نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۸، مرداد - شهریور ۱۴۰۳، ص. ۴۰۸-۳۹۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 18, Aug.-Sep. 2024, p. 393-408

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی ردپای آب سبز گندم بهاره در شرایط تغییر اقلیم و تاریخ‌های کشت متفاوت ۲۱۰۰-۲۰۲۱ (مطالعه موردی: دشت قزوین)

فاطمه برزو[۱]، هادی رمضانی اعتدالی[۲*]، عباس کاویانی[۳]، مهدی کلانکی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

چکیده

یکی از مهم‌ترین اثرات تغییرات اقلیمی، بر روی گیاهان به ویژه بر تولیدات کشاورزی است. از این رو بررسی این پدیده و اثرات آن بر کشاورزی ضروری خواهد بود. در این مطالعه اثر تغییرات اقلیمی و کشت در تاریخ‌های مختلف؛ بر میزان ردپای سبز، در طول دوره کشت رقم پارسی گندم بهاره در دشت قزوین بررسی شد. این بررسی در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ و با مقایسه دو منبع اطلاعاتی LARS-WG و DKRZ در تولید داده‌های سالانه تغییر اقلیم و به کارگیری مدل AquaCrop در شبیه‌سازی واکنش گیاه به تغییرات ذکر شده، صورت گرفت. در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۰ تاریخ‌های کشت متفاوت (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین) به منظور افزایش عملکرد گندم و کاهش ردپای آب سبز بررسی شدند. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی میانگین ردپای آب سبز به جز سه مورد در کل تاریخ‌ها، نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد داشت. این در حالی است که تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، در اکثر تاریخ‌ها و دوره‌ها میانگین ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد داشت. طبق نتایج حاصل شده، بیشترین مقدار ردپای آب سبز در تمام این دوره‌ها و مدل‌ها در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۴/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ بهمن ماه انجام شود، تخمین زده می‌شود که مقدار مصرف آب در آن برابر ۲۷۳ متر مکعب بر تن با انحراف معیار ۳۲/۶۵ متر مکعب بر تن پیش‌بینی می‌شود. کم‌ترین ردپای آب سبز نیز برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG در سناریو ۸/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ فروردین ماه انجام شود، گزارش می‌شود که مقدار آن برابر ۸۴/۱۶ تن بر هکتار با انحراف معیار ۳۲/۰۳ تن بر هکتار است. با بررسی ردپای آب سبز تخمین زده شده در تاریخ‌های مختلف، مناسب‌ترین تاریخ کشت که اگر کشت در آن صورت گیرد، کاهش ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه خواهیم داشت؛ ۱۵ فروردین (۴ آپریل) در هر ۴ دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۰) خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: LARS-WG، DKRZ، تاریخ کشت

مقدمه

تغییرات بارندگی و افزایش دما از بارزترین مشخص‌های تغییر اقلیم در دنیا شناخته شده است که بررسی اثر این تغییرات می‌تواند کمک شایانی در بهبود عملکرد کشاورزی داشته‌باشد. از این رو ضروری است که تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی تخمین زده شود و مدیریت کشت و آبیاری در کشاورزی، همسو با آن صورت گیرد. از سویی دیگر داده‌های برداشت شده از داده‌های هواشناسی طول دوره آماری کافی برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی ندارند. به همین دلیل محققان از مدل‌های مولد داده برای تولید داده استفاده می‌کنند. SDSM، LARS-WG، GEM، CLIMGEN، USCLIMATE WGEN از جمله مدل‌هایی ریز مقیاسی هستند که برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شوند. با استفاده از این مدل‌ها پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، بارش، سرعت باد و غیره تولید می

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
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین-المللی امام خمینی)ره(، قزوین، ایران
۴- پژوهشگر پسادکتری آبیاری و زهکشی، برنامهٔ همکاری مشترک دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) و دانشگاه واخینگن هلند
(*- نویسنده مسئول: (Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

شود. مدل ریز مقیاس LARS-WG یکی از مدل‌هایی است که توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد. با استفاده از این مدل می‌توان علاوه بر دما و بارش، سرعت باد و نقطه شبنم را شبیه‌سازی نمود (Semenov and Stratonovitch, 2015). در تحقیقی که به بررسی تغییرات آب و هوایی در حوضه رودخانه‌ی مانینگ استرالیا با استفاده از مدل LARS-WG تحت سناریو RCP 8.5 انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد بارندگی در سال‌های ۲۰۶۰ تا ۲۱۰۰ کاهش خواهد داشت (Gaitan et al., 2019). ارزیابی تغییرات مولفه‌های روزانه اقلیمی از شمال تا جنوب غربی ایران بیانگر این بود که نسبت به دوره پایه بیشترین تغییرات پارامترهای روزانه تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5) به وقوع پیوسته و سناریوهای میانی و خوش‌بینانه به مراتب تغییرات کمتری را نشان می‌دادند؛ در مورد پارامتر دما ایستگاه الیگودرز بیشترین افزایش را در سال‌های ۲۱۰۰-۲۰۸۱ نشان داده و ایستگاه‌های اهواز و پارس‌آباد به ترتیب در پارامتر بارش روزانه و پارامتر ساعات آفتابی تغییرات حداکثری داشتند. به طور کلی مناطق جنوب غربی کشور نسبت به شمال غربی بارندگی بیشتری را در سالیان آتی شاهد خواهند بود (کلانکی و همکاران، ۱۴۰۱). برآورد شرایط اقلیمی و عملکرد گیاه سویا در دشت مغان با استفاده از سناریوهای گزارش چهارم و پنجم نشان داد، دمای حداقل در تمامی سناریوهای افزایش داشته؛ لکن دمای حداکثر و بارش در برخی از سناریوها و مدل‌ها مشاهده می‌شود. به طور کلی نتایج ایشان حاکی از آن بود گیاه سویا برای کشت آینده در منطقه پارس آباد مغان می‌تواند توصیه شود. (Rostami Ajirloo et al., 2021). بررسی نیازآبی و عملکرد گندم تحت سناریوهای گزارش پنجم و مدل‌های مختلف گردش عمومی در استان قزوین نشان داد، میانگین عملکرد گندم در دوره پایه ۷/۷۶ تن بر هکتار بوده که این پارامتر در سال‌های آتی بین ۸/۲۲ الی ۱۲/۲۹ تن بر هکتار افزایش می‌یابد. تبخیر- تعرق گیاه نیز در برخی از دوره‌ها افزایشی و در برخی دوره‌ها کاهشی بوده است (احمدی و رمضانی اعتدالی، ۱۴۰۱).

