

مقدمه

در سال‌های اخیر، پژوهشگران تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین را مهم‌ترین نگرانی موجود به شمار می‌آورند. در حال حاضر برای بررسی اثرات تغییر اقلیم، به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو - اقیانوسی می‌پردازند [۵]. از آنجایی که اجرای این مدل‌ها برای دوره زمانی طولانی مدت نیازمند وقت زیاد و سرعت‌های بالای پردازش است، برای چیره شدن بر این مشکل، ساده‌سازی‌هایی از جمله کاهش تفکیک فضایی و حذف برخی از فرآیندهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مقیاس خرد باید صورت گیرد. این ساده‌سازی‌ها باعث افزایش خطای مدل‌های گردش عمومی جو و در نتیجه آن، عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها و ارزیابی اقلیم آبی کره زمین می‌شود. برای رفع این نقیصه، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس می‌شوند [۳]. در ریز قیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی استفاده کرد [۱۲]. در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت به کار بردن این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو، یعنی ساده‌سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد [۱۴] و [۲۵]. در پژوهشی با استفاده از داده‌های بارش سالانه ۵ ایستگاه سینوپتیک رشت، بابلسر، انزلی، گرگان و رامسر، در یک دوره ۴۵ ساله، شاخص‌های SPI، SLPA، RAI، PNPI را محاسبه کردند. شدت و فراوانی خشکسالی در سه دوره ۱۵ ساله بررسی شد که فراگیرترین سال‌های خشک مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۵ بوده است [۲۱]. همچنین با مطالعه برخی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند منطقه اقلیمی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP) به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی ایران معرفی شده است [۶]. در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی را در منطقه تسالی مورد ارزیابی قرار داده شده است. نتایج نشان داده است که تغییرات اقلیمی به میزان زیادی بر شدت خشکسالی اثر دارد [۱۷]. در بررسی خشکسالی‌های سال‌های آبی در انگلستان با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو نتایج حاکی از کاهش شدت و تداوم خشکسالی‌ها بوده است [۷]. همچنین در ارزیابی اثرات تغییر

ارزیابی خشکسالی‌های سرشاخه شمالی حوزه آبخیز رودخانه زاب در دوره ۱۳۹۰-۱۴۴۴

برومند صلاحی^۱، مسعود گودرزی^۲ و مجتبی فریدپور^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۳۱

چکیده

امروزه پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی برای برنامه‌ریزی‌های آینده از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله می‌توان به پیش‌بینی خشکسالی و سیل اشاره کرد. در این صورت می‌توان با برنامه‌ریزی مدون، خسارات احتمالی را کاهش داد. در این پژوهش به ارزیابی وضعیت خشکسالی سرشاخه شمالی حوزه آبخیز رودخانه زاب در جنوب غرب استان آذربایجان غربی، طی دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی دهک (DI)، شاخص SIAP و بارش استاندارد شده (SPI) پرداخته شده است. در ابتدا داده‌های روزانه خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 ریزمقیاس شده و توانایی مدل لارس در شبیه‌سازی اقلیم گذشته (۲۰۱۰-۱۹۹۲) برای ایستگاه مورد مطالعه شبیه‌سازی شد. پس از آن با استفاده از داده‌های بارش وضعیت خشکسالی به کمک شاخص‌های ذکر شده در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده همخوانی این شاخص‌ها را جهت شناسایی دوره‌های خشکسالی اثبات می‌کند. با توجه به دوره‌های خشکسالی که در داده‌های مشاهداتی اتفاق افتاده است و نتایج دوره‌های پیش‌بینی به دست آمده، افزایش شدت و مدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه را در سال‌های آتی شاهد خواهیم بود.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، رودخانه زاب، شاخص‌های خشکسالی، مدل گردش عمومی جو.

۱- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل،
۲- نویسنده مسول، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران. massoudgoodarzi@yahoo.com
۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

بر ثانیه و معادل $357/834$ میلیون مترمکعب در اردیبهشت ماه و حداقل جریان ماهانه $8/1$ مترمکعب در ثانیه و معادل $56/765$ میلیون مترمکعب در شهریورماه در ایستگاه هیدرومتری گرژال بوده است. بیشترین جریان سالانه رود زاب در همین ایستگاه $45/1$ مترمکعب بر ثانیه و برابر $1422/274$ میلیون مترمکعب و کمترین جریان سالانه $8/4$ مترمکعب بر ثانیه و معادل $264/902$ میلیون مترمکعب در یال است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳). همچنین دشت پیرانشهر با مساحتی حدود 360 کیلومترمربع در این حوزه واقع شده است که از سرشاخه‌های مهم رود زاب محسوب می‌شود. ارتفاع متوسط این دشت 1500 متر از سطح دریا می‌باشد. از نظر اقلیمی این منطقه، یکی از بیشینه‌های بارشی در غرب ایران می‌باشد میزان بارش سالانه $701/5$ میلی‌متر و میانگین دما $11/9$ درجه سلسیوس است. به منظور پیش‌بینی شرایط خشکسالی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر با مختصات $45^{\circ}08'$ طول شرقی و $40^{\circ}36'$ عرض شمالی و ارتفاع 1455 متر از سطح دریا به عنوان ایستگاه منتخب، مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران قابل مشاهده است.

