تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۳ | خرداد ۱۴۰۱ (ص ۵۵۷-۵۴۳)

DOI:https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.327658.669040

(مقاله علمی - پژوهشی)

Cultivation Pattern Optimization Using Crop Rotation Priorities Using AquaCrop Crop Yield Simulation Model to Maximize the Economic Benefit

NASRIN SARRAFZADEH[1], KAMRAN DAVARI[1]*, ALINAGHI ZIAEE[1], HOSEIN ANSARI[1]

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(Received: July. 30, 2021- Revised: March. 3, 2022- Accepted: March. 7, 2022)

ABSTRACT

To choose the right cropping pattern with the aim of maximizing farmer income, stability and stability in production, can not be satisfied only with one-year economic issues, but also issues such as weed control, pest and disease control and soil fertility in the long run should be considered. The method that farmers traditionally use and still is applicabe today, is crop rotation. However, crop rotation is not usually considered in crop pattern optimization. In this study, the effect of crop rotation on crop yield and the amount of profit (as an effective management practice) obtained from the crop unit has been investigated by an evaluation equation. In order to calculate crop rotation as a factor in the optimization equation, an innovative method is presented in this study. In this method, the matrix of crop rotation impact coefficient matrix was completed through the knowledge-base of an expert farmer. The values of this matrix show the coefficients of impact of cultivation of each crop after another crop. Also, to evaluate the effect of rotation, according to farmers, seven different rotations with wheat, potato, corn, barley and fallow crops were studied. The study area is Shavoor irrigation and drainage network in Khuzestan province. The results of the rotation effect showed that in different rotations, the yield of wheat increased by 9.6%, corn by 3.3% and barley by 11.4%, which increases the profit per crop. Also, reviewing superior rotation with other rotations, the results showed that the presence of fallow in rotation and the use of appropriate rotation with selected plants, can increase the profitability of the crop unit.

Keywords: Crop Rotation, Economic Benefits, Crop Model Aquacrop.

* Corresponding Author's Email: k.davary@gmail.com

به‌گزینی الگوی کشت با بکارگیری اولویت‌های تناوب کشت و استفاده از مدل AquaCrop با هدف حداکثرسازی سود اقتصادی

نسرین صراف‌زاده[۱]، کامران داوری[۱*]، علی‌نقی ضیایی[۱]، حسین انصاری[۱]

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۸- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶)

چکیده

برای انتخاب الگوی کشت مناسب با این هدف که بتوان ضمن حداکثرسازی درآمد کشاورز، پایداری و ثبات در تولید داشته باشیم، نمی‌توان تنها به مباحث اقتصادی یک‌ساله بسنده کرد، بلکه مسائلی نظیر مقابله با علف‌های هرز، مقابله با آفات و بیماری‌ها و حاصلخیزی خاک در بلند مدت باید مورد توجه قرار گیرد. روشی که کشاورزان به صورت سنتی بکار می‌گیرند و حتی امروزه نیز کاربرد دارد، تناوب زراعی است. با این وجود معمولا تناوب زراعی در بهینه‌سازی الگو کشت در نظر گرفته نمی‌شود. در این پژوهش، اثر تناوب کشت بر عملکرد محصول و میزان سود قابل حصول (به عنوان اقدام مدیریتی تاثیرگذار) از واحد زراعی توسط یک معادله ارزشیابی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور احتساب تناوب زراعی به عنوان یک عامل در معادله بهینه‌سازی، روشی ابتکاری در این مطالعه ارائه شده‌است. در این روش، ماتریس ضریب تاثیر تناوب کشت، از طریق نظر کشاورز مجرب تکمیل شد. درایه‌های این ماتریس، ضرایب تاثیر کشت هر محصول پس از محصول دیگر را نشان می‌دهد. همچنین برای بررسی اثر تناوب، مطابق با نظر کشاورزان، ۷ تناوب مختلف با محصولات گندم، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای، جو و آیش مورد مطالعه قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه نیز شبکه آبیاری و زهکشی شاوور در استان خوزستان می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی اثر تناوب نشان داد، در تناوب‌های مختلف میزان عملکرد گندم تا ۹,۶٪، ذرت دانه‌ای تا ۳,۳٪ و جو تا ۱۱,۴٪ افزایش داشته که بر سود حاصل از واحد زراعی افزوده می‌شود. همچنین در بررسی تناوب برتر با سایر تناوب‌ها، نتایج نشان داد وجود آیش در تناوب و بکارگیری تناوب مناسب با گیاهان انتخابی، امکان افزایش سودآوری واحد زراعی را ایجاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تناوب کشت، سود اقتصادی، مدل شبیه‌سازی آب، عملکرد AquaCrop.

مقدمه

توجه به بخش کشاورزی به‌عنوان بستری برای کسب اهداف توسعه و پیشرفت در کشورهای در حال توسعه امری ضروری قلمداد می‌شود. بخش کشاورزی در این کشورها موتور اصلی رشد و توسعه اقتصادی بوده و باید جهت دستیابی به درآمد حداکثری در بخش کشاورزی با توجه به منابع آب و خاک در اختیار، به سمت شناسایی و اتخاذ برنامه‌ها و تصمیمات بهینه در مدیریت منابع پیش برویم.

رعایت اصول کاشت و انتخاب زمین زراعی مناسب جهت کشت محصول و ترکیب کشت نقش مهمی در تولید، افزایش راندمان استفاده بهینه از منابع و پایداری سیستم تولید دارد. در این ارتباط، رعایت تناوب زراعی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد در هکتار، کاهش مصرف سموم و نهاده‌های تولید و پایداری کشاورزی شود(Najafinezhad et al., 2009). در واقع تناوب زراعی روشی است که از طریق مقابله با آفات، حفظ حاصلخیزی خاک و مقابله با علف‌های هرز سبب بهبود تولید می‌شود.

ولی از آنجا که ارزش تولیدی محصولات مختلف با یکدیگر تفاوت دارد و کشاورزان در انتخاب ترکیب کشت به ارزش محصول تولیدی و هزینه‌های آن اهمیت زیادی می‌دهند، لذا در رعایت این توصیه زراعی باید محصولاتی را انتخاب کرد که علاوه بر حصول نتایج مطلوب ناشی از تناوب، از نظر اقتصادی نیز بالاترین ارزش را داشته باشند. زیرا میزان درآمد زارعین در الگوهای مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد. در این میان، الگویی که بیشترین درآمد را ایجاد کند پذیرش بیشتری دارد. با توجه به اینکه تناوب زراعی یکی از عوامل تاثیرگذار بر الگو کشت است، خود دارای اشکال مختلفی است(Gholami, 2003). لذا لازم است تا تناوب‌های اقتصادی شناسایی و به مدیران واحدهای کشاورزی معرفی شوند.

نگاهی به پیشینه تحقیق نشان داد که انجام مطالعات در زمینه تناوب زراعی سابقه طولانی دارد و در آن‌ها به صورت

* نویسنده مسئول: k.davary@gmail.com

متناوب سعی شده تا ابعاد اقتصادی رعایت تناوب‌های زراعی در مطالعات موردی تعیین شود. شناسایی و معرفی تناوب‌های اقتصادی زراعی در مناطق مختلف ایران، از جمله نیازهای اساسی مدیریت مزارع کشاورزی است.

در این پژوهش، اثر تناوب کشت بر میزان عملکرد محصول و سود قابل حصول (به عنوان اقدامی مدیریتی تاثیرگذار) از واحد زراعی توسط یک معادله ارزشیابی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین برای آنکه تناوب زراعی بتواند به عنوان یک عامل در معادله بهینه‌سازی بکار گرفته شود، روشی ابتکاری توسعه یافته است. با توجه به اهمیت قابل توجه استان خوزستان در بخش کشاورزی کشور، روش پیشنهادی در بخشی از اراضی این استان (شبکه آبیاری و زهکشی شاوور) مورد آزمون قرار می‌گیرد.

از آنجا که یکی از مهمترین اجزا اثرگذار بر درآمد حاصل از تولید در بخش کشاورزی، برآورد عملکرد محصولات می‌باشد و در این پژوهش برای مدلسازی عمکرد محصولات نرم‌افزار Aquacrop مورد استفاده قرار گرفته‌است؛ از این رو پیشینه مطالعات در دو موضوع کارایی این نرم‌افزار در شبیه‌سازی عملکرد محسوب و در زمینه تاثیر تناوب زراعی بر عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گرفت که به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود.

