

(OPEN ACCESS)

Adaptation of irrigated agriculture in Golestan province to water scarcity through optimizing cropping pattern

Afshin Soltani^{*1}, Abdolrahman Mirzaei², Safora Jafarnode³,
Ebrahim Zeinali⁴, Shahrzad Mirkarimi⁵

1. Corresponding Author, Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: afshin.soltani@gmail.com
2. Ph.D. Student of Agroecology, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: abdolrahmanmirzaei@gmail.com
3. Ph.D. Graduate in Crop Ecology, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: saforajafarnode@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: zeinalistudents@gmail.com
5. Visiting Professor, Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shahrzadmirkarimi@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: More than half of the water withdrawal for agriculture in Iran is over-harvesting, which has caused huge damages to the country's land, environment, water, food, and socio-economic security. Therefore, there is an urgent need to implement water saving methods and to adapt to water scarcity. One of these methods is changing the cropping pattern, and it is necessary to examine its importance on a regional scale, such as a province. The purpose of this study was to estimate the (pure) applied irrigation water under farmers' conditions in Golestan province and using the estimates to optimize the cropping pattern with the aim of minimizing water consumption/harvesting for agriculture. The current cropping pattern was optimized so that farmers' profit remains the same and agricultural sustainability criteria were taken into account.
Article history: Received: 07.03.2024 Revised: 07.30.2024 Accepted: 10.07.2024	
Keywords: Adaptation to water scarcity, Crop modeling, Cropping pattern, Optimization	Materials and Methods: The study area of the research was Golestan province, and more than 30 agricultural plants of this province were covered. SAWA system was used to estimate the amount of irrigation water used in farmers' conditions. For this purpose, the entire cultivated area of the province was divided into 10 agro-ecological zones and the growth, yield and irrigation water of agricultural plants were estimated under farmers' conditions in these zones with the help of a crop simulation model that was parameterized for the conditions of the farmers. Optimizing the cropping pattern was done with the aim of minimizing the amount of irrigation water applied under farmers' conditions in the entire province. In order to optimize the cropping pattern, it was assumed that increasing or decreasing the production of different crops will not cause any problem and it will be solved by domestic (inter-provincial) or foreign export or import. It was also constrained that the farmers profits in the optimized pattern would not change and the area under cultivation of perennial plants and legumes, which play an important role in agricultural sustainability, would not decrease. With the exception of wheat and rice, the minimum area under cultivation of each plant was 40% of its current area and the

maximum was 2.5 times the current area. For wheat, the minimum cultivated area was limited to 70% of its current area and the maximum was 2.5 times the current area, and for rice, the minimum cultivated area was limited to 20% of the current area and the maximum was limited to its current area.

Results: In the current cropping pattern, wheat (40%), rice (23%), cool-season oil crops (11%), warm-season oil crops (9%), cool-season fruit trees (5%) and barley (3%) and vegetables (3%) have the most important shares of the cultivated area in the province. The most important changes in the cultivated area due to the optimization of the cropping pattern were an increase in wheat (23% increase compared to its current area), cool-season fruit trees (96%) and vegetables (138%) and a decrease in rice (77%), cool-season oil crops (60%), warm-season oil crops (22%), barley (60%) and grain maize (60%). In the current cropping pattern, the largest share of irrigation water in the province belonged to rice (64%), wheat (12%), warm-season oil crops (7%), cool-season fruit trees (5%) and vegetables (3%). Optimizing the cropping pattern caused the amount of irrigation water used in the province to decrease by 41% and reach from 1338 to 785 million m³ per year. The most important changes in the applied irrigation water were an increase in wheat (23% increase compared to its the current value), cool-season fruit trees (105%) and vegetables (143%) and a decrease in rice (77%), cool-season oil crops (60%), warm-season oil crops (19%) and grain maize (60%).

Conclusion: Optimizing cropping pattern alone could save almost two times the reduction in water use in agriculture section of the province intended by the Ministry of Energy. Considering that changing the cropping pattern is not a costly option and can be done with a series of policies and pricing, it is expected to be addressed more than before.

Cite this article: Soltani, Afshin, Mirzaei, Abdolrahman, Jafarnode, Safora, Zeinali, Ebrahim, Mirkarimi, Shahrzad. 2025. Adaptation of irrigated agriculture in Golestan province to water scarcity through optimizing cropping pattern. *Journal of Water and Soil Conservation*, 32 (1), 1-29.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22595.3741

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

سازگاری کشاورزی آبی استان گلستان به کم‌آبی از طریق الگوی کشت

افشین سoltانی^{۱*}، عبدالرحمان میرزائی^۲، صفورا جافرنوده^۳، ابراهیم زینلی^۴، شهرزاد میرکریمی^۵

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: afshin.soltani@gmail.com
۲. دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: abdolrahmanmirzaei@gmail.com
۳. دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: saforajafarnode@yahoo.com
۴. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: zeinalistudents@gmail.com
۵. استاد مدعو گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: shahrzadmirkarimi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: بیش از نیمی از برداشت آب برای کشاورزی در کشور اضافه برداشت است که آسیب‌های جبران‌ناپذیری بر زمین، محیط‌زیست، منابع آب، پایداری کشاورزی و امنیت اجتماعی-اقتصادی کشور داشته و خواهد داشت. ازاین‌رو نیاز مبرمی به اجرای روش‌های صرفه‌جویی آب و سازگاری با کم‌آبی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، اصلاح الگوی کشت است و ضروری است اهمیت آن در مقیاس منطقه‌ای موردبررسی قرار گیرد. هدف از مطالعه حاضر، برآورد حجم آب آبیاری خالص در شرایط کشاورزان برای گیاهان متنوع در کل استان گلستان و سپس بهره‌گیری از آن برای بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداقل‌سازی برداشت آب بود. در الگوی بهینه عدم کاهش بازده ناخالص برنامه‌ای کشاورزان و معیارهای پایداری کشاورزی لحاظ گردید.
واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، بهینه‌سازی، سازگاری به کم‌آبی، مدل‌سازی	مواد و روش‌ها: محدوده مطالعاتی در این پژوهش، استان گلستان بود و بیش از ۳۰ گونه گیاه (شامل یک یا چند رقم) کشاورزی این استان تحت پوشش مطالعه قرار گرفتند. برای برآورد حجم آب آبیاری خالص در شرایط کشاورزان از سامانه استانی حسابداری و بیلان آب (SAWA) استفاده شد. به این منظور، کل سطح زیرکشت استان به ۱۰ پهنه آگرواکولوژیک تقسیم شده و رشد، عملکرد و حجم آب آبیاری خالص برای بیش از ۳۰ گیاه، در این پهنه‌ها با کمک مدلی شبیه‌سازی شده که برای شرایط کشاورزان واسنجی شده بود، برآورد شد. بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداقل‌سازی حجم آب کاربردی خالص کشاورزان در کل استان صورت گرفت. برای بهینه‌سازی الگوی کشت، فرض شد که اضافه یا کاهش تولید محصولات مختلف

مشکلی ایجاد نمی‌کند و با صادرات یا واردات داخلی (بین استانی) یا خارجی حل می‌شود. هم‌چنین فرض شد بازده ناخالص برنامه‌ای کشاورزان در الگوی بهینه‌شده تغییر نکند و سطح زیرکشت گیاهان دائمی و بقولات که نقش مهمی در پایداری کشاورزی دارند کاهش نیابد. به‌استثنای گندم و برنج، حداقل سطح زیرکشت گیاهان ۴۰ درصد فعلی و حداکثر آن ۲/۵ برابر فعلی لحاظ شد. برای گندم حداقل سطح زیرکشت ۷۰ درصد فعلی و حداکثر آن ۲/۵ برابر فعلی و برای برنج حداقل سطح زیرکشت ۲۰ درصد فعلی و حداکثر آن برابر با مقدار فعلی منظور شد.

یافته‌ها: در الگوی فعلی گندم (۴۰٪)، برنج (۲۳٪)، گیاهان روغنی سرمدوست (۱۱٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۹٪)، درختان سرمدوست (۵٪)، جو (۳٪) و سبزی-صیفی (۳٪) مهم‌ترین سهم‌ها از سطح زیرکشت فعلی استان را به خود اختصاص داده‌اند. مهم‌ترین تغییرات سطح زیرکشت در اثر بهینه‌سازی الگوی کشت عبارت بودند از افزایش سطح زیرکشت در گندم (۲۳٪ افزایش نسبت به فعلی)، درختان میوه سرمدوست (۹۶٪) و سبزی-صیفی (۱۳۸٪)؛ کاهش سطح زیرکشت در برنج (۷۷٪)، گیاهان روغنی سرمدوست (۶۰٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۲۲٪)، جو (۶۰٪) و ذرت دانه‌ای (۶۰٪). در الگوی کشت کنونی بیش‌ترین سهم از حجم آب آبیاری استان به‌ترتیب به برنج (۶۴٪)، گندم (۱۲٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۷٪)، درختان سرمدوست (۵٪) و سبزی-صیفی (۳٪) تعلق داشت. یافته کلیدی مطالعه حاضر این بود که بهینه‌سازی الگوی کشت در استان گلستان بدون این‌که درآمد کشاورزان کاهش یابد و با لحاظ معیارهای پایداری کشاورزی می‌تواند تا ۴۱ درصد حجم آب کاربردی در شرایط کشاورزان و در نتیجه برداشت آب در استان را کاهش دهد (از ۱۳۳۸ به ۷۸۵ میلیون مترمکعب در سال). مهم‌ترین تغییرات در حجم آب کاربردی خالص در کل استان عبارت بودند از افزایش در گندم (۲۳٪ افزایش نسبت به فعلی)، درختان سرمدوست (۱۰۵٪) و سبزی-صیفی (۱۴۳٪) و کاهش در برنج (۷۷٪)، گیاهان روغنی سرمدوست (۶۰٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۱۹٪) و ذرت دانه‌ای (۶۰٪).

نتیجه‌گیری: بهینه‌سازی الگوی کشت به‌تنهایی می‌تواند تقریباً دو برابر کاهش مدنظر وزارت نیرو در مصرف آب، صرفه‌جویی ایجاد کند. با توجه به این‌که تغییر الگوی کشت گزینه هزینه‌بری نیست و با یک سری سیاست‌گذاری و قیمت‌گذاری نیز قابل انجام است، انتظار می‌رود بیش‌ازپیش به آن پرداخته شود.

استناد: سلطانی، افشین، میرزائی، عبدالرحمان، جافرنوده، صفورا، زینلی، ابراهیم، میرکریمی، شهرزاد (۱۴۰۴). سازگاری کشاورزی آبی استان گلستان به کم‌آبی از طریق الگوی کشت. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲ (۱)، ۲۹-۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22595.3741



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سالانه ۸۶ میلیارد مترمکعب آب آبی از منابع سطحی و زیرسطحی ایران برای مصارف کشاورزی برداشت می‌شود (۱). این در حالی است که حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی توسط وزارت نیرو که مرجع رسمی آب کشور است، ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال اعلام شده است (۲). از سوی دیگر، برآوردها نشان می‌دهد که با توجه به حجم آب تجدیدپذیر و کسر مجاز برداشت از آن، برداشت پایدار برای کشاورزی ۳۸/۵ میلیارد مترمکعب در سال است و چنانچه جبران برداشت‌های اضافی سال‌های گذشته مدنظر باشد، حتی از این رقم هم کم‌تر است (۳). در بخش کشاورزی استان گلستان نیز مانند سایر استان‌های کشور، اضافه برداشت آب وجود دارد. میزان برداشت فعلی آب در بخش کشاورزی استان گلستان برابر با ۱۶۵۳ میلیارد مترمکعب در سال است (۴) این در حالی است که حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی اعلام‌شده توسط وزارت نیرو برای بخش کشاورزی استان برابر با ۱۲۵۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد (۵). اما، حجم آب قابل بهره‌برداری در حالت پایدار برابر با ۷۸۳ میلیون مترمکعب در سال است (۲).

از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد منابع آب آبی برداشت‌شده در کشور به کشاورزی اختصاص می‌یابد، اضافه برداشت آب برای کشاورزی عامل اصلی تخریب زیست‌محیطی کشور به‌شمار می‌آید شامل پایین افتادن سطح ایستابی (۶)، خشک شدن و کم‌آب شدن چاه‌ها و چشمه‌ها (۷)، ناپدید شدن تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها (۸) در سراسر کشور، طوری که تقریباً هیچ پیکره آبی در امان نبوده است (۷). هم‌چنین این برداشت اضافی آب عامل مهمی در فرونشست زمین (۹)، زوال پوشش گیاهی و خاک (۱۰ و ۱۱)، توفان‌های گردوغبار (۱۲)، نابودی

گسترده تنوع زیستی (۱۳ و ۱۴) در کشور به شمار می‌آید. پژوهش‌گران هشدار داده‌اند که ادامه برداشت ناپایدار آب در ایران می‌تواند اثرات بالقوه جبران‌ناپذیری بر زمین، محیط‌زیست، آب، غذا و امنیت اجتماعی-اقتصادی کشور داشته باشد (۱۵). در نتیجه اضافه برداشت آب محیط‌زیست و کشاورزی کشور را به سمت نابودی پیش می‌برد، در نتیجه اجرای روش‌های سازگاری با کم‌آبی ضروری است (۱۶). به دلیل سهم زیاد کشاورزی (بیش از ۹۰ درصد) در برداشت آب در کشور، هر گونه تلاش برای کاهش کمبود آب باید بر بهبود مدیریت آب در کشاورزی متمرکز شود (۱۷). گزینه‌های مختلفی برای سازگاری با کم‌آبی و کاهش برداشت آب در بخش کشاورزی پیشنهاد شده است که عبارتند از: بهبود راندمان آبیاری توأم با کاهش برداشت آب، کشت گلخانه‌ای، کاربرد سایبان در باغات، کشت هوازی برنج، انتقال تولیدات گیاهی به گلخانه، گسترش خاک‌ورزی حفاظتی (مانند کاربرد مالچ کلش در مزارع و باغات)، اصلاح الگوی کشت و غیره. ارزیابی دقیق این گزینه‌ها در مقیاس منطقه‌ای (مانند استان) برای تعیین کمیت اثربخشی آن‌ها در صرفه‌جویی در مصرف آب قبل از انجام هر گونه سرمایه‌گذاری برای جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه ضروری است.