روش پژوهش

داده‌های مورد نیاز در این پژوهش، مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر واقع در سرشاخه شمالی حوزه آبخیز زاب، در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۹۲) است که موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از بررسی و کنترل کیفی داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون ران تست ارزیابی و تصادفی بودن مقادیر در سطح $0/95$ پذیرفته شد. مدل لارس یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، دمای بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه در شرایط آب و هوایی پایه و آینده به کار می‌رود [۵]. در این مدل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به روش‌های آماری به گونه‌ای ریزمقیاس می‌شوند که به مقدار واقعی بسیار نزدیک باشد. این مدل شامل سه بخش اصلی کالیبراسیون مدل، ارزیابی مدل و ایجاد داده‌های هواشناسی برای دوره آتی است [۲۲]، [۵].

پایش خشکسالی با شاخص‌های خشکسالی

خشکسالی هواشناسی که شایع‌ترین نوع خشکسالی‌ها را تشکیل می‌دهد، منحصرأ بر اساس درجه خشکی (اغلب در مقایسه با مقادیر نرمال یا میانگین) و مدت زمان دوره خشکی بیان می‌شود و به حالتی از خشکی اطلاق می‌گردد که در آن کمبود بارش را به دنبال دارد؛ بنابراین شدت و مدت زمان، از خصوصیات کلیدی این تعاریف به شمار می‌آیند. در تعریف خشکسالی هواشناسی باید ویژگی‌های یک منطقه را بیان کرد چراکه شرایط جوی که در نتیجه تغییرات بارندگی ایجاد می‌شود به رژیم آب و هوایی منطقه بستگی دارد. به عنوان مثال، برخی خشکسالی هواشناسی را بر اساس تعداد روزهایی تعیین

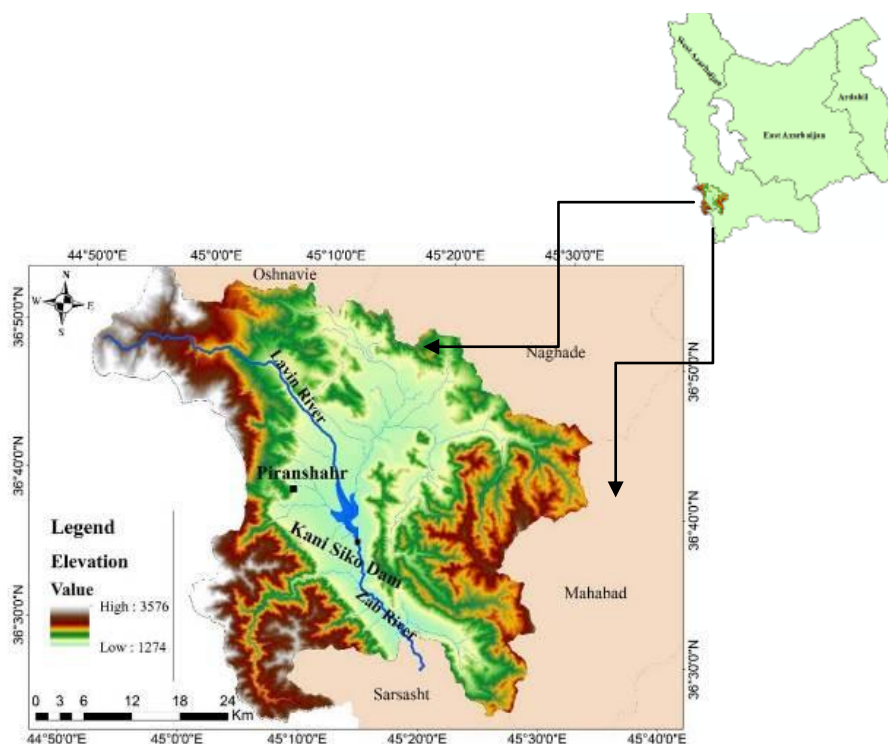
اقلیم بر خشکسالی، کاربرد شاخص‌های خشکسالی SPI و PSDI مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج این مطالعه نشان داده است که از ۵ مدل گردش عمومی جو -CSIRO،CGCM2،GFDL، R30،HADCM3 NIES/CCSR و سناریوی انتشار A2 برای پیش‌بینی تغییرات، در تمامی مدل‌ها بارش در زمستان کاهش و در بهار و تابستان افزایش خواهد یافت. بدین ترتیب این موضوع موجب افزایش ریسک خشکسالی در دوره مورد مطالعه در آینده خواهد شد. این افزایش تحت سناریوی A2 به دلیل بیشترین افزایش در میزان غلظت دی‌اکسید کربن بالاتر از سایر سناریوها خواهد بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داده است که شاخص SPI یک‌ماهه بالاترین همبستگی را با تغییر فصلی بارش و شاخص SPI دوازده‌ماهه بیشترین همبستگی را با تغییر در میانگین بارش سالانه و شاخص PDSI دارد و به دلیل تغییر دما علاوه بر بارش تحت شرایط تغییر اقلیم، شاخص PDSI جهت پیش‌بینی و ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی مناسب‌تر از SPI معرفی شد [۸]. در پژوهشی، اثرات تغییر اقلیم را بر شدت خشکسالی در ناحیه تسالی یونان مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش از خروجی مدل GCM1 و سناریوهای انتشار A2 و B2 برای پیش‌بینی تغییرات اقلیم و برای بررسی روند خشکسالی، از شاخص SPI در دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ استفاده شده است. نتایج نشان داد که شدت خشکسالی دارای روند افزایشی بوده و این افزایش تحت سناریوی B2 خواهد بود [۱۷].

