تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۷/ زمستان ۱۴۰۳/ ص ۷۸ - ۵۱

نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی راهکارهای کاهش تقاضا برای آبیاری و سازگاری با کم آبی در استان فارس

عبدالرحمان میرزائی[۱]، افشین سلطانی[۲]، فریبرز عباسی[۳]، ابراهیم زینلی[۴]، شهرزاد میرکریمی[۵]

[۱] گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[۲*] گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[۳] استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[۴] گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[۵] گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

چکیده

سازگاری با کم‌آبی یکی از چالش‌های اصلی کشاورزی در ایران است. هدف از این مطالعه، ارزیابی ظرفیت صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی آبی استان فارس با استفاده از (۱) بهینه‌سازی الگوی کشت، (۲) کاربرد سایبان در باغ‌ها و مزارع تولید سبزی و صیفی، (۳) کاربرد مالچ‌کلش در باغ‌ها و مزارع، (٤) تغییر نظام کشت غرقابی به هوازی برنج و (٥) انتقال تولیدات سبزی و صیفی از مزرعه به گلخانه است. برای این منظور از سامانهٔ حسابداری آب (SAWA) برای کشاورزی آبی استان فارس استفاده شد. حجم آب آبیاری کاربردی (خالص) در کشاورزی استان برای شرایط کشاورزان (نه شرایط پتانسیل و مطلوب) در الگوی کشت فعلی ٤٦١٩ میلیون متر مکعب در سال برآورد و بهینه‌سازی الگوی کشت باعث کاهش ۳۵ درصد از این حجم آب شده است. استفاده از مالچ‌کلش در الگوی کشت فعلی و بهینه به‌ترتیب ۸ و ۱۰ درصد، کاربرد سایبان به‌ترتیب ۲۹ و ۲٤ درصد و استفاده از نظام کشت هوازی برنج، به جای غرقابی، به‌ترتیب ٤ و ۱ درصد حجم آب کاربردی کشاورزان را کاهش می‌دهد. انتقال تولیدات سبزی و صیفی از مزرعه به گلخانه در هر دو الگوی کشت فعلی و بهینه توانست حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزان را ٤ درصد کاهش دهد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که ترکیب راهکارها در الگوی کشت فعلی و بهینه می‌تواند به ترتیب ٦٦ و ٤٨ درصد صرفه‌جویی در حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزان استان ایجاد کند. پیشنهاد می‌شود که محققان، سیاست‌گذاران و بهره‌برداران بخش کشاورزی با ارزیابی و مطالعات تکمیلی به سمت رفع موانع و گسترش استفاده از این راهکارهای ارزشمند و دوست‌دار محیط‌زیست حرکت کنند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی الگوی کشت، مالچ‌کلش، سایبان، کشت هوازی برنج.

مقدمه

اضافه برداشت آب به اصلی‌ترین عامل تهدید کنندهٔ تولیدات کشاورزی آبی تبدیل شده است (Matteau *et al.*, 2022). مقدار برداشت کنونی از منابع آب برای بخش کشاورزی ایران حدود ۷۲ میلیارد مترمکعب در سال است (Naseri *et al.*, 2017). این درحالی است که حجم آب قابل بهره‌برداری اعلام شده توسط وزارت نیرو برای کشاورزی کشور ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال است (Ministry of Energy, 2019). از سوی دیگر، حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی کشور بر اساس رعایت استانداردهای بین‌المللی و پایداری در کشاورزی برابر با ۳۸/۵ میلیارد مترمکعب در سال است (Soltani *et al.*, 2019). بنابراین، تا حد مد نظر وزارت نیرو و پایدار به‌ترتیب ۳۰ و ۵۰ درصد اضافه برداشت آب در بخش کشاورزی کشور وجود دارد که

نگارنده مسئول: **Email:** afshin.soltani@gmail.com https://doi.org/ 10.22092/idser.2025.368347.1606

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

برای توقف آن باید گام‌هایی برداشته شود. به عبارت دیگر، با استفاده از راه‌کارهای مناسب باید میزان برداشت آب را در بخش کشاورزی کشور کاهش داد و کشاورزی را با کم‌آبی سازگار کرد.

برخی از مهم‌ترین راه‌کارها برای کاهش نیاز آبیاری در مزراع و باغ‌ها و در نتیجه کاهش برداشت آب برای کشاورزی عبارت‌اند از: **(۱)** بهینه‌سازی الگوی کشت[1]، **(۲)** استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع تولید سبزی‌وصیفی، **(۳)** استفاده از مالچ‌کلش در باغ‌ها و مزارع، **(۴)** تبدیل کشت غرقابی به هوازی برنج، **(۵)** انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه (توسعهٔ کشت گلخانه‌ای).

سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2024) با بررسی نقش بهینه‌سازی الگوی کشت در کاهش مصرف آب آبیاری استان گلستان نشان دادند که با شرط تغییرنیافتن درآمد کشاورزان و لحاظ‌کردن تعدادی از معیارهای پایداری در کشاورزی، بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند تا ۴۱ درصد از حجم آب آبیاری را کاهش دهد. مطالعات متعدد دیگر نیز نشان داده‌اند که بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند مصرف آب را در مقیاس‌های مختلف (از مزرعه تا سطح کشور) کاهش دهد (Osama *et al.*, 2017; Ye *et al.*, 2018; Chouchane *et al.*, 2020). کاربرد سایبان در باغ‌ها و مزارع برای جلوگیری از زیان پرتو زیاد مثل آفتاب سوختگی پیشنهاد شده است (Møller *et al.*, 2023). سایبان‌ها در رنگ‌های مختلف ارائه می‌شوند و درجه‌هایی از پرتوهای خورشیدی را عبور می‌دهند و در دسترس گیاه قرار خواهند داد. سایبان با کاهش عبور پرتوهای خورشیدی می‌تواند سبب کاهش تبخیر-تعرق و تعدیل دمای زیرسایبان شود و در نتیجه نیاز به آب آبیاری را کاهش دهد (Møller *et al.*, 2023). عجمی و همکاران (Ajmi *et al.*, 2018) در پژوهشی نشان دادند که کاربرد سایبان می‌تواند تا ۳۰ درصد حجم آب مصرفی را کاهش دهد. شفیعی و همکاران (Shafiee *et al.*, 2023) با ارزیابی اقتصادی، مالی و زیست‌محیطی کاربرد سایبان در باغ‌های پسته در شهرستان‌های انار و رفسنجان در استان کرمان نشان دادند کاربرد سیستم پیشنهادی سایبان در بیش از ۶۰ درصد از باغ‌های پستهٔ این دو شهرستان در نرخ تنزیل ۲۰ درصد اقتصادی خواهد بود. مطالعات متعدد نشان داده است که کاربرد سایبان در باغ‌ها و مزارع می‌تواند مصرف آب آبیاری را کاهش دهد (Bassett *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2014; Retamal-Salgado *et al.*, 2017). استفاده از مالچ‌کلش (کشاورزی حفاظتی) در مزارع و باغ‌های سبب کاهش رواناب و تبخیر از سطح خاک می‌شود و در نتیجه نیاز به آب آبیاری مزارع را کاهش می‌دهد. جوردن و همکاران (Jordán *et al.*, 2010) نشان دادند که استفاده از مالچ کاه و کلش گندم در سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار به ترتیب ۱/۱، ۱/۲۵ و ۱/۲۵ برابر آب قابل دسترس خاک را افزایش می‌دهد و در نتیجه نیاز به آب آبیاری مزرعه کاهش پیدا می‌کند. پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده‌اند که کاربرد مالچ‌کلش در کاهش مصرف آب در مزارع تأثیر مثبت دارد (Foroughifar & Pourkasemani, 2003؛ Rezvani Moghaddam *et al.*, 2013؛ Paravar, 2017؛ Jin *et al.*, 2009؛ Cai *et al.*, 2015؛ Eslami & Farzamnia, 2009؛ Akhtar *et al.*, 2019). سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2020) گزارش کردند که ۶۴ درصد از برداشت آب آبی در استان گلستان به کشت غرقابی برنج اختصاص داده شده است. کشت غرقابی برنج مصرف آب بالایی دارد و تبدیل کشت غرقابی به هوازی می‌تواند تا حجم زیادی از آب کاربردی مزارع استان را کاهش دهد. سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2024) طی مطالعه‌ای نشان دادند که تبدیل کشت غرقابی به هوازی برنج می‌تواند بین ۲۲ تا ۵۰ درصد حجم آب آبیاری مزارع را کاهش دهد اما

[1] Cropping pattern optimization

عمکلرد را بین ۹ تا ۳۱ درصد کاهش می‌دهد. تولیدات گیاهی در شرایط گلخانه، در مقایسه با شرایط مزرعه، به‌آب کمتری نیاز دارد و دلیل آن رطوبت نسبی بالا در گلخانه و کاهش تبخیر-تعرق است (Chacha *et al.*, 2023). سیزیک و همکاران (Czyzyk *et al.*, 2014) با مقایسهٔ مصرف آب کشت گلخانه‌ای با مزرعه‌ای در کنیا و کامرون نشان دادند مصرف آب در گلخانه‌ها در حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد کمتر است تا در مزارع. مطالعات دیگری نیز حاکی از آن است که در کشت گلخانه‌ای، نسبت به کشت مزرعه، آب کمتری مصرف می‌شود(Khoshkam & Saei, 2011؛ Naseri, 2019).

هدف مطالعه حاضر بررسی ظرفیت صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی استان فارس با استفاده از بهینه‌سازی الگوی کشت، استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع تولید سبزی‌وصیفی، استفاده از مالچ‌کلش (کشاورزی حفاظتی) در باغ‌ها و مزارع، تبدیل کشت غرقابی به هوازی برنج و انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه (توسعه کشت گلخانه‌ای)، به تنهایی و نیز در ترکیب با یکدیگر است که تا کنون ارزیابی جامع مشابهی نشده است. در بالا بیان شد این راهکارها پیش از این در مطالعات متعددی ارزیابی و نتایج به صورت مختصر آورده شده‌اند، اما اینکه مطالعه‌ای در سطح یک استان به صورت یکپارچه (نه یک منطقه، شبکه، دشت یا حوضهٔ آبریز) برای همه گیاهان (نه چند گیاه محدود) و برای شرایط مزارع کشاورزان (نه شرایط پتاسیل رشد) باشد، در کشور سابقه ندارد و از این رو می‌توان مطالعه‌ای دارای نوآوری دانست، مطالعه‌ای که می‌تواند راهکارهای مختلف صرفه‌جویی آب در استان را کنار هم مقایسه کند. بسیاری از مطالعات پیشین راهکارها را برای مثال برای یک گیاه یا یک منطقه یا بر اساس شرایط پتانسیل ارزیابی کرده‌اند یعنی سطح مطالعه بزرگ (استان) نبوده و برای تعداد زیادی از گیاهان نیز نبوده است یا چندین راهکار صرفه‌جویی آب به صورت یکپارچه و در کنار هم مقایسه نشده‌اند. حتی مطالعات یکپارچهٔ پیشین نیز تنها برای یکی از این راهکارها بوده است نه این تعداد راهکار که هر یک جداگانه و ترکیب با یکدیگر ارزیابی گردد. در اینجا باید اشاره شود که این مطالعه زیربنای مطالعات بعدی برای کاربرد این روش‌ها است. به عبارت دیگر، در مطالعهٔ حاضر ظرفیت کاهش آب آبیاری کاربردی استان برای هر یک از این روش‌ها برآورد شده و برای کاربرد این روش‌ها نیاز به مطالعات تکمیلی است. این ارزیابی بر اساس استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی است که بر اساس شرایط مزارع کشاورزان واسنجی‌شده است؛ این مورد نیز از نقطهٔ قوت مطالعهٔ حاضر است. در مطالعه حاضر مبنای تصمیم‌گیری جهت ارزیابی راهکارهای کاهش تقاضا برای آبیاری در استان فارس، حجم آب آبیاری کاربردی (خالص) در شرایط مزارع کشاورزان است که توسط میرزائی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2024b) با استفاده از سامانه SAWA (Mirzaei *et al.*, 2024a) برآورد شده است. اغلب مطالعات مشابه که با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی مثل Cropwat انجام شده است که برآوردها را برای شرایط مطلوب رشد یا پتانسیل ارائه می‌کند که به شرایط مزارع کشاورزان نزدیک نیستند.

