

ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با اعمال اثر تغییر

اقلیم

مجید منتصری*^۱ - نگار رسولی مجد^۲ - جواد بهمنش^۳ - حسین رضایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۳۰

چکیده

افزایش جمعیت و توسعه ناپایدار کشاورزی در نقاط مختلف دنیا مخصوصاً در نواحی خشک و نیمه‌خشک، موجب نگرش واقعی‌تر و به‌کارگیری شاخص جامع و کارآمد ردپای آب (Water footprint) در تعیین میزان آب مصرفی محصولات کشاورزی (به تفکیک سه جزء آب سبز، آب آبی و آب خاکستری) توسط متخصصین مختلف جهت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب شیرین (در خطر نابودی) شده است. از طرف دیگر، هرگونه تغییر اقلیم، سبب تغییر در الگوی بارش و به‌تبع آن تغییر سهم آب آبی و آب سبز آب مصرفی محصولات کشاورزی خواهد بود. لذا در این مطالعه ردپای آب محصولات کشاورزی مختلف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به تفکیک آب آبی و آب سبز با اعمال تغییر اقلیم برای سال‌های آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۵ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور از داده‌های مشاهده‌ای ۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز مذکور استفاده شده است. نتایج مطالعه بیانگر افزایش دمای سالیانه حدود یک و دو درجه در سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۵ و تغییر نزولات جوی تقریباً با افزایش ۳ و کاهش ۵ درصدی بارندگی سالیانه بترتیب در دو دوره آبی مذکور در منطقه بوده است. در اثر آن علاوه بر بالا رفتن میزان آب مصرفی محصولات کشاورزی در حدود یک الی سه درصد نسبت شرایط فعلی، تغییر سهم آب آبی و آب سبز به ترتیب با افزایش و کاهش متوسط یک و دو درصدی در سال‌های آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۵) همراه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب سبز، سناریوی A2، LARS.WG5

مقدمه

اقتصادی، تقاضا برای آب کشاورزی را در آینده افزایش داده و فشار و تنش‌های سنگینی به منابع آب وارد نموده و مخاطرات جدی را برای امنیت غذایی آینده و توسعه پایدار محیط‌زیست فراهم خواهد نمود. (۲۴، ۲۵، ۲۱، ۷ و ۶). از طرفی میزان آب مصرفی پایه و ردپای آب (water footprint) هر محصول در هر منطقه تحت تأثیر اقلیم آن منطقه، میزان تولیدات، الگوی مصرفی مردم، عملیات کشاورزی و راندمان کاربرد آب در آن منطقه متغیر است، لذا نیاز به مفهومی است که بتوان با آن نیاز آب واقعی هر محصول را به‌حساب آورد. شاخص ردپای آب به‌عنوان یک شاخص جامع نشان‌دهنده مقدار واقعی آب مصرفی بر اساس شرایط و اقلیم هر منطقه می‌باشد. این شاخص برای اولین بار توسط هواکسترا در سال ۲۰۰۲ معرفی و در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای توسط متخصصین در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. ردپای آب یک محصول تولیدکننده یا مصرف‌کننده، به سه جز رنگی تقسیم می‌شود: ردپای آب سبز، آبی و خاکستری. آب سبز، آب باران است که موقتاً در خاک غیراشباع، روی سطح خاک و یا روی پوشش گیاهی ذخیره می‌شود. آب آبی به آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سفره‌های آبی و ... اطلاق

افزایش رو به رشد تقاضای آب شیرین در جهان برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت، منابع محدود آب را در معرض خطر جدی، استحصال بیشتر از حدود پایدار، کاهش و آلودگی قرار داده است. لذا حفاظت، توسعه پایدار منابع آب و استفاده بهینه از منابع آب دارای اولویت بسیار بالایی برای متخصصین صنعت آب دنیا است (۲۳). از طرف دیگر بیش از ۷۰ درصد تقاضا از منابع آب شیرین در دنیا به آب کشاورزی اختصاص داشته (۳۳) و به دلیل مصرف بسیار زیاد آب در کشاورزی، شناسایی و مدیریت اثرات بخش کشاورزی بر منابع آب توجه و ضرورت بیشتری را از طرف متخصصین به خود اختصاص داده است (۱۴، ۲۹ و ۳۰). همچنین پژوهشگران معتقد هستند که افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، تقاضای رو به رشد برای محصولات کشاورزی و تغییر اقلیم و همچنین تغییر شرایط اجتماعی -

۱، ۲، ۳، ۴ - به‌ترتیب دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* - نویسنده مسئول: (Email: montaseri@hotmailcom)

می‌شود که می‌توان از آن‌ها برای مقاصد آبیاری استفاده نمود. آب خاکستری و ردپای ناشی از آن به خاطر بیان حجم آب آلوده معرفی شده است. ردپای آب مفهومی مشابه، اما گسترده‌تر از آب مجازی را شامل می‌شود، چرا که این مفهوم ابعاد مکانی و زمانی را به مفهوم آب مجازی می‌افزاید، بنابراین ارتباطی میان فرموله کردن سیاست‌گذاری‌ها و ارزیابی به حساب می‌آید. در واقع ردپای آب شاخصی است که بر پایه مفهوم آب مجازی توسعه یافته است. به عبارت دیگر شاخص ردپای آب در مقیاس یک محصول همان مفهوم آب مجازی را تداعی می‌کند اما در مقیاس‌های بزرگ‌تر، از مفهوم آب مجازی، به عنوان ابزاری برای محاسبه استفاده می‌کند. چاپاگین و همکاران (۸) به بررسی ردپای آب مصرفی پنبه در سراسر جهان پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود تبخیر آب باران نفوذ یافته برای رشد پنبه (آب سبز مصرفی)، خروج آب سطحی یا آب زیرزمینی برای آبیاری (آب آبی مصرفی) و آلودگی آب در طول دوره رشد پنبه در سراسر جهان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد در دوره آمار ۲۰۰۱-۱۹۹۷ محصول پنبه به 256 Gm^3 (میلیارد متر مکعب) آب در هر سال نیاز دارد که ۴۲ درصد آب آبی، ۳۹ درصد آب سبز و ۱۹ درصد آب خاکستری است. وان اول و همکاران (۳۱) به بررسی ردپای آب خارج شده از هلند و محصولات وارد شده پرداختند. سرانه ردپای کل آب هلند $2300 \text{ m}^3/\text{year}$ می‌باشد که ۶۷ درصد آن به مصرف محصولات کشاورزی، ۳۱ درصد به مصرف کالاهای صنعتی و ۲ درصد به مصرف آب خانگی رسیده است. چاپاگین و هواکسترا (۹) در مقاله‌ای با عنوان "ردپای آب آبی، سبز و خاکستری برنج از دیدگاه تولید و مصرف" به ارزیابی جهانی ردپای آب برنج با استفاده از داده‌های محلی و آبیاری واقعی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ردپای جهانی آب برای برنج $784000 \text{ m}^3/\text{year}$ با متوسط m^3/ton ۱۳۲۵ می‌باشد که ۴۸ درصد آن مربوط به آب سبز، ۴۴ درصد آب آبی و ۸ درصد آب خاکستری است. در هند، اندونزی، ویتنام، تایلند، میانمار و فیلیپین، بخش آب سبز به نسبت قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از بخش آب آبی است. این در حالی است که در ایالات متحده آمریکا و پاکستان آب آبی بیشتر از ۴ برابر آب سبز می‌باشد. ردپای آب برای برنج در هند تنش کمتری به منابع آب نسبت به آمریکا و پاکستان وارد می‌کند. ارسین و هواکسترا (۱۰)، در مقاله‌ای توسعه سناریو ردپای آب سال ۲۰۵۰ را بر اساس تعدادی از محرک‌ها از جمله رشد جمعیت، رشد اقتصادی، الگوی تولید-تجاری، الگوی مصرف (تغییر در رژیم غذایی، استفاده از انرژی زیستی) و توسعه فن‌آوری برای کل جهان مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کاهش ردپای آب انسان حتی با افزایش جمعیت به شرطی که الگوهای مصرف تغییر یابند شدنی است. وانگ و همکاران (۳۲)، به مقایسه دو روش حجمی و وزنی-تنشی در محاسبه ردپای آب محصولات دانه‌ای در

چین پرداختند. آن‌ها در این تحقیق مقدار کل ردپای آب محصولات دانه‌ای را در روش حجمی برابر $1/25 \text{ m}^3/\text{kg}$ و در روش وزنی-تنشی $0/51 \text{ m}^3/\text{kg}$ بیان کردند. آنها روش حجمی محاسبه ردپای آب محصولات زراعی را کارتر معرفی کرده و علت این امر را استفاده بیشتر محصولات دانه‌ای از آب سبز دانسته و بیان کردند که روش حجمی برخلاف روش وزنی-تنشی که آب سبز محصولات را در نظر نمی‌گیرد و صرفاً برای محاسبات میزان آب مصرفی و انتقال یافته بین حوضه‌ای کاربرد دارد، آب سبز گنجانده شده در محصولات را به‌خوبی مورد محاسبه قرار می‌دهد. غلامحسین پور جعفری نژاد و همکاران (۱۵) در تحقیقی به محاسبه میزان ردپای اکولوژیک آب در محصولات کشاورزی پسته و خرمای استان کرمان پرداختند. آن‌ها در این تحقیق شاخص ردپای آب در بخش کشاورزی را $5/56$ میلیارد متر مکعب تخمین زدند که به ازای هر نفر $2/97$ متر مکعب در سال است.

افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای به دلیل رشد صنایع، تغییر کاربری اراضی و تخریب محیط‌زیست سبب افزایش درجه حرارت اتمسفر کره زمین و فراتر از آن تحت تأثیر قرار دادن دیگر متغیرهای اقلیمی گشته و موجب بروز پدیده تغییر اقلیم^۱ شده است. بر اساس گزارشات هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۲ (IPCC)، اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نیابد، متوسط دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به میزان $1/1$ تا $4/6$ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. پدیده گرمایش جهانی^۳ و تغییر اقلیم حاصل از آن، اثرات قابل توجهی بر چرخه آبی و سیستم منابع آب دارد. تغییرات اقلیم باعث تغییر در مدت، شکل و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین و نیز باعث تغییر در حجم، مدت، و زمان رواناب می‌شود، که پیامد این اتفاق در عرصه مدیریت منابع آب تحولات و تغییرات بسیاری به وجود خواهد آورد (۱۹).

در مطالعه‌ی تغییر اقلیم در ایران و حوزه‌ی کشاورزی و منابع آب، تمرکز بیشتری روی تأثیرات پدیده‌ی تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی و آبدی رودخانه‌ها بوده است. بابائیان و همکاران (۵) با استفاده از مدل گردش عمومی ECHO-G و ریزمقیاس‌کننده‌ی LARS-WG برای دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ به افزایش میانگین سالانه دما به میزان $0/5$ درجه و کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور رسیدند و بیشترین افزایش دما در دهه‌ی ۲۰۲۰ را متعلق به استان‌های خراسان، آذربایجان غربی و شرقی بیان نمودند. ضرغامی و همکاران (۳۴) تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی را بررسی کردند که نشان دهنده افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش میانگین سالانه تا ۶۰ میلی‌متر با استفاده از

۱- Climate change

۲- Intergovernmental Plan on Climate change

۳- Global Warming

کشت در سال پیش رو جهت کاهش مصرف آب کشاورزی و کمک در تأمین حقایق دریاچه ارومیه مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از حوضه‌های آبریز شش‌گانه اصلی ایران، در شمال غرب کشور ایران واقع شده و بخش‌های وسیعی از اراضی استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان را شامل می‌شود. این حوضه با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع و مساحتی معادل ۳/۲ درصد مساحت کل کشور، بین مدارهای ۰۷° ۴۴ تا ۵۳° ۴۷ طول شرقی و ۳۰° ۳۸ تا ۳۵° ۴۰ عرض شمالی قرار گرفته است. ۱۳ رودخانه اصلی، زهکشی جریان-های سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بعهده داشته و رودخانه-های مذکور پس از تأمین آب کشاورزی و شرب اراضی دشت‌های حاصلخیز و مناطق مسکونی مسیر جریان، خود به دریاچه ارومیه تخلیه می‌شوند. در حال حاضر دریاچه ارومیه به دلیل توسعه چند برابری اراضی زیر کشت آبی و متعاقباً افزایش آب مصرفی کشاورزی و تغییر اقلیم از تعادل هیدرولوژیکی برخوردار نبوده، به تریبی که بالاتر از ۹۰ درصد حجم ذخیره خود را از دست داده و در معرض خشک شدگی قرار گرفته است. لذا برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه آبریز مذکور اولویت مطالعاتی بسیار بالایی داشته و این امر نیازمند تمرکز بر نحوه و میزان مصرف ذخایر آبی می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز مطالعه

در این تحقیق برای مدل‌بندی و پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در محدوده مطالعاتی برای سال‌های آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌کننده LARS-WG، از داده‌های روزانه هواشناسی هفت ایستگاه سینوپتیک یعنی سلماس، ارومیه، مهاباد، تکاب، تبریز، مراغه و سراب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۷ (۳۰ ساله) استفاده شده است. ایستگاه‌های مذکور تقریباً دارای توزیع یکنواخت در تمامی سطح حوضه آبریز بوده و محدوده‌ی تحت پوشش هر کدام از آنها نیز بر اساس عرض جغرافیایی، خصوصیات مشترک دشت‌ها و منابع آب تعیین شده است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک و محدوده‌ی تحت پوشش آن‌ها را نشان می‌دهد و همچنین مشخصات آماری داده‌های سالانه ایستگاه‌های مذکور در جدول (۱) ارائه شده است. ضمناً جهت کنترل کیفی داده‌های آماری ایستگاه‌های منتخب، آزمون‌های بررسی همگنی و تصادفی بودن داده‌ها به ترتیب با استفاده از روش‌های جرم مضاعف و ران تست انجام پذیرفته (۲۰)

مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 (رشد سریع جمعیت جهان و اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان) و ریز-مقیاس‌کننده LARS-WG در دوره ۲۰۸۰ الی ۲۰۹۹ میلادی بود. علیراده و همکاران (۱) اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق در آینده را بررسی کردند. تأثیر تغییر اقلیم در دمای حداقل، حداکثر و میانگین و بارش تحت سناریوی A2 و برای سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و با استفاده از مدل HadCM3 در حوضه کشف رود بررسی گردید که نتایج نشان‌دهنده افزایش دما می‌باشد. آن‌ها در این تحقیق نشان دادند که در صورت افزایش دمای هوا به میزان ۱، ۲ و ۴ درجه سانتی‌گراد، نیاز آبی الگوی کشت گیاهان در دشت کشف رود به ترتیب ۶، ۱۰ و ۱۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. اشرف و همکاران (۳) جهت بررسی تغییر مصرف آب گندم در استان خراسان رضوی در دو دهه‌ی آینده، ابتدا پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی را با استفاده از مدل LARS-WG طبق سه سناریوی A1B (رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهش و رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر) و A2 (رشد سریع جمعیت جهان و اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان) و B1 (همگرایی جمعیت در سطح جهان و تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر)) شبیه‌سازی کردند. سپس تبخیر-تعرق پتانسیل و واقعی به روش هارگریوز-سامانی و بارندگی مؤثر به روش فائو محاسبه شده و نیاز آبی گیاه در ۲۰ سال آینده در مقایسه با دوره پایه (۱۳۸۹-۱۳۷۰) تعیین گردید. نتایج نشان داد که دمای حداقل و حداکثر در همه ایستگاه‌های منتخب بین ۴/۸ الی ۸۱ درصد افزایش خواهد یافت. و در اثر این تغییرات، نیاز آبی گندم در اغلب شهرهای استان به‌جز تربت جام که با افزایشی برابر ۱۷ و ۱۴ و ۱۸ درصد برای هر سه سناریو مواجه خواهد شد و سرخس که با کاهش برابر ۱۴ و ۱۵ و ۱۵ درصد در دوره رشد گندم مواجه خواهد شد، تغییر محسوسی نخواهد داشت.

