



کاربردپذیری پایگاه بارشی GLDAS در برآورد ردپای آب سبز و آبی گندم و ذرت در دشت قزوین با استفاده از مدل Aqua Crop

مژگان احمدی^۱، هادی رضانی اعتدالی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
* نویسنده مسئول: ramezani@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

چکیده

فناوری سنجش از دور به دلیل برخورداری از ویژگی‌های ارزشمندی چون، اخذ تصاویر چند زمانه و چند طیفی، قابلیت تفکیک زمانی و رادبومتریکی مناسب و متنوع، دید وسیع و یکپارچه از منطقه، می‌تواند در بسیاری از کارهای کشاورزی مانند پیش‌بینی عملکرد محصول، اندازه‌گیری رطوبت خاک، اطلاع از میزان خشکسالی و سرمازدگی مؤثر واقع شود. در این پژوهش به ارزیابی پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده GLDAS-CRU، GLDAS-AgMERRA، GLDAS-AgCFSR در برآورد ردپای آب آبی و سبز گیاه گندم و ردپای آب آبی ذرت در دشت قزوین و مقایسه آن با مقادیر برآورد شده با اطلاعات ایستگاه سینوپتیک قزوین طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ پرداخته شده است. ارزیابی آماری با استفاده از شاخص‌های R^2 ، NRMSE و ME انجام شد. متوسط مجموع ردپای آب گندم در منطقه پژوهش در حدود ۸۶۹ (مترمکعب بر تن) برآورد شد که در آن سهم ردپای آب سبز ۴۷ درصد و سهم ردپای آب آبی ۵۳ درصد بود. داده‌های برآورد شده در سناریوهای ۱ (دمای CRU- بارش و تبخیر تعرق GLDAS (CRU-GLDAS)) و ۳ (دما و تبخیر تعرق CRU- بارش GLDAS (CRU-GLDAS)) برای ردپای آب سبز گندم و برای ردپای آب آبی، سناریو ۵ (بارش و تبخیر تعرق GLDAS-GLDAD- دمای AgCFSR (GLDAS-AgCFSR)) و سناریو ۳ به ترتیب برای گیاه گندم و ذرت بالاترین همبستگی را دارند. نتایج نشان می‌دهد برای برآورد ردپای آب آبی گیاه ذرت این پایگاه‌ها از دقت مناسبی برخوردار نبوده ولی برای برآورد ردپای آب سبز و آبی گیاه گندم می‌توان از اطلاعات پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده با دقت مناسب استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پایگاه AgCFSR، AgMERRA، CRU، مدل گیاهی.

مقدمه

غلات و فرآورده‌های آن، در سبد غذایی مردم جایگاه نخست را دارد و به همین دلیل سهم بیشتری در مجموعه مصارف آب شیرین داراست. بر اساس گزارش‌های منتشر شده از سوی سازمان خواربار جهانی در سال ۲۰۱۰، بیش از ۵۰ درصد از مجموع غذای مصرفی در جهان از غلات و فرآورده‌های آن بدست آمد. هم‌چنین، کاراندیش و هوکسترا بیان کردند که از میان ۲۶ محصول غالب مصرفی توسط ایرانیان، غلات بیش‌ترین سهم را در رژیم غذایی افراد دارد (Karandish and

رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی- اجتماعی جوامع، برداشت جهانی از آب شیرین و گسترش سطح آلودگی آب‌ها از نشانه‌های کمبود و بحران منابع آب هستند (Mekonnen and Hoekstra, 2010; Postel, 2000). بخش کشاورزی از مصرف‌کننده‌های اصلی منابع آب بشمار می‌رود به نحوی که ۸۵ درصد از مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی را به خود اختصاص داده است (Shiklomanov, 2000; Moldrn, 2007).

داده شد بیوماس و تولید محصول در شرایط مختلف تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی با دقت مناسبی شبیه سازی می‌شود (Hsiao et al., 2009). محققین زیادی از مدل AquaCrop استفاده کردند که از جمله آن می‌توان به تحقیقات (رضانی اعتدالی و همکاران، ۱۴۰۱؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ابراهیمی پاک و اگدرنژاد، ۱۳۹۶؛ گلابی و ناصری، ۱۳۹۴؛ موسوی و همکاران، ۱۴۰۱) اشاره کرد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، می‌توان با هزینه و زمان کم‌تر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به‌خوبی فراهم ساخته است. مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی، پایش‌های بیابان زایی، تخریب سیلاب، خشکسالی، تغییرات آب دریاها و دریاچه‌ها، تغییرات آب و هوا، آلودگی‌های آب و خاک و هوا، تغییرات شهرها و مناطق مسکونی به عنوان ابزارهایی برای مدیریت دقیق مطرح است که با اطلاعات ماهواره‌ای انجام بسیاری از این مطالعات مقدور می‌شود. مدل سیستم اطلاعات سطح زمین (GLDAS)^۱ یکی از به‌روزترین مدل‌های مبتنی بر سنجش از دور در برآورد اجزای بیابان آب می‌باشد. این مدل توسط چهار گروه دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)^۲، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)^۳، سازمان ملی اقیانوسی و جو (NOAA)^۴ و مراکز ملی پیش‌بینی محیط زیست (NCEP)^۵ در سال ۲۰۰۰ ایجاد شده است. این سیستم با استفاده از ۴ مدل سطح زمین (CLM, Mosaic, VIC) و Noah پارامترهای سطح زمین مانند رطوبت خاک و دمای سطح و شارها مانند تبخیر و شار گرمای محسوس را شبیه‌سازی می‌کند (Rodell et al., 2004). به‌منظور بررسی کاربرد پایگاه‌های هواشناسی و تصاویر راداری مطالعات متعددی صورت گرفته است که از آن میان می‌توان به مطالعات (Davitt., 2011; Wang et al., 2011; Bi et al., 2016; Shi et al., 2017; Ramezani Etedali and Ahmadi, 2021; Hussain et al., 2022; Fu et al., 2016; Moiwo et al.,