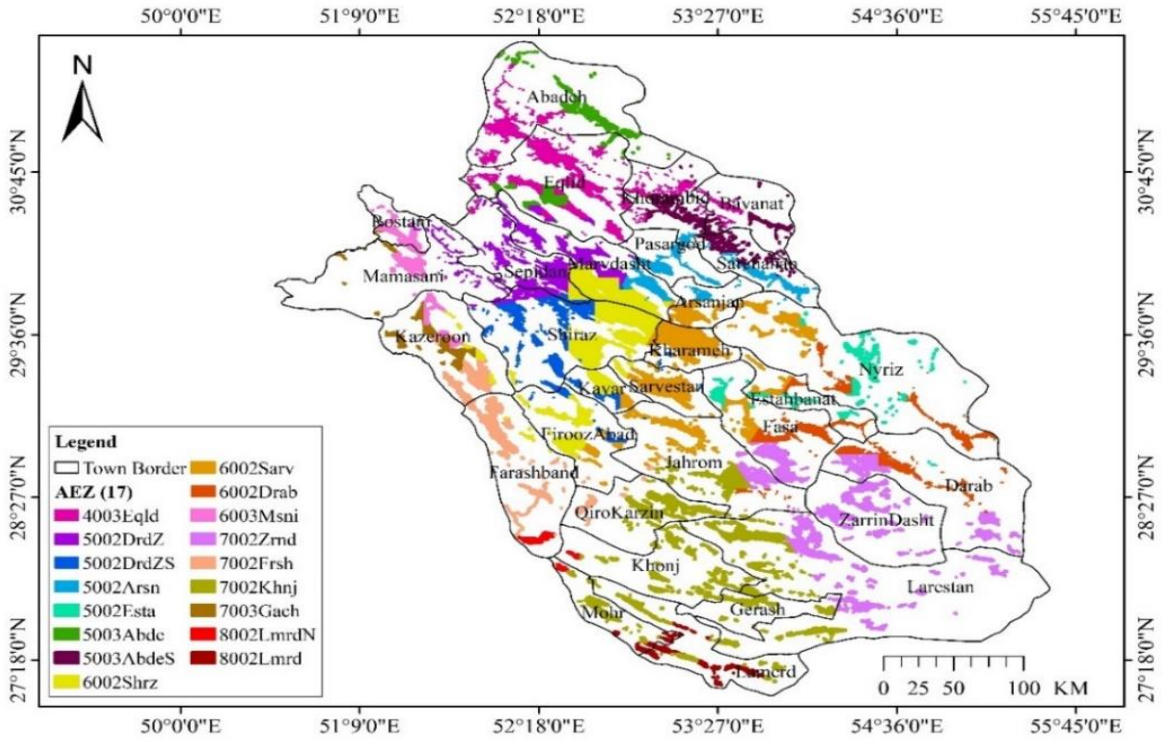
مواد و روش‌ها

محدودهٔ مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر استان فارس است که در جنوب غربی ایران واقع شده و یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در ایران است. بر اساس آخرین آمار منتشر شده، استان فارس از لحاظ سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی به ترتیب رتبه دوم و چهارم کشور را داراست (Ministry of Agriculture-Jihad, 2024). تولیدات کشاورزی این استان حدود ۱۳ میلیون تن در سال است و ۱۲ درصد تولیدات کشاورزی کشور را تشکیل می‌دهد (Ministry of Agriculture-Jihad, 2024).

روش‌شناسی مطالعه

به منظور ارزیابی راهکارهای سازگاری با کم‌آبی، از سامانهٔ استانی بیلان و حسابداری آب (SAWA[1]) استفاده شد که پیش از آن میرزائی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2024a,b) تهیه و ارزیابی کرده بودند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این سامانه، ارزیابی راهکارهای سازگاری با کم‌آبی است. برای این منظور در سامانهٔ SAWA زمین‌های کشاورزی استان فارس بر پایهٔ ویژگی‌های خاک و اقلیم به ۱۷ پهنه اگرواکولوژیک تقسیم‌بندی شده (شکل ۱) که مشخصات آنها در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۱- پهنه‌بندی اگرواکولوژیک زمین‌های کشاورزی آبی به دست آمده که بیش از ۹۰ درصد زمین‌های کشاورزی آبی استان را پوشش می‌دهد. هر رنگ نشان‌دهندهٔ یک پهنه اگرواکولوژیک است که با کد ۸ یا ۹ حرفی مشخص شده است.

Fig . 1 - Agroecological zoning (AEZ) of irrigated agricultural lands was obtained, covering more than 90 percent of the irrigated agricultural lands of the province. Each color represents an agroecological zone, which is identified by an 8- or 9-letter code.

[1] System for regional Agricultural Water balance and water Accounting

جدول ۱ - مشخصات پهنه‌های اگرواکولوژیک شناسایی‌شده که بیش از ۹۶ درصد زمین‌های کشاورزی آبی استان را در خود جای داده است (توضیحات بیشتر در مورد کدهای اقلیم و خاک به ترتیب به van Wart *et al.*, 2013 و Koo & Dimes, 2013 رجوع شود). ٤ درصد باقی‌مانده از سطح کل زمین‌های کشاورزی است که توسط سامانه پوشش داده نشده است.

Table 1 - Characteristics of the identified agroecological zones that cover more than 96 percent of the province's irrigated agricultural lands (For further details on climate and soil codes, see van Wart *et al.*, 2013 and Koo & Dimes, 2013, respectively.). The remaining 4 percent of the total agricultural land area is not covered by the system.

کد پهنه اگرواکولوژیک Agroecological zone code	مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی نماینده Characteristics of representative meteorological stations					کد اقلیم Climate code	کد خاک Soil code	سطح کشت در پهنه اگرواکولوژیک Cultivation area in the agroecological zone	
	نام Name	شناسه ID	طول Longitude	عرض Latitude	ارتفاع Elevation			(هکتار) (ha)	(درصد) (%)
6002Shrz	شیراز Shiraz	٤٠٨٤٨	٥٢/٦٠	٢٩/٥٤	١٤٨٤	٦٠٠٢	٥	123565	١٥
6002Sarv	سروستان Sarvestan	٩٩٥٩٧	٥٣/٢٢	٢٩/٢٨	١٥٥٩	٦٠٠٢	٥	111254	١٣
7002Khnj	خنج Khonj	٩٩٦٣٨	٥٣/٤٢	٢٧/٨٧	٦٧٤	٧٠٠٢	٥	٨٨٣٥٢	١٠
7002Zrnd	زرین‌دشت Zarrindasht	٩٩٥٩٠	٥٤/٤٣	٢٨/٣٧	١٠٢٩	٧٠٠٢	٥	٨١٠٠٦	١٠
4003Eqld	اقلید Eqlid	٤٠٨٢٨	٥٢/٦٨	٣٠/٨٧	٢٣٠٠	٤٠٠٣	٥	٧٢٨٩٨	٩
5002DrdZ	درودزن Dorodzan	٤٠٨٤٤	٥٢/٤٧	٣٠/١٨	١٦٥٠	٥٠٠٢	٥	٦٩٠٩٨	٨
6002Drab	داراب Darab	٤٠٨٦٢	٥٤/٣٠	٢٨/٧٩	١٠٩٨	٦٠٠٢	١٧	٥٢١٧٦	٦
5002DrdZS	درودزن Dorodzan	٤٠٨٤٤	٥٢/٤٧	٣٠/١٨	١٦٥٠	٥٠٠٢	٥	٤٥٠٣٤	٥
5002Arsn	ارسنجان Arsanjan	٩٩٥٧٩	٥٣/٢٨	٢٩/٩٤	١٧٠٣	٥٠٠٢	١٧	٣٦٢٠٤	٤
7002Frsh	فراشبند Farashband	٤٠٨٦٤	٥٢/١٢	٢٨/٨١	٧٨٢	٧٠٠٢	٥	٣٥٦٢٢	٤
5003Abde	آباده Abadeh	٤٠٨١٨	٥٢/٦١	٣١/٢٠	٢٠٣٠	٥٠٠٣	٥	٢٢٠٩٦	٣
6003Msni	ممسنی Mamasani	٩٩٥٨٠	٥١/٥٤	٣٠/٠٨	٩٧٢	٦٠٠٣	١٧	١٨٣٨٢	٢
7003Gach	گچساران Gachsaran	٤٠٨٣٥	٥٠/٨٠	٣٠/٣٠	٦٩٩/٥	٧٠٠٣	٥	١٤٨١٩	٢
5002Esta	استهبان Estahban	٩٩٦٠٧	٥٤/٠٥	٢٩/١٤	١٦٩٠	٥٠٠٢	١٤	١٤١٢٥	٢
5003AbdeS	آباده Abadeh	٤٠٨١٨	٥٢/٦١	٣١/٢٠	٢٠٣٠	٥٠٠٣	٥	١٢٩٥٣	٢
8002Lmrd	لامرد Lamerd	٨٨١٩٠	٥٣/٢٠	٢٧/٣٦	٤٠٥	٨٠٠٢	٥	٨٨٩٥	١
8002LmrdN	لامرد Lamerd	٨٨١٩٠	٥٣/٢٠	٢٧/٣٦	٤٠٥	٨٠٠٢	٥	٤٩٠٤	١
-	کل Total	-	-	-	-	-	-	٨١١٣٨٣	٩٦