بررسی تحقیقات فوق بیانگر نگرانی‌های بسیار جدی متخصصین منابع آب از افزایش تقاضای آب کشاورزی و اعمال تنش‌های روزافزون به منابع آب شیرین در نقاط مختلف دنیا به دلیل بالا رفتن تقاضای محصولات کشاورزی و تغییر اقلیم بوده و ضرورت نگرش نو و استفاده از معیار یا شاخص‌های جامع و کارآمدتری مانند رد پای آب را برای تعیین مقدار واقعی آب مصرفی محصولات کشاورزی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه و پایدار مصرف آب کشاورزی بیان می‌کند. لذا در این مطالعه رد پای آب سبز و آبی پنج محصول زراعی تولیدی اصلی در اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای دوره آماری (۲۰۰۷-۱۹۷۶) و دو دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۵) با لحاظ نمودن اثر تغییر اقلیم به‌عنوان یک راهکار نو و مؤثر در راستای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری پایدار و بهینه نمودن الگوی

و نتایج آزمون‌های مذکور درستی فرضیه همگنی و تصادفی بودن داده‌ها را تأیید نموده است که نتایج آن به علت محدودیت صفحات مقاله ارائه نشده است. محصولات زراعی مورد نظر در این مطالعه محصولات رایج با طول دوره رشد و نیاز آبی متفاوت شامل گندم، چغندر، گوجه‌فرنگی، یونجه و ذرت علوفه‌ای بوده که به‌طور مشترک در تمامی دشت‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه کشت می‌شود.

تولید داده‌های هواشناسی برای سال‌های آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶)

مدل‌های سه بعدی گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس AOGCM^۱ که بر پایه قوانین فیزیکی استوار می‌باشند، از معتبرترین ابزارها برای تولید سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آتی هستند. مدل‌های گردش عمومی جو هیچگاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند، آن‌ها نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی، پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس‌های محلی بهبود یابند (۴). مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، امکان ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی‌کننده‌های جوی بزرگ‌مقیاس (Predictors) (جهانی) و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده (عموماً دما و بارندگی) در مقیاس ناحیه‌ای (Predictands) را فراهم می‌کنند. خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس‌نمایی می‌شوند. روش آماری دو مزیت عمده نسبت به روش دینامیکی داشته، یکی اینکه نیازمند رفتار مشاهده‌ای (گذشته) ایستگاه مورد مطالعه است و دیگری اینکه مدل‌سازی برای یک دوره حدود دو تا سه دهه در کسری از ثانیه انجام می‌شود. در مراکز تحقیقاتی معتبر دنیا مدل‌های گردش عمومی مختلفی از جمله ECHO-G، HadCM3، HADGEM و ... توسعه‌یافته که بر اساس سناریو مختلف تولید گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف AOGCM در شبیه‌سازی و پیش‌بینی دما و بارندگی در سال‌های آتی نشان می‌دهد که مدل HadCM3 مقادیر دما و بارندگی را با دقت بالاتری برآورد می‌کند (۲۲).

سناریوهای برآورد تولید گازهای گلخانه‌ای در دو کلاس سناریوی اقلیمی و سناریوی انتشار طبقه‌بندی می‌شوند. سناریوهای انتشار با لحاظ شرایط اقتصادی، اجتماعی و توسعه‌ای به پیش‌بینی و برآورد میزان گازهای گلخانه‌ای و سایر گازهای آلاینده جوی در آینده می‌پردازند و هیچ‌گونه پیش‌بینی از وضعیت اقلیم و متغیرهای اقلیمی برای آینده نمی‌دهند، اما سناریوهای اقلیمی موضوعشان پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در آینده بوده که ابزار این پیش‌بینی‌ها مدل‌های

دینامیکی اقلیمی است. سناریوهای اقلیمی برای پیش‌بینی آینده از داده‌های سناریوهای انتشار استفاده می‌کنند. سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط IPCC با توجه به مسائل مختلف سیاسی، اقتصادی، تکنولوژی و جمعیتی ارائه شده‌اند که هر کدام از این سناریوها دارای خصوصیتی مانند رشد سریع اقتصادی، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر، همگرایی جمعیت در سطح جهان و ... می‌باشند. به‌طور کلی ۴۰ سناریوی مختلف وجود دارند که هر کدام فرضیات متفاوتی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، پوشش سطح زمین، غلظت CO₂ و دیگر متغیرهای اقلیمی در آینده را مدنظر قرار داده‌اند. علاوه بر آن فرضیاتی برای نحوه توسعه فنی و رشد اقتصادی آینده کشورها را در نظر گرفته‌اند. یکی از سناریوهای مطرح در شبیه‌سازی و پیش‌بینی سری داده‌های اقلیمی برای آینده، سناریو A2 است. مشخصات این سناریو، رشد سریع جمعیت جهان (مانند رشد جمعیت در کشورهای جهان سوم) و اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان می‌باشد.

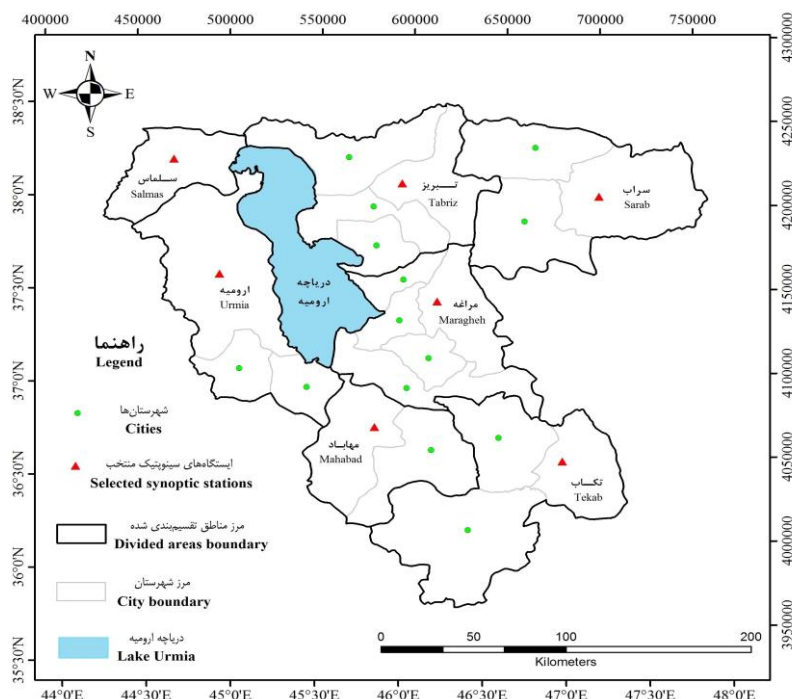
مدل LARS-WG^۲، مدل آماری ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو بوده و مولد مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد، تحت شرایط اقلیم حال و آینده به‌کار رود. نسخه اولیه مدل LARS-WG توسط سیمونوف و بارو (۲۸) ابداع و برای اولین بار در ایستگاه تحقیقاتی Long Ashton به کار گرفته شد. این مدل یکی از روش‌های معتبر و رایج بوده و محققین زیادی استفاده از آن را پیشنهاد می‌نمایند. در این مدل طول سری‌های زمانی دمای خشک و تر، بارش روزانه و تشعشع خورشیدی روزانه به عنوان ورودی‌های مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مدل فرض بر این است که دما دارای توزیع نرمال بوده و متوسط و انحراف معیار دمای روزانه مطابق با سری فوریه محدود تغییر می‌کند. برای دماهای حداکثر و حداقل، فرض می‌شود که خودهمبستگی زمانی در طول سال برای یک ایستگاه معین به‌صورت ثابت باشد. در خصوص تشعشع خورشیدی نیز، توزیع‌های نیمه تجربی با بازه‌های مساوی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۸).

نیاز آبی و ردپای آب

از آنجایی که کشاورزی عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده آب است لذا تولیدات کشاورزی اغلب دارای ردپای آب قابل توجهی هستند شاخص ردپای آب (رابطه ۳) به‌عنوان یک شاخص جامع نشان‌دهنده‌ی مجموع مقادیر آبی است که هم به‌صورت مستقیم (نیاز آبی گیاه) و هم به‌صورت غیرمستقیم (آب نهان مصرف‌شده در بخش فرآوری محصول) برای تولید نهایی آن محصول مصرف می‌شود.

