نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، ص. ۱۸۲-۱۶۵

Water Management in Agriculture
Vol. 11, No. 1, Autumn And Winter 2025, 165-182

مقاله علمی -پژوهشی

تأثیر تغییر اقلیم و تاریخ‌های مختلف کاشت بر ردپای آبی گندم بهاره در دشت قزوین

فاطمه برزو[۱]، هادی رمضانی اعتدالی[۲*] و عباس کاویانی[۳]

چکیده

تعیین میزان آب مصرفی گیاهان با توجه به کمبود منابع آب و وقوع تغییر اقلیم در بسیاری از مناطق بسیار ضروری است. چرا که با تعیین آن می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. یک شاخص جهانی در سال ۲۰۰۲ تحت عنوان ردپای آب معرفی شده است. این شاخص بر اساس شرایط گیاه و اقلیم هر منطقه مقدار آب مصرفی محصولات را نشان می‌دهد. این تحقیق در بازه ۲۱۰۰-۲۰۲۱ و با مقایسه دو منبع اطلاعاتی LARS-WG و DKRZ در تولید داده‌های سالانه تغییر اقلیم (دمای کمینه و بیشینه، بارش) و به‌کارگیری مدل Aquacrop در شبیه‌سازی واکنش گیاه نسبت به تغییرات اقلیمی و تغییر تاریخ کشت، انجام شد سپس در ۴ دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مناسب‌ترین تاریخ‌های کشت متفاوت (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین) به‌منظور افزایش عملکرد گندم و کاهش متغیرهای دیگر بررسی و مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌ها نشان داد که میانگین ردپای آب آبی نسبت به مقدار آن در دوره پایه برای تاریخ‌های مورد بررسی و در دوره‌های یاد شده کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین بیشترین مقدار ردپای آب آبی در تمام این دوره‌ها و مدل‌ها برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵ درصورتی‌که تاریخ کشت ۱۵ اسفندماه انجام شود، پیش‌بینی می‌شود که مقدار مصرف آب از منابع آبی در آن برابر ۴۵۷/۶ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۳۱/۷ مترمکعب بر تن پیش‌بینی می‌شود. کم‌ترین ردپای آب آبی نیز برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵ درصورتی‌که تاریخ کشت ۱۵ بهمن‌ماه انجام شود، گزارش می‌شود که مقدار آن برابر ۱۴۵/۱ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۷/۱۳ مترمکعب بر هکتار است. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، تاریخ ۱۵ فروردین (۴ آوریل)، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، تاریخ ۱۵ فروردین (۴ آوریل)، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تاریخ ۱ فروردین (۲۱ مارس) و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تاریخ ۱۵ فروردین (۴ آوریل)، به‌عنوان مناسب‌ترین تاریخ کشت در این دوره‌ها و تاریخ‌ها توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بارش، دما، Aquacrop، DKRZ، LARS-WG

مقدمه

با توجه به وقوع تغییرات در مقدار دما و میزان بارندگی می‌توان گفت که پیش‌بینی‌ها برای وقوع تغییر اقلیم به حقیقت پیوسته است. البته مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفتند. این تغییرات پیامدهای زیادی برای جامعه جهانی در پی دارد که می‌توان گفت اصلی‌ترین اثر تغییر اقلیم بر روی امنیت غذایی جوامع است. ازاین‌رو لازم است تا شدت این تغییرات بر روی دما و بارندگی که دو مؤلفه اصلی برای تغییر اقلیم یک منطقه است، بررسی شود. محققان برای بررسی مقدار این تغییرات در مناطق مختلف از مدل‌های آب‌وهوای جهانی (GCM) استفاده می‌کنند. برای استفاده از این مدل‌ها برای ایستگاه‌ها و

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
[۲] استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران (* نویسنده مسئول: Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)
[۳] دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۳/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۳/۰۷/۰۱

مناطق کوچک‌تر لازم است تا خروجی‌های به دست آمد به مقیاس‌های کوچک‌تر تبدیل شوند. تبدیل خروجی‌های GCM با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس مانند LARS-WG، SDSM، GEM و غیره انجام می‌شود. با استفاده از این مدل‌ها سری‌های زمانی روزانه متغیرهای هواشناسی همانند بارش، دما و تشعشع خورشیدی تولید می‌شود (Racsko et al.1991). از مدل LARS-WG به‌عنوان یک مولد داده‌های تصادفی هواشناسی برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده استفاده می‌شود (Racsko et al., 1991). LARS-WG به‌عنوان یک مدل ریز مقیاس‌ساز است که باوجود پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش-بینی تغییر اقلیم دارد (Semonov et al. 2010). در پژوهش برخوری و همکاران (۱۳۹۹) پیش‌بینی تولید خالص اولیه بیوم‌های مختلف دشت جیرفت با بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در دوره-های آتی از مدل LARS-WG6 در مواجهه با تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها جهت کمی کردن اثرات تغییر اقلیم روی اکوسیستم‌ها، تولید خالص بیوم‌های مختلف در دشت جیرفت برای دوره‌های زمان ۲۰۱۵-۲۰۰۱ و ۲۰۳۰-۲۰۱۶ با استفاده از مدل BIOME- BGC را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از مقایسه پارامترهای اقلیمی برای دو دوره مذکور حاکی از افزایش بارش، دمای کمینه و بیشینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه است. در پژوهشی، روند دمایی دورهٔ آتی در دشت ابهر تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آینده و اثرات آن بر عملکرد گوجه‌فرنگی بررسی شد. سپس، با استفاده از شبیه‌سازی عملکرد گیاه به‌وسیله مدل AquaCrop، عملکرد گیاه در دوره‌های زمانی آتی و در زمان‌های کشت متفاوت شبیه‌سازی و برآورد شد. در این مطالعه بازه زمانی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی، افق نزدیک ۲۰۳۰-۲۰۱۱، افق میانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و افق دور ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در نظر گرفته شده است. به‌منظور ریزمقیاس نمایی نتایج مدل شبیه‌سازی گردش عمومی جو از نرم‌افزار LARS-WG با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوی A2 استفاده شد. سپس تولید فایل سناریو برای دوره پایه انجام شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین عملکرد در کشت محصول گوجه‌فرنگی در زمان حال مربوط به کشت ۱۵ خرداد با ۵۷/۵۵ تن در هکتار است (شیردلی و همکاران، ۱۴۰۱). محققان برای بررسی بهتر عملکرد محصولات زراعی به بررسی میزان آب مصرفی گیاهان تحت عنوان ردپای آب در گیاهان مختلف می-پردازند. مفهوم ردپای آب برای اولین بار توسط هوکسترا و هانگ در سال ۲۰۰۲ معرفی شد(Hoekstra and Hung, 2002) . ردپای آب برای گیاهان مختلف با توجه به میزان مصرف آب در آن‌ها متفاوت خواهد بود. محاسبات ردپای آب به دلیل نیاز به پارامترهای مختلف با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی انجام می-شود. در مطالعه‌ای به دنبال تعیین شواهدی از تغییرات اقلیمی در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰ و تأثیر ناشی از آن بر ردپای آب آبی در تولید گندم زمستانه در زیمبابوه انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد اثرات تجمعی تغییرات اقلیمی بر نیاز آبی محصولات و عملکرد گندم، ردپای آب آبی را تا ۴ درصد افزایش می‌دهد. نتایج دیگر این مطالعه نشان داد که تغییرات اقلیمی و عوامل مدیریت کشاورزی ممکن است به یک اندازه باعث افزایش ردپای آب شوند (Govere et al.,2020). آبابایی و رمضانی برای ارزیابی ردپای آب غلات اصلی در ایران مطالعه‌ای انجام دادند. آنها میانگین وزنی هر جزء ردپای آب (سبز، آبی، خاکستری و سفید) و ردپای کل آب ملی تولید در غلات اصلی را (گندم، جو و ذرت) محاسبه کردند. برای دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۶ ردپای آب برای محصولات گندم، جو و ذرت به ترتیب ۳۶۷۷۷، ۷۹۷۵ و ۳۷۴۴ میلیون مترمکعب در سال برای دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۶ برآورد شد. نسبت کل ردپای آب سبز سه محصول به ردپای کل (همه محصولات) ۴۳٪ و نسبت ردپای آب سبز به ردپای آب کل ملی برای گندم، جو و ذرت به ترتیب ۴۷٪، ۴۲٪ و ۲٪ بود .این نتایج نشان می‌دهد که تولید گندم و جو به‌طور قابل‌توجهی مصرف‌کنندگان بزرگ منابع آبی سبز (بارش مؤثر) هستند (Ababaei and Ramezani Etedali, 2017). یکی از مطالعاتی که بر روی اثر تغییر اقلیم بر روی گیاه ذرت در شمال ایتالیا انجام شده است نشان داده است تغییر اقلیم در دوره ۲۰۵۴-۲۰۴۵ با استفاده از مدل‌های گردش جهانی (GCM)، تحت سناریو A2 با افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره‌های آتی خود را نشان خواهد داد که موجب کاهش عملکرد و افزایش ردپای آب به‌ویژه آب آبی در محصول ذرت به دلیل افزایش تبخیر تعرق و نیاز آبی خواهد شد (Bocchiola et ai., 2013). در این مطالعه با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جهانی (GCM) و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و مدل ریز مقیاس کننده LARS-WG و پایگاه