مدل شبیه‌سازی مورد استفاده

هستهٔ مرکزی سامانه SAWA از یک مدل شبیه‌ساز گیاهی به‌نام SSM-iCrop2 تشکیل شده است که این مدل پیش‌تر در مطالعات متعددی در سطوح استانی، کشوری و بین‌المللی استفاده شده است (Dadrasi *et al.*, 2020؛ Nehbandani *et al.*, 2023؛ Soltani *et al.*, 2020a,b؛ Keramat *et al.*, 2023؛ Mohammadi *et al.*, 2022؛ Pourshirazi *et al.*, 2023؛ Mirzaei *et al.*, 2024a,b ؛ Jafarnodeh *et al.*, 2024). این مدل به دلیل ساده‌بودن و منبع بازبودن[1] این امکان را برای متخصصان مدل‌سازی گیاهی به وجود می‌آورد تا با تغییرات در کدها یا افزودن پارامترهای گیاهی آن را برای هدف‌های خاص تهیه کنند. بر همین اساس، میرزائی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2024b) در ابتدا بر پایهٔ داده‌های عملکرد (میانگین ۵ ساله ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰: Agricultural Jihad Organization of Fars Province, 2023) مدل را برای ۳۵ گیاه مهم استان تحت شرایط کشاورزان واسنجی کردند، به‌طوری‌که عملکرد پیش‌بینی‌شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مطالعات مطابقت داشته باشد. این محققان سه پارامتر مدل را که بیش از دیگر پارامترها در شرایط کشاورز تحت تأثیر قرار می‌گیرند تغییر دادند. این پارامترها عبارت‌اند از LAI_{max}: حداکثر شاخص سطح برگ گیاه ، IRUE: راندمان استفاده از تشعشع و HI_{max}: حداکثر شاخص برداشت. در مزارع کشاورزان آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرزی که وجود دارند یا سطح برگ گیاه (زراعی یا باغی) را کاهش می‌دهند که در LAI_{max} دیده شده است، یا روی کلروفیل و یا کلروپلاست‌ها تأثیر منفی دارند که در شاخص IRUE دیده شده است، یا روی میوه و دانه‌ها تأثیر منفی می‌گذارند که در شاخص HI_{max} دیده شده است. با تغییر این سه شاخص و واسنجی آن با عملکرد و آب آبیاری اندازه‌گیری شدهٔ واقعی در مزارع، مدل برای شرایط مزارع کشاورزان واسنجی گردید. برای شبیه‌سازی‌ها از آمار هواشناسی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ استفاده شد . باید گفت عملکرد و حجم آب کاربردی شبیه‌سازی شده توسط مدل کالیبره شده در مقابل همین متغیرها در شرایط واقعی کشاورزان از مطابقت بالایی برخوردارند (برای جزئیات بیشتر به Mirzaei *et al.*, 2024a,b; Soltani *et al.*, 2022; Jafarnode *et al.*, 2024 مراجعه شود). مدل حجم آب آبیاری کاربردی (خالص) را برای هریک از گیاهان در هریک از پهنه‌ها برآورد کرد. با استفاده از نرم‌افزار GIS سهم هریک از پهنه‌ها در استان مشخص گردید و بر اساس آن میانگین استانی حجم آب آبیاری کاربردی (خالص) در واحد سطح (هکتار) محاسبه شد (جدول ۲: این مقادیر میانگین حجم آب آبیاری کاربردی خالص برای کل استان است، طبیعتاً برای هر گیاه در هر پهنه عددی متفاوت است که در این‌جا آورده نشده است؛ برای جزئیات بیشتر در مورد نحوهٔ محاسبه به Mirzaei *et al.*, 2024a رجوع شود). سپس با تهیهٔ یک فایل داشبورد در اکسل، با استفاده از میانگین ۵ ساله سطح زیرکشت کنونی (هکتار)، حجم آب کاربردی خالص سالیانه هر گیاه (میلیون مترمکعب در سال) در استان برآورد شد. در مطالعهٔ حاضر، منظور از حجم آب آبیاری کاربردی میزان آب آبیاری خالص (نه ناخالص) با لحاظ‌کردن بارش مؤثر است در شرایط کشاورزان. لازم است گفته شود به دلیل تعدد گیاهان و ارائهٔ بهتر نتایج، این گیاهان در ۱۶ گروه گیاهی/گیاه قرار گرفتند (جدول ۲).

[1] Open Source

جدول ۲. میانگین ۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) سطح زیر کشت (هکتار)، عملکرد (کیلوگرم در هکتار) (Agricultural Jihad Organization of Fars Province. 2023) و حجم آب کاربردی خالص (مترمکعب بر هکتار) محصولات گیاهی آبی در استان فارس.

Table 2. 5-year average (2017 to 2021) cultivated area (hectares), yield (kilograms per hectare) (Agricultural Jihad Organization of Fars Province. 2023) and applied water (m^3 per hectare) of irrigated plant crops in Fars Province.

نام گیاه Crop	گروه گیاهی Crop Gruop	سطح کشت (ha) Area		عملکرد (kg/ha) Yeild	آب کاربردی خالص (m^3/ha) Net applied water
		مثمر Fruitfull	غیرمثمر* Unfruitfull*		
گندم Wheat	گندم Wheat	۲۸۹۲۴۵/۸	–	۴۷۰۴	۲۵۲۳
جو Barley	جو Barley	۶۲۸۴۰/۲	–	۳۴۹۶	۱۷۲۹
یونجه Alfalfa	یونجه Alfalfa	۳۳۰۱۶/۷	–	۱۱۰۴۶	۷۵۷۵
ذرت علوفه‌ای Fodder corn	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	۲۸۷۷۳/۲	–	۶۴۱۱۹	۷۳۰۲
برنج Rice	برنج Rice	۲۵۳۷۴	–	۴۸۶۵	۱۴۴۸۹
لوبیا Bean	حبوبات گرمادوست Warm season legumes	۲۴۸۹۰	–	۱۷۶۴	۴۷۱۲
پنبه Cotton	گیاهان روغنی گرمادوست Cool season oil plants	۱۶۵۰۴/۱	–	۳۲۴۴	۷۵۹۶
ذرت دانه‌ای Grain corn	ذرت دانه‌ای Grain corn	۱۴۳۴۵/۴	–	۸۹۴۶	۷۱۵۴
چغندرقند Sugarbeet	چندرقند Sugarbeet	۱۲۹۱۴/۳	–	۵۲۱۸۴	۷۹۶۲
کلزا Rapeseed	گیاهان روغنی سرمادوست Cool season oil plants	۱۰۹۴۰/۷	–	۲۰۸۹	۱۹۵۵
کنجد Seasem	گیاهان روغنی گرمادوست Warm season oil plants	۸۹۷۰	–	۱۱۹۱	۵۲۶۸
سیب‌زمینی Patato	سیب‌زمینی Patato	۸۴۸۶/۲	–	۴۱۸۷۸	۶۲۹۸
نخود Chickpea	حبوبات سرمادوست Cool season legumes	۲۰۷۱/۱	–	۱۸۸۴	۱۹۶۷
عدس Lentil	حبوبات سرمادوست Cool season legumes	۱۹۷۸/۳	–	۲۰۳۹	۳۱۳۰
مرکبات Citrus	درختان گرمادوست Warm season trees	۵۴۴۲۶/۴	۸۷۶۳	۱۹۲۰۸	۹۳۴۶
انگور Grape	درختان سرمادوست Cool season trees	۳۱۸۵۵	۱۳۱۲	۱۷۵۳۴	۷۰۹۵
نخل Date	درختان گرمادوست Warm season trees	۳۰۹۱۳	۳۳۵۰/۸	۶۳۹۶	۲۳۶۵۱
سیب Apple	درختان سرمادوست Cool season trees	۲۸۲۶۶/۲	۲۲۴۱/۴	۱۷۰۴۶	۵۱۷۱
انار Pomegranate	درختان سرمادوست Cool season trees	۲۱۷۲۷/۶	۱۶۶۲/۴	۱۶۳۲۸	۱۰۱۶۰
پسته Pistachio	درختان سرمادوست Cool season trees	۲۰۹۰۳/۱	۸۴۴۳	۹۶۱	۳۲۴۹
گردو Walnut	درختان سرمادوست Cool season trees	۷۵۷۲/۴	۶۶۲/۸	۱۹۷۶	۴۳۵۸
بادام	درختان سرمادوست	۷۵۱۶/۳	۱۲۴۳/۶	۱۴۸۱	۳۳۳۲

نام گیاه Crop	گروه گیاهی Crop Gruop	سطح کشت (ha) Area		عملکرد (kg/ha) Yeild	آب کاربردی خالص (m^3/ha) Net applied water
		غیرمثمر* Unfruitfull*	مثمر Fruitfull		
Almond	Cool season trees				
زیتون	درختان سرمادوست	۲۵۳۵/٤	۷۳۸٤/٤	۲٦٤۲	۷۹۷٤
Olive	Cool season trees				
هلو	درختان سرمادوست	۳۰٤/۲	۳۷۷۳/۱	۱۰۷۹۱	٤۲۹۳
Peach	Cool season trees				
به	درختان سرمادوست	٥۲٦/٦	۳۲۸۸/٤	۱۳۸۹۳	٤۰۸٤
Quince	Cool season trees				
زردآلو	درختان سرمادوست	۳۱٥/٤	۲٤۹۳/٤	۱۰۹٤٦	۳۹۹۸
Apricot	Cool season trees				
آلو	درختان سرمادوست	۲٤۳/٤	۲۳٤۰	۸۹٦۱	۳۲۲۸
Plum	Cool season trees				
انجیر	درختان گرمادوست	۱۰٤۹/۲	۱٦۸۸/۳	٤۷۹۰	٦۰۹٤
Fig	Warm season trees				
گوجه‌فرنگی	سبزی‌وصیفی	–	۱٥۲٥۱/۳	٦۲۳٤٦	۷٥۷۳
Tomato	Vegetable				
هندوانه	سبزی‌وصیفی	–	۱۳۸۹۹/۰	٤٦۸۰۷	٦٥۰٥
Watermelon	Vegetable				
خربزه	سبزی‌وصیفی	–	۸۱۷۹/۲	۳۰۱۲٦	٤۹٦٤
Melon	Vegetable				
پیاز	سبزی‌وصیفی	–	٥٥٥۷	٥۷۳٦۰	۷۳۷۳
Onion	Vegetable				
خیار	سبزی‌وصیفی	–	٤۸۲٤/۲	۲۲۱٦۳	۳۳۲۷
Cucumber	Vegetable				
گرمک	سبزی‌وصیفی	–	۱٥٦۸/۳	۲٦٦٥۱	٤۷۲۰
Cantaloupe	Vegetable				
بادمجان	سبزی‌وصیفی	–	۱٤٥٥/٤	۳۱۲٤۰	٤۸۳۷
Aubergine	Vegetable				
سایر زراعی	سایر	–	۷۳۰۹۸/۹	۸۹۷۰/۱	–
Other crops	Other				
سایر سبزی-صیفی	سایر	–	۱۱٥۰٥/٤	۱۳٤٦٦/٤	–
Other vegetables	Other				
سایر گیاهان باغی	سایر	۱۳٤۲/٤	۱۰۰٤۰/۳	٥٥۰۰/٦	–
Other garden crops	Other				
سایر گیاهان گلخانه‌ای	سایر	–	٥۱۳/۸	۱۸٤۱٥۷/۳	–
Other greenhouse crops	Other				
کل Total	–	۳۳۹۹٥/٦	۹۱۰۳۹۰/۹	–	–

*غیرمثمر: منظور باغ‌هایی است که به‌تازگی احداث شده‌اند و هنوز درختانشان به باردهی و میوه‌دهی نرسیده باشد.

*Unfruitfill: It means gardens that have just been built and the trees have not yet reached fruiting and fruiting.