در ارتباط با نقش الگوی کشت در کاهش مصرف آب در داخل و خارج کشور مطالعات متعددی انجام شده است که به نمونه‌هایی از آن‌ها در اینجا اشاره می‌شود. میرزایی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک اراضی شبکه آبیاری و زهکشی سدگلستان را بهینه‌سازی کردند و نشان دادند که در الگوی بهینه ۳۸ درصد از حجم آب موجود به‌صورت مازاد باقی می‌ماند (۱۸). شیرشاهی و همکاران (۲۰۲۱) به بهینه‌سازی الگوی کشت در شبکه آبیاری و

زهکشی دشت قزوین پرداختند و نشان دادند که در شرایط الگوی بهینه، میزان آب مصرفی ۲۰ درصد کاهش و سود خالص نیز ۶۴ درصد افزایش می‌یابد (۱۹). گودرزی و همکاران (۲۰۲۳) الگوی کشت دشت فراهان را برای شرایط نرمال، خشک‌سالی و ترسالی بهینه‌سازی کردند و نشان دادند که مقدار آب مصرفی در الگوی کشت بهینه در شرایط نرمال، خشک‌سالی و ترسالی به ترتیب ۲۳، ۲۹ و ۱۸ درصد نسبت به الگوی کشت کنونی کاهش می‌یابد (۲۰). اساما و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از یک مدل خطی ریاضی برای بهینه‌سازی الگوی کشت و حداکثرسازی بازده ناخالص سالانه در سه منطقه از کشور مصر نشان دادند که با کاهش سطح زیرکشت محصولات غیراستراتژیک مثل پیاز، سیر، جو، کتان نخود و عدس و ثابت ماندن سطح زیرکشت محصولات استراتژیک مثل گندم، ذرت، شبدر، برنج و محصولات قندی و با افزایش سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی علاوه بر افزایش سود اقتصادی، بهره‌وری از منابع آبی نیز بهبود می‌یابد (۲۱). سلیمانی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه به تعیین الگوی کشت بهینه شهرستان کازرون پرداختند و نشان دادند که در الگوی بهینه که دربرگیرنده اهداف زیست‌محیطی بود مصرف آب، کودهای شیمیایی و سموم آفت‌کش به ترتیب ۴، ۵ و ۸ درصد کاهش و بازده ناخالص ۱۰ درصد افزایش یافت (۲۲). هوانگ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه به بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه رود چین پرداختند و نشان دادند که الگوی کشت بهینه با افزایش سطح زیرکشت سبزی‌ها و کاهش سطح زیرکشت سویا و گندم باعث می‌شود تا ۲۰ درصد کمبود آب آبی در این حوضه جبران گردد (۲۳).

بررسی حاضر از سه جنبه متفاوت از بررسی‌های قبلی است:

(۱) در عموم مطالعات قبلی حجم آب کاربردی (آب آبیاری) برای شرایط پتانسیل (استاندارد) یعنی عدم کمبود عناصر غذایی و آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و ضرایب گیاهی تخمین زده شده است. اما، در شرایط کشاورزان، به دلیل عوامل ذکر شده و نیز به دلیل کم‌آبایی (آبیاری در حد کم‌تر از مطلوب به دلیل کمبود منابع آب)، حجم آب آبیاری به‌کاررفته متفاوت است. در مطالعه حاضر این حجم با کمک یک مدل شبیه‌سازی مستقیماً برای شرایط کشاورز محاسبه می‌گردد. اخیراً، سلطانی و همکاران (۲۰۲۲) سامانه استانی بیلان و حسابداری آب کشاورزی (SAWA) برای استان گلستان تهیه کرده‌اند (۲۴) که در آن با کمک یک مدل ساده گیاهی (SSM-iCrop2؛ ۲۵) بیلان آب و حجم آب کاربردی (آبیاری) برای شرایط کشاورزان محاسبه می‌گردد که برای مطالعات الگوی کشت نیز قابل استفاده است.

(۲) در اکثر مطالعات قبلی سطح مطالعه محدود بوده مثلاً در سطح شهرستان (۲۶)، حوزه آبخیز (۲۷)، دشت (۲۸)، بخش (۲۹)، شبکه آبیاری (۳۰، ۳۱ و ۳۲) و غیره یا تعداد گیاهان مورد پوشش محدود بوده‌اند برای مثال تعداد ۶ محصول (۲۷)، تعداد ۷ محصول (۳۱)، تعداد ۸ محصول (۳۳)، تعداد ۹ محصول (۱۸)، تعداد ۱۱ محصول (۳۴) و غیره. مطالعه حاضر برای کل استان و همه گیاهان مهم مورد کشت در آن استان صورت می‌گیرد.

(۳) در مطالعات قبلی بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی درآمد کشاورزان در شرایط محدودیت آب یا کاهش مقدار مشخصی منابع آب انجام شده است (برای نمونه به سلطانی و همکاران (۲۰۲۰) رجوع شود (۳)). اما،

هدف مطالعه حاضر حداقل‌سازی کاربرد آب (آب آبیاری خالص) و در نتیجه برداشت آب در شرایطی است که درآمد کشاورزان کاهش نیابد (به‌جای حداکثرسازی درآمد کشاورزان). در این‌صورت ظرفیت الگوی کشت برای صرفه‌جویی در مصرف و برداشت آب برای کشاورزی مشخص می‌گردد.

بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، برآورد آب کاربردی خالص برای شرایط کشاورزان برای گیاهان متنوع در کل استان گلستان و بهره‌گیری از آن برای بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداقل‌سازی کاربرد و در نتیجه برداشت آب بود. در الگوی بهینه عدم کاهش بازده ناخالص برنامه‌ای کشاورزان و معیارهای پایداری کشاورزی لحاظ گردید.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی: محدوده مطالعاتی در این پژوهش، استان گلستان واقع در شمال‌شرق کشور و در مجاورت دریای خزر بود. مساحت استان گلستان برابر با ۲۰۳۶۷ کیلومتر مربع می‌باشد و مساحت اراضی آبی که موردنظر این مطالعه است بر اساس آمار ارایه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان برابر با ۳۹۵ هزار هکتار می‌باشد. شایان ذکر است که مفهوم اراضی آبی به این معنی نیست که همه این اراضی به‌صورت کامل آبیاری می‌شوند، بلکه منظور اراضی است که زیرساخت‌های لازم برای آبیاری در آن‌ها وجود دارد و متناسب با شرایط اقلیمی و دسترسی کشاورز آبیاری انجام می‌گیرد. برای مثال، در اراضی آبی زیر کشت گندم در سال‌های پرباران شاید آبیاری

انجام نشود یا در سال‌های معمولی کم‌آبیاری صورت بگیرد. فهرست گیاهان مورد پوشش مطالعه حاضر در جدول ۱ ارایه شده است. گیاهانی که در این مطالعه در نظر گرفته شده‌اند، گیاهانی بودند که سطح زیر کشت آن‌ها در استان حداقل ۱۰۰۰ هکتار باشد. همچنین گیاه مهم کشوری، یعنی گیاهانی که در سطح کشور حداقل ۵۰۰۰۰ هکتار مساحت داشته باشند، در لیست گیاهان مورد مطالعه قرار گرفتند حتی اگر سطح زیر کشت آن‌ها در استان کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتار باشد. دلیل این امر این بود که مقایسات در مطالعات بعدی راحت‌تر قابل انجام باشد. گیاهان زراعی مهم استان از نظر سطح زیر کشت آبی شامل گندم، برنج، کلزا، سویا، پنبه و جو هستند. از بین گیاهان باغبانی هلو، مرکبات و زیتون مساحت بیش‌تری دارند و از بین سبزی‌وصیفی نیز گوجه‌فرنگی، هندوانه و خیار مساحت زیادی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱). برای ارایه نتایج (برای جلوگیری از شلوغ شدن شکل‌ها)، بعضی از گیاهان با یکدیگر ادغام شده و به‌صورت گروه‌های گیاهی نشان داده شده‌اند. گروه‌ها عبارت هستند از: (۱) حبوبات سرمادوست (مانند نخود و عدس)، (۲) حبوبات گرمادوست (مانند انواع لوبیا)، (۳) گیاهان روغنی سرمادوست (کلزا در مطالعه حاضر)، (۴) گیاهان روغنی گرمادوست (سویا، پنبه، آفتابگردان و کنجد)، (۵) درختان سرمادوست (همه درختان به‌استثنای انجیر و مرکبات)، (۶) درختان گرمادوست (انجیر و مرکبات) و (۷) سبزی و صیفی (خیار، خربزه، هندوانه، گوجه‌فرنگی و پیاز).

جدول ۱- میانگین ۳ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸) سطح زیرکشت و عملکرد محصولات مختلف استان گلستان بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان. قیمت محصولات بر اساس سال ۱۴۰۱ است.

Table 1. The average crop area, farmers' actual yield and price of different crops in Golestan province based on statistics from 2017 to 2019. The prices belong to 2022.

قیمت (ریال بر کیلوگرم) Price (Rials/kg)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg.ha ⁻¹)	سطح زیرکشت (هکتار) Area (ha)		محصول Crop
		مثمر	غیرمثمر	
60001	10329	833	-	AlfaAlfa یونجه
98319	3472	11017	-	Barley جو
408667	1532	822	-	Bean لوبیا
230000	2349	40348	-	Canola کلزا
300000	1805	56	-	Chickpea نخود
63273	8555	1593	-	Clover شبدر
242500	1803	11364	-	Cotton پنبه
11184	37820	6829	-	Maize Silage ذرت علوفه‌ای
10000	5251	76	-	Maize Grain ذرت دانه‌ای
89273	25114	5562	-	Potato سیب‌زمینی
350000	1043	461	-	Sesame کنجد
124196	2060	16845	-	Soybean سویا
15348	40423	860	-	Sugar-beet چغندر قند
500000	2147	2775	-	Sunflower آفتابگردان
260000	5326	80220	-	Rice برنج
115059	5000	141018	-	Wheat گندم
82599	31156	909	-	Cucumber خیار
55667	36136	810	-	Melon خربزه
41587	27111	540	-	Onion پیاز
68517	42670	5637	-	Tomato گوجه‌فرنگی
31605	53200	1803	-	Watermelon هندوانه
242815	8098	166	15	Apple سیب
250000	6626	15	3	Apricot زردآلو
514798	6238	3	6	Fig انجیر
250000	2364	2338	1829	Olive زیتون
70000	18132	5715	490	Orange مرکبات
90000	58021	8267	1519	Peach هلو
360000	9611	454	299	Pear گلابی
800000	493	8	83	Pistachio پسته
106100	8952	733	229	Pomegranate انار
1125000	2420	125	115	Walnut گردو
-	10245	33373	0	Other crop سایر زراعی
-	20747	5601	0	Other veg سایر سبزی
-	7826	2662	387	Other hort سایر باغی
-	142857	2	0	GH other سایر گلخانه
-	-	389840	4975	Total کل

مهمی دارند (۳۵). علاوه بر این، بقولات به دلیل تثبیت نیتروژن، نیاز به مصرف کود نیتروژنی را کاهش می‌دهند و از نظر پایداری سامانه‌های کشاورزی مفید می‌باشند چون کود نیتروژنی کاربردی در مزارع و باغات یک عامل مهم در تغییر اقلیم و آلودگی آب است (۳۵).