۲- Long Ashton Research Station Weather Generator

۱- Atmospheric-Ocean General Circulation Model



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Location of synoptic stations in the studied area

جدول ۱- مشخصات آماری داده‌های سالانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مطالعاتی
Table 1- Statistical properties of annual meteorological data of synoptic stations in the study area

پارامتر Parameter	دمای حداقل Minimum Temperature		دمای حداکثر Maximum Temperature		بارندگی Precipitation		ساعات آفتابی Sunshine Hours		
ایستگاه Station	ارتفاع Altitude	میانگین Average	ضریب تغییرات Coefficient of Variation	میانگین Average	ضریب تغییرات Coefficient of Variation	میانگین Average	ضریب تغییرات Coefficient of Variation	میانگین Average	ضریب تغییرات Coefficient of Variation
		(C°)	(%)	(C°)	(%)	(mm)	(%)	(hr)	(%)
ارومیه Urmia	1328	5	65.6	17.4	62.4	323.4	64.2	6.7	34.6
تبریز Tabriz	1361	7.5	65.7	18.4	60.7	261	61.5	6.3	32.8
تکاب Tekab	1817	2.4	76.1	16.1	74.9	346.7	66.4	6.9	32.3
سراب Sarab	1682	5.8	61.2	18.8	61.4	228	52.3	7.2	35.5
سلماس Salmas	1337	5.7	60.4	18.6	62.9	252.3	55.8	6.1	35.8
مراغه Maragheh	1478	7.7	60.5	18.3	59.7	291.8	67.8	7.5	31.9
مهاباد Mahabad	1352	6.7	54.2	18.9	61.5	420.6	70	7.2	33.1

year که نشان دهنده میزان مصرف محصول از بارندگی از طریق تبخیر- تعرق می‌باشد و WF_{grey} ردپای آب خاکستری برحسب (m^3/ha) year به عنوان حجم آبی که برای جذب آلاینده‌ها از آب به منظور ساختن آب شیرین و قابل استفاده می‌باشد. و یا به عبارت دیگر میزان آبی که لازم است تا بتوان کیفیت آب‌های آلوده را به سطح استاندارد و مطلوب رساند.

ردپای آب آبی محصولات تولیدی به آب آبیاری (IR) مرتبط بوده و از طریق نیاز آبیاری (m^3/ha) در سطح زیر کشت واقعی (ha) در هر سال محاسبه می‌شود. نیاز آبیاری با توجه به نوع محصول و بارندگی در طول سال متفاوت بوده و کاملاً مبتنی بر وضعیت واقعی محصولات کشاورزی می‌باشد.

$$WF_{blue} = 10 \times ET_{blue} \times A \quad (4)$$

$$ET_{blue} = \min\{0, ET_C - Pe\} \quad [\text{length/time}] \quad (5)$$

آب سبز به حجم آبی اطلاق می‌شود که در مناطق غیراشباع خاک به صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود. این منبع آبی در مناطق دیم به صورت مؤثر صرف تعرق گیاهی می‌شود و یا از سطح خاک و آب‌های آزاد به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌گردد. بنابراین ردپای آب سبز به بارندگی مؤثر و تعرق گیاه مرتبط بوده و با مدل CropWAT قابل محاسبه می‌باشد (۱۲).

$$WF_{green} = 10 \times ET_{green} \times A \quad (6)$$

$$ET_{green} = \min\{Pe, ET_c\} \quad [\text{length/time}] \quad (7)$$

که در این معادله ET_{green} تبخیر- تعرق آب سبز برحسب (mm) از طریق تبخیر- تعرق گیاه در طول دوره رشد، Pe بارش مؤثر برحسب (mm) و A ، سطح زیر کشت محصولات برحسب (ha) می‌باشد. عدد ۱۰ نیز به منظور تبدیل عمق آب در میلی‌متر به حجم آب در سطح زمین m^3/ha می‌باشد.

آب خاکستری مصرفی به صورت آب موردنیاز برای جذب آلودگی نیتروژن از کودهای شیمیایی با استفاده از رابطه (۸) ارزیابی می‌شود:

$$WF_{grey} = (\delta \times U_N \times 10^6) / \rho_0 \quad (8)$$

که در آن U_N میزان کود نیتروژن به کار رفته برحسب (ton)، δ میزان آبشویی برآورد شده برای آب شیرین که بین ۵ الی ۱۵ درصد است و ρ_0 غلظت مجاز نترات آب آشامیدنی است که از مقدار محدوده یا حد مجاز سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا 10 mg L^{-1} (۱) استفاده می‌گردد.

آلن و همکاران (۲) به منظور محاسبه تبخیر- تعرق روزانه فرمول (۹) را ارائه دادند.

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_0 \quad [\text{length/time}] \quad (9)$$

که در آن $K_c[t]$ ضریب گیاهی و $K_s[t]$ عامل بدون بعد کاهش تعرق که وابسته به آب قابل دسترس در خاک می‌باشد. $ET_0 [t]$ نیز

لذا در بررسی ردپای آب یک محصول باید هر دو بخش مصرف مستقیم و غیرمستقیم مورد محاسبه قرار گیرند. قدم اول در محاسبه نیاز آبی گیاهان برآورد مقدار دقیق تبخیر- تعرق مرجع می‌باشد. محاسبه و پیش‌بینی مقدار دقیق تبخیر- تعرق روزانه و به تبع آن برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان زمینه را برای طراحی مناسب تأسیسات آبیاری فراهم نموده و ضمن کاهش هزینه‌های اجرا باعث ارائه برنامه‌ی مناسب بهره‌برداری از منابع آب بخش آبیاری و کشاورزی می‌گردد. در این تحقیق به منظور محاسبه تبخیر- تعرق و نیاز آبی از نرم‌افزار CropWat 8.0 استفاده گردید. داده‌های ماهانه هواشناسی شامل میانگین دمای حداقل، دمای حداکثر، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعت آفتابی پارامترهای ورودی مدل هستند. برای مشخصات گیاهان و خاک نیز از مقادیر پیشنهادی فائو که به عنوان پیش‌فرض در مدل مذکور لحاظ شده، استفاده گردید (۱۱، ۱۲، ۱۳). این نرم‌افزار با استفاده از معادله فائو- پنمن- مونتیث به محاسبه تبخیر- تعرق می‌پردازد. یکی از معادلاتی که به صورت تئوری بر اساس توازن روی یک سطح مرطوب پوشیده از گیاه ارائه گردیده است، معادله موسوم به فائو- پنمن- مونتیث بوده که به عنوان دقیق‌ترین و استانداردترین روش برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع که در حال حاضر اساس محاسبات نیاز آبی می‌باشد، معرفی گردیده است (۲). معادله فائو- پنمن- مونتیث به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در این معادله، ET_0 تبخیر- تعرق مرجع برحسب $[mm \text{ day}^{-1}]$ ؛ R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی برحسب $[MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$ ؛ T ، متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین برحسب $[^\circ C]$ ؛ U_2 ، متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین برحسب $[m \text{ s}^{-1}]$ ؛ $e_s - e_a$ ، کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری برحسب $[kPa]$ ؛ Δ ، شیب منحنی فشار بخار برحسب $[kPa^\circ C^{-1}]$ ؛ γ ، ضریب سایکرومتری برحسب $[kPa^\circ C^{-1}]$ و G ، شار گرما به داخل خاک برحسب $[MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$ می‌باشد.

ردپای آب (WF) محصولات مجموع آب آبی، آب سبز و آب خاکستری می‌باشد (۸).

$$WF = \sum_i wf_i \quad (2)$$

$$WF = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey} \quad (3)$$

که در آن WF، ردپای کل محصولات تولیدی برحسب (m^3/ha) ، wf_i ردپای آب برای هر نوع از محصول، WF_{blue} ردپای آب آبی برحسب (m^3/ha) که از منابع آب سطحی و زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است، WF_{green} ردپای آب سبز برحسب (m^3/ha)

ارتفاع قابل توجه سه ایستگاه مذکور از هم می‌باشد. همچنین با توجه به شکل (۳)، مقادیر متوسط دمای سالانه پیش‌بینی شده برای سال‌های آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در تمامی ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی نسبت به داده‌های تاریخی افزایش حدود یک و دو درجه را نشان می‌دهد. ضمناً تغییرات نزولات جوی تقریباً با افزایش ۳ و کاهش ۵ درصدی بارندگی سالیانه بترتیب در دو دوره آتی مذکور در منطقه بوده است. بطور کلی، نتایج حاصل بیانگر افزایش دمای سالانه در حوضه آبریز همراه با افزایش بارندگی در مناطق مرتفع و کاهش بارندگی در مناطق پست خواهد بود.