2017). شاخص ردپای آب توسط هوکسترا در سال ۲۰۰۲ معرفی شد که یکی از جدیدترین شاخص‌ها در بحث مدیریت پایدار منابع آب می‌باشد. ردپای آب ارتباط بین مصارف انسانی از آب شیرین و میزان استفاده از آب در ساخت نوع خاصی از کالا را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد (Hoeksta et al., 2011). ردپای آب سه مؤلفه دارد: ردپای آب آبی که به بخشی از آب مصرفی که از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی تأمین شده و در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد اشاره دارد. رد پای آب سبز به سهم آب حاصل از بارندگی مرتبط است. (Hoekstra et al., 2009) ردپای آب خاکستری در تولید یک محصول را به صورت حجمی از آب شیرین تعریف کردند که برای رقیق‌سازی آلاینده‌های تولید شده در فرآیند تولید آن محصول مورد نیاز است (Hoekstra et al., 2009). محققین زیادی به بررسی ردپای آب برای محصولات مختلف پرداختند که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (Hoekstra and Chapagin, 2007; Jefferies et al., 2012; Chapagain and Hoekstra, 2012; Chico et al., 2013; Rodringuez et al., 2015; Zhuo and Hoekstra, 2017; Arrien et al., 2021; Ahmadi et al., 2021; Deihimfard et al., 2022; Pahlow et al., 2015) اشاره کرد. مدل‌های شبیه‌سازی از یکسری پارامترهای گیاهی و محیطی برای شبیه‌سازی رشد محصول استفاده می‌کنند و باید قبل از استفاده، واسنجی و ارزیابی شوند. یکی از جدیدترین مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه، مدل AquaCrop است که توسط کارشناسان سازمان فائو در سال ۲۰۰۹ ارائه شده است. هدف از تدوین این مدل ایجاد یک تعادل بین دقت، سادگی و سهولت استفاده برای کاربران نهایی مثل کارشناسان و مدیران سازمان آب و اقتصاددانان و سیاستگذاران مدیریت منابع آب که نیاز به مدل‌های ساده برای طراحی و تحلیل سناریوهای مختلف دارند، بوده است (Hsiao et al., 2009).

اولین گیاهی که برای شبیه‌سازی و آزمایش در مدل AquaCrop انتخاب شد، ذرت بود (Hsiao et al., 2009). مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های تجربی شش فصل زراعی بر روی ذرت در دانشگاه کالیفرنیا مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان

^۱ The National Oceanic and Atmospheric Administration

^۲ The National Center for Environmental Prediction

^۱ Global Land Data Assimilation System

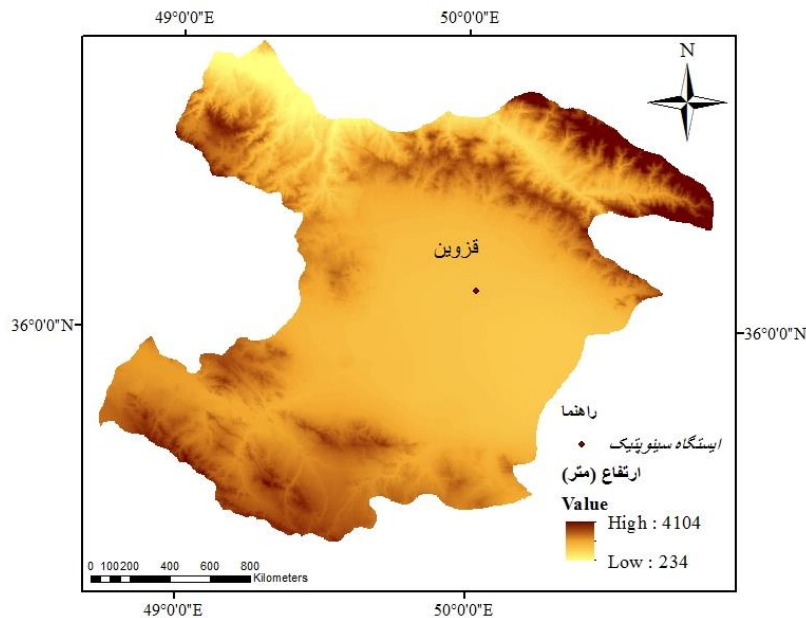
^۲ The Nation Aeronautics and Space Administration

^۳ Goddard Space Flight Center

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع و در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی در حوزه مرکزی ایران واقع شده است (بحرالعلوم و همکاران، ۱۳۹۹). موقعیت استان قزوین در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش‌های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است. در این مطالعه از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قزوین استفاده شده است. طول جغرافیایی این ایستگاه ۵۰ درجه و ۰/۰۳ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع آن ۱۲/۲ متر می‌باشد.

(Zhao and Fu, 2009; اسدی و همکاران، ۱۴۰۰) اشاره کرد. در این پژوهش به ارزیابی پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده GLDAS-، GLDAS-CRU، GLDAS-AgMERRA، AgCFSR در برآورد ردپای آبی و سبز گندم، و ردپای آبی ذرت و مقایسه آن با مقادیر دشت قزوین پرداخته شده است. به دلیل آنکه ذرت محصول تابستانه است و در فصل تابستان میزان بارندگی کمتر است از محاسبه ردپای آب سبز برای این محصول صرف نظر شده است.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه. آماده‌سازی داده‌ها

تبخیر پتانسیل به تبخیر تعرق گیاه مرجع از روش تشت تبخیر و از رابطه ۳ استفاده شد.

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{m}^3}{1000(\text{kg})} = \frac{1(\text{m})}{1000} \times \frac{1000(\text{mm})}{1(\text{m})} = \quad (1)$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times 2.5 \times 10^6 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{mm}}{\text{day}} \right) \times (1/86400) \left(\frac{\text{day}}{\text{s}} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.035 \text{ mm/day} \quad (3)$$

$$ET_0 = K_{pan} \times E_{pan}$$

داده‌های تبخیر پتانسیل (W m^{-2}) و بارش ($\text{Kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) از محصولات GLDAS-2.0 به صورت ماهانه برای دوره زمانی ۱۹۸۰ میلادی تا ۲۰۱۰ میلادی از سایت Giovanni دریافت شد. برای تبدیل kg m^{-2} به mm از ضریب $\frac{1000}{1000}$ (رابطه ۱) و برای تبدیل ثانیه به ماه از ضریب $86400 \times$ تعداد روزهای هر ماه، استفاده شد (فرجی و همکاران، ۱۳۹۶) و واحد داده‌های بارش تبدیل به mm/month شد. برای تبدیل W m^{-2} به mm/day از ضریب 0.035 استفاده شد (رابطه ۲). برای تبدیل

برای داده‌های ورودی مدل AquaCrop، در بخش اقلیمی از داده‌های بارش، دما و تبخیر تعرق ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قزوین و مدل GLDAS، CRU، AgCFSR و AgMERRA به صورت جداگانه تحت سناریوهای مختلف، در بخش گیاهی مدل از داده‌های محصول گندم فائو طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ و در سایر بخش‌ها از اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قزوین استفاده شد. سناریوها در جدول ۱ آورده شده است.

در این معادله ET_0 : تبخیر تعرق گیاه مرجع، K_{pan} : ضریب تشت E_{pan} : مقدار تبخیر از تشت می‌باشد. ضریب تشت بستگی به وضعیت استقرار تشت و محیط اطراف آن داشته و مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۸۵ متغیر است (علیزاده، ۱۳۸۹). به دلیل آنکه مقادیر تشت تبخیر بین ۰/۵ تا ۰/۸۵ متغیر است، در این پژوهش مقادیر متفاوتی بین این محدوده انتخاب شد و ضریب ۰/۵ بهتر از سایر ضرایب بود. داده‌های دمای CRU^۴، AgCFSR^۵ و AgMERRA^۶ به صورت ماهانه برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ دریافت و تبخیر تعرق این پایگاه‌ها به روش فائو پنمن مانیتیت محاسبه شد.

