ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر تخصیص آب کشاورزی در سطح حوضه قره سو با مدل WEAP

مهسا مالمیر[۱]، ام البنی محمدرضاپور[۲]، سلمان شریف آذری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۱

چکیده

هر گونه تغییر اقلیم در کره‌ی خاکی، سرآغاز زنجیره‌ای از واکنش‌هاست که اثر آن به طور مستقیم در فرآیندهای هیدرولوژیکی ظاهر می‌شود. حوضه‌ی آبریز قره‌سو واقع در استان کرمانشاه و یکی از زیرحوضه‌های مهم کرخه است که از لحاظ کشاورزی و تأمین امنیت غذایی، یک منطقه‌ی مهم در غرب کشور قلمداد می‌شود. در راستای این امر، دستیابی به روش‌های مطمئن پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها به منظور برنامه‌ریزی در بهره‌برداری به موقع از منابع آب از اهمیت روزافزونی برخوردار است. در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی *SDSM*، داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو (HadCM3) در سناریوی اقلیمی A2 که رشد اقتصادی بسیار سریع جهان آینده و توسعه چشمگیر تکنولوژی و همچنین استفاده افراطی از سوخت‌های فسیلی را برای آینده در نظر دارد، برای پارامترهای هواشناسی دما و بارندگی در حوضه‌ی قره‌سو ریز مقیاس شد. سپس با استفاده از داده‌های بارش، دما و دبی در دوره‌ی پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) و خروجی‌های مدل ریز مقیاس نمایی در دوره‌ی (۲۰۴۰- ۲۰۱۱)، و با بکار گرفتن شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار MATAB، دبی رودخانه در دوره‌ی آتی شبیه‌سازی شده و در نهایت به کمک مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب، WEAP، وضعیت تخصیص منابع آب و تامین نیاز بخش کشاورزی بررسی شد. نتایج مدل اقلیمی، نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره‌ی مورد نظر نسبت به دوره پایه (۲۰۰۰- ۱۹۷۱) می‌باشد. بطوریکه تحت سناریوی اقلیمی A2، افزایش ۱/۶ درجه سانتی‌گراد دما و کاهش ۱/۷۷ درصد بارندگی در منطقه و به تبع این افزایش دما و کاهش بارندگی، برای رودخانه قره‌سو نیز ۳۲/۶۲ درصد کاهش آبدهی پیش‌بینی می‌شود. بررسی نتایج مدل WEAP، تحت سناریوهای اقلیمی، در وضعیت سطح زیر کشت کنونی، نشان‌دهنده افزایش نیاز تأمین نشده بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در دوره آتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، حوضه قره‌سو، شبکه عصبی مصنوعی، HadCM3، SDSM،WEAP.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران، mahsamalmir@gmail.com
[۲] استادیار، گروه مندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران، ۰۹۳۸۱۱۴۵۴۳۸ ، nmohammadrezapour@yahoo.com (مسئول مکاتبه)
[۳] گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل .

مقدمه

ماهیّت پیچیده مسائل آب، رشد سریع جمعیت و منابع محدود آب برای تأمین نیازها، نیازمند روش‌های جدیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب بهم پیوسته گردآوری نماید (دهقان، ۱۳۹۲). با توجه به میزان منابع آب و سرانه مصرف، ایران از جمله کشورهایی است که در گروه کشورهای مواجه با کمبود فیزیکی آب قرار دارد. این گروه که حدود ۲۵ درصد مردم جهان مشمول آن هستند، شامل کشورهایی می‌باشد که در سال ۲۰۲۵ با کمبود فیزیکی آب مواجه هستند. ایران به دلیل واقع شدن در اقلیم خشک و نیمه خشک و همچنین با رشد روزافزون مصارف آب، در سال‌های آتی با خطر بروز بحران آب مواجه می‌باشد (اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳). تغییر اقلیم اثرات قابل توجهی را در سال‌های اخیر بر سیستم‌های منابع آب در جهان گذاشته و نتایج مدل‌های گردش عمومی جو حاکی از ادامه‌ی این روند در آینده می‌باشد(Artlert et al., 2013). درگذشته تصمیمات مدیریتی در شرایطی گرفته می‌شد که اقلیم آینده روند گذشته را داشته باشد، ولی درحال حاضر طیف وسیعی از تغییرات دراقلیم آینده، به واسطه فعالیت‌های انسانی مانند پخش گازهای گلخانه‌ای توسط سوخت فسیلی و غیر انسانی مانند فعالیت آتشفشان‌ها در شرف وقوع می‌باشد (براتیان، ۱۳۸۶). با وجود اینکه نزدیک به ۷۰ درصد از سطح زمین را آب فرا گرفته است ولی «بحران آب» در بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای واقع در کمربند خشک زمین مثل ایران، روز به روز ابعاد پیچیده تری به خود می‌گیرد. انتظار می‌رود که تغییر اقلیم بر الگوی بارش و دما در آینده تأثیرگذار باشد و در پی آن در آبدهی رودخانه‌ها، میزان آب در دسترس و رودخانه‌های فصلی تغییراتی ایجاد نماید و در نتیجه بر روی تامین نیاز کشاورزی، شرب و صنعت اثرگذار خواهد بود (Koutroulis et al., 2013). با توجه به اهمیت این موضوع، شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژی حوضه آبریز و روند تغییرات دما و بارش در آینده، موضوع پژوهش بسیاری از تحقیقات صورت گرفته در قرن اخیر شده است (Artlert et al, 2013) ، (Holmes, 2013)، (بابائیان، ۱۳۹۰).