برای بررسی تغییرات بارندگی و دمای ماهانه در سال‌های آتی، از نمودار جعبه‌ای به ازای داده‌های بارندگی و دمای ماهانه تمام ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی برای سال‌های آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و داده‌های تاریخی استفاده شده که در نرم‌افزار SPSS رسم گردیده و در شکل‌های (۴) و (۵) تنظیم و ارائه شده است. نمودار شکل (۳) بیانگر نزول بالاتر از ۹۶ درصد بارندگی‌های سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال‌های آتی ذکر شده همانند سال‌های گذشته در طی ماه‌های اکتبر الی ژوئن خواهد بود و تنها کمتر از ۴ درصد آن به ماه‌های گرم سال یعنی ماه‌های ژوئن الی اکتبر که به‌عنوان فصل اصلی کشاورزی در منطقه مطرح بوده، اختصاص دارد. لذا میزان آب سبز محصولات کشاورزی در طی ماه‌های گرم مذکور تقریباً صفر بوده و آب سبز هیچ نقشی در تأمین نیاز آبی محصولات کشاورزی ندارد.

ضمناً مقایسه نمودارهای جعبه‌ای بارندگی ماهانه در شکل (۴) نشان می‌دهد که میزان بارندگی در سال‌های آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در منطقه برای ماه‌های اکتبر الی فوریه به‌طور متوسط ۱۰ و ۱۳ درصد افزایش و مقدار آن برای بقیه ماه‌های سال حدود ۱۲ الی ۱۷ درصد کاهش خواهد یافت که این امر همراه با افزایش تقریباً ۱/۲ و ۰/۶ درجه‌ای دما به ترتیب در ماه‌های گرم (آوریل الی سپتامبر) و سرد (اکتبر الی مارس) سال است (شکل ۵) و لذا امکان شیفت و شروع زودتر فصول کشاورزی را فراهم خواهد نمود.

تبخیر- تعرق پتانسیل به‌عنوان یکی دیگر از پارامترهای مهم هواشناسی متأثر از تغییر اقلیم بوده و نقش اساسی و اصلی در برآورد آب مورد نیاز یا مصرفی گیاهان دارد که در این بخش مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نمودار تغییرات متوسط تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه بر اساس داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده برای دو دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در شکل (۶) نشان داده شده است. نمودار مذکور نشان می‌دهد که میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در ماه‌های گرم سال (ژوئن الی سپتامبر) در سال‌های آتی دارای افزایش ۴/۵ درصدی نسبت به داده‌های تاریخی بوده و این امر به‌تبع افزایش دما و رطوبت نسبی نسبتاً پایین در ماه‌های مذکور است.

تبخیر- تعرق مرجع است. $K_s[t]$ بر اساس تابع روزانه حداکثر مقدار واقعی رطوبت قابل دسترس در ناحیه ریشه خاک، قابل محاسبه است.

$$K_s[t] = \begin{cases} \frac{S[t]}{(1-p) \times S_{\max}[t]}, & S[t] < (1-p) \times S_{\max}[t] \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

در فرمول (۹)، $S_{\max}[t]$ ماکزیمم رطوبت قابل دسترس در ناحیه ریشه خاک در حالت ظرفیت زراعی زمین می‌باشد. همچنین p کسری از S_{\max} است که در آن یک محصول می‌تواند آب مورد نیاز خود را بدون تنش از منطقه ریشه جذب نماید (۱۷).

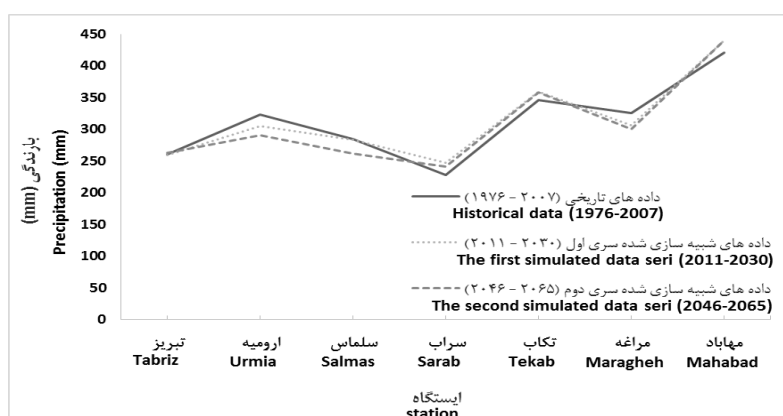
در این مطالعه بر اساس روش‌های ذکر شده، ابتدا مدل ریزمقیاس اقلیمی LARS-WG با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی (بارندگی، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی) هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک هفتگانه انتخابی برای سال‌های آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۷ کالیبره گردیده و سپس داده‌های روزانه هواشناسی برای دو دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی تحت سناریو A2 در هر کدام از ایستگاه‌ها تولید شده است. در مرحله بعد مقادیر داده‌های هواشناسی پیش‌بینی شده برای برآورد نیاز آبی محصولات مورد مطالعه و تعیین میزان آب سبز و آب آبی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج و بحث

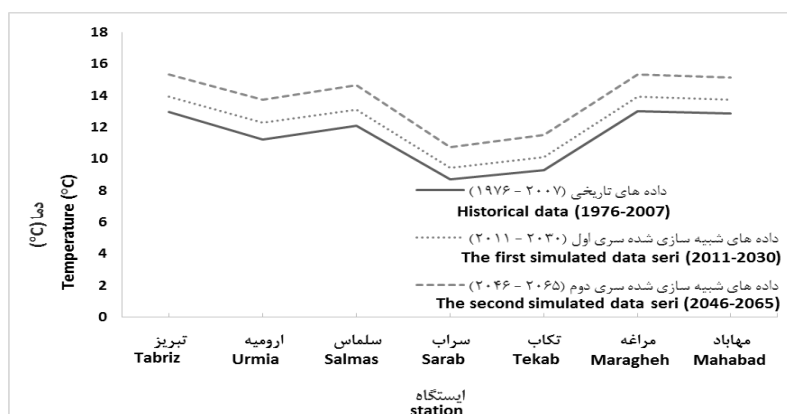
در این بخش نتایج حاصل از مطالعه در دو قسمت اصلی خلاصه و تنظیم شده است. در قسمت اول نتایج مربوط به پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی برای دو دوره آماری در آینده یعنی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰۴۶) بر اساس مدل LARS-WG با مقادیر داده‌های تاریخی مقایسه شده و در قسمت دوم نتایج رد پای آب برای دو دوره آتی و تاریخی ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

پیش‌بینی داده‌های هواشناسی

مقادیر متوسط بارندگی و دمای سالانه برای دوره‌های آتی و تاریخی برای ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مطالعاتی به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) مورد مقایسه قرار گرفته است. بر اساس شکل (۲)، مقادیر متوسط بارندگی سالانه پیش‌بینی شده برای دو دوره‌های آتی مورد نظر در تمامی ایستگاه‌ها به‌استثنای ایستگاه سینوپتیک تبریز دارای انحراف از مقادیر تاریخی بوده و این انحراف در جنوب (مهاباد و تکاب) و غرب (ارومیه و سلماس) حوضه آبریز دریاچه ارومیه به ترتیب افزایش و کاهش بارندگی سالانه در دوره‌های آینده را نشان می‌دهد. ولی این انحراف در شرق محدوده مطالعاتی (تبریز، سراب و مراغه) دارای یک روند مشخص افزایشی یا کاهشی یکسان نیست و احتمالاً متأثر از ارتفاع ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز، سراب و مراغه و اختلاف



شکل ۲- تغییرات میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 2- Monthly mean precipitation variations in studied area stations



شکل ۳- تغییرات میانگین دمای هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 3- Monthly mean temperature variations in studied area stations

۱۹۷۶-۲۰۰۷ فرض شده و پنج محصول کشاورزی با خصوصیات زراعی متفاوت یعنی گندم، چغندرقد، یونجه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر شاخص ردپای آب یعنی حجم آب مصرفی به‌ازای وزن واحد محصول (بر حسب متر مکعب در تن) به تفکیک آب آبی و آب سبز برای پنج محصول زراعی مذکور در بخش‌های هفتگانه منطقه در جدول (۲) تنظیم و ارائه شده است.