سپس در سامانهٔ SAWA، الگوی کشت فعلی بر اساس عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، میزان آب آبیاری کاربردی (مترمکعب در هکتار)، سطح زیر کشت (میانگین ۵ ساله: ۱۳۹۶-۱۴۰۰؛ Agricultural Jihad Organization of Fars, Province. 2023)، و قیمت محصولات (سال ۱۴۰۰؛ Statistical Center of Iran, 2023) با هدف سازگاری با کم‌آبی (حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری) بهینه‌سازی گردید که جزییات و نتایج آن طی مطالعه‌ای جداگانه توسط میرزائی

و همکاران (Mirzaei *et al*., 2024c) ارائه شده است. تابع هدف در مدل بهینه‌سازی تهیه شده برای زمین‌های کشاورزی آبی استان فارس با رویکرد سازگاری با کم‌آبی و دستیابی به هدف‌های کشاورزی پایدار تدوین شده است. برای این منظور، سعی شد تا علاوه بر کاهش آب مصرفی مزارع کشاورزان، برخی از اصول کشاورزی پایدار مانند حفظ گیاهان چندساله و دائمی (تخفیف پیامدهای تغییر اقلیم، افزایش ترسیب کربن و حفظ تنوع زیستی) و حفظ بقولات (افزایش تثبیت بیولوژیک نیتروژن) نیز رعایت شود. بنابراین، پس از تهیهٔ اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله و تعیین محدودیت‌های موجود در استان، مسئله بهینه‌سازی الگوی کشت زمین‌های کشاورزی آبی استان فارس به صورت زیر فرمول‌بندی گردید:

تابع هدف طبق معادلهٔ (۱) بیان می‌شود:

$$\text{Min (Z)} = \sum_1^n WI_i X_i \qquad \text{معادلهٔ (۱)}$$

که در این معادله Z، WI و X به ترتیب میزان آب آبیاری کاربردی خالص سالیانه (میلیون مترمکعب در سال)، آب آبیاری کاربردی خالص هر گیاه (مترمکعب در هکتار)، سطح زیرکشت هرگیاه (هکتار) است. بنابراین تابع هدف در این مطالعه حداقل‌سازی مصرف آب در مزارع کشاورزان است. منظور از مصرف آب، حجم آب آبیاری کاربردی در شرایط مزارع کشاورزان در کل استان است. در بهینه‌سازی یک سری محدودیت‌ها به شرح زیر در افزونه Solver تعریف و در مدل 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)، و بقولات در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت کنونی آن‌ها کمتر نباشد. شرط حفظ سطح زیر کشت این سه گروه از این جهت گذاشته شد که گیاهان دائمی و بقولات نقش مهمی در پایداری کشاورزی (تخفیف پیامدهای تغییر اقلیم، حفظ تنوع زیستی، حفاظت از خاک و منابع آب) دارند.

برای هریک از محصولات یک حداقل و حداکثر سطح زیرکشت به شرح زیر در نظر گرفته شد:

- حداقل و حداکثر سطح زیر کشت گندم به‌ترتیب ۷۰ درصد و ۲/۵ برابر سطح زیر کشت کنونی باشد.
- حداقل سطح زیر کشت برنج ۲۰ درصد سطح زیر کشت و حداکثر آن همین مقدار باشد که هست.
- حداقل و حد اکثر سطح زیر کشت دیگر گیاهان به‌ترتیب ۴۰ درصد و ۲/۵ برابر سطح زیر کشت کنونی باشد.

به این صورت هیچ یک از گیاهان موجود در فهرست گیاهان استان در الگوی کشت بهینه حذف نمی‌شود و این میزان تغییرات در الگوی بهینه طوری است که در یک دورهٔ زمانی کوتاه قابل اجراست.

برای اینکه در بهینه‌سازی الگوی کشت اشتباهی روی ندهد و گیاهان تابستانه یا زمستانه به‌جای یکدیگر کشت نشوند، این شرط لحاظ شد که سطح زیرکشت گیاهان زمستانه و همین‌طور سطح زیرکشت گیاهان تابستانه در الگوی کشت بهینه از سطح زیرکشت فعلی آن‌ها بیشتر نباشد.

در مطالعه حاضر، میزان صرفه‌جویی آب آبیاری کاربردی (خالص) در الگوی بهینه برآورد گردید و با مقدار آب آبیاری کاربردی (خالص) در الگوی کشت کنونی مقایسه شد. پس از آن برای هر دو الگوی کشت کنونی و بهینه میزان صرفه‌جویی آب آبیاری کاربردی (خالص) برای شرایط (۱) استفاده از مالچ‌کلش در کل گیاهان استان به جز برنج و

یونجه (۲) استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی، (۳) تبدیل کشت غرقابی برنج به کشت برنج هوازی و (۴) انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه برآورد و مقایسه گردید.

یکی از راه‌های اصلی کاهش مصرف آب، ایجاد پوشش مناسب روی خاک است تا از تبخیر آب آبیاری جلوگیری کند. در کشاورزی حفاظتی، از گیاه پوششی، مالچ کاه وکلش، کود سبز یا روش‌های دیگر استفاده می‌شود تا علاوه بر فوایدی که برای حفاظت از تنوع زیستی، بهبود ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن دارد، از هدرروی آب به صورت تبخیر نیز جلوگیری می‌کند. در این مطالعه فرض شد که با استفاده از گیاه پوششی، مالچ کاه وکلش، کود سبز یا روش‌های دیگر، پوششی در سطح خاک ایجاد شود که آن پوشش معادل ۲ تن مالچ کاه وکلش باشد. این ۲ تن مالچ کاه وکلش برای تمامی گیاهان استان به جز برنج و یونجه در مدل تعریف شد. در باغ‌ها نیز این پوشش را می‌توان با استفاده از کشت گیاهان پوششی یا کود سبز در بین درختان ایجاد کرد. طول عمر این مالچ کلش ۱۸۰ روز در نظر گرفته شد یعنی در مدت ۱۸۰ روز مالچ‌کلش تجزیه می‌شود و از بین می‌رود. به منظور ارزیابی تأثیر مالچ کاه و کلش در مدل شبیه‌ساز تولید گیاهی، ابتدا مقدار مالچ‌کلش به درصد پوشش زمین تبدیل و سپس تأثیر آن بر رشد، عملکرد و حجم آب آبیاری کاربردی بررسی می‌شود. مالچ‌کلش باعث کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود به دو دلیل: یکی اینکه پوششی است که روی سطح خاک ایجاد می‌کند و دیگری کاهش حداقل تبخیری است که از خاک صورت می‌گیرد. علاوه بر این، مالچ‌کلش موجب افزایش برگاب، کاهش رواناب و افزایش آلبیدوی خاک می‌شود. آلبیدوی خاک معمولاً ۱۴ یا ۱۵ است (Soltani and Sinclair, 2012). در این مطالعه، آلبیدوی مالچ‌کلش ۲۳ در نظر گرفته شد که باعث می‌شود تشعشع بیشتری منعکس گردد که خود تبخیر و تعرق را کاهش می‌دهد.

در ارتباط با کاربرد سایبان، در این مطالعه فرض شد که در باغ‌های میوه و مزارع سبزی‌وصیفی در سطح استان از ۳۱ اردیبهشت تا ۳۱ شهریور سایبان‌هایی مستقر گردد. فرض شد این سایبان‌ها (۱) ورود پرتوهای خورشیدی را ۵۰ درصد و (۲) دمای حداکثر در وسط روز را ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد (Gindaba and Wand, 2005)، و (۳) دمای حداقل در شب را ۲/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهد. این اثرها در مدل شبیه‌ساز گیاهی برای درختان میوه و مزارع سبزی‌وصیفی تعریف گردید.

در ارتباط با تبدیل کشت غرقابی به کشت هوازی برنج دو سناریو بر اساس تحقیقات سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2024) تعریف شد، سناریو برنج هوازی یک: ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد بر واحد دمایی مورد نیاز از زمان کاشت تا برداشت بذر نسبت به برنج غرقابی (نظام کشت فعلی) افزوده شد (یعنی به اندازهٔ تعداد واحد دمایی مورد نیاز از کاشت بذر برنج در خزانه تا زمان انتقال نشاها به زمین اصلی)، دمای پایه ۸ درجه‌سانتی‌گراد، عمق مؤثر استخراج آب توسط ریشه برابر با ۷۵ سانتی‌متر و زمان آبیاری پس از تخلیهٔ ۴۰ درصد از رطوبت خاک در نظر گرفته شد. سناریو برنج هوازی دو: واحد دمایی مورد نیاز از زمان کاشت بذر تا برداشت معادل نشاکاری تا برداشت در نظام کشت فعلی (با استفاده از ارقام زودرس‌تر نسبت به ارقام کنونی)، عمق مؤثر استخراج آب توسط ریشه برابر با ۷۵ سانتی‌متر و آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد از رطوبت خاک در نظر گرفته شد. پس از آن فرض شد که از هر یک از سناریوهای یک و دو به‌طور مساوی در زمین‌های زیر کشت برنج استفاده می‌شود. بر همین اساس از معدل عملکرد و آب آبیاری کاربردی سناریوی یک و دو برای محاسبات بعدی استفاده شد.

در ارتباط با انتقال تولید سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه، در این مطالعه فرض شد که همان مقدار سبزی‌وصیفی که در مزرعه تولید می‌شود، در گلخانه تولید گردد و تولید در مزرعه متوقف شود. در وضعیت کنونی سطح

زیرکشت و تولید سبزی و صیفی در استان به ترتیب برابر با ۵۰۷۳۲ هکتار و ۲ میلیون و ۳۶۱ هزار تن است. در اینجا فرض شد که همین میزان تولیدات در گلخانه تولید شود، میزان صرفه‌جویی آب حاصل از آن برآورد شد. برای مثال، فرض کنید که ۱۰۰ هکتار زمین در فضای باز زیرکشت گوجه فرنگی می‌رود و هر هکتار ۸۵ تن محصول می‌دهد، میزان کل تولیدات در این شرایط ۸۵۰۰ تن خواهد بود. اگر در یک هکتار گلخانه ۲۵۰ تن به‌دست آید، ۳۴ هکتار گلخانه لازم خواهد بود تا همین مقدار گوجه فرنگی به‌دست آید. یعنی به جای ۱۰۰ هکتار مزرعه، ۳۴ هکتار گلخانه گوجه فرنگی احداث می‌گردد که تولید یکسانی ایجاد شود. در این حالت آب و زمین مازاد کنار گذاشته می‌شود که یک ظرفیت در کاهش آبیاری ایجاد می‌کند. در شرایط کنونی تولید هر تن سبزی‌وصیفی در مزرعه و گلخانه در استان فارس به ترتیب به ۱۳۵ و ۶۰ متر مکعب آب نیاز دارد (Soltani *et al.*, 2019).