جمع‌بندی نتایج تحقیقات انجام شده بر اثرات تغییر اقلیم، بیانگر وقوع آن در اقصی نقاط جهان با شدت و ضعف‌های متفاوت است. این مساله، لزوم پیش‌نگری‌های اقلیمی و اثرات آن بر منابع آبی و مصارف آب در بخش‌های مختلف از جمله در بخش کشاورزی را هویدا می‌سازد. در همین راستا و به منظور تعیین شاخص مدیریتی در سال ۲۰۰۳ برای اولین بار مفهوم ردپای آب به عنوان شاخصی از حجم آب مصرفی به محصول واحد تولیدی معرفی شد (Hoekstra & Chapagain., 2007). از آنجایی که در شرایط تغییر اقلیم دستیابی به دورنمایی از وضعیت مصرف آبِ بخش کشاورزی می‌تواند در تصمیم‌سازی و حفظ امنیت غذایی موثر باشد؛ در سال‌های اخیر تلفیق این دو موضوع مورد علاقه برخی از پژوهشگران بوده است، به طور نمونه، نتایج ارزیابی ردپای آب گیاه گندم در استان فارس بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۵۵ تحت مدل CanESM2 و سناریوی RCP4.5 بیانگر کاهش معنی‌دار ردپای آب سبز و آبی در بخش‌های جنوبی استان بوده لکن در بقیه مناطق پیش‌بینی افزایش ردپای آب وجود داشته است که این مساله به افزایش بارش‌ها در مناطق جنوبی مرتبط می‌شود (Fathian et al., 2023). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در ۲۵ حوضه آبریز کشور ترکیه با استفاده از ردپای آب بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ و تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد، بیشترین تاثیر تغییر اقلیم در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ رخ می‌دهد و براساس شاخص‌های ردپای آب گیاهان ذرت و گندم نسبت به مابقی محصولات کلیدی آسیب‌پذیری بیشتری خواهند داشت (Pilevneli et al., 2023). در تحقیقی دیگر، به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی با مدل گردش عمومی جوی اقیانوسی (GFDL-CM3) تحت دو سناریوی پرکاربرد RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ در شش اقلیم مختلف ایران پرداخته شده است و با استفاده از نتایج آن، محاسبات پیش‌بینی ردپای آب محصولات کشاورزی در دو جزء ردپای آب آبی و آب سبز انجام گردید نتایج نشان داد، تغییرات ردپای آب سبز و آبی محصولات در اقلیم‌های مختلف ایران به ترتیب از ۱۳/۴۴- درصد تا ۳۷/۵۳ درصد در ردپای آب سبز و ۱۸/۷۷- درصد تا ۳۸/۲۰ درصد در ردپای آب آبی می‌گردد (عقیلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به نوپا بودن موضوع ردپای آب و همچنین تلفیق این مفهوم با مدل‌های تغییر اقلیمی به منظور دستیابی به روش مدیریتی بهینه، مطالعه حاضر به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی و جابجایی تاریخ‌های کشت، بر میزان ردپای آب سبزِ رقم پارسی گندم بهاره در دشت قزوین می‌پردازد. بازه‌های منتخب در این بررسی ۲۰۲۱-۲۱۰۰ بوده که در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تاریخ‌های ۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین و با مقایسه دو منبع اطلاعاتی LARS-WG و DKRZ در تولید داده‌های سالانه آینده و به کارگیری مدل AquaCrop در شبیه‌سازی واکنش گیاه، به منظور افزایش عملکرد گندم و کاهش ردپای آب سبز بررسی شدند.

مواد و روش‌ها

به منظور تولید داده‌های اقلیمی آینده (در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) از دو روش متفاوت شامل مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ استفاده شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. لازم به ذکر است داده‌های ایستگاه سینوپتیک قزوین در بازه زمانی سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ به عنوان داده‌های پایه در نظر گرفته شد.

مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG یک مولد تصادفی داده‌های 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.

$$EMP = a_0 , a_i , h_i \ldots \qquad i = 1, 2, 3, \ldots , 23$$

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

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

و h تعداد رخدادهای مشاهده شده 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 به طور مساوی بین مقادیر کمینه و بیشینه داده‌های مشاهداتی ماهانه می‌باشد. 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. در این پژوهش با بررسی مدل‌های گردش عمومی موجود در نرم افزار، پنج مدل گردش عمومی تحت سناریوهای میانی و بدبینانه مطابق جدول (۱) انتخاب گردید.

جدول ۱- مدل‌های گردش عمومی به همراه با سناریوهای مورد استفاده در پژوهش

GCMs	Scenarios
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

پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ

مرکز محاسبات اقلیمی آلمان (DKRZ: Deutsches Klimarechenzentrum GmbH) یک سرویس بایگانی طولانی مدت 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 طولانی مدت DKRZ (LTA) طبق ضوابط Core Trust Seal (CTS) تأیید شده است و به عنوان مرکز داده جهانی آب و هوا (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 به منظور تبدیل فرمت به TXT در محیط ARCGIS فراخوانی شدند. سپس تبدیل واحدهای لازم برای دما و بارش صورت گرفت تا داده‌های دما بر حسب سانتی‌گراد و بارش بر حسب میلی‌متر در روز شوند.

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 تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) ۴/۵ و ۸/۵ در سال‌های آماری ۲۱۰۰–۲۰۲۱ دانلود شد. فایل‌های دانلود شده با فرمت NC بودند که در محیط ARCGIS فراخوانی شدند و به فایل TXT تبدیل شدند. سپس تبدیل واحدهای لازم برای دما و بارش صورت گرفت تا داده‌های دما بر حسب سانتی‌گراد و بارش بر حسب میلی‌متر در روز شوند.

ایستگاه همدید

داده‌های روزانه ی دما حداقل (درجه سلسیوس)، دما حداکثر (درجه سلسیوس)، بارش (میلی‌متر در روز) و ساعت آفتابی (تعداد ساعت در طول یک شبانه روز) در بازه زمانی سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ از ایستگاه سینوپتیک قزوین اخذ گردید. بر روی داده‌ها ارزیابی صورت گرفت. از آنجایی که دوره ۲۰ ساله برای مراحل بعدی داده‌ها مناسب بود، داده‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ به منظور داده‌های پایه انتخاب گردید. به منظور تولید داده‌های تغییر اقلیم در مدل LARS-WG، ابتدا می‌بایست مجموعه‌ای از داده‌های (دما حداقل، دما حداکثر، بارش و ساعت آفتابی) در طول بازه‌ای چند ساله، تحت عنوان داده‌های پایه به نرم افزار داده شود. در این پژوهش، داده‌های ایستگاه سینوپتیک قزوین در طول سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ به عنوان داده‌های پایه انتخاب شد. برای معرفی داده‌های پایه به مدل LARS-WG، می‌بایست 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 شبانه روز) در ستون-های مجزا مرتب شوند. با فرمت DAT به مدل معرفی شوند. مشخصات ایستگاه مورد نظر از جمله، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، با فرمت St نیز آماده شود و به مدل LARS-WG جهت تولید داده‌ها داده شود.

بررسی مقادیر عملکرد گندم پاییزه در شرایط پایه و شرایط تغییر اقلیم

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 به منظور تولید پارامترهای عملکرد، بارش، تاریخ برداشت محصول به مدل AquaCrop معرفی شد. در این مدل محاسبه مقدار عملکرد براساس (۱) صورت می‌گیرد.

$$Y = HI \times Biomass \quad (۱)$$

Y در این رابطه همان عملکرد بر حسب (ton/ha)، HI شاخص برداشت برای شکست گرده افشانی، فتوسنتز ناکافی و تنش آبی بر حسب (درصد) و Biomass زیست توده تجمعی تولید شده بر حسب (ton/ha) است.

ردپای آب سبز (Green water footprint)

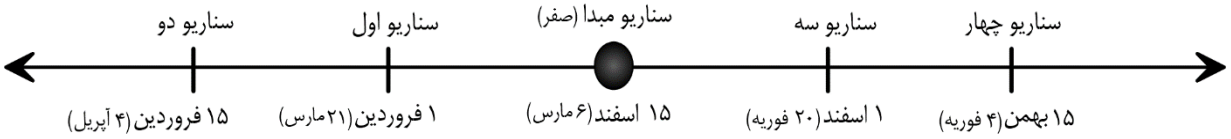
آب سبز به حجم آبی اطلاق می‌شود که درمناطق غیراشباع خاک به‌صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود. این منبع آبی در مناطق دیم به‌صورت مؤثر صرف تعرق گیاهی می‌شود و یا از سطح خاک و آب‌های آزاد به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌گردد (Obuobie et al., 2005).