برای هریک از محصولات یک حداقل و حداکثر سطح زیرکشت لحاظ شد که به شرح زیر است:

- حداقل سطح زیرکشت گندم ۷۰ درصد فعلی و حداکثر آن ۲/۵ برابر فعلی باشد.
 - حداقل سطح زیرکشت شلتوک ۲۰ درصد فعلی و حداکثر آن مقدار فعلی باشد.
 - حداقل سطح زیرکشت سایر گیاهان ۴۰ درصد فعلی و حداکثر آن ۲/۵ برابر فعلی باشد.
- به این صورت هیچ‌یک از گیاهان موجود از فهرست گیاهان استان در الگوی کشت بهینه حذف نمی‌شود و این میزان تغییر در الگوی بهینه طوری است که در یک دوره زمانی کوتاه قابل انجام باشد.
- برای این‌که در بهینه‌سازی الگوی کشت اشتباهی صورت نگیرد و گیاهان تابستانه و یا زمستانه به‌جای یکدیگر کشت نشوند که این اتفاق در عمل امکان‌پذیر نیست، دو شرط زیر لحاظ شد:
- سطح زیرکشت گیاهان زمستانه در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت فعلی آن‌ها بیش‌تر نباشد.
 - سطح زیرکشت گیاهان تابستانه در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت فعلی آن‌ها بیش‌تر نباشد.
- برای بهینه‌سازی الگوی کشت به اطلاعات و داده‌های زیر نیاز بود:
- داده‌های عملکرد در واحد سطح گیاهان مورد پوشش در استان (از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه شد، جدول ۱)،
 - حجم آب آبیاری خالص در شرایط کشاورزان (توسط سامانه SAWA برآورد گردید؛ جزییات در قسمت بعدی)،

روش بهینه‌سازی الگوی کشت: برای بهینه‌سازی الگوی کشت، سطح زیرکشت آبی فعلی گیاهان مختلف با استفاده از الگوریتم سیمپلکس^۱ (روش بهینه‌سازی خطی) در افزونه Solver نرم‌افزار Excel تغییر داده شدند و سطح زیرکشت‌های بهینه‌شده جدیدی برای گیاهان مختلف حاصل شد با این هدف که مصرف آب در مزارع کشاورزان به حداقل برسد. منظور از مصرف آب، حجم آب آبیاری کاربردی در شرایط مزارع کشاورزان در کل استان است. در بهینه‌سازی یک سری محدودیت‌ها به شرح زیر اعمال گردید:

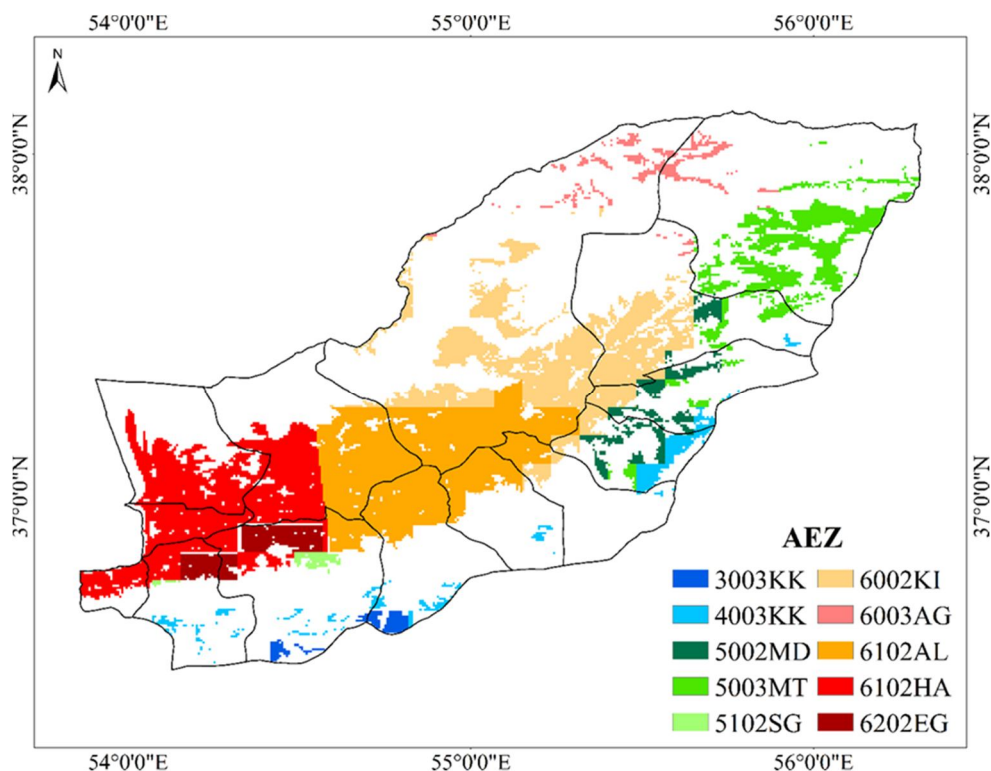
- سود حاصل از فروش محصولات کشاورزی در کل استان در الگوی بهینه برابر مقدار فعلی آن باشد. یعنی الگوی بهینه‌شده باعث کاهش سود کشاورزان نگردد ولی حجم آب آبیاری کاربردی برای کل گیاهان در استان به حداقل ممکن برسد.
 - سطح زیرکشت کل در الگوی بهینه از سطح زیرکشت کل کنونی بیش‌تر نباشد.
 - سطح زیرکشت گیاهان دائمی (شامل یونجه، درختان سردسیری و گرمسیری) در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت کنونی آن‌ها کم‌تر نباشد.
 - سطح زیرکشت درختان سردسیری در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت کنونی آن‌ها کم‌تر نباشد.
 - سطح زیرکشت درختان گرمسیری در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت کنونی آن‌ها کم‌تر نباشد.
 - سطح زیرکشت بقولات در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت کنونی آن‌ها کم‌تر نباشد.
- سه شرط آخر از شش شرط بالا از این جهت لحاظ شدند که گیاهان دائمی نقش مهمی در پایداری کشاورزی دارند. این گیاهان در تخفیف تغییر اقلیم، حفظ تنوع زیستی، حفاظت از منابع خاک و آب نقش

• قیمت و هزینه‌های تولید (از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه شد، جدول ۱).

با استفاده از اطلاعات قیمت و هزینه‌های تولید میزان سود کشاورز در مزرعه به‌صورت درصد سود تعیین گردید و در محاسبات الگوی کشت مورد استفاده قرار گرفت. برای درختان میوه سطح زیر کشت غیرمثمر و مدت زمان از کاشت تا ثمردهی در تعیین بازده در نظر گرفته شد. در این دوره هزینه صورت می‌گیرد ولی درآمدی در مقابل وجود ندارد. همچنین چون دوره زمانی محصولات زراعی (سال زراعی) یک‌ساله و محصولات باغی چندساله است، در عموم مطالعات انجام شده به روش برنامه‌ریزی خطی تأکید بیش‌تر بر ارائه الگوی کشت محصولات زراعی بوده است. برای مرتفع شدن این مسأله، از داده‌های میانگین سه ساله استفاده گردید.

برآورد حجم آب کاربردی خالص در شرایط کشاورزان: یکی از مهم‌ترین ورودی‌هایی که برای بهینه‌سازی الگوی کشت در مطالعه حاضر، حجم آب آبیاری کاربردی خالص برای شرایط کشاورزان بود که برای برآورد آن از سامانه SAWA استفاده شد (۲۴). برای رسیدن به برآورد کل آب آبیاری باید هدرروی آب در مزرعه به‌دلیل توزیع غیریکنواخت آب و نیز هدرروی آب در انتقال از منبع به مزرعه را به برآورد حجم آب کاربردی خالص اضافه نمود. جزییات سامانه SAWA توسط سلطانی و همکاران (۲۰۲۲) ارائه شده است (۲۴) و در این‌جا به‌صورت خلاصه توضیح داده می‌شود.

برای تهیه سامانه SAWA ابتدا نقشه اراضی تحت کشت آبی استان تهیه شد (سازمان نقشه‌برداری کشور)، سپس این نقشه با دو نقشه ایستگاه‌های هواشناسی استان و نقشه پهنه‌بندی اقلیمی (بر اساس روش پهنه‌بندی GYGA-ED؛ ۳۶) روی هم گذاشته شدند و به این ترتیب پهنه‌های اقلیمی مهمی که در اراضی کشاورزی استان را فراگرفته‌اند، شناسایی شدند و نیز ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (نماینده) برای هر پهنه مشخص گردید. در مرحله بعد، با روی هم‌اندازی نقشه خاک (HC27؛ ۳۷) و نقشه پهنه‌های اقلیمی از مرحله اول و تلفیق این دو، تعداد ۱۰ پهنه اگرواکولوژیک در استان شناسایی شدند که بیش از ۹۵ درصد اراضی آبی استان در این ۱۰ پهنه قرار گرفته است (شکل ۱ و جدول ۲). در شکل ۱ رنگ‌های موجود در شکل اراضی کشاورزی هستند و هر رنگ یک پهنه همسان اگرواکولوژیک را نشان می‌دهد؛ یعنی نشان‌دهنده محدوده‌ای است که نوع اقلیم مشابه می‌باشد و از یک ایستگاه هواشناسی نماینده برای شبیه‌سازی در آن محدوده (پهنه اگرواکولوژیک) استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده، نوع اقلیم، نوع خاک، مساحت اراضی آبی و سهم اراضی آبی استان در هر کدام از پهنه‌های ۱۰ گانه اگرواکولوژیک آورده شده است. از این پهنه‌ها اطلاعات مدیریت زراعی مثل تاریخ کاشت جمع‌آوری شد. اطلاعات عملکرد و سطح زیرکشت گیاهان که برای شهرستان‌ها در دسترس بود، برای این پهنه‌ها محاسبه شد و در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱- پهنه‌های آگرواکولوژیک شناسایی شده برای استان گلستان که بیش از ۹۰ درصد اراضی آبی استان را پوشش می‌دهند.

Figure 1. Agro-ecological zones identified in Golestan irrigated lands that cover more than 90% of the irrigated agricultural lands of the province.

جدول ۲- مشخصات خاک، اقلیم و ایستگاه هواشناسی در ۱۰ پهنه آگرواکولوژیک تعریف شده برای اراضی تحت کشت آبی استان گلستان.

Table 2. Characteristics of soil, climate and weather stations in 10 agro-ecological zones identified for irrigated lands in Golestan province.

درصد مساحت در پهنه آگرواکولوژیک Area in AEZ (%)	مساحت در پهنه آگرواکولوژیک Area in AEZ (ha)	پهنه آگرواکولوژیک AEZ	خاک Soil	اقلیم Climate	نام ایستگاه Station name
1.11	8502	3003KK	14	3003	Shah Kooh Bala
3.33	25441	4003KK	14	4003	Narab
3.55	27120	5002MD	14	5002	Galikesh
10	76539	5003MT	5	5003	Maravehtappeh
0.74	5678	5102SG	2	5102	Vorudi sad kosar
22.65	173251	6002KI	5	6002	Inchehborun
2.63	20086	6003AG	26	6003	Aghtoghe
14.99	114686	6102AL	5	6102	Aliabad-e-katul
33.88	259146	6102HA	8	6102	Gorgan (hashemabad)
3.53	27032	6202EG	2	6202	Gorgan

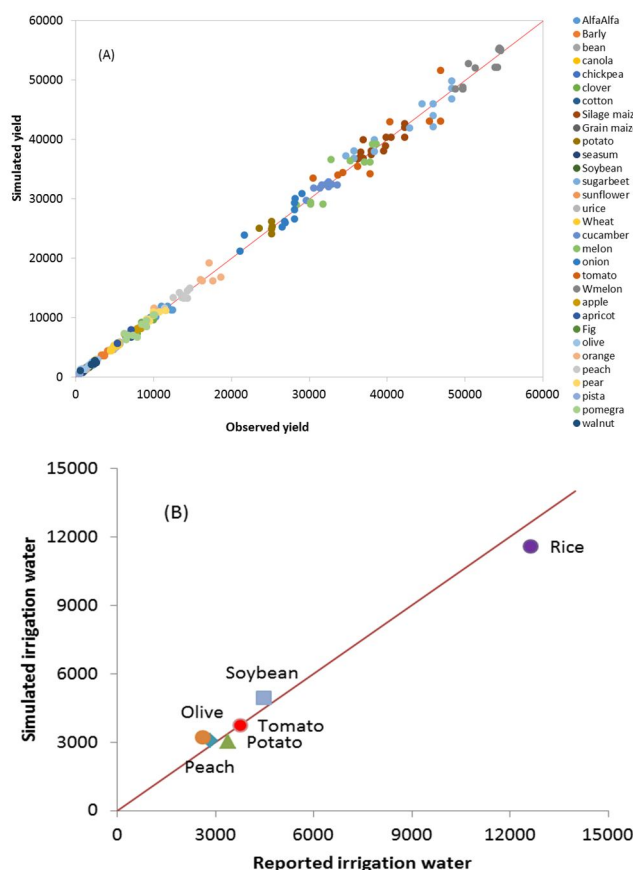
وبسایت مدل (<https://sites.google.com/view/ssm-crop-models>) قابل دسترس عموم می‌باشد. این مدل قبلاً برای گیاهان مختلف در استان و کشور استفاده و آزمون شده است. برای نمونه به سلطانی و همکاران (۲۰۲۰ الف)، کمری و همکاران (۲۰۲۱)، پورشیرزای و همکاران (۲۰۲۳) و کرامت و همکاران (۲۰۲۳) رجوع شود (۲۵، ۳۸، ۳۹ و ۴۰).

