

ارزیابی اثرات نوسانات اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی استان خوزستان تحت سناریوهای واداشت تابشی

علیرضا نیکبخت شهبازی*

استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(دریافت: ۹۶/۳/۲۱، پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۷)

چکیده

در این تحقیق تأثیر تغییر اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی در دوره‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از داده‌های اقلیمی مدل گردش کلی CanESM2 تحت دو سناریوی واداشت تابشی در استان خوزستان استفاده شد. جهت بررسی امکان تولید و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در دوره‌های آبی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM برای دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۱) کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل انجام گرفت. از طریق داده‌های CanESM2 میزان بارش و دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های منتخب برای سه دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ (متوسط ۲۰۳۰)، ۲۰۷۰-۲۰۵۰ (متوسط ۲۰۶۰) و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ (متوسط ۲۰۹۰) میلادی پیش‌نگری و با دوره پایه مقایسه گردید. میزان آب مجازی محصولات کشاورزی برای محصولات منتخب شامل گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای و نیشکر محاسبه شد. با استفاده از مدل CanESM2 و سناریوهای واداشت تابشی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) شبیه‌سازی و تولید داده‌های هواشناسی در دوره‌های آبی صورت گرفت و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و میزان آب مجازی متوسط دوره‌ها با اطلاعات تولید شده در دوره‌های آبی به دست آمد. نتایج نشان داد میزان دما به‌طور میانگین در همه ایستگاه‌های منتخب و در همه سناریوها افزایش می‌یابد و این افزایش در مورد سناریوی RCP8.5 از سناریوی RCP4.5 بیشتر است. میزان میانگین بارش نیز در دوره‌های ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ کاهش می‌یابد. میزان آب مجازی به‌دست‌آمده برای تمامی محصولات کشاورزی مورد مطالعه روند افزایشی دارد اما این افزایش برای محصول برنج و ذرت دانه‌ای به‌طور متوسط در دوره ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، محصولات کشاورزی، آب مجازی، استان خوزستان، واداشت تابشی.

۱. مقدمه

کشور مانند استان خوزستان تقریباً صد در صد تولیدات کشاورزی از کشت آبی حاصل می‌شود. پیش‌بینی شده است جمعیت ایران تا سال ۱۴۱۰ به مرز ۱۰۰ میلیون نفر خواهد رسید که در این صورت برای تأمین نیازهای غذایی این جمعیت، بر مبنای حدود ۲۶۰۰ کیلو کالری انرژی روزانه به بیش از ۱۵۰ میلیارد مترمکعب آب سالانه نیاز خواهد بود (دهقان منشادی و همکاران، ۱۳۹۲) که این مقدار در سبد آبی کشور موجود نیست، لذا می‌بایست با روش‌های افزایش بهره‌وری آب یا تجارت آب مجازی مدیریت منابع صورت گیرد. واژه آب مجازی، آب، غذا و تجارت را به یکدیگر پیوند می‌زند و عکس بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. واژه آب مجازی برای اولین بار به‌وسیله آلن (۱۹۹۳)

بخش کشاورزی نقش اساسی و حیاتی در اقتصاد ملی و تولید مواد غذایی در ایران دارد، به‌طوری‌که حدود ۲۷ درصد تولید ناخالص ملی و ۲۲ درصد نیروی کار کشور مرتبط با این بخش است (صافی و میرلطیفی، ۱۳۹۴). در این میان به‌دلیل موقعیت خاص اقلیمی کشور و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش، کشت آبی محور اصلی در تولید مواد غذایی می‌باشد. با وجود وسعت تقریباً یکسان کشت دیم و آبی کشور، بیشترین تولید از بخش فاریاب حاصل می‌شود؛ به‌طوری‌که هر طول ۵ سال گذشته تقریباً همواره نزدیک به ۹۰ درصد کل تولیدات محصولات کشاورزی ایران از کشت‌های آبی حاصل شده است (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۴). در مناطق خشک

ارائه گردید. برآورد واردات و صادرات آب مجازی در مقیاس بین‌المللی و درون کشوری (استانی) برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک کشور بر اساس پتانسیل هر منطقه می‌تواند به‌عنوان یک راهکار اثربخش مد نظر قرار گیرد. تجارت درون کشوری آب مجازی با استفاده بهینه از منابع و ظرفیت‌های داخلی می‌تواند از مصرف آب ملی بکاهد و میزان تولیدات محصولات کشاورزی را افزایش دهد. پدیده گرمایش جهانی در حال وقوع و اقلیم در حال تغییر است و تغییر آب‌وهوا و نوسانات اقلیمی خطر خسارت‌های بیشتری را به همراه دارد. با توجه به اهمیت و ضرورت موضوع و تحقیقات اندکی که در این خصوص صورت گرفته است، تأثیرات محلی و منطقه‌ای نوسانات اقلیمی بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تغییرات به‌خصوص در مناطق حاصلخیز و کشاورزی محور نظیر خوزستان از اهمیت دو چندان برخوردار است. مطالعات متفاوتی در داخل کشور در خصوص آب مجازی صورت گرفته است. بابازاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱) وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که کل واردات و صادرات آب مجازی استان هرمزگان به ترتیب ۱۲۸۴/۳ و ۱۱۳۱/۱ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. سهم بخش زراعی، باغی و دامی از واردات آب مجازی به ترتیب ۶۱/۴۴، ۹/۹۷ و ۲۸/۵۹ درصد و سهم بخش زراعی، باغی و دامی از صادرات آب مجازی به ترتیب ۳۵/۳۲، ۵۹/۱۸ و ۵/۵ درصد به دست آمد. یکی از مهم‌ترین دلایل صادرات آب مجازی در استان هرمزگان تولید محصولات آب‌بر مانند خرما، سبزیجات و صیفی‌جات می‌باشد. مهم‌ترین منبع واردات آب مجازی به استان ناشی از وارد کردن برنج و گندم است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استان هرمزگان دارای پتانسیل نسبتاً کمی در استفاده از آب سبز بوده به‌طوری‌که حدود ۷/۸ درصد تولیدات زراعی و باغی استان به‌وسیله آب سبز

تولید می‌شوند. دهقان منشادی و همکاران (۱۳۹۲) آب مجازی را در حوضه آبخیز برآورد نموده و نقش آن را در انتقال آب بین حوضه‌ای بررسی نموده‌اند. تأثیر توانایی استفاده از آب مجازی حوضه مقصد و افزایش سهم آب‌بران حوضه مبدأ در سامانه‌های انتقال آب برآورد شده است. نتایج حاکی از آن بود که هرچند حوضه مقصد تبخیر و تعرق بالایی داشته و توان آب مجازی حوضه پایین است، لکن علاوه بر کاهش هزینه‌های انتقال و پیامدهای مضر انتقال آب برای منطقه، کشت و صنعت خوزستان و کشاورزی خوزستان توانستند به ترتیب ۱۸/۹ و ۷/۲۵ میلیارد ریال به دست آورند. عرب یزدی و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی ردپای آب کشاورزی در ایران را بر اساس آب مجازی انجام داده‌اند. ایران حدود ۱۱/۶۴ میلیارد مترمکعب آب خالص مجازی در بخش کشاورزی صادر کرده است. ردپای آب کشاورزی در سال ۲۰۰۶ در ایران ۱۰۳/۶۴۱ میلیارد مترمکعب یا ۱۴۷۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر تخمین زده می‌شود. نتایج نشان داد که ۴۲ درصد آن مربوط به غلات، ۱۴ درصد آن مربوط به دانه‌های روغنی (سویا یا آفتابگردان)، ۱۳ درصد آن مربوط به علوفه و ۱۱ درصد آن گیاهان صنعتی مانند پنبه و تنباکو و ۱۱ درصد بقیه محصولات باغی بوده است. این پارامترها نشان‌دهنده‌ی میزان آب مصرفی محصولات کشاورزی است و پیگیری استراتژی مناسب با این اطلاعات می‌تواند از فشار بر منابع آب در کشور بکاهد. پورجعفری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات پسته و خرما در استان کرمان را بررسی کردند. مشکل کمبود منابع آب و بارش یک واقعیت مهم و غیر قابل انکار در استان کرمان محسوب می‌شود. کل مصرف آب در داخل یک کشور به‌تنهایی معیار درستی از برداشت واقعی آب از منابع آب جهانی نیست. ردپای اکولوژیک آب شاخصی برای تعیین میزان مصرف واقعی آب است. لذا بررسی ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب

اگر تغییرات CO₂ نیز در نظر گرفته شود، تولید محصول افزایش یافته و میزان آب مجازی در کل کشور چین کاهش می‌یابد. بررسی توأمان بارش، دما و تغییرات CO₂ باعث بهبود تولید محصول و بهره‌وری آب در دوره‌های آتی تا پایان قرن حاضر می‌شود. در پژوهشی دیگر در خصوص اثرات پدیده تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP بر تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داده شد که بیشترین افزایش مقدار تبخیر تعرق پتانسیل طی دوره آینده ۲۰۲۱ تا ۲۰۷۰ در دشت مشهد در ماه ژانویه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب با ۱۵/۴ درصد و ۱۶/۴ درصد افزایش نسبت به دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۰۵ و نیز بیشترین مقدار کاهش در ماه اکتبر با ۱۲/۵- و ۱۰- درصد کاهش نسبت به دوره پایه می‌باشد (طباطبائی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین محققین بسیاری اثرات تغییر اقلیم را بر خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبریز مورد بررسی قرار دادند (عزیزیان و کریمی، ۱۳۹۰، وروچیدو و همکاران، ۲۰۱۳، میرعباسی و همکاران، ۲۰۱۳، گریلاکیس و همکاران، ۲۰۱۱، معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱، نیکزاد و همکاران، ۱۳۹۰، ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱، آسانگ و همکاران، ۲۰۱۶، ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعات تغییر اقلیم و بررسی سناریوهای اقلیمی دوره آتی و بررسی اثرات آن بر میزان تولید محصولات کشاورزی و میزان آب مجازی در دوره آتی می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی در آینده قرار گیرد. در این تحقیق تأثیر تغییر اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات عمده کشاورزی استان خوزستان در دوره‌های آتی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و با به‌کارگیری برونادهای مدل CanESM2 تحت سناریوهای واداشت تابشی مورد بررسی قرار گرفت که تا کنون در تحقیقات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است.

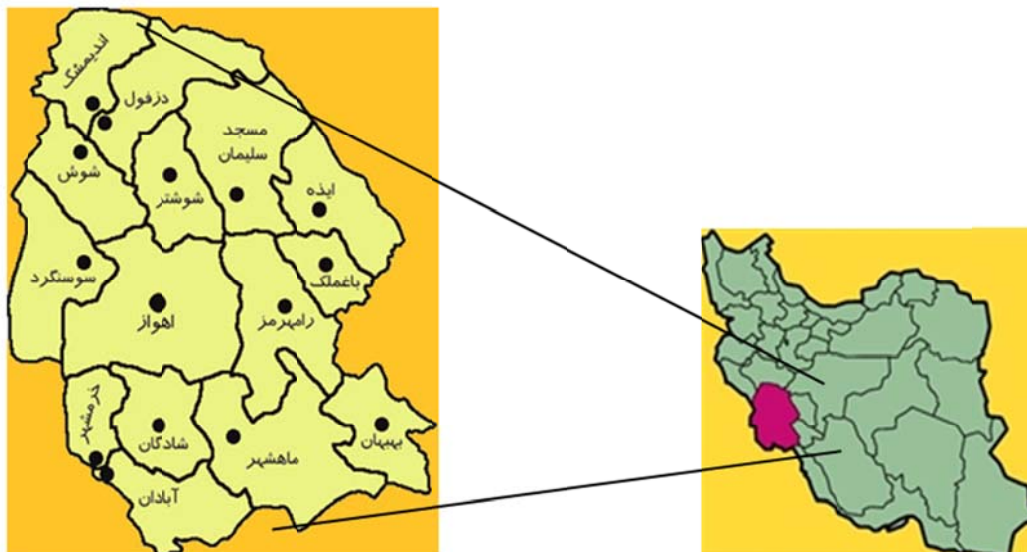
۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل شش شهرستان استان خوزستان

مجازی محصولات استراتژیک می‌تواند در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی بهینه منابع آب مفید باشد؛ بنابراین در این پژوهش جهت بررسی توانایی منطقه برای تأمین آب مورد نیاز برای تولید داخلی، به محاسبه میزان ردپای اکولوژیک آب در محصولات کشاورزی استراتژیک استان (پسته و خرما) در سال ۱۳۸۸ پرداخته شد. شاخص ردپای اکولوژیک آب استان در بخش کشاورزی ۵/۵۶ میلیارد مترمکعب تخمین زده شد که به ازای هر نفر ۲/۲۰۹۷ مترمکعب در سال است. نتایج نشان داد استان کرمان صادرکننده آب مجازی شد و وابستگی استان به منابع آب خارجی بسیار کم بود. استان کرمان کم‌آب تلقی می‌شود؛ بنابراین کاهش فشار وارده بر منابع آب داخلی، مستلزم بهره‌گیری بیشتر از استراتژی مبادله آب مجازی در واردات محصولات با نیاز آبی بالا به استان است. ژائو و همکاران (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم را بر میزان آب مجازی در چین مورد بررسی قرار دادند. ایشان از یک مدل تحت GIS به نام (GIS-based Environmental Policy) GEPIC (Integrated Climate) برای بررسی توزیع مکانی میزان آب مجازی برای گیاهان مختلف در چین استفاده کردند و اثرات تغییر اقلیم را بر میزان آب مجازی با سناریوهای مختلف بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در گروه محصولات C4 (ذرت آبیاری شده با آب مجازی ۰/۷۳ مترمکعب بر کیلوگرم) معمولاً مقدار آب مجازی کمتری به تغییرات CO₂ در دوره‌های آتی نشان می‌دهند. سه تغییر عمده برای میزان آب مجازی در دوره‌های آینده وجود دارد: کاهش پیوسته (برای محصولات سویا و برنج بدون ملاحظه کردن تغییرات CO₂)، افزایش پیوسته (برای محصول برنج با در نظر گرفتن تغییرات CO₂) و ابتدا کاهش سپس افزایش (برای سایر محصولات). نتایج ایشان نشان داد که این تغییرات شامل تغییر در بارش و دما نیز می‌باشد. تغییرات بارش و دما می‌تواند اثرات منفی بر تولید محصول و به‌ویژه میزان آب مجازی در دوره‌های آتی بگذارد. اما

کرخه، کارون بزرگ و جراحی- زهره می‌باشد. طول دوره آماری مورد استفاده در این تحقیق ۲۰ سال است. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده را می‌توان مشاهده نمود. طول آماری ایستگاه‌های مورد استفاده از سال ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۱ می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

استان خوزستان در محدوده ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی قرار دارد. به منظور انجام مطالعات، از داده‌های شش ایستگاه هواشناسی در سطح استان خوزستان استفاده شد. استان خوزستان در برگیرنده بخش‌هایی از سه حوضه آبریز ۲ درجه یعنی حوضه‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده استان خوزستان.

