

مقدمه

رشد فزاینده صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و جنگل‌زدایی و تخریب محیط زیست از طرف دیگر طی دهه‌های اخیر افزایش روز افزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین را به دنبال داشته است [۸]. میانگین دمای سطح زمین به علت انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش می‌باشد طبق گزارشات اخیر IPCC افزایش دمای جهان را به طور متوسط ۷۶/ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد در قرن حاضر و بالا آمدن تراز سطح دریا را ۰/۱۷ متر در قرن گذشته و بین ۲/ تا ۶/ متر تا سال ۲۱۰۰ را پیش‌بینی می‌کند. تغییر در مقادیر بارندگی نسبت به مقادیر گذشته آن نیز از دیگر پیامدها خواهد بود که به معنای افزایش در شدت سال‌های خشک یا مرطوب و همچنین توالی سال‌های وقوع آنها است (IPCC, 2007). این پدیده تغییر اقلیم نامیده می‌شود. رشد گازهای گلخانه‌ای در جو به تغییرات اقلیم همراه با تغییراتی در تعادل هیدرولوژیکی و نیز منابع آب منتهی می‌شود و آب منبعی است که در آینده شدیداً تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد [۱۱]. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) اثرات پدیده تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان را با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان‌دهنده کاهش بارش و افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ به خصوص در نیمه دوم قرن می‌باشد که سناریوی A2 شرایط بحرانی‌تری را نشان می‌دهد. همچنین، آنها شبیه‌سازی دبی ورودی به سد چادگان را با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام دادند که نتایج این بررسی حاکی از افت جریان ورودی به سد بود [۵]. مدرسی و عراقی‌نژاد (۱۳۸۸)، با استفاده از نتایج مدل HadCM3 تحت سناریوی B2 و با بکارگیری مدل ریزمقیاس‌سازی K-NN سری‌های زمانی بارش و دمای متوسط در مقیاس ایستگاهی را حوزه گرگان در دوره پیش‌بینی سال ۱۳۸۶ تا ۱۴۱۵ شمسی تولید نمودند. سپس با استفاده از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل آماری، دبی حداکثر در دوره پیش‌بینی محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که تحت سناریوهای افزایش دما، میزان دبی حداکثر نسبت به شرایط تاریخی در تمامی دوره‌های بازگشت افزایش خواهد یافت و تحت سناریوی کاهش بارش، میزان دبی حداکثر در مقایسه با شرایط تاریخی در تمامی دوره‌های بازگشت کاهش خواهد یافت. همچنین میزان دبی حداکثر تحت سناریوی افزایش بارش برای تمامی دوره‌های بازگشت

اثر تغییر اقلیم بر جریان روزانه در حوضه رودخانه سزار

محمد قدمی^۱، سعید سلطانی^۲، مسعود گودرزی^۳، سهراب نادری^۴

و حسین تیموری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۰

چکیده

استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، افزایش جمعیت جهان و به تبع آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین رفاه و نیازهای جمعیت کره زمین، موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه CO₂ در چند دهه اخیر شده است. این افزایش در گازهای گلخانه‌ای موجب بروز پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم شده است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوزه سزار (غرب ایران) می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های مدل بزرگ مقیاس HADCM3 تحت سناریوی A2 و برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی بارش و دمای میانگین از مدل SDSM استفاده شد. شبیه‌سازی رواناب حوزه برای دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) توسط مدل مفهومی IHACRES صورت گرفت. نتایج تحقیق افزایش دما را برای تمام ایستگاه‌ها نشان داد. میانگین دمای حوزه برای دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی با افزایش ۱/۷ درجه سانتی‌گراد روبروست. شبیه‌سازی بارش برای دوره آتی حاکی از کاهش بارش به میزان ۲۴٪ نسبت به دوره مشاهداتی است. بر طبق شبیه‌سازی مدل IHACRES در بین سه ایستگاه هیدرومتری استفاده شده در این پژوهش همه ایستگاه‌ها کاهش دبی را برای حوزه در دوره آتی نشان دادند. این کاهش دبی برای ایستگاه‌های چم زمان، بیاتون و رحیم آباد به ترتیب به میزان ۲۹، ۱۹ و ۲۴ درصد در دوره آتی نسبت به دوره پایه مشاهده شد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، رواناب سطحی، HADCM3
IHACRES و SDSM4.2

- ۱- نویسنده مسئول و کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه صنعتی اصفهان. پست الکترونیک: m.ghadami1368@gmail.com
- ۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۴- کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۵- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی

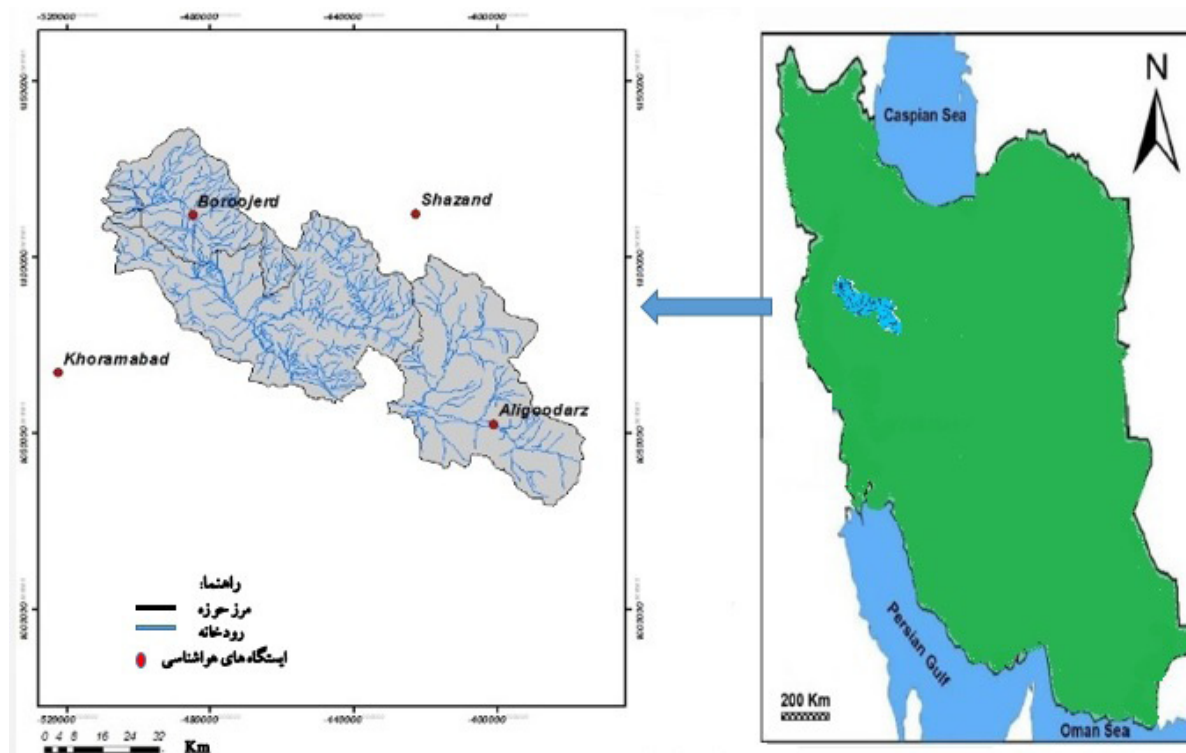
پس از شبیه‌سازی این پارامترها به عنوان ورودی به مدل IHACRES معرفی شده و این مدل رواناب برای دوره آتی شبیه‌سازی می‌نماید. در مرحله آخر تغییرات این رواناب در دوره آتی نسبت به دوره پایه و روند تغییرات آن بررسی می‌شود [۷].

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سزار یکی از زیر حوزه‌های حوزه آبخیز دز می‌باشد که در ارتفاعات زاگرس میانی واقع شده و در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی $28^{\circ}48'$ تا $28^{\circ}56'$ طول شرقی و $33^{\circ}11'$ تا $34^{\circ}07'$ عرض شمالی قرار گرفته و یکی از حوزه‌های آبخیز منتهی به خلیج فارس می‌باشد. این حوزه داری اقلیم نیمه خشک با بارش مناسب می‌باشد که بیشترین مقدار بارش آن در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهد. حوزه سزار از زیر حوزه‌های مختلفی تشکیل شده که خروجی همه آنها وارد رودخانه سزار می‌شود که در واقع بخش بالایی حوزه دز را تشکیل می‌دهد. در این پژوهش از سه ایستگاه سینوپتیک الیگودرز، بروجرد، خرم آباد و یک ایستگاه کلیماتولوژی شازند استفاده شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره ۱- وضعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده می‌شود. تولید سناریوهای اقلیمی برای دوره آتی:

نسبت به شرایط تاریخی افزایش خواهد یافت [۶]. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی اثر تغییر اقلیم با استفاده از مدل CGCM3 بر اساس سناریوی انتشار A2 از مجموعه مدل‌های AOGCM-AR4 بر سیلاب حوضه بختیاری در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پرداختند همچنین برای شبیه سازی سیلاب حوضه نیز از مدل بارش- رواناب HEC-HMS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های حدی در حوضه با شدت بیشتری نسبت به دوره پایه رخ خواهند داد که این امر نشان دهنده افزایش وقوع سیلاب‌ها در دوره آتی خواهد بود [۲]. وانو و همکاران (۲۰۰۹) با اجرای ۲۰ مدل اقلیمی منتشر شده توسط IPCC در حوضه آبریز رودخانه یاکیما در آمریکا به این نتیجه رسیدند که با تغییر اقلیمی که در قرن ۲۱ اتفاق می‌افتد دبی رودخانه در این حوضه به مقدار قابل توجهی کاهش خواهد یافت که منجر به کاهش آب قابل استحصال و در نهایت کاهش تولید محصولات کشاورزی خواهد شد [۱۵]. کارلا کارکانو و همکاران طی تحقیقی جهت مدل سازی جریان روزانه در مناطق شمالی ایتالیا، دو مدل IHACRES و شبکه عصبی مصنوعی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که وقتی داده‌های ورودی مناسب در دسترس است، عملکرد مدل‌های ساده مانند IHACRES نسبت به یک مدل پیچیده بهتر است. در این تحقیق در ابتدا پارامترهای اقلیمی مورد نظر شامل بارش و دمای میانگین منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز جوی اقیانوسی برای آینده شبیه‌سازی می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of the study area

جدول ۱- وضعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Status of the studied stations

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)		
الیگودرز	Aligudarz	سینوپتیک	Synoptic	33° 24'	49° 42'	2022 (m)
بروجرد	Boroojerd	سینوپتیک	Synoptic	33° 55'	48° 45'	1629 (m)
خرم آباد	Khorramabad	سینوپتیک	Synoptic	33° 26'	48° 17'	1148 (m)
شازند	Shazand	کلیماتولوژی	Climatology	33° 56'	49° 25'	1918 (m)
چم زمان	Chamzaman	هیدرومتری	Hydrometric	33° 25'	49° 25'	1286 (m)
رحیم آباد	Rahimabad	هیدرومتری	hydrometric	33° 38'	48° 46'	1422 (m)
بیاتون	Biaton	هیدرومتری	Hydrometric	33° 21'	49° 05'	1285 (m)

جدول ۲- سناریوهای اصلی موردنظر IPCC برای آینده

Table 2. the main scenarios of the IPCC for the future

سناریو	مشخصات
senario	Specifications
A1	رشد جمعیت کم، رشد اقتصادی زیاد، نوآوری‌ها در فن‌آوری زیاد، همگرایی بین نواحی مختلف دنیا زیاد، کاهش اختلاف بین درآمد سرانه در سطح دنیا، تعاملات فرهنگی و اجتماعی زیاد
A2	ناهمگونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن‌آوری به صورت منطقه‌ای (و نه جهانی)
B1	تأکید به دستیابی به راه‌حل‌های جهانی در مورد مسائل زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی (این سناریو مزایای سناریوی A1 را در کنار توسعه پایدار در نظر می‌گیرد)
B2	رشد جمعیت و رشد اقتصادی متوسط، رشد فن‌آوری از سناریوی A1 و B1 کمتر است. تأکید به دستیابی به راه‌حل‌های محلی در مورد مسائل زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی.