در پژوهش حاضر، جهت پایش و ارزیابی خشکسالی سرشاخه شمالی حوزه آبخیز رودخانه زاب طی سال‌های آتی، به عنوان مهم‌ترین رودخانه منطقه و تأمین کننده آب مورد نیاز بخش کشاورزی و همچنین آب زیرزمینی دشت پیرانشهر مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر طی دو دوره آماری بیست ساله آینده و همچنین از خروجی الگوهای GCM استفاده شده است. سپس، به کمک داده‌های بارش شبیه‌سازی شده، وضعیت خشکسالی به کمک سه شاخص دهک (DI)، استاندارد بارش (SPI) و شاخص خشکسالی SIAP، طی دوره مورد مطالعه، بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، سرشاخه شمالی حوزه آبخیز رودخانه زاب است. حوزه آبریز رودخانه زاب، در جنوب غربی استان آذربایجان غربی قرار دارد. رودخانه زاب از ارتفاعات سیاه کوه واقع در مرز ایران و عراق به نام رود لاورین سرچشمه می‌گیرد با دریافت شاخه‌های زیوک، تمرچین، قلعه تراش، آوجار، بادین آباد، نعلین، آبخورده، پردانان و در مرز ایران و عراق در نزدیکی آبادی هرزنه، پس از دریافت شاخه پرآب چومان، وارد خاک عراق می‌شود. حداکثر جریان ماهانه رودخانه زاب به میزان $133/6$ مترمکعب



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Fig.1, location of the study area

الف) شاخص خشکسالی دهک (DI) روش دهک‌ها به‌عنوان یک شاخص هواشناسی جهت پیش‌خشکسالی به‌وسیله سیستم مراقبت خشکسالی استرالیا انتخاب شده است [۱۱]. زیرا این روش دارای محاسبات نسبتاً ساده‌ای است؛ در عوض اشکال این روش آن است که برای محاسبه دهک‌ها به آمار اقلیمی بلندمدت نیاز است. در این روش، داده‌های بارندگی از کمترین تا بیشترین مقدار مرتب شده و سپس به ده قسمت به نام دهک تقسیم می‌شود (جدول ۱). اولین طبقه دهک‌ها بیانگر مقادیری است که بارندگی آن‌ها ده درصد کمترین مقادیر بارندگی را شامل می‌شود. دومین دهک مقدار بارندگی‌هایی است که بیست درصد کمترین مقادیر را دارد. به همین روش دهک‌ها مرتب می‌شوند تا اینکه تمام مقادیر بارندگی در ده دهک قرار گیرند. دهک‌ها در پنج طبقه مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که طبقات آن در جدول زیر مشخص شده است. شاخص دهک به دلیل سادگی، ثبات و قابل فهم بودن کاربرد زیادی برای سیستم دیده‌بانی خشکسالی استرالیا دارد [۲۵].

می‌کنند که در آن میزان بارندگی کم‌تر از یک آستانه معینی باشد و حال آنکه در بعضی تعاریف دیگر، مقدار کاهش بارندگی در یک دوره زمانی مشخص اساس تعریف را تشکیل می‌دهد. چنین تعریفی در مناطقی که توزیع بارندگی به‌صورت فصلی می‌باشد و وجود دوره‌های زمانی بدون بارش معمول است، صدق نمی‌کند. بیشتر تعاریف خشکسالی هواشناسی بر اساس میزان انحراف بارندگی واقعی از میانگین ماهانه، فصلی، سال آبی یا مقیاس زمانی سالانه بیان می‌شود. خشکسالی هواشناسی اغلب در اثر کمبود بارش زمستانی در عرض‌های میانی به وجود می‌آید. یکی از جنبه‌های کلیدی تمامی تعاریف خشکسالی این است که هنگام وقوع آن در یک دوره زمانی، میزان بارش به کم‌تر از حد نرمال آن می‌رسد؛ بنابراین خشکسالی در مناطق کویری که اغلب هیچ بارانی در آن نمی‌بارد، معنی ندارد [۴]. بعلاوه اهمیت دیدگاه هواشناسی در این است که اندازه‌گیری‌های هواشناسی اولین نشانه بروز خشکسالی می‌باشد. شاخص‌های مختلفی نیز برای ارزیابی و پیش‌خشکسالی هواشناسی ارائه شده که از جمله آن‌ها می‌توان به شاخص خشکسالی دهک (DI)، شاخص استاندارد بارش (SPI)، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)، شاخص SIAP و روش‌های تحلیل سینوپتیکی اشاره کرد [۲۲].

$$SIAP = (p_i - \bar{p}) / SD \quad (2)$$

که در آن p_i بارندگی سال i ، \bar{p} میانگین بارندگی و SD انحراف استاندارد دوره آماری می باشد.

نتایج

ارزیابی مدل لارس با به دست آوردن پارامترهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی برای ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا فقط آماره‌های واسنجی پارامتر بارش جهت محاسبه خشکسالی برای ایستگاه پیرانشهر به عنوان نمونه آمده است (جدول ۲).