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
اهواز	۴۸ ۴۴ ۳۹	۳۱ ۲۰ ۴۴	۲۲/۵
آبادان	۴۸ ۱۲ ۵۳	۳۰ ۲۲ ۳۷	۶/۶
مسجد سلیمان	۴۹ ۱۴ ۲۶	۳۲ ۰۰ ۰۳	۳۲۰
دزفول	۴۸ ۲۵ ۵۹	۳۲ ۱۵ ۱۲	۸۲
بستان	۴۸ ۰۰ ۳۶	۳۱ ۴۲ ۲۸	۸/۶
رامهرمز	۴۹ ۳۵ ۴۷	۳۱ ۱۶ ۲۲	۱۵۰

۱-۲. محاسبه تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی

جهت محاسبه میانگین تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در طول دوره رشد از اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌ها استفاده شد. همچنین سند ملی آب خوزستان میزان نیاز آبی متوسط هر یک از محصولات گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای و نیشکر را در طول دوره رشد محصول ارائه نموده است. مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه نیازی به اطلاعات گسترده ندارد و همچنین در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در مطالعات گذشته مورد استفاده قرار گرفته است، از این رو این مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی انتخاب شده است. مدل هارگریوز سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق روزانه به صورت رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{aligned} ET_0 &= 0.0135K_T R_a TD^{0.5}(T + 17.8) \\ K_T &= 0.00185TD^{0.5} - 0.0433TD + 0.4023 \\ TD &= T_{max} - T_{min} \\ ET_C &= K_C ET_0 \end{aligned} \quad (1)$$

T_{max} و T_{min} به ترتیب حداقل و حداکثر دمای هوا در دوره مورد نظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، R_a تابش خورشیدی در بالای جو که برای ماه‌های مختلف سال و عرض‌های جغرافیایی مختلف، مقدار متفاوت به خود می‌گیرد و K_T ضریب تصحیح است. K_C ضریب گیاهان است و برای محصولات مختلف از نشریه شماره ۵۶ فائو به دست می‌آید.

۲-۲. محاسبه میزان آب مجازی

میزان آب مجازی محصولات کشاورزی در این تحقیق از رابطه زیر محاسبه شد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۴):

$$VWC = \frac{CWU}{P} = 10 \frac{ET}{Y} \quad (2)$$

که VWC (Virtual Water Content) میزان آب مجازی محصول بر حسب مترمکعب بر کیلوگرم، CWU (Crop Water Use) میزان آب مصرفی فصلی محصول بر حسب مترمکعب، P میزان تولید محصول بر حسب کیلوگرم،

ET میزان تبخیر و تعرق محصول در فصل کشت و Y میزان تولید محصول در واحد سطح بر کیلوگرم بر هکتار است.

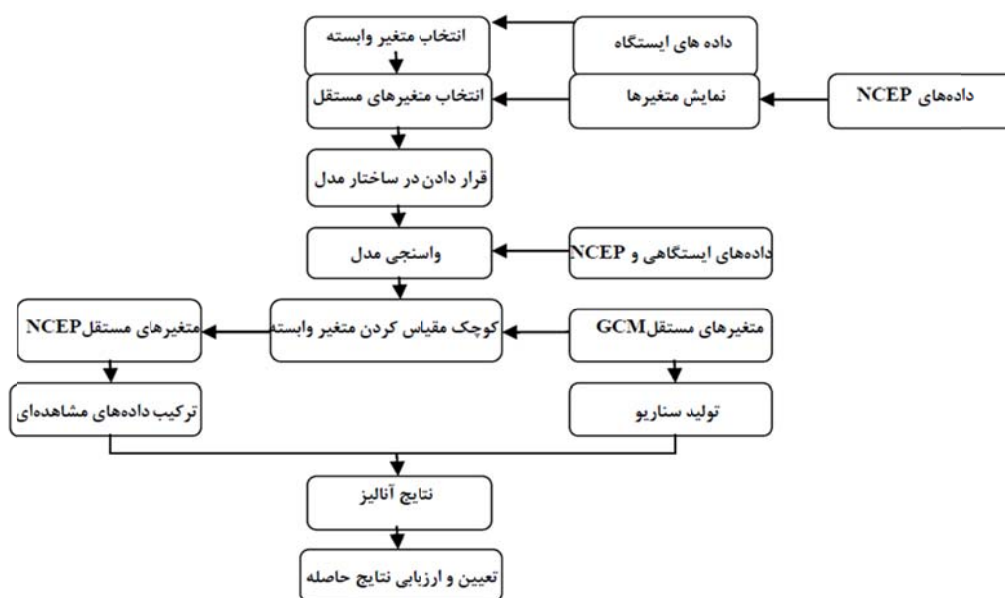
در این تحقیق با توجه به هدف بررسی محصولات استراتژیک و عمده تولیدی که اطلاعات آن موجود است محصولات گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای و نیشکر انتخاب و میزان تبخیر و تعرق آنها به دست آمد، ضمناً میانگین تبخیر و تعرق محصولات در طول دوره کشت در هر ایستگاه مورد استفاده قرار گرفت. میزان تولید محصولات به طور متوسط در استان خوزستان و هر یک از شهرستان‌ها از جهاد کشاورزی اخذ شد و میزان آب مجازی هر یک از محصولات در سال‌های آماری موجود محاسبه گردید. گندم و جو به دو صورت کشت آبی و کشت دیم در استان خوزستان کشت می‌شود. کشت برنج، ذرت دانه‌ای و نیشکر به صورت آبی است.

۳-۲. سناریوهای واداشت تابشی تغییر اقلیم

گزارش پنجم IPCC که در سال ۲۰۱۴ منتشر شد، بیشتر بر جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی تغییرات اقلیم و نقش آن در توسعه پایدار، مدیریت ریسک و چهارچوب کلی آن بر کاهش گازهای گلخانه‌ای و روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم تأکید دارد. مدل‌های سری CMIP5 در گزارش پنجم توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR5) ارائه شده است. در این پژوهش پیش‌بینی کننده‌های مربوط به مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل گردش کلی CanESM2 از سایت <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2> اخذ و استفاده شد. گزارش پنجم تغییر اقلیم بر مبنای واداشت تابشی نوشته شده است. واداشت تابشی، تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین است. واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و واداشت منفی (برونرفت بیشتر انرژی) موجب کاهش دمای سیستم زمین می‌شود. مدل‌های اقلیمی از نتایج سناریوهای RCPs برای

۲-۴. معرفی مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM یکی از ابزارهای ریزمقیاس نمایی آماری است که توسط ویلی و همکاران (۲۰۰۲) برای ارزیابی اثرات محلی تغییر اقلیم توسعه داده شد. این مدل که هسته اصلی آن تلفیقی از روش‌های تصادفی و همبستگی می‌باشد با هدف تبیین حداکثری تغییرپذیری اقلیم محلی (پیش‌بینی شونده) یک ایستگاه از تأثیر گذارترین متغیرهای بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی کننده) طراحی شده است. ورودی این مدل داده‌های دیدبانی روزانه ایستگاه (پیش‌بینی شونده)، متغیرهای بزرگ‌مقیاس NCEP (پیش‌بینی کننده) در دوره مشابه دیدبانی و برون‌داد متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار گوناگون برای دوره مطالعاتی آینده است. مراحل کار مدل به‌طور خلاصه شامل چندین مرحله است. کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب، واسنجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای، تحلیل آماری داده‌های مشاهده شده، نمایش هندسی خروجی مدل و تولید داده‌های هواشناسی آینده با استفاده از متغیرهای مستقل است. شکل ۲ روند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی نرم‌افزار SDSM را نشان می‌دهد.

نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. سناریوی خانواده RCP شامل چهار سناریوی مختلف است که این سناریوها عبارتند از: ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ که بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایطی می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد. این سناریوها بر اساس نتایج حاصل از برخی فراسنج‌های اجتماعی-اقتصادی، تکنولوژیکی و همچنین میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده طراحی شده‌اند. در سناریوی RCP8.5، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ PPM تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است. در سناریوی RCP4.5، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰ PPM تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را ۴/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است. در این تحقیق از نسل دوم مدل سامانه زمین CanESM2 به همراه نسل چهارم مدل جهانی آب‌وهوا توسعه یافته توسط مرکز محیط‌زیست کانادا برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آب‌وهوا استفاده شد.



شکل ۲. فلوجارت ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی با استفاده از مدل SDSM (رضائی و همکاران، ۱۳۹۴).