الف) مطالعات در زمینه کابردها و کارایی نرم‌افزار Aquacrop :

Adabi et al. (2020) اثر ۴۷ پارامتر گیاهی مدل متن‌بسته‌ی AquaCrop بر ۵ پارامتر خروجی مدل شامل تبخیر از سطح خاک، تعرق، تبخیر تعرق، زیست توده و عملکرد دانه برای دو محصول گندم و ذرت در مناطق دشت قزوین و پارس‌آباد مغان را مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از شاخص کارایی مدل نش-ساتکلیف نسبی، درجه حساسیت این پارامترها را مشخص کردند. یارامترهای درجه روز رشد افزایش پوشش تاج، درجه روز رشد بذر افشانی تا بلوغ، درجه روز رشد بذر افشانی تا آغاز پیری و بیشترین پوشش تاج در نسبت پوشش خاک به صورت مشترک در هر دو محصول بیشترین حساسیت را از خود نشان دادند. برای هر ۵ خروجی ذرت و گندم منطقه قزوین، حدود نیمی از پارامترهای ورودی بدون تاثیر بوده و در هنگام واسنجی از اهمیت ناچیزی برخوردار است.

García and Fereres (2019) در پژوهش خود نرم‌افزار AquaCrop را با استفاده از نتایج آزمایش کم‌آبیاری گیاه چغندر قند مورد واسنجی قرار دادند. مدل با استفاده از داده‌های هشت مزرعه در محل، سال، انواع، تاریخ کاشت و مقدار آبیاری اعتبار سنجی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد کلی AquaCrop برای شبیه سازی پوشش تاج(RMSE=11.39%)، زیست توده (۲,۱ تن بر هکتار) و عملکرد نهایی(۰,۸۵ تن بر هکتار) دقیق بود.

Tsakmakis et al.(2019) الگوی توسعه ریشه گیاه ذرت در فصل کشت در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در یونان را با اندازه‌گیری مقدار آب خاک تعیین کردند. سپس قابلیت مدل AquaCrop FAO برای شبیه سازی کمبود آبیاری پنبه تحت شرایط واقعی کشاورزی را با استفاده از الگوی رشد ریشه برآورد شده همراه با پوشش تاج ، زیست توده ، مقدار آب خاک و عملکرد دانه پنبه، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد این نرم‌افزار الگوی رشد ریشه، پوشش سایبان، زیست توده و محتوای آب خاک را با دقت مناسب شبیه سازی کرده است ($R2 \geq 0.93$) ، اما عملکرد دانه پنبه فقط هنگامی که اطلاعات کتاب‌خانه‌ای AquaCrop مورد استفاده قرار گرفت، به صورت قابل قبول شبیه‌سازی شد.

Ramezani et al. (2019) به واسنجی و بررسی دقت مدل Aquacrop در شبیه‌سازی شاخص‌های محصول جو در آزمایشی دو ساله ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ در منطقه داراب پرداختند. مقادیر ماده خشک قسمت هوایی گیاه شبیه‌سازی شده توسط مدل با شاخص‌های آماری d و NRMSE در سال اول کشت به ترتیب ۰,۹۸۲ و ۰,۰۹۴ و در سال دوم ۰,۹۳۵ و ۰,۱۹۸ و مقدار عملکرد دانه برآورد شده توسط مدل در سال اول کشت به ترتیب برابر ۰,۹۸۱ و ۰,۱۷۲ و در سال دوم برابر ۰,۹۹۲ و ۰,۱۰۳ بود. نتایج آزمون‌های آماری نشان دادند که مدل AquaCrop از دقت بالایی برخوردار است.

Esmaeilian and Ramroudi (2018) در پژوهش خود مدل AquaCrop برای سه رقم ذرت تحت فراهمی سطوح متفاوت آبیاری (عدم تنش، تنش ملایم و تنش شدید) و ۴ سطح نیتروژن (صفر، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) مورد واسنجی و ارزیابی قرار دادند. نتایج به دست آمده، نشان داد می‌توان مدل AquaCropرا با درصد اطمینان بالایی برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت دانه‌ای به کار برد.

Greaves and Wang (2016) نرم‌افزار AquaCrop را برای گیاه ذرت تحت کم آبیاری مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها از مشاهدات مزرعه ای سه آزمایش شامل چهار تیمار برای ارزیابی عملکرد مدل در شبیه سازی تاج پوشش (CC)، زیست‌توده (B)، عملکرد (Y)، تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و بهره وری مصرف آب (WUE) استفاده کردند. نتایج پیش بینی مدل نشان دادکه کارایی این مدل در شرایط بدون تنش و تنش متوسط، خوب است. در شرایط تنش شدید، شاهد کاهش کارایی مدل و افزایش انحرافات تا ۹٪ برای عملکرد و بیش از ۱۱٪ برای زیست‌توده هستیم. میزان

انحراف تبخیر-تعرق و شاخص بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده نیز حاکی از قدرت پیش‌بینی خوب این مدل است. نتیجه این پژوهش حاکی از آن است که نرم‌افزار AquaCrop برای ارزیابی اثربخشی استراتژی‌های مدیریت آبیاری پیشنهاد شده برای ذرت قابل اعتماد است.

Linker et al. (2016) به منظور بهینه‌سازی برنامه آبیاری بر اساس کم‌آبیاری برای سه محصول پنبه، سیب‌زمینی و گوجه فرنگی از نرم‌افزار AquaCrop استفاده کردند. نتیجه پژوهش آن‌ها نشان داد که می‌توان از محدودیت‌های بهینه‌سازی غیرخطی و نرم‌افزار AquaCrop برای استخراج توابع مقعر به منظور دستیابی به حداکثر عملکرد، به صورت توام استفاده کرد.

Ansari et al.(2014) پژوهشی به منظور تعیین عمق بهینه آبیاری و تحلیل اقتصادی آن برای محصول گندم و گوجه فرنگی در مزارع خراسان رضوی (مشهد) به کمک نرم‌افزار AquaCrop انجام داده‌اند. با محاسبه چهار سطح از آب آبیاری نشان داده شده است که در حداکثر عمق آبیاری به میزان ۳۰٪ برای گندم و ۱۰٪ برای گوجه‌فرنگی برای بدست آوردن حداکثر عملکرد، کاهش مصرف آب صورت گرفته است. منحنی توابع تولید رسم شده این محصولات نشان از افزایش عملکرد ۵۷٪ برای گندم و حدود ۲۰٪ برای گوجه‌فرنگی بوده است که در تحلیل اقتصادی سود حاصل از آن برای گندم ۵۱،۰۱ میلیون ریال و برای گوجه‌فرنگی ۱۱۷،۸۰ میلیون ریال بدست آمده است.

García and Fereres (2012) به منظور بهینه‌سازی مدیریت آبیاری در سطح مزرعه‌ای در جنوب شرقی اسپانیا، از ترکیب نتایج نرم‌افزار AquaCrop با مدل اقتصادی استفاده کردند. آن‌ها میزان عملکرد در ازاء کم‌آبیاری چهار محصول یونجه، پنبه، سیب‌زمینی و آفتابگردان را با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop بدست آورده و سپس با استفاده از مدل بهینه‌ساز اقتصادی با هدف حداکثرسازی سود، الگوی کشت وکفایت آبیاری مناسب را ارائه نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد تغییرات الگوی کشت حاصل از سیاست‌های کشاورزی منطقه، بیشتر از افزایش قیمت آب باعث صرفه‌جویی آب می‌شود.

Babazadeh and Sarai (2012) در پژوهش خود برای ارزیابی و آنالیز حساسیت مدل AquaCrop از داده‌های مزرعه تحت کشت گیاه سویا در منطقه کرج استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی دارد. نتایج این تحقیق بر اساس مقادیر ضریب آنالیز حساسیت (Sc) نشان می‌دهد ورودی‌های مدل به زمان سبز شدن بذرها، رطوبت اولیه خاک و عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل هیچ حساسیتی ندارد.

ب) مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در زمینه تاثیر تناوب زراعی بر عملکرد گیاه:

Alemayehu et al.(2020) اثر تناوب زراعی و کاربرد مواد آلی بر سلامت خاک و بهره‌وری مزارع تخریب شده در شمال غرب اتیوپی را مورد بررسی قرار دادند. ایشان ۵ تناوب زراعی مختلف و ۴ تیمار متفاوت کود (در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار) را طی سه تناوب زراعی از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که با اعمال سه ساله تناوب زراعی و کاربرد کود، خصوصیات خاک و بهره وری محصولات به طور قابل توجهی بهبود یافته است. مقادیر تراکم حجم خاک، pH ، CEC و محتوای کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر موجود و پتاسیم قابل تبادل به طور متوسط حدود در مقایسه با مقدار اولیه قبل از شروع آزمایش ، به ترتیب ۲۳٪ ، ۱۸٪ ، ۶۷٪ ، ۸۹ ٪ ، ۱۵۰٪، ۸۹٪ و ۴۴٪ بهبود یافته است. به طور مشابه، بهره وری گندم نان و سیب زمینی در مقایسه با سال ۰۱۳ ، در تناوب اول و دوم به ترتیب حدود ۴۴۶٪ و ۵۴۰٪ در سال ۲۰۱۵ افزایش یافت.