تغییرات این گازها در آینده می‌باشد ارائه شده که سناریوهای انتشار نامیده می‌شود. سری اول سناریوهای انتشار در سال ۱۹۹۲ توسط IPCC ارائه شد این سناریوها در چهار شاخه اصلی سناریوهای A2، B2، A1 و B1 قرار می‌گیرند. در جدول ۲- خصوصیات کلی این سناریوها بیان شده است.

در این تحقیق از داده‌های خروجی سناریوی A2 استفاده شد.

مدل ریزمقیاس SDSM (روش آماری):

در این تحقیق از مدل HADCM3 که در مرکز پژوهش و پیش‌بینی اقلیمی Hadley انگلستان توسعه یافته و دارای شبکه بندی با ابعاد $5^{\circ} \times 3^{\circ} \times 7.5^{\circ}$ (طول در عرض جغرافیایی) تحت سناریوی A2 استفاده شد. جهت ریزمقیاس کردن داده‌های مدل HADCM3 از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM استفاده می‌شود که اساس آن استفاده از ترکیبی از روش‌های رگرسیون و تولید داده‌های آب و هوای مصنوعی برای ریزمقیاس سازی می‌باشد. مدل SDSM در سال ۲۰۰۲ در انگلستان تهیه شده است (ویلبای و همکاران، ۲۰۰۲). در این مدل اقلیم محلی توسط اقلیم بزرگ مقیاس منطقه در فرم $R=F(X)$ بیان می‌شود. که در اینجا R نشان‌دهنده متغیر اقلیم محلی

در حال حاضر از روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آتی استفاده می‌شود که معتبرترین آنها استفاده از مدل‌های AOGCM است [۱۳، ۱۴ و ۱۷]. مدل‌های AOGCM بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شود استوار هستند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌شوند. به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرآیندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پسته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه جفت شده و مدل‌های AOGCM را تشکیل می‌دهند. روابط ریاضی این مدل‌ها در شبکه‌های سه بعدی، با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس حل می‌شوند. تاکنون مدل‌های گردش عمومی مختلفی در مراکز مختلف تحقیقاتی تدوین و طراحی شده است. از جمله می‌توان به مدل‌های ECHAM4، HADCM3، CSIRO، CGCM2، GFDL-30، NCAR و CCSR اشاره کرد [۸]. از آنجا که مهمترین ورودی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرفی تعیین میزان انتشار این گازها امکان پذیر نیست از این رو سناریوهای مختلفی که در برگیرنده چگونگی

است که ریزمقیاس شده است، X مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس است و F یک تابع تعیین مشروط به X است که براساس آموزش و اعتبار سنجی داده‌های تاریخی بدست می‌آید [۱۶]. در این تحقیق در ابتدا به منظور واسنجی و صحت یابی مدل SDSM، متغیرهای بزرگ مقیاس به صورت روزانه در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱ (متغیرهای استخراج شده NCEP) به عنوان متغیرهای مستقل، و بارندگی و میانگین دمای روزانه مشاهداتی منطقه در همین دوره، به عنوان متغیرهای وابسته بطور جداگانه وارد مدل شدند. برای واسنجی دما در مدل SDSM، در ابتدا لازم است تا از بین متغیرهای بزرگ مقیاس، متغیرهایی را که بیشترین ارتباط با دمای منطقه دارند انتخاب شوند. پس از تعیین متغیرهای بزرگ مقیاس موثر بر دمای ایستگاه‌های مورد نظر، دوره‌های مختلفی از داده‌های مشاهداتی بزرگ مقیاس و دما در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱، برای واسنجی و صحت سنجی مدل مورد آزمون قرار گرفتند. در نهایت دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۱ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۶ برای صحت سنجی مدل انتخاب گردید. پس از واسنجی و صحت سنجی مدل SDSM برای دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱، متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل HADCM3 برای دوره آتی به مدل SDSM معرفی شده و سری زمانی دما و بارش روزانه منطقه برای دوره آتی شبیه سازی شد. در نهایت روند تغییرات دو متغیر دما و بارش ایستگاه‌ها در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با دوره مشابه سازی بارش روزانه این حوزه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با معرفی داده‌های دما و بارش ریزمقیاس شده، مورد شبیه سازی قرار گرفت.

$$uk = sk \times rk \quad (1)$$

$$sk = c * rk + \left(1 - \frac{1}{\tau w (tk)}\right) sk - 1 \quad s_0 = 0 \quad (2)$$

$$\tau w (tk) = \tau w e^{0.062f (R - \tau w)} \quad \tau w (tw) > 1 \quad (3)$$

نتایج:

شبیه‌سازی بارش-رواناب: به منظور بررسی اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر رواناب استفاده از مدل‌های بارش-رواناب ضروری است. در این تحقیق برای شبیه سازی بارش-رواناب روزانه از روش ارائه شده توسط Jakeman و Hornberger (۱۹۹۳) (مدل IHACRES) استفاده می‌شود [۱۲]. اساس این روش از دو مدول غیر خطی کاهش (Non-linear module) و مدول خطی هیدروگراف (Linear unit hydrograph) است که ریزمقیاس شده است، X مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس است و F یک تابع تعیین مشروط به X است که براساس آموزش و اعتبار سنجی داده‌های تاریخی بدست می‌آید [۱۶]. در این تحقیق در ابتدا به منظور واسنجی و صحت یابی مدل SDSM، متغیرهای بزرگ مقیاس به صورت روزانه در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱ (متغیرهای استخراج شده NCEP) به عنوان متغیرهای مستقل، و بارندگی و میانگین دمای روزانه مشاهداتی منطقه در همین دوره، به عنوان متغیرهای وابسته بطور جداگانه وارد مدل شدند. برای واسنجی دما در مدل SDSM، در ابتدا لازم است تا از بین متغیرهای بزرگ مقیاس، متغیرهایی را که بیشترین ارتباط با دمای منطقه دارند انتخاب شوند. پس از تعیین متغیرهای بزرگ مقیاس موثر بر دمای ایستگاه‌های مورد نظر، دوره‌های مختلفی از داده‌های مشاهداتی بزرگ مقیاس و دما در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱، برای واسنجی و صحت سنجی مدل مورد آزمون قرار گرفتند. در نهایت دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۱ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۶ برای صحت سنجی مدل انتخاب گردید. پس از واسنجی و صحت سنجی مدل SDSM برای دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱، متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل HADCM3 برای دوره آتی به مدل SDSM معرفی شده و سری زمانی دما و بارش روزانه منطقه برای دوره آتی شبیه سازی شد. در نهایت روند تغییرات دو متغیر دما و بارش ایستگاه‌ها در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با دوره مشابه سازی بارش روزانه این حوزه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با معرفی داده‌های دما و بارش ریزمقیاس شده، مورد شبیه سازی قرار گرفت.