تطابق بین مقادیر بارش شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل و بارش مشاهده شده و همچنین تغییرات بارندگی سالانه در دوره پیش‌بینی برای سه سناریو A1B، A2 و B1 در ایستگاه پیرانشهر در شکل ۲ قابل مشاهده است. تغییرات بارندگی سالانه تا سال ۲۰۸۰ در سناریوهای انتخابی مورد بررسی قرار گرفته است و بیشترین نوسان پارامتر بارندگی مربوط به سناریو A1B است. نتایج پیش‌بینی به دست آمده این سناریو نشان دهنده تناوب دوره‌های خشک و تر تا سال ۲۰۸۰ می‌باشد و نوسان بارندگی در دو سناریوی دیگر بیشتر اطراف خط میانگین قرار دارد. نمودارهای مربوط به تغییرات بارندگی ماهانه نیز بیانگر ارتباط مناسب سناریوهای انتخابی با بارندگی دوره مشاهداتی می‌باشد. تنها نتایج مربوط به سناریو A1B تغییرات بارندگی ماهانه در ماه‌های ژانویه تا مارس، با دوره مشاهداتی اختلاف دارد و هر دو دوره مطالعاتی آتی مقادیر کمتری نسبت به دوره مشاهداتی در این ماه‌ها پیش‌بینی شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در بیشتر ماه‌های سال تطابق خوبی با هم دارند؛ بنابراین می‌توان گفت مدل لارس در ایستگاه پیرانشهر برآورد مناسبی برای پارامتر بارش دارد. جداول ۳ فراوانی طبقات مختلف خشکسالی دهک سالانه و همچنین درصد مربوط به هر فراوانی را در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و در دو دوره پیش‌بینی برای سناریوهای مختلف در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر را مورد بررسی قرار می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین سناریوهای مورد مطالعه در برخی موارد به‌ویژه در مورد ترسالی‌ها تفاوت‌هایی مشاهده می‌گردد به‌طور مثال سناریو B1 در متغیر مربوط به ترسالی‌ها در دوره ۲۰ ساله دوم (۲۰۶۵-۲۰۴۶) افزایشی بوده ولی در دوره ۲۰ ساله اول (۲۰۳۰-۲۰۱۱) افزایش خشکسالی را پیش‌بینی نموده است. نتایج به دست آمده در این جداول را می‌توان به‌صورت نمودار در شکل ۳ مشاهده کرد که به‌صورت درصد فراوانی برای نشان دادن بهتر تغییرات مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد مربوط به دوره‌های ترسالی به‌مراتب بیشتر از سایر گروه‌ها می‌باشد اما در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ شاهد افزایش درصد مربوط به بارندگی‌های زیر نرمال خواهیم بود. با توجه به شکل ۳ نزدیک‌ترین نتایج به داده‌های مشاهداتی مربوط به سناریو A1B برای هر دو دوره آتی می‌باشد.

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص دهک (DI)
Table 1, drought classification according to decile index

طبقه‌بندی دهک‌ها Deciles classifications	
دهک ۱-۲ Decile 1-2	خیلی کمتر از نرمال Much less than normal
دهک ۳-۴ Decile 3-4	کمتر از نرمال less than normal
دهک ۶-۷ Decile 6-7	نرمال Normal
دهک ۷-۸ Decile 7-8	بیشتر از نرمال More than normal
دهک ۹-۱۰ Decile 9-10	خیلی بیشتر از نرمال Much more than normal

ب) شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI¹)

در سال ۱۹۹۳، Edward و Mckee از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده به‌منظور تعریف و پایش وضعیت خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. تغییرپذیری SPI باعث می‌شود که در مقیاس‌های کوتاه‌مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود [۹]. تعیین نوع توزیع فراوانی برازش یافته بر مقادیر داده‌های بارندگی، در محاسبه شاخص SPI از اهمیت به‌سزایی برخوردارند زیرا نامناسب بودن توزیع گاما بر داده‌های بارندگی، می‌تواند منجر به برآورد مقادیر نادرستی از شاخص شود [۲۰] و [۲۳]. به همین دلیل محاسبه شاخص SPI، مستلزم برازش توزیع احتمالاتی مناسب به سری طولانی‌مدت داده‌های بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (سه‌ماهه، شش‌ماهه و ...) در هر ایستگاه است تا بهترین تابعی که با داده‌ها مطابقت داشته باشد به‌عنوان تابع توزیع احتمال برگزیده شود تا از روی آن به ازای هر احتمال مشخص مقدار متغیر مورد نظر به دست آید [۱].