شبه‌سازی داده‌های اقلیمی در دوره‌های آبی با استفاده از سناریوهای اقلیمی مورد تأیید IPCC اجرا شد. از داده‌های دو سناریو واداشت تابشی مدل گردش کلی CanESM2 با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به‌کارگیری مدل SDSM استفاده شد. از طریق داده‌های CanESM2 میزان بارش و دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های منتخب برای سه دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ (متوسط ۲۰۳۰)، ۲۰۷۰-۲۰۵۰ (متوسط ۲۰۶۰) و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ (متوسط ۲۰۹۰) میلادی پیش‌نگری و با دوره پایه مقایسه شد. پس از به دست آمدن داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آبی از میزان دمای تولید شده از مدل هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل محصول مورد نظر در دوره‌های آبی استفاده شد. سپس با توجه به رابطه تبخیر و تعرق و عملکرد محصول در دوره پایه میزان عملکرد محصول در دوره آبی در هر شهرستان به دست آمد و نهایتاً میزان آب مجازی محصولات مختلف در دوره‌های آبی محاسبه شد.

۳. نتایج و بحث

در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری، از داده‌های مدل CanESM2 با استفاده از نرم‌افزار SDSM استفاده شده است. با توجه به میزان همبستگی داده‌های بارش روزانه و میزان دمای بیشینه و کمینه با داده‌های NCEP متغیرهای پیش‌بینی‌کننده از بین ۲۶ متغیر انتخاب شدند که بارش روزانه با داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، جهت باد در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار متوسط سطح دریا، رطوبت ویژه سطحی، میانگین دما در ارتفاع ۲ متری و سرعت مداری در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال بیشترین همبستگی را در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان دادند. متغیر دما بیشترین همبستگی را با ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، فشار متوسط سطح دریا، جهت باد در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال و میانگین دما در ارتفاع ۲ متری داشت. نتایج غربالگری متغیرها بارش و دما با توجه به سطح اعتماد ۱۰ درصد و مقادیر P-value, Partial r که در جدول ۳ ذکر شده است، انتخاب شد.

در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری، از داده‌های مدل CanESM2 با استفاده از نرم‌افزار SDSM استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل بارش، دمای کمینه و بیشینه و دمای میانگین روزانه است. همچنین از داده‌های NCEP (جدول ۲) و داده‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای واداشت تابشی استفاده شده است. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است که از بین آنها، متغیرهای مستقل انتخاب می‌شوند. با توجه به اینکه متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP می‌توانند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی‌شونده داشته باشند لذا متغیرهایی دارای اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند. برای انتخاب متغیرهای مستقل غالب از مدل SDSM استفاده شد. در مرحله واسنجی از آمار متغیرهای هواشناسی مشاهده شده برای مقایسه با مدل استفاده شد. دوره پایه بر اساس داده‌های موجود همه ایستگاه‌ها سال‌های ۱۹۹۱ الی ۲۰۱۱ است. از این‌رو سال‌های آماری ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۰ برای واسنجی و سال‌های آماری ۲۰۰۱ الی ۲۰۱۱ برای صحت‌سنجی و ارزیابی مدل استفاده شد. جهت بررسی دقت و ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل از ضریب ناش-ساتکلیف (NS) و میانگین خطای مطلق نرمال (NRMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و ضریب همبستگی (R^2) استفاده شده است:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / n}}{\bar{O}} \times 100 \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

که در آن O_i میزان مقادیر مشاهده شده، P_i میزان مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌هاست. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت آن در شبه‌سازی داده‌های هواشناسی، این مدل برای ریزمقیاس‌کردن داده‌های مدل گردش کلی CanESM2 و تولید داده یا

جدول ۲. فهرست متغیرهای بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) NCEP

ردیف	علامت	متغیر	ردیف	علامت	متغیر
۱	Pmsl	فشار سطح متوسط دریا	۱۴	Pu	سرعت مداری سطحی
۲	Pfu	قدرت جریان هوای سطحی	۱۵	Pv	حالت گردابی سطحی
۳	Mvu	سرعت نصف‌النهاری سطحی	۱۶	Pzh	واگرایی سطحی
۴	Wd5	جهت باد در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	P5u	سرعت مداری در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	Pf5	قدرت جریان هوا در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	P5v	حالت گردابی در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۶	Mv5	سرعت نصف‌النهاری در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	Wd5	جهت باد در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	P500	ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	P5zh	واگرایی در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	Pa8	قدرت جریان هوا در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۱	P8u	سرعت مداری در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	Mv8	سرعت نصف‌النهاری در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	P8v	حالت گردابی در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۰	P850	ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۳	Wd8	جهت باد در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۱	P8zh	واگرایی در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۴	R500	رطوبت نسبی در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۲	R850	رطوبت نسبی در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۵	Shum	رطوبت نسبی سطحی
۱۳	Rhum	رطوبت ویژه سطحی	۲۶	Temp	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری

جدول ۳. نتایج مرحله غربالگری داده‌ها (ایستگاه هواشناسی اهواز).

ردیف	متغیر	پیش‌بینی کننده	P-value	Partial r
۱	بارش	ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۰۹۱	۰/۰۳۱
۲	بارش	جهت باد در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۰۱۹۶	-۰/۰۰۴
۳	بارش	فشار سطح صفر	۰/۰۴۶	۰/۰۳۷
۴	بارش	رطوبت ویژه سطحی	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۳
۵	بارش	میانگین دما در تراز ۲ متری	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲
۶	بارش	سرعت مداری در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۷	دما	ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
۸	دما	فشار سطح صفر	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
۹	دما	جهت باد در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۵
۱۰	دما	میانگین دما در تراز ۲ متری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۷

۳-۱. واسنجی و ارزیابی مدل

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای دما و بارش در جدول ۴ و ۵ آورده شده است. ضریب NS، NRMSE، MAE و R^2 بر اساس مقادیر میانگین متغیرها در هر ماه محاسبه شد. این مقادیر با توجه به بارش و دمای روزانه تولید شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده برای داده‌های واسنجی و

صحت‌سنجی به دست آمد. نتایج نشان داد با توجه به میزان NRMSE میزان خطا در برآورد بارش و دما قابل قبول (کمتر از ۱۰ درصد) و در همه ایستگاه‌ها تقریباً یکسان است. برای بررسی دقیق‌تر آزمون برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی صورت گرفت. نتایج نشان داد عملکرد مدل مورد تأیید می‌باشد.

جدول ۴. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی بارش.

بارش								ایستگاه
R ²		MAE (میلی متر)		NRMSE (درصد)		NS		
صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	
۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۲	۰/۵	۴	۵	۰/۸۸	۰/۷۵	اهواز
۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۴	۰/۶	۲	۳	۰/۷۹	۰/۷۴	آبادان
۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۳	۰/۴	۱	۲	۰/۹۴	۰/۸۷	بستان
۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۱	۰/۲	۲	۲	۰/۸۹	۰/۸۵	دزفول
۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۲	۰/۱	۲	۵	۰/۷۹	۰/۸۴	مسجد سلیمان
۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۳	۰/۲	۳	۷	۰/۷۳	۰/۷۵	رامهرمز

جدول ۵. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی دما.