Khorshidi et al. (2016) در پژوهش خود تناوب‌های دو ساله شامل آیش-پیاز، آیش-سیب‌زمینی، پیاز-پیاز، سیب‌زمینی-پیاز، پیاز- سیب‌زمینی و سیب‌زمینی- سیب‌زمینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تناوب سیب‌زمینی-پیاز منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد سوخ و تولید سوخ‌های درشت‌تر پیاز گردید. همچنین در تناوب آیش-سیب‌زمینی و سیب‌زمینی-سیب‌زمینی غده‌های سیب‌زمینی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد بودند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از تاثیر قابل توجه تناوب زراعی بر عملکرد محصول بود.

Sieling and Christen (2015) در پژوهش خود با انجام مطالعه میدانی طولانی مدت (۲۰۰۱-۱۹۸۸) و با ۱۵ تناوب متفاوت شامل گیاهان زیتون و گندم و جو زمستانه، لوبیا و جو بهاره، اثر محصول قبلی بر محصول بعدی (تناوب) را بر عملکرد دانه زیتون، گندم و جو زمستانه مورد بررسی قرار دادند. در سال بعد نیز ۲۰۰۲-۲۰۰۱ و ۲۰۰۳-۲۰۰۲ با کاشت گندم زمستانه در تمام قطعات، اثرات باقیمانده محصول قبلی را بر رشد و عملکرد دانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کشت محصول نامطلوب باعث افت قابل ملاحظه‌ای در عملکرد گیاه زیتون می‌شود. همچنین کشت محصولات نامطلوب به طور متوسط باعث افت ۱۰٪در گندم و جو می‌گردد. کشت گندم بعد از گندم نیز سبب کاهش وزن هزار دانه و کاهش تراکم سنبله در گندم دوم می‌شود. نتایج این پژوهش بیانگر اثر و اهمیت تناوب

زراعی بر عملکرد دانه مخصوصا گیاه گندم، جو و زیتون است.

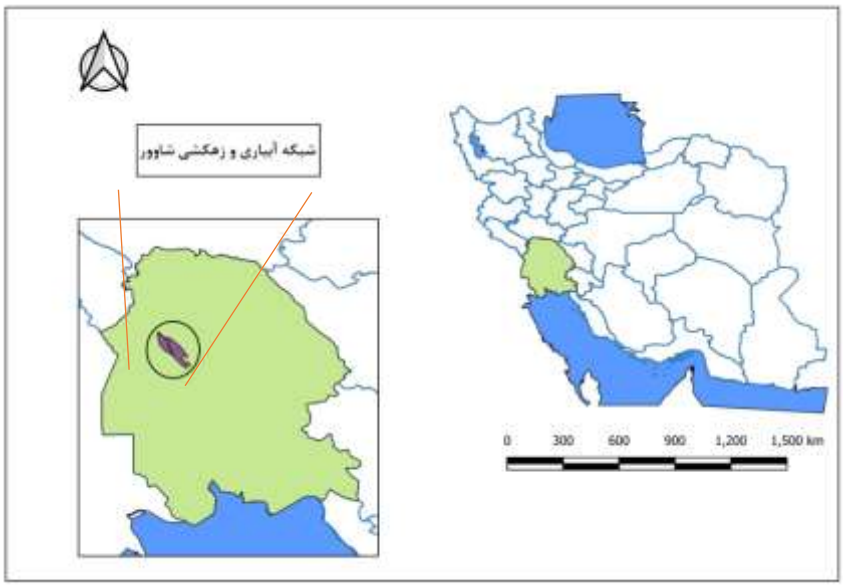
Fan et al. (2012) برای ارزیابی امکان عملیات بدون خاکورزی در خاک‌های سیاه شمال شرق چین، اثرات خاکورزی مختلف و ترکیبات تناوب زراعی بر عملکرد محصول و سودآوری را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان طی ۸ سال آزمایش در مزرعه، تغییرات عملکرد و بازدهی اقتصادی دو گیاه ذرت و لوبیا را در سه شرایط بدون خاکورزی(NT)، با عملیات شخم‌زنی(MP) و خاکورزی با خاک اره(RT) و به صورت اعمال این شرایط بر تناوب‌های ذرت-ذرت-ذرت(C-C-C)، ذرت-لوبیا(C-S) و ذرت-ذرت-لوبیا(C-C-S)، مورد بررسی قرار دادند. سودآوری ذرت و لوبیا در روش NT به ترتیب ۱۵,۹٪ و ۲۲,۴٪ بیشتر از دو روش دیگر بود. نتایج مطالعه ایشان نشان داد تناوب ذرت-لوبیا و بدون عملیات خاکورزی، یک اقدام خوب برای افزایش عملکرد محصول و سودآوری در خاک‌های سیاه شمال شرق چین خواهد بود.

مرور بر منابع نشان دهنده دقت و کفایت مدل AquaCrop برای برآورد نیاز آبی و عملکرد محصول تحت تنش آبی بوده و انتخاب آن بعنوان هسته محاسباتی عملکرد محصول مدنظر این پژوهش مطلوب می‌باشد. مطالعات در زمینه تناوب زراعی نیز بیانگر تاثیر و اهمیت این اقدام مدیریتی بر میزان عملکرد محصولات مختلف و در نتیجه بر میزان درآمد حاصل از محصولات می‌باشد که به دلیل مشکلات کمی کردن اثر این عامل در عملکرد محصولات، کمتر در پژوهش‌های مربوط به بهره‌وری آب در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش روشی برای وارد کردن اثر تناوب کشت در فرآیند بهینه سازی الگوی کشت پیشنهاد شده و برای یک شبکه آبیاری و زهکشی در خوزستان مورد آزمون قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، شبکه آبیاری و زهکشی شاوور در استان خوزستان می‌باشد (علت انتخاب این شبکه، وجود اطلاعات کشاورزی مورد نیاز پژوهش می‌باشد). اراضی این شبکه به وسعت ۴۸۴۶۰ هکتار جز دشت‌های رسوبی قدیمی رودخانه‌های دز و کرخه می‌باشد که در نواری به طول ۵۵ کیلومتر و عرض ۸ تا ۱۶ کیلومتر از شمال به اراضی طرح نیشکر میان آب و بخش، از شرق به خط آهن اهواز-اندیمشک و از غرب در قسمت شمالی مسیر جاده اهواز-اندیمشک و در قسمت جنوبی آن به رودخانه کرخه محدود شده است. مختصات جفرافیایی منطقه بین ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی است. کشت غالب منطقه شامل گیاهان گندم، جو، ذرت، سیب‌زمینی، هندوانه، پیاز، کلزا، گوجه‌فرنگی، برنج و شبدر می‌باشد (الگو کشت دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان). در **Error! Reference source not found.** موقعیت عمومی اراضی شبکه آبیاری و زهکشی شاوور در استان خوزستان نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شبکه آبیاری و زهکشی شاوور در استان خوزستان (تهیه شده با استفاده از شیپ فایل‌های دریافت شده از سازمان آب وبرق خوزستان)

روش به‌گزینی و ارزشیابی گزینه‌ها

الف) چهارچوب جدید برای لحاظ تناوب زراعی

در مطالعاتی که تا کنون در زمینه بهینه‌سازی تولید در کشاورزی انجام شده است، تناوب زراعی به عنوان عامل موثر در توابع هدف در بهینه‌سازی‌ها، مورد توجه قرار نگرفته است. در این پژوهش برای آنکه تناوب زراعی بتواند به عنوان یک عامل در بهینه‌سازی بکار گرفته شود، روشی ابتکاری توسعه یافته است.

این روش یک ماتریس ضریب تاثیر تناوب کشت مطابق جدول می‌باشد که باید توسط کشاورز مجرب تکمیل گردد.

درایه‌های این ماتریس، ضرایب تاثیر کشت هر محصول پس از محصول دیگر را نشان می‌دهد. تفسیر درایه‌ها چنین است:

درایه $a(x,y)<1$ بدان معنا است که اثر کشت گیاه y بعد از گیاه x دارای اثر منفی بر عملکرد گیاه y می‌باشد.