اطلاعاتی DKRZ داده‌های هواشناسی (دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش) برای ۴ دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰) و برای تاریخ‌های کشت متفاوت (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین) پیش-بینی شده‌اند. سپس با استفاده از آن، بیش‌ترین و کم‌ترین ردپای آب آبی در طول این دوره‌ها، مدل و سناریویی که تحت شرایط مشابه آن، بیش‌ترین و کم‌ترین ردپای آب آبی مصرف می‌شود، با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop ارزیابی می‌شود. در انتها، ردپای آب آبی محصولات در تاریخ‌های متفاوت، مقایسه خواهد شد و تاریخی که اگر در آن کشت صورت گیرد کم‌ترین مقدار ردپای آب در دشت قزوین مصرف خواهد شد، معرفی می‌شود. چرا که هر چه میزان ردپای آب آبی زیاد شود، میزان آب مصرفی افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ به‌منظور تولید داده‌های اقلیمی با استفاده از دو منبع اطلاعاتی DKRZ و LARS-WG انجام شد. بازه زمانی سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ ایستگاه سینوپتیک قزوین به‌عنوان داده‌های پایه در نظر گرفته شد.

ایستگاه همدید

در بازه زمانی سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ داده‌های روزانه‌ی دمای حداقل (درجه سلسیوس)، دمای حداکثر (درجه سلسیوس)، بارش (میلی متر در روز) و ساعت آفتابی (تعداد ساعت در طول یک شبانه‌روز) از ایستگاه سینوپتیک قزوین اخذ گردید. ازآنجایی‌که دوره ۲۰ ساله برای مراحل بعدی داده‌ها مناسب بود، داده‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ به‌عنوان داده‌های پایه انتخاب شد. سپس بر روی داده‌ها ارزیابی انجام شد. به‌منظور تولید داده‌های تغییر اقلیم در مدل LARS-WG، ابتدا می‌بایست مجموعه‌ای از داده‌های (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی) در طول بازه‌ای چندساله، تحت عنوان داده‌های پایه به نرم‌افزار داده می‌شد که این کار با استفاده از داده‌های ایستگاه قزوین انجام شد. برای معرفی داده‌های پایه به مدل LARS-WG، داده‌ها به ترتیب شماره سال، روز ژولیوسی، دما حداقل (درجه سلسیوس)، دما حداکثر (درجه سلسیوس)، بارش (میلی‌متر در روز) و ساعت آفتابی (تعداد ساعت در طول یک شبانه‌روز) در ستون‌های مجزا مرتب شدند. با فرمت DAT به مدل معرفی شدند. مشخصات ایستگاه موردنظر ازجمله، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، با فرمت St نیز آماده شدند و به مدل LARS-WG جهت تولید داده‌ها داده شد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه قزوین

ایستگاه	طول و عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طبقه‌بندی اقلیمی
قزوین	36.14°E 50.24°N	۱۲۹۷	**Semi-Arid**

پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ

مرکز محاسبات اقلیمی آلمان (DKRZ: Deutsches Klimarechenzentrum GmbH) یک سرویس بایگانی طولانی‌مدت را برای مجموعه داده‌های تحقیقاتی بزرگ که مربوط به تحقیقات اقلیم یا سیستم زمین است فراهم می‌کند. این سرویس شامل قابلیت بایگانی و بازیابی داده‌ها برای بازه‌های زمانی ۱۰ ساله یا بیشتر است. بایگانی طولانی‌مدت DKRZ (LTA) طبق ضوابط Core Trust Seal (CTS) تأیید شده است و به‌عنوان مرکز داده جهانی آب‌وهوا (WDCC)، عضو منظم سیستم داده جهانی معتبر است. داده‌های دما حداکثر (کلوین)، دما حداقل (کلوین) و بارش (کیلوگرم بر مترمربع در هر ثانیه) برای مدل‌های EC-EARTH، GFDLCM3، HadGEM2-Es، MIROC5 و MPI-ESM-MR در سال‌های آماری ۱۹۹۱–۲۰۲۰ از این پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ (به آدرس https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cerasearch) دانلود شد. فایل‌های دانلود شده با فرمت NC هستند که به‌منظور تبدیل فرمت به TXT در محیط ARCGIS فراخوانی شدند. سپس تبدیل واحدهای لازم

برای دما و بارش صورت گرفت تا داده‌های دما برحسب سانتی‌گراد و بارش برحسب میلی‌متر در روز شوند.

تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) ۴/۵ و ۸/۵ در سال های آماری ۲۱۰۰-۲۰۲۱ داده‌های دما حداکثر (کلوین)، دما حداقل (کلوین) و بارش (کیلوگرم بر مترمربع در هر ثانیه) برای مدل‌های EC-EARTH، GFDLCM3، HadGEM2-Es، MIROC5 و MPI-ESM-MR دانلود شد. در محیط ARCGIS فایل‌های دانلود شده با فرمت NC فراخوانی شدند و به فایل TXT تبدیل شدند. سپس تبدیل واحدهای لازم برای دما و بارش صورت گرفت تا داده‌های دما برحسب سانتی‌گراد و بارش برحسب میلی متر در روز شوند.