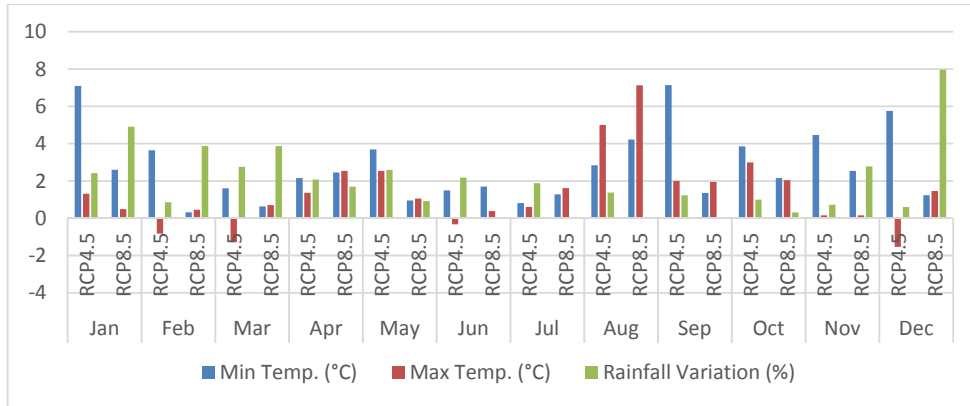
دما						ایستگاه
R ²		MAE (درجه سانتی گراد)		NS (درصد)		
صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	صحت‌سنجی (درصد)	واسنجی	
۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۴	۰/۶	۰/۷۳	۰/۷۴	اهواز
۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۳	۰/۵	۰/۸۸	۰/۸۵	آبادان
۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۲	۰/۵	۰/۸۱	۰/۸۶	بستان
۰/۹	۰/۹۶	۰/۳	۰/۳	۰/۷۹	۰/۷۴	دزفول
۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۲	۰/۳	۰/۷۱	۰/۷۶	مسجد سلیمان
۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۲	۰/۲	۰/۷۸	۰/۹۳	رامهرمز

۳-۲. نتایج سناریوهای واداشت تابشی در دوره‌های آتی نتایج متوسط درصد تغییرات بارش و درصد تغییرات تبخیر و تعرق تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در جدول ۶ ذکر شده است. میزان تغییرات بارش ماهانه نسبت به دوره پایه به صورت درصد و تغییرات دمای کمینه و بیشینه ماهانه به درجه سانتی گراد در دوره‌های آتی تحت دو سناریوی RCP در شکل ۳ نشان داده شده است. دمای کمینه در دوره ۲۰۳۰ برای سناریوی RCP4.5 افزایش بیشتری نسبت به سناریوی RCP8.5 دارد. در دوره ۲۰۳۰ حداکثر تغییرات بارش به میزان حدوداً ۸ درصد در ماه دسامبر و حداقل تغییرات در ماه‌های سپتامبر و ژوئیه واقع می‌شود. در دوره ۲۰۶۰ میزان تغییرات دمای بیشینه و

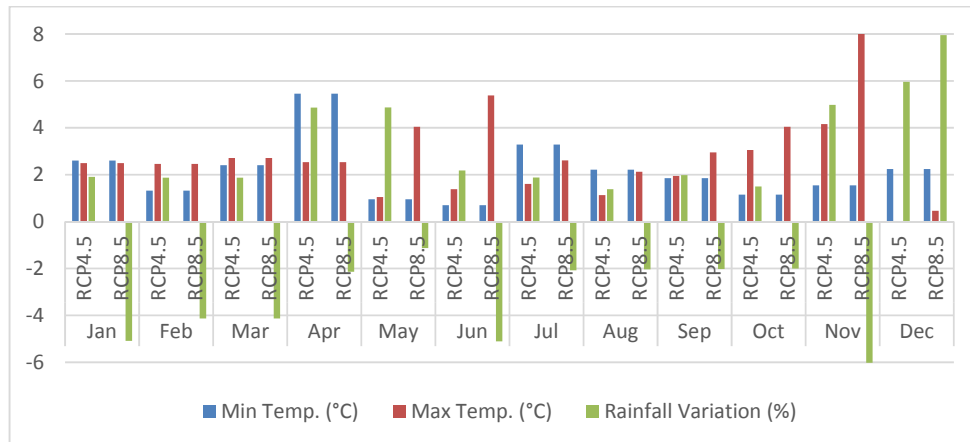
کمینه نسبت به دوره دیدبانی برای دو سناریو در ماه‌های ژوئن تا نوامبر روند افزایشی دارد. میزان درصد تغییرات بارش برای سناریوی RCP8.5 برای اکثر ماه‌های سال به طور متوسط روند کاهشی دارند و بیشترین کاهش در ماه نوامبر رخ می‌دهد، درحالی‌که برای سناریوی RCP4.5 در اکثر ماه‌ها با افزایش بارش همراه است. در دوره ۲۰۹۰ میزان دمای کمینه و بیشینه به ترتیب با کاهش و افزایش در اکثر ماه‌های سال همراه است و بارش‌ها نسبت به دوره گذشته در سناریوی RCP8.5 کاهش شدیدی دارند و کاهش‌ها در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر رخ می‌دهد علی‌رغم اینکه در ماه‌های اوت تا اکتبر شاهد افزایش بارش‌ها خواهیم بود.

جدول ۶. متوسط تغییرات دما (°C)، درصد تغییرات بارش و تبخیر و تعرق تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در استان خوزستان.

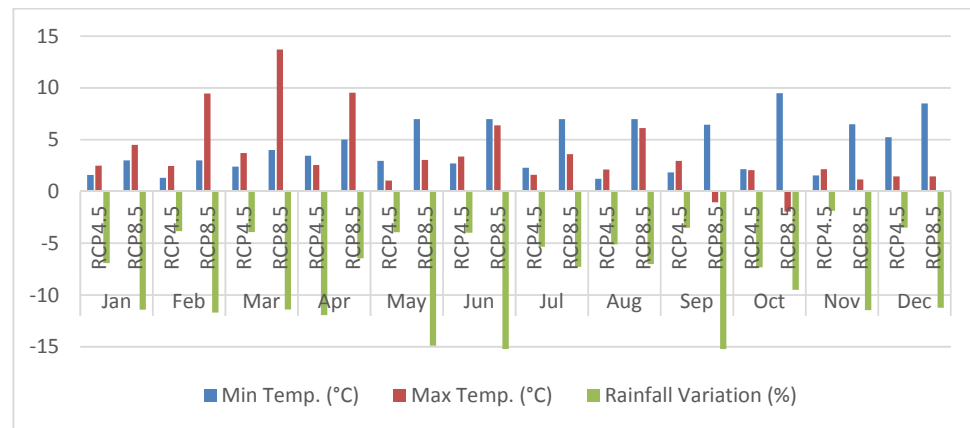
Scenario	۲۰۳۰			۲۰۶۰			۲۰۹۰		
	ΔT(°C)	ΔP(%)	ΔET(%)	ΔT(°C)	ΔP(%)	ΔET(%)	ΔT(°C)	ΔP(%)	ΔET(%)
RCP4.5	۰/۹	۱/۶	۵/۱	۲/۲	۳	۶/۶	۲/۷	-۵	۱۰
RCP8.5	۱/۷	۲/۱	۸/۲	۲/۷	-۲/۴	۱۱/۸	۶/۲	-۱۰/۲	۲۲



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳. درصد تغییرات بارش ماهانه، دمای بیشینه و کمینه در هر ماه نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۱) (الف) در دهه ۲۰۳۰ (ب) در دهه ۲۰۶۰ (ج) در دهه ۲۰۹۰.

گندم و جو و ذرت دانه‌ای به ترتیب به ۱/۴۳ و ۲/۸۲ و ۲/۳۶ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد. در ایستگاه مسجدسلیمان میزان آب مجازی برای محصول برنج ۱۱ مترمکعب بر کیلوگرم خواهد رسید. ضمن اینکه در این ایستگاه میزان تغییرات آب مجازی محصول گندم تغییر اندکی دارد و حداکثر به ۰/۵۳ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد و میزان حداکثر آب مجازی محصول جو برابر است با ۵/۷ مترمکعب بر کیلوگرم است. در ایستگاه رامهرمز میزان آب مجازی محصولات گندم، جو، برنج و ذرت دانه‌ای حداکثر به ترتیب به میزان ۲/۴۲، ۴، ۶/۹۴ و ۲/۴۵ مترمکعب بر کیلوگرم در دوره‌های آبی می‌رسد.

میزان تغییرات آب مجازی نسبت به دوره پایه به طور متوسط در همه ایستگاه‌های استان خوزستان در شکل ۶ نشان داده شده است. بیشترین افزایش برای محصول گندم در دوره ۲۰۳۰ است و بیشترین کاهش مربوط به محصول جو در دوره ۲۰۳۰ می‌باشد. این مسئله می‌تواند ناشی از رابطه میزان آب مجازی جو با میزان تبخیر و تعرق محصول با توجه به شرایط جوی در دوره گذشته باشد.