درایه $a(x,y)>1$ به معنی اثر مثبت کشت گیاه y پس از گیاه x بر عملکرد گیاه y است.

درایه $a(x,y)=1$ بدان معنی است که کشت متوالی دو محصول y و x دارای اثر خنثی بر عملکرد محصول دوم است.

جدول ۱- نمونه ماتریس ضرایب تاثیر تناوب زراعی

کشت دوم / کشت اول	C1	C2	C3	C4	C5
C1	a(۱،۱)	a(۱،۲)	a(۱،۳)	a(۱،۴)	a(۱،۵)
C2	a(۲،۱)	a(۲،۲)	a(۲،۳)	a(۲،۴)	a(۲،۵)
C3	a(۳،۱)	a(۳،۲)	a(۳،۳)	a(۳،۴)	a(۳،۵)
C4	a(۴،۱)	a(۴،۲)	a(۴،۳)	a(۴،۴)	a(۴،۵)
C5	a(۵،۱)	a(۵،۲)	a(۵،۳)	a(۵،۴)	a(۵،۵)

فرآیند تشکیل این ماتریس شامل تنظیم پرسشنامه‌ای مطابق با شک است که با تدوین آن و مصاحبه با کشاورزان خبره، اثر سه عامل کنترل آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و حفظ حاصلخیزی خاک بر تناوب زراعی مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که مطابق با نمونه پرسشنامه، ابتدا از کشاورز خواسته شد تا اثر کشت هر محصول بعد از محصول دیگر از منظر سه عامل مذکور را به صورت توصیفی با عبارات (عالی- خوب- متوسط- ضعیف- بد) بیان کرده و سپس به میزان تاثیر سه عامل مذکور طوری امتیاز دهند که مجموع امتیاز سه عامل برابر ۱۰ شود. به عنوان مثال وقتی کشاورزی به عامل کنترل آفات و بیماری‌ها، عامل کنترل علف‌های هرز و عامل حفظ حاصلخیزی خاک به ترتیب ۲، ۳ و ۵ داده است یعنی اثر عامل حفظ حاصلخیزی خاک در تناوب را بیشتر و پر رنگ‌تر از بقیه و با نسبت اختصاص داده شده، می‌داند.

در مرحله آخر پرسشنامه نیز خواسته شد تا به عبارات توصیفی خود از نظر اقتصادی و با در نظر گرفتن اثر کلی تناوب، ضریب اختصاص داده و همچنین تناوب پیشنهادی خود با چهار گیاه گندم، جو، ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی را ارائه کنند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، در هر پرسشنامه، در هر یک از جداول مربوط به سه عامل موثر در تناوب، امتیازهای توصیفی جایگزین عبارات توصیفی گشت. سپس با استفاده از ضرایب تاثیر سه عامل که توسط کشاورز مشخص شده بود، مقدار عددی ضرایب ماتریس تناوب محاسبه شد. در ماتریس بدست آمده از هر پرسشنامه، با تقسیم تمام درایه‌ها بر میانگین اعداد ماتریس، ماتریس نرمال‌شده حاصل شد. به این ترتیب بر اساس نظر هر کشاورز، یک ماتریس ضرایب تاثیر تناوب، شکل گرفت.

جدول بدست آمده در این قسمت، می‌تواند در فرآیند بهینه‌سازی توسط کامپیوتر برای پیدا کردن بهترین تناوب زراعی مورد استفاده قرار گیرد.

ب) معادله ارزشیابی

به منظور ارزشیابی تناوب‌های زراعی مختلف پیشنهاد شده، تابع هدف به صورت معادله (رابطه ۱) بکار گرفته شد. با استفاده از این تابع، سود حاصل از هر تناوب به عنوان امتیاز آن تناوب حساب شده است و معیار مقایسه تناوب‌ها با یکدیگر قرار گرفته است.

(رابطه ۱)

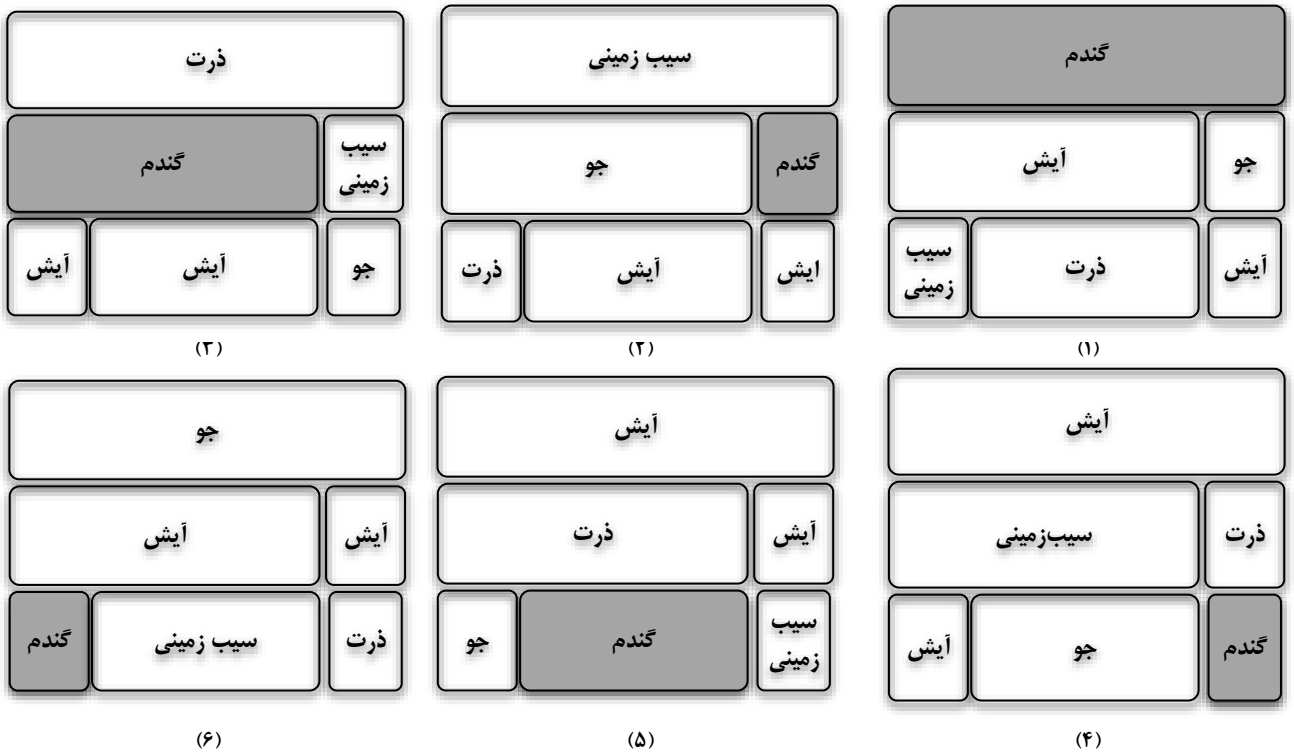
$$B=\sum_{i=1}^{n}\left((Y_i\times P_i\times 10^3)-(C_i+P_w\times V_{w_i})\right)\times\frac{A_i}{n}\times R_{(i-1,i)}$$

در این معادله،Σ: سود حاصل از تناوب(ریال)، Y_i: عملکرد هر محصول(تن بر هکتار)، P_i: قیمت هر محصول(ریال بر کیلوگرم)، C_i: هزینه تولید هر محصول(ریال بر هکتار)،P_w: قیمت آب(ریال بر مترمکعب) وV_{wi} : حجم آب مصرفی هر محصول(مترمکعب بر هکتار)،A_i: سطح زیر کشت هر محصول(هکتار)،$R_{(i-1,i)}$: ضریب تاثیر تناوب زراعی و n: تعداد گیاهان موجود در تناوب مورد نظر(آیش نیز در نظر گرفته

می‌شود) می‌باشد. در این معادله $R_{(0,i)} = R_{(n,i)}$ فرض می‌شود.

در این پژوهش فرض شده است که سطح زیر کشت گیاهان (به همراه تعداد آیش) برابر است. دلیل سطح زیر کشت برابر این است که در عمل تمام گیاهان موجود در یک تناوب، در طول دوره تناوب، در همه تخته‌های زراعی کاشته می‌شوند؛ در نتیجه در طول یک دور کامل تناوب، همه گیاهان سطح زیر کشت واحد، و برابر با کل سطح زیر کشت واحد زراعی را خواهند داشت. به عنوان مثال تناوب گندم-آیش-سیب‌زمینی- آیش- جو- ذرت را در نظر بگیرید(شکل ۳).