در مرحله بعد، این مدل برای شرایط کشاورزان در هر پهنه و برای گیاهان مختلف پارامتریابی شد. اکثر مدل‌های شبیه‌سازی تأثیر محدودیت‌هایی مثل کمبود عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را بر رشد، عملکرد و مصرف آب گیاهان شبیه‌سازی نمی‌کنند و در آزمایش‌هایی که داده‌های آن‌ها برای پارامتریابی این‌گونه مدل‌ها استفاده می‌شود، این عوامل در سطح مطلوب مدیریت می‌شوند تا تأثیر آن‌ها ناچیز باشد. در شرایط کشاورزان برخلاف شرایط این آزمایش‌ها، محدودیت‌های عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز وجود دارند و می‌توانند بر رشد، عملکرد و مصرف آب توسط گیاه اثر بگذارند. برای برآورد عملکرد گیاهان و حجم آب آبیاری خالص در مزارع کشاورزان توسط مدل SSM-iCrop2، ۳ پارامتر مدل به‌صورتی تنظیم شدند که رشد و عملکرد گیاه در شرایط مزارع کشاورزان پیش‌بینی شود. این سه پارامتر عبارت بودند از: حداکثر شاخص سطح برگ گیاه در شرایط مطلوب رشد (LAIMX)، راندمان استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد (IRUE) و حداکثر شاخص برداشت در شرایط مطلوب رشد (Himax). به‌عبارت‌دیگر، در شرایط کشاورزان مقادیر این پارامترها کاهش داده می‌شود با این فرض که در شرایط مزارع کشاورزان کمبود آب، عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌تواند سه پارامتر مذکور را کاهش دهند. کاهش این سه پارامتر باعث کاهش شاخص سطح برگ، راندمان استفاده از تشعشع و شاخص برداشت در شرایط

برای محاسبه حجم آب کاربردی خالص در مزارع کشاورزان از مدل SSM-iCrop2 (۲۵) استفاده شد که هسته سامانه SAWA را تشکیل می‌دهد. به طور خلاصه، این مدل اثرات عوامل محیطی، تابش خورشید، CO₂، دما، آب قابل دسترس و ژنوتیپ را بر نمو فنولوژیکی، توسعه سطح برگ، تجمع توده خشک و تشکیل عملکرد در نظر می‌گیرد. این مدل از گام زمانی روزانه برای شبیه‌سازی فرآیندهای گیاهی و موازنه آب خاک استفاده می‌کند. مراحل رشدی گیاه براساس مفهوم واحد دمایی (درجه روز رشد) پیش‌بینی می‌شوند. تولید ماده خشک بر اساس مفهوم راندمان استفاده از تشعشع و دریافت تشعشع توسط جامعه گیاهی شبیه‌سازی می‌شود. تشکیل عملکرد براساس افزایش خطی شاخص برداشت محاسبه می‌گردد. مدل تبخیر-تعرق بالفوه را با روش پریستلی-تیلور، تبخیر از خاک را با بر اساس روش تبخیر دومرحله‌ای از خاک، تعرق گیاهی را بر اساس پیوستگی آن با تولید ماده خشک، رواناب را بر اساس روش شماره منحنی خاک اداره محافظت خاک امریکا محاسبه می‌کند و زه‌کشی عمقی در شرایط وجود رطوبت خاک بیش از ظرفیت زراعی بر اساس ضریب زه‌کشی خاک محاسبه می‌شود. آبیاری پس از کاهش کسر آب قابل دسترس خاک به حد معین (در شرایط پتانسیل ۰/۵۵ و در شرایط کشاورز بسته به گیاه و منطقه بر اساس واسنجی مدل) صورت گرفته و حجم آب آبیاری خالص محاسبه می‌گردد. عمق اولیه ریشه در زمان سبز شدن گیاهان زراعی یا باز شدن جوانه در درختان ورودی مدل می‌باشد و پس از آن به صورت خطی تا رسیدن به حداکثر عمق مؤثر ریشه یا عمق خاک شبیه‌سازی می‌شود. در صورت عدم وجود رطوبت در لایه زیر ریشه یا رسیدن به انتهای خاک (در خاک‌های کم‌عمق) یا عدم رشد گیاه، رشد روزانه ریشه صفر لحاظ می‌شود. جزئیات بیش‌تر روش‌های محاسباتی مدل به همراه خود مدل و کد مربوطه در

و گستردگی آن در استان بیشتر بود، داده‌های بیش‌تری نیز برای پارامتریابی وجود داشت و دقت مدل برای برآورد داده‌های آن گیاه بالاتر می‌باشد. شکل ۲ عملکرد دانه و نیز حجم آب کاربردی پیش‌بینی‌شده توسط مدل SSM-iCrop2 در شرایط کشاورز را در برابر مقادیر گزارش‌شده در همان پهنه‌ها نشان می‌دهد و بیانگر موفقیت پارامتریابی برای شرایط کشاورزان است. از آنجایی‌که مدل قبلاً برای شرایط عدم محدودیت عناصر غذایی و آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز (شرایط آزمایش‌ها) در استان و کشور ارزیابی شده است، ارزیابی جدیدی در این مطالعه صورت نگرفت.

کشاورزان می‌شود که کاهش دریافت تشعشع و تولید ماده خشک را در پی دارد. بر اساس پیوستگی بین تولید ماده خشک و تعرق که مدل از آن بهره گرفته است، کاهش تولید ماده خشک به کاهش تعرق، تبخیرتعرق و نیاز آبی منجر می‌گردد. برای توضیح بیش‌تر به جافرنوده و همکاران (۲۰۲۴) مراجعه شود (۴۱). برای تنظیم این پارامترها برای مزارع کشاورزان از عملکرد و در مواردی از سایر مشخصات گیاهی مثل شاخص سطح برگ و شاخص برداشت و ماده خشک کل اندازه‌گیری شده یا گزارش‌شده در مزارع کشاورزان برای گیاهان مختلف در پهنه‌های ۱۰ گانه استفاده شد. بنابراین، هر چقدر سطح زیر کشت گیاه



شکل ۲- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده در برابر گزارش شده برای (الف) عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و (ب) حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) در شرایط کشاورزان برای گیاهان مختلف در پهنه‌های تعریف‌شده این مطالعه. اطلاعات آب آبیاری کاربردی گزارش شده از منابع مختلف هستند و برای کل استان نیستند بلکه برای سال‌ها و نقاط خاصی از استان می‌باشند که مدل نیز برای همان سال‌ها و نقاط (پهنه‌ها) اجرا شده است. برای جزئیات به سلطانی و همکاران (۲۰۲۲) مراجعه شود (۲۴).

Figure 2. Comparison of simulated versus observed (A) yield (kg/ha) and (B) applied irrigation water (m³/ha) under farmers' conditions for different crops in different agroecological zones of this study.

شرایط کشاورزان شبیه‌سازی شده‌اند، از دقت بالاتری برخوردارند.

نتایج

درصد سود در بازده برنامه‌ای ناخالص: از نظر درصد سود با توجه به قیمت و هزینه‌های تولید محاسبه شده، میانه درصد سود برای ۳۱ محصول استان برابر ۳۴ درصد بود. بر اساس درصد سود می‌توان محصولات استان را در ۴ گروه قرار داد (جدول ۳) که شامل موارد زیر هستند: (الف) محصولات با درصد سود کمتر از ۲۰ درصد مثل سیب‌زمینی، چغندر قند، پیاز، یونجه، کلزا، مرکبات و پنبه. (ب) محصولات با درصد سود ۲۰ تا ۳۰ درصد مثل شبنم، گندم، ذرت علوفه‌ای، زیتون و جو. (ج) محصولات با درصد سود ۳۰ تا ۴۰ درصد مثل خیار، هلو، برنج، خربزه و کنجد. (د) محصولات با درصد سود بیش‌تر از ۴۰ درصد که عمدتاً گیاهان درختی یا سبزی-صیفی هستند. یادآوری می‌شود بعضی گیاهان شامل گردو، گلابی، سیب، انجیر، ذرت دانه‌ای، پیاز، کنجد، زردآلو، پسته و نخود گیاهان مهمی در سطح استان نیستند (سطح زیرکشت چشمگیری ندارند) ولی چون جزو گیاهان مهم کشوری هستند در این‌جا آورده شده‌اند.

در مرحله بعد، مدل برای کل استان برای شرایط پتانسیل (منظور شرایط مطلوب رشد است که کمبود آب و عناصر غذایی وجود ندارد و آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌نحو مطلوبی کنترل شده‌اند) و شرایط کشاورزان برپا (ست‌آپ) شد طوری‌که بتواند رشد، عملکرد و بیلان آب مزرعه را برای ۳۱ گیاه در ۱۰ پهنه اگرواکولوژیک استان در شرایط کشت آبی برای هر دو شرایط مدیریت مطلوب (پتانسیل) و شرایط مزارع کشاورزان شبیه‌سازی کند. خروجی‌های مدل به‌صورت فصلی (و نیز ماهانه برای مؤلفه‌های بیلان آب) در هر پهنه تولید می‌شوند و برای هر شهرستان و کل استان نیز قابل تولید هستند. به این منظور از داده‌های مدیریتی مثل تاریخ کاشت جمع‌آوری شده در پهنه‌های استان استفاده گردید.

در مطالعه حاضر برای بهینه‌سازی الگوی کشت از حجم آب کاربردی خالص کشاورزان پیش‌بینی شده توسط مدل برای گیاهان مورد کشت استان در هر یک از پهنه‌های ۱۰ گانه استفاده گردید. یادآوری می‌شود در اغلب مطالعات بهینه‌سازی الگوی کشت، حجم آب کاربردی گیاهان با نرم‌افزارهایی مثل CROPWAT محاسبه می‌شود که برآوردهای حاصله بیش‌تر نشان‌دهنده شرایط پتانسیل هستند و نه شرایط مزارع کشاورزان. از این‌رو، انتظار می‌رود برآوردهای به‌کار رفته در مطالعه حاضر چون مستقیماً برای

جدول ۳- تقسیم‌بندی محصولات مختلف گیاهی استان گلستان از نظر درصد سود بر اساس قیمت‌ها و هزینه‌های تولید در سال ۱۴۰۱.

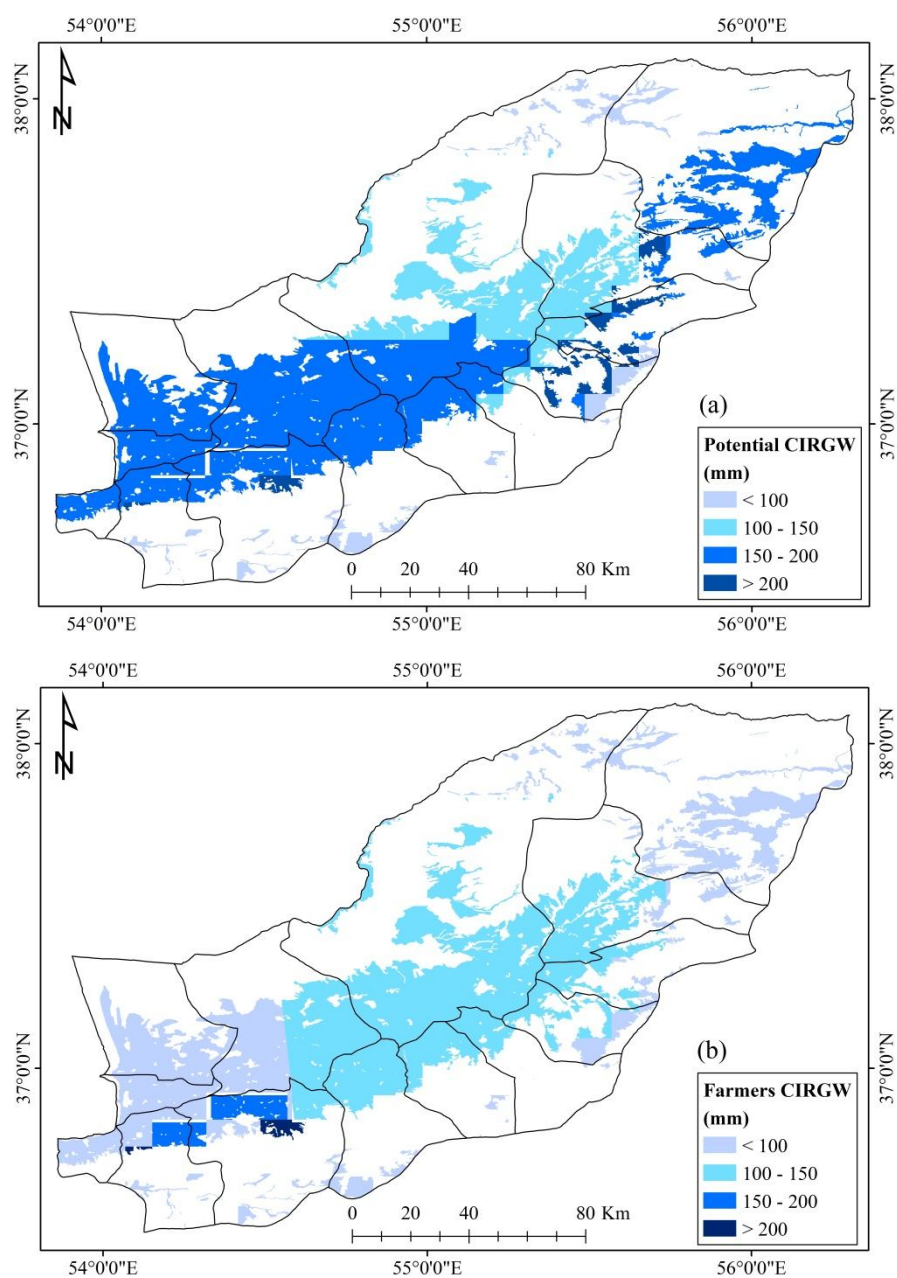
Table 3. Classification of different crops of Golestan province in terms of their profit percentage based on prices and production costs in 2022.