ردپای آب سبز به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$WF_G = \frac{10 \times R}{Y} \quad (۲)$$

که در آن WF_G ردپای آب سبز بر حسب (m^3/ton)، R مقدار بارش بر حسب (mm) و Y عملکرد محصول بر حسب (ton) می‌باشند.

تاریخ کشت گندم بهاره ۱۵ اسفند (۶ مارس) در نظر گرفته شد. به منظور ارزیابی تاریخ های کشت دیگر سناریوهای تاریخ کاشت نیز به صورت شکل ۱) تعریف شدند.



شکل ۱- تاریخ‌های کاشت و شماره سناریوهای مربوط به آن

اما از آنجایی که تاثیر تاریخ کشت بر میانگین ردپای آب سبز، محصول نیز برای بررسی مد نظر بود، تاریخ‌های کشت به فاصله ۱۵ و ۳۰ روز جلوتر و عقب‌تر از تاریخ مورد نظر نیز، جهت بررسی به مدل معرفی شدند. یعنی تاریخ‌های ۴ فوریه (۱۵ بهمن)، ۲۰ فوریه (۱ اسفند)، ۲۱ مارس (۱ فروردین) و ۴ آپریل (۱۵ فروردین). مقدار متغیر (ردپا آب سبز) 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.

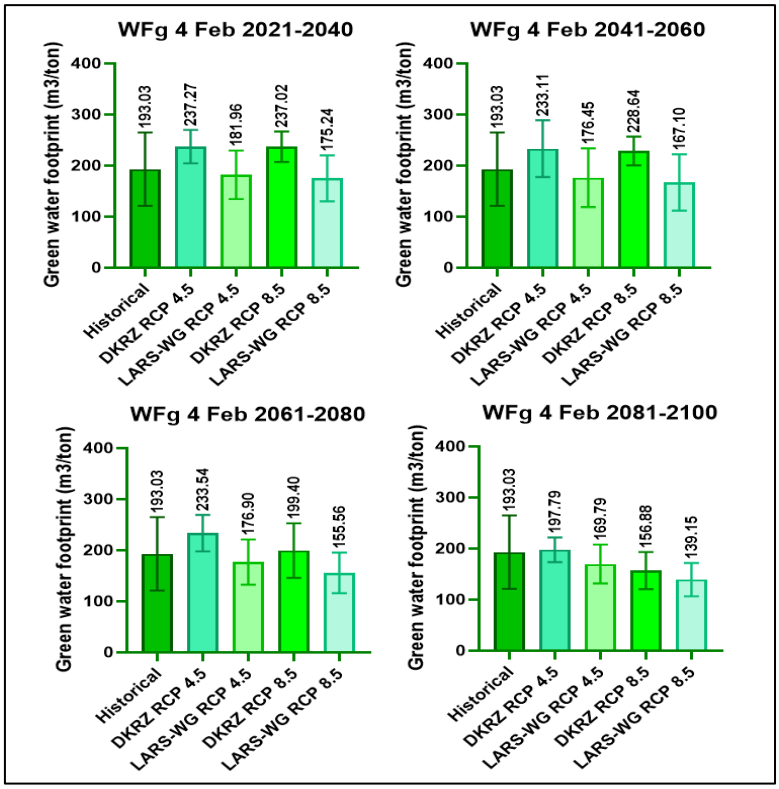
نتایج

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

طبق نتایج مدل AquaCrop همان‌طور که در **Error!**

Reference source not found. و شکل ۳ قابل مشاهده است، میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره در دوره پایه در صورتی که کشت در تاریخ ۱۵ بهمن ماه انجام گیرد، برابر ۱۹۳ متر مکعب بر تن با انحراف معیار ۷۱/۹۵ مترمکعب بر تن است.

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد که به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۳۷/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۶۵ متر مکعب بر تن)، ۲۳۳/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۵/۵۸ مترمکعب بر تن)، ۲۳۳/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۷ متر مکعب بر تن) و ۱۹۷/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۴/۱۵ مترمکعب بر تن) پیش‌بینی می‌شوند. لذا ۴۴/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۳ مترمکعب بر تن)، ۴۰/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۳/۷۶ مترمکعب بر تن)، ۴۰/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۳/۸۲ مترمکعب بر تن) و ۴/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۰۵ متر مکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیش‌ترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد.

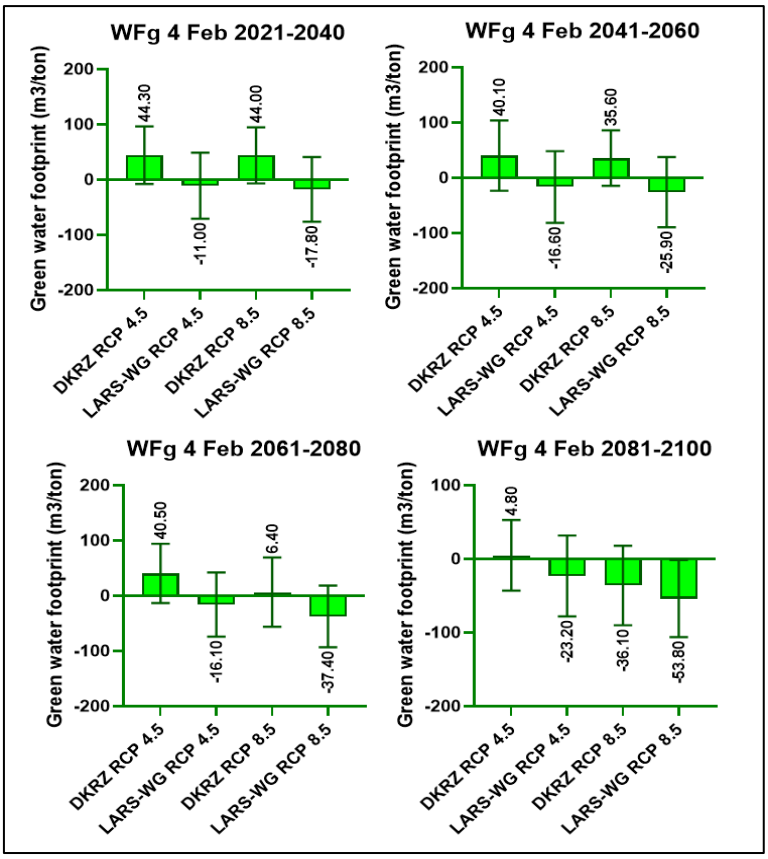


شکل ۲- ردپای آب سبز گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی؛ تاریخ کشت =۱۵ بهمن ماه