شکل ۲- نمونه پرسشنامه تدوین شده برای بررسی اثرات تناوب زراعی



شکل ۳- چرخش گیاهان موجود در تناوب زراعی در یک سیکل کامل تناوب

در نتیجه با قبول سطح زیر کشت برابر برای محصولات موجود در تناوب، معادله (رابطه ۱) به معادله (رابطه۲) تبدیل می‌شود. در این تحقیق سطح قابل کشت، یک واحد در نظر گرفته شده است($A=1$).

(رابطه۲)

$$B=\frac{A}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i\times P_i\times 10^3-(C_i+P_w\times V_{w_i})\right)\times \mathrm{R}_{(i-1,i)}$$

در تعیین عوامل موجود در معادله بالا، مقدار عملکرد گیاه و حجم آب مورد نیاز آن توسط نرم‌افزار AquaCrop ، ضریب تاثیر تناوب از ماتریس‌های مستخرج از پرسشنامه، تعداد گیاهان و آیش، از تناوب‌های پیشنهاد شده در پرسشنامه و قیمت فروش و هزینه تولید محصولات از سایت معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی و برای سال ۹۴ (آخرین سال انتشار آمار هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی در استان‌های مختلف) تامین شد.

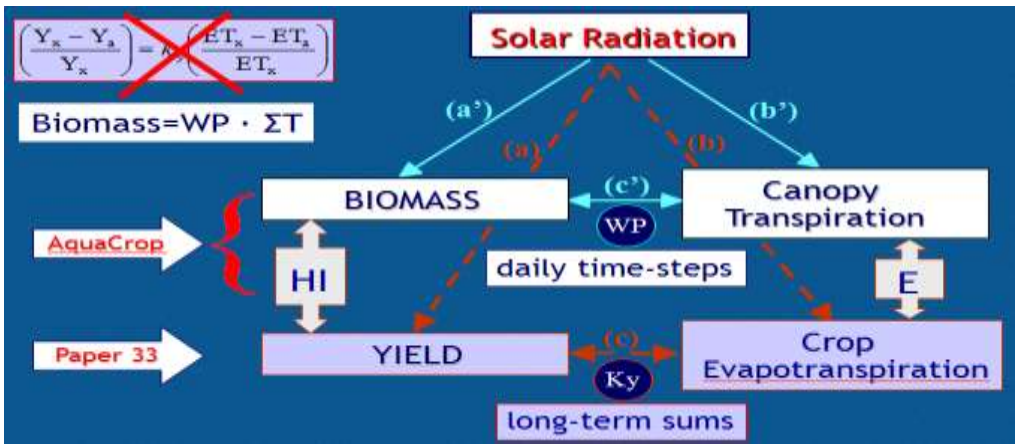
هزینه تولید محصولات کشاورزی شامل هزینه‌های مراحل آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت می‌باشد. همچنین هزینه سالیانه آب آبیاری برای شبکه آبیاری و زهکشی شاوور نیز از جلد دوازدهم مطالعات مرحله اول شبکه آبیاری و زهکشی شاوورکه از سازمان آب و برق خوزستان دریافت شده است، استخراج شد. آمار مذکور درجدول نشان داده شده است.

جدول ۲- قیمت فروش و هزینه تولید محصولات برای سال ۹۴ (معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی)

نام محصول	هزینه (ریال/هکتار)					آب بها در شبکه شاوور (ریال/مترمکعب)	قیمت (ریال/کیلوگرم)
	آماده سازی زمین	کاشت	داشت	برداشت	جمع		
گندم	۲۲۹۱۴۷	۷۲۳۲۸۶	۳۷۵۲۷۷	۲۰۱۲۲۵	۱۵۲۸۹۳۵	۸۸۶	۱۱۵۵۰
جو	۲۲۶۷۲۴	۳۶۷۳۸۹	۱۴۲۲۵۲	۱۶۷۱۶۸	۹۰۳۵۳۳	۸۸۶	۹۲۰۰
ذرت دانه‌ای	۳۵۰۲۸۴	۷۰۴۰۱۴	۵۳۰۸۹۴	۲۴۹۰۷۱	۱۸۳۴۲۶۳	۸۸۶	۹۶۰۰
سیب زمینی	۴۹۵۷۶۷	۳۵۵۸۰۷۵	۶۳۷۶۸۹	۱۹۴۸۰۵۵	۶۶۳۹۵۸۶	۸۸۶	۳۶۰۰

معرفی و ساختار نرم‌افزار شبیه‌سازی آب-محصول AquaCrop (از FAO33 تا FAO66)

نرم‌افزار AquaCrop برنامه‌ای پیشرفته بوده که تا کنون نسخه‌های تکامل یافته متعددی از این برنامه توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) انتشار یافته است. در این پژوهش از نسخه ۶,۱ استفاده شده است. اساس کار AquaCrop مسیر دیگری به جز رویکرد معادله دورنباس و کاسام دارد. علاوه‌براین، گام زمانی رویکرد پیشین «دوره رشد» بود، در حالیکه گام زمانی رویکرد جدید روزانه است. همچنین، رویکرد جدید با تفکیک نمودن تبخیرتعرق واقعی(ET) به تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق (Tr) و محاسبه عملکرد نهایی (Y) بر اساس تولید ماده خشک گیاه (زیست توده نهایی) (B) و شاخص برداشت (HI) ، توسعه یافته است و در آن اثری از Ky نیست. بسط AquaCrop از معادله دورنباس و کاسام به صورت شماتیک در شکل ارائه شده است.



شکل ۴- تمایز AquaCrop از معادله دورنباس و کاسم (بر اساس نشریه FAO 66)

مولفه‌های نرم‌افزار و داده‌های مورد استفاده

داده‌های اقلیمی

داده های اقلیم در مؤلفه Climate نرم افزار AquaCrop مورد بحث قرار می‌گیرد و شامل متغیرهای کلیدی هواشناسی شامل دمای حداکثر و حداقل روزانه، بارش روزانه، تبخیر و تعرق مرجع و میانگین سالانه غلظت CO2 اتمسفر است. در این تحقیق از مقادیر تبخیرتعرق پتانسیل، بارش و دمای محاسبه شده توسط شرکت مهندسین مشاور هیدروتک توس برای منطقه مورد نظر استفاده شده است(جدول ۳). برایCO_2 ، مقدار ۳۶۹,۴ ppm به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- مقادیر تبخیرتعرق پتانسیل، بارش، دمای حداقل و حداکثر ماهانه در شبکه آبیاری و زهکشی شاوور

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط تبخیرتعرق پتانسیل(میلی‌متر)	۴/۸۹	۲/۸۵	۱/۶۰	۱/۶۶	۲/۲۳	۳/۳۳	۴/۶۵	۶/۶۰	۷/۹۲	۸/۳۶	۴/۸۷	۶/۶۰
بارش (میلی‌متر)	۴/۰	۵/۴	۶/۹	۵/۹	۶	۲	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰	۰	۰/۳
دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	۲/۲۱	۱/۱۹	۹/۱۳	۱/۹	۹/۶	۵/۸	۷/۱۱	۹/۱۵	۴/۲۱	۹/۲۴	۲/۲۷	۷/۲۶
دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	۴/۳۸	۳۴	۴/۲۴	۸/۱۷	۵/۱۷	۴/۲۰	۵/۲۴	۹/۲۹	۳/۳۷	۸/۴۱	۷/۴۳	۳/۴۳

گیاه

در این پژوهش چهار گیاه گندم، جو، ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی برای قرارگیری در تناوب مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به این گیاهان در منطقه، از مطالعات به‌هنگام‌سازی نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور که توسط موسسه تحقیقات آب و خاک کشور و موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی برای استان خوزستان انجام شده است و برای گیاهان موجود در شهرستان شوش به علت نزدیکی این شهرستان به شبکه آبیاری و زهکشی شاوور، استخراج گردید. این اطلاعات برای چهار گیاه مذکور در جدول۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- اطلاعات گیاهی مورد استفاده

گیاه	تاریخ کشت	تاریخ برداشت	طول دوره مراحل مختلف رشد (روز)			
			اولیه	توسعه	میانی	انتهایی
گندم	دهه سوم آبان	دهه دوم اردیبشهت	۱۲	۸۸	۴۰	۲۵
ذرت دانه ای	دهه سوم تیر	دهه دوم آذر	۳۰	۴۰	۵۰	۲۰
جو	دهه سوم آبان	دهه دوم اردیبشهت	۱۰	۸۰	۴۰	۲۵
سیب زمینی کشت دوم	دهه سوم مهر	دهه دوم فروردین	۲۰	۳۰	۷۰	۵۰

خاک

مؤلفه خاک AquaCrop به صورت یک سیستم پراکنده در نظر گرفته می‌شود که تا ۵ لایه با بافت‌های مختلف می‌تواند داشته باشد. خاک منطقه مورد مطالعه طبق مطالعات به‌هنگام‌سازی نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور و مطالعات اولیه شبکه آبیاری و زهکشی شاوور، نسبتا سنگین تا سنگین و بافت آن رس لوم و رس می‌باشد. در این پژوهش بافت خاک رس لوم در نظر گرفته شده است.