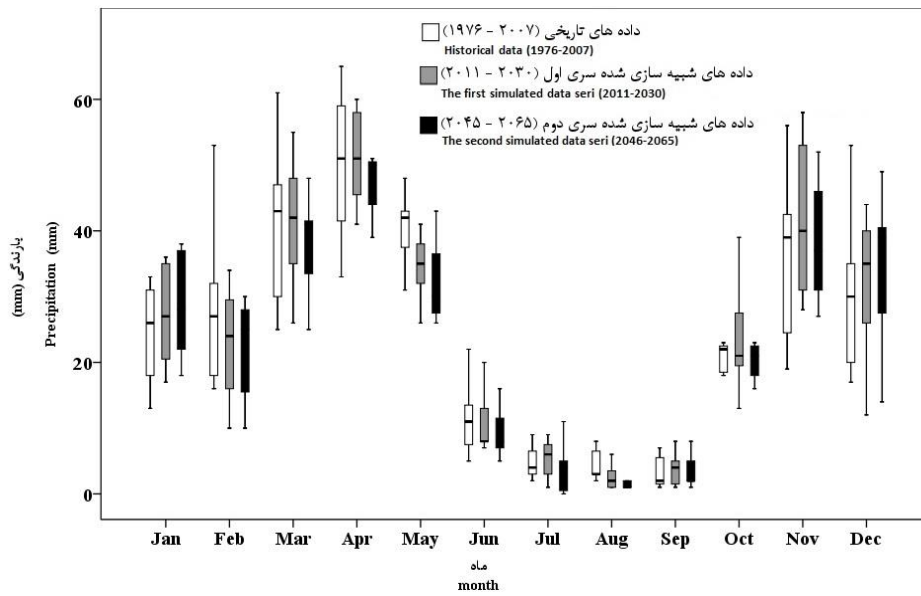
بر اساس جدول (۲)، ردپای آب آبی و آب سبز محصولات چغندر، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در اکثریت نقاط محدوده مورد مطالعه به ترتیب روند افزایشی و کاهش‌ی نشان می‌دهند که کاملاً همسو با روند افزایش دما و کاهش بارندگی در فصول بهار و تابستان در منطقه است. در حالی که عکس چنین روندی در بیشتر نقاط محدوده مطالعه برای محصول گندم مشاهده می‌شود که این امر ناشی از افزایش بارندگی در فصل پاییز در نقاط مختلف منطقه است.

از آنجائی که داده‌های سرعت باد در دوره آماری ثبت شده (۱۹۷۶-۲۰۰۷) در دسترس بوده و این پارامتر در مدل‌های تغییر اقلیم برای دوره‌های آتی قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. لذا سرعت باد در محاسبات مربوط به دوره‌های آتی برابر با مقادیر مشاهداتی آن در دوره آماری ثبت شده در نظر گرفته شده است. لذا به دلیل شرایط یکسان سرعت باد در دوره آماری ثبت شده و دوره‌های آتی، افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل مذکور نمی‌تواند ناشی از تغییرات سرعت باد باشد.

افزایش میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در سال‌های آتی باعث افزایش نیاز آبی گیاهان شده و در نتیجه می‌تواند الگوی مصرف آب کشاورزی محدوده مطالعاتی را تحت تأثیر قرار دهد.

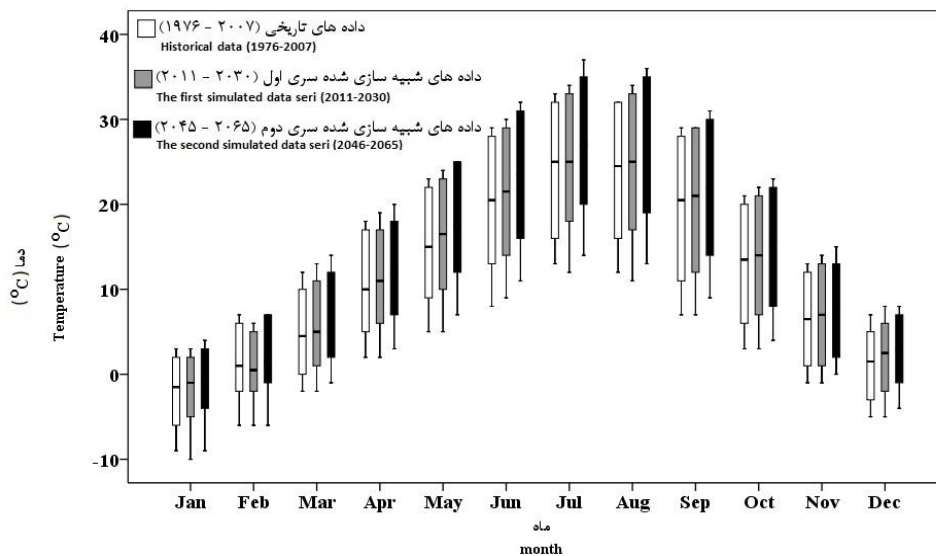
پیش‌بینی ردپای آب محصولات زراعی

برای پیش‌بینی و مقایسه ردپای آب محصولات زراعی در اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، عملکرد، سطح زیرکشت و تقویم زراعی محصولات برای دو دوره آتی مورد نظر مشابه دوره پایه



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای تغییرات بارندگی ماهانه داده‌های تاریخی و دو دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

Figure 4- Box plot diagram of monthly precipitation variations for historical data and two periods in the future (2011-2030), (2046-2065)

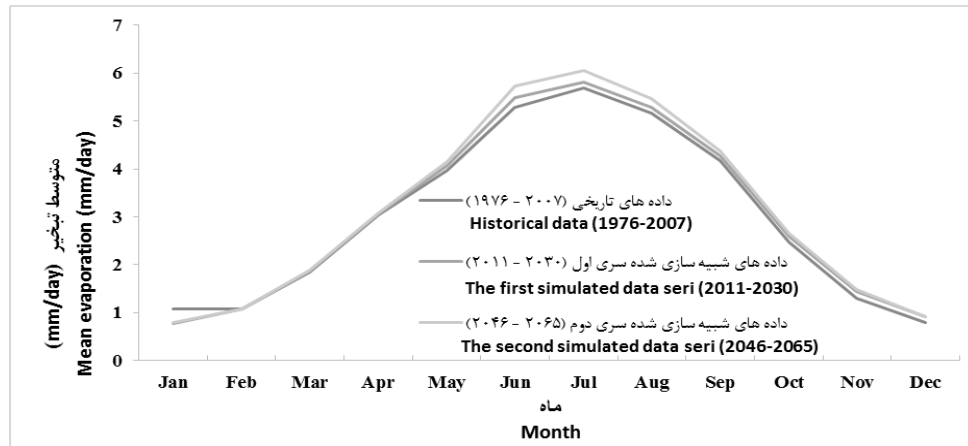


شکل ۵- نمودار جعبه‌ای تغییرات دمای ماهانه داده‌های تاریخی و دو دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

Figure 5- Box plot diagram of monthly temperature variations for historical data and two periods in the future (2011-2030), (2046-2065)

است و از طرف دیگر این دو محصول بیشتر از سه محصول دیگر تحت تأثیر بارندگی‌های سالانه بوده و کاهش یا افزایش این بارندگی‌ها، اثر قابل توجهی در مقدار آب مصرفی این دو محصول در دو جز آب آبی و سبز دارد.

محصولات گندم و یونجه دارای طول دوره رشد طولانی‌تر نسبت به سایر محصولات مورد بررسی بوده و دوره‌ی رشد این محصولات ماه‌های مرطوب یا پر باران سال یعنی نوامبر الی می را شامل گردیده و دارای ردپای آب سبز بیشتری نسبت به سایر محصولات مورد بررسی



شکل ۶- تغییرات میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک ارومیه در ماه‌های مختلف سال
Figure 6- Mean potential evapotranspiration variations of Urmia synoptic station in different months

جدول ۲- ردپای آب محصولات زراعی منطقه برحسب (m³/ton) در شرایط فعلی و دوره‌های آتی موردنظر
Table 2- Water footprint of regional crops in (m³/ton) for the historical and future periods