۳-۵- تفاوت میزان آب مجازی برای سناریوهای RCP در سناریوی RCP4.5 درصد افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه همواره کمتر از سناریوی RCP8.5 است. برای محصول گندم و ذرت دانه‌ای ۲۲/۵ و ۱۳/۳ درصد اختلاف بین دو سناریوی RCP در افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در دوره ۲۰۳۰ می‌باشد. برای محصول جو، برنج و نیشکر به ترتیب ۱۷، ۱۸/۲ و ۱۷/۴ درصد اختلاف بین دو سناریوی RCP در افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در دوره ۲۰۹۰ است.

۳-۳. رابطه عملکرد محصول و میزان تبخیر و تعرق محصول

رابطه بین تبخیر و تعرق محصولات و عملکرد محصول در دوره پایه به دست آمد و سپس میزان آب مجازی محصولات در دوره آبی با توجه به میزان تبخیر و تعرق در دوره آبی با توجه به رابطه آن به دست آمده است. نتایج روابط آماری به دست آمده در جدول ۶ برای ایستگاه اهواز ذکر شده است.

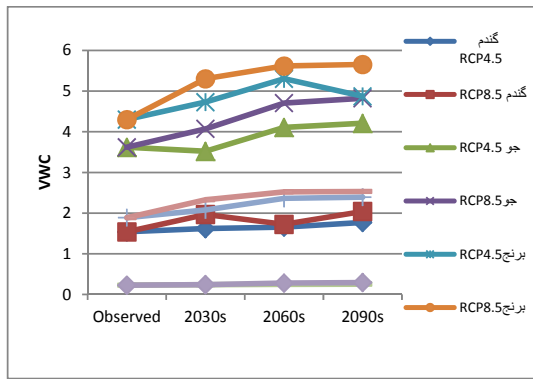
۳-۴. میزان تغییرات آب مجازی محصولات کشاورزی نسبت به دوره پایه

چشم‌انداز متوسط میزان آب مجازی برای سناریوهای مختلف RCP در سه دوره آبی برای محصولات گندم، جو و برنج در هر یک از ایستگاه‌های اهواز، دزفول، مسجد سلیمان و رامهرمز در شکل ۴ آورده شده است. برای محصول گندم به عنوان نمونه میزان آب مجازی به دست آمده در دوره‌های آبی برای هر یک از سناریوهای RCP به طور میانگین در نقشه شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌شود، میزان آب مجازی به دست آمده برای همه محصولات کشاورزی مورد مطالعه روند افزایشی دارد اما این افزایش برای محصول برنج و ذرت دانه‌ای به طور متوسط در دوره ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد. بطوریکه مثلاً در ایستگاه رامهرمز در دوره ۲۰۶۰ به ۷ مترمکعب بر کیلوگرم محصول می‌رسد. بیشترین افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در ایستگاه اهواز مربوط به هر یک از محصولات در دوره ۲۰۹۰ رخ می‌دهد و بیشترین درصد افزایش مربوط به محصول ذرت دانه‌ای است.

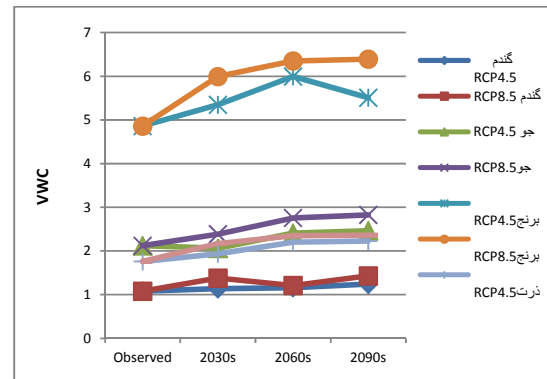
در ایستگاه دزفول میزان آب مجازی برای محصول برنج به ۶/۴ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد. برای محصول

جدول ۶. روابط آماری ($Y = aET_c + b$) بین عملکرد محصول (kg/ha) و تبخیر و تعرق (mm) محصول در دوره پایه در ایستگاه اهواز.

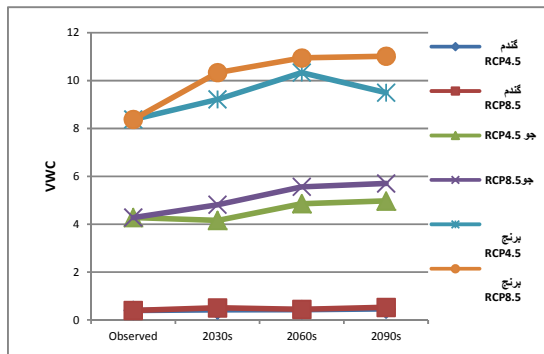
نوع محصول	ضرایب	ضریب تایید (R^2)
گندم	$a = 4.54$, $b = 134.3$	۰/۷۸
جو	$a = 4.56$, $b = -49.1$	۰/۸۵
برنج	$a = 1.07$, $b = 552.6$	۰/۸۱
ذرت	$a = 4.66$, $b = -1116.3$	۰/۷۶
نیشکر	$a = 48.67$, $b = 22576$	۰/۸۵