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در سه دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰ و ۲۰۶۱–۲۰۸۰ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت که مقدار آن به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۳۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۹/۹۲ مترمکعب بر تن)، ۲۲۸/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۸/۳ مترمکعب بر تن) و ۱۹۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۳/۴۸ متر مکعب بر تن) گزارش می‌شود. لذا ۴۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۹۳ متر مکعب بر تن)، ۳۵/۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۱۲ متر مکعب بر تن) و ۶/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۲/۷۱ متر مکعب بر تن) نسبت به دوره پایه افزایش ردپای آب سبز پیش‌بینی می‌شود. در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد یافت که مقدار آن برابر ۱۵۶/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۶/۲۳ متر مکعب بر تن) تخمین زده می‌شود، لذا ۳۶/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۴/۰۹ متر مکعب بر تن) نسبت به دوره پایه کاهش ردپای آب سبز مشاهده می‌شود.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در هـــر ۴ دوره آتـــی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کـاهش مـی یابد. مقدار ردپای آب سبز به‌ترتیـب دوره‌هـای ذکـر شـده برابـر ۱۸۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۵۲ مترمکعـب بـر تـن)، ۱۷۶/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۷/۵۳ متر مکعب بر تـن)، ۱۷۶/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۳۳ مترمکعب بـر تـن) و ۱۶۹/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۱۲ مترمکعب بر تن) خواهد بود و مقدار آن در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایـه بـه‌ترتیـب، ۱۱ متـر مکعب بر تـن (بـا انحـراف معیـار ۵۹/۷۳ مترمکعـب بـر تـن)، ۱۶/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۴/۷۴ مترمکعب بر تن)، ۱۶/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیـار ۵۸/۱۴ متـر مکعـب بـر تـن) و ۲۳/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۵/۰۳ متر مکعب بـر تـن) کـاهش می‌یابد.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در هـــر ۴ دوره آتـــی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کـاهش مـی یابد. مقدار ردپای آب سبز به‌ترتیب دوره‌های ذکر شـده برابـر ۱۷۵/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۰۲ مترمکعـب بـر تـن)، ۱۶۷/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۵/۱۲ مترمکعـب بـر تـن)، ۱۵۵/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۹/۸۵ مترمکعب بـر تـن) و ۱۳۹/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۵۲ مترمکعب بر تن) خواهد بود و مقدار آن در دوره‌های آتی نسـبت بـه دوره پایـه بـه ترتیـب، ۱۷/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیـار ۵۸/۴۸ مترمکعـب بـر تـن)، ۲۵/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیـار ۶۳/۵۳ مترمکعـب بـر تـن)، ۳۷/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیـار ۵۵/۹ مترمکعـب بـر تـن) و ۵۳/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۲۳ مترمکعـب بـر تـن) کـاهش می‌یابد. کمترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مـدل LARS-WG تحـت سـناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد.



شکل ۳- تغییرات متوسط ردپای آب سبز گندم بهاره دشت قزوین در آینده و تحت سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ تاریخ کشت = ۱۵ بهمن ماه

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

طبق نتایج مدل AquaCrop همانطور که درشکل قابل مشاهده است، میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره در دوره پایه در صورتی کـه کشت در تاریخ ۱ اسفند ماه انجام گیرد، برابر ۱۶۸/۳ مترمکعب بر تن

با انحراف معیار ۶۷/۸۴ متر مکعب بر تن است.

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 سبز گندم بهاره نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد که به‌ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۲۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۱۲ مترمکعب بر تن)، ۲۱۴/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۸۳ مترمکعب بر تن)، ۲۰۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۶/۰۵ مترمکعب بر تن) و ۱۷۸/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۲/۳۶ مترمکعب بر تن) خواهد بود. لذا ۵۳/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۹/۹۸ مترمکعب بر تن)، ۴۶/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۹/۸۳ مترمکعب بر تن)، ۳۹/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۹۴ مترمکعب بر تن) و ۱۰/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۱ مترمکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیش‌ترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد.

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو۸/۵، در سه دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت که مقدار آن به‌ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۱۸/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۸/۵۸ متر مکعب بر تن)، ۲۰۹/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۶/۸۵ مترمکعب بر تن) و ۱۷۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۰۴ متر مکعب بر تن) خواهد شد لذا ۵۰/۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۲۱ مترمکعب بر تن)، ۴۱/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۳۴ مترمکعب بر تن) و ۸/۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۹/۹۴ مترمکعب بر تن) نسبت به دوره پایه افزایش ردپای آب سبز اتفاق می‌افتد. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد یافت که مقدار آن برابر ۱۴۰/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۶۸ مترمکعب بر تن) گزارش می‌شود، لذا ۲۷/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۷۶ مترمکعب بر تن) نسبت به دوره پایه کاهش ردپای آب سبز مشاهده می‌شود.

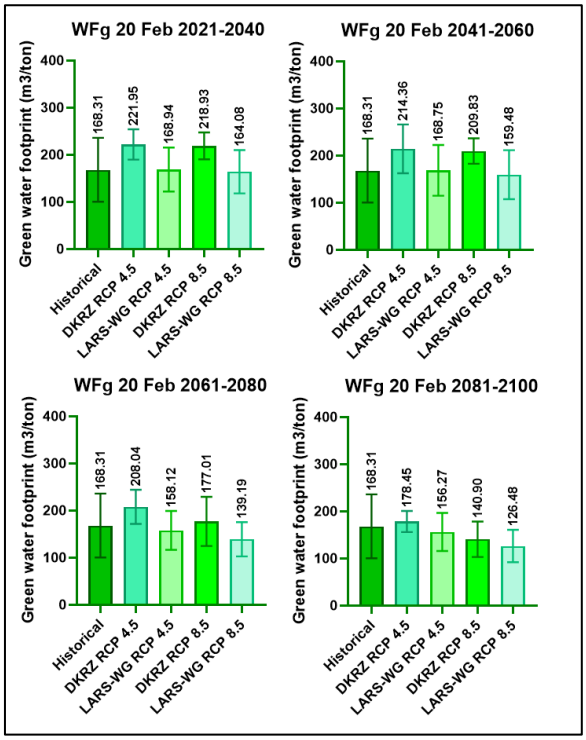
ردپای سبز حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ نشان می‌دهد که در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه، افزایش خواهد یافت و میانگین آن به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۶۸/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۷۱ متر مکعب بر تن) و ۱۶۸/۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۳/۷۸ متر مکعب بر تن) خواهد شد. لذا، ۰/۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۷/۲۷ متر مکعب بر تن) و ۰/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۰/۸۱ متر مکعب بر تن) نسبت به ردپای آب سبز این محصول در دوره پایه، افزایش ردپای آب سبز پیش‌بینی می‌شود. ردپای آب سبز در دوره‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ کاهش می‌یابد. مقادیر ردپای آب سبز به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۵۸/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۱۴ متر مکعب بر تن) و ۱۵۶/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۰/۵۲ متر مکعب بر تن) گزارش می‌شود. لذا تحت این شرایط، ۱۰/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۴/۴۹ متر مکعب بر تن) و ۱۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۴/۱۸ متر مکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می یابد. مقدار ردپای آب سبز به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۶۴/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۰۲ متر مکعب بر تن)، ۱۵۹/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۰۸ متر مکعب بر تن)، ۱۳۹/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۶/۲۳ متر مکعب بر تن) و ۱۲۶/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۴/۴۴ متر مکعب بر تن) خواهد شد بنابراین در دوره‌های آتی به ترتیب، ۴/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۶/۹۳ متر مکعب بر تن)، ۸/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۹/۹۶ متر مکعب بر تن)، ۲۹/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۰۳ متر مکعب بر تن) و ۴۱/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۱۴ متر مکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. کمترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد.