این پژوهش شامل سه بخش می باشد. بخش اول بررسی تغییر اقلیم بر بارش و دما تحت سناریوی اقلیمی A2، بخش دوم تاثیر این دو پارامتر بر رواناب و پیش‌بینی رواناب آینده با استفاده از شبکه عصبی پویا، و بخش آخر بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر برنامه‌ریزی منابع آب و بررسی تامین نیاز کشاورزی در آینده می‌باشد. برای انجام مطالعات تغییر اقلیم بر منابع مختلف در دوره‌های آتی، در ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCMs[1] است (Wilby et al., 2002). این مدل‌ها برای محاسبه هر یک از متغیرهای اقلیمی نیازمند محاسبه، ذخیره و تکرار محاسبات در هر یک از نقاط شبکه می‌باشند. (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰) و بایستی با توجه به منطقه مورد مطالعه، ریز مقیاس شوند. روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شده‌اند که به آن‌ها ریز مقیاس کردن گفته می‌شود (اذعانی، ۱۳۹۰). در این رابطه، هاشمی‌نسب و همکاران (۱۳۹۰) به پیش بینی تغییرات بارندگی با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو (HadCM3) و مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG تحت سه سناریوی مختلف برای شهر کرمان پرداختند که نشان از توانایی مدل در ریزمقیاس نمایی داده‌های بزرگ مقیاس داشت. قندهاری (۱۳۹۱) با ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم در سطح رودخانه‌ی بار شهرستان نیشابور، کاهش بارش و افزایش دما در این منطقه را پیش‌بینی نمود. عباسی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی تغییر

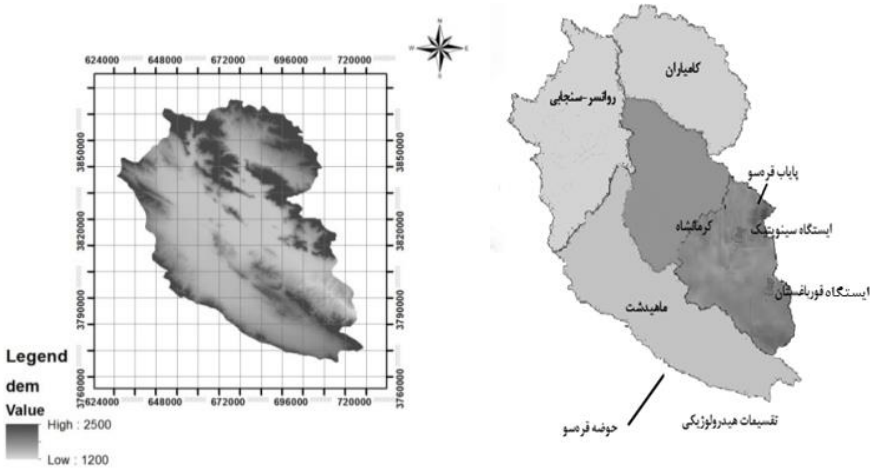
[1] Global Circulation Models

اقلیم ازران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو پرداختند. نتایج اجرای مدل با داده‌های HadCM2 بیانگر کاهش ۲/۵ درصدی بارش کشور ایران تا دهه ۲۱۰۰ است. Koutroulis et al, (2013) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب در جزیره کرت در یونان تحت ۲۴ سناریوی اقلیمی مختلف پرداختند. Ribalaygua et al, (2013) به ارزیابی سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش در آراگون[1] اسپانیا پرداختند. Artlert et al, (2013) به بررسی پدیده بارش در اثر تغییر اقلیم در رودخانه‌ی مان[2]، چی[3] و مکونگ[4] در تایلند با استفاده از شبیه‌سازی مدل‌های گردش عمومی جو و مدل ریزمقیاس کننده‌ی آماری (SDSM) پرداختند و نشان دادند که مدل ریز مقیاس‌کننده SDSM به خوبی می‌تواند بارندگی مشاهداتی با ساختارهای فیزیکی و آماری را در دوره ۱۹۷۵- ۱۹۶۱ کالیبره کند. پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها با توجه به اهمیت آن در طراحی سازه‌های آبی، آبگیری از رودخانه‌ها، بهره برداری از مخازن سدها و ... از دیرباز مورد توجه مهندسان قرار داشته است (نبی زاده و همکاران، ۱۳۹۱). امروزه استفاده از روش‌های هوشمند و از جمله هوش مصنوعی در مباحث مدل‌سازی و پیش‌بینی در مهندسی منابع آب گسترش یافته است. خزایی و میرزایی (۱۳۹۳) با مقایسه کارایی پیش‌بینی دبی ماهانه با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی در حوضه آبریز طالقان در استان گلستان، نشان دادند که بر اساس آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی حاکی از دقت بیشتر شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با سری‌های زمانی می‌باشد. پناهی و علیجانی (۱۳۹۲) به پیش‌بینی دبی اوج سیلابی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در مطالعه حوضه آبریز مادرسو پرداختند. Chen et al, (2012) با ارزیابی و شبیه سازی رواناب رودخانه هانجیانگ[5]در چین با استفاده از GCM (مدل گردش عمومی جو) و روش‌های ریزمقیاس نماییSDSM و SSVM نشان دادند مدل SDSM کارایی بهتری در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی نسبت به مدل SSVM دارد. با توجه به اهمیت بحث تغییر اقلیم در جهان و آشکار شدن این پدیده در ایران، موضوعات مختلفی در این زمینه مورد توجه محققان داخلی قرار گرفته است. مدیریت منابع آب به عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن برای رفع معضلات ناشی از کاهش کمیّت و افت کیفیت آب مطرح است(دهقان، ۱۳۹۲). با توجه به همسایگی استان کرمانشاه با کشور عراق و توپوگرافی منطقه و خروج رواناب رودخانه‌ها از این استان، هدف از انجام این تحقیق پیش آگاهی از اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش، دما و در نهایت، رواناب حوضه و بررسی تامین نیاز آب کشاورزی در منطقه قره‌سو جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قره سو در استان کرمانشاه با موقعیت ۴۷ درجه و ۴ دقیقه‌ی شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه‌ی شمالی قرار دارد و دارای ۲۴۵۰۰ کیلومتر مربع گستردگی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا و دارای اقلیم معتدل کوهستانی است. میانگین دمای سالانه شهر کرمانشاه درحدود ۱۴سانتی‌گراد و میزان بارش سالانه‌ی این شهر ۴۴۵ میلی‌متر است. نزولات آسمانی در محدوده مطالعاتی کرمانشاه به صورت بارش برف و باران در طول ماه‌های مهر لغایت خرداد ماه مشاهده می‌شود. موقعیت جغرافیایی حوضه قره سو در شکل ۱ آورده شده است.