LARS-WG

LARS- WG یک مولد تصادفی آب و هوا است که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حال و آینده اقدام به تولید سری زمانی پارامترهای هواشناسی می‌کند. این ابزار از توزیع نیمه تجربی (Emp) برای طول سری‌های روزانه خشک و تر، بارش روزانه و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند.

$$EMP = a.,a_i, h_i \qquad i=1, 2, 3, \ldots, 23 \qquad (۱)$$

در این رابطه Emp یک هیستوگرام با تعداد فواصل ۲۳ است (در نسخه‌ی سوم تعداد فواصل ۱۰ بوده است) که در آن a به شرح زیر تعریف شده است.

$$(a_{i-1}, a_i) \qquad a_{i-1} < a_i \qquad (۲)$$

و h تعداد رخدادهای مشاهده‌شده در i امین فاصله است. چنین توزیعی انعطاف‌پذیر است و می‌تواند با تنظیم فواصل، تقریبی از انواع مختلفی از شکل‌ها باشد. فواصل (a_{i-1}, a_i) بر اساس خواص مورد انتظار از متغیرهای آب و هوا انتخاب می‌شوند. برای تابش خورشیدی، این فواصل به‌طور مساوی بین مقادیر کمینه و بیشینه داده‌های مشاهداتی ماهانه است. حداقل دما، حداکثر دما و تابش خورشیدی مربوط به میانگین پوشش ابر است، بنابراین LARS-WG از توزیع جداگانه‌ای برای روزهای تر و خشک برای هر یک از این متغیرها استفاده می‌کند (Semenov, 2008). در نسخه‌های مختلف LARS-WG، گزارش‌های مختلف تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است. در این پژوهش، نسخه ششم به کار گرفته شده است. در مدل LARS-WG6.0 گزارش‌های پنجم مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوهای مختلف وجود داشته که توسط مراکز تحقیقاتی کشورهای مختلف ارائه شده‌اند. برای اجرای این مدل‌ها، دانشمندان جو کره زمین را به‌صورت سه‌بعدی شبکه‌بندی می‌کنند و معادلات فوق‌الذکر را بر روی این شبکه حل می‌نمایند. مدل‌های اتمسفری برای حل معادلات مربوط به‌سرعت باد، انتقال گرما، تابش، رطوبت نسبی و هیدرولوژی آب‌های سطحی بر روی هر یک از گره‌های شبکه حل می‌شوند و نتایج به‌دست‌آمده را با نتایج نظیر نقاط همسایه شبکه تعدیل می‌کنند (IPCC, 2007). در این پژوهش با بررسی مدل‌های گردش عمومی موجود در نرم‌افزار، پنج مدل گردش عمومی تحت سناریوهای میانی و بدبینانه مطابق جدول (۲) انتخاب گردید.

جدول ۲- GCM همراه با سناریوهای مربوطه

GCM	Scenario
EC-EARTH	rcp 4/5
	rcp 8/5
GFDL-CM3	rcp 4/5
	rcp 8/5
HadGEM2-ES	rcp 4/5
	rcp 8/5
MIROC5	rcp 4/5
	rcp 8/5
MPI-ESM-MR	rcp 4/5
	rcp 8/5

ردپای آب آبی (Blue water footprint)

آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی (دریاچه‌ها و رودخانه ها)، آب آبی را تشکیل می‌دهند و به مجموع آبی که از این منابع برای رشد یک گیاه استفاده می‌شود، ردپای آبی آن گیاه اطلاق می‌شود.

ردپای آب آبی به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود؛ که در آن WF_B ردپای آب آبی برحسب (m^3/ton)، I_r مقدار نیاز آبیاری برحسب (mm) و Y عملکرد محصول برحسب (ton) می‌باشند.

$$WF_B = \frac{10 \times I_r}{Y} \quad (۳)$$

برای محاسبه عملکرد محصول از میانگین داده‌های ۵ مدل گردش عمومی جو تحت سه متغیر دما حداقل، دما حداکثر و بارش به تفکیک داده‌های LARS-WG6.0 و داده‌های پایگاه اطلاعاتی DKRZ و سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد و به‌منظور تولید پارامترهای عملکرد، بارش، تاریخ برداشت محصول به مدل Aquacrop معرفی شد. در این مدل محاسبه مقدار عملکرد بر اساس رابطه (۴) صورت می‌گیرد.

$$Y = HI \times Biomass \quad (۴)$$

Y در این رابطه همان عملکرد برحسب(ton/ha) ، HIشاخص برداشت برای شکست گرده‌افشانی، فتوسنتز ناکافی و تنش آبی برحسب (درصد) و Biomass زیست‌توده تجمعی تولیدشده برحسب (ton/ha) است.

تاریخ کشت گندم بهاره ۶ مارس (۱۵ اسفند) در نظر گرفته شد. به‌منظور ارزیابی تاریخ‌های کشت در دیگر تاریخ‌های کشت به فاصله ۱۵ و ۳۰ روز جلوتر و عقب‌تر از تاریخ موردنظر نیز، جهت بررسی به مدل معرفی شدند تا بتوان تأثیر تاریخ کشت بر میانگین ردپای آب آبی، محصول را موردبررسی قرار داد؛ یعنی تاریخ‌های ۴ فوریه (۱۵ بهمن)، ۲۰ فوریه (۱ اسفند)، ۲۱ مارس (۱ فروردین) و ۴ آوریل (۱۵ فروردین). مقدار متغیر (ردپا آب آبی) محصول (گندم بهاره) که در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ و در تاریخ‌های کشت متفاوت، در ۴ دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰) بررسی شدند. روند تغییرات آن (افزایش یا کاهش) و بیش‌ترین و کم‌ترین این متغیرها در طول این دوره‌ها، مدل و سناریویی که تحت آن بیش‌ترین و کم‌ترین این متغیرها را گزارش می‌کند، میانگین اختلاف متغیرها در طول دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در شرایطی که کشت در تاریخ‌های متفاوت صورت گیرد، ارزیابی شدند.

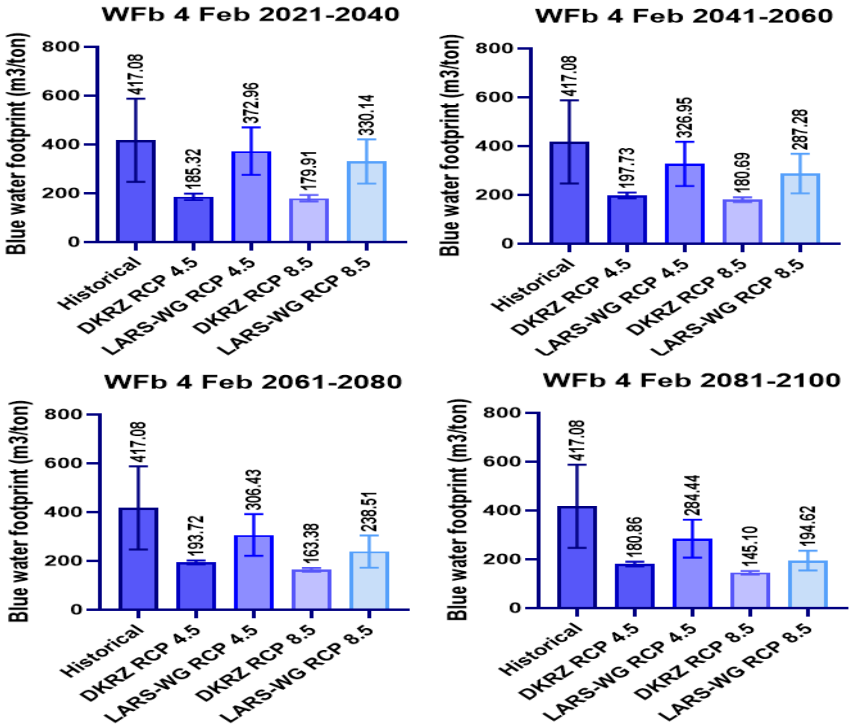
نتایج و بحث

ردپای آب آبی گندم بهاره- تاریخ کشت ٤ فوریه (۱۵ بهمن)