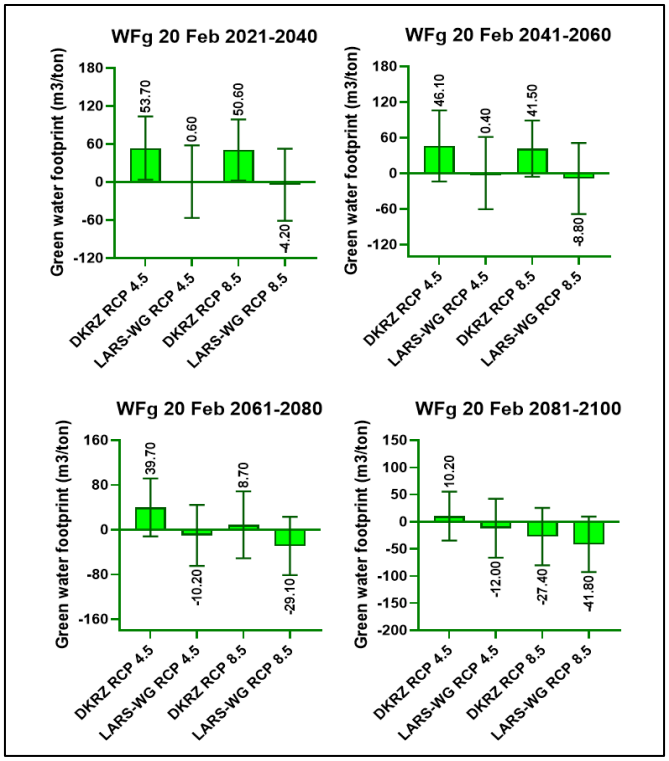
ردپای آب سبز گندم بهاره- تاریخ کشت ٦ مارس (۱۵ اسفند)

طبق نتایج مدل AquaCrop همانطور که درشکل ۵ قابل مشاهده است، میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره در دوره پایه، در صورتی که کشت در تاریخ ۱۵ اسفند ماه انجام شود، برابر ۱۵۵/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۷/۱۷ متر مکعب بر تن) است.

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 سبز گندم بهاره نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد که به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۰۶/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۳۴ متر مکعب بر تن)، ۱۹۳/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۱۸ متر مکعب بر تن)، ۱۸۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۳/۷۶ متر مکعب بر تن) و ۱۵۹/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۲/۵۴ متر مکعب بر تن) پیش‌بینی می‌شود.



شکل ٤-ردپای آب سبز گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی؛تاریخ کشت = ١ اسفند ماه



شکل ٤- تغییرات متوسط ردپای آب سبز گندم بهاره دشت قزوین در آینده و تحت سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ تاریخ کشت محصول = ١ اسفند ماه

لذا ۵۰/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۷۵ متر مکعب بر تن)، ۳۷/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۴/۱۷ متر مکعب بر تن)، ۲۸/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۴۶ متر مکعب بر تن) و ۳/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۹/۸۵ متر مکعب بر تن) افزایش ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه گزارش می‌شود (شکل ۶). بیشترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ اتفاق می‌افتد.

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵، در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت که مقدار آن به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۲۰۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۹/۹۶ متر مکعب بر تن)، ۱۹۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۳/۳۶ متر مکعب بر تن) و ۱۵۶/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۱۷ متر مکعب بر تن) خواهد شد. لذا ۴۵/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۵۶ متر مکعب بر تن)، ۳۵/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۰/۲۶ متر مکعب بر تن) و ۰/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۱۷ متر مکعب بر تن) نسبت به دوره پایه افزایش ردپای آب سبز پیش‌بینی می‌شود. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد یافت که مقدار آن برابر ۱۲۳/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۱۶ متر مکعب بر تن) خواهد شد، لذا ۳۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۱۶ متر مکعب بر تن) نسبت به دوره پایه کاهش ردپای آب سبز مشاهده می‌شود.

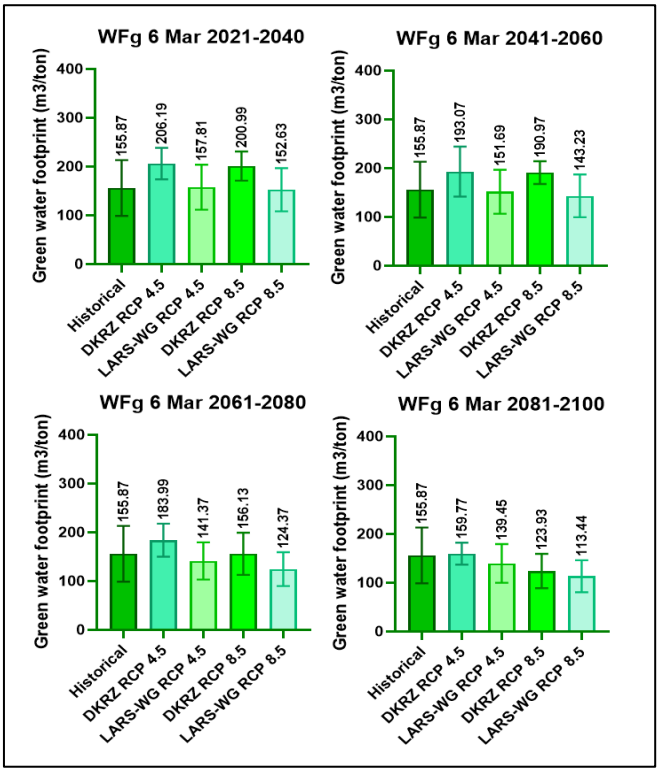
در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش می‌یابد و مقدار آن به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۵۱/۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۱ متر مکعب بر تن)، ۱۴۱/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۲۹ متر مکعب بر تن) و ۱۳۹/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۹/۷۴ متر مکعب بر تن) خواهد شد لذا نسبت به دوره پایه ۴/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۱۳ متر مکعب بر تن)، ۱۴/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۷۳ متر مکعب بر تن) و ۱۶/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۴۵ متر مکعب بر تن) کاهش ردپای آب سبز پیش‌بینی می‌شود. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت و مقدار آن به ۱۵۷/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۱۷ متر مکعب بر تن) می‌رسد. لذا ۱/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۶۷ متر مکعب بر تن) نسبت به دوره پایه افزایش ردپای آب سبز پیش‌بینی می‌شود.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می یابد. مقدار ردپای آب سبز به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۵۲/۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۳۲ متر مکعب بر تن)، ۱۴۳/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۸۹ متر مکعب بر تن)، ۱۲۴/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۴/۶۶ متر مکعب بر تن) و ۱۱۳/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۸۲ متر مکعب بر تن) خواهد شد بنابراین مقدار ردپای آب سبز در دوره‌های آتی نسبت به مقدار آن در دوره پایه به ترتیب، ۳/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۷۴ متر مکعب بر تن)، ۱۲/۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۵۳ متر مکعب بر تن)، ۳۱/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۹۱ متر مکعب بر تن) و ۴۲/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۹۹ متر مکعب بر تن) کاهش می‌یابد. کمترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ اتفاق می‌افتد.