جدول ۳- عملکرد مدل SDSM در دوره واسنجی
Table 3. Performance SDSM model calibration period

		پارامترهای اقلیمی Climatic parameters			
		بارش Rainfall		دمای میانگین Mean temperature	
ایستگاهها	Stations	RS	SE	RS	SE
الیگودرز	Aligudarz	0.953	1.745	0.526	1.163
بروجرد	Boroojerd	0.959	1.736	0.49	1.815
خرم آباد	Khorramabad	0.925	2.38	0.623	1.121
شازند	Shazand	0.818	3.215	0.452	2.015

جدول ۴- مقایسه روند تغییرات بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه

Table 4: Comparison of trends in precipitation in the future compared to the basic period

ایستگاهها	Stations	مشاهداتی (۱۹۷۹-۲۰۰۸) Observation (1979-2008)	شبیه سازی شده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) Simulated (2021-2050)
الیگودرز	Aligudarz	406.46	309.33
بروجرد	Borojerd	474.23	396.06
خرم آباد	Khorramabad	497.18	381
شازند	Shazand	481.08	344.26

جدول ۵- مقایسه روند تغییرات دما در دوره آتی نسبت به دوره پایه

Table 5: Comparison of trends in temperature in the future compared to the basic period

ایستگاهها	Stations	مشاهداتی (۱۹۷۹-۲۰۰۸) Observation (1979-2008)	شبیه سازی شده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) Simulated (2021-2050)
الیگودرز	Aligudarz	12.75	14.32
بروجرد	Borojerd	14.63	16.69
خرم آباد	Khorramabad	16.52	19.15
شازند	Shazand	12.02	13.56

و نجفی نیک (۱۳۸۸) با استفاده از مدل ECHO و نرم افزار ریزمقیاس سازی LARS-WG نشان دادند که بارش در کل کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ به میزان نه درصد کاهش می یابد [۱]. بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعه ذکر شده همخوانی دارد. همانطور که ذکر شد نتایج این تحقیق نشان از کاهش دما برای تمام ایستگاهها در دوره آتی نسبت به دوره پایه دارد. طبق مطالعات انجام شده توسط مساح بوانی و همکاران (۱۳۸۴) و یانو و همکاران (۲۰۰۷) تغییر اقلیم موجب افزایش پارامتر اقلیمی دما در دوره های آتی نسبت به دوره پایه خواهد شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد [۵] و [۱۹]. در جدول ۶- ضرایب مربوط به واسنجی مدل IHACRES برای هر کدام از ایستگاههای هیدرومتری محاسبه شد.

جدول ۶- ارزیابی عملکرد مدل IHACRES
Table 6. Performance Evaluation IHACRES Model

		Rel.Bias	RS
بیاتون	Biaton	0.2886	0.39
چم زمان	Chamzaman	0.0888	0.67
رحیم آباد	Rahimabad	0.0322	0.58

همانطور که ذکر شد برای صحت سنجی مدل دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۶ مناسب تشخیص داده شد. نمودارهای زیر نتایج صحت سنجی مدل IHACRES در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۶ را برای سه ایستگاه ذکر شده نشان می دهد.

مطابق با نتایج جدول ۶- می توان بیان کرد که مدل IHACRES کارایی خوبی در شبیه سازی رواناب برای این حوزه می تواند داشته

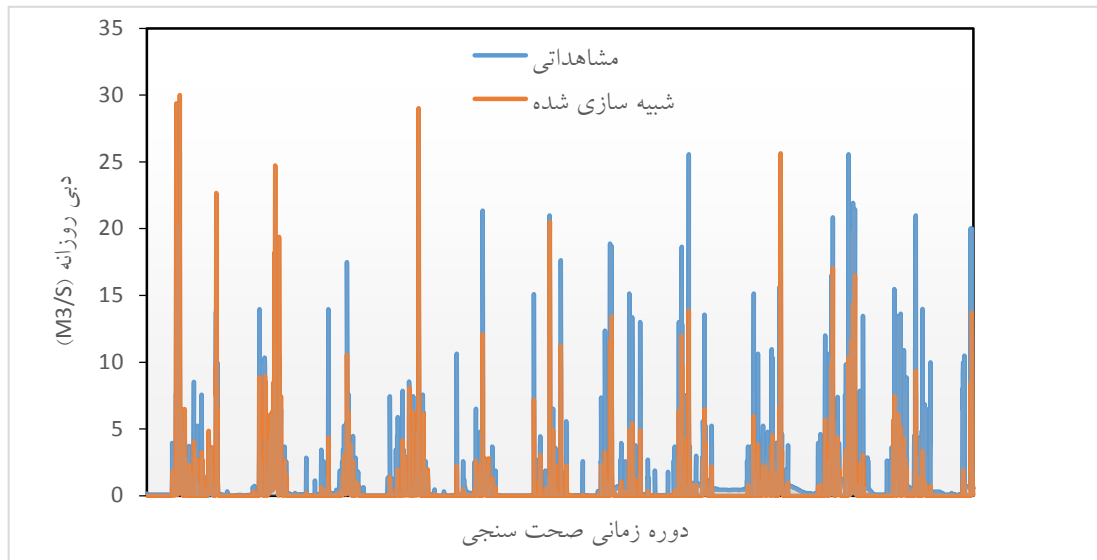
ارزیابی کارایی مدل SDSM:

برای ارزیابی کارایی مدل SDSM دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۱ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۶ برای صحت سنجی مناسب تشخیص داده شد. در جدول ۳- ضرایب عملکرد مدل SDSM برای چهار ایستگاه ذکر شده نشان داده می شود. نتایج واسنجی نشان داد که این مدل به خوبی دو پارامتر دمای میانگین و بارش را برای حوزه سزار مورد واسنجی (کالیبراسیون) قرار داده و مقدار RS پایین بارش ناشی از شرطی بودن این پارامتر اقلیمی است [۱۶].