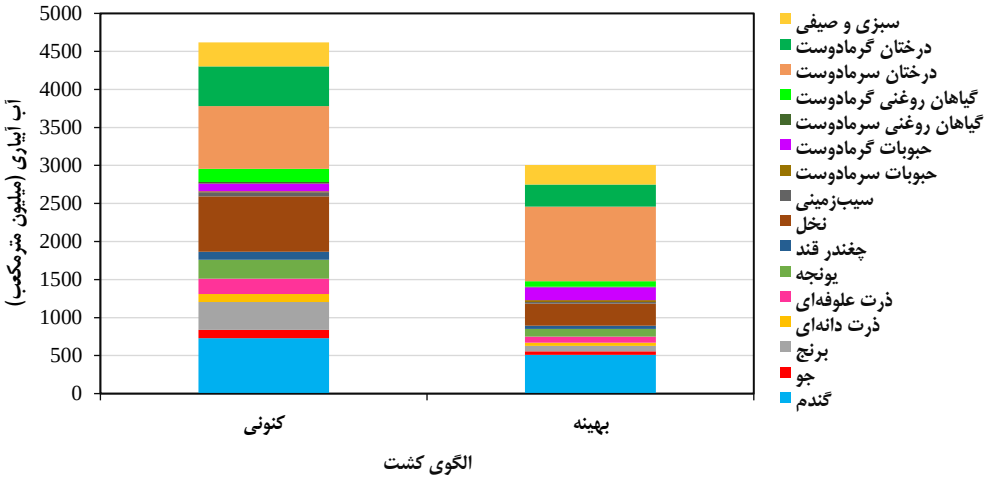
نتایج مطالعه

تأثیر بهینه‌سازی الگوی کشت بر حجم آب کاربردی

بهینه‌سازی الگوی کشت باعث تغییراتی در حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان نسبت به الگوی کشت کنونی می‌شود. حجم آب آبیاری کاربردی استان برای الگوی کشت کنونی با استفاده از سیستم SAWA برابر با ۴۶۱۹ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد (خالص: بدون در نظر گرفتن راندمان آبیاری و توزیع غیریکنواخت). بیشترین سهم حجم آب آبیاری در الگوی کشت کنونی استان به‌ترتیب از این قرار است: درختان سرمادوست ۸۲۵ میلیون مترمکعب در سال (۱۸ درصد)، نخل ۷۳۱ میلیون مترمکعب در سال (۱۶ درصد)، گندم ۷۳۰ میلیون مترمکعب در سال (۱۶ درصد)، درختان گرمادوست ۵۱۹ میلیون مترمکعب در سال (۱۱ درصد)، برنج ۳۶۸ میلیون مترمکعب در سال (۸ درصد)، سبزی‌وصیفی ۳۱۸ میلیون مترمکعب در سال (۷ درصد)، یونجه ۲۵۰ میلیون مترمکعب در سال (۵ درصد)، ذرت علوفه‌ای ۲۰۳ میلیون مترمکعب در سال (۴ درصد)، گیاهان روغنی گرمادوست ۱۷۳ میلیون در سال (۴ درصد)، جو ۱۰۹ میلیون مترمکعب در سال (۲ درصد)، حبوبات گرمادوست ۱۰۴ میلیون مترمکعب در سال (۲ درصد)، چغندرقند ۱۰۳ میلیون مترمکعب در سال (۲ درصد)، ذرت دانه‌ای ۱۰۳ میلیون مترمکعب در سال (۲ درصد)، سیب‌زمینی ۵۳ میلیون مترمکعب در سال (۱ درصد)، گیاهان روغنی سرمادوست ۲۱ میلیون مترمکعب در سال (کمتر از یک درصد) و حبوبات سرمادوست (کمتر از یک درصد) (شکل ۲).

در الگوی کشت بهینه حجم آب آبیاری از ۴۶۱۹ به ۳۰۰۷ میلیون مترمکعب در سال در سطح استان کاهش (معادل ۳۵ درصد) پیدا می‌کند. در الگوی کشت بهینه، میزان حجم آب آبیاری استان برای این محصولات محاسبه شده است: درختان سرمادوست ۹۸۴ میلیون مترمکعب در سال (۳۳ درصد)، گندم ۵۱۱ میلیون مترمکعب در سال (۱۷ درصد)، نخل ۲۹۲ میلیون مترمکعب در سال (۱۰ درصد)، درختان گرمادوست ۲۸۸ میلیون مترمکعب در سال (۱۰ درصد)، سبزی‌وصیفی ۲۵۹ میلیون مترمکعب در سال (۹ درصد)، حبوبات گرمادوست با ۱۶۸ میلیون مترمکعب در سال (۶ درصد)، یونجه ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال (۳ درصد)، ذرت علوفه‌ای ۸۱ میلیون مترمکعب در سال (۳ درصد)، برنج ۷۴ میلیون مترمکعب در سال (۲ درصد)، گیاهان روغنی گرمادوست ۶۹ میلیون مترمکعب در سال (۲ درصد)، جو ۴۳ میلیون مترمکعب در سال (۱ درصد)، چغندرقند ۴۱ میلیون مترمکعب در سال (۱ درصد)، ذرت دانه‌ای ۴۱ میلیون مترمکعب در سال (۱ درصد)، حبوبات سرمادوست ۲۶ میلیون مترمکعب در سال (۱ درصد) و گیاهان روغنی سرمادوست ۹ میلیون مترمکعب در سال (کمتر از ۱ درصد).

میزان تولیدات گیاهی در الگوی کشت کنونی بیش از ۱۰ میلیون تن در سال است که بهینه‌سازی الگوی کشت باعث می‌شود تا با کاهش حجم آب آبیاری کل استان به‌میزان ۳۵ درصد نسبت به الگوی کشت کنونی، تولید محصول به حدود ۷ میلیون تن در سال برسد. این در حالی است که سود ناخالص اقتصادی در اثر بهینه‌سازی الگوی کشت تغییری پیدا نمی‌کند (۱۰۱۱ هزار میلیارد ریال). به بیان دیگر، در الگوی کشت بهینه ترکیب گیاهان نسبت به الگوی کشت کنونی تغییر پیدا می‌کند به طوری که در الگوی کشت بهینه سهم گیاهان آب بر و با سود ناخالص اقتصادی کم نسبت به گیاهان کم آب‌بر و با سود ناخالص اقتصادی زیاد، کاهش می‌یابد. البته در این راه مقداری از سطح زیرکشت و به دنبال آن بخشی از تولیدات گیاهی از دست داده خواهد رفت که باید با برنامه‌ریزی در سطح کشور و کشت آن گیاهان در استان‌های با مزیت اقتصادی بالاتر و نیز تنظیم واردات- صادرات این کاهش جبران شود.



شکل ۲- تاثیر بهینه‌سازی الگوی کشت بر حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان فارس. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA و بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) است. رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هر گیاه یا هرگروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند.

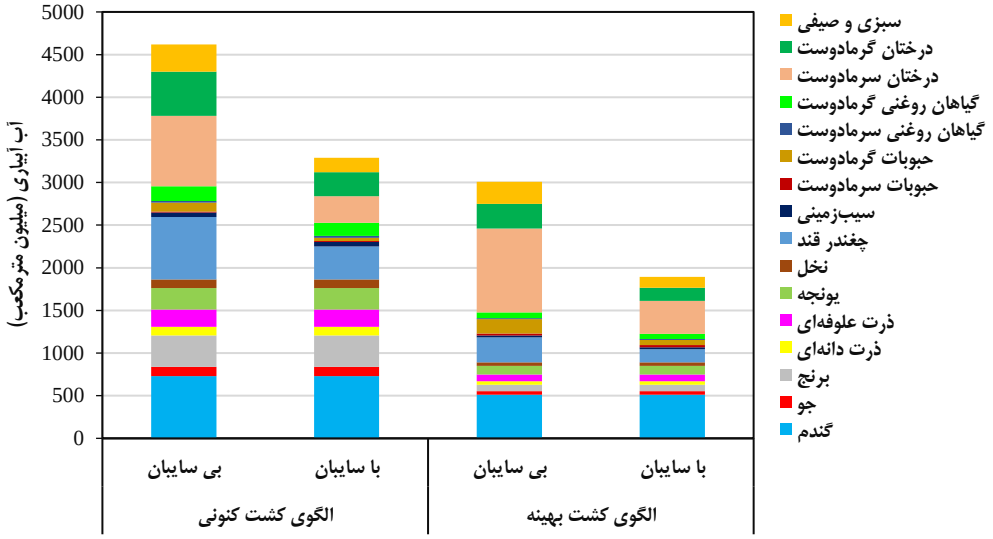
Fig. 2- The Impact of cropping pattern optimization on the Fars province agricultural applied water. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other.

تأثیر استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی بر حجم آب کاربردی

نتایج بررسی‌ها نشان داد که کاربرد سایبان در الگوی کشت کنونی باعث می‌شود تا حجم آب آبیاری کاربردی گیاهان از ۴۶۱۹ به ۳۲۸۸ میلیون مترمکعب در سال کاهش یابد (معادل ۲۹ درصد کاهش)، اما استفاده از سایبان در الگوی کشت بهینه باعث خواهد شد تا حجم آب آبیاری کاربردی از ۳۰۰۷ به ۲۲۹۴ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کند (معادل ۲۴ درصد کاهش) (شکل ۳). دلیل کاهش بیشتر حجم آب آبیاری کاربردی در الگوی کشت کنونی نسبت به الگوی کشت بهینه این است که در الگوی کشت کنونی سطح زیرکشت بیشتری به سبزی‌وصیفی و درختان میوه تعلق دارد.

میزان تولیدات گیاهی در الگوی کشت کنونی برابر با ۱۰۳۵۰ هزارتن در سال است که با استفاده از سایبان به ۸۶۲۹ هزارتن در سال کاهش پیدا می‌کند (کاهشی معادل ۱۷ درصد). میزان تولیدات گیاهی در الگوی کشت بهینه برابر با ۷۰۰۳ هزارتن در سال است که در پس از استفاده از

سایبان به ۵۴۰۶ هزارتن در سال کاهش پیدا می‌کند (کاهشی معادل ۲۳ درصد). استفاده از سایبان در الگوی کشت کنونی سود ناخالص اقتصادی را از ۱۰۱۱ به ۷۴۳ هزار میلیارد ریال کاهش می‌دهد(کاهشی معادل ۲۶ درصد) درحالی که استفاده از سایبان در الگوی کشت بهینه سود ناخالص را از ۱۰۱۱ به ۶۶۷ هزار میلیارد ریال می‌رساند (کاهشی معادل ۳۴ درصد). دلیل کاهش میزان تولیدات گیاهی و سود ناخالص اقتصادی در الگوی کشت کنونی و بهینه، کاهش عملکرد در اثر استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی است (در اینجا باید اشاره شود که در این مطالعه هزینه‌های مرتبط با احداث سایبان لحاظ نشده است).



شکل ۳- تاثیر کاربرد سایبان (کاهش ۵۰ درصد در عبور پرتوهای خورشیدی) بر حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان در الگوی کشت کنونی و بهینه. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) است (سایبان برای گیاهان گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای، برنج، پنبه، ذرت دانه‌ای، چغندرقند، سیب‌زمینی، نخود، عدس، پیاز و کلزا تعریف نشد). رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هر گیاه یا هرگروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند.