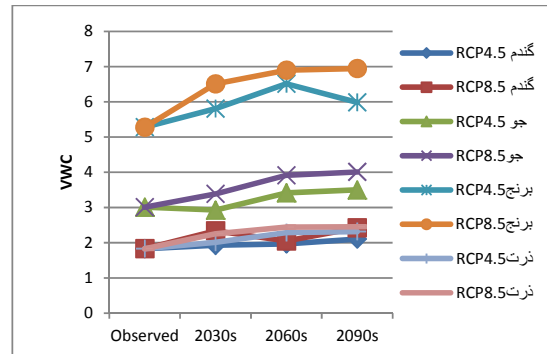
ب) ایستگاه اهواز



الف) ایستگاه دزفول

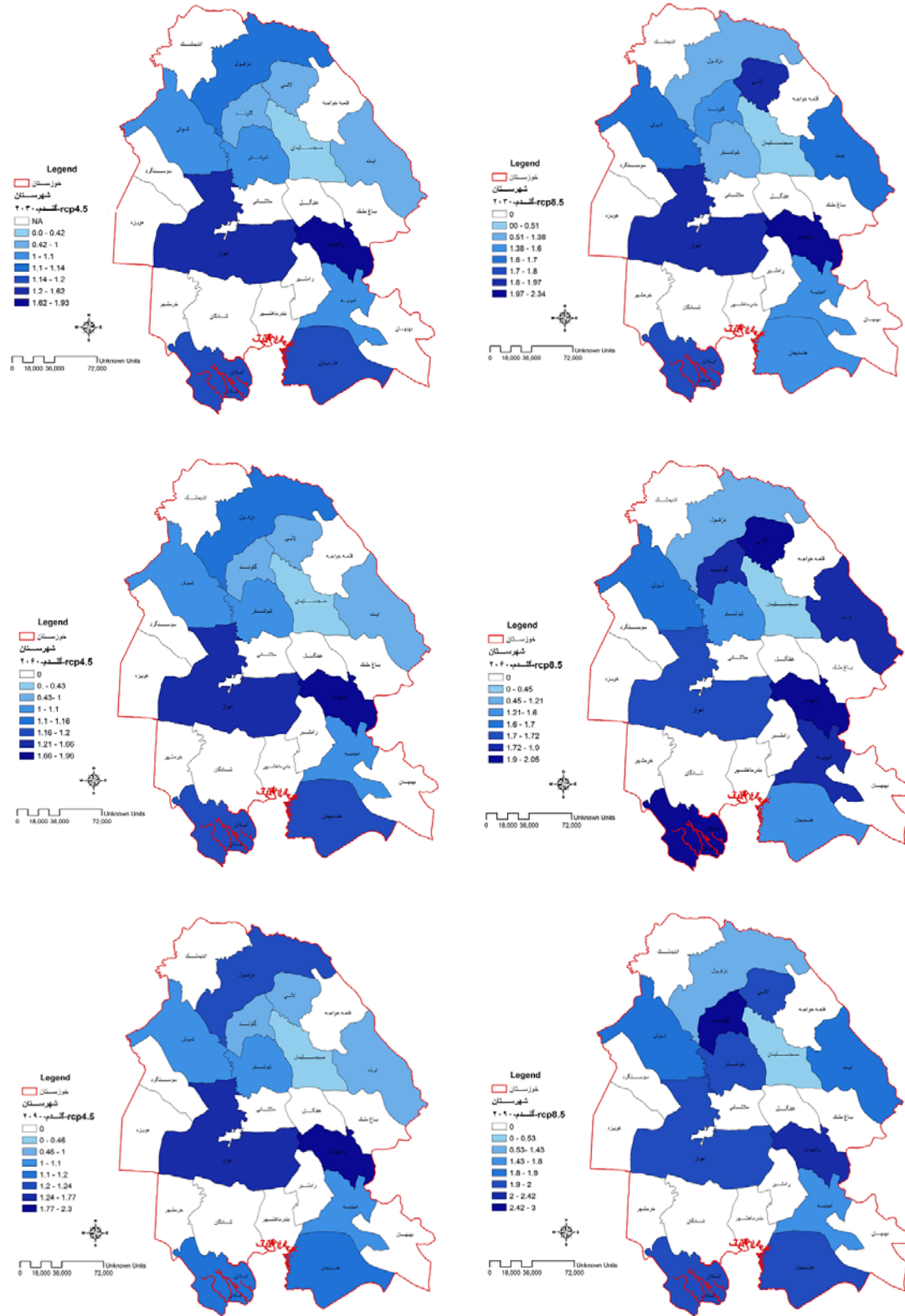


د) ایستگاه مسجد سلیمان

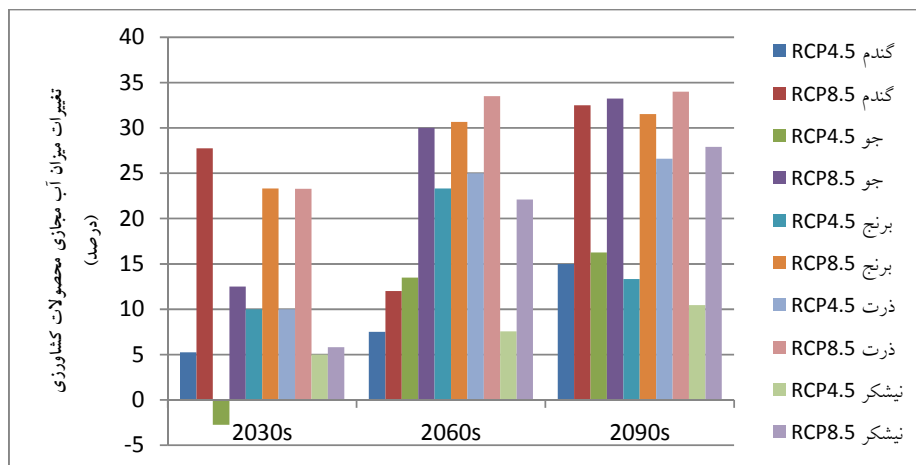


ج) ایستگاه رامهرمز

شکل ۴. میزان تغییرات آب مجازی (بر حسب m^3/kg) محصولات کشاورزی مختلف در دوره‌های آبی.



شکل ۵. میزان متوسط آب مجازی گندم (بر حسب m^3/kg) در دوره‌های آبی تحت دو سناریوی RCP8.5 و RCP 4.5



شکل ۶. میزان متوسط تغییرات آب مجازی محصولات کشاورزی در کل مناطق مورد مطالعه در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه.

۴. نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها

در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی مدل گردش کلی CanESM2 در دوره‌های آبی، از مدل آماری SDSM استفاده شد. با توجه به میزان همبستگی داده‌های بارش روزانه و میزان دمای بیشینه و کمینه با داده‌های NCEP، متغیرهای پیش‌بینی کننده از بین ۲۶ متغیر بزرگ‌مقیاس مشخص شدند. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، برون‌داد مدل CanESM2 تحت دو سناریوی واداشت تابشی بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین دما در همه ایستگاه‌های منتخب و در همه سناریوها افزایش می‌یابد و این افزایش در مورد سناریوی RCP8.5 از سناریوی RCP4.5 بیشتر است. میانگین بارش نیز در دوره‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش دما در منطقه خوزستان به‌طور متوسط به میزان ۴/۶ درجه سانتی‌گراد در دوره ۲۰۹۰ برای سناریوی RCP8.5 و کمترین کاهش دما در دوره ۲۰۳۰ به میزان حدوداً ۱ درجه برای سناریوی RCP4.5 می‌باشد. میزان آب مجازی به دست آمده برای همه محصولات کشاورزی مورد مطالعه روند افزایشی دارد اما این افزایش برای محصول برنج و ذرت دانه‌ای به‌طور متوسط در دوره ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد. بیشترین افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در ایستگاه اهواز مربوط به هر یک از

محصولات در دوره ۲۰۹۰ رخ می‌دهد و بیشترین درصد افزایش مربوط به محصول ذرت دانه‌ای است. بیشترین افزایش برای محصول گندم در دوره ۲۰۳۰ است و بیشترین کاهش مربوط به محصول جو در دوره ۲۰۳۰ می‌باشد. این افزایش/کاهش ناشی از رابطه میزان آب مجازی جو با میزان تبخیر و تعرق محصول با توجه به شرایط جوی در دوره گذشته می‌باشد. در سناریوی RCP4.5 درصد افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه همواره کمتر از سناریوی RCP8.5 است. در محصولات گندم، جو و نیشکر درصد افزایش سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوی RCP4.5 بیشتر است. برای محصول گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای و نیشکر به ترتیب ۲۲/۵، ۱۷، ۱۸/۲، ۱۳/۳ و ۱۷/۴ درصد اختلاف بین دو سناریوی RCP در افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه به ترتیب در دوره‌های ۲۰۳۰، ۲۰۹۰، ۲۰۹۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۹۰ می‌باشد. با دخالت دادن تراز آب مجازی در سیاست‌های آبی بلندمدت، میزان دسترسی خود را به منابع آب سایر کشورها افزایش داده و از افزایش فشار به منابع آب محدود خود بکاهیم. طبق سایر تحقیقاتی که در این زمینه انجام یافته است. به‌عنوان مثال با تخصیص دادن ۳۵۰۰۰ هکتار از اراضی خوزستان به کشت کنجد به‌جای نیشکر می‌توان سالانه حدود ۹۹۳ میلیون مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی کرد (صافی و میرلطیفی، ۱۳۹۴)

صافی، ر. و میرلطیفی، س. م.، ۱۳۹۴، بررسی میزان آب مجازی نیشکر در استان خوزستان. مجله مهندسی منابع آب، ۸، ۸۷-۹۶.

طباطبایی، م.، قهرمان، ن. و بابائیان، ا.، ۱۳۹۴، بررسی میزان تغییرات دما و بارش در قرن حاضر در ایران نسبت به میانگین اقلیمی تحت سناریوهای IPCC AR 5، همایش آب و اقلیم، کنگره ملی آبیاری و زهکشی، مشهد، دانشگاه فردوسی.

قهرمان، ن.، بابائیان، ا. و طباطبائی، م.، ۱۳۹۵، برآورد اثرات تغییر اقلیم بر فصل رشد نیشکر و میزان نیاز آبی تحت سناریوهای RCP، مجله حفاظت آب و خاک، ۱۶(۱)، ۶۳-۷۴.

قهرمان، ن.، بابائیان، ا. و طباطبائی، م.، ۱۳۹۵، ارزیابی پس‌پردازش برون‌دادهای دینامیکی مدل‌های اقلیمی در برآورد تغییرات تبخیر تعرق پتانسیل تحت سناریوهای واداشت تابشی، فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳)، ۶۸۷-۶۹۶.

رضائی، م.، نهانی، م.، اکبری، ا.، رضیئی، م. و میرکاظمی ریگی، م.، ۱۳۹۴، برآورد عملکرد روش ریزمقیاس‌نمایی آماری در پیش‌بینی شاخص‌های دمایی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)، مجله تحقیقات مدیریت آبخیز، ۱۰(۱)، ۱۱۷-۱۳۱.