[1] Aragón (Spain)
[2] Mun
[3] Chi
[4] Mekong



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز قره سو و ایستگاه‌های مورد مطالعه

ریز مقیاس کردن بر اساس سناریو اقلیمی

مدل‌های اقلیمی بر اساس ساختار و نوع عملکرد به چهار نوع مدل‌های توازن انرژی (EBM[1])، مدل‌های تابشی همرفتی (RCM[2])، مدل‌های دو بعدی دینامیکی –آماری (SDM[3])، مدل‌های گردش عمومی جو(GCM) دسته بندی می‌شوند. مدل‌های مذکور اثرات افزایش گازهای گلخانه‌ای را بطور مکانیکی برای تمام کره زمین ارزیابی می‌کنند که مدل‌های GCM در بین آن‌ها، سه بعدی و دارای زمان بوده و به علت گستردگی ابعاد زمانی و مکانی و پیچیدگی خاصی که دارند، قادرند سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرآیندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای در مقیاس بزرگ، بر اساس سناریوهای اقلیمی، شبیه‌سازی کنند (سیاری و همکاران،۱۳۹۰) و (عباسی و همکاران،۱۳۹۲). سناریوی اقلیمی توسط IPCC[4] (۲۰۰۷) تعریف شده و چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی در مقیاس‌های منطقه‌ای در آینده، بر اساس پیشرفت‌های اجتماعی-اقتصادی و تجمع گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق، بیان می‌کند. IPCC از بین سناریوهای زیر براستفاده از سناریوهای A2 و B2 تاکید بیشتری دارد. با توجه به پژوهشهای انجام شده قبلی و تایید دقت بالای مدل SDSM ، در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل SDSM داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو (HadCM3) در سناریوی اقلیمی A2 ، برای پارامترهای هواشناسی دما و بارندگی در حوضه‌ی قره‌سو ریز مقیاس شده است. همزمان با ریز مقیاس نمایی داده‌ها برای کالیبره شدن در نرم افزار SPSS 19 تحت آزمون مقایسه میانگین قرار گرفتند که نتایج sig (معنی داری آزمون لوین) عددی بالای ۰/۹۹ را نشان داد. با توجه به مطالب ذکرشده با استفاده از داده‌های بارش و دما روزانه ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و آزمون مقایسه میانگین و داده‌های منتخب بزرگ مقیاس GCM اقدام به تولید داده برای دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱ تحت سناریو A2 توسط مدل SDSM شده است. جدول ۱ سناریو های اقلیمی ارائه شده توسط IPCC را نشان میدهد.

[1] Energy Balance Model
[2] Regional Climate Model
[3] System Defination Model
[4] Intergovernmental Panel on Climate Change

جدول (۱): سناریوهای اقلیمی ارائه شده توسط IPCC

سناریو	توضیحات
A1	رشد اقتصادی بسیار سریع جهان آینده و توسعه چشمگیر تکنولوژی و همچنین استفاده افراطی از سوخت‌های فسیلی
A2	رشد متوسط اقتصاد، تکنولوژی و نرخ رشد سریع جمعیت و دنیایی متمایز با وضعیت فعلی
B1	رشد سریع در ساختار اقتصادی ملت‌ها، رشد تکنولوژی‌های تمیز و نرخ رشد کند جمعیت
B2	تاکید بر فعالیت‌های اجتماعی- اقتصادی و زیست محیطی پایدار، رشد متوسط اقتصادی

شبکه‌های عصبی دینامیکی(پویا)

شبکه عصبی مصنوعی ابزاری قدرتمند برای مدل کردن بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژیکی غیر خطی همانند بارش- رواناب، پیش بینی جریان رودخانه و بارش است. رابطه بارش- رواناب، رابطه‌ای غیرخطی و بسیار پیچیده است. در این راستا، از داده‌های بارش و دما (به دلیل موثر بودن این پارامترها بر میزان رواناب)، برای شبیه سازی مدل بارش رواناب با استفاده از شبکه-های عصبی دینامیکی (پویا) در نرم‌افزار MATLAB 2012 استفاده شده است. برای آموزش شبکه از سی سال داده دما و بارش و رواناب به صورت روزانه (و تأخیرهایی که به آنها داده شد) استفاده شده است. پس از آموزش شبکه از خروجی های نرم افزار ریز مقیاس کننده SDSM، یعنی بارش و دما برای دوره‌ی آینده(۲۰۴۰- ۲۰۱۱) تحت سناریوی اقلیمی (A2) و دبی رودخانه قره‌سو در محل خروجی از حوضه (ایستگاه قورباغستان)، به عنوان ورودی ها به مدل معرفی شده و در نهایت رواناب آینده با مدل، شبیه سازی شده است. برای نرمال سازی داده های شبکه عصبی از **Error! Reference source not found.**۱ استفاده شده است.

$$D_N = 0.9 - \frac{(D_{\max} - D)(0.9 - 0.1)}{(D_{\max} - D_{\min})} \qquad (۱)$$

در این رابطه، D_N : داده تصحیح شده، D : داده واقعی، D_{min} : کوچکترین داده واقعی، D_{max} : بزرگترین داده واقعی می‌باشد.