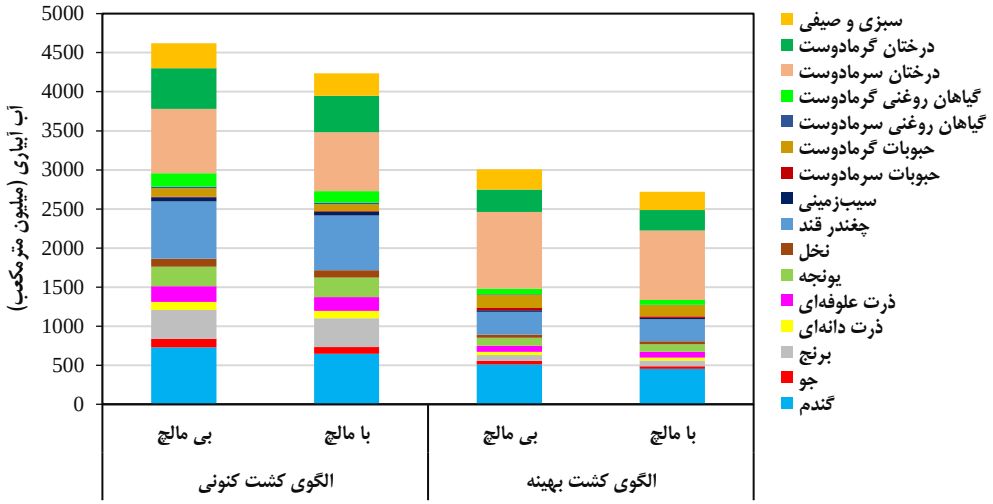
Fig. 3- The impact of the use of shade net (50% radiation deficit) on the Fars province agricultural applied water in the current and optimal cropping patterns. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). (shade net was not defined for wheat, barley, alfalfa, foliage corn, rice, cotton, grain corn, sugarbeet, potato, chickpea, lentil, onion and canola.). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other.

تأثیر استفاده از مالچ‌کلش بر حجم آب کاربردی

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از مالچ‌کلش (خاک‌ورزی حفاظتی) در الگوی کشت کنونی باعث خواهد شد تا حجم آب آبیاری کاربردی از ۴۶۱۹ به ۴۲۳۵ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کند (معادل ۸ درصد کاهش) اما استفاده از مالچ‌کلش در الگوی کشت بهینه باعث می‌گردد تا حجم آب آبیاری کاربردی گیاهان استان از ۳۰۰۷ به ۲۷۱۵ میلیون مترمکعب در سال کاهش یابد (معادل ۱۰ درصد کاهش) (شکل ۵). دلیل این کاهش آن است که در الگوی کشت بهینه سطح زیرکشت درختان افزایش پیدا می‌کند و بنابراین اثربخشی استفاده از مالچ‌کلش در صرفه‌جویی مصرف آب آبیاری کاربردی در الگوی کشت بهینه اندکی بیشتر است تا در الگوی کشت کنونی.

میزان تولیدات گیاهی در الگوی کشت کنونی برابر با ۱۰۳۵۰ هزارتن در سال است که در استفاده از مالچ‌کلش تغییر پیدا نمی‌کند. در الگوی کشت بهینه نیز استفاده از مالچ‌کلش میزان تولیدات گیاهی دچار تغییر نمی‌شود (۷۰۰۳ هزارتن در سال). در همین راستا، استفاده از

مالچ‌کلش سود ناخالص اقتصادی در الگوی کشت کنونی و بهینه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۱۰۱۱ هزار میلیارد ریال) (باید به این نکته اشاره شود که در مطالعهٔ حاضر هزینه‌های مرتبط با خرید یا تهیهٔ مالچ‌کلش یا دیگر هزینه‌های اداوات و ماشین‌آلات در محاسبات لحاظ نشده است).



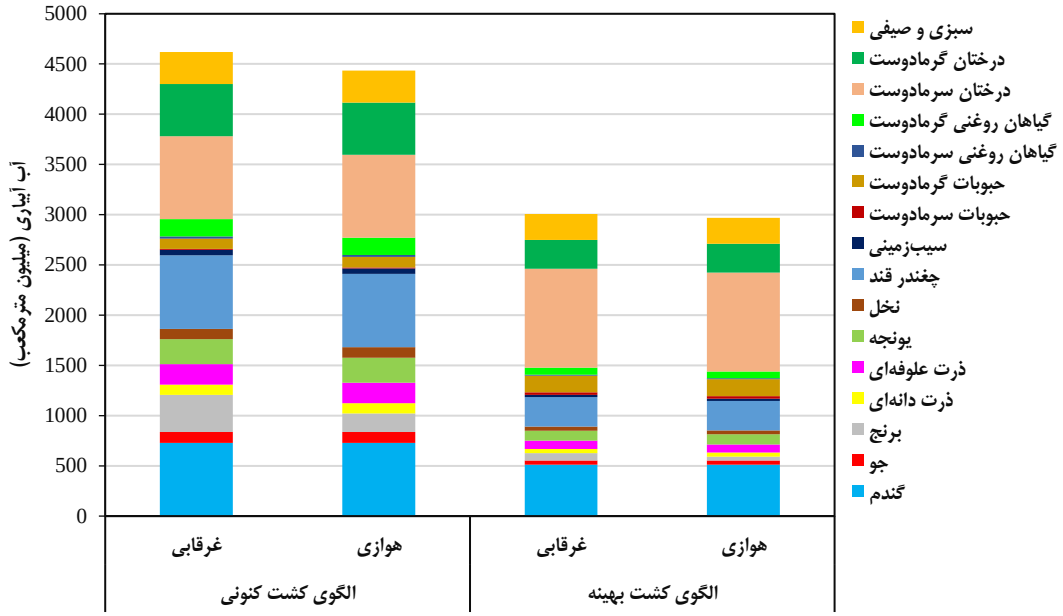
شکل ٤- تاثیر مالچ‌کلش بر حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان فارس در الگوی کشت کنونی و بهینه. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA و بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱٤۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹٦ تا ۱٤۰۰) است. رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هر گیاه یا هر گروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند.

Fig. 4 - The effect of mulch on on the Fars province agricultural applied water in the current and optimal cropping patterns. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other.

تأثیر تغییر نظام کشت غرقابی برنج به هوازی بر حجم آب کاربردی

نتایج تحقیق نشان داد که تبدیل کشت غرقابی به هوازی برنج در الگوی کشت کنونی باعث خواهد شد تا حجم آب آبیاری کاربردی از ۴۶۱۹ به ۴۴۳۴ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کند (کاهشی معادل ۴ درصد). اما تبدیل کشت غرقابی به هوازی برنج در الگوی کشت بهینه باعث می‌شود تا حجم آب آبیاری از ۳۰۰۷ به ۲۹۷۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش یابد (کاهشی معادل ۱ درصد) (شکل ۵) و دلیل آن هم این است که در الگوی کشت بهینه سطح زیرکشت برنج کاهش پیدا کرده است و در نتیجه اثربخشی کمتری در صرفه‌جویی آب آبیاری کاربردی داشته است.

میزان تولیدات گیاهی در الگوی کشت کنونی برابر با ۱۰۳۵۰ هزارتن در سال است که با تغییر نظام کشت غرقابی برنج به کشت هوازی میزان تولیدات گیاهی بدون تغییر باقی می‌ماند. در الگوی کشت بهینه نیز تغییر نظام کشت غرقابی برنج به هوازی میزان تولیدات گیاهی (۷۰۰۳ هزارتن در سال) را دچار تغییر نمی‌کند. از آن‌جایی که سود ناخالص اقتصادی تابعی از میزان تولیدات گیاهی است، تغییر نظام کشت غرقابی برنج به کشت هوازی سود ناخالص اقتصادی را در هر دو الگوی کشت کنونی و بهینه تغییر نمی‌دهد (۱۰۱۱ هزار میلیارد ریال).



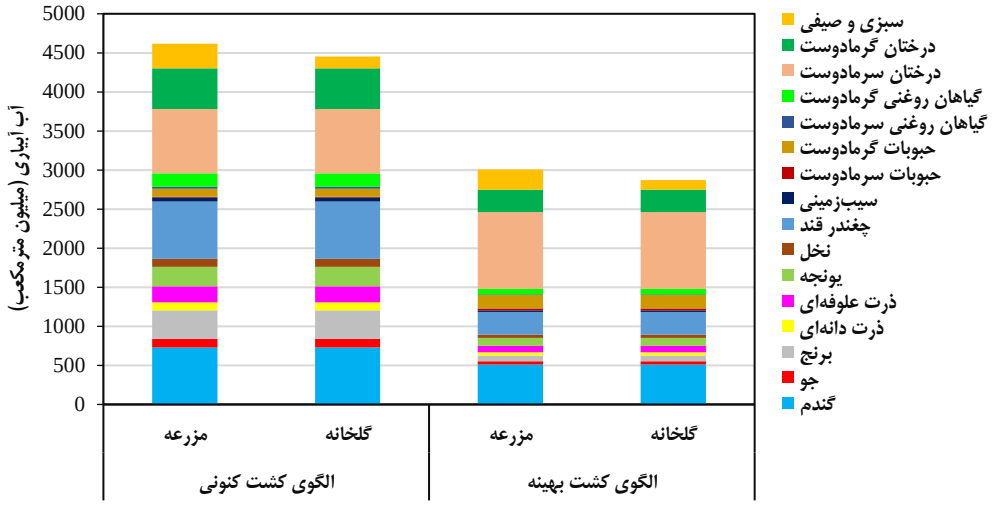
شکل ۵- تاثیر کشت هوازی برنج بر حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان فارس در الگوی کشت کنونی و بهینه. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA و بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) است. رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هر گیاه یا هرگروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند.

Fig. 5- Effect of aerobic rice cultivation on the Fars province agricultural applied water in the current and optimal cropping patterns. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other.

تأثیر انتقال تولیدات سبزی و صیفی از مزرعه به گلخانه بر حجم آب کاربردی کشاورزی استان فارس

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه در الگوی کشت کنونی حجم آب آبیاری کاربردی گیاهان استان از ۴۶۱۹ به ۴۴۵۲ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا می‌کند (کاهشی معادل ۴ درصد). در الگوی کشت بهینه نیز سهم سبزی‌وصیفی از سطح زیر کشت استان تغییر زیادی ندارد، تولیدات گیاهی و در نتیجه مصرف آب گیاهان نیز به همان نسبت کاهش پیدا می‌کند، به‌طوری که با انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی به گلخانه در الگوی کشت بهینه، حجم آب آبیاری کاربردی گیاهان استان از ۳۰۰۷ به ۲۸۷۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش می‌یابد (کاهشی معادل ۴ درصد) (شکل ۶).

میزان تولیدات گیاهی در الگوی کشت کنونی برابر با ۱۰۳۵۰ هزارتن در سال است که با انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه تغییر پیدا نمی‌کند. در الگوی کشت بهینه نیز انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه میزان تولیدات گیاهی دچار تغییر نمی‌شود (۷۰۰۳ هزارتن در سال). در همین راستا انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه سود ناخالص اقتصادی را در الگوی کشت کنونی و بهینه تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۱۰۱۱ هزار میلیارد ریال) (باید به این نکته اشاره شود که در مطالعه حاضر هزینه‌های مرتبط با احداث گلخانه، تهیه بذر و یا نشا، هزینه‌های کارگری و دیگر هزینه‌های مرتبط با گلخانه لحاظ نشده است).



