

بررسی تأثیر سناریوهای آبیاری بر تغییرات مکانی - زمانی بهره‌وری مصرف آب سویا با استفاده از مدل AquaCrop

عبدالرضا احمدپور^۱، بهمن فرهادی بانسوله^{۲*} و آرش آذری^۳

چکیده

این مطالعه برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی بهره‌وری مصرف آب سویا، تحت سناریوهای مختلف آبیاری به‌عنوان شاخص مهمی برای پتانسیل‌یابی مناطق مستعد کشت این محصول در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان - رودخانه رازآور - استان‌های کرمانشاه و کردستان انجام شد. برای این منظور، از نرم‌افزاری مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (برای نمایش و تحلیل داده‌های مکانی) با ابزار Reference Weather از سیستم پایش رشد گیاه CGMS (برای میان‌یابی داده‌های هواشناسی) و نسخه پلاگین نرم‌افزار AquaCrop (برای شبیه‌سازی رشد گیاه)، به‌صورت ترکیبی استفاده شد. ناحیه مطالعاتی با توجه به شرایط خاک و هواشناسی به ۹۴ واحد همگن تقسیم شد. با کاربرد داده‌های روزانه هواشناسی (۱۹۸۸-۲۰۱۵) در رابطه پنمن مانیتیت فانو، مقادیر روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل در نواحی همگن مختلف محاسبه شد. مدل AquaCrop برای همه نواحی همگن، با کاربرد فایل گیاهی سویا (واستجی‌شده برای منطقه کرمانشاه) تحت ۳ سناریو آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری پتانسیل) برای ۲۸ سال اجرا شد. برای این شبیه‌سازی‌ها ۷۸۹۶ فایل پروژه تهیه و با نسخه پلاگین AquaCrop اجرا شد. نتایج نشان داد عملکرد دانه و تبخیر و تعرق فصلی و در نتیجه، بهره‌وری مصرف آب سویا از سناریوهای کم‌آبیاری متأثر بود و تغییرات مکانی و زمانی داشت. این تغییرات با افزایش شدت تنش آبی (به‌جز تغییرات زمانی تبخیر و تعرق فصلی) در سناریوهای آبیاری افزایش یافت. به‌طور کلی، میانگین بهره‌وری مصرف آب سویا در دشت میان‌دربند، بیشتر از دشت بيله‌وار بود. با توجه به مقادیر بهره‌وری مصرف آب شبیه‌سازی‌شده، در دشت بيله‌وار، نواحی آبیاری B1 و B4 و در دشت میان‌دربند، نواحی آبیاری D4 و D9 از دیدگاه عامل آب، که کلیدی‌ترین عامل تولید در اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران است، بیشتر مستعد کشت سویاست.

واژه‌های کلیدی: پایداری اکوسیستم، دانه‌های روغنی، شبکه آبیاری گاوشان، مدل AquaCrop، CGMS.

ارجاع: احمدپور ع. فرهادی بانسوله ب. و آذری آ. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر سناریوهای آبیاری بر تغییرات مکانی - زمانی بهره‌وری مصرف آب سویا با استفاده از مدل AquaCrop. مجله پژوهش آب ایران. ۴۱: ۱۴۳-۱۵۲.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

* نویسنده مسئول: bfarhadi2001@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰

مقدمه

به‌علت وابستگی شدید امنیت غذایی و پایداری اکوسیستم در مناطق خشک و نیمه‌خشک به آب، بخش کشاورزی در این نواحی، همواره با چالش افزایش بهره‌وری مصرف آب مواجه است (رزگران، ۲۰۱۶). بهره‌وری مصرف آب، نسبت عملکرد محصول به میزان آب به‌کاررفته برای تولید یک واحد محصول است (مولدن، ۱۹۹۷). بهره‌وری مصرف آب، شاخص مناسبی برای پتانسیل‌یابی امکان کشت یک محصول در مکانی خاص است (نظری‌فر و همکاران، ۲۰۱۲). شناسایی و توصیف نواحی مستعد کشت به افزایش بهره‌وری کمک می‌کند (رامامورتی و همکاران، ۲۰۱۸). مستعدبودن اراضی برای کشت محصولی خاص به تعداد زیادی از پارامترهای بیوفیزیکی و اکولوژیکی بستگی دارد (دنگ و همکاران، ۲۰۱۴). استفاده مناسب و بهره‌وری زیاد از آب، نیازمند داشتن اطلاعات لحظه‌ای از آب‌وهوا، خاک و شرایط گیاه است (فرناندز گارسیا و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از گزینه‌های مدیریتی متداول برای افزایش بهره‌وری مصرف آب، راهبرد کم‌آبیاری است (موهاوش، ۲۰۱۶)؛ از این‌رو، سیاست‌گذاران و مدیران آبی نیاز دارند تأثیر اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف بر بهره‌وری مصرف آب در تعداد زیاد و مقیاس‌های مختلف را بررسی کنند. مطالعات مزرعه‌ای به‌علت زمان‌بر و هزینه‌بر بودن، همه این سناریوها را به‌صورت مناسب بررسی نمی‌کند؛ اما کاربرد مدل‌های کامپیوتری دقیق، این نقص را جبران می‌کند (اوت و تولک، ۲۰۰۹). ادبوی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل AquaCrop به شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب سویا تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در نیجریه اقدام کردند. براساس نتایج، مدل مذکور، بهره‌وری مصرف آب سویا را با دقت زیادی شبیه‌سازی کرد. در پژوهشی، از مدل‌های CROPGRO-Soybean و RZWQM¹ برای شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد سویا در شرایط مختلف تنش آبی استفاده شد. براساس نتایج، مدل RZWQM دقت بیشتری در شبیه‌سازی عملکرد سویا داشت (نیلسن و همکاران، ۲۰۰۲). در مطالعه دیگری با استفاده از مدل SoySim، عملکرد سویا در شرایط بهینه رشد، در ایالات متحده آمریکا شبیه‌سازی شد. نتایج، توانایی زیاد این مدل را در شبیه‌سازی عملکرد سویا در شرایط بهینه رشد، در گستره وسیعی از تاریخ‌ها و تراکم