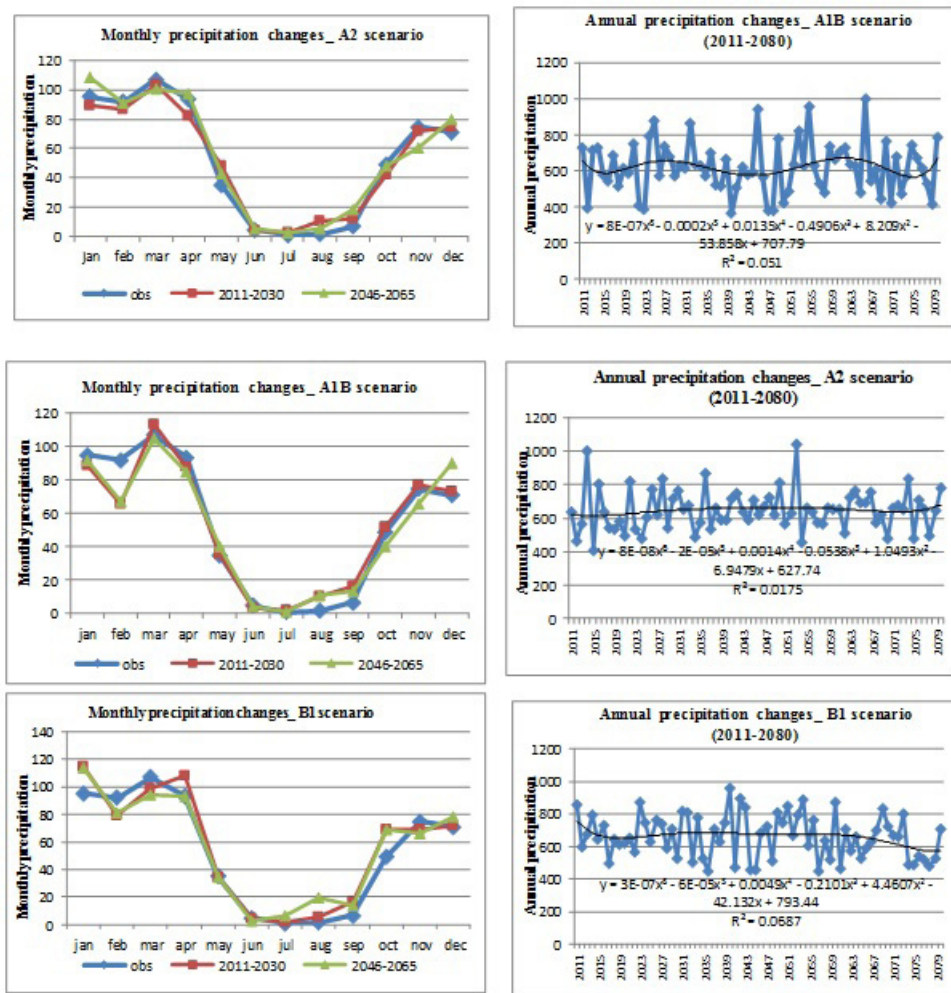
$$SPI = \frac{X_j - X_m}{\sigma} \quad (1)$$

در رابطه فوق، X_{ij} بارندگی فصلی در ایستگاه بارندگی i ، با j تعداد مشاهده، X_m میانگین درازمدت بارندگی و σ انحراف معیار است.

ج) شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)

در این شاخص به‌منظور بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در ایران به‌وسیله KHalili (۱۹۹۹) ارائه شده است و از رابطه ... به دست می‌آید.

1- standardized Precipitation Index



شکل ۲- تغییرات بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر در دوره مشاهداتی و دوره‌های پیش‌بینی
 Fig. 2, annual and monthly observed and predicted precipitation changes in Piranshahr

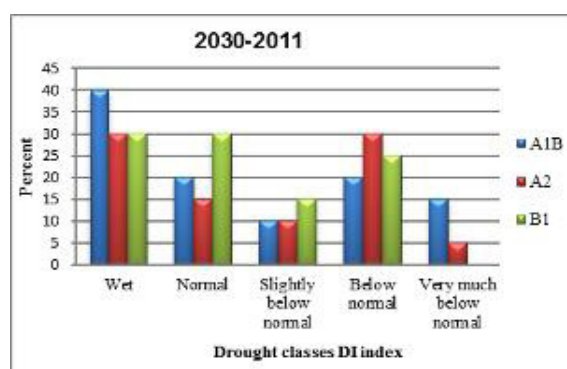
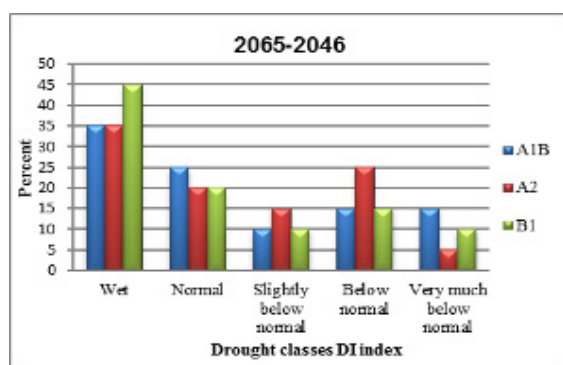
جدول ۲- پارامترهای آماری بارش در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر برای دوره مشاهداتی و دوره‌های آتی
 Table 2, statistical indices for precipitation in observed and future periods in Piranshahr

K	S	V	SD	mean	scenario	period	station
-0.88	0.6	325.53	18.04	52.59		1992-2010	Piranshahr
0.26	0.32	125.04	11.18	51.69	A1B		
0.42	0.7	117.23	10.86	53.05	A2	2011-2030	
-0.73	0.08	127.04	11.27	55.71	B1		
0.09	0.52	164.48	12.82	51.41	A1B		
2.7	0.9	90.35	9.51	54.48	A2	2046-2065	
-1.08	0.15	113.85	10.67	54.26	B1		

جدول ۳- مقایسه فراوانی طبقات مختلف شاخص خشکسالی دهک سالانه دوره مشاهده شده با دو دوره پیش‌بینی شده