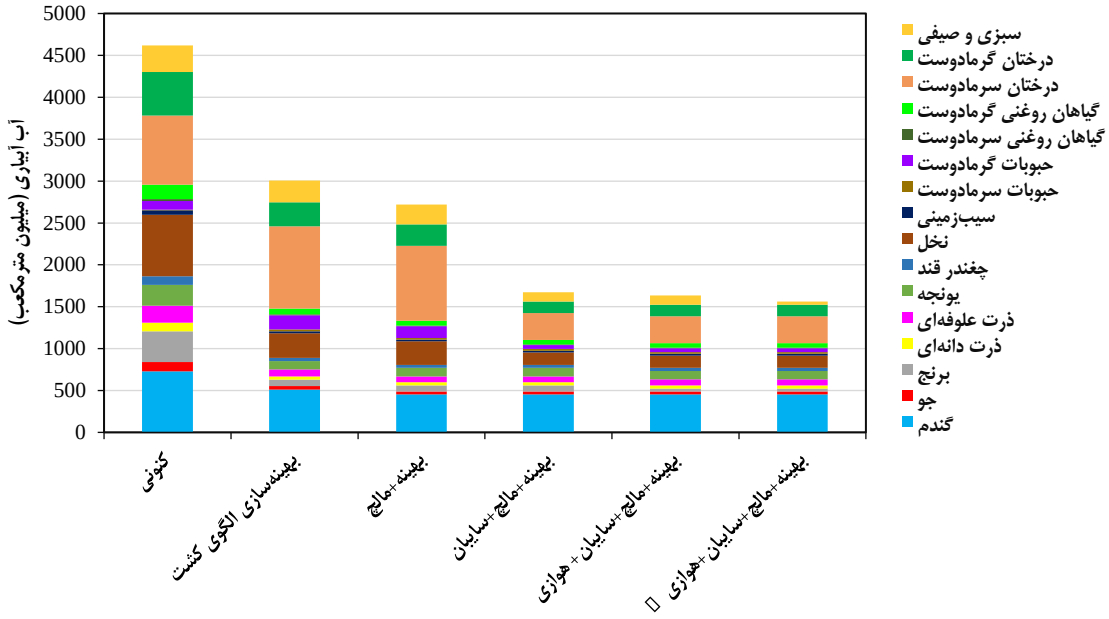
شکل ٦- میزان تغییرات حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان فارس (میلیون مترمکعب) در شرایط انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از شرایط مزرعه (فضای باز) به گلخانه در شرایط الگوی کشت فعلی و بهینه. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA و بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹٦ تا ۱۴۰۰) است. رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هرگیاه یا هرگروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند. توجه شود که انتقال به گلخانه فقط بر حجم آب آبیاری سبزی و صیفی اثر دارد و آب مصرفی سایر گیاهان در هر یک از الگوهای کنونی و بهینه بدون تغییر باقی‌می‌ماند.

Fig. 6 - Changes in the Fars province agricultural applied water (million cubic meters) in the context of transferring vegetables from field conditions (open space) to greenhouse conditions in the current and optimal cropping patterns. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other. It should be noted that transition to greenhouse only affects the applied water of vegetables and applied water of other plants remains unchanged in either the current or optimal cropping patterns.

تأثیر ترکیب راهکارهای سازگاری به کم‌آبی در کشاورزی فارس

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد در شرایط کنونی حجم آب آبیاری کاربردی گیاهان استان ۴۶۱۹ میلیون مترمکعب در سال است که بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند آن را تا ۳۵ درصد کاهش دهد و به ۳۰۰۷ میلیون مترمکعب در سال برساند. اگر در الگوی کشت بهینه از مالچ‌کلش استفاده شود، ۶ درصد دیگر از حجم آب آبیاری کاسته می‌شود (علاوه بر ۳۵ درصد کاهش ناشی از بهینه‌سازی الگوی کشت) که در مجموع حجم آب آبیاری کاربردی ۲۷۲۰ میلیون مترمکعب در سال (کاهشی معادل ۴۱ درصد) کاهش می‌یابد. اگر در الگوی کشت بهینه علاوه بر مالچ‌کلش، از سایبان استفاده شود، ۲۳ درصد دیگر از حجم آب آبیاری کاربردی کم می‌شود و حجم مصرف آب به ۱۶۷۱ میلیون مترمکعب در سال کاهش می‌یابد (علاوه بر ۴۱ درصد ناشی از بهینه‌سازی الگوی کشت و کاربرد مالچ‌کلش)؛ یعنی جمعاً ۶۴ درصد در حجم آب آبیاری کاربردی صرفه‌جویی می‌گردد. اگر در الگوی کشت بهینه شده‌ای که از مالچ‌کلش و سایبان استفاده شده است، کشت هوازی برنج نیز به‌کار گرفته شود ۱ درصد دیگر در حجم آب آبیاری کاربردی کاهش ایجاد می‌شود و حجم آب آبیاری کاربردی به ۱۶۳۴ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد که در این صورت مجموعاً ۶۵ درصد کاهش در حجم آب آبیاری اتفاق می‌افتد. استفاده از راهکار انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی به همراه راهکارهای قبلی در الگوی کشت بهینه نیز باعث کاهش ۱ درصدی در حجم آب آبیاری کاربردی می‌شود و در این صورت حجم آب آبیاری کاربردی گیاهان استان به ۱۵۶۳ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. سرانجام اینکه ترکیب راهکارهای سازگاری به کم‌آبی در

الگوی کشت فعلی استان فارس می‌تواند ۶۶ درصد (معادل ۳۰۴۸ میلیون مترمکعب در سال) صرفه‌جویی در حجم آبیاری کاربردی ایجاد کند (شکل ۷) که میزان قابل توجهی است. بخش بزرگی از این کاهش ناشی از بهینه‌سازی الگوی کشت و استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی است. ترکیب این راهکارها در الگوی کشت بهینه می‌تواند باعث صرفه‌جویی حجم آب آبیاری کاربردی تا ۴۸ درصد شود (از ۳۰۰۷ به ۱۵۶۳ میلیون مترمکعب در سال که معادل ۱۴۴۴ میلیون مترمکعب در سال است).



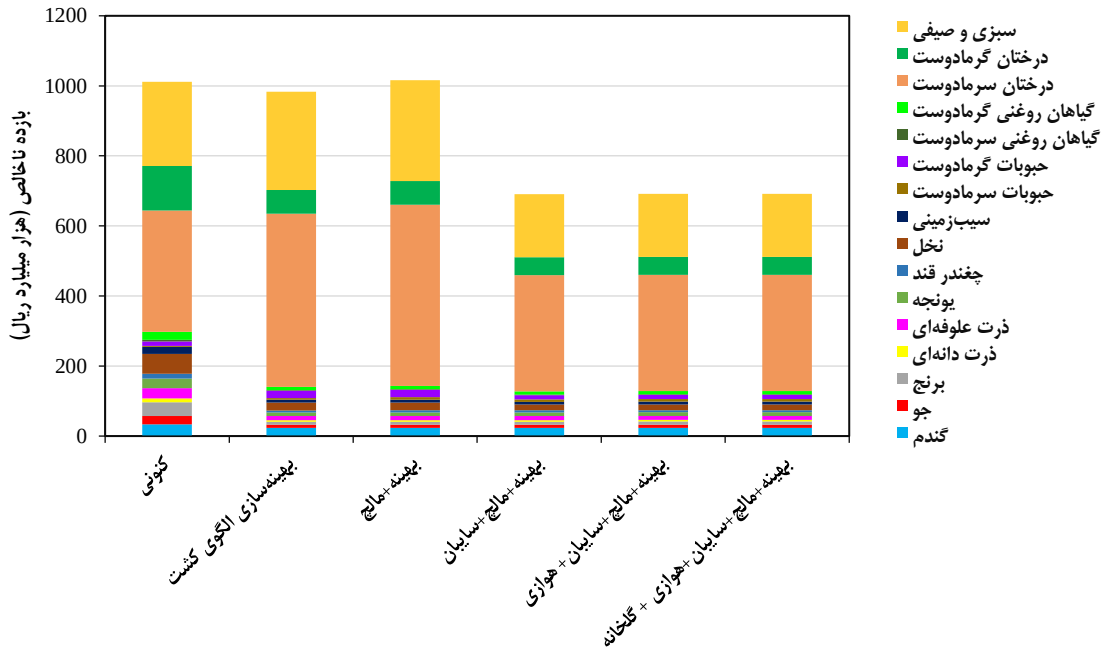
شکل ۷- تغییرات حجم آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان فارس (میلیون مترمکعب) در شرایط فعلی و راهکارهای سازگاری به کم‌آبی. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA و بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) است. رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هر گیاه یا هرگروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند.

Fig. 7 - Changes in the Fars province agricultural applied water (million cubic meters) in current conditions and adaptation strategies to water scarcity. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other.

تأثیر سازگاری به کم‌آبی بر درآمد کشاورزان

یکی از شرط‌هایی که در بهینه‌سازی الگوی کشت در نظر گرفته شد این است که درآمد کشاورزان کاهش پیدا نکند. به همین دلیل در الگوی کشت بهینه کاهشی در درآمد کشاورزان اتفاق نمی‌افتد. البته همان‌طور که بیان شد این شرط درآمد کل کشاورزان استان است و ممکن است بسته به منطقه با توجه به تغییر الگوی کشت درآمد زیاد و یا کم‌تر از مقدار کنونی آن منطقه شود. در شرایط استفاده از مالچ‌کلش در الگوی بهینه نیز درآمد کشاورزان کاهش نمی‌یابد. اما در شرایط استفاده از سایبان در ترکیب الگوی کشت بهینه و مالچ‌کلش، درآمد کشاورزان کاهش پیدا می‌کند و دلیل آن نیز به کاهش عملکرد گیاهان در اثر کاهش پرتوهای دریافتی ناشی از سایبان برمی‌گردد که روی درآمد تأثیر منفی دارد (کاهش عملکرد از صفرتا ۴۷ درصد بسته به گیاه و پهنهٔ اگرواکولوژیک). با استفاده از کشت برنج هوازی در ترکیب راهکارهای قبلی نیز درآمد کشاورزان کاهش پیدا می‌کند زیرا در اثر کشت هوازی برنج عملکرد آن نسبت به برنج غرقابی کاهش پیدا می‌کند (کاهش عملکرد از ۷ تا ۲۳ درصد بسته به پهنهٔ اگرواکولوژیک). با استفاده از راهکار انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه در

ترکیب با راهکارهای قبلی، درآمد کشاورزان تغییری پیدا نمی‌کند. در مورد انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه و کاربرد سایبان، باید گفت هزینهٔ احداث و نگهداری گلخانه و استقرار سایبان لحاظ نشده است. اعمال این هزینه‌ها می‌تواند درآمد کشاورزان را از طریق افزایش هزینه‌ها تحت تأثیر قرار دهد. در ارتباط با کاربرد مالچ‌کلش نیز خرید دستگاه و ادوات جدید و به‌کارگیری آن و همچنین کنترل آفات و علف‌های هرز احتمالی نیز می‌تواند هزینه‌ها را افزایش دهد و در نتیجه درآمد کشاورزان را تغییر دهد که در این‌جا لحاظ نشده است. شایان ذکر است که بهینه‌سازی الگوی کشت هزینهٔ چندانی ندارد اما به نظر می‌رسد که اگر هزینه‌های بیان شده در ارتباط با کاربرد مالچ‌کلش، سایبان و انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه لحاظ شود، از گزینه الگوی کشت بهینه+ مالچ‌کلش (شکل ۸) به بعد (مثل گزینه الگوی کشت بهینه+ مالچ‌کلش+ سایبان و گزینه الگوی کشت بهینه+ مالچ‌کلش+ سایبان+ گلخانه) کاهش بیشتری در درآمد کشاورزان مشاهده می‌گردد. در این مطالعه، تنها کاهش درآمد ناشی از افت عملکرد گیاهان بر بازده ناخالص اقتصادی استان لحاظ شده است و اگر کاهش درآمد ناشی از افزایش هزینه‌های تهیه و کاربرد راهکارها لحاظ شود، به نظر می‌رسد که کاهش بیشتری در درآمد کشاورزان ایجاد شود. در اینجا باید اشاره شود که هدف مطالعهٔ حاضر برآورد ظرفیت صرفه‌جویی مصرف آب آبیاری کشاورزی استان با استفاده از این راهکارهاست و اگرچه کاهش درآمد ناشی از افزایش هزینه‌های تهیه و کاربرد راه‌کارها در این مطالعه لحاظ نگردیده است، اما می‌تواند موضوع مطالعات بعدی باشد.



