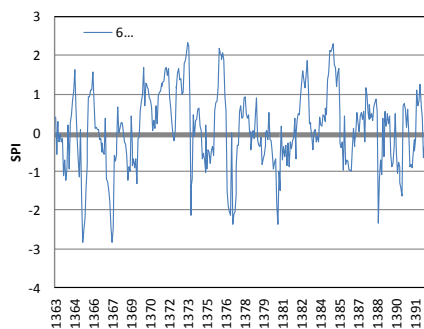
شکل ۱۰-شاخص SPEI در ایستگاه سندج



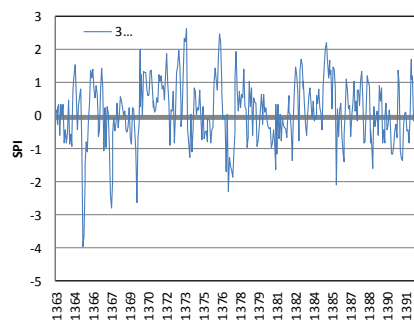
شکل ۱۳-شاخص SPI در ایستگاه ظفر در دوره ۶ ماهه



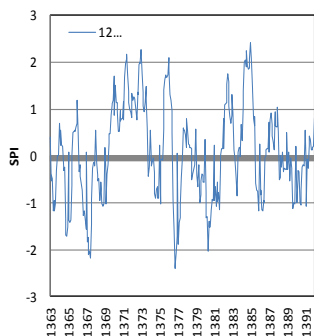
شکل ۱۲-شاخص SPEI در ایستگاه سرچشمه



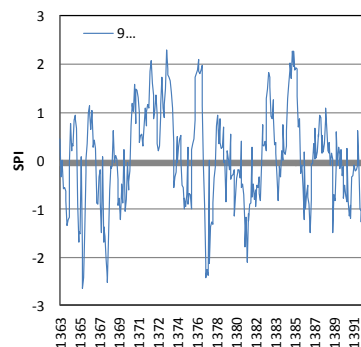
شکل ۱۵-شاخص SPI در ایستگاه ظفر در دوره ۶ ماهه



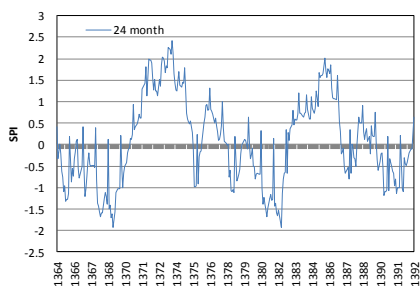
شکل ۱۴-شاخص SPI در ایستگاه ظفر در دوره ۳ ماهه



شکل ۱۷- شاخص SPI در ایستگاه زفر در دوره ۱۲ ماهه



شکل ۱۶- شاخص SPI در ایستگاه زفر در دوره ۹ ماهه



شکل ۱۸- شاخص SPI در ایستگاه زفر در دوره ۲۴ ماهه

بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، شاخص های بارش استاندارد شده (SPI) و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در استان کردستان برآورد و مقایسه شدند. نتایج این بررسی در بررسی کارایی شاخص SPEI با دیگر بررسی ها هماهنگی دارد. همانطور که نصرتی و زارعی (۱۳۹۳)، در پژوهش خود در استان آذربایجان غربی با بهره گیری شاخص بارش استاندارد شده نشان داده اند، با افزایش دوره های بازگشت و مقیاس زمانی، تداوم خشکسالی ها بیشتر می شود. همچنین Vicente-Serrano et al. (2011) در بررسی تاثیر فرایند گرم شدن بر خشکسالی ها و منابع آب در اسپانیا از دو شاخص 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.

طبق نتایج این تحقیق شاخص SPEI شدت خشکسالی را در مقایسه با SPI بیشتر نشان می دهد که می تواند دلیلی بر حساسیت خوشه بندی سلسله مراتبی در منطقه ای کردن ایستگاه ها و در بررسی شدت و مدت خشکسالی های جریان آب سطحی اهمیت

ویژه ای دارد، همچنان که، کاظم زاده و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله ای تحت عنوان کلاسه بندی و آنالیز شدت و مدت خشکسالی های جریان آب سطحی در استان ایلام، ایستگاه های مختلف هیدرومتری را بر اساس نتایج شاخص SDI به روش خوشه بندی سلسله مراتبی طبقه بندی کرده و به بررسی هر یک از خوشه ها پرداختند. با توجه به نتایج بدست آمده از خوشه بندی ایستگاه های مختلف استان کردستان بر اساس نتایج سالانه SPEI و SPI، مشخص شد که بطور کلی نتایج شاخص های SPI و SPEI نزدیک به هم می باشند و نمودار دندروگرام آنها شبیه به هم است. اما با توجه به تاثیر دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در شاخص SPEI، ایستگاه های چنگیز قلعه و سلامت آباد بر خلاف نمودار دندروگرام شاخص SPI در یک طبقه قرار گرفتند. که این موضوع با نتایج ویسنته سرانو و همکاران (۲۰۱۰)، مصطفی زاده و ذبیحی (۱۳۹۵)، مبنی بر توانایی دقیق شاخص SPEI، در تعیین دقیق خشکسالی ها نسبت به شاخص SPI مطابقت دارد.