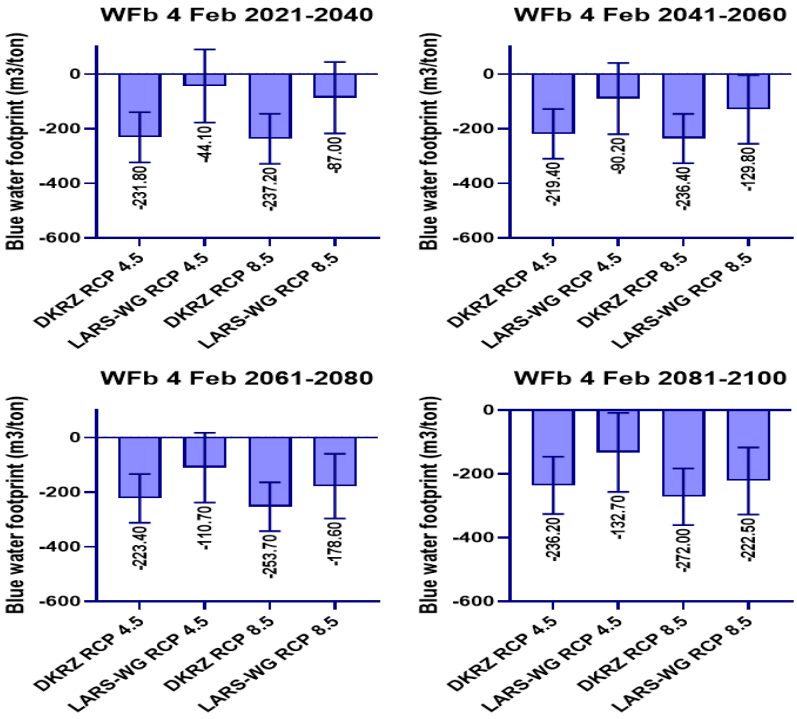
طبق نتایج مدل Aquacrop همان‌طور که در شکل ۱ قابل‌مشاهده است، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره در دوره پایه درصورتی‌که کشت در تاریخ ۱۵ بهمن‌ماه انجام گیرد، برابر ۴۱۷/۱ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۱۷۰/۴ مترمکعب بر تن است. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰) در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵؛ کاهش ردپای آب آبی گندم بهاره نسبت به ردپای آب آبی دوره پایه گزارش می‌شود. در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکرشده برابر ۱۸۵/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳/۱۸ مترمکعب بر تن)، ۱۹۷/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۰۲ مترمکعب بر تن)، ۱۹۳/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸/۰۷ مترمکعب بر تن) و ۱۸۰/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹/۷۴ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۲۳۱/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۱/۷۹ مترمکعب بر تن)، ۲۱۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۱/۲۱ مترمکعب بر تن)، ۲۲۳/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۹/۲۳ مترمکعب بر تن) و ۲۳۶/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۰/۰۷ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش ردپای آب آبی پیش‌بینی می‌شود (مطابق شکل ۲). در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۷۹/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۸ مترمکعب بر تن)، ۱۸۰/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹/۸ مترمکعب بر تن)، ۱۶۳/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷/۹۲ مترمکعب بر تن) و ۱۴۵/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷/۱۳ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۲۳۷/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۱/۶ مترمکعب بر تن)، ۲۳۶/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۰/۱ مترمکعب بر تن)، ۲۵۳/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۹/۱۶ مترمکعب بر تن) و ۲۷۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۸/۷۶ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود. کمترین ردپای آب آبی تحت شرایط اقلیمی

حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۳۷۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۷/۱۹ مترمکعب بر تن)، ۳۲۶/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۰/۷۴ مترمکعب بر تن)، ۳۰۶/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۵/۲۱ مترمکعب بر تن) و ۲۸۴/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۰/۶۸ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۴۴/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳۳/۷۹ مترمکعب بر تن)، ۹۰/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳۰/۵۷ مترمکعب بر تن)، ۱۱۰/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲۷/۸ مترمکعب بر تن) و ۱۳۲/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲۴/۰۴ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود. بیشترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در دوره های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره های ذکر شـــده برابر ۳۳۰/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹۰/۸ مترمکعب بر تن)، ۲۸۷/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۰/۹۲ مترمکعب بر تن)، ۲۳۸/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۶/۱۲ مترمکعب بر تن) و ۱۹۴/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیـار ۴۰/۴۵ مترمکعـب بر تن) خواهـد بود. لـذا ۸۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳۰/۶ مترمکعب بر تن)، ۱۲۹/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲۵/۶۶ مترمکعب بر تن)، ۱۷۸/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۱۸/۲۶ مترمکعب بر تن) و ۲۲۲/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۰۵/۴۲ مترمکعب بر تن) نســـبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود.



شکل ۱- ردپای آب آبی گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی درصورتی‌که تاریخ کشت ۱۵ بهمن‌ماه در نظر گرفته شود



شکل ۲- تغییرات متوسط ردپای آب آبی گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ درصورتی‌که تاریخ کشت محصول ۱۵ بهمن‌ماه در نظر گرفته شود

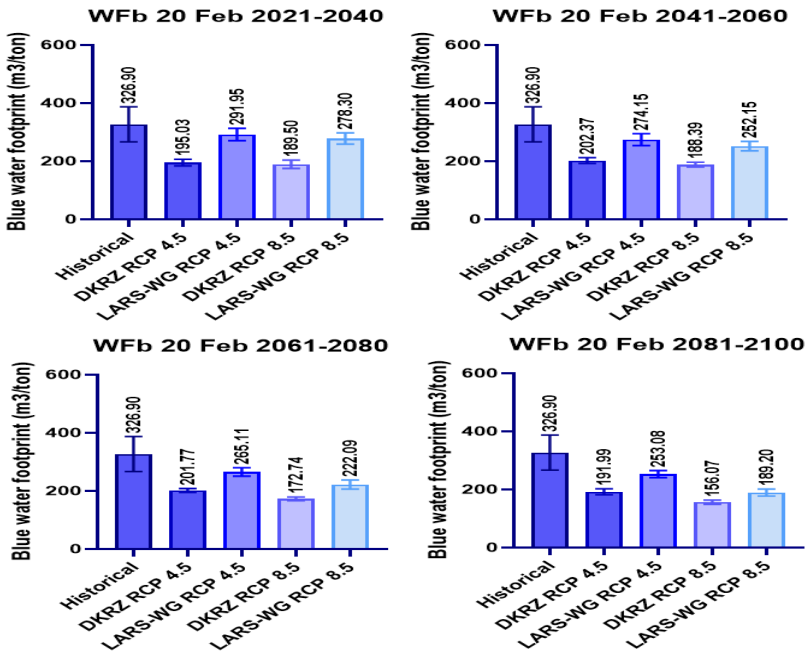
۱) ردپای آب آبی گندم بهاره- تاریخ کشت ۲۰ فوریه (اسفند)

طبق نتایج مدل Aquacrop همان‌طور که در شکل ۴ قابل‌مشاهده است، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره در دوره پایه درصورتی‌که کشت در تاریخ ۱ اسفندماه انجام گیرد، برابر ۳۲۶/۹ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۶۰/۱۵ مترمکعب بر تن است. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵؛ کاهش ردپای آب آبی گندم بهاره نسبت به ردپای آب آبی دوره پایه گزارش می‌شود.