عزیزیان، ص. و کریمی، م.، ۱۳۹۰، بررسی شدت و فراوانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های SPI و میانگین متحرک ۷ ساله در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

معافی مدنی، س. ف.، موسوی، م. و انصاری، ح.، ۱۳۹۱، پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سوم، ۲۱-۳۷.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۴،

که اتخاذ چنین تصمیمی در دوره‌های آتی ضروری است. در تحقیقی دیگر تغییرات طول دوره رشد، و به تبع آن تغییرات بارش و تبخیر تعرق گیاه نیشکر در دوره رشد جدید، حاصل از تغییرات دما و بارش تحت پدیده تغییر اقلیم بررسی شده است. نتیجه حاصل از آن اینکه در منطقه جنوب غربی کشور، در سه شهر آبادان، اهواز و بستان، با توجه به افزایش بارش در طول دوره رشد جدید نیشکر، و کاهش متقابل تبخیر تعرق گیاه در این بازه، شرایط کشت این گیاه بهبود خواهد یافت و تأثیر معنی‌دار دما بر نمو گیاه که در مطالعات دیگر هم تأیید شده است، نتایج مطالعه حاضر نیز نشانگر افزایش میزان آب مجازی بر اثر افزایش دما می‌باشد که با یافته‌های قهرمان و همکاران (۱۳۹۵) سازگار می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی و میزان آب مجازی محصولات کشاورزی عمده استان خوزستان" استخراج شده و هزینه آن توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز تأمین شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

مراجع

بابازاده، ح. و سرائی تبریزی، م.، ۱۳۹۱، ارزیابی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی، مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۴، ۴۸۵-۴۹۹.

پورجعفری‌نژاد، ا.، علیزاده، ا. و نشاط، ع.، ۱۳۹۲، بررسی ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات پسته و خرما در استان کرمان، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۳، ۸۰-۸۹.

دهقان منشادی، ح.، نیک‌سخن، م.، و اردستانی، م.، ۱۳۹۲، برآورد آب مجازی حوضه آبخیز و نقش آن در سامانه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، مجله مهندسی منابع آب، ۶، ۱۰۱-۱۱۴.

آشکارسازی وابستگی های بین پارامترهای اقیانوسی- اتمسفری و اقلیمی به منظور پایش خشکسالی در استان خوزستان بوسیله روش داده کاوی، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

گزارش حساب رد پای آب در برخی محصولات منتخب: رد پای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید و مصرف. ۲۳۷ صفحه.

نیکزاد، م.، بهبهانی، م. و رحیمی خوب، ع.، ۱۳۹۰،

Journal of Hydrology, 49, 35-48.

Vrochidou, A. E. K, Tsanis, I. K. Grillakis, M. G. and Koutroulis A. G., 2013, The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale. Journal of Hydrology, 476, 290-301.

Wilby, R. L., Dawson, C. W. and Barrow, E. M., 2002, SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Environmental modeling and software, 17(2), 147-159.

Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R., 2011, Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Global and Planetary Change, 78, 137-146.

Zhao, Q., Junguo, L., Nikolay, Kh., Obersteiner, M. and Westphal, M., 2014, Impacts of climate change on virtual water content of crops in China. Ecological Informatics, 19, 26-34.

Zhang Y., Qinglong Y., Changchun Ch. and Jing Ge., 2016, Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China, Atmospheric Research, 178-179, 521-534.

Allan, J. A., 1993, Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible' In: Proceedings of Priorities for water resources allocation and management, ODA, London, 13-26.

Arabi Yazdi, A., Alizadeh, A. and Hosseinipour, E. Zia., 2011, Assessment of agricultural Water Foot Print in Iran based on virtual water trade. Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress, 1204-1212.

Asong, Z. E., Khaliq, M. N. and Wheeler, H. S., 2016, Projected changes in precipitation and temperature over the Canadian Prairie Provinces using the Generalized Linear Model statistical downscaling approach, 539, 429-446.

Grillakis, M. G., Koutroulis, A. G. and Tsanis, I. K., 2011, Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. Journal of Hydrology. 409, 1-19.

Mirabbasi, R., Emmanouil, N., Anagnostou, A., Dinpashoh, Y. and Eslamian, S., 2013, Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index,

Climate change impact assessment on agricultural crop virtual water under RCPs Scenarios in Khuzestan province

Nikbakht Shahbazi, A. R.*

Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

(Received: 11 Jun 2017, Accepted: 6 Feb 2018)

Summary

Agricultural sector has a vital role in the national economy and food production in Iran, so that about 27 percent of the country's gross domestic product and 22 percent of the workforce are related to this sector. Due to special climatic condition of Iran and poor temporal and spatial distribution of rainfall, irrigated farming is the main form in food production. Despite, somehow, the same dry and irrigated cultivation in the country, the highest production is obtained through irrigation, so that during the last 5 years almost always close to 90 percent of total Iran agricultural production has been by irrigated cultivation. In order to meet the food needs until the year 1410, based on approximate 2600 kcal/day, more than 150 billion cubic meters of annual water will be required that is not available in water cart of Iran. In a globalizing world, where problems increase with the effect of warming and climate changes, it is thought that a decrease in usable freshwater bodies will pose a serious problem. Allan presented the term virtual water for the first time. In the last decade, this concept was paid attention by most researchers of water industry. The term virtual water content (VWC) connects water, food, and trade together and is the opposite of water efficiency. This study intends to investigate climate change impacts on the virtual water content of agricultural crop in Khuzestan province in future periods. The strategic products and production whose data is available such as wheat, barley, rice, corn and sugar cane were selected for this study. Potential evapotranspiration of these products were used during the cultivation periods. The average crop production of each city was taken from ministry of Agricultural affairs and each crop virtual water content was calculated. Wheat and barley are planted both in irrigated and rainfed lands in Khuzestan. The cultivation of rice, maize, and sugar cane are just in irrigated form. The virtual water for each crop was calculated separately. In order to investigate climate change impact on VWC, the CanESM2 atmospheric general circulation model (GCM) data under two RCP scenarios (IPCC-AR5) were used. In order to downscale CanESM2 model data, SDSM analysis software was used. The data used in this study include precipitation, minimum and maximum temperature, daily average temperature, and daily evaporation. To determine the feasibility of future periods meteorological data production of SDSM model, calibration and verification were performed for the base periods. Minimum and maximum temperature and precipitation estimated by SDSM method using CanESM2 data in three future periods: 2030s, 2060s and 2090s and compared with historical data. Results showed that temperature on average increased in all selected scenarios, this increase is higher in the case of RCP8.5 compared to RCP4.5, as precipitation will reduce in 2060s and 2090s. Highest increase of average temperature in Khuzestan is about 4.6° C in 2090s under RCP8.5 and decrease in temperature in 2030s is about 1° C under RCP4.5. The maximum and minimum temperature variation compared to the monitoring period under two RCP scenarios from June to November have increasing trends in 2060s. Precipitation under RCP8.5 for most months on average is declining and the sharpest decline occurs in November, while most months are associated with increased precipitation under RCP4.5. The minimum and maximum temperatures will decrease and increase, respectively, in most months of the year in 2090s, and precipitation has a sharp decrease compared to the observed period under RCP8.5, and a decrease will occur in January, February, and December, although precipitation will increase from August to October. Crop virtual water under RCP4.5 compared to baseline is always less than that of RCP8.5 scenario. Wheat, barley and sugar cane VWC increase compared to RCP4.5. There is 22.5% difference for wheat VWC between two RCP scenarios in 2030s compared to baseline period. For barley, there is 17.5% difference between the two RCP scenarios in 2090s compared to baseline period. For rice, there is 18.2% difference between the two RCP scenarios in 2090s compared to baseline period.

Keywords: Climate change, Agricultural crop, Virtual water, Khuzestan province, RCP scenario.

* Corresponding author:

nikbakhta@gmail.com