گیاه Plant	سود Profit
سیب‌زمینی، چغندرقد، پیاز، سویا، یونجه، کلزا، مرکبات، پنبه Potato, sugar-beet, onion, soybean, canola, alfalfa, oranges, cotton	کم‌تر از ۲۰ درصد Less than 20%
شبدر، گندم، ذرت علوفه‌ای، زیتون، جو Clover, wheat, silage maize, olive, barley	۲۰ تا ۳۰ درصد 20-30%
خیار، هلو، برنج، خربزه، کنجد Cucumber, peach, rice, melon, sesame	۳۰ تا ۴۰ درصد 30-40%
هندوانه، گوجه‌فرنگی، گردو، ذرت دانه‌ای، انجیر، لوبیا، انار، نخود، زردآلو، آفتابگردان، گلابی، سیب، پسته Water melon, tomato, walnut, grain maize, fig, bean, pomegranate, chickpea, apricot, sunflower, pear, apple, pistachio	بیش از ۴۰ درصد >40%

سیب‌زمینی و چغندرقد از گیاهان پاییزه، یونجه، گیاهان زراعی تابستانه شامل ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، پنبه و سویا و درختان میوه شامل زیتون، انار، انجیر و همه سبزی-صیفی‌جات به‌جز هندوانه، (۳) گیاهانی که حجم آب آبیاری خالص آن‌ها بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار است شامل هندوانه، و درختان میوه شامل هلو و مرکبات، و (۴) گیاهانی که حجم آب آبیاری خالص آن‌ها بیش‌تر از ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار است که فقط شامل برنج می‌باشد که حجم آب آبیاری کاربردی برای آن در سطح استان ۱۰۷۳۹ مترمکعب در هکتار برآورد شد. باید اشاره شود که حجم آب آبیاری خالص برای گیاهان مختلف در شکل ۴ حالت مقایسه‌ای در کنار یکدیگر را ندارد؛ یعنی نباید تصور شود این گیاهان کنار هم در استان کشت شده‌اند و حجم آب آبیاری خالص آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. شکل ۴ حجم آب آبیاری خالص هر گیاه در جاهایی که در استان کشت می‌شوند را نشان می‌دهد و لزوماً این برآوردها قابل مقایسه نیستند.

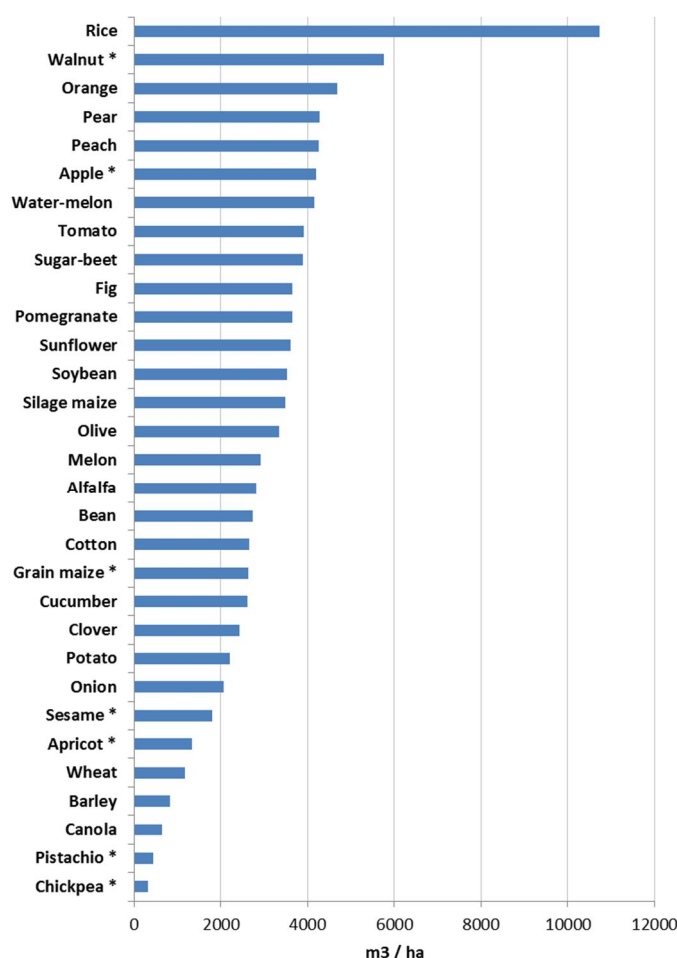
برآورد حجم آب کاربردی خالص برای شرایط کشاورزان: نمونه‌ای از برآورد سامانه برای حجم آب آبیاری خالص در شرایط پتانسیل و شرایط کشاورزان برای گندم در پهنه‌های مختلف در سراسر استان در شکل ۳ نشان داده شده است. سامانه چنین برآوردهایی برای همه گیاهان مهم استان ارایه می‌دهد. مشاهده می‌شود که در شرایط کشاورزان حجم آب کاربردی خالص کم‌تر از شرایط پتانسیل می‌باشد و این امر اهمیت استفاده از برآوردها برای شرایط کشاورزان را در ارزیابی الگوی کشت نشان می‌دهد.

شکل ۴ نیز میانگین موزون برآورد استانی حجم آب کاربردی خالص در شرایط کشاورزان را برای گیاهان مختلف نشان می‌دهد. مقادیر برآوردشده حجم آب کاربردی را می‌توان به ۴ گروه تقسیم‌بندی نمود که شامل موارد زیر است: (۱) گیاهانی که حجم آب آبیاری خالص آن‌ها کم‌تر از ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار است عمدتاً شامل گیاهان زراعی پاییزه مثل گندم، جو، کلزا و نیز زردآلو و پسته از میوه‌جات، (۲) گیاهانی که حجم آب آبیاری خالص آن‌ها بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار است شامل



شکل ۳- برآورد حجم آب آبیاری خالص (میلی‌متر) توسط سامانه SAVA برای گندم در شرایط پتانسیل (الف) و شرایط کشاورزان (ب).

Figure 3. Estimation of the volume of applied irrigation water (m^3/ha) by the SAVA system for wheat in potential conditions (a) and farmers' conditions (b).



شکل ۴- حجم آب آبیاری خالص (مترمکعب در هکتار) برآورده شده توسط سامانه SAWA برای شرایط کشاورزان. گیاهانی که با ستاره مشخص شده‌اند سطح زیرکشت قابل توجهی در استان ندارند و جزو گیاهان مهم استان گلستان نیستند بلکه جزو گیاهان مهم کشوری هستند. توجه شود که برآوردها برای گیاهان مختلف در این شکل حالت مقایسه‌ای در کنار یکدیگر را ندارد چون مناطق مورد کشت گیاهان مختلف در استان یکسان نیست.

Figure 4. The volume of applied irrigation water (m³ / ha) Estimated by the SAWA system for the conditions of farmers. The crops marked with an asterisk do not have a significant cultivated area in the Golestan province. Please note that the estimates are not comparable for crops as sowing areas of crops in the province are not identical.

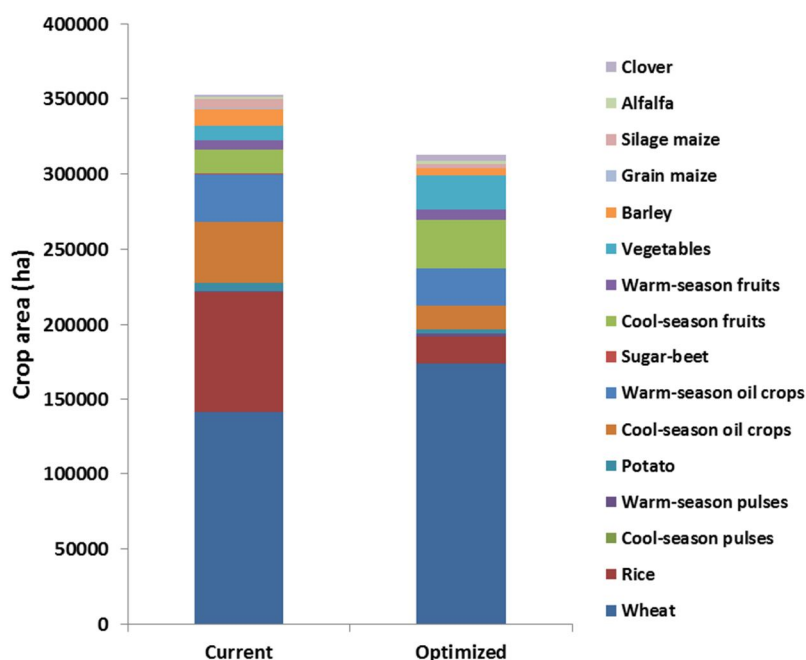
با ۲۳٪، گیاهان روغنی سرمادوست با ۱۱٪، گیاهان روغنی گرمادوست با ۹٪، درختان سرمادوست با ۵٪، جو و سبزی-صیفی هرکدام با ۳٪، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی و درختان گرمادوست هر کدام با ۲٪، مهم‌ترین سهم‌ها از سطح زیرکشت آبی فعلی استان را به خود اختصاص داده‌اند.

مهم‌ترین تغییرات سطح زیرکشت (افزایش یا کاهش معادل ۳۵۰۰ هکتار یا بیش‌تر که معادل یک

سطح زیر کشت: جمع سطح زیرکشت آبی فعلی گیاهان مختلف در استان ۳۹۵ هزار هکتار است و سطح زیر کشت گیاهان انتخابی مطالعه حاضر ۳۵۰ هزار هکتار می‌باشد (شکل ۵). اختلاف ۳۵۰ تا ۳۹۵ هزار هکتار، سطح زیر کشت سایر گیاهان در استان است یعنی گیاهان کم‌اهمیت استان که در این مطالعه لحاظ نشده‌اند و ۱۲ درصد سطح زیرکشت استان را تشکیل می‌دهند. در الگوی فعلی گندم با ۴۰٪، برنج

سهم بزرگ‌تری در سطح زیرکشت استان را به خود اختصاص دادند به‌ترتیب عبارتند از: گندم با ۵۶٪، درختان سرمادوست با ۱۰٪، گیاهان روغنی گرمادوست با ۸٪، سبزی و صیفی با ۷٪، برنج با ۶٪، گیاهان روغنی سرمادوست با ۵٪ و درختان گرمادوست با ۲٪ (شکل ۵). شایان ذکر است در الگوی بهینه از گیاهان روغنی گرمادوست سطح زیر کشت پنبه و سویا کاهش و سطح زیرکشت کنجد و آفتابگردان افزایش یافت (جدول پیوست).

درصد یا بیش‌تر از سطح زیر کشت کل فعلی یعنی ۳۵۰ هزار هکتار است) در اثر بهینه‌سازی الگوی کشت که مصرف آب را به حداقل می‌رساند عبارت است از افزایش سطح زیرکشت در گندم (۲۳٪ افزایش نسبت به فعلی)، درختان میوه سرمادوست (۹۶٪) و سبزی-صیفی (۱۳۸٪) و کاهش سطح زیر کشت در برنج (۷۷٪ کاهش نسبت به سطح زیر کشت فعلی)، گیاهان روغنی سرمادوست (کلزا؛ ۶۰٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۲۲٪)، جو (۶۰٪) و ذرت دانه‌ای (۶۰٪). در الگوی کشت بهینه آن گیاهانی که



شکل ۵- سطح زیرکشت (هکتار) در الگوی کشت فعلی و بهینه. اسامی گیاهان و رنگ‌ها از پایین به بالا متناظر هستند.

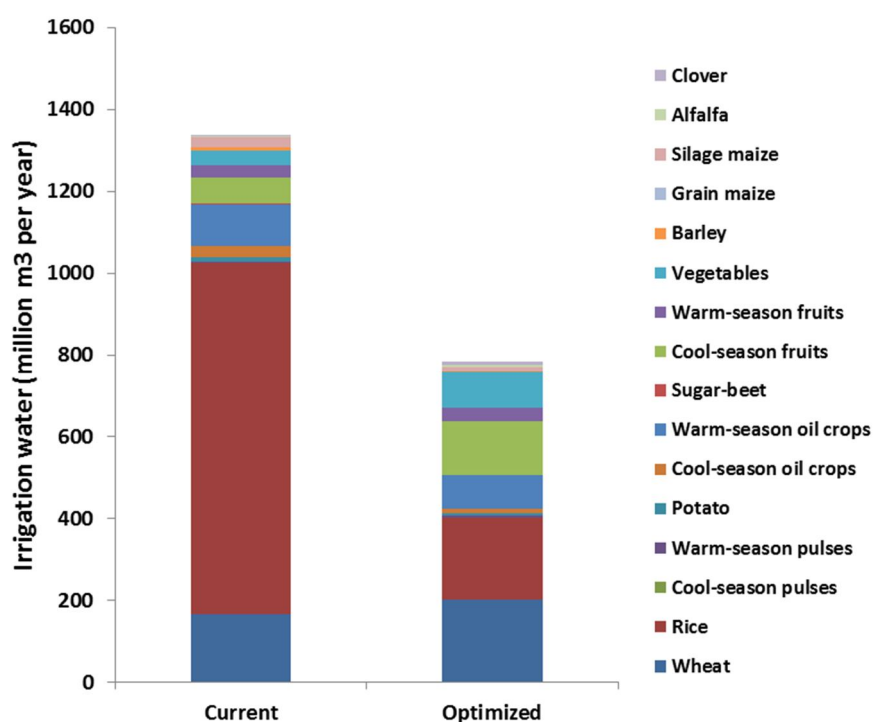
Figure 5. Crop area (ha) in the current and optimized cropping patterns.