جدول ۱- معرفی سناریوها.

Description	Scenario number
Synoptic station	S ₀
Precipitation and evapotranspiration of GLDAS-Temperature of CRU	S ₁
Precipitation and evapotranspiration of GLDAS-Temperature of AgMERRA	S ₂
Precipitation of GLDAS- Temperature and evapotranspiration of CRU	S ₃
Precipitation of GLDAS- Temperature and evapotranspiration of AgMERRA	S ₄
Precipitation and evapotranspiration of GLDAS- Temperature of AgCFSR	S ₅
Precipitation of GLDAS- Temperature and evapotranspiration of AgCFSR	S ₆

$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B \quad (5)$$

که در آن HI_0 : شاخص برداشت مرجع (طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک)، Y : عملکرد دانه، B : بیوماس، f_{HI} : ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند.

معرفی پایگاه‌های هواشناسی

داده‌های GLDAS در چارچوب نرم‌افزاری سیستم اطلاعات زمین (LIS^۹) برای مدل‌سازی سطح زمین تولید می‌شوند. مطالعات چرخه انرژی و آب ناسا (NEWS^{۱۰}) مدل GLDAS را پشتیبانی می‌کنند (فرجی و کویانی، ۱۳۹۸). قدرت تفکیک زمانی برای محصولات GLDAS، ۳ ساعته است. فرآورده‌های ماهانه نیز از طریق میانگین‌گیری زمانی از محصولات ۳ ساعته تولید می‌شوند.

معرفی مدل AquaCrop

اساس تخمین عملکرد محصول در مدل AquaCrop مطابق رابطه ۴، Doorenbos and Kassam است که در نشریه شماره ۳۳ آبیاری و زهکشی سازمان خواربار جهانی (فائو) ارائه شده است. با اعمال اصلاحاتی در آن از جمله تفکیک تبخیر تعرق واقعی (ET) به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق (T_s)، و نیز عملکرد به بیوماس (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شده است (Resa et al., 2012):

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad (4)$$

که در آن Y_x : حداکثر عملکرد، Y : عملکرد واقعی، ET_x : حداکثر تبخیر تعرق، ET : تبخیر و تعرق واقعی و K_y فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر تعرق است. برای محاسبه عملکرد از بیوماس، مدل AquaCrop از رابطه ۵ استفاده می‌کند (Resa et al., 2012):

^۹ Land Information System

^{۱۰} NASA Energy and Water Cycle Study

^۶ Climatic Research Unit

^۵ Agricultural Climate Forecast System Reanalysis

^۴ Agricultural Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications

سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی (مؤثر) مرتبط است. اجزای ردپای آب برای محصول گندم از روابط ۶ و ۷ محاسبه شد.

$$WF_{Green} = \frac{P \times 10}{Y} \quad (6)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(Et - P)}{Y} \quad (7)$$

در روابط یاد شده ردپای آب‌های سبز و آبی بر حسب متر مکعب بر تن هستند. P بارندگی مؤثر طی دوره رشد گیاه بر حسب میلی‌متر، ET تبخیرتقرق هر گیاه طی دوره رشد بر حسب میلی‌متر، Y عملکرد هر محصول بر حسب تن بر هکتار است. برای محاسبه باران مؤثر از خروجی نرم افزار AquaCrop استفاده شده است. به دلیل آنکه ذرت محصول تابستانه است و در فصل تابستان میزان بارندگی کمتر است از محاسبه ردپای آب سبز برای این محصول صرف نظر شده است.

شاخص‌های آماری

در این تحقیق نتایج حاصل از سناریوها برای محصول گندم و ذرت، توسط معیارهای آماری خطا شامل آماره‌های ضریب تبیین (R^2)^{۱۱}، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE$)^{۱۲} مطابق رابطه ۸، حداکثر خطا (ME)^{۱۳}، مقایسه شدند.

ضریب تبیین یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر x و y است که به صورت بی بعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی دارد. به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تبیین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به دست آورد. همانند ضریب همبستگی هر چه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، ارتباط قوی‌تری میان دو متغیر وجود دارد. در صورت ضرب ضریب تبیین در عدد ۱۰۰ مقدار به دست آمده بیان‌گر درصد واریانس تغییرات متغیر x است که با متغیر y توصیف می‌شود. طبقه‌بندی ضریب پیرسون در جدول ۲ آورده شده است (Junior et al., 2017).

برای محاسبه ضریب تبیین از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. شاخص $NRMSE$ سطح تخمین را نشان می‌دهد. تقسیم‌بندی $NRMSE$ توسط Jamieson و همکاران (۱۹۹۱) در جدول ۳ آورده شده است (Jamieson et al., 1991).

واحد تحقیقات آب و هوایی CRU برای نخستین بار در دانشکده Anglia شرق انگلستان در سال ۱۹۷۲ تأسیس شد. این پایگاه شامل اطلاعات گوناگونی مانند بارش، تعداد روزهای مرطوب، میانگین حداقل دما، میانگین حداکثر دما، پوشش ابر، تبخیرتقرق پتانسیل و فشار بخار هوا می‌شود که با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه و تفکیک زمانی ماهانه برای کل جهان در دسترس است. (Mitchell et al, 2004).

سازمان هوانوردی و فضایی ملی ایالات متحده آمریکا و دانشگاه کلمبیا در سال ۲۰۱۴، پایگاه داده AgMERRA را با هدف ایجاد شبکه‌ای جهانی و همگون برای استفاده در پژوهش‌های کشاورزی، امنیت غذایی و مدل‌های رشد گیاه توسعه داده است. در تولید داده‌های بارش AgMERRA از دو پایگاه GPCP و CRU و هم‌چنین ماهواره‌های PERSIANN، CMORPH و TRMM در ترکیب با داده‌های MERRA استفاده شده است (Ruane et al, 2015). این مجموعه شامل داده‌های دمای بیشینه و کمینه، بارش، تابش، سرعت باد و فشار بخار آب می‌باشد. تفکیک مکانی برای داده‌های بارش در این پایگاه 0.25×0.25 درجه می‌باشد.

پایگاه AgCFSR مجموعه داده توسعه یافته توسط دانشگاه کلمبیا و نیز انستیتوی مطالعات فضایی گودارد وابسته به سازمان ملی هوا-فضای آمریکا است که به منظور برآورد کردن نیازهای پروژه AgMIP به داده‌های هواشناسی و با هدف ایجاد شبکه همگون و جهانی برای استفاده در مطالعات کشاورزی، امنیت غذایی و مدل‌های گیاهی ایجاد شده است (رضوی و همکاران، ۱۳۹۷). بارش این پایگاه برای کل جهان با تفکیک 0.25×0.25 درجه محاسبه شده و در دسترس است (حسینی موعاری، ۱۳۹۶).