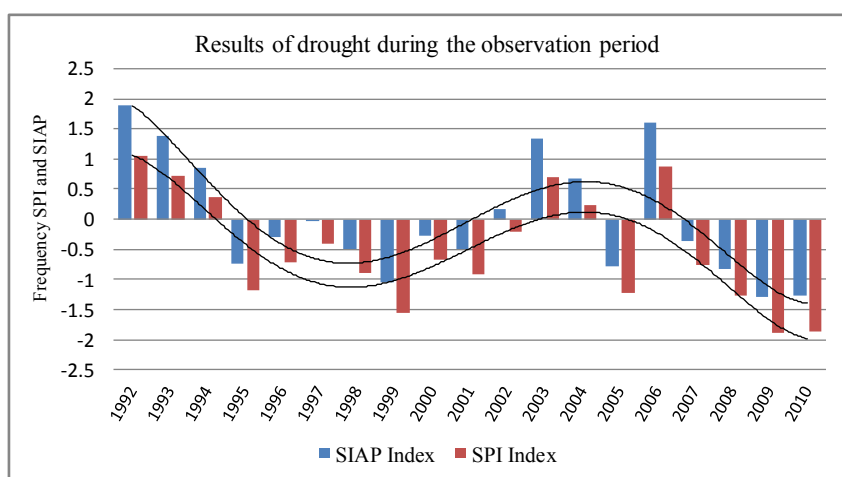
Table 3. a comparison between different drought classifications in observed and predicted periods

Greatly Less than normal	Less abnormal	Less than normal	normal	Wet spell	scenario	period
2	4	2	4	7		1992-2010 Observation
3	4	2	4	8	A1B	2011-2030 prediction
3	6	2	3	6	A2	
0	5	3	6	6	B1	
3	3	3	5	7	A1B	2043-2065
1	5	3	4	7	A2	
2	3	2	4	9	B1	



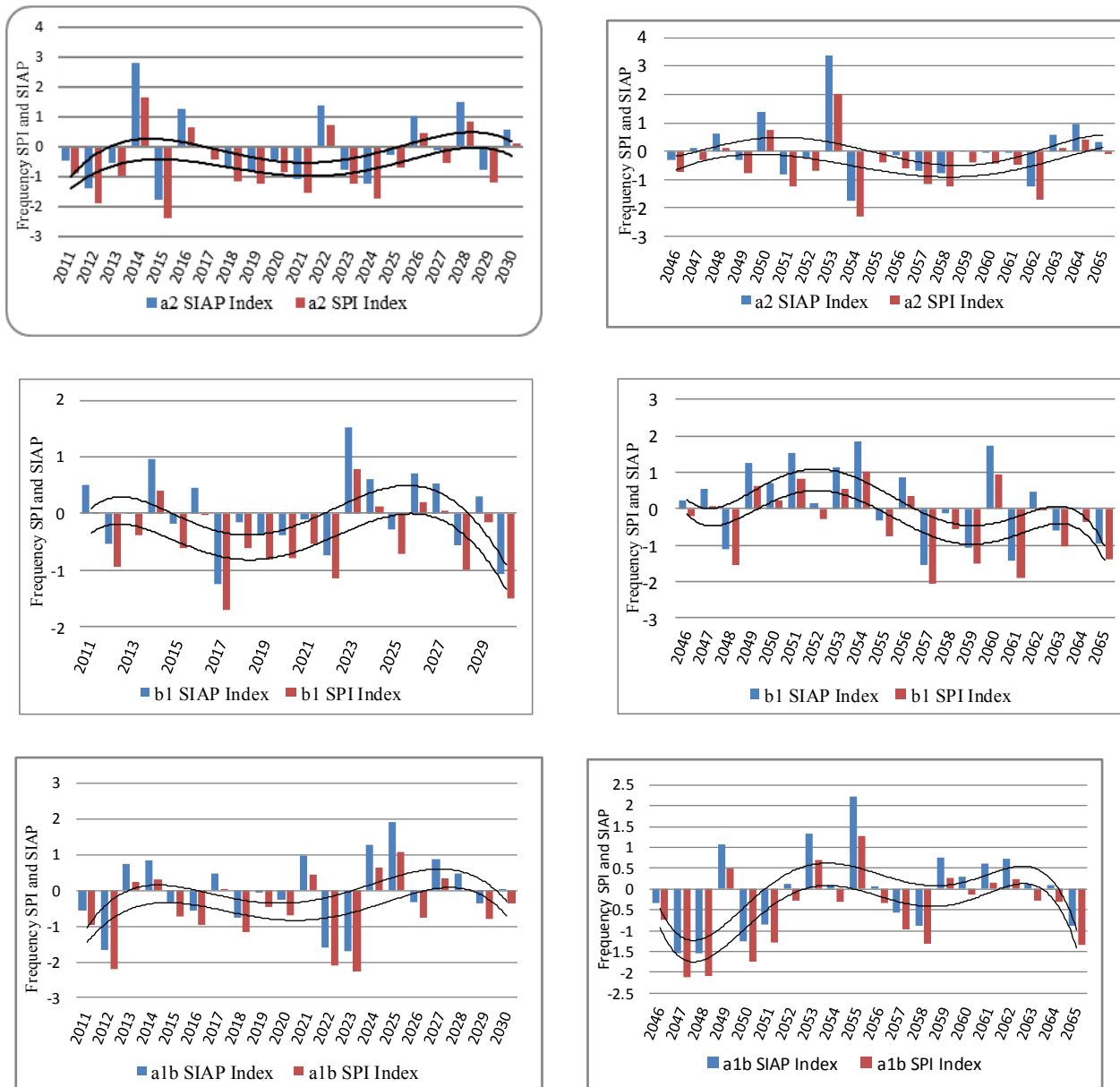
شکل ۳- درصد فراوانی طبقات مختلف خشکسالی دهک سالانه در دو دوره پیش‌بینی