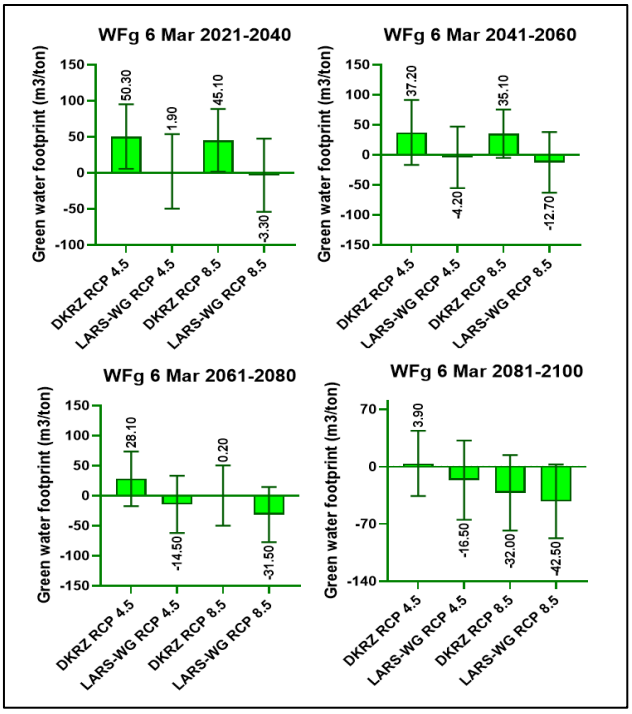
ردپای آب سبز گندم بهاره- تاریخ کشت ۲۱ مارس (۱ فروردین)

طبق نتایج مدل AquaCrop همانطور که درشکل ۷ قابل مشاهده است، میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره در دوره پایه در صورتی که کشت در تاریخ ۱ فروردین ماه انجام شود، برابر ۱۴۳/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۱/۸۷ متر مکعب بر تن) است.

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد که به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۸۱/۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۵/۰۵ متر مکعب بر تن)، ۱۷۰/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۷۵ متر مکعب بر تن)، ۱۵۱/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۳/۲۲ متر مکعب بر تن) خواهد شد. لذا ۳۸/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۴۶ مترمکعب بر تن)، ۲۷/۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۳/۳۱ متر مکعب بر تن) و ۸/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۵۴ مترمکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد (مطابق شکل ۷ و شکل ۸). در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش می‌یابد بنابراین مقدار آن برابر ۱۳۵/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۲/۱۱ مترمکعب بر تن) خواهد شد. لذا ۷/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۹۹ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب سبز در دوره پایه، کاهش مصرف آب خواهیم داشت.



شکل ۵- ردپای آب سبز گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی؛ تاریخ کشت = ۱۵ اسفند ماه



شکل ٦- تغییرات متوسط ردپای آب سبز گندم بهاره دشت قزوین در اقلیم آینده و سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به دوره پایه؛ تاریخ کشت محصول= ۱۵ اسفند ماه

بیش‌ترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ اتفاق می‌افتد.

ردپای سبز حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد که در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه، افزایش خواهد یافت و میانگین آن به‌ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۸۴/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۰/۰۳ متر مکعب بر تن) و ۱۶۵/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۰/۸۵ متر مکعب بر تن) پیش‌بینی می‌شود. لذا، ۴۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۹۵ متر مکعب بر تن) و ۲۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۳۶ متر مکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد. ردپای آب سبز در دوره‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ کاهش می‌یابد این مقدار به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۲۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۵۵ متر مکعب بر تن) و ۱۰۷/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۱/۳۴ متر مکعب بر تن) پیش‌بینی می‌شود. لذا تحت این شرایط، ۱۸/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۹/۷۱ متر مکعب بر تن) و ۳۵/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۶ متر مکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش پیدا می‌کند.

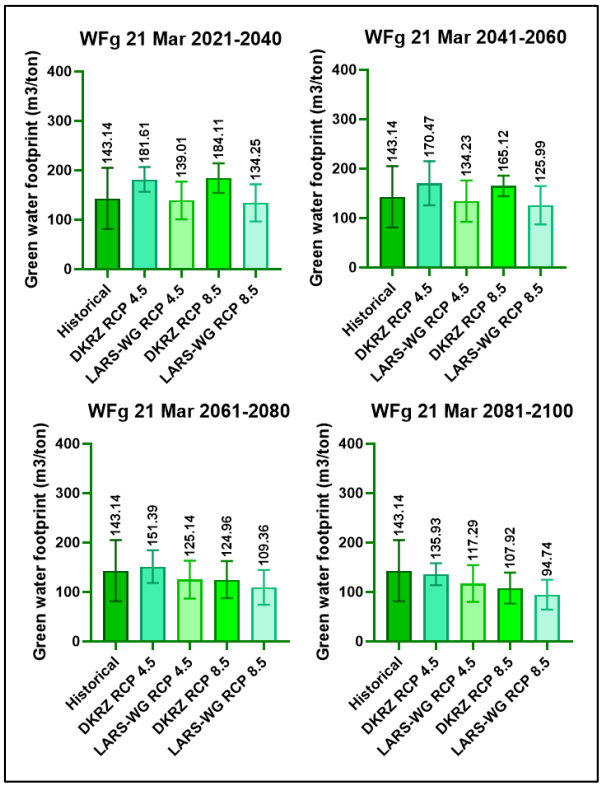
در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می یابد. مقدار ردپای آب سبز به‌ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۳۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۲۹ مترمکعب بر تن)، ۱۳۴/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۹ مترمکعب بر تن)، ۱۲۵/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۲۶ مترمکعب بر تن) و ۱۱۷/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۰۵ مترمکعب بر تن) خواهد بود و مقدار این متغیر در دوره‌های آتی به ترتیب، ۴/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۰۸ مترمکعب بر تن)، ۸/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۸۸ مترمکعب بر تن)، ۱۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۰۶ متر مکعب بر تن) و ۲۵/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۹/۴۶ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب سبز در دوره پایه کاهش می‌یابند.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می یابد. مقدار ردپای آب سبز به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۳۴/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۶۶ مترمکعب بر تن)، ۱۲۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۸/۷۳ مترمکعب بر تن)، ۱۰۹/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۰۷ مترمکعب بر تن) و ۹۴/۷۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۰/۲ مترمکعب بر تن) خواهد بود و مقدار این متغیر در دوره‌های آتی به ترتیب، ۸/۹ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۹/۷۶ متر مکعب بر تن)، ۱۷/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۰/۳ متر مکعب بر تن)، ۳۳/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۴۷ مترمکعب بر تن) و ۴۸/۳۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۰۳ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب سبز در دوره پایه کاهش می‌یابند. کمترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ اتفاق می‌افتد.

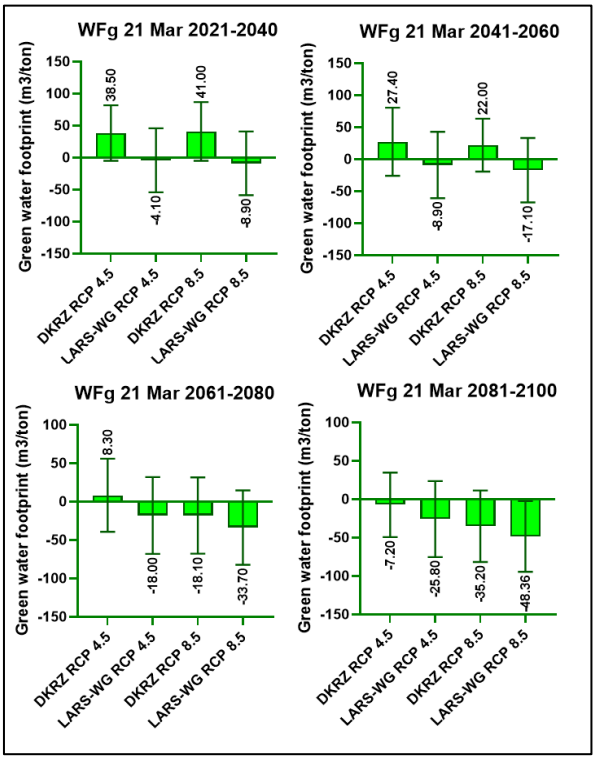
ردپای آب سبز گندم بهاره- تاریخ کشت ٤ آپریل (۱۵ فروردین)

طبق نتایج مدل AquaCrop همانطور که در شکل ۹ و شکل ۱۰ قابل مشاهده است، میانگین ردپای آب سبز گندم بهاره در دوره پایه در صورتی که کشت در تاریخ ۱۵ فروردین ماه انجام گیرد، برابر ۱۱۵/۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۶۰/۶۶ متر مکعب بر تن) گزارش می‌شود.