ردپای آب

ردپای آب، شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا مصرف می‌شود. ردپای آب آبی، به حجم آبی که در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیاز خالص) اشاره دارد. ردپای آب

^{۱۳} Maximum Error

^{۱۱} Correlation coefficient Determination Coefficient

^{۱۲} Normalize Root Mean Square Error

شاخص ME بیشترین خطا در مدل را نشان می‌دهد. با (۹) $ME = \max |O_i - P_i|$ استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود. مقدار زیاد ME نشان‌دهنده بدترین حالت کارکرد است.

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۸)$$

زمانی است.

جدول ۲- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی ضریب پیرسون.

R ²	<0.1	0.1 to 0.2	0.2 to 0.5	>0.5
Estimation result	Not correlated	Weak	Moderate	Strong

جدول ۳- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی بر اساس NRMSE.

NRMSE	0-10	10-20	20-30	>30
Estimation result	Excellent	Good	Moderate	Weak

P ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده‌ها و d_i^2 مجموع مجذورات تفاوت دو رتبه است. در این پژوهش برای محاسبه ضریب اسپیرمن از نرم‌افزار Minitab (v 18.0) استفاده شد.

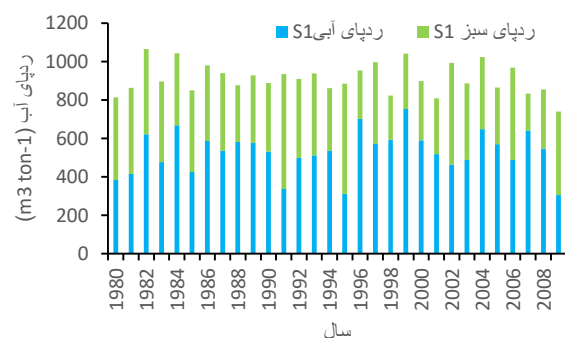
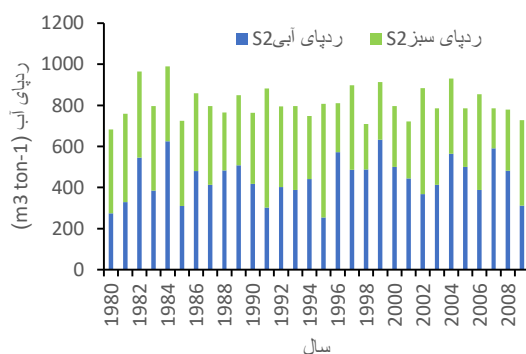
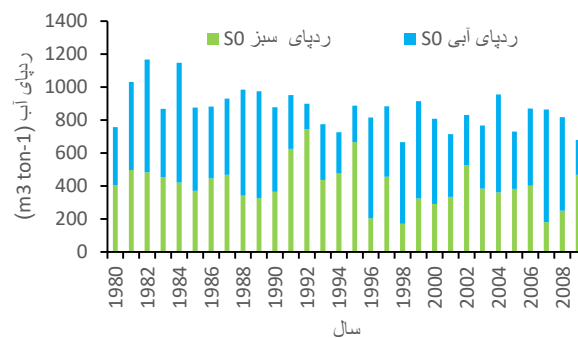
نتایج و بحث

ردپای آب سبز و آبی گندم و ذرت شبیه‌سازی شده با AquaCrop برای سناریوهای طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۰ در شکل‌های ۲ و ۳ و نتایج آزمون اسپیرمن در جدول ۴ ارائه شده است.

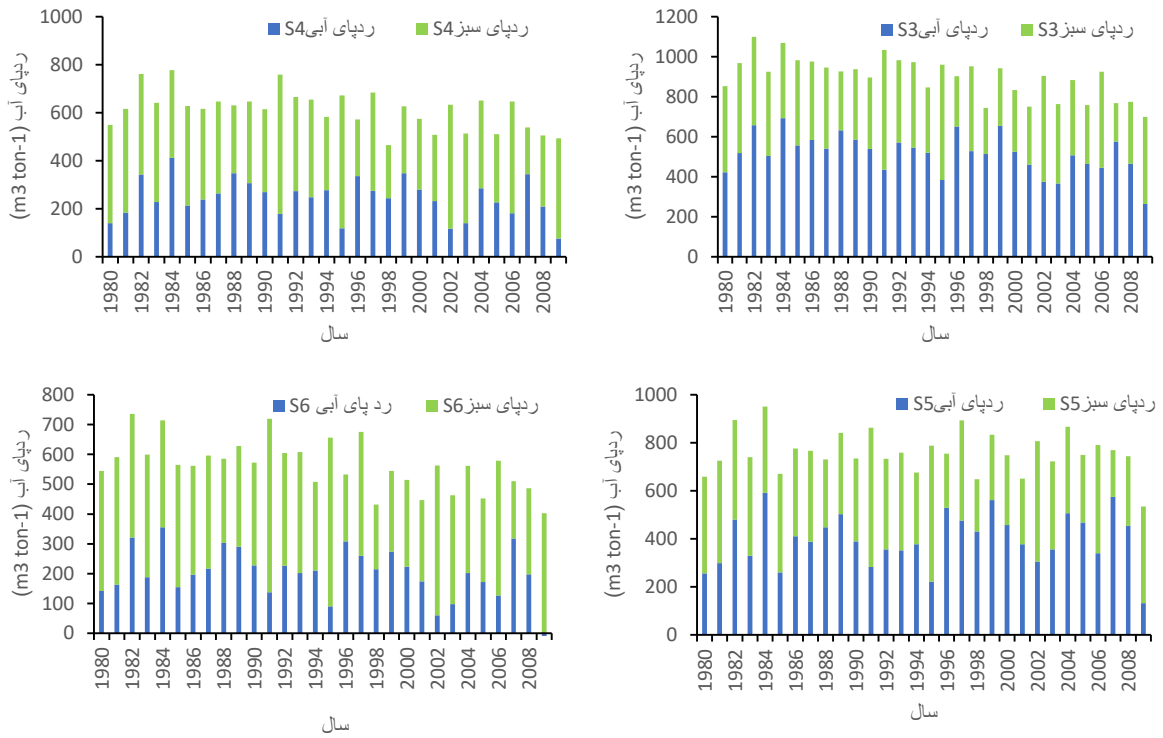
آزمون اسپیرمن

آزمون اسپیرمن در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی توسط چارلز اسپیرمن ارائه شد (Yue et al., 2002). آزمون اسپیرمن یک آزمون غیرپارامتری است (رابطه ۱۰). فرض صفر این آزمون، یکنواختی توزیع و مستقل بودن داده‌ها در سری زمانی و فرض مقابل آن روند افزایشی یا کاهش‌ی داده‌ها در سری زمانی است.