مدیریت آبیاری

در این پژوهش به دلیل اینکه عملکرد پتانسیل محصولات و آب متناظر آن مورد نظر است، برای هر گیاه، پس از رسیدن به «حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی خاک» آبیاری خودکار منظور شده‌است. حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک برای هر گیاه نیز بر اساس نشریه فائو ۳۳ و بر حسب متوسط تبخیرتعرق پتانسیل در نظر گرفته شده‌است(جدول۵).

جدول ۵- تخلیه مجاز رطوبتی خاک برای گیاهان مختلف

گیاه	FAO33	وضعیت در منطقه مورد مطالعه			FAO33		منتخب
	گروه	تبخیرتعرق مرجع در دوره رشد(میلی‌متر بر روز)			محدوده متوسط تبخیر تعرق مرجع(میلی‌متر بر روز)	محدوده MAD	MAD(%)
		حداقل	متوسط	حداکثر			

گندم	نیمه مقاوم	۱/۶	۳/۱	۶/۸	۳-۵	۵۰-۷۰	۵۰
ذرت دانه ای	مقاوم	۴/۱	۸/۳	۱۲/۷۷	۸-۱۰	۴۰-۴۵	۴۰
جو	نیمه مقاوم	۱/۶	۳/۱	۶/۸	۳-۵	۵۰-۷۰	۵۰
سیب زمینی کشت دوم	حساس	۱/۵	۲/۶	¾	۲-۴	۳۵-۵۰	۳۵

شبیه‌سازی عملکرد محصول-آب

در این پژوهش ابتدا با استفاده از اطلاعات ذکر شده در قسمت‌های قبل، عملکرد پتانسیل و آب مورد نیاز آبیاری برای هر محصول از طریق شبیه‌سازی عملکرد محصولات در شرایطی که بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی خاک آبیاری شوند، بدست آمد. پس از آن، مقدار عملکرد برای محاسبه سود حاصل از هر تناوب مطابق با معادله (رابطه۲) و تعیین تناوب برتر مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج بررسی پرسشنامه تناوب زراعی

در این بخش نتایج حاصل از پرسشنامه تدوین شده به منظور بررسی اثر سه عامل کنترل آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و حفظ حاصلخیزی خاک در تناوب زراعی ارائه می‌گردد. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها و مصاحبه با کشاورزان، تعداد چهار تناوب متفاوت با گیاهان مورد بررسی (گندم، جو، ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی) از سوی کشاورزان پیشنهاد شد. علاوه بر آن چهار تناوب، سه تناوب دیگر که مدت زمان آیش در آن‌ها فقط به فاصله بین برداشت گیاه اول و کشت گیاه دوم تقلیل داده‌شده‌است (به جای یک سال آیش)، نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول۶). نمونه‌ای از پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کشاورزان نیز در شکل نشان داده شده است.

همچنین از مجموع پرسشنامه‌های جمع‌آوری شده، با استفاده از روشی که توضیح داده شد، تعداد چهار ماتریس متفاوت به عنوان ماتریس‌های ضرایب تاثیر تناوب بدست آمد که در جدول (۷) تا **Error! Reference source not found.** (۱۰) (با عناوین الف تا د تفکیک شده‌اند) نشان داده شده است. ضرایب حاصل از هر پرسشنامه، با استفاده از میانگین اعداد خودش، نرمال‌سازی شده است. از این ماتریس‌ها برای تعیین امتیاز هر تناوب استفاده شده است. با توجه به جداول ۷ تا ۱۰، وجود آیش قبل از کشت هر گیاهی، ضریب تاثیر عملکردی بین ۱,۴ تا ۲,۱۱ برابر را داشته و همچنین کشت دو گیاه غیر هم خانواده نیز ضریب تاثیر عملکرد بین ۰,۴۸ تا ۱,۷۶ برابری را دارد. به صورت کلی تمامی ماتریس‌های ضرایب بدست آمده از پرسشنامه‌ها حاکی از اثر مثبت و خوب آیش برای محصول بعدی بوده و همچنین نشان‌دهنده اثرات مثبت رعایت کشت متوالی دو گیاه غیر هم خانواده می‌باشند. از دیگر نتایجی که ماتریس ضرایب آن را تایید می‌کند، تاثیر بسیار منفی کشت یک گیاه به صورت متوالی است که باعث کاهش عملکرد محصول کشت دوم خواهد شد. با توجه به جداول ۷ تا ۱۰، کشت گیاه به صورت متوالی دارای ضریب تاثیر بین ۰,۰۵ تا ۰,۲۴ می باشد که نشان‌دهنده افت عملکرد می‌باشد.

جدول ۶- تناوب‌های مورد بررسی

شماره	تناوب
1	گندم(۶ماه)- آیش(۵ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- آیش(۱۵ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)- آیش(۱۱ماه)- جو(۶ماه)- آیش(۶ماه)
1(1)	گندم(۶ماه)- آیش(۵ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- آیش(۱۵ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)- جو(۶ماه)- آیش(۶ماه)
2	گندم(۶ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)- آیش(۱۰ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- آیش-(۷ماه) جو(۶ماه)- آیش(۶ماه)
3	گندم(۶ماه)- آیش(۵ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)- آیش(۱۱ماه)- جو(۶ماه)- آیش(۶ماه)
3(1)	گندم(۶ماه)- آیش(۵ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)- جو(۶ماه)- آیش(۶ماه)
4	گندم(۶ماه)- آیش(۵ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- آیش(۷ماه)- جو(۶ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)- آیش(۱۱ماه)
4(1)	گندم(۶ماه)- آیش(۵ماه)- سیب‌زمینی(۶ماه)- آیش(۷ماه)- جو(۶ماه)- ذرت دانه‌ای(۵ماه)

جدول ۱) تاثیر تناوب زراعی بر گیاه از نظر مبارزه با آفات و بیماری‌ها (توصیفی)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	بد	متوسط	متوسط	خوب	عالی
ذرت دانه‌ای	متوسط	بد	متوسط	خوب	عالی
جو	متوسط	متوسط	بد	خوب	عالی
سیب‌زمینی	خوب	خوب	خوب	بد	عالی
آیش	عالی	عالی	عالی	عالی	عالی

جدول ۲) تاثیر تناوب زراعی بر گیاه از نظر مبارزه با مبارزه با علف های هرز(توصیفی)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	بد	بد	بد	ضعیف	عالی
ذرت دانه‌ای	بد	بد	بد	ضعیف	عالی
جو	بد	بد	بد	ضعیف	عالی
سیب‌زمینی	متوسط	ضعیف	متوسط	بد	عالی
آیش	عالی	عالی	عالی	عالی	عالی

جدول ۳) تاثیر تناوب زراعی بر گیاه از نظر مبارزه با مبارزه با حاصلخیزی خاک(توصیفی)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	بد	ضعیف	بد	خوب	عالی
ذرت دانه‌ای	بد	بد	بد	خوب	عالی
جو	بد	بد	بد	خوب	عالی
سیب‌زمینی	متوسط	ضعیف	متوسط	بد	عالی
آیش	عالی	عالی	عالی	عالی	عالی

جدول ۴) سهم امتیاز عوامل موثر بر تناوب زراعی

مبارزه با آفات و بیماری‌ها	مبارزه با علف‌های هرز	حفظ حاصلخیزی خاک	جمع
۲	۳	۵	۱۰

جدول ۵) ضریب توصیفی

عالی	خوب	متوسط	ضعیف	بد
۱.۴	۱.۲	۱	۰.۸	۰.۶۰

شکل ۵- نمونه پرسشنامه تکمیل شده توسط کشاورز

جدول ۷- ماتریس ضرایب استاندارد شده تاثیر تناوب برای کشاورز (الف)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	۰/۲۴	۰/۵۵	۰/۸۵	۱/۲۷	۱/۱۵
ذرت دانه‌ای	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۳۶	۱/۰۹	۱/۴۵
جو	۰/۵۵	۰/۷۳	۰/۱۲	۱/۴۵	۱/۱۵
سیب‌زمینی	۱/۷۶	۱/۳۳	۱/۷۶	۰/۲۴	۱/۳۳
آیش	۱/۷۶	۱/۷۶	۱/۷۶	۱/۷۶	۰/۳۶