محصول	گندم		چغندر قند		یونجه		ذرت علوفه‌ای		گوجه‌فرنگی	
Product	Wheat		Sugar beet		Alfalfa		Maize		Tomatoes	
Cities	Blue WF	Green WF	Blue WF	Green WF	Blue WF	Green WF	Blue WF	Green WF	Blue WF	Green WF
ارومیه	560.6 ^a	696.1	116.9	16.1	850.4	286.1	107.8	5.9	172.5	14.8
Urmia	628.5 ^b	637.6	122.2	14.3	905.8	255.3	111	5.4	179.5	12.5
	658.8 ^c	623	128.8	13	951.3	245	116.6	4.4	188.7	10.8
تبریز	1007.3	552.1	182.1	16.8	1351.2	265.9	175.9	6.8	271.2	15.6
Tabriz	951.2	558.8	173	15.4	1290.9	250.5	164.3	6	256.1	13.4
	943.6	572.1	176.2	14.8	1312.9	245.4	166.9	5.4	260.2	12.6
تکاب	709.1	747.6	137.6	15.7	1011.2	307.5	127.9	5.5	202	13.9
Tekab	745.8	770.6	149.1	14.2	1094.6	302.2	134.7	4.7	216.1	11.2
	761.8	763.9	153.3	13.8	1131.7	292	139	4	222.8	10.2
سراب	1052.1	450.9	146.8	16.4	1152.6	235.8	136.3	8.3	214.5	17.5
Sarab	952.1	502.7	148.5	17.5	1139.1	253.7	139	7.6	218.5	16.7
	961.8	504.2	154.3	16.2	1174.6	247.6	144.4	6.5	226.8	14.9
سلماس	732.1	496.7	107.3	18.8	830.9	254.6	97.4	9.8	156.5	20.1
Salmas	732.7	575.5	124.9	19	950.3	264.7	112.3	9.2	180.8	19.7
	763.6	546.1	134	16.4	1008	246.3	120.4	7.5	194.1	16.4
مراغه	873	659.4	180	13.3	1311.4	263	171.8	3.8	268.2	10
Maraghah	735.8	656.7	166.8	12.6	1200.7	249.3	157.8	3.7	247.6	9.3
	755.8	644.8	170.8	11.8	1232.5	238.4	161	3	252.8	8.4
مهاباد	767.3	946.7	153.2	14.2	1133.4	340.3	139.9	3.5	222.8	10.4
Mahabad	707.3	879.7	151.6	14.5	1115.9	318	136.7	3.9	219.4	10.9
	850	664.2	153.5	12	1166.4	244.1	138.2	3.1	222.8	10.4

a (دوره ۱۹۷۶-۲۰۰۷)، b (دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰) و c (دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۰)
a (period 1976-2007), b (period 2011-2030) and c (period 2046-2060)

جدول ۳- نیاز آبی، ردپای آب و نسبت ردپای آبی به سبز محصولات در محدوده مطالعاتی

Table 3- Water requirement, Water footprint and the blue green water footprint ratio of crops in the studied area

محصول Product	نیاز آبی محصولات Crop water requirement mm/year	ردپای آب سبز Green WF	ردپای آب آبی Blue WF m ³ /ton	ردپای آب کل Total WF	ردپای آب سبز Green WF percent	ردپای آب آبی Blue WF	نسبت ردپای آبی به ردپای سبز Ratio of blue WF to green WF
گندم Wheat	483.4 ^a [473.1] ^b [472.1] ^c	649.9 [654.5] [616.9]	814.5 [779.0] [813.6]	1464.4 [1433.5] [1430.6]	44.4 [45.6] [43.2]	55.6 [54.4] [56.8]	1.2 [1.2] [1.3]
چغندر قند Sugar beet	859.6 ^a [866.0] ^b [885.2] ^c	15.9 [15.4] [14.0]	146.3 [148.0] [153.0]	162.2 [163.4] [167.0]	10.2 [9.5] [8.5]	89.8 [90.5] [91.5]	8.8 [9.5] [10.8]
گوجه‌فرنگی Tomatoes	823.4 ^a [824.3] ^b [844.8] ^c	14.6 [13.4] [11.9]	215.4 [216.9] [224.0]	229.9 [230.2] [236.0]	6.7 [6.0] [5.1]	93.3 [94.0] [94.9]	14.0 [15.8] [18.4]
یونجه Alfalfa	1041.8 ^a [1041.3] ^b [1057.1] ^c	279.0 [270.5] [251.3]	1091.6 [1099.6] [1139.6]	1370.6 [1370.2] [1390.9]	20.7 [19.9] [18.3]	79.3 [80.1] [81.8]	3.8 [4.0] [4.5]
ذرت علوفه‌ای Maize	675.7 ^a [627.7] ^b [689.1] ^c	6.2 [5.8] [4.8]	136.7 [136.5] [140.9]	142.9 [142.3] [145.8]	4.6 [4.2] [3.4]	95.4 [95.8] [96.6]	20.5 [22.8] [28.5]

a [دوره ۱۹۷۶-۲۰۰۷]، b [دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰] و c [دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۰]

a [period 1976-2007], b [period 2011-2030] and c [period 2046-2060]

مطالعه‌ای در دو بخش یعنی پیش‌بینی وضعیت هواشناسی و پیش‌بینی ردپای آب محصولات کشاورزی درک روشن و دقیق‌تری را از نتایج حاصل در مطالعه فراهم می‌کند. بر اساس نتایج بخش اول، بارندگی سالانه در سال‌های آتی دارای تغییرات مشابه در تمام نقاط حوضه آبریز نبوده و میزان بارندگی سالانه در مناطق جنوبی و غربی حوضه آبریز به ترتیب دارای روند افزایشی و کاهش‌ی خواهد بود. این در حالی است که نحوه افزایش دما در سراسر نقاط حوضه آبریز دارای روند مشابه بوده و انتظار است که میزان آن برای هر کدام از دوره‌های پیش‌بینی تقریباً برابر یک درجه سانتی‌گراد باشد که با نتیجه حاصل از مطالعه بابائیان و همکاران (۵) مطابقت دارد.

ضمناً نتایج این بخش بیانگر افزایش مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در ماه‌های گرم سال (ژوئن الی سپتامبر) در سال‌های آتی بوده و این امر موجب افزایش نیاز آبی گیاهان و در نتیجه تغییر الگوی مصرف آب کشاورزی خواهد بود. نتایج حاصل در بخش دوم نشان داد که، میزان ردپای آب آبی و آب سبز اکثر محصولات مختلف کشاورزی در سال‌های آتی به ترتیب دارای روند افزایشی و کاهش‌ی خواهد بود. با این وجود، محصول گندم با داشتن ردپای آب سبز تقریباً نزدیک به آب آبی دارای حساسیت بیشتری نسبت به تغییر اقلیم خواهد بود.

جدول (۳) مقادیر نیاز آبی، ردپای آب آبی و سبز و مقادیر نسبی آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۳) میزان آب مصرفی محصولات کشاورزی در دو دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در حدود یک الی سه درصد نسبت به شرایط فعلی با استثنای گندم افزایش خواهد داشت. در حالی که محصول گندم با داشتن کمترین نیاز آبی با کاهش نیاز آبی در دو دوره آتی همراه بوده، که این امر به دلیل کشت پاییزه گندم و افزایش نسبی بارندگی‌ها در فصل پاییز در دوره‌های آتی خواهد بود. ضمناً بر اساس جدول مذکور محصول گندم بیشترین ردپای آب کل و آب سبز محصولات مورد بررسی را داشته و مقدار آب سبز آن حدود ۴۳ الی ۴۶ درصد آب مصرفی آن را تشکیل می‌دهد. این مقدار برای سایر محصولات به طور قابل توجهی کوچک بوده و بیانگر وابستگی بسیار بالا این محصولات به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. همچنین نتایج حاصل تغییر سهم آب آبی و آب سبز را با افزایش یک درصدی و کاهش دو درصدی بترتیب در دو دوره آتی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

همان‌طوری که در فصل قبل مشاهده گردید، تفکیک نتایج چنین

منابع

- 1- Alizadeh A., Sayari N., Hesami Kermani M.R., Bannayan Aval M., and Farid Hossaini A. 2010. Assessment of Climate Change Potential Impacts on Agricultural Water Use and Water Resources of Kashaf rood basin. Journal of Water and Soil. Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 815-835. (in Persian with English abstract)