کشت نشان داد (ستیونو و همکاران، ۲۰۱۰). اواندو و همکاران (۲۰۱۸)، مدل CROPGRO-Soybean از بسته نرم‌افزاری DSSAT را برای شبیه‌سازی عملکرد سویا در آرژانتین به کار بردند. آنها برخی از ورودی‌های لازم برای این مدل، مانند تابش آفتابی را با روش‌های سنجش از دور تخمین زدند. نتایج نشان داد بهره‌گیری توأم روش‌های سنجش از دور و مدل DSSAT به شبیه‌سازی دقیق‌تر عملکرد سویا منجر می‌شود. مدل AquaCrop، مدلی برای شبیه‌سازی و مدیریت آبیاری در مزارع است. این مدل با وجود سادگی نسبی، دقت و توانمندی قابل قبولی دارد (رائس و همکاران، ۲۰۱۸). افشار و نشاط (۲۰۱۳) و گریوز و وانگ (۲۰۱۶) در مطالعات خود، توانایی این مدل را در شبیه‌سازی مناسب عملکرد محصولات زراعی مختلف تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری تأیید کرده‌اند.

بیشتر مدل‌های مذکور، مدل‌های نقطه‌ای در مقیاس مزرعه‌ای است. برای کاربرد آنها در سطحی گسترده باید از ابزارهای کمکی استفاده کرد. ابزار GIS هم در تهیه داده‌های ورودی و هم در نمایش مناسب خروجی‌های یک مدل شبیه‌سازی، کمک‌کننده است. باسو و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده ترکیبی از ابزار GIS و مدل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری DSSAT تأثیر شرایط آب‌وهوایی مختلف را بر الگوهای مکانی عملکرد محصولات سویا، ذرت و گندم در شمال شرقی ایتالیا بررسی کردند. براساس نتایج، روش ارائه‌شده، به‌خوبی تأثیر عوامل آب‌وهوایی را بر الگوهای مکانی عملکرد سویا نشان داد. لوئو و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده ترکیبی از ابزار GIS و مدل WOFOST، تغییرات مکانی عملکرد سویا را در منطقه سرادو برزیل شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد سویا در جنوب منطقه سرادو، عملکرد بهتری داشت.

از دیگر مدل‌هایی که با ترکیب مدل شبیه‌سازی WOFOST (بوگارد و همکاران، ۱۹۹۸) و یک سیستم یکپارچه نمایش رفتار گیاه، برای شبیه‌سازی رشد یک محصول در یک سطح گسترده با تغییرات مکانی شرایط رشد تهیه شده است، سیستم پیش‌رشد گیاه (CGMS) است. این سیستم ابزاری به نام Reference Weather دارد. از این ابزار برای میانمایی داده‌های هواشناسی استفاده می‌شود. مزیت این ابزار، استفاده آن از مفهوم فاصله معادل است. فاصله معادل، پارامتری است که علاوه بر فاصله افقی ایستگاه‌های هواشناسی، عامل اختلاف

به ترتیب با نام‌های اختصاری B و D همراه با اندیس شماره آن ناحیه تعریف شده است.

مراحل انجام دادن مطالعه

در این مطالعه، نخست، مناطق دارای شرایط آب‌وهوایی و خصوصیات فیزیکی خاک یکسان، به‌عنوان نواحی همگن تعریف شد. برای این منظور ناحیه مطالعاتی با توجه به نقشه توپوگرافی^۱ (DEM)، مساحت و دقت مد نظر به ۳۷ شبکه منظم ۵ در ۵ کیلومتر تقسیم شد. براساس اطلاعات خاک‌شناسی، ۲۴ واحد همگن خاک در منطقه شناسایی شد. درنهایت، با روی هم‌گذاری نقشه‌های شبکه‌های هواشناسی و واحدهای خاک، ۹۴ واحد همگن تشکیل شد؛ سپس اطلاعات روزانه پارامترهای هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، فشار بخار و ساعت آفتابی) در دوره مورد مطالعه (۲۰۱۵-۱۹۸۸) و مختصات جغرافیایی (طول، عرض و ارتفاع) ۲۴ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد مطالعه و نواحی مجاور از سازمان هواشناسی کرمانشاه اخذ شد. برای میانمایی داده‌های هواشناسی از ابزار Reference Weather در مدل CGMS استفاده شد. در این مدل، مرکز هر شبکه از شبکه منظمی به‌عنوان نماینده شبکه انتخاب و محاسبات برای آن انجام می‌شود. میانمایی با استفاده از روش عکس مجذور فاصله مرکز شبکه مد نظر از ایستگاه‌های مجاور (فاصله معادل که علاوه بر فاصله افقی اختلاف ارتفاع نیز در محاسبه آن مشارکت دارد)، انجام می‌شود؛ بنابراین، داده‌های ایستگاه‌هایی که از نظر فاصله و اختلاف ارتفاع، نزدیکی بیشتری به مرکز شبکه مد نظر دارد، تأثیر بیشتری در مقدار پارامتر میانمایی‌شده دارد (ساوین و همکاران، ۲۰۰۴)؛ سپس مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (ETO) روزانه در هر شبکه با استفاده از فرمول پنمن مانیتث فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) با فرمول‌نویسی در صفحه گسترده Excel محاسبه شد. فایل‌های لازم برای اجرای مدل AquaCrop، مانند فایل‌های حاوی اطلاعات خاک، هواشناسی، گیاه سویا (واسنجی‌شده توسط دهقان موروز، ۱۳۹۸)، مدیریت آبیاری و ... با استفاده از اطلاعات موجود در هر ناحیه همگن تهیه شد. با توجه به عمق بیشتر از ۳۰ متری آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه،

ارتفاع را، که بر پارامترهای هواشناسی تأثیر زیادی دارد، نیز در نظر می‌گیرد (ساوین و همکاران، ۲۰۰۴).