از هدرروی در انتقال و کاربرد آب در مزارع در سطح استان می‌باشد. در الگوی کشت کنونی بیش‌ترین سهم حجم آب آبیاری استان شامل موارد زیر بود: برنج (۶۴٪)، گندم (۱۲٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۷٪)، درختان سرمادوست (۵٪)، سبزی-صیفی (۳٪)، گیاهان روغنی سرمادوست (۲٪)، ذرت علوفه‌ای (۲٪) و درختان گرمادوست (۲٪) (شکل ۶).

حجم آب آبیاری خالص در سطح استان: حجم آب آبیاری خالص در مزارع کشاورزان در سطح استان برای الگوی کشت فعلی با استفاده از سامانه SAWA برابر با ۱۳۳۸ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. این در حالی است که برداشت آب برای کشاورزی در استان ۱۶۸۸ تا ۱۷۴۱ میلیون مترمکعب در سال گزارش شده است (۲۴). اختلاف این دو عدد برآوردی

سرمادوست (کلزا؛ ۶۰٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۱۹٪) و ذرت دانه‌ای (۶۰٪). در الگوی کشت بهینه بیش‌ترین سهم از حجم آب آبیاری استان به ترتیب به گندم (۲۶٪)، برنج (۲۵٪)، درختان سرمادوست (۱۷٪)، سبزی-صیفی (۱۱٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۱۰٪) و درختان گرمادوست (۴٪) تغییر پیدا کرد. در مجموع ۴۱٪ کاهش در حجم آب آبیاری در کل استان اتفاق افتاد (شکل ۶).

در الگوی کشت بهینه حجم آب آبیاری خالص در سطح استان از ۱۳۳۸ به ۷۸۵ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کرد. مهم‌ترین تغییرات حجم آب آبیاری (کاهش یا افزایش معادل ۱۴ میلیون مترمکعب در سال یا بیش‌تر) عبارت بودند از افزایش در گندم (۲۳٪ افزایش نسبت به فعلی)، درختان سرمادوست (۱۰۵٪) و سبزی-صیفی (۱۴۳٪) و کاهش در برنج (۷۷٪ کاهش نسبت به فعلی)، گیاهان روغنی



شکل ۶- حجم آب آبیاری خالص در سطح استان (میلیون مترمکعب در سال) در الگوی کشت فعلی و بهینه. اسامی گیاهان و رنگ‌ها از پایین به بالا متناظر هستند.

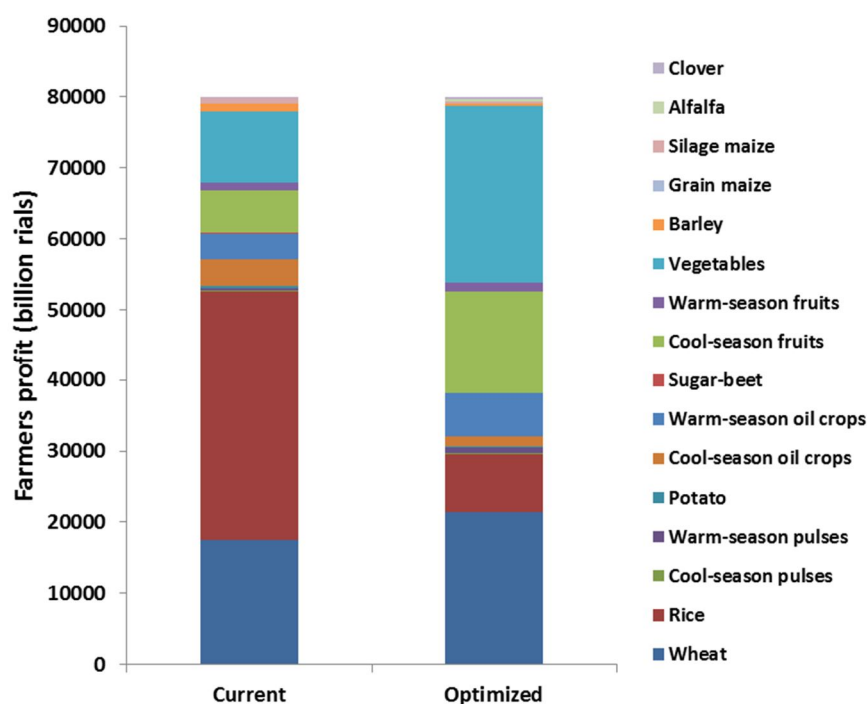
Figure 6. Applied irrigation water (million m³ per year) in the current and optimized cropping patterns.

ناخالص استان شامل موارد زیر است: برنج (۴۴٪)، گندم (۲۲٪)، سبزی-صیفی (۱۲٪)، درختان سرمادوست (۷٪)، گیاهان روغنی سرمادوست (۵٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۴٪) (شکل ۷). اما در الگوی کشت بهینه سهم و نقش گیاهان در بازده برنامه‌ای ناخالص استان تغییر پیدا کرد که شامل موارد زیر

بازده برنامه‌ای ناخالص (درآمد کشاورزان): براساس محدودیت اعمال‌شده در این مطالعه بازده برنامه‌ای ناخالص کل استان در الگوی کشت بهینه و فعلی برابر بود. اما تغییری که اتفاق افتاد این بود که سهم گیاهان در ساختن بازده برنامه‌ای ناخالص تغییر پیدا کرد. در الگوی کشت فعلی بیش‌ترین سهم در بازده برنامه‌ای

درختان سرمادوست و سبزی-صیفی در بازده برنامه‌ای ناخالص استان افزایش و سهم برنج و گیاهان روغنی سرمادوست کاهش پیدا کند (شکل ۷).

است: سبزی-صیفی (۳۱٪)، گندم (۲۷٪)، درختان سرمادوست (۱۸٪)، برنج (۱۰٪)، گیاهان روغنی گرمادوست (۷٪). در واقع بهینه‌سازی الگوی کشت باعث شد تا سهم گندم، گیاهان روغنی گرمادوست،



شکل ۷- بازده برنامه‌ای ناخالص در الگوی کشت فعلی و بهینه. اسامی گیاهان و رنگ‌ها از پایین به بالا متناظر هستند.

Figure 7. Farmers profit in the current and optimized cropping patterns.

بحث

یافته کلیدی مطالعه حاضر این بود که بهینه‌سازی الگوی کشت در استان گلستان بدون این‌که درآمد کشاورزان کاهش یابد و با لحاظ معیارهای پایداری کشاورزی می‌تواند تا ۴۱ درصد حجم آب کاربردی در شرایط کشاورزان و در نتیجه برداشت آب در استان را کاهش دهد. تأثیر مثبت الگوی کشت بر کاهش مصرف آب قبلاً در سطح دنیا و کشور گزارش شده است. برای مثال، اسعدی مهربانی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی به بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه‌ی زیرنه‌رود پرداختند و گزارش کردند میزان آب مصرفی در

تولیدات گیاهی: تولیدات گیاهی در الگوی کشت فعلی کم‌تر از ۲۵۰۰ هزارتن در سال است که در الگوی کشت بهینه به بیش‌تر از ۲۵۰۰ هزارتن افزایش پیدا می‌کند و این عمدتاً به خاطر این است که در الگوی کشت بهینه سبزیجات و درختان میوه سرمادوست افزایش پیدا کرده‌اند و چون این محصولات با رطوبت بالا برداشت می‌شوند، وزن بیش‌تری دارند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). در مجموع بهینه‌سازی الگوی کشت باعث می‌شود که میزان تولیدات گیاهی استان از نظر وزنی ۱۴ درصد افزایش یابد.

استفاده می‌شود که این نرم‌افزارها آب آبیاری را برای شرایط کشاورز پیش‌بینی نمی‌کنند بلکه برای شرایط مطلوب مدیریتی (پتانسیل) پیش‌بینی می‌کنند (برای نمونه به رحیمی و سلحشور (۲۰۱۴)، بورایما و همکاران (۲۰۱۵)، طباطبایی و شهیدی (۲۰۱۷)، رمودی و همکاران (۲۰۲۳) رجوع شود (۵۱، ۵۲، ۵۳ و ۵۴)). نکته سوم این‌که، مطالعات قبلی با هدف افزایش درآمد کشاورزان در شرایط محدودیت یا کاهش آب انجام شده است (برای نمونه به باولی و همکاران (۲۰۱۵)، نخعی و همکاران (۲۰۱۶)، پناهی و فلسفیان (۲۰۲۱) رجوع شود (۵۵، ۵۶ و ۵۷))، ولی هدف مطالعه حاضر برآورد ظرفیت الگوی کشت در سطح بزرگ (مثل استان) در کاهش مصرف/برداشت آب برای بخش کشاورزی بود.

در این‌جا باید متذکر شد که نتایج حاصل از مطالعه کنونی تابعی از هدف مطالعه و نیز عملکرد، حجم آب آبیاری، قیمت و هزینه‌های تولید و محدودیت‌هایی است که در بهینه‌سازی به کار گرفته شده است. اگر این متغیرها و محدودیت‌ها تغییر کنند، نتایج نیز تغییر می‌کند، نتایج حاصله نیز تغییر پیدا می‌کند. به‌عنوان مثال، اگر قیمت محصولات در نظر گرفته شده در مطالعه کنونی به خاطر سیاست‌گذاری (مانند یارانه، خرید تضمینی و غیره)، سال آماری و یا هر چیز دیگری تغییر کنند، ممکن است نتایج متفاوتی به‌دست می‌آید. عملکردهای مورد استفاده در این مطالعه میانگین ۳ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸) است که در صورت تغییر سال‌های آماری ممکن است تغییر پیدا کنند. سامانه تهیه شده برای برآورد حجم آب کاربردی خود بر اساس یک مدل شبیه‌سازی گیاهی، یک روش مقیاس‌نمایی پایین به بالا و اطلاعات ورودی مختلف می‌باشد. بنابراین، کارکرد و پیش‌بین‌های سامانه با یک حد قابل‌قبول در عدم قطعیت به کیفیت اجزای زیر بستگی دارد: (۱) مدل مورد استفاده، (۲) روش مورد

الگوی کشت بهینه حاصل از مدل قطعی و فازی به‌ترتیب ۱۳ و ۸۸ درصد کاهش پیدا می‌کند (۲۷). شکری و همکاران (۲۰۱۹) بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت‌های دهلران استان ایلام را مطالعه کرده و نشان دادند که بهینه‌سازی الگوی کشت در سناریوهای کم‌آبیاری ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ درصد نیاز آب آبیاری، به‌ترتیب ۶۹، ۵۹، ۴۷، ۳۴ و ۱۸ درصد نسبت به آبیاری کامل، صرفه‌جویی آب را به دنبال دارد (۴۲). مردانی و همکاران (۲۰۱۷) در استان اصفهان گزارش کردند که بهینه‌سازی الگوی کشت کاهش ۳۷ درصدی سطح زیرکشت، کاهش مصرف آب آبیاری به میزان ۱۰ درصد، افزایش سود ناخالص به میزان ۲۴ درصد و افزایش تولید به میزان ۱۰ درصد را در پی دارد (۴۳).

مطالعه کنونی با مطالعات قبلی از چند نظر متفاوت است. اول این‌که کل یک استان پوشش داده شده و همه گیاهان مهمی که استان کشت می‌شود در این مطالعه قرار گرفته است. درحالی‌که در مطالعات مشابه معمولاً سطح مطالعه کوچک‌تر (برای نمونه به عبدشاهی و همکاران (۲۰۲۰)، سروریان و سلیمانی (۲۰۲۲)، جهان‌تغ (۲۰۲۲)، لیانی و همکاران (۲۰۲۳) رجوع گردد (۴۴، ۴۲، ۴۶، ۴۷)) و تعداد گیاهان تحت پوشش نیز محدود می‌باشد (برای نمونه به مردانی و همکاران (۲۰۱۳)، موسوی و اکبری (۲۰۱۴)، علی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) رجوع گردد (۴۸، ۴۹ و ۵۰)). البته سامانه تهیه شده (SAWA؛ ۲۴) برای سایر مقیاس‌ها مثل منطقه یا حوزه آبخیز یا کل کشور نیز قابل استفاده می‌باشد. چون عموم برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و آب در دستگاه‌های اجرایی به صورت استانی هستند، در این مطالعه نیز استان مبنای تهیه سامانه قرار گرفت. نکته مهم دیگر این است که در این مطالعه حجم آب آبیاری برای شرایط کشاورزان محاسبه و استفاده شده است که معمولاً در مطالعات مشابه از نرم‌افزارهایی مثل CropWat و NETWAT

استفاده برای مقیاس‌نمایی، (۳) نقشه‌های پراکنش گیاهی، (۴) آمار هواشناسی، (۵) اطلاعات خاک، (۶) اطلاعات مدیریت کشت و کار گیاه و (۷) اطلاعات و آمار سطح زیر کشت و عملکردهای واقعی. توضیحات بیش‌تر درباره هر یک از اجزای فوق و عدم قطعیت ناشی از آن‌ها در سامانه استفاده شده توسط سلطانی و همکاران (۲۰۲۲) ارایه شده است (۲۴). هم‌چنین حجم آب آبیاری خالص براساس داده‌های هواشناسی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ و داده‌های سطح زیرکشت و عملکرد میانگین سه‌ساله (۱۳۹۶-۱۳۹۸) است که در صورت تغییر هر کدام نیز احتمال مقداری تغییرات در نتایج وجود دارد. داده‌های قیمت و هزینه تولید نیز برای سال آماری ۱۴۰۱ است که در صورت تغییر آن‌ها احتمال تغییر در نتایج بهینه‌سازی وجود دارد. در این مطالعه محدودیت‌هایی نیز بر اساس رویکردهای پایداری در کشاورزی اعمال گردید که با تغییر در آن‌ها احتمال تغییر در نتایج بهینه‌سازی وجود دارد.