معیار ارزیابی نتایج

در این پژوهش از شاخص R و RMSE برای ارزیابی خطای مدل استفاده شده است. در **Error! Reference source not found.** R ضریب همبستگی میباشد که رفتار کلی مدل را بیان می‌کند (یخکشی و همکاران،۱۳۸۷) و **Error! Reference source not found.** ۳ جذر میانگین مربعات خطا میباشد. که در این رابطه، p_i مقدار مشاهداتی، $\overline{p}$ متوسط مقدار مشاهداتی، p_{fi} مقدار پیش‌بینی شده و $\overline{p}_f$ متوسط مقدار پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - p_{fi})^2}{n}} \qquad (۲)$$

(۳)

مدل برنامه‌ریزی آب سطحی

ساختار مدل WEAP بر اساس معادلات پایه بیلان آب بوده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های آبی پیچیده به کار برد. این نرم افزار، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تامین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر قیود می‌باشند. (Levite et al., 2003). درادامه‌ی این تحقیق به بررسی تأثیر سناریوی تغییر اقلیم A2 بر تخصیص آبدهی رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل WEAP پرداخته شده است. برای این منظور الگوی کشت منطقه، نیاز آبی محصولات کشت شده در منطقه مورد

مطالعه به صورت ماهانه به مدل WEAP داده شد (جدول۲)

جدول (۲): در صد و نسبت کشت محصولات در منطقه

	درصد کشت	نسبت کشت
گندم پائیزه	۲۶/۹	۰/۲۶۹
جو پائیزه	۱۳/۴	۰/۱۳۴
یونجه	۷/۷	۰/۰۷۷
ذرت علوفه ای	۵/۸	۰/۰۵۸
صیفی جات (هندوانه)	۱/۹	۰/۰۱۹
سبزیجات (گوجه فرنگی)	۱/۹	۰/۰۱۹
سویا	۱/۹	۰/۰۱۹
آفتابگردان	۱/۹	۰/۰۱۹
لوبیا	۵/۷۵	۰/۰۵۷۵
نخود	۵/۷۵	۰/۰۵۷۵
شبدر	۵/۸	۰/۰۵۸
چغندر قند	۴/۸	۰/۰۴۸
ذرت دانه ای	۶/۷	۰/۰۶۷
جو علوفه ای	۵/۸	۰/۰۵۸
باغات (انگور)	۴	۰/۰۴
جمع کل	۱۰۰	۱

سناریوهای تخصیص آب

یکی از مسائل اساسی در مدیریت منابع آب، در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم بر میزان رواناب در حوضه و بررسی تأمین نیازها در شرایط پیش‌بینی شده در آینده می‌باشد. در اینصورت می‌توان در دوره‌های آتی، مشکل کم آبی و دیگر مشکلاتی که بر اثر کمبود آب به وجود می‌آید، کنترل نمود. در این تحقیق سال ۲۰۱۱ به عنوان سال پایهدر نظر گرفته شده که برنامه ریزی منابع آب در شرایط موجود صورت گرفته و سطح زیر کشت موجود مطابق جدول ۲ برای این سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول (سناریو A یا مرجع)، برنامه ریزی منایع آب تحت تاثیر تغییرات اقلیم و دوره‌ی آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۲، برای رواناب رودخانه، در نظر گرفته شد. سناریو دوم (+A)، مانند سناریوی A دوره‌ی آماری رواناب رودخانه ۲۰۴۰-۲۰۱۱، تحت اثر تغییر اقلیم (سناریوی اقلیمی A2)، میباشد ولی تفاوتی که بین سناریوی A و +A وجود دارد، در سطح زیر کشت می‌باشد. در سناریوی +A، سطح کشتی در نظر گرفته شده است که ۸۵ درصد نیاز کشاورزی با احتمال بالای ۹۰ درصد، تامین میشود. لازم به ذکر است که در برنامه ریزی منابع آب این تحقیق در شرایط آینده، فقط اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب بررسی شده است.

نتایج و بحث

مدل تغییر اقلیم

در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل SDSM داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو (HadCM3) در سناریوی اقلیمی A2 برای پارامترهای هواشناسی دما و بارندگی در حوضه‌ی قره‌سو ریز مقیاس شده است. تشخیص روابط تجربی میان پیشگوهای شبکه بندی شده از میان بانک اطلاعاتی NCEP و یک پیش‌بینی شونده موضعی (مثل بارش و دما) مسئله اساسی تمامی روش‌های کاهش مقیاس آماری است که با استفاده از معیار ضریب همبستگی (R) صورت گرفته است (توکل و همکاران، ۱۳۹۰). انتخاب متغیر بزرگ مقیاس مناسب، زمانی صورت گرفته است که (جدول نتایج آماری اختلاف معنا داری بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های ساخته شده توسط مدل، برای دوره‌ی آماری (۲۰۰۰-۱۹۷۱) را نشان ندهد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۲). به عبارتی بالا بودن عدد sig در جداول نتیجه‌ی آزمون مقایسه میانگین (بالای ۵ درصد) در نرم‌افزار SPSS 19، نشان‌دهنده‌ی امکان استفاده از داده‌های تولید شده توسط مدل به جای داده‌های مشاهداتی در مراحل بعد در مدل می‌باشد.