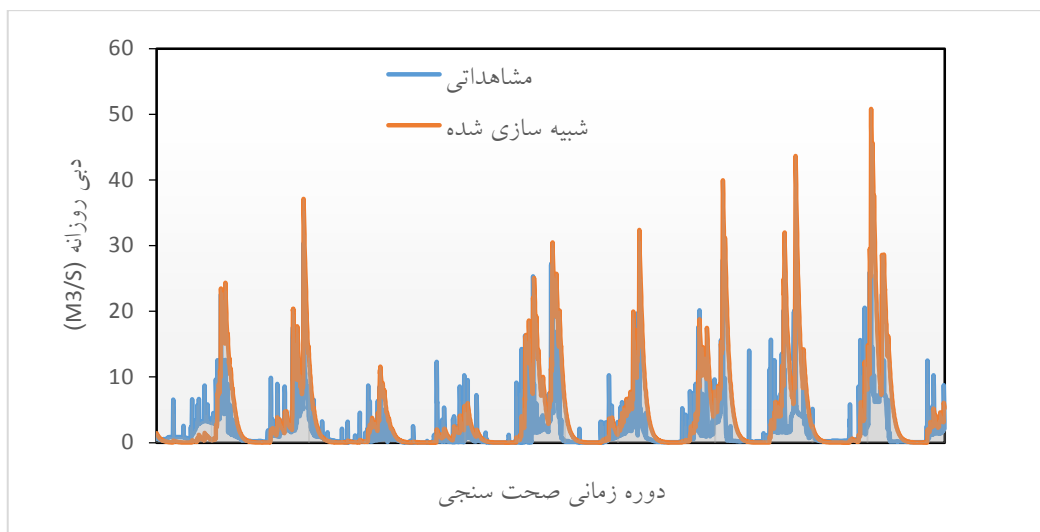
شبیه سازی دما و بارش روزانه برای دوره آتی:

پس از واسنجی و صحت سنجی، پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ شبیه سازی شدند و در ادامه مقایسه ای بین روند تغییرات این دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) با دوره پایه ۱۹۷۹-۲۰۰۸ صورت گرفت. در جداول زیر مقایسه ای بین روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شبیه سازی شده در دوره آتی با دوره پایه صورت گرفته است.

طبق نتایج جدول ۴- و ۵- به طور کلی روند تغییرات بارش و دما در دوره آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب با کاهش و افزایش روبروست. تغییرات بارش در تمام ایستگاهها کاهش مقدار این پارامتر را برای دوره آینده نشان می دهد. دما در تمام ایستگاهها در دوره آتی نسبت به دوره پایه با افزایش روبروست. بیشترین میزان افزایش دما طی دوره آتی نسبت به دوره پایه مربوط به ایستگاه خرم آباد به میزان ۲/۶۳ درجه سانتی گراد می باشد. بر طبق نتایج، بارش در تمام ایستگاهها در دوره آتی نسبت به دوره پایه کاهش را نشان می دهد. کوچکی و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه ای با استفاده از مدل UKMO نشان دادند که میزان بارندگی در مشهد در تمامی ماه های سال به جز فصل تابستان بارش کاهش می یابد [۴].



شکل ۲- مقایسه رواناب شبیه سازی شده با مشاهداتی در دوره صحت سنجی (۱۹۹۶-۲۰۰۴) ایستگاه بیاتون
Figure 2. Compares the simulated runoff with observation for validation period (2004-1996) Biyatun station

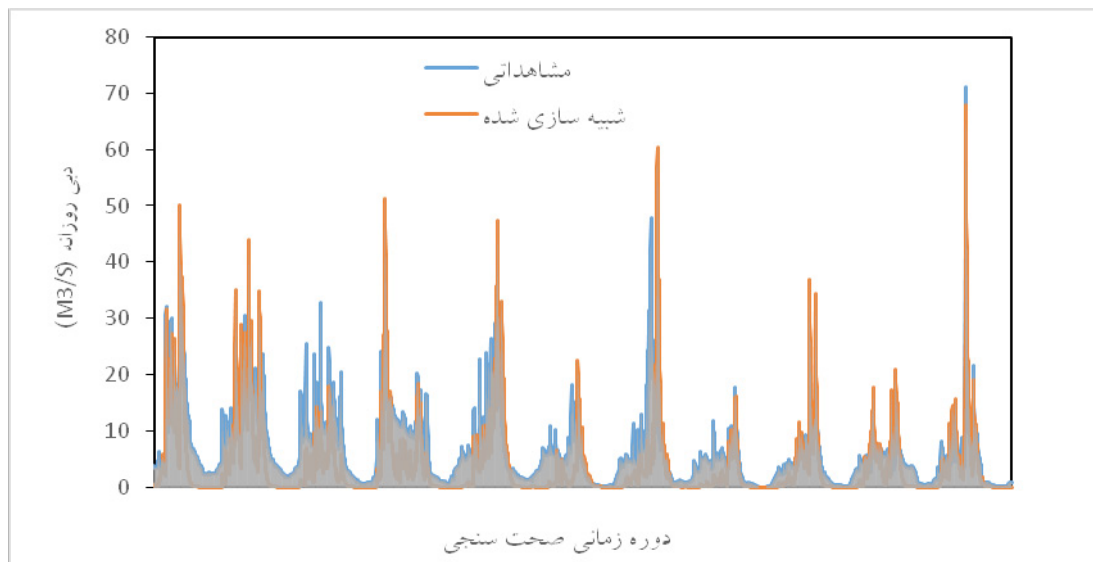


شکل ۳- مقایسه رواناب شبیه سازی شده با مشاهداتی در دوره صحت سنجی ۱۹۹۶-۲۰۰۴ ایستگاه چم زمان
Figure 3. Compares the simulated runoff with observation for validation period (2004-1996) chamzaman station