جدول ۸- ماتریس ضرایب استاندارد شده تاثیر تناوب برای کشاورز (ب)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۰۵	۱/۰۲	۲/۱۱
ذرت دانه‌ای	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷۷	۲/۱۱
جو	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷۷	۲/۱۱
سیب‌زمینی	۰/۹۶	۰/۴۸	۰/۹۶	۰/۰۵	۲/۱۱
آیش	۲/۱۱	۲/۱۱	۲/۱۱	۲/۱۱	۲/۱۱

جدول ۹- ماتریس ضرایب استاندارد شده تاثیر تناوب برای کشاورز (ج)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۱/۵	۱/۸
ذرت دانه‌ای	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۱/۶	۱/۸
جو	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۱/۵	۱/۸
سیب‌زمینی	۱/۵	۱/۶	۱/۵	۰/۱	۱/۸
آیش	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸

جدول ۱۰- ماتریس ضرایب استاندارد شده تاثیر تناوب برای کشاورز (د)

کشت اول / کشت دوم	گندم	ذرت دانه‌ای	جو	سیب‌زمینی	آیش
گندم	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۱/۱	۱/۴
ذرت دانه‌ای	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۱/۱	۱/۴
جو	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۱/۱	۱/۴
سیب‌زمینی	۱/۰	۰/۹	۱/۰	۰/۶	۱/۴
آیش	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴

نتایج شبیه‌سازی عملکرد محصول-آب

نتایج شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل محصولات در آبیاری بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی خاک

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد محصولات در شرایطی که بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی خاک آبیاری شوند، ارائه شده است. در این حالت در شبیه‌سازی، گیاه تحت هیچ نوع تنشی نبوده و نتایج این شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد پتانسیل هر محصول می‌باشد. همچنین در این حالت مقدار نیاز خالص آبیاری هر محصول نیز از جمله خروجی‌های شبیه‌سازی می‌باشد(جدول ۱۱). مقدار عملکرد چهار محصول گندم، جو، درت دانه‌ای و سیب‌زمینی در منطقه مورد مطالعه که از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان دریافت شده‌است، در جدول ۱۲ نشان داده است.

جدول ۱۱- نتایج شبیه‌سازی گیاه در شرایط آبیاری بر اساس تخلیه مجاز رطوبت خاک

گیاه	گندم	ذرت دانه ای	جو	سیب زمینی
MAD(%)	٪۵۰	٪۴۰	٪۵۰	٪۳۵
عملکرد(تن بر هکتار)	۷/۹	۱۵/۵	۷/۸	۲۰
حجم آب آبیاری(مترمکعب/هکتار)	۴۹۶۲	۸۵۶۱	۴۹۰۵	۴۳۶۸
بهره وری (کیلوگرم بر متر مکعب آب)	۱/۷۹	۱/۹۲	۱/۸۵	۴/۹۲

جدول ۱۲- مقدار عملکرد محصولات در استان خوزستان(محدوده شبکه آبیاری و زهکشی شاوور)(دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان)

گیاه	گندم	ذرت دانه ای	جو	سیب زمینی
عملکرد(تن بر هکتار)	۴/۸	۷	۳/۶	۱۸/۵

با توجه به جداول ۱۱ و ۱۲، مشاهده می‌شود که مقدار تولید هر چهار محصول مذکور در منطقه مورد مطالعه، کمتر از مقدار پتانسیل تولید آن‌ها می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل محصولات در تناوب‌های مختلف و تعیین امتیاز تناوب‌ها

پس از استخراج تناوب‌های پیشنهاد شده، عملکرد گیاهان در هر تناوب با استفاده از نرم‌افزار Aquacrop شبیه‌سازی شده است. سپس میزان سودآوری هر تناوب بر اساس قیمت فروش و هزینه تولید هر محصول و هزینه آب در منطقه، محاسبه گردید. پس از آن، با استفاده از ضرایب تاثیر تناوب استخراج شده از نظر کشاورزان، امتیاز هر تناوب بر اساس نظر هر کشاورز طبق رابطه (۲) محاسبه و متوسط امتیاز هر تناوب به عنوان معیار انتخاب تناوب برتر قرار گرفت. نتایج حاصل از عملکرد شبیه‌سازی شده برای محصولات در هر تناوب در

جدول (۱۳) نشان داده شده است. همانطور که این نتایج نشان می‌دهد، میزان عملکرد هر محصول متاثر از کشت ماقبل خود می‌باشد. به صورت کلی در تناوب‌های مختلف میزان عملکرد گندم تا ۹,۶٪، ذرت دانه‌ای تا ۳,۳٪ و جو تا ۱۱,۴٪ افزایش داشته که بر سود حاصل از واحد زراعی افزوده می‌شود. همچنین نتایج حاصل از امتیاز محاسبه شده برای تناوب‌ها در **Error! Reference source not found.** (۱۳) آمده است. چنانچه در **Error! Reference source not found.** (۱۴) مشاهده می‌شود، تناوب شماره ۱ (گندم- آیش- سیب‌زمینی- آیش- ذرت دانه‌ای- آیش- جو- آیش) دارای بیشترین امتیاز شده است. می‌توان نتیجه گرفت که اثر مفید آیش بر سودآوری کلی از واحد کشاورزی(فارغ از مدت زمان تناوب)، بارزتر از کشت گیاهان به صورت متوالی خواهد بود. نتایج به دست آمده تاثیر مثبت کشت گیاه در زمین آیش در عملکرد محصول را اثبات کرده و تاثیر سه عامل آفات وبیماری‌ها، علف‌های هرز و حفظ حاصلخیزی خاک را نیز نشان می‌دهد. با این حال، در این بررسی فقط به تناوب‌های مختلف بر اساس ضرایب مستخرج از نظر کشاورزان امتیاز داده شده است و از نظر ریالی مورد بررسی قرار نگرفته است.

همچنین برای تناوب‌های مذکور، مقدار آب مصرفی (بدست آمده از شبیه‌سازی محصول در نرم‌افزار Aquacrop و بر اساس متر مکعب)، طول مدت (حاصل از مجموع طول دوره کشت و طول آیش‌های تناوب بر اساس ماه) و سود اقتصادی برای هر تناوب (محاسبه شده از رابطه (۲) و بر اساس میلیون تومان) مورد بررسی قرار گرفت، این نتایج در جدول ۱۵ نمایش داده شده است. در این جدول مقادیر سود حاصل از هر تناوب به ترتیب از بیشترین به کمترین با رنگ‌های سبز، نارنجی، زرد و قرمز نشان داده‌شده‌است.

چنانچه در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود، تناوب شماره ۴ دارای بیشترین و تناوب‌های شماره ۱، ۲ و ۳ دارای کمترین سود اقتصادی هستند. همچنین با توجه به این جدول می‌توان بر اساس آب موجود نیز تناوب مناسب را انتخاب کرد. اگر محدودیت موجودی آب وجود داشته باشد، می‌توان تناوب‌های ۳(۱) و ۴(۱) که دارای سود اقتصادی کمتر و مدت زمان کوتاه‌تر هستند را انتخاب و در صورتی که تنها سود اقتصادی مد نظر باشد، می‌توان تناوب شماره ۴ را انتخاب کرد.