در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت که مقدار آن به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۵۹/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۳/۵۹ مترمکعب بر تن)، ۱۴۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۴/۶۴ مترمکعب بر تن) و ۱۲۳/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۵۲ مترمکعب بر تن) پیش‌بینی می‌شود لذا ۴۳/۶ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۲/۱۲ مترمکعب بر تن)، ۲۹/۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۶۵ متر مکعب بر تن) و ۸/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۵۹ مترمکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش پیدا می‌کند. در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ مقدار ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد یافت که مقدار آن برابر ۱۱۳ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۱۸/۵۳ متر مکعب بر تن) خواهد شد، لذا ۲/۷ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۹/۵۹ مترمکعب بر تن) نسبت به دوره پایه،کاهش ردپای آب سبز مشاهده می‌شود. بیش‌ترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ اتفاق می‌افتد.



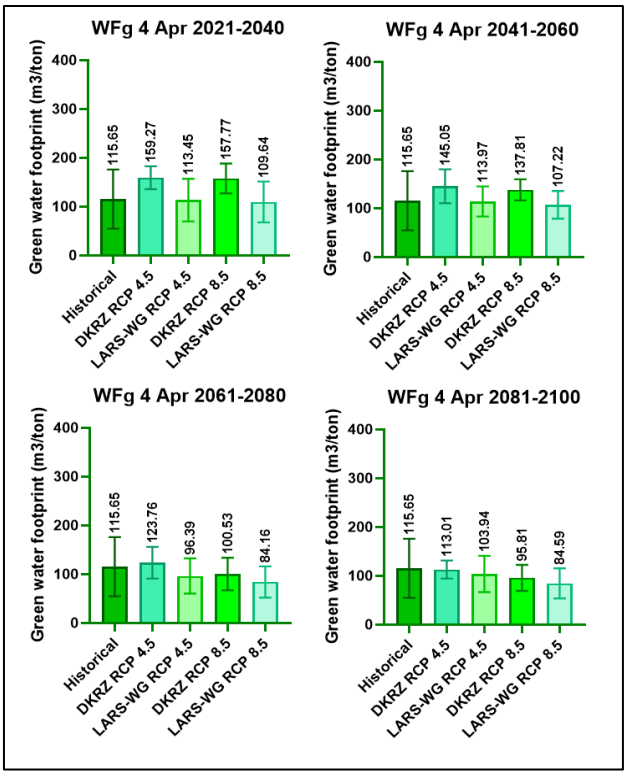
شکل ۷- ردپای آب سبز گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی؛ تاریخ کشت = ۱ فروردین ماه



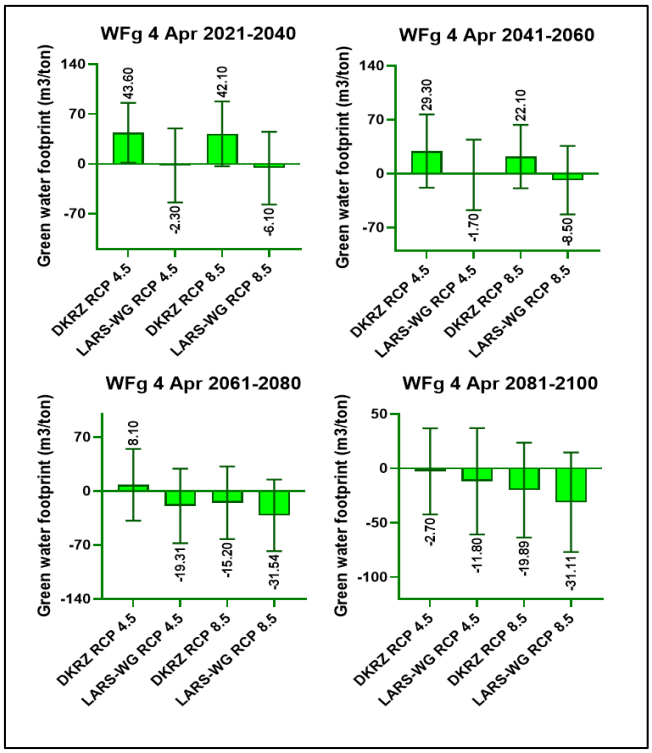
شکل ۸- تغییرات متوسط ردپای آب سبز گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به دوره پایه؛ تاریخ کشت محصول = ۱ فروردین ماه

ردپای سبز حاصل از شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد که در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰ و ۲۰۴۱–۲۰۶۰ ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه، افزایش خواهد یافت و میانگین آن به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۵۷/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۰/۵۹ مترمکعب بر تن) و ۱۳۷/۸ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۱/۵۶ مترمکعب بر تن) خواهد شد. لذا، ۴۲/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۶۲ مترمکعب بر تن) و ۲۲/۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۱۱ مترمکعب بر تن) نسبت به ردپای آب سبز در دوره پایه، افزایش ردپای آب سبز اتفاق می‌افتد. ردپای آب سبز در دوره‌های ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ کاهش می‌یابد و این پارامتر به‌ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۰۰/۵ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۳/۴ مترمکعب بر تن) و ۹۵/۸۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۶/۶۶ مترمکعب بر تن) خواهد شد. لذا تحت این شرایط، ۱۵/۲ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۷/۰۳ مترمکعب بر تن) و ۱۹/۸۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۶۶ مترمکعب بر تن) ردپای آب سبز نسبت به مقدار آن در دوره پایه، کاهش می‌یابد.

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. مقدار ردپای آب سبز به‌ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۱۳/۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۳/۶ مترمکعب بر تن)، ۱۱۴ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۰/۷۴ مترمکعب بر تن)، ۹۶/۳۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۵/۹۷ مترمکعب بر تن) و ۱۰۳/۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۷/۰۷ مترمکعب بر تن) خواهد شد بنابراین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه به‌ترتیب، ۲/۳ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۲/۱۳ مترمکعب بر تن)، ۱/۷ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۷ مترمکعب بر تن)، ۱۹/۳۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۳۱ مترمکعب بر تن) و ۱۱/۸ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۸/۸۶ مترمکعب بر تن) کاهش می‌یابند.