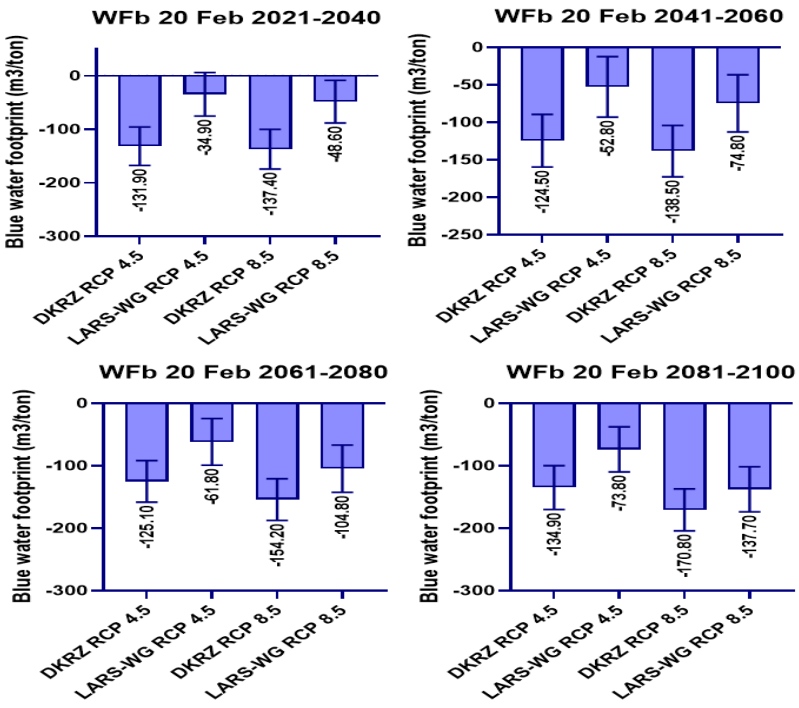
در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۹۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۱/۵۳ مترمکعب بر تن)، ۲۰۲/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۰/۰۳ مترمکعب بر تن)، ۲۰۱/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶/۲۹ مترمکعب بر تن) و ۱۹۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۰/۱ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۱۳۱/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۸۴ مترمکعب بر تن)، ۱۲۴/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۰۹ مترمکعب بر تن)، ۱۲۵/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۳/۲۲ مترمکعب بر تن) و ۱۳۴/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۱۲ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش ردپای آب آبی پیش‌بینی می‌شود (مطابق شکل ۳ و ۴).

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۸۹/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۴/۱۱ مترمکعب بر تن)، ۱۸۸/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸/۲۸ مترمکعب بر تن)، ۱۷۲/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶/۶۸ مترمکعب بر تن) و ۱۵۶/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار

۷/۲۴ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۱۳۷/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۱۳ مترمکعب بر تن)، ۱۳۸/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۴/۲۱ مترمکعب بر تن)، ۱۵۴/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۳/۴۱ مترمکعب بر تن) و ۱۷۰/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۳/۶۹ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود. کمترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۹۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۱/۲۵ مترمکعب بر تن)، ۲۷۴/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۰/۵۲ مترمکعب بر تن)، ۲۶۵/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۴/۴۸ مترمکعب بر تن) و ۲۵۳/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۱ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۳۴/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۰/۷ مترمکعب بر تن)، ۵۲/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۰/۳۳ مترمکعب بر تن)، ۶۱/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۳۱ مترمکعب بر تن) و ۷۳/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۶/۱۲ مترمکعب بر تن) ردپای آب آبی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. بیشترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۷۸/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۹/۵۸ مترمکعب بر تن)، ۲۵۲/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۶/۳۵ مترمکعب بر تن)، ۲۲۲/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۵/۶۲ مترمکعب بر تن) و ۱۸۹/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۰۲ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۴۸/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۹/۸۶ مترمکعب بر تن)، ۷۴/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۲۵ مترمکعب بر تن)، ۱۰۴/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۸۸ مترمکعب بر تن) و ۱۳۷/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۶/۰۸ مترمکعب بر تن) ردپای آب آبی نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.



شکل ۳- ردپای آب آبی گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی درصورتی‌که تاریخ کشت ۱ اسفندماه در نظر گرفته شود

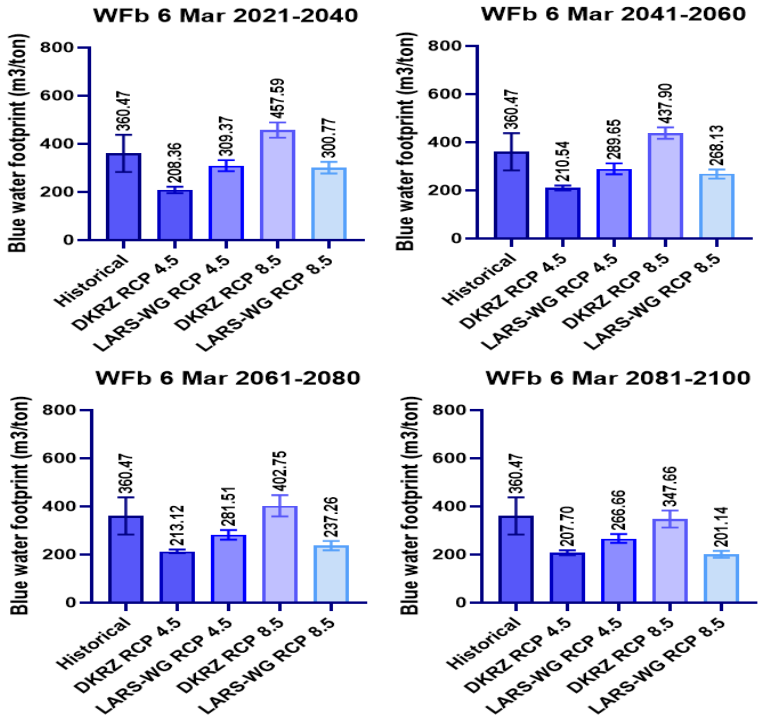


شکل ٤- تغییرات متوسط ردپای آب آبی گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ درصورتی‌که تاریخ کشت محصول ۱ اسفندماه در نظر گرفته شود

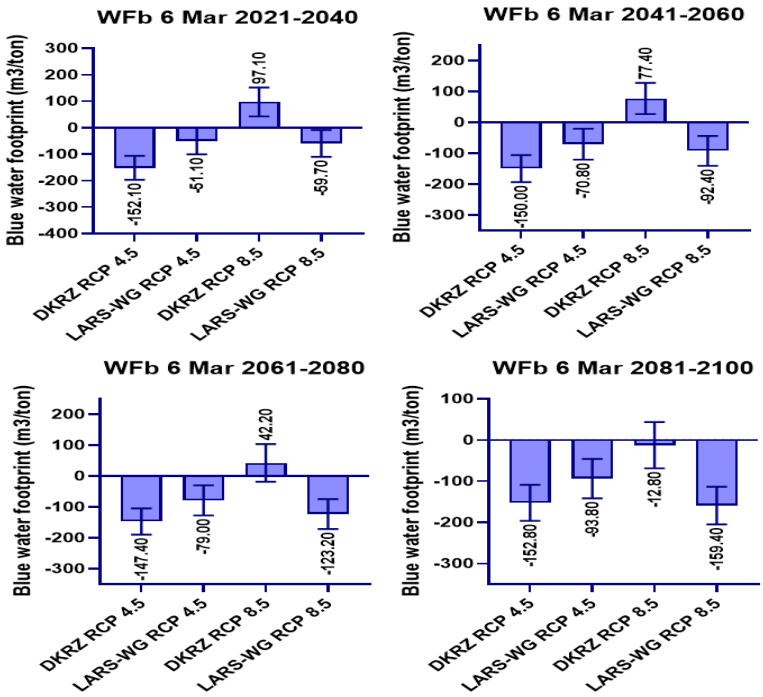
ردپای آب آبی گندم بهاره- تاریخ کشت ٦ مارس (١٥ اسفند)

طبق نتایج مدل Aquacrop همان‌طور که در شکل ۵ قابل‌مشاهده است، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره در دوره پایه درصورتی‌که کشت در تاریخ ۱۵ اسفندماه انجام گیرد، برابر ۳۶۰/۵ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۷۷/۳۹ مترمکعب بر تن خواهد بود. در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۰۸/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳/۳۶ مترمکعب بر تن)، ۲۱۰/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹/۹ مترمکعب بر تن)، ۲۱۳/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷/۵۴ مترمکعب بر تن) و ۲۰۷/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۰/۲۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۱۵۲/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۳۷ مترمکعب بر تن)، ۱۵۰ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۶۴ مترمکعب بر تن)، ۱۴۷/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۲/۴۶ مترمکعب بر تن) و ۱۵۲/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۸۲ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش ردپای آب آبی پیش‌بینی می‌شود (مطابق شکل ۵ و ۶). در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۴۵۷/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۱/۷ مترمکعب بر تن)، ۴۳۷/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۳/۸ مترمکعب بر تن)، ۴۰۲/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۳۳ مترمکعب بر تن) و ۳۴۷/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۱۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰ و ۲۰۶۱–۲۰۸۰ ۹۷/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۴/۵۴ مترمکعب بر تن)، ۷۷/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۵۹ مترمکعب بر تن) و ۴۲/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۰/۸۶ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه افزایش گزارش می‌شود و در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰، ۱۲/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۶/۲۷ مترمکعب بر تن) کاهش ردپای آب آبی نسبت به مقدار آن در دوره