جدول ۱۳- عملکرد محصولات در شرایط آبیاری کامل و در تناوب‌های مختلف(تن بر هکتار)

شماره تناوب	گندم	سیب زمینی	ذرت دانه ای	جو
۱	۷/۲۳	۱۷/۶۳	۱۴/۸۲	۷/۰۰
۱(۱)	۷/۲۳	۱۷/۶۳	۱۴/۳۴	۷/۷۸
۲	۷/۲۳	۱۷/۶۳	۱۴/۸۲	۷/۰۰
۳	۷/۲۳	۱۷/۶۳	۱۴/۸۲	۷/۰۰
۳(۱)	۷/۲۳	۱۷/۶۳	۱۴/۳۴	۷/۷۸
۴	۷/۲۳	۱۷/۶۳	۱۴/۸۲	۷/۰۰
۴(۱)	۷/۹۳	۱۷/۶۳	۱۴/۳۴	۷/۰۰

جدول ۱۴- امتیاز تناوب‌های مختلف

شماره تناوب	بر اساس ضرایب استاندارد				میانگین امتیاز هر تناوب	تناوب برتر
	الف	ب	ج	د		
۱	۷/۰۹	۸/۵۰	۷/۲۶	۵/۶۴	۷/۱۲	۱
۱(۱)	۶/۸۵	۷/۸۵	۶/۸۴	۵/۸۴	۶/۸۴	۲
۳	۷/۲۹	۶/۶۲	۷/۹۱	۵/۵۰	۶/۸۳	۳
۳(۱)	۷/۰۷	۵/۶۷	۷/۵۶	۵/۷۴	۶/۵۱	۴
۲	۵/۸۱	۶/۳۶	۵/۲۵	۵/۳۱	۵/۶۸	۵
۴	۶/۲۳	۵/۸۱	۵/۲۸	۵/۲۰	۵/۶۳	۶
۴(۱)	۵/۱۹	۴/۱۲	۴/۰۷	۵/۱۱	۴/۶۲	۷

جدول ۱۵- مقدار سود، مدت و مقدار آب مصرفی هر تناوب

آب مصرفی(متر مکعب)	سود هر تناوب(میلیون تومان)	طول تناوب (ماه) ۳۷	۴۸	۴۹	۶۰
	۲۲۹۱۰				۳۲۲,۴۴۸,۷۷۳ تناوب ۱
	۲۲۴۸۵		۳۲۲,۴۴۸,۷۷۳ تناوب ۲		
	۲۲۳۱۰			۳۲۴,۹۹۷,۱۷۳ تناوب (۱)۱	
	۲۲۱۸۵		۳۳۶,۴۸۹,۶۷۳ تناوب۴		
	۲۲۰۶۰		۳۲۲,۴۴۸,۷۷۳ تناوب ۳		
	۲۱۸۸۵	۳۲۵,۸۷۳,۸۷۳ تناوب(۱)۴			
	۲۱۴۶۰	۳۲۴,۹۹۷,۱۷۳ تناوب (۱)۳			

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، مقدمه‌ای برای چگونگی وارد کردن اثر تناوب کشت به معادلات بهینه‌سازی کشاورزی است. برای آنکه تناوب زراعی بتواند به عنوان یک عامل در معادله بهینه‌سازی بکار گرفته شود، روشی ابتکاری توسعه یافته است. جهت بررسی اثر سه عامل کنترل آفات وبیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و حفظ حاصلخیزی خاک در تناوب زراعی بر عملکرد محصولات، پرسشنامه‌ای تدوین و از طریق مصاحبه با کشاورزان خبره تکمیل گشت. همچنین از کشاورزان خواسته شد تناوب پیشنهادی خود را بیان کنند. از مدل شبیه‌سازی محصول-آب AquaCrop به منظور شبیه‌سازی عملکرد چهار محصول گندم، جو، ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی در حالت آبیاری کامل و بدون تنش، استفاده شد.

ضرایب تاثیر تناوب زراعی از پرسشنامه‌ها استخراج و امتیاز هر تناوب با استفاده از معادله ارزشیابی ارائه شده محاسبه شد. با بررسی امتیاز حاصل از تناوب‌ها در حالت آبیاری کامل، تناوب برتر نیز مشخص گردید.

در بررسی اثر تناوب زراعی بر عملکرد محصولات، نتایج نشان می‌دهد، میزان عملکرد هر محصول متاثر از کشت ماقبل خود می‌باشد. به طوری که در تناوب‌های مختلف میزان عملکرد گندم تا ۹,۶٪، ذرت دانه‌ای تا ۳,۳٪ و جو تا ۱۱,۴٪ افزایش داشته که این افزایش سبب بیشتر شدن سود حاصل از واحد زراعی می‌شود.

در بررسی تناوب برتر با سایر تناوب‌ها، نتایج نشان داد وجود آیش در تناوب و بکارگیری تناوب مناسب (فارغ از مدت زمان تناوب) با گیاهان انتخابی نیز سبب افزایش درآمد و سود از طریق افزایش عملکرد محصولات خواهد شد.

با توجه به نتایجی که مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت، می‌توان نتیجه کلی این تحقیق را اینگونه بیان کرد که با استفاده از معادله مطرح شده در این پژوهش، می‌توان اثر تناوب زراعی را در معادلات بهینه‌سازی (با هدف حداکثرسازی سود حاصل از واحد کشاورزی)، وارد کرد. همچنین می‌توان به کمک معادله مطرح شده در این پژوهش، پایه‌های مدل بهینه‌سازی‌ای را تهیه کرد که قابلیت کاربرد در سطوح مدیریت کلان کشاورزی نظیر شبکه‌های آبیاری و زهکشی و یا مدیریت کشاورزی استانی را داشته باشد تا بتوان علاوه بر تناوب، سطوح زیر کشت بهینه و سطوح بهینه آبیاری را تعیین کرد، به صورتیکه حداکثر سود از واحد زراعی بدست آید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Adabi, V., Azizian, A., Ramezani Etedali, H., Kaviani, A., Ababaei, B. (2020). Local sensitivity Analysis of AquaCrop Model for Wheat and Maize in Qazvin Plain and Moghan Pars-Abad in Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 13, 1565-1579. (In Persian)

Alemayehu, M., Shibabaw, A., Adgo, E., Asch, F., Freyer, B. (2020). Crop rotation and organic matter application restore soil health and productivity of degraded highland crop farms in

northwest Ethiopia. Journal of Cogent Food & Agriculture. 6, 1-18.

Ansari, H., Salarian, M., Takarli, A., Bayram, M. (2014). Determining Optimum Irrigation Depth for Wheat and Tomato Crops Using Aquacrop Model (A case study in Mashhad), Iranian Journal of lrrigation and Drainage, 8, 86-95. (In Persian)

Babazadeh, H., Sarabi Tabrizi, M. (2012). Assessment of AquaCrop Model under Soybean Deficit Irrigation Management Conditions. Journal of Water and Soil. 2, 329-339. (In Persian)

Esmaeilian, Y., Ramroudi, M. (2018). Evaluation of AquaCrop Model in Simulating Yield and Water Use Efficiency of Three Corn Hybrids under Hot-Dry Climatic Conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 3, 355-376. (In Persian)

Fan, R., Zhang, X., Liang, A., Shi, X., Chen, X., Bao, K., Yang, X., Jia, S. (2012). Tillage and rotation effects on crop yield and profitability on Black soil in northeast China. Canadian Journal of Soil Science.92, 463-470.

García-Vilaa, M., Fereres, E. (2019). Modeling Sugar Beet Responses to Irrigation with AquaCrop for Optimizing Water Allocation. Journal of water. 11, 1-15.

García-Vilaa, M., Fereres, E. (2012). Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. European Journal of Agronomy.36, 21– 31.

Gholami, M. (2003). Determining optimal crop rotation using linear programming (case study: a110-hectar farm in Bojnourd). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 1, 17-26. (in Persian)

Greaves, G., Wang, Y. (2016). Assessment of FAO AquaCrop Model for Simulating Maize Growth and Productivity under Deficit Irrigation in a Tropical Environment. Water. 8, 1-18.

Khorshidi Benam, M. Bybordi, A. Mohammadipur, M. (2016). Rotation of Onion and Potato and it's Effect on Yield and Soil Organic Matter, Journal of Agricultural science And Sustainable Production, 26, 86-105. (In Persian)

Linker, R., Ioslovich, I., Sylaios, G., Plauborg, F., Battilani, A. (2016). Optimal model-based deficit irrigation scheduling using AquaCrop:A simulation study with cotton, potato and tomato. Agricultural Water Management. 163, 236–243.

Najafinezhad, H., Javaheri, M., Ravari, S., Shahraki, F. (2009). Effect of crop rotation and wheat residue management on grain yield of maize cv.KSC704 and some soil properties. Seed and Plant Production Journal. 3, 245-258. (in Persian)

Ramezani, M., Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M. (2019). Simulating Barley Yield under Different Irrigation Levels by using AquaCrop Model. Irrigation Sciences and Engineering. 4, 161-172. (In Persian)

Sieling, K., Christen, O. (2015). Crop rotation effects on yield of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on the subsequent wheat. Archive of agronomy and soil science Journal. 61, 1531-1549.

Tsakmakis, I.D., Kokkos, N.P., Gikas, G.D., Pisinaras, V., Hatzigiannakis, E., Arampatzis, G., Sylaios, G.K. (2019). Evaluation of AquaCrop model simulations of cotton growth under deficit irrigation with an emphasis on root growth and water extraction patterns .European Journal of Agricultural Water Management. 213, 419– 432.