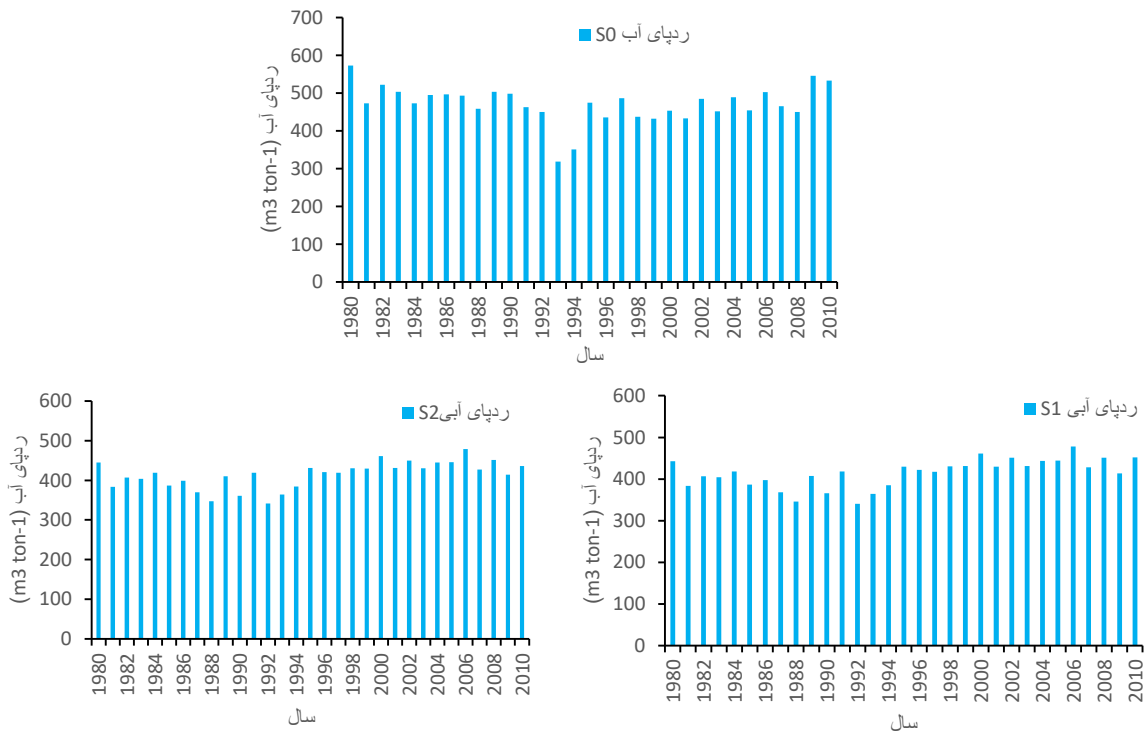
$$P = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (۱۰)$$



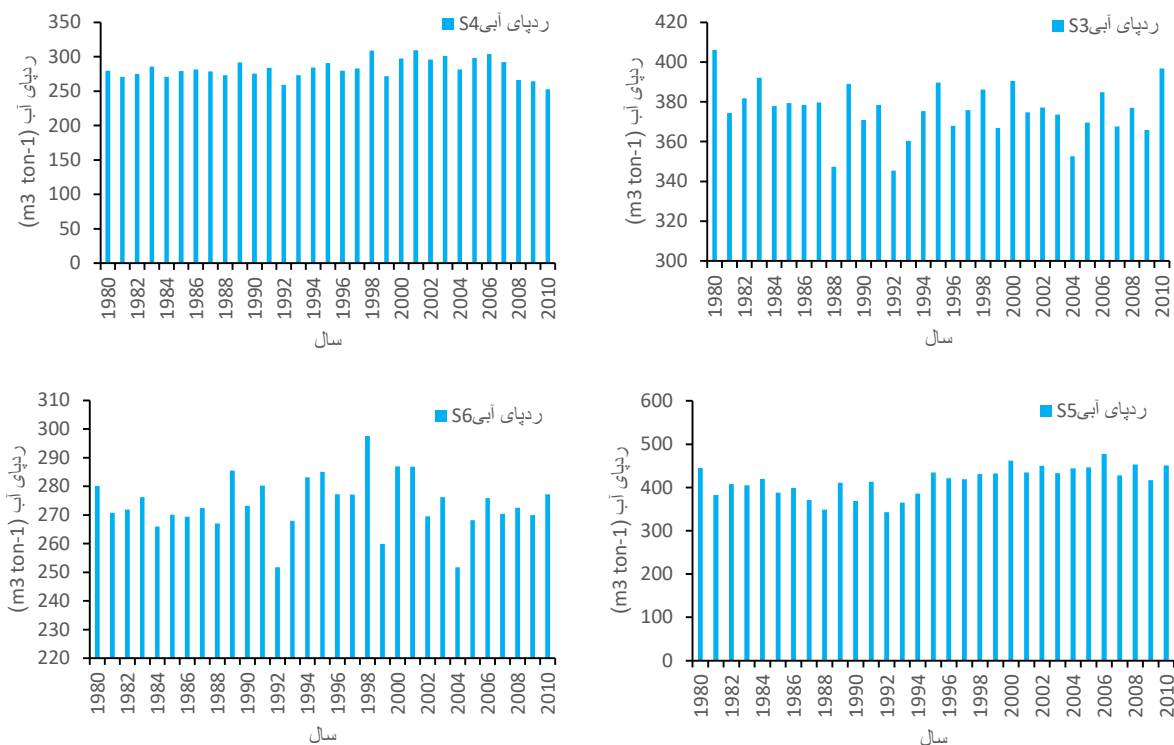
شکل ۲- ردپای سبز و آبی گندم شبیه‌سازی شده با مدل Aqua Crop برای سناریوهای ۰ تا ۶.



ادامه شکل ۲- ردپای سبز و آبی گندم شبیه‌سازی شده با مدل Aqua Crop برای سناریوهای ۰ تا ۶.



شکل ۳- ردپای آبی ذرت شبیه‌سازی شده با مدل Aqua Crop برای سناریوهای ۰ تا ۶.



ادامه شکل ۳- ردپای آبی ذرت شبیه‌سازی شده با مدل Aqua Crop برای سناریوهای ۰ تا ۶.

جدول ۴- نتایج ضریب اسپیرمن ردپای آب سبز و آبی گندم و ردپای سبز ذرت برای سناریوهای ۱-۶.