فعالیت‌های کشاورزی، مهم‌ترین ابزار معیشت جمعیت زیادی از مردم استان کرمانشاه است (کشاورز و همکاران، ۲۰۱۶). براساس آخرین آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، استان کرمانشاه با ۷/۲ درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی، مقام دوم را در کشور دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به سطح زیر کشت و پتانسیل زیاد تولید محصولات زراعی در این استان، با اعمال مدیریت مناسب، امکان افزایش تولید محصولات باارزشی مانند سویا در آن وجود دارد. سویا ماده اولیه تولید بسیاری از محصولات غذایی و منبع مهمی برای استحصال روغن و پروتئین گیاهی است (لودیگ و همکاران، ۲۰۱۱).

هدف این مطالعه، پتانسیل‌یابی مناطق مستعد کشت سویا با استفاده از برآورد تغییرات زمانی و مکانی شاخص کلیدی بهره‌وری مصرف آب در شرایط اعمال سناریوهای مختلف آبیاری در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان واقع در استان‌های کرمانشاه و کردستان است. با استفاده از ترکیب یک نرم‌افزار مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS با ابزار Reference Weather از سیستم پایش رشد گیاه CGMS و مدل شبیه‌سازی رشد گیاه AquaCrop ابزار لازم برای این منظور تهیه می‌شود.

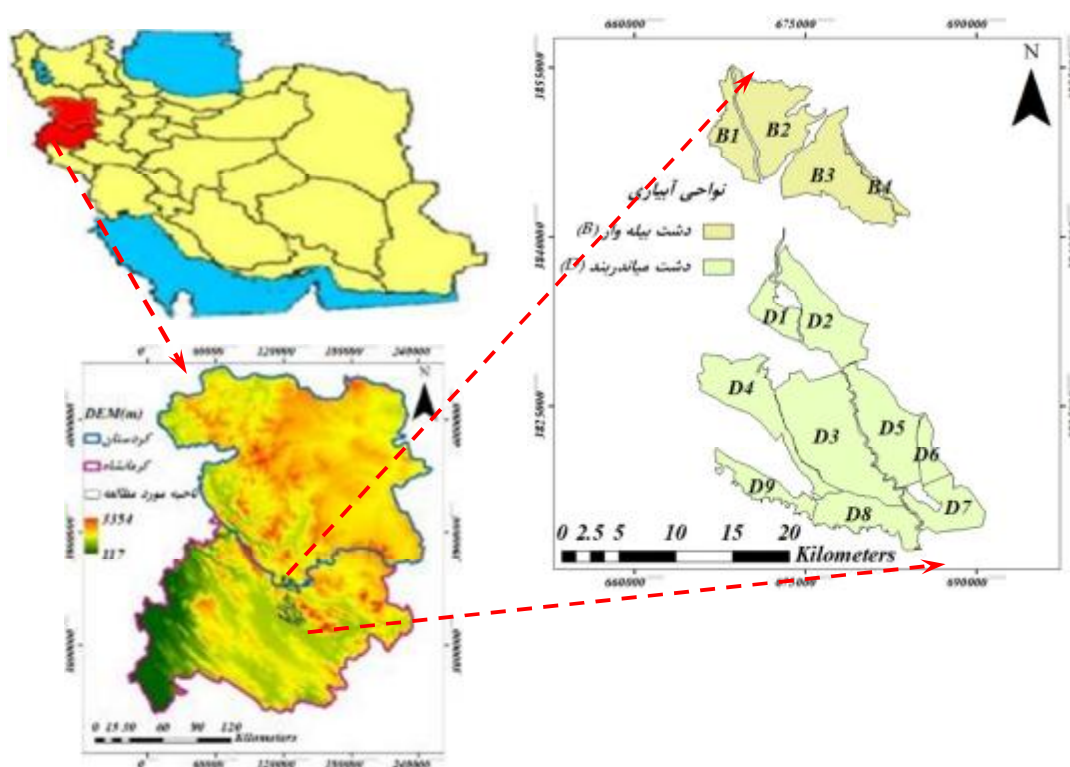
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان با مساحتی بالغ بر ۶۹۱۰ هکتار و قابل توسعه تا ۳۰۶۵۲ هکتار، که از بخش‌های جنوبی استان کردستان (شهرستان کامیاران - دشت بيله‌وار) شروع می‌شود و تا بخش‌های شمالی استان کرمانشاه (شهرستان کرمانشاه - دشت میان‌دربند) امتداد می‌یابد، به‌عنوان ناحیه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱). میانگین بارش سالانه در دشت‌های میان‌دربند و بيله‌وار به ترتیب، ۴۶۳ و ۴۴۴ میلی‌متر و میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل در این دشت‌ها به ترتیب، ۱۳۷۷ و ۱۳۱۱ میلی‌متر است. در هر کدام از دشت‌ها تعدادی نواحی آبیاری برای مدیریت بهتر تعریف شده است. همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، نواحی آبیاری واقع در دشت‌های بيله‌وار و میان‌دربند

انجام‌دادن کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB چرخه‌ای ایجاد شد که در هر بار اجرای مدل برای سناریوی خاص، فایل‌های پروژه (فایل‌های متنی) آن سناریو به صورت خودکار ایجاد و سپس با نسخه Plug-in مدل AquaCrop اجرا شود. خروجی‌های مدل، شامل عملکرد دانه و نیاز آبی سویا در نرم‌افزارهای Excel و Access از مجموعه نرم‌افزاری Microsoft Office ذخیره و تجزیه و تحلیل شد. مقدار بهره‌وری مصرف آب از تقسیم مقدار عملکرد دانه بر نیاز آبی فصلی محاسبه شد. در آخرین مرحله در محیط GIS، نقشه‌های مربوط به پارامترهای مذکور برای هر ناحیه همگن ترسیم و تجزیه و تحلیل شد.