Fig. 3 frequency percentage of different droughts in two prediction periods



شکل ۴- خشکسالی ایستگاه پیرانشهر با توجه به داده‌های مشاهداتی با دو شاخص SPI و SIAP

Fig 4. drought status in Piranshahr station according to SPI & SIAP indices



شکل ۵- پیش‌بینی SPI و SIAP سالانه ایستگاه پیرانشهر در سه سناریو برای دوره‌های (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

Fig.5. prediction of SPI & SIAP for Piranshahr under 3 scenarios for 2011-2030 and 2046-2065

دو مدل خشکسالی، با یکدیگر همخوانی دارند. شکل ۵ محدوده شاخص‌های SPI و SIAP سالانه برای ایستگاه پیرانشهر، تحت سه سناریو با مدل گردش عمومی جو HADCM3 برای سال‌های (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۶) را نشان می‌دهد که مقادیر منفی نشان دهنده خشکسالی‌ها خواهند بود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در حالت بدبینانه و با مدل A2، هر دو مدل خشکسالی برای سال‌های (۲۰۳۰-۲۰۱۱) یک دوره خشکسالی با تداوم ۵ ساله از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ و یک دوره سه ساله از ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۵ اتفاق می‌افتد و همچنین برای دوره دوم مورد بررسی یک خشکسالی با تداوم ۹ ساله از ۲۰۴۵ تا ۲۰۶۲ اتفاق خواهد افتاد و همان‌طور مشاهده می‌شود دوره‌های ترسالی بسیار کم و کوتاه‌مدت هستند. همچنین برای سناریو b1 تداوم ۷ ساله

جهت بررسی و مقایسه دوره‌های خشکسالی مشاهداتی و دوره‌های پیش‌بینی شده، دو شاخص SPI و SIAP مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌باشد که دو شاخص مربوطه، یک دوره خشکسالی از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۲ اتفاق افتاده است و بارندگی قابل توجهی در سال‌های بعد اتفاق نیفتاده و به طرف سال‌های پایانی این خشکسالی تشدید شده است.

مقایسه SPI و SIAP برای دوره‌های آتی برای پیش‌بینی خشکسالی از نتایج سناریوهای A2، A1B و B1 و با استفاده از دو شاخص SPI و SIAP به صورت جداگانه برای سناریوهای انتخابی و برای دو دوره به صورت مجزا استفاده شد. نتایج در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد نتایج این

خشکسالی با تداوم ۹ ساله برای سال‌های ۲۰۴۵-۲۰۶۲ را نشان می‌دهد. به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آتی شاهد افزایش شدت و تداوم دوره‌های خشکسالی و کاهش محسوس دوره‌های ترسالی هستیم که با توجه به سدهای متعدد در منطقه و افزایش سطح زیر کشت در دشت پیرانشهر نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران در آینده الزامی می‌باشد.

منابع

1. Alizadeh, A., 2009. Principles of Applied Hydrology. Twenty-Sixth Edition, Imam Reza University Press, 870PP(in Persian).
2. Babaeian, I., Z. Najafi nik., 2010. The Analysis of Climate Change in Khorasan Razavi During 2010-2039 by Using Downscaling of GCM model output. Journal of Geography and Regional Development 15, 1-19 (in Persian) (in Persian).
3. Babaeian, I., Z. Najafi nik., A. zaki zadeh., 2005. The Preliminary study and evaluation of the Weather Generator Models. A Case Study: The evaluation of LARS-WG model on selected stations Khorasan. Climatology Center. Project Report (in Persian).
4. Badagh Jamali, J., Asiair, M., Samadi Neghab, S., Javanmard, S. (2005). Drought risk management (knowledge and guidelines), Mashhad,(in Persian).
5. Barrow, E., G. Yu., 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the prairie Adaptation Research Climate Research Service.
6. Bazrafshab, J. (2001). Adaptive study of some indicators of drought in some climatic zones in Iran. Master Level, Agriculture College, Tehran University) in Persian).
7. Blenkinsop S. & Fowler, H. J. (2007) Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. Journal of Hydrology, 342(1), 50-71.
8. Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. & Hlavinka, P. (2009) Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions. Theoretical Applied Climatology, 96(1-2), 155-171.
9. Edward, D.C., T.B. Mckee., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales. pp. 155. In: Climatology Report. Colorado State University.

خشکسالی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ اتفاق خواهد افتاد و در دوره بیست ساله دوم از تداوم خشکسالی‌ها کاسته می‌شود و بر شدت آن‌ها افزوده می‌شود. با توجه به نتایج سناریو AIB که یک حالت بینابین نسبت به دو مدل قبل هست بیشترین تداوم و شدت خشکسالی مربوط به سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ و همچنین ۲۰۴۶ تا ۲۰۴۸ می‌باشد. با توجه نتایج این سناریو از مدت خشکسالی‌ها کاسته می‌شود و به شدت آن‌ها اضافه می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