نتایج آزمون روند برای دمای میانگین در مقیاس ماهانه نشان داد که در بیشتر ماه ها روند تغییرات افزایشی بوده و همچنین بیشترین روند افزایشی معنی دار در سطح ۱٪ در فصل زمستان بوده است. در تحلیل روند متوسط دمای سالانه نشان داد که بیشتر ایستگاه ها روند افزایشی معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد داشته است. بنابراین افزایش معنی دار دما در طی ۴ دهه گذشته می تواند تاثیر زیادی بر روی تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت خاک، وقوع و تشدید خشکسالی های مختلف اعم از هو شناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی منطقه داشته باشد. از طرف دیگر افزایش دما در فصل زمستان سبب ذوب برف و توده های کوچک یخی در مناطق کوهستانی حوزه آبخیز می گردد و روشن است که به علت فرصت تماس زیاد برف با خاک، نفوذ آب به خاک از طریق ذوب برف بیشتر از باران است در نهایت با کاهش برف در یک منطقه، منجر به کاهش منابع آب زیر زمینی می گردد. (شن و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش دمای ایستگاه های مورد مطالعه، علل مختلفی شامل افزایش گازهای گلخانه ای، تبدیل کاربری اراضی مختلف و غیره می تواند داشته باشد. لازم به ذکر است که تقریباً در بیشتر پژوهش های روند تغییرات دما در ایران افزایش معنی داری بوده است و تایید کننده نتایج حاصل از این تحقیق می باشد. نتایج تحقیق کوثری و همکاران (۲۰۱۴) در این خصوص نشان داد که دمای هوا در ایران روند افزایشی دارد که دمای هوا می تواند به علت افزایش گلخانه ای و انرژی دریافتی زمین در طول شب باشد.

نتایج تحلیل روند تغییرات دبی نشان داد که از ۶۵ سری زمانی ماهانه و سالانه ۶۲ سری روند کاهشی و فقط ۳ سری دارای روند افزایشی می باشند. در حالت کلی روند تغییرات دبی سالانه که تمامی ۱۵ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی دار داشته است. بنابراین دبی بیشترین روند تغییرات کاهشی را در بین پارامترهای مورد بررسی در منطقه داشته است. کاظم زاده و همکاران (۱۳۹۳) روند

جریان های رودخانه ای با استفاده از هفت رویکرد آماری در استان اردبیل مطالعه کردند. نتایج آنها نیز نشان داد که روند تغییرات دبی رودخانه ها در مقیاس سالانه در همه ایستگاه ها در سطح ۹۹ درصد کاهش یافته است.

نتایج تحلیل روند تغییرات در این تحقیق با اکثر مطالعات موردی که در جهان در این راستا انجام شده همخوانی دارد. تلاب و همکاران (۲۰۱۳) در حوزه نیل نشان دادند که داده های دما و جریان رودخانه دارای روند و نقاط جهشی بوده ولی داده های بارش روند معنی داری را نشان ندادند. دل ریو و همکاران (۲۰۱۳) در پاکستان نشان دادند که به طور کلی روند دمای میانگین در همه مقیاس های زمانی مطالعه شده در طول دهه های گذشته افزایشی بوده و مقدار افزایش بطور متوسط ۰/۳۶ درجه سانتی گراد به ازای هر دهه بوده است.

در تحقیق حاضر سه فرضیه مطرح گردید:

فرضیه اول: با توجه به اینکه بیشتر محدوده مطالعاتی دارای اقلیم نیمه خشک سرد بوده، بنابراین تعیین دوره های کمبود رطوبت ناشی از بارندگی با در نظر گرفتن عامل دما بهتر می تواند شرایط خشکسالی را منطقه نشان دهد که نتایج این تحقیق نیز گویای این مطلب است. به بیان دیگر شاخص SPEI در محدوده مطالعاتی مناسبتر از SPI می باشد همچنین شاخص SPEI دارای همبستگی بالاتری با هر دو شاخص خشکسالی هیدرولوژیک (SDI و GRI) نسبت به SPI می باشد که دلیل آن در نظر گرفتن تاثیر تبخیر و تعرق ناشی از افزایش دما می باشد. همچنین شاخص SDI بیشترین همبستگی را با SPEI در مقیاس زمانی ۹ و ۱۲ ماهه دارد.