تأثیر این پارامتر در مدل AquaCrop در نظر گرفته نشد. سناریوهای انجام‌دادن آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری کامل (S100)، آبیاری به اندازه ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل (به ترتیب، S80 و S60)، برحسب میلی‌متر با دور آبیاری ۷ روزه مطابق با عرف منطقه مورد مطالعه تعریف شد. در همه سناریوها در ابتدای فصل رشد برای اطمینان از سبز شدن تمامی بذرها، دور آبیاری کمتر از ۷ روز لحاظ شد. برای شبیه‌سازی مدل در ۹۴ واحد همگن، به مدت ۲۸ سال و ۳ سناریوی آبیاری، مدل باید ۷۸۹۶ بار اجرا شود. در مدل AquaCrop این امکان وجود دارد که برای هر اجرا، مجموعه فایل‌های ورودی به صورت یک فایل متنی Project.PRM ذخیره شود؛ بنابراین، با



شکل ۱- موقعیت اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان

که در آن، Y_a عملکرد واقعی (Kg/ha)، Y_x عملکرد حداکثر (Kg/ha)، K_y ضریب عکس‌العمل به تنش آبی (به صورت اعشاری)، ET_a تبخیر و تعرق واقعی (mm) و ET_x تبخیر و تعرق حداکثر (mm) است. پارامتر بهره‌وری مصرف آب (WP) (kg/m^3) که در این مدل برای نیاز تبخیری اتمسفر و غلظت دی‌اکسید کربن نرمال‌سازی

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop عملکرد قابل دستیابی محصولات زراعی را به عنوان تابعی از مصرف آب شبیه‌سازی می‌کند. رابطه اساسی این مدل، معادله تجربی دورنبوس و کسام (۱۹۷۹) است.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad (1)$$

عملکرد دانه تحت سناریوهای S100، S80 و S60 به ترتیب، ۷/۲۴، ۹/۸۲ و ۱۶/۹۶ درصد بود (جدول ۱). دوگاری و همکاران (۲۰۱۹) و شارما و همکاران (۲۰۱۶)، علت تغییرات زمانی عملکرد محصولات زراعی را تغییرات زمانی پارامترهای آب‌وهوایی دانسته‌اند.

شکل ۲-ب نشان می‌دهد تبخیر و تعرق فصلی (ETc) سویا تغییرات سالانه داشته و در اثر سناریوهای کم‌آبایی کاهش یافته است. این پارامتر تحت سناریوهای S80 و S60 به ترتیب، ۱۲/۴۶ و ۳۰/۷۶ درصد نسبت به سناریو S100 کاهش یافته است (جدول ۱). با افزایش شدت تنش آبی، نوسان‌های سالانه ETc فصلی کاهش یافته است. مقادیر CV برای ETc فصلی تحت سناریوهای S100، S80 و S60 به ترتیب، ۵/۸۶، ۵/۱۲ و ۵/۰۶ درصد بود (جدول ۱). گراسینی و همکاران (۲۰۱۴) و کای و همکاران (۲۰۱۴)، تغییرات زمانی نیاز آبی محصولات زراعی را بیشتر ناشی از تغییرات زمانی پارامترهای هواشناسی دانستند. از شکل ۲-ج مشخص است بهره‌وری مصرف آب سویا نیز تغییرات سالانه داشته و از سناریوهای آبیاری تأثیر پذیرفته است. کاهش مقادیر WP سویا تحت سناریوهای S80 و S60 نسبت به سناریو S100 به ترتیب معادل ۱۱/۱۱ و ۳۷/۷۸ درصد بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش آبی، میزان تغییرات سالانه WP بیشتر شده است. مقدار CV زمانی WP تحت سناریو S100 از ۶/۸۰ به ۱۵/۲۹ درصد تحت سناریو S60 رسید (جدول ۱). مکتونن و همکاران (۲۰۲۰) و شارما و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند تغییرات سالانه WP، بیشتر ناشی از تغییرات سالانه پارامترهای آب‌وهوایی است.

می‌شود، اساس رابطهٔ تجمعی تولید بیومس (معادله (۲)) در این مدل است.

$$B = WP \cdot \sum Tr \quad (2)$$

که در آن، (B) بیومس تجمعی تولیدی (Kg/ha)، (WP) بهره‌وری مصرف آب (kg/m³) و (Tr) تعرق محصول (mm) است. پس از محاسبهٔ بیومس کل، با استفاده از پارامتر شاخص برداشت مقدار عملکرد اصلی محاسبه می‌شود (معادله (۳)).

$$Y = HI \cdot B \quad (3)$$

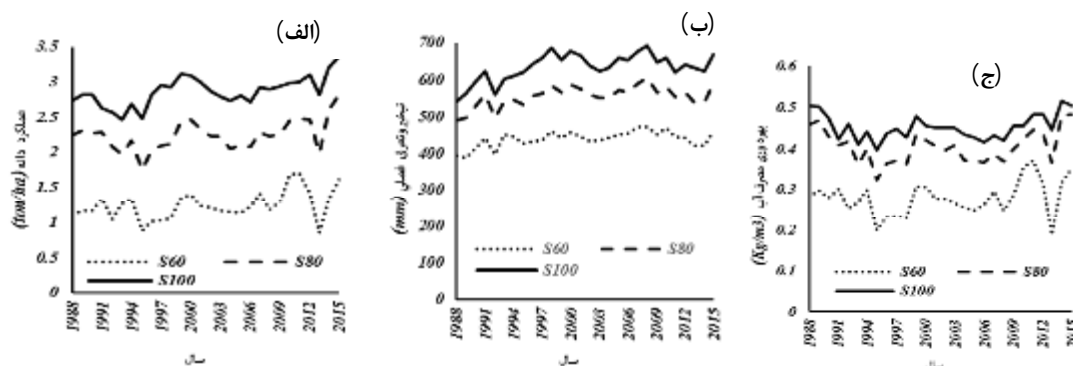
که در آن، HI: پارامتر شاخص برداشت برحسب اعشار است.