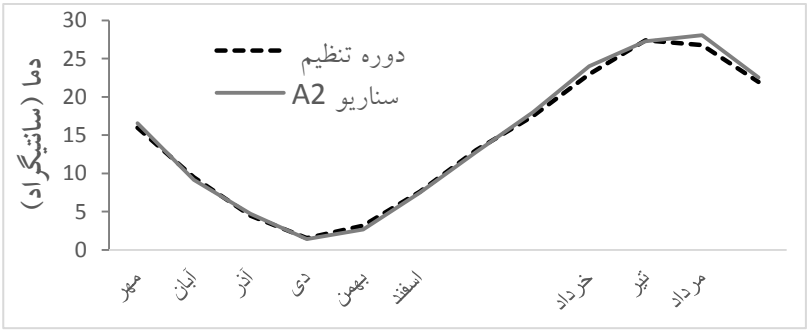
نتایج آزمون T

با توجه به معیار تصمیم که برابری میانگین‌ها بود، مشاهده شد برای پارامتر بارش ایستگاه قورباغستان و سینوپتیک کرمانشاه با احتمال بالای ۹۷ درصد و برای

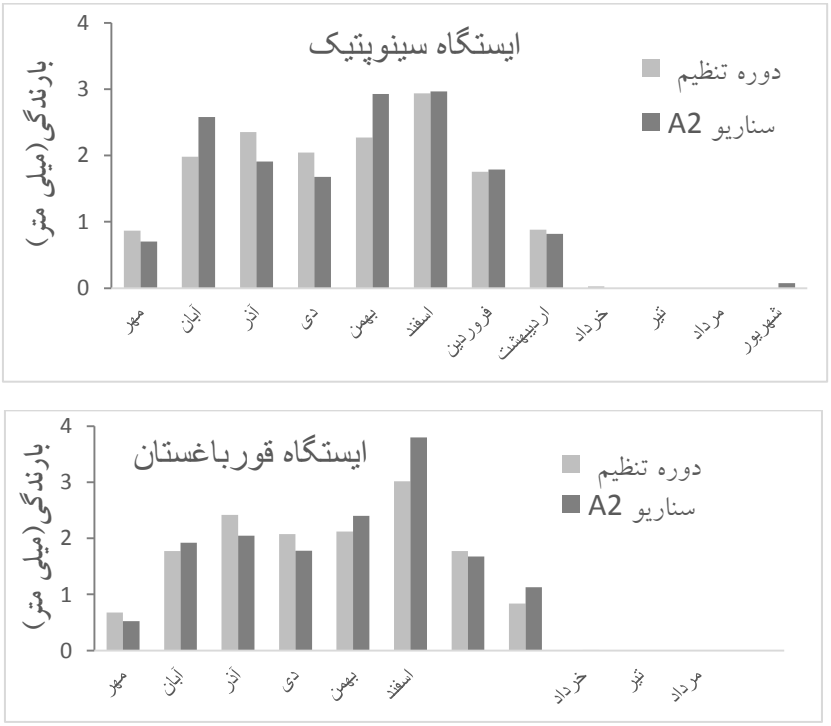
پارامتر دما، با احتمال بالای ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های دوره تنظیم وجود نداشته و در ادامه می‌توان از داده‌های بدست آمده از *HadCM3* برای تولید داده‌های دوره آینده استفاده نمود.

تولید داده‌های آینده تحت سناریوهای اقلیمی

در ادامه برای تولید داده‌های آینده تحت سناریوی اقلیمی A2 در مدل SDSM دوره پایه از سال ۱۹۷۱ الی ۲۰۰۰ در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه دوره تنظیم (سال پایه) و ارزیابی (دوره آتی) مدل نشان دهنده کاهش بارندگی و افزایش دما تحت سناریوی اقلیمی A2 برای دوره ارزیابی نسبت به دوره تنظیم مدل است (شکل۲ و ۳).



شکل (۲): مقایسه میانگین دمای سالانه بین دوره‌ی تنظیم و ارزیابی مدل تحت سناریوی A2



شکل(۳): مقایسه میانگین بارندگی سالانه بین دوره‌ی تنظیم و ارزیابی مدل تحت سناریوی A2 ایستگاه ایستگاه سینوپتیک و قورباغستان کرمانشاه

با توجه به شکل۲، افزایش متوسط دراز مدت ماهانه دمای منطقه در دوره ارزیابی (آینده) در سناریوی A2 قابل مشاهده است. بیشترین افزایش دما تحت سناریوی A2 در ماه مرداد به میزان ۱/۲۹ درجه سانتی گراد و انحراف معیار مدل‌های AOGCM، ۱/۰۱ است. این مقدار نشان از عدم قطعیت بالای پیش بینی کننده های بزرگ در پیش‌بینی دما دارد. همچنین بیشترین افزایش دما مربوط به فصل تابستان و کمترین افزایش دما در فصل زمستان بدست آمده است. در سناریوی A2، افزایش دما در بهار بیشتر از پاییز بوده و خرداد ماه در بهار و آذر ماه در پاییز، بیشترین افزایش دما را نسبت به ماه های دیگر در همان فصول دارند.