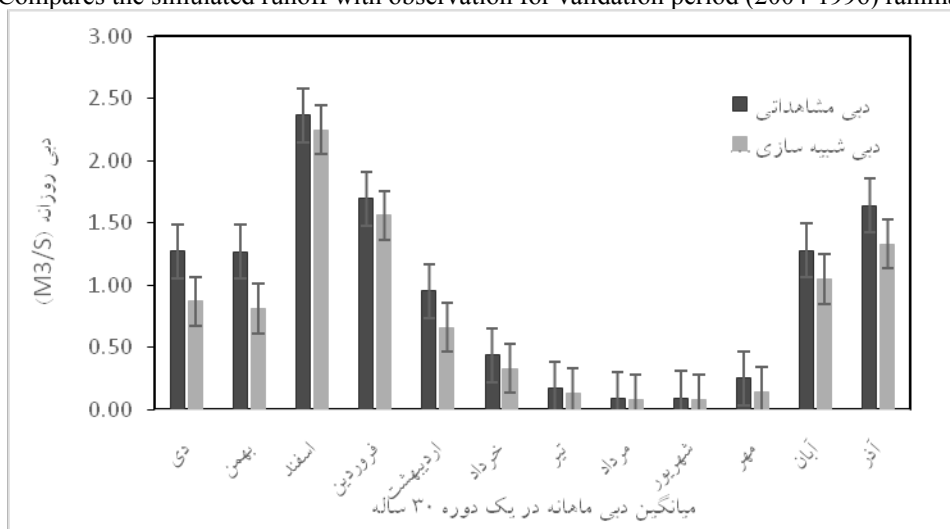
که بیشتر متوجه ایستگاه‌های رحیم‌آباد و بیاتون می‌باشد. بیشترین افت دبی در ایستگاه چم زمان در دوره آبی نسبت به دوره پایه در فصل بهار مشاهده شد. بیشترین افت دبی در ایستگاه چم زمان به میزان ۲۹ درصد مشاهده شد. در ایستگاه‌های بیاتون و رحیم‌آباد این افت به ترتیب به میزان ۱۹ و ۲۴ درصد می‌باشد. در این تحقیق نتایج حاصل از شبیه‌سازی دبی روزانه توسط مدل IHACRES برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۴) نشان از کاهش دبی سالانه برای حوزه سزار دارد. نتایج مطالعات انجام گرفته توسط مدرسی (۱۳۸۸) و مساح بوانی (۱۳۸۴) نشان داد که با کاهش بارش در دوره آبی، دبی سالانه در دوره آبی نیز با کاهش روبروست که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد [۵ و ۶].

باشد. در مرحله واسنجی با نگاه به ضرایب R Squared، و خطای کل در جریان Rel.Bias برای سه ایستگاه هیدرومتری می‌توان دریافت که مدل IHACRES کارایی خوبی در شبیه‌سازی دبی روزانه دارد [۳]. شبیه‌سازی رواناب حوزه برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰:

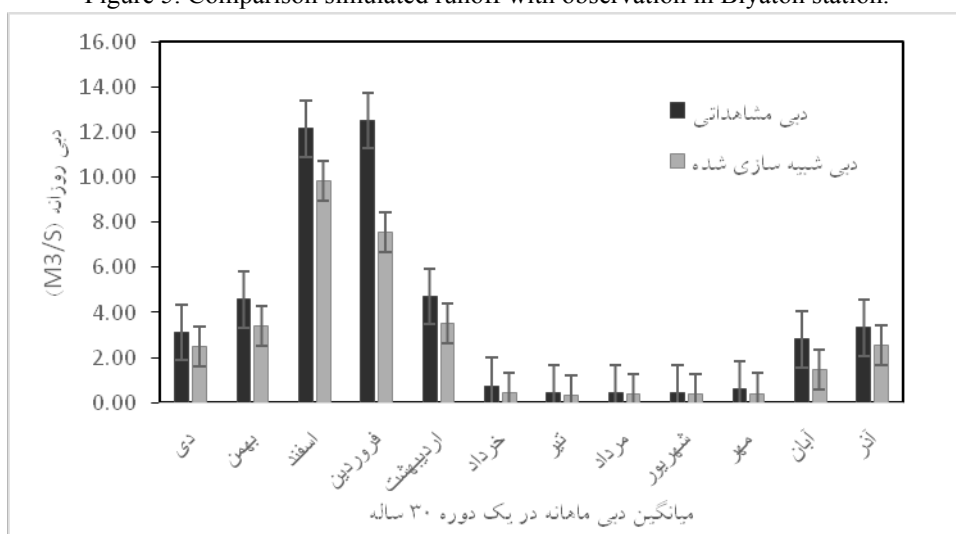
پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES، با ورود مقادیر شبیه‌سازی شده بارش و دمای روزانه دوره آبی به مدل IHACRES دبی روزانه برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ شبیه‌سازی شد. مطابق با نتایج شکل ۷- در تمام ایستگاه‌ها دبی شبیه‌سازی شده برای دوره آبی نسبت به دبی مشاهداتی کاهش یافته است. در بین فصل‌ها، فصل زمستان نسبت به سایر فصول بیشترین افت دبی را در دوره آبی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۴) داشته،