در مدل AquaCrop آثار تنش آبی با ۱- اثر بر رشد برگ، ۲- تأثیر بر هدایت روزنه‌ای، ۳- پیری زودرس کانوپی و ۴- اثر بر شاخص برداشت HI، اعمال می‌شود. این آثار با ضریب تنش Ks هر کدام از آنها نمایان می‌شود. این ضرایب، تابعی از میزان رطوبت خاک ناحیهٔ ریشه است (استدوتو و همکاران، ۲۰۰۹).

نتایج

تغییرات زمانی (سالانه)

شکل ۲-الف، نمودار مربوط به تغییرات سالانهٔ عملکرد دانهٔ سویا را از سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ برای سناریوهای آبیاری نشان می‌دهد. نتایج نشان داد اول، عملکرد دانه، تغییرات سالانه دارد. دوم، اختلاف عملکرد بین سناریوهای آبیاری مشهود است. میانگین عملکرد تحت سناریو S60، ۵۲/۳۲ درصد نسبت به سناریو S100 کاهش یافته است (جدول ۱). سوم، تغییرات سالانهٔ عملکرد با افزایش شدت تنش آبی افزایش یافته است. مقادیر ضریب تغییرات (CV)



شکل ۲- تغییرات سالانهٔ عملکرد دانه (الف)، تبخیر و تعرق (ب) و بهره‌وری مصرف آب (ج) در دورهٔ مطالعه برای سناریوهای آبیاری

جدول ۱- تغییرات زمانی اجزای عملکرد سویا تحت سناریوهای آبیاری در ناحیه مورد مطالعه

پارامتر	سناریو	حداقل	میانگین	حداکثر	کاهش نسبت به سناریو S100 %	ضریب تغییرات زمانی %
عملکرد دانه (ton/ha)	S100	۲/۴۷	۲/۸۶	۳/۳۷	-	۷/۲۴
	S80	۱/۷۵	۲/۲۴	۲/۸۴	۲۱/۶۸	۹/۸۲
	S60	۰/۸۵	۱/۲۴	۱/۷۱	۵۶/۶۴	۱۶/۹۶
تبخیر و تعرق فصلی (mm)	S100	۵۴۲	۶۳۴	۶۹۱	-	۵/۸۶
	S80	۴۹۰	۵۵۵	۶۰۳	۱۲/۴۶	۵/۱۲
	S60	۳۸۷	۴۳۹	۴۷۲	۳۰/۷۶	۵/۰۶
بهره‌وری مصرف آب (Kg/m ³)	S100	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۵۱	-	۶/۸۰
	S80	۰/۳۲	۰/۴۰	۰/۴۸	۱۱/۱۱	۹/۹۴
	S60	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۳۷	۳۷/۷۸	۱۵/۲۹

نتایج مربوط به تغییرات مکانی

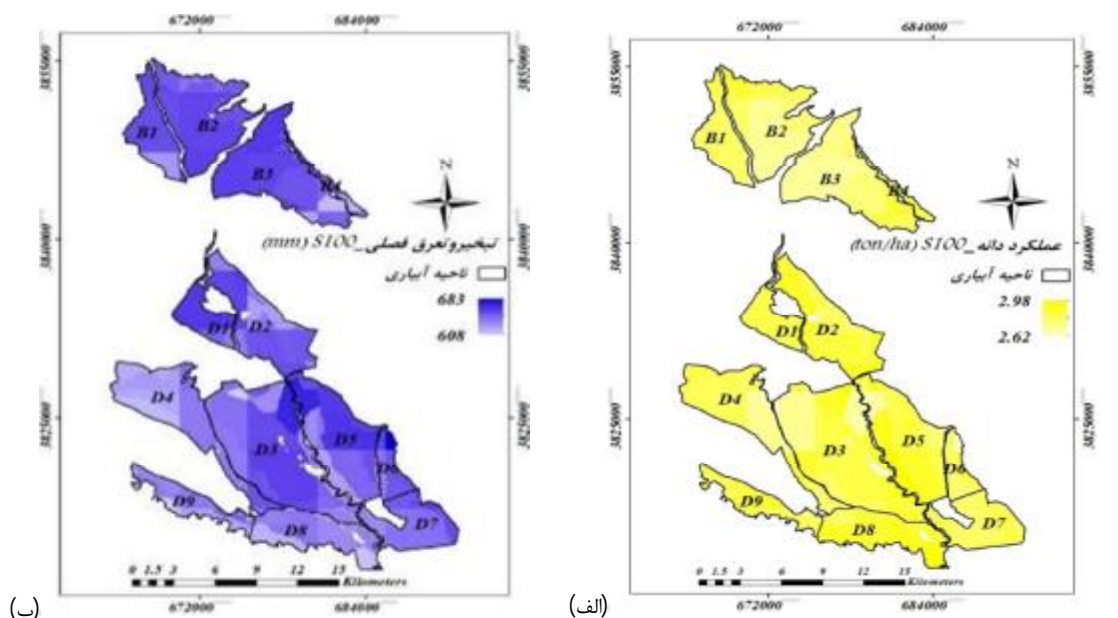
از شکل ۳-الف و مقادیر جدول ۲ مشخص است عملکرد دانه سویا در منطقه مورد مطالعه، الگوهای متفاوت مکانی دارد. متوسط ۲۸ ساله عملکرد دانه در سناریو S100 در نواحی مختلف در محدوده ۲/۶۲ - ۲/۹۸ تن در هکتار با مقادیر CV مکانی، ۱/۹۷ درصد بود.