Error! Reference source not found. ۳ محدوده تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۰- ۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه در سناریوی A2 را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در سناریوی A2، کاهش بارش در پاییز و بهار به ترتیب به میزان ۱ و ۳ درصد اتفاق خواهد افتاد و درماه‌های مهر(۲۰ درصد) و اردیبهشت (۸ درصد) این کاهش بارش بیشترین مقدار را دارد. در تابستان تغییر محسوسی دیده نشده، به جز اندک افزایش بارش در شهریور ماه، که قابل صرفه نظر کردن می‌باشد. در فصل زمستان در کل ۴ درصد افزایش بارش پیش‌بینی شده، اما در دی ماه کاهش بارندگی و در بهمن ماه بیشترین افزایش بارش رخ خواهد داد. و این کاهش بارش، در ابتدای فصل پاییز، تقویم کشت پاییزه منطقه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در ایستگاه قورباغستان در سناریوی A2، بیشترین میزان کاهش بارش در فصل پاییز به میزان ۸ درصد نسبت به دوره پایه و در آذر ماه بیشترین کاهش بارش رخ خواهد داد. تغییرات بارش در فصل تابستان، به علت کم بودن بارش، تقریبا صفر در نظر گرفته شده و اثر چندانی در متوسط بارش بلند مدت این فصل نخواهد داشت. در فصل زمستان و بهار به ترتیب به میزان۱۰ و۷ درصد افزایش بارش پیش‌بینی شده است. اما در فروردین ماه، ۶ درصد کاهش بارش مورد انتظار خواهد بود و افزایش بارش در بهار، بیشتر در اردیبهشت ماه اتفاق خواهد افتاد. در آبان ماه، افزایش بارندگی به میزان ۳۰ درصد پیش‌بینی شده است که با استفاده از این افزایش، می توان با مدیریت و اصلاح تاریخ کشت‌های پاییزی، به بهترین نحو ممکن از شرایط آتی، در سوی بهینه‌سازی مصرف آب، گام برداشت. می‌توان گفت مهرماه‌های کم بارش و آبان‌هایی پرباران در آینده رخ خواهند داد. این تغییرات در کنار افزایش دما، می‌تواند در جریان‌های سطحی حوضه اثر داشته و در نهایت بر ذخیره آب‌های زیر زمینی و وقوع خشکسالی اثر گذار باشد. به عبارتی در سه دهه آینده حوضه قره‌سو انتظار وقوع تابستانی گرمتر و زمستانی سردتر، افزایش تبخیر، کاهش پوشش برف، افزایش روزهای خشک و تغییر در رواناب حوضه خواهد داشت.

نتایج مدل بارش-رواناب

برای آموزش شبکه، در دوره پایه از سال ۱۹۷۱ الی ۲۰۰۰ میلادی، داده بارش و دما، به صورت روزانه به عنوان ورودی و رواناب روزانه به عنوان خروجی مدل به شبکه داده شده است. انتخاب بهترین شبکه در بین هزار شبکه با آزمودن‌های پیاپی، با رسیدن به بالاترین میزان R^2 پایان یافت. درجدول ۳ خلاصه ورودی‌ها، تعداد لایه‌ها و نوع شبکه مورد استفاده آورده شده است. جهت پیش‌بینی رواناب در آینده تحت سناریوی A2 ، دما و بارش حاصل از مدل های اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک و قورباغستان و رواناب ، در سال‌های ۲۰۱۱ الی۲۰۴۰ به عنوان ورودی به مدل شبکه عصبی داده شده و سپس میزان رواناب تحت سناریوی اقلیمی A2 پیش‌بینی شده است. رواناب آینده در سناریو یA2 با روانابی که در مرحله آموزش، به عنوان متغیر کمکی در شبکه عصبی پویا (NARX) در نظر گرفته شده بود، مقایسه شده است.

جدول (۳): نوع شبکه منتخب در مدل بارش رواناب

نوع شبکه	تعدادلایه‌ها و تعداد نرون در هر لایه	RMSE A2	خروجی شبکه	ورودی به شبکه در مرحله شبیه سازی	ورودی به شبکه در مرحله آموزش
NARX	۴-۴-۴	۲۸/۲۰۰۳	Q''	R,T,Q'	R,T,Q

در بحث مدل‌سازی هر چه ضریب تبیین بین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی همبستگی بهتر بین داده‌ها و کارا بودن مدل ساخته شده است. در بهترین مدلی که برای تبدیل بارش به رواناب در این پژوهش بدست آمده است، ضریب تبیین مرحله صحت سنجی ۰/۸۰ می‌باشد. با توجه به نتایج در ایستگاه قورباغستان تحت سناریو A2 در جدول۴، کاهش رواناب در اکثر ماه‌های سال قابل مشاهده است. تنها در مهر، مرداد و شهریور ماه افزایش بسیار کمی در میزان رواناب وجود دارد. در شهریور ماه بارش، تغییرات اندکی با روندی صعودی خواهد داشت که با توجه به شبیه‌سازی با داده های روزانه در شبکه، این افزایش بارش، منجر به افزایش جزیی رواناب هم شده است. به صورت کلی، بیشترین رواناب در فروردین ماه (۲۷/۴۲ لیتر بر ثانیه) وکم‌ترین میزان رواناب در مردادماه (۶/۲۴ لیتر بر ثانیه) رخ خواهد داد و ۳۳ درصد رواناب رودخانه نسبت به دوره پایه، کاهش خواهد داشت این در حالی است که با توجه به پژوهش حاضر، تنها اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش منطقه و در نهایت در رودخانه اعمال شده است، حال آن که ممکن است با در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر تعرق، ساعت خورشیدی، وزش باد و دیگر عوامل و دخالت دادن آن‌ها در میزان رواناب، این مقدار تغییر یابد.