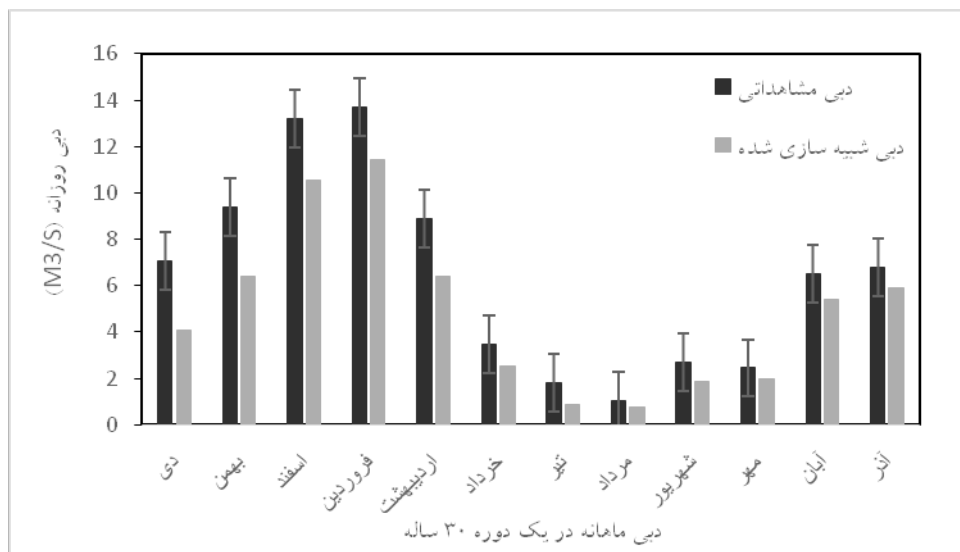
شکل ۴- مقایسه رواناب شبیه سازی شده با مشاهداتی در دوره صحت سنجی ۱۹۹۶-۲۰۰۴ ایستگاه رحیم آباد
 Figure 4. Compares the simulated runoff with observation for validation period (2004-1996) rahimabad station



شکل ۵- مقایسه رواناب شبیه سازی شده با مشاهداتی در ایستگاه بیاتون
 Figure 5. Comparison simulated runoff with observation in Biyaton station.



شکل ۶- مقایسه دبی شبیه سازی شده با دبی مشاهداتی در ایستگاه چم زمان
 Figure 6. Comparison simulated runoff with observation in Biyaton station.



شکل ۷- مقایسه دبی شبیه سازی شده با دبی مشاهداتی در ایستگاه رحیم آباد
Figure 7. Comparison simulated runoff with observation in Biyaton station.

جدول ۷- متغیرهای بزرگ مقیاس غالب در مدل کردن دمای میانگین روزانه
Table 7. Large-scale dominant variables in modeling, the daily average temperature

۱. فشار متوسط سطح دریا (Pressure Mean Sea Level)
۲. حالت گردابی در سطح زمین (Vorticity Surface)
۳. ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ (500 hpa Geopotential height)

جدول ۸- متغیرهای بزرگ مقیاس غالب در مدل کردن بارش روزانه
Table 8. Large-scale dominant variables in modeling, the daily rainfall

۱. فشار متوسط سطح دریا (Mean Sea Level Pressure)
۲. میانگین دما (Mean Temperature)
۳. ارتفاع ژئوپتانسیل در ارتفاع ۸۵۰ (850 hPa Geopotential heigh)
۴. سرعت نصف النهاری (meridional)
۵. رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین (Near surface relative humidity)
۶. ورتیسیته یا حالت گردابی در تراز ۸۵۰ (850 hpa vorticity)

مدل است [۱۶]. هم‌چنین ریزمقیاس کردن توسط این روش نسبت به انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها و توابع آماری مناسب (به خصوص در مورد وقایع حدی) بسیار حساس است و تغییر هر یک از این عوامل می‌تواند بر نتایج تأثیرگذار باشد. عمده‌ترین مزیت این روش‌ها، کاربرد آسان و کم هزینه بودن آنها می‌باشد. مساح‌بوانی در مطالعات خود در حوزه زاینده رود برای کالیبراسیون مدل SDSM از بین ۲۶ پارامتر NCEP سه پارامتر را برای دما و ۷ پارامتر را برای بارش مناسب دانست [۱۸].

در این پژوهش برای کالیبراسیون مدل SDSM، از بین ۲۶ پارامتر اقلیمی بزرگ مقیاس (NCEP) به طور متوسط ۳ پارامتر بیشترین

بحث و نتیجه گیری:

در این پژوهش از مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 استفاده شد. برای ریزمقیاس سازی از مدل SDSM4.2 استفاده شد. مدل SDSM4.2 یک مدل رگرسیونی است. مدل‌های رگرسیونی به صورت خطی و یا غیرخطی، ارتباطات بین پیش‌بینی شونده‌ها و پیش‌بینی کننده‌ها را نشان می‌دهند. این مدل‌ها اکثراً با ایجاد روابط رگرسیونی بین متغیرهای بزرگ مقیاس و ریزمقیاس تعریف می‌شوند. برای شبیه‌سازی بارش، ریزمقیاس سازی وقایع حداکثر در آینده توسط مدل‌های رگرسیونی تا حدی مشکل است، زیرا معمولاً سری داده‌ها نیاز به کالیبره شدن دارد و این یکی از ضعف‌های این

4. Kochaki, A., Sharifi, H. 1386. Climate Change: the development, maker Magazine, Issue 27, Pages 58-28.
5. Massah Bavani, AS., Morid, S. 1384. The effects of climate change on river flows, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Year 9, Issue 4.
6. Modaresi, F., Eraghinejad, SH. 1388. Effects of climate change on Dubai maximum (Case Study: Gorgan River basin), the end-a master, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University.
7. Carla Carcano E., Bartolini P., Muselli M., and Piroddi L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. Journal of Hydrology. 362: 291– 307.
8. IPCC. 2007, Climate change 2001, The science of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds: Harris, N., Attenberg, A. and Maskell K. 572 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
9. IPCC, 2007a. "Climate change 2001: Impact, adaptation, and vulnerability", contribution of Working Group, Cambridge University Press. New York, USA.
10. IPCC, 2008. Climate change and water, Bates, B. Kundzewicz, Z. Palutikof, J. 214 P.
11. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, UK.
12. Jakeman, A. J. and G. M. Hornberger. 1993. How Much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? Water Resour. Res. 29(8): 2637-2649.
13. Lane, M.E., P. H. Kirshen and R.M. Vogel. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag. 125(4): 194-204
14. Mitchell, T.D. 2003 Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. Climatic Change 60: 217-242
15. Vano, J. A. Scott, M. Viosin, N. Stockel, C. Hamlet, A. and Lenttenmair, D. P. 2009. Climate change impact on Water management and irrigated Agriculture in the Yakima River Basin. Washington, USA.
16. Wilby, R. L. Dawson, C. W. Barrow, E. M. 2002. SDSM-a Decision Support tool for the assessment of regional Climate change impacts. J. Environmental Modeling and