(شکل ۳-الف و جدول ۲). با افزایش شدت تنش آبی در سناریوهای آبیاری، تغییرات مکانی عملکرد سویا افزایش می‌یابد. CV مکانی عملکرد دانه در سناریو S100، ۱/۹۷ بود و در سناریو S60 به ۱۳/۷۶ درصد رسید (جدول ۲). گیاه سویا در قسمت‌های شمال غربی و جنوب شرقی دشت بيلهوار (ناحیه آبیاری B4) و در دشت میان‌دربند قسمت‌های شمال غربی، غرب ناحیه آبیاری D5 و جنوب نواحی آبیاری D8 و D9، عملکرد بهتری نسبت به سایر بخش‌ها داشت (شکل ۳-الف). تغییرات مکانی عملکرد سویا ناشی از تأثیر هم‌زمان تغییرات مکانی شرایط آب‌وهوایی و شرایط خاک از یک ناحیه همگن به ناحیه همگن دیگر و آثار متقابل این عوامل بر یکدیگر است. این پدیده، مشابه نتایج مطالعات دوگاری و همکاران (۲۰۱۹)، انجورج و همکاران (۲۰۱۷) و یانگ و همکاران (۲۰۱۷) است.

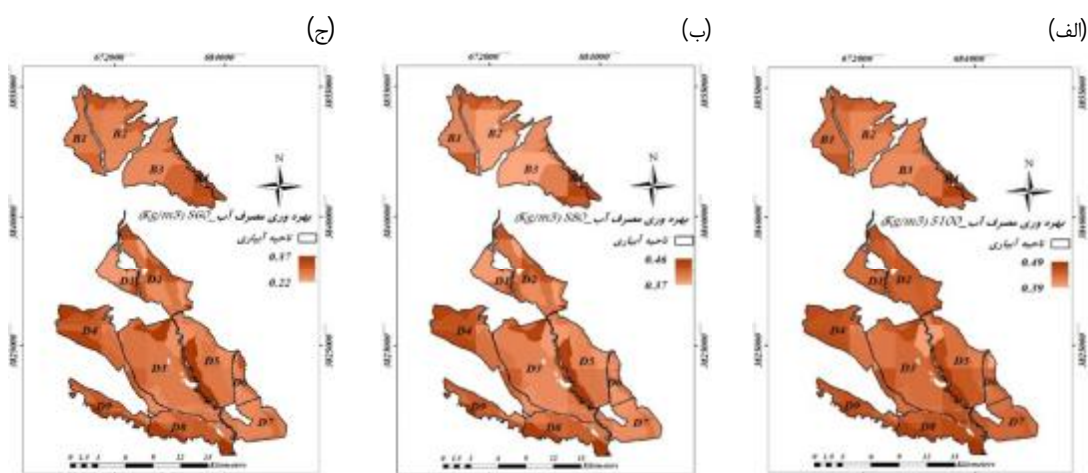
مقادیر شبیه‌سازی متوسط تبخیر و تعرق فصلی سویا تحت سناریوهای S60، S80، S100 به ترتیب، ۴۳۹، ۵۵۵ و ۶۳۵ میلی‌متر برای کل منطقه مورد مطالعه بود. میزان تغییرات مکانی این پارامتر، کمتر از سایر پارامترهای مورد مطالعه بود (جدول ۲ و شکل ۵). تغییرات مکانی این پارامتر بر اثر اعمال سناریوهای کم‌آبیاری افزایش یافت. CV مکانی ETc تحت سناریوهای S100، S80 و S60 به ترتیب، ۱/۹۴، ۲/۴۷ و ۳/۹۲ درصد بود (جدول ۲). علت افزایش

تغییرات مقادیر ETc فصلی از یک ناحیه همگن به ناحیه همگن دیگر در متفاوت بودن وضعیت خاک و شرایط آب‌وهوایی از یک ناحیه همگن به یک ناحیه همگن دیگر را می‌توان جست‌وجو کرد. در نواحی با متوسط دمایی کمتر، طول دوره رشد گیاه افزایش می‌یابد و بر مقدار ETc فصلی، که مجموع ETc روزانه است، افزوده می‌شود. این علت برای موضوع مذکور را مرلوس و همکاران (۲۰۱۵) و کای و همکاران (۲۰۱۴) نیز تأیید می‌کنند. در نواحی شمالی دشت میان‌دربند و بیشتر نواحی دشت بيلهوار، که آب‌وهوای نسبتاً سردتری نسبت به سایر نواحی دارند، مقادیر ETc فصلی سویا بیشتر است (شکل ۳-ب).

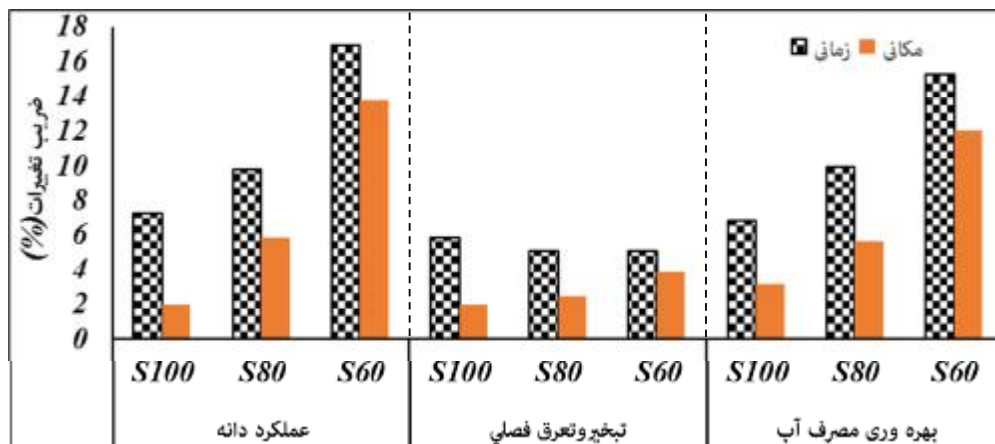
پارامتر WP نیز تغییرات مکانی داشت و مقدار آن در سناریو S100 از ۰/۳۹ تا ۰/۴۹ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. علت تغییرات مکانی بهره‌وری مصرف آب، بیشتر تغییرات مکانی عملکرد بود و تغییرات مکانی تبخیر و تعرق، کمتر تأثیرگذار بود. میانگین WP سویا، در دشت میان‌دربند، بیشتر از دشت بيلهوار بود (شکل ۴). در دشت بيلهوار، نواحی آبیاری B1 و B4 و در دشت میان‌دربند، نواحی آبیاری D4 و D9، مقادیر WP بیشتر و مساعد برای کشت سویا از دیدگاه عامل کلیدی آب داشت. با افزایش شدت تنش آبی، میزان تغییرات مکانی WP سویا افزایش یافت (شکل ۴). مقدار CV مکانی تحت سناریوهای S100، S80 و S60 به ترتیب، ۱/۱۳، ۵/۶۵ و ۱۲/۰۴ درصد بود (جدول ۲). عبدالله‌اف و مولدن (۲۰۰۴) و اشرف واقفی و همکاران (۲۰۱۷)، علل تنوع مکانی در WP را ناشی از تغییرات مکانی عوامل آب‌وهوایی (دما، بارش، تابش آفتابی و ...) و تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی خاک (ظرفیت نگهداری آب، هدایت هیدرولیکی و ...) دانستند.