بعضی از نتایج مطالعه کنونی برخلاف انتظار بودند، به‌عنوان مثال انتظار این بود که در الگوی بهینه سطح زیرکشت کلزا که گیاهی پاییزه است (در پاییز و زمستان کشت می‌شود) و حجم آب آبیاری کاربردی آن نیز کم است، افزایش پیدا کند ولی برعکس آن اتفاق افتاد که دلیل آن به حاشیه سود کم این گیاه مربوط می‌شود. مشابه کلزا، برای سیب‌زمینی و چغندرقد نیز انتظار می‌رفت سطح زیر کشت این گیاهان به‌دلیل پاییزه بودن و مصرف آب کم‌تر در الگوی بهینه افزایش پیدا کند که چنین نشد. یک نتیجه دیگر از مطالعات الگوی کشت مشخص کردن چنین نقاط و شرایط است و چنان‌چه بخواهیم این‌گونه از گیاهان در الگوی بهینه مساحت بالاتری نسبت به الگوی فعلی داشته باشند، باید قیمت آن‌ها افزایش پیدا کند (از طریق خرید تضمینی، یارانه و غیره). نکته مهم

دیگر این که کاهش ۴۱ درصدی در حجم آب آبیاری در سطح استان در حالی رخ داده است که سطح زیر کشت گیاهان نام‌برده کاهش یافته است. بنابراین، با اصلاح قیمتی چنین گیاهانی الگوی کشت از ظرفیت بالاتری برای کاهش حجم آب آبیاری برخوردار خواهد شد.

در سال‌های اخیر وزارت جهاد کشاورزی نیز نسبت به معرفی الگوی کشت در استان‌ها اقدام کرده است. بررسی الگوی پیشنهادی برای استان گلستان در ۱۴۰۱ (۵۸) نشان داد که افزایش خیلی زیاد (نسبت به ۹۶-۹۸) در سطح زیر کشت چغندرقد (۴۵۱٪) و کنجد (۲۲۳٪)، افزایش زیاد در پنبه (۷۶٪)، افزایش متوسط (۲۰ تا ۴۰٪) در هندوانه، شلدر، نخود و سویا، افزایش اندک (۹٪) در جو و کاهش متوسط (۲۰ تا ۴۰٪) در سیب‌زمینی، برنج، آفتابگردان و ذرت علوفه‌ای و کاهش زیاد در خربزه، خیار، گوجه‌فرنگی، یونجه و پیاز پیشنهاد شده است. در مورد گیاهان درختی نیز تغییراتی پیشنهاد نشده است. در ارتباط با این الگوی کشت بررسی نگارندگان نشان داد اگرچه مبانی و هدف و شرایط آن به‌صورت کلی ارائه شده است ولی فاقد روش علمی قابل اثبات و تکرارپذیر می‌باشد. به‌نظر می‌رسد با نظرداشت به تولیدات مختلف و مصرف آب جداولی ارایه شده است ولی مسئولین ذی‌ربط نتوانستند نشان دهند که این الگوی کشت با چه الگوریتم، هدف یا اهداف و یا چه محدودیت‌ها و شرایطی ارائه شده است طوری‌که با همان شرایط تکرار ارزیابی ممکن باشد. بررسی نگارندگان نشان داد که پیاده‌سازی این الگو که با کاهش ۶ درصدی سطح زیر کشت همراه است باعث ۱۸ درصد کاهش در مصرف آب می‌شود ولی بازده ناخالص برنامه‌ای استان را نیز ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین، به‌دلیل کاهش درآمد کشاورزان و نیز اثربخشی محدود (۱۸ درصد) در کاهش مصرف آب،

آن‌گونه که باید در کاهش مشکلات اضافه برداشت آب مؤثر نخواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

چنان‌چه بهینه‌سازی الگوی کشت در استان گلستان با هدف حداقل‌سازی مصرف آب صورت پذیرد با این شرط که درآمد کشاورزان استان نیز کم نشود و به پایداری کشاورزی نیز توجه گردد، می‌تواند ۴۱ درصد مصرف و برداشت آب را کاهش دهد که این میزان کاهش معادل ۶۸۰ میلیون مترمکعب در سال است. این درحالی است که وزارت نیرو ۴۰۰ میلیون مترمکعب در سال (اختلاف حجم برداشت فعلی و حجم قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی در استان مطابق ابلاغیه وزارت نیرو) کاهش مصرف/برداشت آب در بخش کشاورزی استان را ابلاغ کرده است. از طرف دیگر میزان کاهش لازم در برداشت آب در بخش کشاورزی استان گلستان برای شرایط برداشت پایدار (براساس حجم آب تجدیدپذیر و کسر برداشت مجاز) ۸۰۰ میلیون مترمکعب در سال است. با مقایسه نقش بهینه‌سازی الگوی کشت در کاهش مصرف آب و میزان کاهش‌های مورد نیاز ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که بهینه‌سازی الگوی کشت به تنهایی می‌تواند تقریباً دو برابر کاهش مدنظر وزارت نیرو در مصرف آب، صرفه‌جویی ایجاد کند. هم‌چنین، بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند ۸۰ درصد آن کاهشی که برای رسیدن به برداشت پایدار آب لازم است را ایجاد نماید. با توجه به این‌که الگوی کشت گزینه‌ای با هزینه‌بری کم‌تر است و با یک سری سیاست‌گذاری و قیمت‌گذاری نیز قابل انجام است، انتظار می‌رود خیلی بیش‌تر از آن چیزی که در حال حاضر به آن پرداخته شده مورد توجه مدیران اجرایی و تصمیم‌گیران بخش کشاورزی کشور قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دارند تا از زحمات سردبیر محترم و داوران گرامی مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک برای بررسی دقیق و ارسال نقطه‌نظرات سازنده تشکر و قدردانی نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات لازم برای اجرای این پژوهش از سازمان هواشناسی کشور، سازمان جهاد کشاورزی، سایت مرکز آمار ایران و سایت سازمان آب و منطقه‌ای کشور اخذ شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تحقیق و روش‌شناسی، آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نویسنده دوم و سوم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، کمک به انجام محاسبات، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نویسنده چهارم و پنجم: مشارکت در طرح و روش تحقیق، بازبینی مقاله.

اصول اخلاقی

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت شده است و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب یک طرح تحقیقاتی با کد ۹-۴۷۴-۰۱ صورت گرفته است.

منابع

1. Mohammadi, A. (2023). An attitude on the position of the potato product in the country's food security in the horizon of 2050. *Promotional Journal of Applied Potato Sciences*. 6(11), 13-22. [In Persian]
2. Soltani, A., Zand, E., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Barani, H., Soltani, E., Torabi, B., Zeinali, E., Mirkarimi, Sh., Joulaei, R., Khosravian, T., Habibpour Kashefi, E., Jafarnode, S., Dadrasi, A., Ghasemi, S., Rahban, S., Pourshirazi, Sh., Bahrehmand, A., Dehghani, A. A., Eshraghi, F., Bahmani, M., Fatah Taleghani, D., Ahmadi, K., Mohammadrezaei, M., Goli, Sh., Alasti, O., Hoseini, R., Zahed, M., Fayyazi, H., Kamari, H., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Mohammadi, S., Keramat, S., Sosaraei, N., Asheanvar, M., Ahmadi, M., & Taghdisi Naghib, R. (2019). Analysis of the country's food security until 2050 by modeling the correlation of water, land, food and environment: perspective and necessary policies. *Agricultural Research, Education and Extension Organization and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, research project report*. [In Persian]
3. Soltani, A., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., van Loon, M. P., & van Ittersum, M. K. (2020b). Future food selfsufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*. 24, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100351>.
4. Soltani, A., Jafarnode, S., Dadrasi, A., Rahban, S., Nazeri, A., Zeinali, E., Najafinejad, A., Torabi, B., & Kazemi, H. (2022). Development of a provincial system for water balance and water accounting in agricultural lands: case study of Golestan province. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, research project report*. [In Persian]
5. Iran's water resources management, (2022). Second round national survey of sources and uses, basic statistics presentation portal, country's water information and data office, *Iran Water Resources Management Company*. <https://stu.wrm.ir/login.asp>. [In Persian]
6. Choubin, B., & Malekian, A. (2013). Relationship between Fluctuations in the Water Table and Aquifer Salinization (Case Study: Aquifer Aspas-Fars Province). *Desert Management*. 1(1), 13-26. doi: 10.22034/jdmal.2013.17097. [In Persian]
7. Zandi Far, S. (2019). Investigating the causes of drying up of springs in the catchment area of the Zohra-Jarhari river. *Iran Nature*. 4(1), 9-13. doi: 10.22092/irn.2019.118671. [In Persian]
8. Zhou, Y., & Li, W. (2011). A review of regional groundwater flow modeling. *Geosci Front*. 2(2), 205-214.
9. Hosseini, S., Musavi-jahromi, S. H., & Mohamad vali samani, H. (2023). Investigation of effective factors in the phenomenon of land subsidence in the western area of Tehran province. *Water Resources Engineering*. 16(58), 69-84. doi: 10.30495/wej.2023.29602.2348. [In Persian]
10. Dregne, H. E. (1998). Desertification assessment. In: Lal R, Blum WH, Valentine C, Stewart BA (eds) Method of assessment for soil degradation. *CRC, New York*. 441-458.
11. Li, A., Han, Z., Xu, J., Ma, S., & Huang, G. (2006). Transformation dynamics of desertification in Horqin Sandy Land at the beginning of the 21st century. *Acta Geographica Sinica*. 61(9), 976-984.
12. Dargahian, F., Razavi Zadeh, S., & Lotfi Nasab Asl, S. (2018). The role of water resources management as one of the factors contributing in the dust resource activity amplification in southern and southeast parts of Ahwaz. *Iran Nature*. 3(4), 26-33. doi: 10.22092/irn.2018.117218. [In Persian]

13. Tavasoli, A., Tabatabaee, J., Hoseinnia, A., Bagherzade, M., & Jabbari, H. (2016). Rainwater Harvesting for Urmia Island (I.R. Iran) Wildlife. *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 3 (4), 57-71. [In Persian]
14. Lotfi, A. (2017). The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands. *Mehr Sadegh Publication*. 108 p. [In Persian]
15. Ashraf, S., Nazemi, A. & AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific reports*, 11(1), 9135.
16. Soltani, A., Jafarnode, S., Zeinali, E., Gharekhaloo, J., & Torabi, B. (2024). Assessing aerobic rice systems for saving irrigation water and paddy yield at regional scale. *Paddy and Water Environment*. 22(2), 271-284. <https://doi.org/10.1007/s10333-023-00966-2>.
17. Nouri, M., Homaei, M., Pereira, L. S., & Bybordi, M. (2023). Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. *Agricultural Water Management*. 288, 108480.
18. Mirzaee, S., Shahabi Far, M., & Sharifan, H. (2017). Determining the Optimum Cropping Pattern in Golestan Dam Irrigation and Drainage Network using Genetic Algorithm. *Irrigation Sciences and Engineering*. 40(3), 181-190. **doi: 10.22055/jise.2017.13261**. [In Persian]
19. Shirshahi, F., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N., & Khaledian, M. R. (2021). Optimization of Water Allocation and Optimal Cropping Pattern in Irrigation and Drainage Network of Ghazvin Plain. *Irrigation Sciences and Engineering*. 44(3), 103-116. **doi: 10.22055/jise.2019.26934.1788**. [In Persian]
20. Goodarzi, M., Ghadbeiklou, J., Ghadir, A., & Khodshenas, M. (2023). Determining the Optimal Cropping Pattern Based on the Multiple Objectives of Water, Energy, Food and Economic Profit Indices (Case Study: Markazi Province - Farahan Plain). *Water and Soil*. 37(2), 187-202. **doi: 10.22067/jsw.2023.79946.1233**. [In Persian]
21. Osama, S., Elkholy, M., & Kansoh, R. M. (2017). Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*. 56 (4), 557-566. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.04.015>.
22. Soleymani, Sh., Zare Mehrjerdi, M. R., Amirtaimoori, S., & Mehrabi Boshrabadi, H. (2021). Environmental approach to determining optimal cropping pattern. *Environmental Resources Research*. 9(1), 79-88.
23. Huang, H., Xie, P., Duan, Y., Wu, P., & Zhuo, L. (2023). Cropping pattern optimization considering water shadow price and virtual water flows: A case study of Yellow River Basin in China. *Agricultural Water Management*. 284, 108339. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108339>.
24. Soltani, A., Jafarnode, S., Dadrasi, A., Rahban, S., Nazeri, A., Zeinali, E., Najafinejad, A., Torabi, B., & Kazemi, H. (2022). Development of a provincial system for water balance and water accounting in agricultural lands: case study of Golestan province. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, research project report*. [In Persian]
25. Soltani, A., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R. S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S., Vadez, V., van Ittersum, M. K., & Sinclair, T. R. (2020a). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*. 182, 102855. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102855>.
26. Shariati, H., Motamed Vaziri, B., Goudarzi, M., & Ahmadi, H. (2021). Optimization of Cropping Pattern Using Linear Programming Method and Lingo software in Dehgolan Plain in Kurdistan Province, Iran. *Geography and*