همبستگی را با میانگین دما و ۶ پارامتر بیشترین همبستگی را با میانگین بارش حوزه سزار دارند. این پارامترها به شرح زیر می‌باشد. مطابق با جدول ۸ و ۹ می‌توان اشاره کرد که پارامترهای بزرگ مقیاس غالب در مدل کردن دمای میانگین و بارش روزانه در این پژوهش با نتایج مطالعات مساح بوانی و همکاران (۱۳۸۴) در حوزه آبخیز زاینده رود همخوانی دارد [۵]. به طور کلی، سناریوی A2 روند تغییرات شدیدتر و بدبینانه‌تری در آینده نشان می‌دهد. زیرا این سناریو توصیف‌کننده دنیای ناهمگن با رشد سریع جمعیت است که به مسائل محیط زیستی و اثرات ناشی از رشد سریع اقتصادی توجهی ندارد. به عبارت دیگر طبق این سناریو، افزایش شدید دما می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی جهت کسب سود اقتصادی بیشتر، عدم توجه به توسعه پایدار، رشد بی‌رویه جمعیت و به تبع آن افزایش فعالیت‌های انسانی مخرب باشد. به طور کلی بسیاری از تحقیقات انجام شده مؤید افزایش دما در آینده هستند [۱۰]. از آنجا که در حوزه آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوزه میسر نیست لذا نیاز به مدل‌هایی داریم که در عین سادگی ساختار با استفاده از حداقل داده‌های مورد نیاز پیش‌بینی با دقت قابل قبول ارائه کند. از آنجا که مدل IHACRES تنها به داده‌های بارندگی و درجه حرارت جهت شبیه‌سازی رواناب نیاز دارد می‌تواند برای حوزه‌های آبخیز ایران که فاقد اطلاعات آماری درستی نیز می‌باشند استفاده شود [۳]. به طور کلی، مطالعه انجام شده در حوزه آبخیز سزار و نتایج حاصل از آن، بیانگر این است که این حوزه به سمت اقلیمی با رطوبت کمتر و دمای بیشتر پیش می‌رود. بنابراین، تحت شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی شده و با توجه به تغییرات مورد انتظار در دما و بارش، احتمالاً در آینده کم‌آبی مواجه خواهیم بود. به همین دلیل باید اقدامات مدیریتی صحیح در این حوزه با در نظر گرفتن اثرات تغییر اقلیم انجام گیرد و راهکارهای مناسبی در راستای مقابله با خشکسالی ارائه گردد.

منابع:

1. Babaeian, A., Najafi Nick, G., Habibi Nokhandan, M., Zabol Abbasi, F., Politeness, H., Haberdashery, N. 1388. Assessment of climate change in the period from 2039 to 2010 AD downscaling data using general circulation models ECHO-G, Geography and Development, No. 160, page 152-135.
2. Hejazizadeh, Z., fahati, A., Massah Bavani, A., naserzadeh, M. 1391. Effects of climate change on flood hydrograph in the upcoming period Case study: watershed Bakhtiari, Iran Geographic Society, Issue 34, and Page 24-5.
3. Khalili, A. 1379. Effects of possible climate change on water resources, the country's Energy Plan Report. Synthesis Report, the Meteorology, Ministry of Energy.

19. Yano, T. Aydin, M. Haraguchi, T. 2007. Impact of Climate change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *J. Sensors*, 7, 2297-2315.

Software, 17. 147-159.

17. Wilby R.L. and I. Harris. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res.* 42:10 pp

18. Xu, C. Y. 1999. From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic Modeling approaches, *J. physical Geography*. 23. 203-228.

*Abstract***Climate Change Impact on Daily Flow in Sezar Basin**M. Ghadami¹, S. Soltani², M. Goodarzi³, S. Naderi⁴ and H. Taimouri⁵

Received:2016/09/23 Accepted : 2017/05/31

Excessive use of fossil fuels, the increasing world population and the ever-increasing of industrial activities accordingly to provide welfare and the needs of humans, thereby has been increased the concentration of greenhouse gases, particularly carbon dioxide in recent decades. This increase in greenhouse gases cause a phenomenon called climate change. The aim of this study was to evaluate the effect of climate change on surface runoff in Caesar's basin (West Iran). The study uses data from a large-scale model HADCM3 under scenario A2, and for small-scale precipitation and average temperature of the climate parameter exponential model SDSM was used. Simulated runoff area for the next period (2021-2050) was simulated by IHACRES conceptual model. The results showed an increase in temperature for all stations. The average temperature of the area for the future compared to the observation period increased by 1.7 ° C. Simulated rainfall for the next period shows a decrease in precipitation by 24% over the observation period. According to the simulation model of IHACRES, the three hydrometric stations used in this study, all stations showed a reduced rate for the area in the future. This reduction in discharge of 29, 19 and 24 percent in the future period for Rahimabad, Biaton and Cham Zaman stations, respectively was observed compared to base period.

Keywords: *Change, Runoff, HADM3, SDSM4.2 and IHACRES.*

-
1. Corresponding Author, Master Student Watershed Management, Isfahan University of Technology, Email: m.ghadami1368@gmail.com
 2. Associate Professor, Department of Natural Resources, University of Technology.
 3. Faculty Member soil conservation and watershed management Research Institute, Tehran.
 4. Master Student Watershed Management, Isfahan University of Technology.
 5. Master of Remote Sensing and Geographic Information System