نوع محصول	انواع ردپای آب	سناریوها	ضریب اسپیرمن	P-value
ردپای سبز		S ₁	۰/۸۱	۰/۰۰
		S ₂	۰/۸۲	۰/۰۰
		S ₃	۰/۸۱	۰/۰۰
		S ₄	۰/۸۲	۰/۰۰
		S ₅	۰/۸۱	۰/۰۰
		S ₆	۰/۸۱	۰/۰۰
گندم		S ₁	۰/۷۲	۰/۰۰
		S ₂	۰/۷۲	۰/۰۰
		S ₃	۰/۶۷	۰/۰۰
		S ₄	۰/۶۹	۰/۰۰
		S ₅	۰/۷۴	۰/۰۰
		S ₆	۰/۷۰	۰/۰۰
ذرت	ردپای آبی	S ₁	۰/۰۲	۰/۹۰
		S ₂	۰/۰۱	۰/۹۵
		S ₃	۰/۴۹	۰/۰۱
		S ₄	۰/۱۴-	۰/۴۴
		S ₅	۰/۰۴	۰/۸۲
		S ₆	۰/۰۲	۰/۹۴

سهم ردپای آب آبی در منطقه مورد پژوهش برای گیاه گندم بین ۷۲۴-۱۲۶ (مترمکعب بر تن) و ردپای آب سبز بین ۷۴۴-۱۴۱ (مترمکعب بر تن) (شکل ۲) و ردپای آب آبی برای گیاه ذرت بین ۵۴۵-۳۱۹ (مترمکعب بر تن) متغیر است (شکل ۳). متوسط مجموع ردپای آب گندم در منطقه مورد پژوهش در حدود ۸۶۹ (مترمکعب بر تن) برآورد شد که در آن سهم ردپای آب سبز ۴۷ درصد و سهم ردپای آب آبی ۵۳ درصد است (شکل ۲). بالابودن سهم ردپای آب آبی نسبت به آب سبز

اگر P-Value کمتر از ۰/۰۵ باشد نشان دهنده معنی دار بودن دو متغیر است. نتایج ضریب اسپیرمن نشان داد که بین داده‌های ردپای آب سبز و آب آبی گندم روند افزایشی وجود دارد و در ردپای آب سبز مقدار این ضریب بیشتر از ردپای آب آبی است و برای ذرت فقط در سناریو ۳ بین داده‌ها روند وجود دارد.

ارزیابی آماری ردپای آب آبی و آب سبز شبیه‌سازی شده با مدل Aqua Crop در منطقه مورد پژوهش (سناریو S₀) و سناریوها در جدول ۵ آورده شده است.

نشان‌دهنده کم بودن نرخ بارش و حاکی از پایداری اقلیم خشک و نیمه‌خشک از نظر کشاورزی می‌باشد (علیقلی نیا و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج نشان می‌دهد که در گیاه گندم طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰، میانگین ردپای آب آبی بیشتر از آب سبز است که نشان‌دهنده کمبود بارندگی و بالا بودن نیاز آبی گندم در این منطقه می‌باشد. برای ارزیابی روند بین داده‌های ایستگاه سینوپتیک و سناریوها از ضریب اسپیرمن استفاده شد. ضریب همبستگی عددی بین ۱ تا -۱ است. ضریب همبستگی ۰ تا ۱ به معنی داشتن همبستگی مثبت است و ضریب همبستگی بین ۰ تا -۱ به معنی داشتن همبستگی منفی است.

جدول ۵- ارزیابی آماری ردپای آب سبز و آبی گندم و ذرت سناریو ۰ با سناریوهای ۱ تا ۶.

ME(m ³ /ton)	NRMSE (%)	R ²	سناریوها	انواع ردپای آب	نوع محصول
۳۳۲/۳۱	۱۹/۶۰	۰/۶۶	S1	ردپای سبز	گندم
۳۵۱/۱۱	۲۱/۳۰	۰/۶۴	S2		
۳۳۲/۳۱	۱۹/۵۸	۰/۶۶	S3		
۳۵۲/۴۲	۲۱/۴۰	۰/۶۴	S4		
۳۶۶/۵۲	۲۲/۱۰	۰/۶۳	S5		
۳۶۶/۳۶	۲۲/۱۰	۰/۶۳	S6		
۳۴۲/۶۶	۲۸/۰۰	۰/۴۸	S1	ردپای آبی	گندم
۲۴۸/۴۱	۲۳/۵۰	۰/۵۰	S2		
۴۱۶/۱۴	۲۶/۷۰	۰/۴۷	S3		
۳۵۸/۷۷	۵۲/۶۰	۰/۵۱	S4		
۲۵۴/۱۰	۲۵/۸۰	۰/۵۶	S5		
۳۹۳/۰۶	۶۰/۷۰	۰/۵۴	S6		
۱۳۲/۴۵	۱۶/۳۰	۰/۰۶	S1	ردپای آبی	ذرت
۴۱۷/۹۰	۲۳/۳۰	۰/۰۰	S2		
۱۷۹/۹۴	۲۲/۳۰	۰/۱۹	S3		
۲۹۳/۴۶	۴۱/۶۰	۰/۰۲	S4		
۱۲۹/۵۵	۱۶/۰۰	۰/۰۷	S5		
۲۹۳/۱۲	۴۳/۲۱	۰/۰۰	S6		

شاخص ME در سناریوهای ۱ و ۳ برای ردپای آب سبز و در سناریوهای ۲ و ۵ برای ردپای آب آبی گیاه گندم و برای ذرت سناریو ۵ مطلوب‌تر از سناریوهای دیگر است.

مدل AquaCrop بر اساس درجه دما-روز- رشد اجرا می‌شود و داده‌های دما در برآورد عملکرد بیشترین تأثیر را دارند. در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی نوسانات حداکثر دمای روزانه تأثیر زیادی بر عملکرد شبیه‌سازی خواهد داشت (Iizumi et al, 2014). وجود تفاوت بین حداکثر دمای روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده می‌تواند مدل‌های گیاهان

ضریب تبیین برای ردپای آب آبی و آب سبز برآورد شده گندم در جدول ۵ نشان می‌دهد که داده‌های برآورد شده و داده‌های منطقه مورد پژوهش در سناریوهای ۱ و ۳ برای ردپای آب سبز و سناریو ۵ برای ردپای آب آبی گندم و برای ردپای آب آبی گیاه ذرت سناریو ۳ بالاترین همبستگی را دارند. شاخص NRMSE نشان می‌دهد که درصد خطا در سناریوهای ۱ و ۳ برای ردپای آب سبز در رده خوب و در سناریوهای ۲، ۳ و ۵ برای رد پای آب آبی گندم در رده متوسط و برای گیاه ذرت سناریوهای ۱ و ۵ در رده خوب قرار گرفته است. میزان

می‌کنند به طوری که برای گندم و ذرت در سناریو ۱ ضریب همبستگی به ترتیب برابر ۰/۹۴ و ۰/۷۳ به دست آمد. به منظور بررسی ارتباط بین ردپای آب و متغیرهای اقلیمی از ضریب پیرسون برای منطقه مورد پژوهش استفاده شد. نتایج در جدول ۶ آورده شده است.

زراعی را در شبیه‌سازی عملکرد با استفاده از این مجموعه پایگاه‌ها تحت تأثیر قرار دهد. یکی از دلایلی که نتایج ردپای آب برای گندم بهتر از ذرت بدست آمد ممکن است به دلیل عملکرد این محصول باشد زیرا طبق بررسی صورت گرفته توسط (Ahmadi and Ramezani Etedali, 2021) نتایج نشان داد که این پایگاه‌ها عملکرد گندم را بهتر از ذرت شبیه‌سازی

جدول ۶- رابطه بین ردپای آب آبی و سبز و متغیرهای اقلیمی (۲۰۱۰-۱۹۸۰).