شکل ۳- تغییرات مکانی متوسط عملکرد دانه (الف) و تبخیر و تعرق فصلی (ب) سویا در سناریو S100



شکل ۴- تغییرات مکانی متوسط بهره‌وری مصرف آب برای سناریوهای S100 (الف)، S80 (ب) و S60 (ج)



شکل ۵- مقایسه ضریب تغییرات مکانی و زمانی صفات مورد بررسی تحت سناریوهای آبیاری

نتیجه‌گیری

با کاربرد ترکیبی نرم‌افزار GIS، سیستم پایش رشد گیاه CGMS و نسخه Plug-in مدل AquaCrop، مناطق مستعد کشت سویا با استفاده از برآورد تغییرات زمانی و مکانی بهره‌وری مصرف آب، تحت سناریوهای مختلف آبیاری، در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان، واقع در استان‌های کردستان و کرمانشاه شناسایی شد. سناریوهای تعریف‌شده برای شبیه‌سازی، سناریوهای آبیاری کامل (S100) و آبیاری به اندازه ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل (به ترتیب S80 و S60) بود. براساس نتایج، پارامترهای عملکرد دانه، تبخیر و تعرق فصلی و بهره‌وری مصرف آب سویا تحت تأثیر سناریوهای کم‌آبیاری قرار گرفت. میانگین عملکرد دانه، ETc فصلی و WP سویا تحت سناریو S60 به ترتیب، ۵۲/۳۲، ۳۰/۷۶ و ۳۷/۷۸ درصد نسبت به سناریو S100 کاهش یافت. این پارامترها، تغییرات زمانی و مکانی داشت. این تغییرات با افزایش شدت تنش آبی (به جز تغییرات زمانی تبخیر و تعرق فصلی) افزایش یافت. از آنجا که عوامل آب‌وهوایی (دما، بارش، تابش آفتابی و ...) به‌طور سالیانه در این نواحی متغیر بود، علت تغییرات زمانی پارامترهای مد نظر را ناشی از تغییرات سالانه عوامل آب‌وهوایی می‌توان دانست؛ اما تغییرات مکانی ناشی از تأثیر هم‌زمان تغییرات مکانی شرایط آب‌وهوایی و شرایط خاک (ظرفیت نگهداری آب، توپوگرافی، هدایت هیدرولیکی و ...) و آثار متقابل این عوامل بر یکدیگر است. با افزایش شدت تنش آبی، نوسان‌های سالانه ETc فصلی سویا کاهش یافت. علت این امر، وابستگی ETc فصلی به طول دوره رشد است. با افزایش شدت تنش آبی، طول دوره رشد و در نتیجه، ETc فصلی کاهش می‌یابد. با کوچک‌شدن مقادیر ETc، اختلاف‌ها کمتر نمایان می‌شود. میانگین WP سویا در دشت میان‌دریمن بیشتر از دشت بيلهوار بود. در دشت بيلهوار، نواحی آبیاری B1 و B4 و در دشت میان‌دریمن، نواحی آبیاری D4 و D9 به‌علت WP بالاتر، از دیدگاه عامل آب، بیشتر مستعد کشت سویا بود.

منابع

۱. احمدی ک.، عبادزاده ح.، حاتمی ف.، عبدشاه ه. و کاظمیان آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۸۹ ص
۲. دهقان موروزه ع. ۱۳۹۸. برآورد عملکرد و نیاز آبی سویا و ذرت دانه‌ای در کرمانشاه تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی. ۲۵۶ ص.
3. Abdullaev I. and Molden D. 2004. Spatial and temporal variability of water productivity in the Syr Darya Basin, central Asia. *Water Resources Research*. 40(8): 1-11.
4. Adeboye O. B. Schultz B. Adekalu K. O. and Prasad K. 2017. Modelling of response of the growth and yield of soybean to full and deficit irrigation by using Aquacrop. *Irrigation and Drainage*. 66(2): 192-205.
5. Afshar A. and Neshat A. 2013. Evaluation of Aqua Crop computer model in the potato under irrigation management of continuity plan of Jiroft region, Kerman, Iran. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1(12): 1669-1678.
6. Allen R. Pereira L. Raes D. and Smith M. 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome, Italy. 300 p.
7. Ashraf Vaghefi S. Abbaspour K. Faramarzi M. Srinivasan R. and Arnold J. 2017. Modeling crop water productivity using a coupled SWAT-MODSIM model. *Water*. 9(3): 1-15.
8. Basso B. Bertocco M. Sartori L. and Martin E.C. 2007. Analyzing the effects of climate variability on spatial pattern of yield in a maize-wheat-soybean rotation. *European Journal of Agronomy*. 26(2): 82-91.
9. Boogaard H. L. Van Diepen C. A. Roetter R. P. Cabrera J. M. C. A. and Van Laar H. H. 1998. WOFOST 7.1; User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands. 142 p.
10. Cai R. Yu D. and Oppenheimer M. 2014. Estimating the spatially varying responses of corn yields to weather variations using geographically weighted panel regression. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 39(2): 230-252.
11. Deng F. Li X. Wang H. Zhang M. Li R. and Li X. 2014. GIS-based assessment of land suitability for alfalfa cultivation: a case study in the dry continental steppes of