شکل ۹- ردپای آب سبز گندم بهاره تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی؛ تاریخ کشت = ۱۵ فروردین ماه



شکل ۱۰- تغییرات متوسط ردپای آب سبز گندم بهاره دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به دوره پایه؛ تاریخ کشت = ۱۵ فروردین ماه

در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) مقادیر ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه کاهش می یابد. مقدار ردپای آب سبز به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۱۰۹/۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۱/۷۳ مترمکعب بر تن)، ۱۰۷/۲ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۲۸/۲۶ متر مکعب بر تن)، ۸۴/۱۶ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۲/۰۳ متر مکعب بر تن) و ۸۴/۵۹ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۳۰/۸۹ مترمکعب بر تن) پیش‌بینی می‌شود و ردپای آب سبز در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه به‌ترتیب، ۶/۱ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۵۱/۱۹ متر مکعب بر تن)، ۸/۵ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۴/۴۶ متر مکعب بر تن)، ۳۱/۵۴ متر مکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۶/۳۴ متر مکعب بر تن) و ۳۱/۱۱ مترمکعب بر تن (با انحراف معیار ۴۵/۷۷ مترمکعب بر تن) خواهد یافت. کم‌ترین ردپای آب سبز در دوره‌های آتی، تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی ردپای آب گندم در دوره‌های زمانی تحت پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG در دشت قزوین پرداخته است. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، در هر چهار دوره آتی میانگین ردپای آب آبی نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش خواهد داشت. در مورد ردپای آب سبز نیز تحت پایگاه DKRZ و سناریوی RCP8.5 کشت در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و در تاریخ‌های ۱ و ۱۵ فروردین و همچنین در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ در تمامی تاریخ‌ها کاهش ردپای آب سبز نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد. در مدل LARS-WG در تمام دوره‌ها و سناریوهای مورد بررسی (RCP4.5,RCP8.5) کشت در تاریخ‌های ۱۵ بهمن، یک فروردین و ۱۵ فروردین و همچنین در بازه‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ و سناریوهای مورد بررسی کاشت در اول و ۱۵ اسفند ردپای آب سبز کاهش خواهد یافت. بیشترین مقدار ردپای آب سبز در تمام این دوره‌ها و مدل‌ها برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۴/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ بهمن ماه انجام شود، تخمین زده می‌شود که مقدار مصرف آب در آن برابر ۲۷۳ متر مکعب بر تن با انحراف معیار ۳۲/۶۵ متر مکعب بر تن پیش‌بینی می‌شود. کم‌ترین ردپای آب سبز نیز برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG در سناریو ۸/۵ و تاریخ کشت ۱۵ فروردین ماه گزارش می‌شود که مقدار آن

برابر ۸۴/۱۶ تن بر هکتار با انحراف معیار ۳۲/۰۳ تن بر هکتار است. با بررسی ردپای آب سبز تاریخ‌های مختلف، مناسب‌ترین تاریخ کشت به منظور کاهش ردپای آب سبز در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تاریخ ۱۵ فروردین (۴ آوریل) می‌باشد.

منابع

عقیلی‌نیا، ت.، قربانی ، خ .، رضایی، ح. و قربانی‌نصرت‌آباد ، ق. ۱۳۹۹. ارزیابی و شبیه‌سازی ردپای آب محصولات کشاورزی در اقلیم‌های مختلف ایران با لحاظ سناریوهای تغییر اقلیم. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۶(۳): ۹۷-۸۰.

احمدی, م. و رمضانی اعتدالی, ه. ۱۴۰۱. برآورد نیاز آبی و عملکرد گندم (Triticum aestivum L.) تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت قزوین). ۱۴(۴): ۷۶۸-۷۵۱.

کلانکی, م.، رمضانی اعتدالی، ه. و فن اوول، پ. ۱۴۰۱. ارزیابی تغییرات مؤلفه های اقلیمی آینده از شمال تا جنوب غرب ایران. اکوهیدرولوژی. ۹(۲):۳۸۶-۳۷۳.

Gaitan, E., Monjo, R. and Portoles, J., 2019. Pino-otin MR projection of temperatures and heat and col waves for Aragon (spain) using a two-ste statiscal downscaling of CMP5 model outputs. Science of the total environment. 10. Pp.650:2778-95.

Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management. 21:35–48.

Obuobie, E., Gachanja, P.M. and Dörr, A.C. 2005. The Role of Green Water in Food Trade. Bonn: Zentrum Für Entwicklungsforschung (ZEF)(Term Paper for the Interdisciplinary Course, International Doctoral Studies).

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

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

Fathian, M., Bazrafshan, O., Jamshidi, S., & Jafari, L. 2023. Impacts of climate change on water footprint components of rainfed and irrigated wheat in a semi-arid environment. Environmental Monitoring and Assessment. 195(2): 324.

Pilevneli, T., Capar, G. andSánchez-Cerdà, C. 2023. Investigation of climate change impacts on agricultural production in Turkey using volumetric water footprint approach. Sustainable Production and Consumption. 35: 605-623.

Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. 2015. Adapting wheat ideotypes for climate change: accounting for uncertainties in CMIP5 climate projections. Climate Research. 65: 123-139.

Rostami Ajirloo, A. A., Asgharipour, M. R., Ganbari, A., Joudi, M., & Khoramivafa, M. 2021. Soybean yield in future climate scenarios under low irrigation conditions: case study: Pars Aabad of Moghan Plain, Iran. Agrotechniques in Industrial Crops. 1(1): 36-51.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 18, Aug.-Sep. 2024, p. 393-408

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۸، مرداد - شهریور ۱۴۰۳، ص. ۴۰۸-۳۹۳

Investigating Green Water Footprint in Spring Wheat under Climate Change Conditions and Fifferent Crop Dates

F. Borzoo[1], H. Ramezani etedali[2*], A. Kaviani[3], Mahdi Kalanaki[4]
Recived: Dec.03, 2023 Accepted: Jun.26, 2024

Abstract

One of the most important effects of climate change is on plants, especially on agricultural products. Therefore, it will be necessary to investigate this phenomenon and its effects on agriculture. In this study, the effect of climate change and cultivation in different dates; The amount of green footprint was investigated during the cultivation period of Parsi variety of spring wheat in Qazvin plain. This study was conducted in the period of 2021-2100 and by comparing two information sources LARS-WG and DKRZ in producing annual climate change data and using the AquaCrop model in simulating plant response to the mentioned changes. In the periods of 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, and 2080-2100, different planting dates (Bahman 15, Esfand 1, Esfand 15, April 1, and April 15) were investigated in order to increase wheat yield and reduce green water footprint. According to the results of the climatic conditions of the LARS-WG model under scenarios 4.5 and 8.5, in all the next 4 periods, the average footprint of green water will decrease compared to its value in the base period, except for three cases in all dates. Meanwhile, under the climatic conditions of the DKRZ database in scenarios 4.5 and 8.5, in most dates and periods, the average footprint of green water will decrease compared to its value in the base period. According to the results, the largest amount of green water footprint in all these periods and models in the period of 2021-2040 under the climatic conditions of the DKRZ database in scenario 4.5, if the planting date is 15th of Bahman, it is estimated that the amount of water consumption It is predicted to be 273 cubic meters per ton with a standard deviation of 32.65 cubic meters per ton. The lowest footprint of green water for the period of 2061-2080 under the climatic conditions obtained from the LARS-WG model in scenario 8.5 if the planting date is on April 15, is reported to be 84.16 tons per hectare with a standard deviation It is 32.03 tons per hectare. By examining the green water footprint estimated on different dates, the most suitable date of cultivation in which if the cultivation takes place, we will have a reduction of the green water footprint compared to the base period; April 15 will be in all 4 future periods (2021-2040, 2041-2060, 20610-2080, and 2080-2100).

Keywords: Cultivation Date, LARS-WG, DKRZ,

1- Ms.C, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
4- Postdoctoral Researcher of Irrigation and Drainage, Joint Cooperation Program, Imam Khomeini International University (IKIU) and Wageningen University and Research (WUR)
(* Corresponding author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)