نوع محصول	انواع ردپای آب	متغیرها	ضریب پیرسون	P-value
ذرت	آب آبی	حداقل دما	۰/۰۵	۰/۸۰
		حداکثر دما	۰/۰۹	۰/۶۴
		بارش	۰/۲۳-	۰/۲۲
		تبخیرتعرق	۰/۷۸	۰/۰۰
گندم	آب آبی	حداقل دما	۰/۰۲-	۰/۹۴
		حداکثر دما	۰/۰۲-	۰/۹۳
		بارش	۰/۲۲-	۰/۲۵
		تبخیرتعرق	۰/۵۵	۰/۰۰
آب سبز	آب سبز	حداقل دما	۰/۴۷-	۰/۰۱
		حداکثر دما	۰/۴۱-	۰/۰۳
		بارش	۰/۴۳	۰/۰۲
		تبخیرتعرق	۰/۱۸	۰/۳۳

گوجه‌فرنگی، یونجه و ذرت مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار سهم ردپای آب سبز و آب آبی به ترتیب ۲۵ درصد و ۷۵ درصد می‌باشد و سهم آب آبی بیشتر است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. آبابائی و رضانی (۱۳۹۳) مجموع اجزای رد پای آب محصول گندم در ایران را طی یک دوره ۵ ساله مورد بررسی قرار دادند و میزان ردپای آب محصول گندم را حدود ۳۱۸۸ و ۳۰۷۱ مترمکعب بر تن به ترتیب برای گندم آبی و دیم برآورد کردند.

نتیجه‌گیری

ردپای آب امروزه در راستای مدیریت نوین منابع آب با رویکرد یکپارچه مورد توجه قرار گرفته است. به منظور ارزیابی مناسب آب مصرفی در بخش کشاورزی، لازم است که شاخص ردپای آب مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش به ارزیابی پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده GLDAS-GLDAS-AgCFSR, GLDAS-CRU, AgMERRA در برآورد ردپای آب آبی ذرت و ردپای آب آبی و آب سبز گیاه گندم و مقایسه آنها با دشت قزوین طی سال‌های ۲۰۱۰-

نتایج جدول ۶ نشان داد که مقدار P-value برای حداقل و حداکثر دما کمتر از ۰/۰۵ است و نشان دهنده معنی دار بودن ارتباط بین حداقل و حداکثر دما با ردپای سبز گندم است. در سناریو ۱ و ۳ از دمای پایگاه CRU استفاده شده (جدول ۳) که این پایگاه همبستگی خوبی با ایستگاه هواشناسی سنوپتیک قزوین دارد (Ramezani Etedali and Ahmadi, 2021) و به همین دلیل نتایج ردپای سبز در این سناریوها بهتر از دیگر سناریوها بدست آمده است. دلیل تفاوت در خروجی‌ها پایگاه‌ها ممکن است به نحوه پیکربندی این پایگاه‌ها و نحوه آنالیز داده‌های مشاهداتی در منطقه مربوط شود (حاجی حسینی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی که بحرالعلوم و همکاران (۱۳۹۹) از داده‌های پایگاه‌های هواشناسی برای بررسی عملکرد و نیاز آبی گندم در ایستگاه سینوپتیک قزوین استفاده کردند، نتایج مشابهی بدست آمد و میزان ضریب همبستگی برای پایگاه AgMERRA عدد ۰/۸۸ را نشان می‌دهد. در پژوهشی علیقلی نیا و همکاران (۱۳۹۵) به تخمین و ارزیابی ردپای آب آبی و سبز در حوضه آبخیز ارومیه پرداختند. در آن پژوهش ردپای آب ۵ محصول عمده شامل، گندم، چغندر، قند،

حوضه دریاچه ارومیه. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۸(۳): ۵۸۷-۵۹۸.

رضوی ا.، نصیری محلاتی، م.، ع.، کوچکی، بهشتی، ع.، ۱۳۹۷. امکان‌سنجی استفاده از AgMERRA برای پر کردن خلا داده‌های بارندگی و دما در ایستگاه‌های سینوپتیک افغانستان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۲(۳): ۶۱۶-۶۰۱.

رضوانی اعتدالی، ه.، کریمی، ش.، فخار، م.، ۱۴۰۱. شبیه‌سازی اثر پوشش بر توزیع رطوبت و املاح خاک با استفاده از دو مدل HYDRUS-2D و AquaCrop. هیدروژئولوژی، ۷(۱): ۱۰-۱.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دهم.

علیقلی‌نیا، ت.، رضایی، ح.، بهمنش، ج.، منتصری، م.، ۱۳۹۵. تخمین و ارزیابی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده مورد کشت در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۳): ۳۴۴-۳۳۷.

علیقلی‌نیا، ت.، شیبانی، ح.، محمدی، ا.، حسام، م.، ۱۳۹۸. مقایسه و ارزیابی ردپای آب آبی، سبز و خاکستری گندم در اقلیم‌های مختلف ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳): ۲۴۵-۲۳۴.

فرجی، ز.، کاویانی، ع.، شکیبیا، ع.ر.، ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های تبخیر-تعرق، بارش و دمای هوای حاصل از مدل سطح زمین (GLDAS) با استفاده از داده‌های مشاهداتی در استان قزوین. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۴(۳): ۲۹۷-۲۸۳.

فرجی، ز.، کاویانی، ع.، ۱۳۹۸. ارزیابی اجزای بیلان آب حاصل از مدل سطح زمین GLDAS-2 و GLDAS-1 در استان قزوین. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۲): ۴۷۴-۴۶۲.

گلابی، م.، ناصری، ع.، ۱۳۹۴. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۴): ۶۹۴-۶۸۵.

محمدی، م.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، انصاری، ح.، حق‌وردی، ا.، ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان

۱۹۸۰ پرداخته شده است. متوسط مجموع ردپای آب گندم در دشت قزوین در حدود ۸۶۹ (مترمکعب بر تن) برآورد شد که در آن سهم ردپای سبز ۴۷ درصد و سهم ردپای آبی ۵۳ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد برای برآورد ردپای آب آبی گیاه ذرت این پایگاه‌ها از دقت مناسبی برخوردار نبوده ولی برای برآورد ردپای آب سبز و آبی گیاه گندم می‌توان از اطلاعات پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده با دقت مناسب استفاده کرد.

برای ارزیابی دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود که تعداد ایستگاه‌های بیشتری در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان به نتایج بهتری دست یافت. می‌توان روی محصولات بیشتری ارزیابی را انجام داد و همچنین پیشنهاد می‌شود پایگاه‌های دیگری در مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

ابراهیمی پاک، ن.ع.، اگدرنژاد، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند تحت تنش‌های آبی در شهرکرد. مدیریت آب و آبیاری، ۷(۲): ۳۳۲-۳۱۹.