- Environmental Sustainability*. 11(3), 81-96. doi: 10.22126/ ges. 2021. 6601. 2409. [In Persian]
27. Asaadi Mehrabani, M., Banihabib, M., & Roozbahany, A. (2018). Fuzzy Linear Programming Model for the Optimization of Cropping Pattern in Zarrinehroud Basin. *Iran-Water Resources Research*. 14(1), 13-24. [In Persian]
28. Jafarzadeh, A., Khaseii, A., & Shahidi, A. (2016). Designing a multiobjective decision-making model to determine optimal crop pattern influenced by climate change phenomenon (case study: Birjand plain). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 47(4), 849-859. doi: 10.22059/ijswr. 2016.59991. [In Persian]
29. Mirzaei, A., Layani, G., Azarm, H., & Jamshidi, S. (2018). Determination Optimal Crop Pattern of Sirjan County Central Part Based on Stability of Water Resources and Environmental. *Agricultural Economics Research*. 9(36), 283-304. [In Persian]
30. Asaadi Mehrabani, M., Khalilian, S., & Mousavi, S. (2019). Management of Irrigation Water Allocation and Cropping Pattern with emphasis on Deficit Irrigation Strategy (Case study: Qazvin Irrigation Network). *Iran-Water Resources Research*. 14(5), 1-14. [In Persian]
31. Gaffari, A., Montazar, A., & Rahimi Jamnani, A. (2011). Development of an Optimized Cropping Pattern Model Using Analytical Hierarchy Process. *Water and Soil*, 24(6), 1119-1128. doi: 10.22067/jsw.v0i0.7495. [In Persian]
32. Hosseinzad, J., Namvar, A., Hayati, B., & Pishbahar, S. (2014). Determination of Crop Pattern with Emphasis on Sustainable Agriculture in the Lands Below the Alavian Dam and its Network. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 24(2), 41-54. [In Persian]
33. Nozari, H., & Mohseni, V. (2015). Applying System Dynamics Approach for Simulation and Optimization of the Cropping Pattern in Esfahan Right Side Abshar Irrigation and Drainage Network. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 46(3), 465-474. doi: 10.22059/ijswr.2015.56736. [In Persian]
34. Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Ghorbani Nasrabad, G. (2021). Optimization of Crop Pattern Based on Water Footprint Index in Different Climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 52(1), 66-53. doi: 10.22059/ijswr.2020.300709.668574. [In Persian]
35. Soltani, A., & Mirzaei, A. (2022). Sustainable Agriculture. Vajegan Sirang Publication. 384 p. [In Persian]
36. van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K.G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*. 143, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018>.
37. Koo, J., & Dimes, J. (2013). HC27 Generic soil profile database. Harvard Dataverse ver. 4. Washington, DC: International Food Policy Research Institute. Groves, S. J., Bailey, R. J. Strategies for the sub-optimal irrigation of sugar beet. *Aspects of Applied Biology*. 38, 201-207. <http://hdl.handle.net/1902.1/20299>.
38. Kamari, H., Zeinali, E., Soltani, A., & Ghaderi-Far, F. (2021). Parameterization and Evaluation of the SSM-iCrop2 Model for predict the cotton growth and yield in Iran. *Iranian Journal of Cotton Researches*. 8(2), 49-72. doi: 10.22092/ijcr.2021.127700.1137. [In Persian]
39. Keramat, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2023). Parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model to simulate the growth and yield of rice in Iran. *Journal of Plant Production Research*. 30(1), 21-47. doi: 10.22069/jopp.2021.19090.2822. [In Persian]
40. Pourshirazi, S., Soltani, A., Zeinali, E., & Torabi, B. (2023). Parameterization and Evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Growth and Yield in Iran.

- Journal of Agroecology*. 15(1), 169-189. doi: 10.22067/agry.2021.70433.1044. [In Persian]
41. Jafarnode, S., Soltani, A., Soltani, E., Dadrasi, A., & Rahban, S. (2024). Application of SSM-iCrop2 model in simulation of yield and water balance in farmers' fields. *Water and Soil*. 38(3), 301-319. <https://doi.org/10.22067/jsw.2024.84807.1343>.
 42. Shekari, H., Najarchi, M., Jafarinia, R., Mokhtari, S., & Alizadeh, H. (2019). Optimization of Cropping Pattern and Water Resources at Different Levels of Irrigation for Hot and Dry Areas (Case study: Dehloran Plains, Ilam Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(6), 1351-1361. doi: 10.22059/ijswr.2019.267849.668036. [In Persian]
 43. Mardani, M., Nikooie, A., Ziaee, S., & Ahmadpour Borazjani, M. (2017). Codifying Regional Cropping Pattern of Agricultural and Horticultural Products in Isfahan Province: Multi-objective Structural Planning Approach. *Journal of Agricultural Economics and Development*. 30(3), 188-206. doi: 10.22067/jead2.v30i3.53749. [In Persian]
 44. Abdeslahi, A., Mardani Najafabadi, M., & Zeinali, M. (2020). Determining the Optimal Cropping Pattern of Agricultural Crops in Mollasani County of Iran: Application of Robust Multi-Objective Optimization Model. *Agricultural Economics and Development*. 28(3), 175-203. doi: 10.30490/aead.2020.304989.1090. [In Persian]
 45. Jahantigh, H. (2022). Optimization of Agricultural Cropping Pattern in order to Water Use Management in Gorgan. *Irrigation and Water Engineering*. 12(3), 369-385. doi: 10.22125/iwe.2022.146415. [In Persian]
 46. Layani, G., Darzi, A., Motevali, A., Bagherian-Jelodar, M., Kaikha, M., Nadi, M., Firouzjaei, A. A., Amirnejad, H., & Pirdashti, H. (2023). Developing environmentally friendly cropping pattern with a multi-objective planning approach in Sari County. *Agricultural Economics Research*. 15(1), 96-79. doi: 10.30495/jae.2023.28625.2277. [In Persian]
 47. Sarvarian, J., & Soleimani, P. (2022). Optimization of cropping pattern, taking into account limited water resources, cultivated area and biodiversity in the Mehran Plain. *Water and Irrigation Management*. 11(4), 725-737. doi: 10.22059/jwim.2022.326446.899. [In Persian]
 48. Alipoor, A., Davari, K., Mousavi Baygi, M., Sabuhi, M., & Izady, A. (2019). Determination of Optimum Cropping Pattern for Groundwater Stability. *Water Research in Agriculture*. 33(3), 507-519. [In Persian]
 49. Mardani, M., Babaei, M., Saboohi, M., & Asemani, A. (2013). Determining the optimal pattern of cultivation using fuzzy ideal planning; Case study: Razavi Khorasan province. *Journal of Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics)*. 10(1), 67-77. [In Persian]
 50. Mousavi, S. N., & Akbari, S. M. R. (2014). Investigating the optimal cropping pattern and its effect on water resources management, a case study of Marvdasht-Kerbal. *Journal of Water Resources Engineering*. 7(22), 101-109. [In Persian]
 51. Bouraima, A. K., Zhang, W., & Wei, C. (2015). Irrigation water requirements of rice using Cropwat model in Northern Benin. *International journal of agricultural and biological engineering*, 8(2), 58-64.
 52. Rahimi, D., & Salahshour, F. (2014). Estimation of Water Requirement, Evaporation and Potential Transpiration of Brassica Napus L Plant in Ahwaz Town Using CROWPWAT Model. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2(4), 1377-1387.
 53. Ramroudi, M., Rezaee Asl, M., Ahmadpour Borazjani, M., & Marzban, Z. (2023). Assessing of cropping pattern in the Sistan region with emphasis on optimal water distribution. *Journal of*

- Agricultural Science and Sustainable Production*. 32(4), 269-284. doi: 10.22034/saps.2022.49251.2779. [In Persian]
54. Tabatabaei, M., & Shahidi, A. (2017). Increasing Economic Productivity of Water by Changing the Cropping Pattern in Mazreano Village in Ardakan-Yazd. *Journal of Water Research in Agriculture*. 31(1), 119-128. doi: 10.22092/jwra.2017.109912. [In Persian]
55. Bavali, M., Adeli, K., Mohammadian, F., & Delangizan, S. (2015). Determining of Optimal Crops Pattern for Sustainable Agriculture Development (Case Study: A Mahidasht Plain). *Agricultural Economics and Development*. 23(2), 191-216. doi: 10.30490/aead.2015.58998. [In Persian]
56. Nakhaee, M., Hashemi, R., Khashee Sivaki, A., & Ahmadi, M. (2016). Optimization of Crop Pattern Using Analytical Hierarchy Process and Linear Programming (Case Study: Plain Birjand). *Irrigation Sciences and Engineering*. 39(2), 115-124. doi: 10.22055/jise.2016.12116. [In Persian]
57. Panahi, A., & Falsafian, A. (2021). Optimization of the crop cultivation in the Shabestar plain under water constraint. *Protection of water and soil resources*. 10(4), 35-47. [In Persian]
58. Anon. (2022). Report of cropping pattern in 2022: Golestan province. *Ministry of Agriculture*. [In Persian]

پیوست

جدول ۱- سطح زیر کشت (Area)، حجم آب کاربردی در شرایط کشاورزان (TotIRG) و بازده ناخالص (Profit) در کل استان برای هر یک از گیاهان تحت پوشش این مطالعه.

محصول Crop	فعلی Current			بهینه Optimized		
	مساحت (هکتار)	آب کاربردی (میلیون مترمکعب)	بازده ناخالص (میلیارد ریال)	مساحت (هکتار)	آب کاربردی (میلیون مترمکعب)	بازده ناخالص (میلیارد ریال)
	Area (ha)	TotIRG (MCM)	Profit (Billion Rials)	Area (ha)	TotIRG (MCM)	Profit (Billion Rials)
AlfaAlfa یونجه	822	2.317	79	2055	5.792	196
Barley جو	11019	9.109	1062	4408	3.644	425
Bean لوبیا	821	2.240	321	2053	5.599	803
Canola کلزا	40352	26.316	3869	16141	10.527	1548
Chickpea نخود	58	0.019	20	145	0.047	51
Clover شبدر	1596	3.894	174	3990	9.734	434
Cotton پنبه	11363	30.203	922	4545	12.081	369
Maize Foliage ذرت علوفه‌ای	6828	23.797	771	2731	9.519	308
Maize Grain ذرت دانه‌ای	80	0.210	2	32	0.084	1
Potato سیب‌زمینی	5567	12.255	310	2227	4.902	124
Seasum کنجد	464	0.836	58	1160	2.089	144
Soybean سویا	16842	59.260	597	11897	41.859	422
Sugarbeet چغندر قند	853	3.317	42	341	1.327	17
Sunflower آفتابگردان	2776	10.033	2019	6940	25.082	5047
Rice برنج	80213	861.398	35238	18581	199.540	8163
Wheat گندم	141018	164.319	17414	173533	202.207	21430
Cucumber خیار	901	2.354	744	2253	5.885	1860
Melon خربزه	810	2.363	599	2025	5.907	1498
Onion پیاز	536	1.108	72	214	0.443	29
Tomato گوجه‌فرنگی	5629	21.992	7240	14073	54.981	18101
Watermelon هندوانه	1804	7.501	1314	4510	18.752	3284
Apple سیب	181	0.759	229	453	1.898	572
Apricot زردآلو	17.3	0.023	19	43	0.058	46
Fig انجیر	9.8	0.036	18	25	0.090	44
Olive زیتون	4166	13.970	273	1666	5.588	109
Orange مرکبات	6127	28.683	1157	7022	32.872	1326
Peach هلو	9786	41.587	3278	24465	103.968	8195
Pear گلابی	752.7	3.219	1492	1882	8.049	3730
Pistachio پسته	98.5	0.044	28	246	0.110	70
Pomegranate انار	961.6	3.513	408	2404	8.784	1020
Walnut گردو	239	1.378	269	598	3.446	672
Total کل	352691	1338	80037	312655	785	80037