۱. احمدی ک.، عبادزاده ح.، حاتمی ف.، عبدشاه ه. و کاظمیان آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت

- yield gaps. *Field Crops Research*. 184: 145-154.
23. Mohawesh O. 2016. Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water-use efficiency of eggplant in arid environments. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 18(1): 265-276.
 24. Molden D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 16 p.
 25. Nazarifar M. Kanani M. and Momeni R. 2012. Analysis of spatial and temporal variations in crop water productivity of the rainfed wheat for a regional scale analysis. *Agriculture*. 58(2): 65-73.
 26. Nielsen D. C. Ma L. Ahuja L. R. and Hoogenboom G. 2002. Simulating soybean water stress effects with RZWQM and CROPGRO models. *Agronomy Journal*. 94(6): 1234-1243.
 27. Njoroge S. Schut A. G. Giller K. E. and Zingore S. 2017. Strong spatial-temporal patterns in maize yield response to nutrient additions in African smallholder farms. *Field Crops Research*. 214(1): 321-330.
 28. Ovando G. Sayago S. and Bocco M. 2018. Evaluating accuracy of DSSAT model for soybean yield estimation using satellite weather data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 138(1): 208-217.
 29. Raes D. Steduto P. Hsiaot T. and Fereres E. 2018. Chapter 1: FAO crop-water productivity model to simulate yield response to water: AquaCrop: version 6.0-6.1: reference manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 19 p.
 30. Ramamurthy V. Chattaraj S. Singh S. and Yadav R. 2018. Identification of potential areas for crops. *Current Science*. 115(5): 955-961.
 31. Rosegrant M.W. 2016. Challenges and policies for global water and food security. *Economic Review*. Special Issue. 5-20.
 32. Savin I. Boogaard H. Diepen C.A. and Nègre T. 2004. CGMS Version 8.0. User Manual and Technical Documentation. Office for Official Publications of the European Communities, Ispra: Publications of the European Communities. 128 p.
 33. Setiyono T. Cassman K. Specht J. Dobermann A. Weiss A. Yang H. Conley S. Robinson A. Pedersen P. and De Bruin J. 2010. Simulation of soybean growth and yield in near-optimal growth conditions. *Field Crops Research*. 119(1): 161-174.
 34. Sharma V. Irmak S. Djaman K. and Sharma V. 2016. Large-scale spatial and temporal variability in evapotranspiration, crop water-northern China. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 12(2): 364-375.
 12. Dogaru D. Balteanu D. Mauser W. Probst E. Laura L. and Boroneant C. 2019. Spatio-temporal crop-yield variability and water use efficiency under diverse land use patterns and climatic conditions—a case-study for maize in the Lower Danube Plain, south of Romania. *Geophysical Research Abstracts*. 21: 13498.
 13. Doorenbos J. and Kassam A. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper 33. 257 p.
 14. Evett S. R. and Tolk J. A. 2009. Introduction: Can water use efficiency be modeled well enough to impact crop management? *Agronomy Journal*. 101(3): 423-425.
 15. Fernández García I. Lecina S. Ruiz-Sánchez M. C. Vera J. Conejero W. Conesa M. R. Domínguez A. Pardo J. J. Lélis B. C. and Montesinos P. 2020. Trends and challenges in irrigation scheduling in the semi-arid area of Spain. *Water*. 12(3): 1-26.
 16. Grassini P. Torrión J. A. Cassman K. G. Yang H. S. and Specht J. E. 2014. Drivers of spatial and temporal variation in soybean yield and irrigation requirements in the western US Corn Belt. *Field Crops Research*. 163(1): 32-46.
 17. Greaves G. E. and Wang Y. M. 2016. Assessment of FAO AquaCrop model for simulating maize growth and productivity under deficit irrigation in a tropical environment. *Water*. 8(12): 557-575.
 18. Keshavarz M. Maleksaeidi H. and Karami E. 2016. Livelihood vulnerability to drought: A case of rural Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 21(1): 223-230.
 19. Ludwig F. Biemans H. Jacobs C. Supit I. Van Diepen C. Fawell J. Capri E. and Steduto P. 2011. Water use of oil crops: current water use and future outlooks. Europe, I.L.S.I.o., Belgium. 41 p.
 20. Luo D. Silva D. P. De Marco Júnior P. Pimenta M. and Caldas M. M. 2020. Model approaches to estimate spatial distribution of bee species richness and soybean production in the Brazilian Cerrado during 2000 to 2015. *Science of the Total Environment*. 737(1): 1-11.
 21. Mekonnen M. M. Hoekstra A. Y. Neale C. M. Ray C. and Yang H. S. 2020. Water productivity benchmarks: The case of maize and soybean in Nebraska. *Agricultural Water Management*. 234(1): 1-9.
 22. Merlos F. A. Monzon J. P. Mercau J. L. Taboada M. Andrade F. H. Hall A. J. Jobbagy E. Cassman K. G. and Grassini P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing

- use efficiency, and evapotranspiration water-use efficiency of irrigated and rainfed maize and soybean. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 142(3): 1-23.
35. Steduto P. Hsiao T.C. Raes D. and Fereres E. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*. 101(3): 426-437.
36. Yang X. Liu Y. Bai W. and Liu B. 2017. Spatiotemporal assessment of drought related to soybean production and sensitivity analysis in northeast China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 56(4): 937-952.