پایه پیش‌بینی می‌شود. بیشترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۳۰۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۲/۹۸ مترمکعب بر تن)، ۲۸۹/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۲/۶۸ مترمکعب بر تن)، ۲۸۱/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۰/۰۳ مترمکعب بر تن) و ۲۶۶/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۸/۲۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۵۱/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۱۸ مترمکعب بر تن)، ۷۰/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۰۳ مترمکعب بر تن)، ۷۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۷۱ مترمکعب بر تن) و ۹۳/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۸۲ مترمکعب بر تن) ردپای آب آبی نسبت به دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۳۰۰/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۳/۹۳ مترمکعب بر تن)، ۲۶۸/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۹/۱۹ مترمکعب بر تن)، ۲۳۷/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۹/۳۶ مترمکعب بر تن) و ۲۰۱/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۴ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۵۹/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۶۶ مترمکعب بر تن)، ۹۲/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۲۹ مترمکعب بر تن)، ۱۲۳/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۳۷ مترمکعب بر تن) و ۱۵۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۶۹ مترمکعب بر تن) ردپای آب آبی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. کمترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد.



شکل ۵- ردپای آب آبی گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، در ٤ بازه زمانی دوره آتی درصورتی‌که تاریخ کشت ۱۵ اسفندماه در نظر گرفته شود



شکل ٦- تغییرات متوسط ردپای آب آبی گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ درصورتی‌که تاریخ کشت محصول ۱۵ اسفندماه در نظر گرفته شود

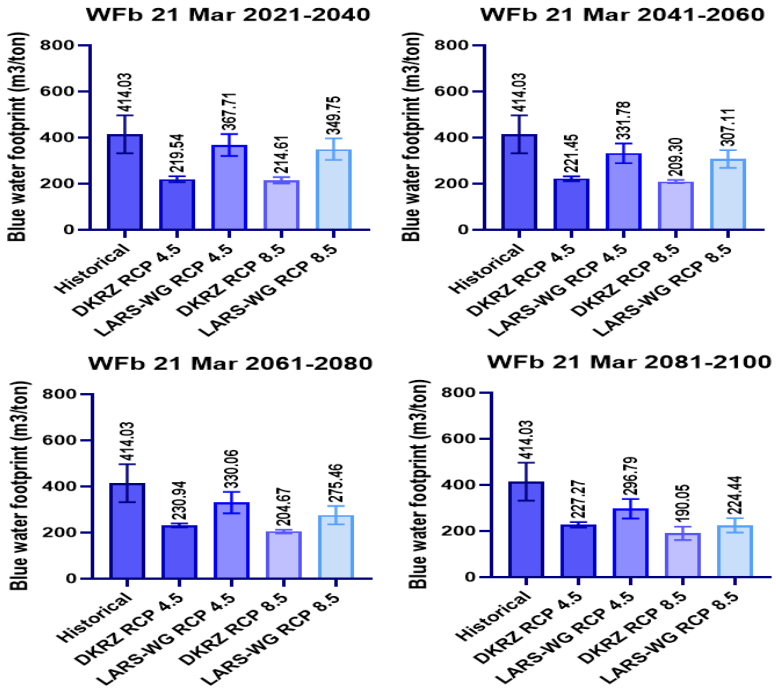
ردپای آب آبی گندم بهاره- تاریخ کشت ۲۱ مارس (۱ فروردین)

طبق نتایج مدل Aquacrop همان‌طور که در اشکال ۷ و ۸ قابل‌مشاهده است، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره در دوره پایه درصورتی‌که کشت در تاریخ ۱ فروردین‌ماه انجام شود، برابر ۴۱۴ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۸۲/۵۲ مترمکعب بر تن است. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰) در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵؛ کاهش ردپای آب آبی گندم بهاره نسبت به ردپای آب آبی دوره پایه گزارش می‌شود.

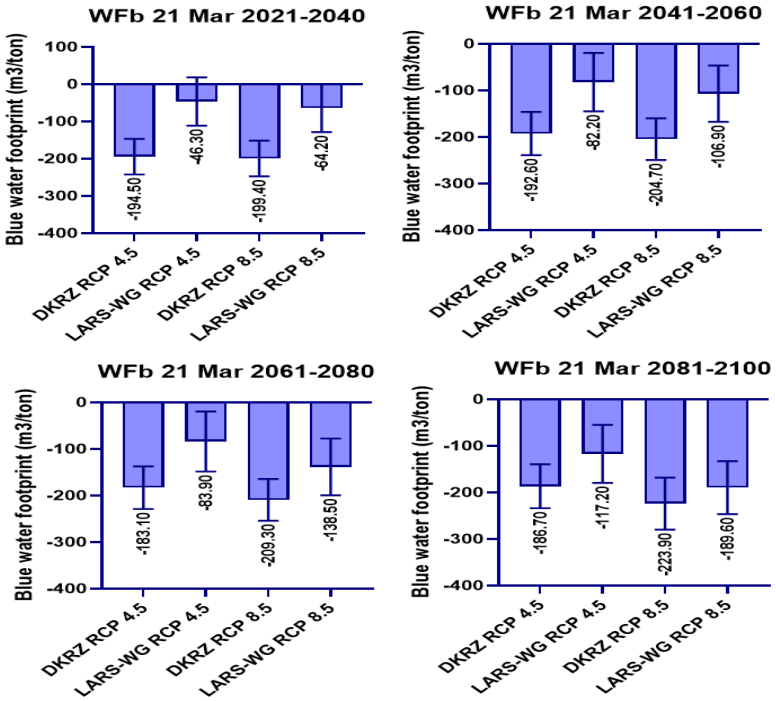
در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۱۹/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۶۵ مترمکعب بر تن)، ۲۲۱/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۰/۵۵ مترمکعب بر تن)، ۲۳۰/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸/۹ مترمکعب بر تن) و ۲۲۷/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۰۵ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۱۹۴/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۵۸ مترمکعب بر تن)، ۱۹۲/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۵۳ مترمکعب بر تن)، ۱۸۳/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۷۱ مترمکعب بر تن) و ۱۸۶/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۲۸ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش ردپای آب آبی پیش‌بینی می‌شود (مطابق شکل ۷ و ۸).