فرضیه دوم: نتایج حاصل از پژوهش رابطه قابل قبولی بین شاخص های SPEI و SPI را نشان داد که با فرضیه مطرح شده نیز مطابقت دارد.

فرضیه سوم: نتایج بدست آمده حاکی از رابطه همبستگی زیادی بین شاخص های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نمی باشد که فرضیه سوم را تا حدودی رد می کند. دلیل این امر را می توان تاثیر عوامل دیگری بر کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی دانست که یکی از عمده ترین دلایل برداشت بی رویه از منابع زیرزمینی می باشد که در کنار کاهش میزان بارندگی سبب وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی شده است.

بطور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد تعیین دوره های خشکسالی توسط شاخص SPEI وضعیت دوره های کمبود رطوبت

را نسبت به SPI بهتر نشان می دهد. با توجه به اینکه هر دو شاخص در پارامتر بارندگی برای محاسبه خشکسالی مشترک هستند، رابطه همبستگی قابل قبولی بین دو شاخص SPI و SPEI برقرار می باشد. نتایج حاصل از تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی نشان داد خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه مطالعاتی وقوع یافته است. کاهش بارندگی یکی از عوامل ایجاد خشکسالی هیدرولوژیکی می باشد. بررسی ارتباط میان شاخص های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حاکی از رابطه همبستگی پایینی میان این شاخص ها می باشد که دلیل آن را می توان تاثیر عواملی دیگر در کنار کاهش میزان بارندگی بر کاهش منابع آب دانست. پیشنهاد می گردد تشکیلات زمین شناسی در منطقه بررسی شده و حجم قابل تغذیه ابخوان را تعیین کرد و بدین طریق تاثیر کاهش بارندگی را در کاهش سطح سفره بررسی کرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و جهاددانشگاهی به جهت حمایت مادی و معنوی در اجرای این پژوهش کمال تشکر را دارم.

فهرست منابع:

1. Ahmadi, M., Nosrati, K., Selki, H. 2013. Drought and Its Relationship with Soil Moisture (case study: Isfahan Kabotar Abad). *Geography* 38: 77-91(In Persian).
2. Bani Mahd, S., Khalili, D. 2015. Analysis of drought transport groups with Markov chain and logarithmic linear method, strategy for early warning system. *Science and Watershed Management Engineering* 8, 37- 56(In Persian).
3. Bazrafshan, J. 2003. Comparative study some meteorological drought indices in several climatic of Iran. M.Sc. thesis, University of Tehran (In Persian).
4. Chungping, T., Jianping, Y., Man, L. 2015. Temporal-Spatial Variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Atmosphere* 6, 1399- 1421.
5. Ensafimoghaddam, T. 2008. Evaluation of meteorological drought indices and determine the best index in Salt Lake Basin. *Range and Desert Research* 14(2), 271- 288(In Persian).
6. Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. Hlavinka, P. 2008. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology* 96, 155-171.
7. Heim, R. R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1149-1165.
8. Hu, Q., and Willson, G. D. 2000. Effect of temperature anomalies on the Palmer drought severity index in the central United States. *International Journal of Climatology* 20, 1899-1911.
9. Lloyd-Hughes, B., Saunders, M.A. 2002. A drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology* 22, 1571-1592.
10. 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.

11. Martinez, J., Lopez, B. C., Adell, N., Badiella, L., Ninyerola, M. 2008. Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions. *Global Change Biology* 14, 2868-2881.
12. Maca, P., Pech, P. 2016. Forecasting SPEI and SPI Drought Indices Using the Integrated Artificial Neural Networks. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2016, 1-18.
13. Mostafazadeh, R., Zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *the Earth and Space Physics*, 42, 633- 643(In Persian).
14. Nosrati, K., Mohseni, S. M., and Shahbazi, R. 2014. Application and comparison of Standardized Precipitation and standardized precipitation evapotranspiration indices for evaluating meteorological drought condition of Tehran province. *Desert Management* 3, 77-90(In Persian).
15. Potop, V., Mozny, M. 2011. The application a new drought index- Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur an antropogennich prostredí*. 24pages.
16. Rebetez, M., Mayer, H., Dupont, O., Menzel, A. 2006. Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. *Annals of Forest Science* 63, 569-577.
17. Sheffield, J., Wood, E. F. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, *Climate Dynamic* 31, 79-105.
18. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., Miller Jr., H., L., Chen, Z. Eds. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 996 pages.
19. Stagge, J. H., Tallaksen, L., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., Stahl, K. 2015. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology* 35, 4027–4040.
20. Tajbakhsh, S., Eesakhani, N., Kazemi, F. 2016. Evaluation of meteorological drought by SPI and SPEI in Iran. *Earth and Space Physics* 41(2), 313- 321(In Persian).