جدول (۴): نتایج حاصل از مدل سازی بارش-رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
رواناب مشاهداتی	۵/۲۰	۱۰/۱۴	۱۶/۶۱	۲۰/۳۶	۲۹/۹۷	۴۱/۷۸	۴۳/۱۰	۳۱/۲۵	۱۲/۶۴	۶/۵۰	۴/۲۸	۳/۸۱
رواناب پیش بینی شده	۷/۸۵	۷/۹۹	۷/۹۲	۱۱/۴۹	۱۴/۸۴	۲۲/۹۸	۲۷/۴۲	۲۱/۴۷	۸/۵۹	۶/۳۳	۶/۲۴	۶/۶۲

نتایج مدل برنامه ریزی منابع آب(WEAP)

برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر برنامه ریزی منابع آب، در مدل WEAP، سال ۲۰۱۱ به عنوان سال پایه و سناریوی مرجع (A) نیز از سال ۲۰۴۰-۲۰۱۲ در نظر گرفته شده است. میزان آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات ۴۶۶۴۹۲ هزار متر مکعب در هر سال برآورد شده است که از آب سطحی رودخانه تأمین می گردد. مقایسه سناریوها بر اساس شاخص اعتمادپذیری صورت گرفته است. بر اساس محاسبات، برای سناریوی A شاخص اعتماد پذیری ۴۸/۶ در صد محاسبه شده است. به عبارتی در ۴۸/۶ درصد مواقع انتظار تأمین آب برای ۹۸۶۵۹ هکتار از اراضی کشاورزی وجود دارد. در سناریوی پایه شاخص اعتماد پذیری ۶۹/۴ درصد محاسبه شده است. شاخص اعتمادپذیری سناریوی A در مقایسه با سناریوی پایه ۲۰/۸ درصد کاهش یافته است. این بدین معنی است با مقایسه سناریوی A با وضع موجود که در سناریوی پایه تعریف شده است، ۲۰۵۲۰ هکتار از زمین‌های

کشاورزی در آینده با کمبود آب مواجه خواهند شد. دلیل این امر کاهش آورد رودخانه در اثر تغییرات اقلیم میباشد. همچنین بالاترین سطح زیر کشت در سناریو A^+ که ۸۵٪ نیاز کشاورزی در آینده با توجه به اثرات تغییر اقیلم تامین می‌شود، ۳۱۵۰۰ هکتار میباشد. این نتیجه بیانگر این است که در آینده با ادامه تغییر اقلیم و بدون تمهیدات مدیریتی برای کنترل اتلاف آب در بخش کشاورزی به ناچار از مساحت زیر کشت کاسته می‌گردد.

نتیجه گیری

تغییر در دما و الگوی بارش اثرات زیادی بر کمیت جریان‌های سطحی دارد. هدف از این تحقیق بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش و همچنین تغییرات جریان رودخانه قره سو در حوضه‌ی آبریز قره‌سو واقع در استان کرمانشاه که یکی از زیرحوضه‌های مهم کرخه است، می‌باشد. نتایج مدل اقلیمی در این تحقیق نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره‌ی مورد نظر نسبت به دوره پایه بوده است. در ادامه وضعیت رواناب سطحی منطقه تحت تأثیر سناریوی تغییر اقلیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ مورد شبیه سازی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی کاهش پیدا کرده که نشان از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه در دوره آتی می باشد. بطوریکه بطور متوسط تحت سناریوی A2 ، دما ۱/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارندگی ۱/۷۷ درصد کاهش یافته و به تبع این افزایش دما و کاهش بارندگی، میزان آبدهی رودخانه قره‌سو نیزکاهش یافته است. بطوریکه تحت سناریوی A2، کاهش ۳۲/۶۲ درصدی دبی در دوره ۲۰۴۰- ۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه (۲۰۰۰- ۱۹۷۱)، مورد انتظار است. عباس‌پور با مطالعه داده‌های اقلیمی آینده، افزایش شدت بارندگی روزانه و فراوانی سیلاب در دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ در مناطق مرطوب ایران و خشکسالی‌های طولانی‌تر در مناطق خشک را پیش بینی نمود. در کرمانشاه نیز که از نظر اقلیمی، جز مناطق نیمه خشک کشور محسوب می‌گردد، این خشکسالی و کاهش بارش و رواناب پیش بینی شده است. همچنین بابایان و همکاران، کاهش بارش در استان‌های واقع در امتداد رشته کوه زاگرس و کرمانشاه را نتیجه گرفتند. افزایش دما در تمامی نقاط کشور در پژوهش بابایان، عباسی و بسیاری از پژوهشگران مشترک می‌باشد. همچنین تاثیرات تغییر اقلیم بر برنامه ریزی منابع آب در آینده در منطقه مورد مطالعه نشان داد برای تامین نیاز کشاورزی در ۸۵٪ سالها، سطح زیر کشت ۶۸٪ کاهش خواهد داشت. بنابر پژوهش صورت گرفته، اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی در آینده، غیر قابل چشم پوشی بوده و نیازمند مدیریت صحیح شرایط فعلی برای کنترل بحران در آینده خواهد بود. افزایش دما و کاهش بارش بر میزان کاهش دبی رواناب حوضه، در حالی اتفاق می‌افتد که نیاز به آب در آینده رو به افزایش است. در نهایت می‌توان گفت که این گونه مطالعات و بررسی تغییرات اقلیم آینده در مناطق مختلف کشور، امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی، تعدیل اثرات سوء احتمالی و به کارگیری روش‌های جدید تطبیق با شرایط اقلیمی متفاوت را فراهم می‌کند.

منابع:

اردکانی، ا.، م. ح. صباغی فیروزآبادی و پ. صباغی فیروزآبادی. ۱۳۹۳. آب مجازی، شیوه‌ای برای مدیریت بحران منابع آب. همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه. شیراز - مرکز همایش های علمی همایش نگار.

اذعانی، آ. ۱۳۸۹. اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری سیب زمینی در دشت مغان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. زابل، دانشگاه زابل، دانشکده کشاورزی.

بابائیان، ا.، ز. نجفی نیک، ف. زابلی‌عباسی، م. حبیبی نوخندان، ح. ادب و ش. ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *جغرافیا و توسعه*.

براتیان، ع. ۱۳۸۶. پیامدهای زیستی تغییر اقلیم. *فصلنامه سپهر*، ۶۳: ۲۶-۲۸.