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۱۴/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳/۶۵ مترمکعب بر تن)، ۲۰۹/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶/۹۶ مترمکعب بر تن)، ۲۰۴/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷/۴ مترمکعب بر تن) و ۱۹۰/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۹/۲۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۱۹۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۰۸ مترمکعب بر تن)، ۲۰۴/۷ مترمکعب بر تن

(با انحراف معیار ۴۴/۷۴ مترمکعب بر تن)، ۲۰۹/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۹۶ مترمکعب بر تن) و ۲۲۳/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۵/۸۹ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود. کمترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۳۶۷/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۴۷ مترمکعب بر تن)، ۳۳۱/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۲/۸۵ مترمکعب بر تن)، ۳۳۰/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۵۸ مترمکعب بر تن) و ۲۹۶/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۲/۳۱ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۴۶/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۴/۹۹ مترمکعب بر تن)، ۸۲/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۲/۶۸ مترمکعب بر تن)، ۸۳/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۴/۵۵ مترمکعب بر تن) و ۱۱۷/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۲/۴۱ مترمکعب بر تن) ردپای آب آبی نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد یافت. بیشترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۳۴۹/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۵۸ مترمکعب بر تن)، ۳۰۷/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۴۹ مترمکعب بر تن)، ۲۷۵/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۹/۴۸ مترمکعب بر تن) و ۲۲۴/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۰/۹۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۶۴/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۴/۵۵ مترمکعب بر تن)، ۱۰۶/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۰/۵ مترمکعب بر تن)، ۱۳۸/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۱ مترمکعب بر تن) و ۱۸۹/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۶/۷۴ مترمکعب بر تن) ردپای آب آبی نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۷- ردپای آب آبی گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی درصورتی‌که تاریخ کشت ۱ فروردین‌ماه در نظر گرفته شود



شکل ۸- تغییرات متوسط ردپای آب آبی گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ درصورتی‌که تاریخ کشت محصول ۱ فروردین‌ماه در نظر گرفته شود

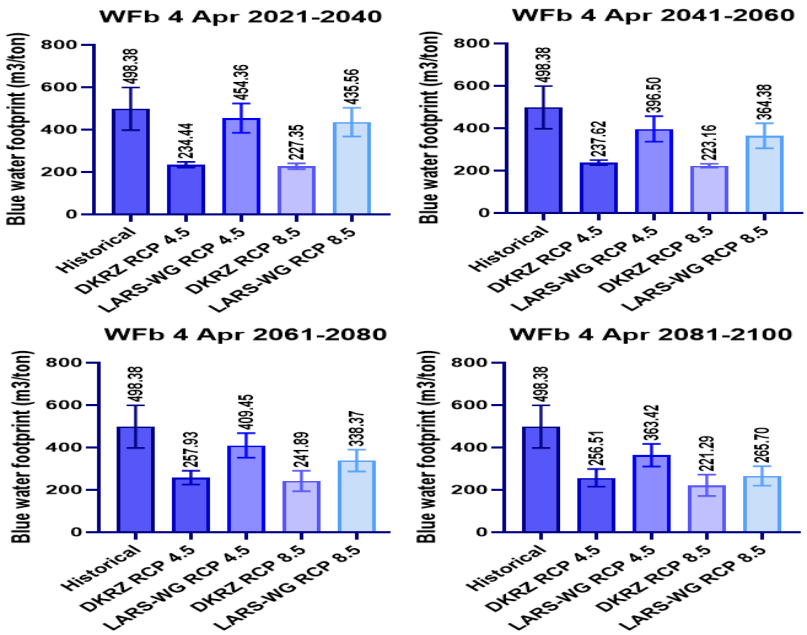
ردپای آب آبی گندم بهاره- تاریخ کشت ٤ آوریل (۱۵ فروردین)

طبق نتایج مدل Aquacrop همان‌طور که در اشکال ۹ و ۱۰ قابل‌مشاهده است، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره در دوره پایه درصورتی‌که کشت در تاریخ ۱۵ فروردین‌ماه انجام گیرد، برابر ۴۹۸/۴ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۱۰۰/۵ مترمکعب بر تن خواهد بود. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵؛ کاهش ردپای آب آبی گندم بهاره نسبت به ردپای آب آبی دوره پایه گزارش می‌شود.

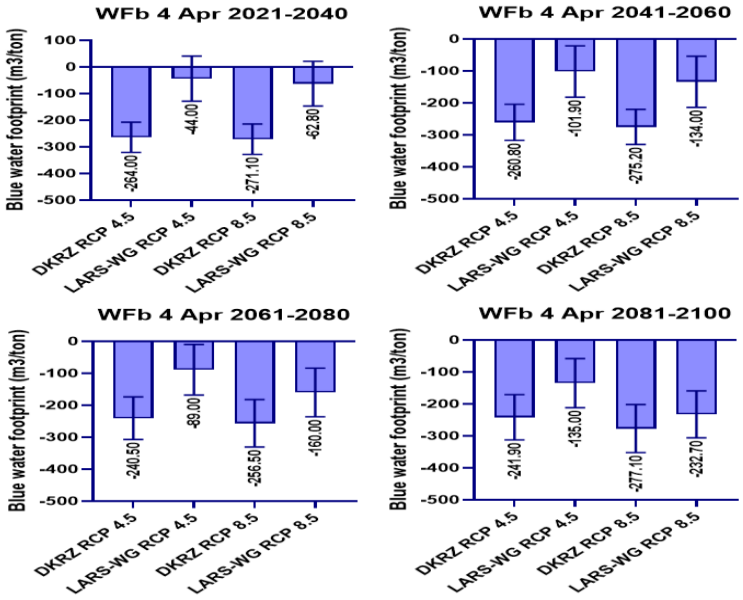
در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۳۴/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳/۲۱ مترمکعب بر تن)، ۲۳۷/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۲/۲۶ مترمکعب بر تن)، ۲۵۷/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۶۹ مترمکعب بر تن) و ۲۵۶/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۵۲ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۲۶۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۶/۸۵ مترمکعب بر تن)، ۲۶۰/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۶/۳۸ مترمکعب بر تن)، ۲۴۰/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۶/۵۹ مترمکعب بر تن) و ۲۴۱/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۱/۰۱ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش ردپای آب آبی پیش‌بینی می‌شود (مطابق شکل ۹ و ۱۰).

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۲۷/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۳/۶۴ مترمکعب بر تن)، ۲۲۳/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۹/۱ مترمکعب بر تن)، ۲۴۱/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۱۲ مترمکعب بر تن) و ۲۲۱/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف

معیار ۵۰/۰۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۲۷۱/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۷/۰۷ مترمکعب بر تن)، ۲۷۵/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۴/۸ مترمکعب بر تن)، ۲۵۶/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۴/۳۱ مترمکعب بر تن) و ۲۷۷/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۵/۲۸ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود. کمترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۴۵۴/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۹/۳ مترمکعب بر تن)، ۳۹۶/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۰/۲۶ مترمکعب بر تن)، ۴۰۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۷/۹۵ مترمکعب بر تن) و ۳۶۳/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۳/۳۹ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۴۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۴/۹ مترمکعب بر تن)، ۱۰۱/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۰/۳۸ مترمکعب بر تن)، ۸۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۹/۲۲ مترمکعب بر تن) و ۱۳۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۶/۹۴ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب آبی در دوره پایه کاهش گزارش می‌شود. بیشترین ردپای آبی در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب آبی گندم بهاره به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۴۳۵/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۷/۵۷ مترمکعب بر تن)، ۳۶۴/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۹/۳۸ مترمکعب بر تن)، ۳۳۸/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۴ مترمکعب بر تن) و ۲۶۵/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۸۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۶۲/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۸۴/۰۳ مترمکعب بر تن)، ۱۳۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۹/۹۴ مترمکعب بر تن)، ۱۶۰ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۵/۹۵ مترمکعب بر تن) و ۲۳۲/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۷۳/۱۸ مترمکعب بر تن) کاهش ردپای آب آبی نسبت به دوره پایه پیش‌بینی می‌شود.