اسدی، م.، گنجائیان، ح.، جاودانی، م.، قادری حسب، م.، ۱۴۰۰. ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار. هیدروژئولوژی، ۶(۱): ۲۲-۱۳.

آبایی، ب.، رضوانی اعتدالی، ه.، ۱۳۹۳. برآورد اجزا ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۶): ۱۴۶۸-۱۴۵۸.

بحرالعلوم، ر.، رضوانی اعتدالی، ه.، عزیزیان، ا.، آبایی، ب.، ۱۳۹۹. کاربرد اطلاعات پایگاه‌های داده‌های هواشناسی متخلف در برآورد عملکرد و نیاز آبی گندم (مطالعه موردی: دشت قزوین). اکوهیدرولوژی، ۷(۳): ۷۰۶-۶۹۱. حاجی حسینی، ح.، حاجی حسینی، م.، نجفی، ع.، مرید، س.، دلاور، م.، ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات متغیرهای هواشناسی در بالادست حوضه هیرمند طی سده گذشته با استفاده از داده‌های اقلیمی CRU و مدل SWAT. تحقیقات منابع آب، ۱۰(۳): ۵۲-۳۸.

حسینی موغاری، س.، عراقی‌نژاد، م.، ش.، ابراهیمی، ک.، ۱۳۹۶. بررسی دقت بارش شبکه‌بندی شده جهانی در

- function of their consumption pattern. *Journal of Water Resources Management*, 21(1): 35-48.
- Hsiao, T.C., Heng, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101:448–459.
- Hussain, S., Elfeki, A.M., Chaabani, A. Yibrie, A. E., Elhag, M., 2022. Spatio-temporal evaluation of remote sensing rainfall data of TRMM satellite over the Kingdom of Saudi Arabia. *Theor Appl Climatol*, 150, pages363–377.
- Iizumi, T., Okada, M., Yokozawa, M., 2014. A meteorological forcing data set for global crop modeling: Development, evaluation, and intercomparison. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(2): 363-384.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Res.*, 27, 337–350.
- Jefferies, D., Munoz, I., Hodges, J., King, V.J., Aldaya, M., Ercin, A.E., Canals, L.M.I., Hoekstra, A.Y., 2012. Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, 33: 155-166.
- Karadish, F., Hoekstra, A.Y., 2017. Informing national food and water security policy through water footprint assessment: the case of Iran. *Water*, 9.11:1-25.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Science*, 14: 1259-1276.
- Mitchell, T.D. Carter, T.R. Jones, P.D. Hulme, M. New, M., 2004. A comprehensive set of high – resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901- 2000) and 16 scenarios (2001-2100)’, Tyndall Working Paper 55, Tyndall Center, UEA, Norwich, UK. <http://www.tyndall.ac.uk/> [last accessed 19 April 2005].
- Moiwo, J.P., Yang, Y., Li, H., Han, S., Hu, Y., 2009. Comparison of GRACE with in situ hydrological measurement data shows storage depletion in Hai River basin, Northern China. *Water SA*, 35: 663-670.
- Pahlow, M., Snowball, J., Fraser, G., 2015. Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. *Water SA*, 41(3), 301-305.
- شوری خشکی. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.
- موسوی، ا.ج. اگدرنژاد، ا.، گیلانی، ع.، ۱۴۰۱. ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی واکنش ارقام مختلف برنج به روش کاشت. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۱(۱): ۷۴-۶۳.
- Ahmadi, M., Ramezani Etedali H., Elbeltagi, A., 2021. Evaluation of the effect of climate change on maize water footprint under RCPs scenarios in Qazvin plain, Iran. *Agricultural Water Management*, 245(2021)106969.
- Arrien, M., M., Aldaya, M., Corina Rodriguez, I., 2021. Water Footprint and Virtual Water Trade of Maize in the Province of Buenos Aires, Argentina. *Water*, 13(13): 1769.
- Bi, H., Ma, J., Zheng, W., Zeng, J., 2016. Comparing of soil moisture in GLDAS model simulation and in situ observations over the Tibetan Plateau. *J. Geophysic. Atm.*, 121(6): 2658-2678.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., 2012. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Journal of Ecological Economics*, 70: 749-758.
- Chico, D., Aldaya, M., Garrido, A., 2013. A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. *Journal of Cleaner Production*, 57: 238-248.
- Davitt, A., 2011. Climate variability and drought in the South Platte River basin. Thesis submitted in fulfillment of the requirement for the degree master of art (earth and atmospheric science). The city college of the city University of New York.
- Deihimfard, R., Rahimi Moghaddam, S., Collins, B., Azizi, K., 2022. Future climate change could reduce irrigated and rainfed wheat water footprint in arid environments. *Science of The Total Environment*, 807(3): 150991.
- Fu, Y., Xia, J., Yang, W., Xu, B., We, X., Chen, Y., Zhang, H., 2016. Assessment of multiple precipitation products over major river basins of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 123:11-22.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. 2011. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, London, UK, 203p.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2009. *Water footprint manual: State of the art 2009*, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., 2007. *Water footprints of nations: Water use by people as a*

- Postel, S.L. 2000. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological applications*, 10: 941-948.
- Ramezani Etedali, H., Ahmadi, M., 2021. Evaluation of various meteorological datasets in estimation yield and actual evapotranspiration of wheat and maize (case study: Qazvin plain). *Agricultural Water Management*, 256: 107080.
- Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., Arsenault, K, Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J. K., Walker., J.P. and Lohmann, D., 2004. The Global Land Data Assimilation System, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3): 381-394.
- Rodriguez, CI., de Galarreta, VR, Kruse, E.E., 2015. Analysis of water footprint of potato production in the Pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 90: 91-96.
- Ruane, AC., Goldberg, R., Chryssanthacopoulos, J., 2015. Climate forcing datasets for agricultural modeling: merged products for gap-filling and historical climate series estimation. *Agriculture and Forest Meteorology*, 200: 233-248.
- Shi H., Li T., Wei J., 2017. CRU TS precipitation dataset with the point raingauge records over the Three-River Headwaters Region. *Journal of Hydrology*. May, 548: 322-332.
- Shiklomanov, I.A., 2000. Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*, 25: 11-32.
- Wang, F. Wang,L. Koike, T. Zhou, H. Yang, K. Wang, A. Li, W., 2011. Evolution and application of a fine-resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydrological model', *Journal of Geophysical Research*, 116(D21)
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's tests for detecting monotonic trends in hydrological series, *Journal of hydrology*, 259, 254-271.
- Zhao, T., Fu, C., 2006. Comparison of products from ERA-40, NCEP-2 and CRU with station data for summer precipitation over China. *Advances in Atmospheric sciences*, 23, 593-604.
- Zhuo, L., Hoekstra, A.Y., 2017. The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 4, 185-194.