از نظر اقلیم‌شناسی تمامی مناطق اقلیمی دنیا در معرض خطر وقوع خشکسالی هستند. از این رو در هر منطقه اقلیمی ممکن است این پدیده حادث گردد. تنها ویژگی‌های خشکسالی در اقلیم‌های مختلف، متفاوت است. این پژوهش به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت دوره‌های خشکسالی واقع در سرشاخه شمالی حوزه آبخیز رودخانه زاب پرداخته شد که ایستگاه نمونه در این حوزه، ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر بوده و بررسی خشکسالی طی دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی دهک، شاخص خشکسالی SIAP و بارش استاندارد شده صورت گرفت. نتایج نشان داد که مدل لارس در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارای توانایی بالایی است و بیشترین خطا در شبیه‌سازی مربوط به بارش است. همچنین این مدل در برآورد پارامترهای دمایی کمینه و بیشینه، دقت بالاتری نسبت به پارامتر بارش داراست که این نتیجه با نتایج مشابهی همچون Babaeian و Najafinik (۲۰۱۰) و Elshamy و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. بررسی نتایج تغییرات پارامتر بارش ماهانه در دوره‌های مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۹۲) و پیش‌بینی، نشان می‌دهد که سناریوهای انتخاب شده از تطابق مناسبی با دوره مشاهداتی برخوردارند. همچنین پیش‌بینی تغییرات سالانه بارندگی تا سال ۲۰۸۰ نشان دهنده تناوب دوره‌های خشک و تر برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج مربوط به شاخص خشکسالی دهک نشان می‌دهد که دوره‌های بارش زیر نرمال و خیلی زیر نرمال در حال افزایش می‌باشد و شاهد کاهش دوره‌های ترسالی هستیم. با استفاده از دو شاخص SPI و شاخص خشکسالی SIAP به بررسی و مقایسه دوره‌های خشکسالی در سال‌های مشاهداتی و دوره‌های آتی پرداخته شد. نتایج حاصل، همخوانی این دو شاخص را نشان می‌دهد. بررسی وضعیت خشکسالی حوزه آبخیز رودخانه زاب طی دوره‌های آتی نشان می‌دهد که اغلب سال‌ها شاهد افزایش شدت خشکسالی‌ها در مقایسه با مدت آن‌ها هستیم و همچنین همراه با کاهش دوره‌های ترسالی است که نتایج به دست آمده با پژوهش Mohammadlo و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی و با پژوهش Madani و همکاران (۲۰۱۲) و Hasheminasab و همکاران (۲۰۱۳) متفاوت می‌باشد. نتایج مربوط به پیش‌بینی خشکسالی نشان می‌دهد که سناریو A2 به‌عنوان نماینده حالت بدبینانه تغییر اقلیم، بیشترین دوره‌های تداوم و شدت خشکسالی را پیش‌بینی نموده به‌طوری‌که یک دوره

19. Mohammadlo, M., Haghizade, A., Zeinivand, H., Karimi, H. (2014). The Prediction of Climatic Drought: A Case Study of Urmia and Khoy Cities. *International Bulletin of Water Resources & Development*, 7(4), 80-93. (in Persian).
20. Mosaedi, A., M. Ghabaei Sough., 2011. Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) based on relevant probability distribution function. *Journal of Water and Soil* 25, (5), 1206-1216, (in Persian).
21. Nahvinia, M, J., Hashemi, M, R, Parsi nrjad, M., Bandak, E. (2009). Drought monitoring the northern regions of the multiple perspectives of meteorological drought index. The second national conference on the effects of drought and its management practices, Esfahan, 30-31 May) in Persian).
22. Samadi Brojeni, H., Ebrahimi, A. (2010). The consequences of the drought and how to deal with it (in Chaharmahal Bakhtiari), Tehran (in Persian).
23. Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research* 35, 203-212.
24. Stuart, G., M. Frey., 2005. Drought Detection and Quantification Using Field-Based Measurements of Vegetation in Semi-Arid Regions. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Masters of Science in Hydrology New Mexico.
25. Wilby, R.L., I. Harris. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* 42, 121-134.
10. Elshamy, M.E., H.S. Wheeler., N. Gedney., C. Huntingford., 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology* 326, 1-24.
11. Gibbs, w.J., J.V. Maher., 1967. Rainfall deciles as drought indicators, 37-48. In: Australian Bureau of Meteorology.
12. Haltiner G., R. Williams. 1980. Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, John Wiley & Sons. pp. 115-120.
13. Hasheni nasab, F, A., Mosavi baygi, M., Bakhtiari, B., Davari, K. (2013). Forecast for the next 20 years by using downscaling changes in rainfall and General Circulation Model (Case Study Mashhad and Kerman station). The first national conference on water and weather. Kerman (in Persian).
14. Hidalgo, H., M. Dettinger., D. Cayan. 2008. Downscaling with constructed analogues: Daily precipitation and temperature fields over the United States. Pier Final Project Report, Prepared for: California Energy Commission Public Interest Energy Research Program.
15. Iran Water Resources Management Company, in 1393, running Kani Sive Reservoir Dam, vice president of information system development plan (in Persian), (<http://www.tarh-agrw.ir>).
16. Khalili, (1999), Country's water master plan Publication-Updating report. JAMAB Consultancy Company, Ministry of Power, Tehran, Iran (in Persian).
17. Loukas, A., Vasiliades, L. & Tzabiras, J. (2008) Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17(17), 23-29.
18. Maani madani, S, F., Mosavi, M, Ansari, H. (2012). Predict the situation droughts in Khorasan Razavi province during the period 2030-2011 using statistical downscaling output of LARS-WG, Mashhad, *Geography and environmental hazards*, 3, 21-37, (in Persian).