- 2- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration– Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
- 3- Ashraf B., Mousavi-Baygi M., Kamali G.A., and Davari K. 2012. Evaluation of wheat and Sugar beet water use variation due to climate change effects in two coming decades in the selected plains of Khorasan Razavi province. Iranian journal of irrigation and drainage No. 2, Vol. 6, Summer 2012, p. 105-117. (in Persian with English abstract)
- 4- Babaeian I., Karimian M., Modirian R., and Habibi Nokhandan M. 2007. Simulating rainfall of cold months in 1376 and 1379 by using RegCM3climate model. Geography and Development. No. 10, Autumn and Winter 2007, p. 55-73. (in Persian)
- 5- Babaeian I., Najafi Nik Z., Zaboli Abbasi F., Habibi Nokhandan M. Adab H., and Malbousi SH. 2009. Evaluating of climate change in the period 2039- 2010 AD using downscaling data of the general circulation model ECHO-G. No. 16, Winter 2009, p. 135-152. (in Persian)
- 6- Bruinsma J. (ed.). 2003. World agriculture: towards 2015/2030: An FAO perspective, Earthscan, London, UK.
- 7- Bruinsma J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050, Expert Meeting on How to Feed the World by 2050, 24–26 June 2009, FAO, Rome, Italy.
- 8- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., Savenije H.H.G., and Gautam R. 2006. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecol. Econ. 60, 186-203.
- 9- Chapagain A. K., and Hoekstra A. Y. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. Ecological Economics 70: 749–758.
- 10- Ercin A. E., and Hoekstra A. Y. 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. Environment International 64. 71–82.
- 11- FAO. 2006. FAOSTAT Data. FAO Statistical Databases. Available from: <http://faostat.fao.org/default.jsp> (accessed 15.12.13.).
- 12- FAO. 2009. CropWat 8.0, Edited, Land and Water Development Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 13- FAO. 2010a. 'CROPWAT 8.0 model', FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- 14- Falkenmark M., Rockström J., and Karlberg L. 2009. Present and future water requirements for feeding humanity, Food Security, 1(1): 59-69.
- 15- Gholamhossien Pour Jafari Nejad A., Alizadeh A., and Neshat A. 2010. Study on Ecological Water Footprint and indicators of virtual water in Agricultural Section of Kerman Province. Journal of Irrigation and Water Engineering. 4th year. No. 13, Autumn 2013, p. 80-89. (in Persian with English abstract)
- 16- Hoekstra A.Y. (ed.). 2002. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf.
- 17- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., and Mekonnen M.M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
- 18- <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>.
- 19- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP
- 20- McGhee, J.W., "Introductory statistics". West Publishing Co., New York, USA, 1985
- 21- Milly P. C. D., Dunne K. A., and Vecchia A. V. (2005) Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate, Nature, 438(7066): 347-350.
- 22- Morid S., Massah Bovani A., Mohammad Zadeh M., and Gouds K. 2006. Assessing the risks of climate change and its impact on water resources in Zayandeh Rood river basin case study, the final report (thesis). Iran Water Resources Management Company.
- 23- Postel S. 2000. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. Ecological Applications 10, 941– 948.
- 24- Rosegrant M. W., Cai X., and Cline S. A. 2002. Global water outlook to 2025, International Food Policy Research Institute Washington, D.C., USA.
- 25- Rosegrant M. W., Ringler C., and Zhu T. 2009. Water for agriculture: Maintaining food security under growing scarcity, Annual Review of Environment and Resources, 34(1): 205-222.
- 26- Sajjad Khan M., Coulibaly P., and Dibike Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. Journal of Hydrology, 319: 357–382.
- 27- Semenov M.A., and Barrow E.M. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climate Change, 35: 397–414.
- 28- Semenov M.A., and Brooks R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. Climate Research, 11: 137–148.
- 29- Shen Y., Oki T., Utsumi N., Kanae S., and Hanasaki N. 2008. Projection of future world water resources under SRES scenarios: Water withdrawal / Projection des ressources en eau mondiales futures selon les scénarios du

- RSSE: prélèvement d'eau, *Hydrological Sciences Journal*, 53(1): 11-33.
- 30- Strzepek K., and Boehlert B. 2010. Competition for water for the food system, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2927-2940.
- 31- Van Oel P.R., Mekonnen M.M., and Hoekstra A.Y. 2009. The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics* 69: 82–92.
- 32- Wang Y.B., Wu P.T., Engel B.A., and Sun S.K. 2015. Comparison of volumetric and stress-weighted water footprint of grain products in China, *Journal of Ecological Indicators*. *Ecological Indicators* 48 (2015) 324–333.
- 33- WWAP. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world, World Water Assessment Programme, UNESCO Publishing, Paris / Earthscan, London.
- 34- Zarghami M., Hasan Zadeh Y., Babaeian I., Kanani R., and Abdi A. 2010. Study of climate change and its impacts on watershed runoff in the East Azerbyjan. East Azerbyjan Regional Water Company.

Evaluation of Agricultural Crops Water Footprint with Application of Climate Change in Urmia Lake basin

M. Montaseri^{*1}- N. Rasouli Majd²- J. Behmanesh³- H. Rezaie⁴

Received: 22-04-2015

Accepted: 21-12-2015

Introduction: The water footprint index as a complete indicator represents the actual used water in agriculture based on the climate condition, the amount of crop production, the people consumption pattern, the agriculture practices and water efficiency in any region. The water footprint in agricultural products is divided to three components, including green, blue and gray water footprint. Green water footprint is rainwater stored in soil profile and on vegetation. Blue water refers to water in rivers, lakes and aquifers which is used for irrigation purposes. Gray water footprint refers to define as the volume of contaminated water. The water footprint in arid and semiarid regions with high water requirement for plants and limited fresh water resources has considerable importance and key role in the planning and utilization of limited water resources in these regions. On the other hand, increasing the temperature and decreasing the rainfall due to climate change, are two agents which affect arid and semiarid regions. Therefore, in this research the water footprint of agricultural crop production in Urmia Lake basin, with application of climate change for planning, stable operating and crop pattern optimizing, was evaluated to reduce agricultural water consumption and help supplying water rights of Urmia Lake.

Materials and Methods: Urmia Lake basin, as one of the main sextet basins in Iran, is located in the North West of Iran and includes large sections of West Azerbaijan, East Azerbaijan and Kurdistan areas. Thirteen major rivers are responsible to drain surface streams in Urmia Lake basin and these rivers after supplying agriculture and drinking water and residential areas in the flow path, are evacuated to the Lake. Today because of non-observance of sustainable development concept, increasing water use in different parts and climate change phenomena in Urmia Lake basin the hydrologic balance was perturbed, and Urmia Lake has been lost 90% of its volume and has a critical condition. Therefore, planning, managing and optimizing utilization of water resources in the basin have a high research priority and this requires the concentration on the consumption of water resources. In this study five major products including, wheat, sugar beet, tomato, alfalfa and corn, were studied. For this purpose, seven synoptic meteorological station data including, Salmas, Urmia, Mahabad, Takab, Tabriz, Maragheh and Sarab were used to calibrate the downscaling atmospheric-ocean general circulation model LARS.WG5 and forecast meteorological data in the future periods time (2011-2030) and (2046-2065) with the A2 scenario. The reason to select A2 scenario was the most critical situation for the mentioned scenario. Then the obtained data were used to estimate the water requirement and water footprint of mentioned plants separately blue and green water footprint in the future periods.

Results and Discussion: The results of the meteorological data prediction showed that all synoptic stations except for Tabriz station the average annual predicted rainfall values had the deviation from historical values. The mentioned deviation in the south (Tekab, Mahabad) and West (Urmia, Salmas) of Urmia lake basin will show increase and decrease in the annual rainfall in the future, respectively. Moreover, the average annual of predicted temperature values for all studied stations showed that the temperature will increase about 1°C during 2011-2030 period and 2°C during 2046-2065 period. Potential evapotranspiration, as another important meteorological parameter has essential role in the estimation of crop water requirements which will be slightly affected by climate change phenomena and it will increase in the summer. The results of agricultural products water footprint show that the maximum amount of green water footprint in all studied stations was related to wheat and alfalfa, and this water footprint depend on the time and growth period. For corn, tomato and sugar beet products the ratio of blue and green water footprint is greater 9. By comparing the water footprint of products it can be seen that in Urmia, Salmas and Tekab stations water footprint is decreased with decreasing rainfall and this decrease during 2065 – 2045 periods is higher than 2030 – 2011 periods.

Conclusion: According to the results, annual precipitation in southern and western regions of the Lake Urmia basin will be increased and decreased, respectively in the future periods. However, increasing

1, 2, 3 and 4- Associate Professor, MS.c. Student and Associate Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Respectively

(* - Corresponding Author Email: montaseri@hotmail.com)

approximately one Celsius degree in temperature is expected for each of the periods all over the basin. In addition, the results showed that the amount of potential evapotranspiration will be increased in the warm months (June to September) in the future periods, and agricultural water consumption pattern will be changed affected by evapotranspiration variations. In the future periods, the blue and green water footprint of most agricultural products will be increased and decreased, respectively.

Keywords: A2 scenario, Blue water, Green water, LARS-WG5