دهقان، ز. ۱۳۹۲. برنامه ریزی تخصیص منابع آب با استفاده از مدل WEAP در حوضه گرگانرود پایان نامه کارشناسی ارشد. زابل، گروه مهندسی آی دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

پناهی، ع.، ب.علیجانی. ۱۳۹۲. پیش‌بینی دبی اوج سیلابی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره مطالعه موردی (حوضه آبریز مادرسو استان گلستان). *فصلنامه بین المللی انجمن جغرافیای ایران. دوره جدید. سال یازدهم پاییز. شماره ۳۸*.

توکل، ح.، م. ناصری و ب. زهرایی. ۱۳۹۰. توسعه هسته تخمین‌گردر مدل کاهش مقیاس آماری. *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*. تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

حمیدیان پور، م.، ج. سلطانی و ق. قندهاری. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاغان نیشابور با استفاده از برونداد مدل گردش عمومی جو (HadCM3). *نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی*. کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

خزایی، م.، م. میرزایی. ۱۳۹۲. مقایسه کارایی پیش‌بینی دبی ماهانه با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*. جلد۵، شماره۲، ص۷۴-۸۴.

سیاری، ن.، ا. علیزاده، م. بنایان اول، ع. فریدحسینی و م. حسامی کرمانی، ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3 و CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییراقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود). *نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۵، (۴): ۹۱۲-۹۲۵.

عباسی، ف، بابائیان، ا.، ملبوسی، ش.، اثمری، م و ل. گلی مختاری. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) بااستفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۷(۱):۲۰۵-۲۳۰.

قندهاری، ق. ۱۳۹۱. ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر سناریوهای تخصیص بهینه آب در سطح حوضه‌ی رودخانه بار شهرستان نیشابور با مدل WEAP. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل.

نبی زاده، م.، ا. مساعدی و ا. دهقانی. ۱۳۹۱. تخمین هوشمند دبی روزانه به بهره‌گیری از سامانه استنباط فازی- عصبی تطبیقی. نشریه مدیریت آب و آبیاری، دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص ۶۹-۸۰.

هاشمی نسب، ف.، م. موسوی بایگی، ب. بختیاری و ک. داوری. ۱۳۹۰. پیش‌بینی تغییرات بارش دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده و مدل گردش عمومی جو (مطالعه موردی: شهر کرمان). *یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر*، ۲۰-۱۸ بهمن ماه. دانشگاه شهید باهنرکرمان.

Artlert, K., C. Chaleeraktrakoon and V. Nguyen. 2013. Modeling and analysis of rainfall processes in the context of climate change for Mekong, Chi, and Mun River Basins (Thailand) [Article]. - [s.l.] : Journal of Hydro-environment Research, 7: 2-17.

Chen Hua., C. and G. Shenglian. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. Journal of Hydrology, 434–435 (2012) 36–45.

Holmes, J. 2007. " Climate change and water resources. The paper has been produced by ERM for WaterAid. Lead consultant: Courtenay Cabot Venton." London W1G 0ER: Environmental Resources Management.

IPCC-TGCIA,. 2007. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment.

Koutroulis, A. G., I. K. Tsanis, I. N. Daliakopoulos and D. Jacob. 2013. "Impact of climate change on water resoures status: A case study for Crete." Journal of Hydrology 479 (2013) 146–158.

Levite, H., H. Sally and J. Cour. 2003. Testing Water Demand Management Scenarios In A Water-Stressed Basin In South Africa: Application Of The WEAP Model. Physics and Chemistry of the Earth 28(2003) 779-786.

Ribalaygua, J., L. Torres, J. Pórtoles, R. Monjo, E. Gaitán and M. R. Pino. 2013. Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragón (Spain). Science of the Total Environment. 463–464 (2013) 1015–1030.

Wilby, R. L, C. W Dawson and E. M Barrow. 2002. "SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts." (Environmental Modelling & Software) 17,147-159.

Evaluation of Climate Change Impacts on Agricultural Water Allocation in *Qara Su* Watershed, Using WEAP

Mahsa Malmir[1], Omolbani mohammadrezapour[2], Salman Sharif Azari[3]

Abstract

Every kind of climate change on the terrestrial earth is the beginning of a chain of reactions whose effect can be directly observed on hydrological processes. Qara Su basin catchment, located in Kermanshah Province, is one of the important sub – basins of Karkheh River that, in terms of agriculture and food security, is considered as an important area in the west of Iran. In this regard, achieving reliable methods of predicting the river flows in order to plan proper operation of water resources has become increasingly significant. In this study, first, Statistical Downscaling Model (SDSM) was used to measure the large -scale data of the atmospheric general circulation model (HadCM3) in the local climate scenario, A2, which considers both the rapid economic development for the future world, the remarkable technological advances, and excessive use of the fossil fuels in future. These are measured for the meteorological parameters of temperature and precipitation in the basin of Qara Su. Then, considering the data of rainfall, temperature and flow rate during the baseline (1971-2000) and the outputs of the fine- scale model in the period (2011-2040) as well as using an artificial neural network in *MATLAB* 2012 the river's discharge during the future period was simulated. Ultimately, the allocation condition of water resources and the required water for agricultural sector were simulated using the water evaluation and assessment programming model, *WEAP*. The results of the climate model indicated a rise in temperature and a decrease in rainfall within the desired course rather than the base period (1997-2000), so that it was followed by a 1.6 º C rise in temperature and a 1.77% decrease in rainfall all over the area. Consequently, after this increase in temperature and decrease in rainfall, a 32.62% decrease of discharge rate is estimated for Q*ra Su* River. The result analysis of *WEAP* model, under the climate scenarios and given the existing under-cultivation level, indicates an increased unmet need for agriculture in the studied region for future period.

Keywords: Artificial Neural Networks, Climate Change, HadCM3, QaraSu Basin, SDSM, WEAP.