شکل ۹- ردپای آب آبی گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی درصورتی‌که تاریخ کشت ۱۵ فروردین‌ماه در نظر گرفته شود



شکل ۱۰- تغییرات متوسط ردپای آب آبی گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ درصورتی‌که تاریخ کشت محصول ۱۵ فروردین‌ماه در نظر گرفته شود

علیقلی نیا و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی ردپای آب محصول گندم در نقاط استراتژیک ازنظر منابع آب (آب آبی، آب سبز و آب خاکستری) و ارائه الگوی کشت بهینه در اقلیم‌های مختلف ایران پرداخته‌اند. درنهایت ردپای آب آبی برابر ۵۹۴/۳ مترمکعب بر تن به دست آمد. رمضانی اعتدالی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی ردپای آب مجازی در چهار دسته ردپای آب آبی، ردپای آب سبز، ردپای آب خاکستری و ردپای آب سفید در ۱۱ محصول مختلف ازجمله گندم آبی پرداختند. در پژوهش آن‌ها ردپای آب آبی برابر ۴۳۷ مترمکعب بر تن برآورد شد. در پژوهش حاضر، به‌منظور کاهش ردپای آب آبی گندم در دشت قزوین؛ در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰،۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، تاریخ ۱۵ آذر (۶ دسامبر) به‌عنوان مناسب‌ترین تاریخ کشت، توصیه شد که مقدار ردپای آب آبی در تاریخ ذکر شده در این دوره‌ها به ترتیب برابر ۳۷۷/۴۵، ۳۶۵/۳، ۳۶۳/۲۷ و ۳۰۰/۱۷ مترمکعب بر تن محاسبه شد؛ که نشان می‌دهد کشت در تاریخ ۱۵ آذرماه میزان ردپای آب آبی نسبت به زمان حاضر کاهش پیدا می‌کند

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد میانگین ردپای آب آبی حاصل از شـــرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه های اطلا عاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، برای تاریخ‌های کشت ۱۵ بهمن (۴ فوریه)، ۱ اســفند (۲۰ فوریه)، ۱ فروردین (۲۱ مارس) و ۱۵ فروردین (۴ آوریل) برای تمامی دوره‌ها نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد داشـت. در تاریخ کشـت ۱۵ اسـفند (۶ مارس) برای شـــرایط اقلیمی حاصـــل از پایگاه‌های اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ افزایش ردپای آب آبی را نســـبت به دوره پایه پیش‌بینی می‌کند و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ در سناریوهای ۸/۵ و ۴/۵ میانگین ردپای آب نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد داشت. نتایج حاصل از بررسی داده‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد در دورهای ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تاریخ ۱۵ فروردین (۴ آوریل) و برای دوره ۲۰۸۱-۲۰۶۱ تاریخ ۱ فروردین (۲۱ مارس) مناسب‌ترین تاریخ جهت کشت گندم باهدف کاهش ردپای آب آبی نسبت به مقدار آن در دوره پایه، است؛ زیرا در شرایط اقلیمی گزارش شده از پایگاه‌های اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG در هر دو سـناریو ۴/۵ و ۸/۵، میانگین ردپای آب آبی که نشانگر مصرف آب محصول از منابع آبی سطحی و زیرزمینی اســـت، نســـبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش قابل‌توجهی پیدا می‌کند که این امر باعث بهبود وضـعیت آب‌های

سطحی و زیرزمینی در د سترس منطقه می شود. بی شترین مقدار ردپای آب آبی در تمام این دوره‌ها و مدل‌ها برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت شـرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سـناریو ۸/۵ درصورتی‌که تاریخ کشت ۱۵ اسفندماه انجام شود، پیش‌بینی می‌شـود که مقدار مصـرف آب از منابع آبی در آن برابر ۴۵۷/۶ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۳۱/۷ مترمکعب بر تن پیش‌بینی می‌شـود. کم‌ترین رد پای آب آبی نیز برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تحت شـرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سـناریو ۸/۵ درصـورتی‌که تاریخ کشـت ۱۵ بهمن‌ماه انجام شـود، گزارش می‌شـود که مقدار آن برابر ۱۴۵/۱ مترمکعب بر تن با انحراف معیار ۷/۱۳ مترمکعب بر تن است.

منابع

برخوری، س.، رفیعی ساردوئی، ا.، رمضانی، م.ح.، آذره، ع. و نصب پور، م. ۱۳۹۹. پیش‌بینی تولید خالص اولیهٔ بیوم‌های مختلف دشت جیرفت در مواجهه با تغییر اقلیم. مجله مرتع و آبخیزداری. ۷۳(۳): ۴۵۳-۴۷۱

شیردلی، ع.، خانی تملیه، ذ.، فخیمی، پ.، خانی تملیه، س. و میرعباسی نجف آبادی، ر. ۱۴۰۱. ارزیابی تغییر اقلیم و اثرات آن بر عملکرد گوجه فرنگی در دشت ابهر. مدلسازی و مدیریت آب و خاک. ۲(۱): ۶۳-۷۵

رمضانی اعتدالی، ه.، شکوهی، ع. و مجتبوی، س.ا. ۱۳۹۶. بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی برای عبور از بحران آب منطقه قزوین. آب و خاک. ۳۱(۲): ۴۲۲-۴۳۳. doi: 10.22067/jsw.v31i2.55628

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

Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agricultural Water Management. 179: 401-411. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.016.

Bocchiola, D., Nana, E., Soncini, A. 2013. Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. Agricultural Water Management 116:50-61

Govere, S., Nyamangara, J., Nyakatawa, E. Z. 2020. Climate change signals in the historical water footprint of wheat production in Zimbabwe. science of the total environment. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.140473.

Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. 2002. Virtual Water Trade: a Quantifcation of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. Value of Water Research Report Series. No. 11. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

IPCC. 2007. Climate Change: The Physical Science Basis.

Racsko, P, L Szeidl, and M Semenov. 1991. A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models. *Ecological Modelling* 57 (1–2). Elsevier: 27–41.

Semonov, M. A. and Stratonovith, P. 2010. Use of multi- model ensembles from global models for assessment of climate change impacts. J. Climate Research. 41:1-14.

Semenov, M.A. 2008. Simulation of Extreme Weather Events by a Stochastic Weather Generator. Climate Research. 35 (3): 203–12.

Water Management in Agriculture
Vol. 11, No. 1, Autumn And Winter 2025, 165-182

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، ص. ۱۸۲-۱۶۵

The Effect of Climate Change and Different Planting Dates on the Water Footprint of Spring Wheat in the Qazvin Plain

F.Borzoo[1], H.Ramezani etedali[2*] and A.Kaviani[3]

Abstract

Determining plant water consumption is crucial due to water resources scarcity and climate change in many regions, as it enables water conservation. In 2002, a global index called the water footprint was introduced, which quantifies crop water consumption based on plant and climate conditions in each area. This research , covering the period from 2021 to 2100, compared two climate data sources, LARS-WG and DKRZ for generating annual climate change data (minimum and maximum temperature, precipitation) and using the Aquacrop model in simulating the plant's response to climate change and changing the date of cultivation. The study examined the most suitable sowing dates (February 4, February 19, March 5, March 21, and April 4) over four time periods (2021–2040, 2041–2060, 2061–2080, and 2081–2100) to enhance wheat yield and optimize other variables. The results obtained from the surveys showed that the average blue water footprint is projected to decrease compared the baseline period for all examined sowing dates. The highest blue water footprint was predicted for the period 2021-2040 under the climate conditions of the DKRZ database in scenario 8/5, with a planting date of 5 March, it is predicted that the amount of water consumption from water sources in that equal to 457.6 cubic meters per ton with a standard deviation of 31.7 cubic meters per ton. The lowest blue water footprint for the period 2081-2100 under the climate conditions of the DKRZ database in scenario 8/5, with a planting date of February 4, estimated at 145.1 cubic meters per ton with a standard deviation of 7.13 cubic meters per ton. Based on the results, the optimal planting dates for different periods are recommended as follows: 2021–2040: April 4 (15 Farvardin), 2041–2060: April 4 (15 Farvardin), 2061–2080: March 21 (1 Farvardin), 2081–2100: April 4 (15 Farvardin).

Keywords: Aquacrop, DKRZ, LARS-WG, Precipitation, Temperature

[1] MSC Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
[2] Professor, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran (*Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)
[3] Associate Professor, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
Received: 27 Jun 2024
Accepted: 22 Sep 2024