شکل ۸- تغییرات بازده ناخالص کشاورزی استان فارس (هزار میلیارد ریال) در شرایط فعلی و راهکارهای سازگاری به کم‌آبی. برآوردها با استفاده از سامانه SAWA و بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های هواشناسی (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و آمار و اطلاعات سطح زیرکشت میانگین ۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) است. (باید توجه داشت که در محاسبات این مطالعه تنها کاهش درآمد ناشی از افت عملکرد لحاظ شده و کاهش درآمد ناشی از افزایش هزینه‌های تهیه و کاربرد راهکارهای مورد مطالعه لحاظ نشده است). رنگ‌ها در هر ستون متعلق به هر گیاه یا هرگروه گیاهی است و متناظر یکدیگر هستند.

Fig. 8- Changes in the Fars province agricultural gross margin (thousand billion rials) in current conditions and adaptation strategies to water scarcity. Estimates were made using the SAWA system based on a 10-year average of meteorological data (2011-2021) and a 5-year average of crop area statistics and information (2017-2021). The colors in each column belong to a plant or plant group and correspond to each other.

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی کمّی راهکارهای مختلف سازگاری با کم‌آبی در زمین‌های آبی استان فارس نشان داد که استفاده از بهینه‌سازی الگوی کشت، استفاده از سایبان، استفاده از مالچ‌کلش، تغییر نظام کشت غرقابی برنج به کشت هوازی و انتقال تولیدات سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه در الگوی کشت فعلی می‌توانند به‌ترتیب ۳۵ درصد (معادل ۱۶۱۲ میلیون مترمکعب در سال)، ۲۹ درصد (معادل ۱۳۳۱ میلیون مترمکعب در سال)، ۸ درصد (معادل ۳۸۴ میلیون مترمکعب در سال)، ۴ درصد (معادل ۱۸۵ میلیون مترمکعب در سال) و تقریباً ۴ درصد (معادل ۱۶۷ میلیون مترمکعب در سال) از حجم آب آبیاری کاربردی فعلی کشاورزی آبی استان (۴۶۱۹ میلیون مترمکعب در سال) بکاهد (بدون در نظرگرفتن راندمان آبیاری و توزیع غیریکنواخت). این درحالی است که حجم آب آبیاری کاربردی در الگوی کشت بهینه (۳۰۰۷ میلیون مترمکعب در سال: بدون در نظرگرفتن راندمان آبیاری و توزیع غیریکنواخت) با استفاده از سایبان، استفاده از مالچ‌کلش، تغییر نظام کشت غرقابی به نظام کشت هوازی و انتقال تولید سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه به‌ترتیب ۲۴ درصد (معادل ۷۱۳ میلیون مترمکعب در سال)، ۱۰ درصد (معادل ۲۹۲ میلیون مترمکعب در سال)، ۱ درصد (معادل ۳۷ میلیون مترمکعب در سال) و ۴ درصد (معادل ۱۳۷ میلیون مترمکعب در سال) کاهش پیدا می‌کند.

مقایسهٔ راهکارهای سازگاری با کم‌آبی در الگوی کشت فعلی نشان داد که بهینه‌سازی الگوی کشت و استفاده از سایبان بیشترین اثربخشی را می‌توانند در سازگاری با کم‌آبی در کشاورزی آبی استان فارس ایجاد کنند. در الگوی کشت بهینه نیز استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی بیشترین تأثیر را در سازگاری با کم‌آبی ایجاد کرده است. باید توجه داشت که سایبان کاهش عملکرد ایجاد می‌کند و هزینهٔ احداث و نگهداری دارد، بنابراین ممکن است در اولویت قرار نگیرد. این موضوع به مطالعات تکمیلی و بیشتری نیاز دارد اما بهینه‌سازی الگوی کشت را با توجه به اینکه هزینه زیادی ندارد می‌توان برای استان فارس توصیه کرد. سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2024) نشان دادند که بهینه‌سازی الگوی کشت در استان گلستان بدون کاهش درآمد کشاورزان و با لحاظ‌کردن معیارهای پایداری کشاورزی می‌تواند تا ۴۱ درصد حجم آب کاربردی را در شرایط کشاورزان و در نتیجه برداشت آب در استان کاهش دهد (از ۱۳۳۸ به ۷۸۵ میلیون مترمکعب در سال) همچنان‌که در مطالعهٔ کنونی نیز بهینه‌سازی الگوی کشت باعث کاهش حجم آب آبیاری کاربردی گردید. در راستای مدیریت مصرف آب در شهرستان گرگان، جهانتیغ (Jahantigh, 2022) با بهینه‌سازی الگوی کشت نشان داد که در وضعیت الگوی کشت کنونی کل میزان مصرف آب ۲۱۳/۶۲۶ میلیون مترمکعب در سال است که پس از بهینه‌سازی الگوی کشت به ۲۳/۴۲۷ میلیون مترمکعب در سال کاهش می‌یابد. مطالعات متعدد دیگر (Chouchane *et al.*, 2020؛ Ghasemi *et al.*, 2016؛ Montazar *et al.*, 2010) نشان داده است که بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند به صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی کمک کند.

نتایج مطالعهٔ کنونی نشان داد که استفاده از سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی دومین راهکار مؤثر در سازگاری به کم‌آبی در استان فارس است که روی میزان تبخیر از خاک و تعرق گیاه تأثیر می‌گذارد (Ajmi *et al.*, 2017). بررسی‌ها نشان داده است که سایبان با کاهش دمای حداکثر در روز و افزایش دمای حداقل در شب روی تبخیروتعرق گیاه تأثیر می‌گذارد (Momeni *et al.*, 2022). علاوه بر این، در مناطقی (مانند استان فارس) که میزان پرتوهای خورشیدی زیاد است دمای برگ و خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه تبخیرتعرق گیاه بیشتر می‌شود. در این مناطق، استفاده از سایبان پوشش بین گیاه و نور خورشید را ایجاد می‌کند که میزان پرتوهای دریافتی توسط گیاه و خاک را تعدیل می‌بخشد و میزان تبخیرتعرق گیاه را کاهش می‌دهد و در نتیجه میزان نیاز آبی

گیاه کاهش پیدا می‌کند (Shafiee *et al.*, 2023؛ Mahmood *et al.*, 2018). در راستای اهمیت سایبان، رانا و همکاران (Rana *et al.*, 2004) با استفاده از روش‌های مختلف ایجاد سایبان به مطالعه ارتباط ریزاقلیم و آب در تاکستان‌های جنوب ایتالیا پرداختند و نشان دادند میزان تبخیر-تعرق تاکستان‌های بدون سایبان پس از آبیاری، بالا (۴/۶ میلی‌متر در روز) بود و پس از ۹ روز به حداقل مقدار خود (حدود ۴ میلی‌متر در روز) رسید. درحالی که میزان تبخیر-تعرق تاکستان‌های دارای سایبان پس از آبیاری، کمتر (۳ میلی‌متر در روز) بود و کاهش آن بسیار کند بود به‌طوری‌که ۲۴ روز طول کشید تا به حداقل مقدار خود (۱/۹ میلی‌متر) برسد. این محققان می‌گویند نیاز آبیاری تاکستان‌های با سایبان کمتر است تا تاکستان‌های بی‌سایبان. در همین ارتباط پژوهش‌های رتامل- سالگادو و همکاران (Retamal-Salgado *et al.*, 2017)، عجمی و همکاران (Ajami *et al.*, 2018)، هیرزل و همکاران (Hirzel *et al.*, 2020) و ویلالوبوس – سوبلت و همکاران (Villalobos-Soublett *et al.*, 2021) نیز نشان دادند که کاربرد سایبان در باغ‌ها (انگور، بلوبری و سیب) باعث صرفه‌جویی در حجم آب مصرفی می‌شود.

نتایج مطالعهٔ کنونی نشان داد که سومین راهکار مؤثر در سازگاری با کم‌آبی، استفاده از مالچ‌کلش در باغ‌ها و مزارع است. استفاده از مالچ‌کلش همراه با کشاورزی حفاظتی باعث کاهش تبخیر از خاک می‌گردد و در نتیجه نیاز آبی گیاه کاهش می‌یابد. مطالعات بوگل و همکاران (Bogle *et al.*, 1989) بیانگر نقش مثبت استفاده توام سیستم آبیاری قطره‌ای و مالچ پلی‌اتلین در افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب در زراعت گوجه‌فرنگی بوده است، به‌طوری‌که عملکرد نهایی محصول در صورت استفاده از مالچ در سیستم‌های آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۶۶/۷ و ۱۲۳ درصد نسبت به شاهد (آبیاری معمولی بدون استفاده از مالچ) افزایش و مصرف آب در هر دو حالت نسبت به شاهد، ۵۵ درصد کاهش یافته است. جردن و همکاران (Jordan *et al.*, 2010) طی مطالعه‌ای نشان دادند که کاربرد مالچ‌کلش به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار به ترتیب موجب افزایش ۱/۱، ۱/۲۵، ۱/۲۵ برابر مقدار آب قابل دسترس خاک می‌شود که در نتیجه نیاز آبی گیاه کاهش پیدا می‌کند.

نتایج مطالعهٔ حاضر حاکی از آن است که استفاده از نظام کشت هوازی به جای کشت غرقابی برنج چهارمین راهکار مؤثر در سازگاری با کم‌آبی در استان فارس است. در همین راستا، سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2024) طی مطالعه‌ای نشان دادند که استفاده از نظام کشت هوازی برنج به جای کشت غرقابی در استان گلستان می‌تواند اضافه برداشت آب را در بخش کشاورزی استان را به‌طور قابل توجهی (۷۰ تا ۹۰ درصد) کاهش دهد.

نتایج مطالعهٔ کنونی نشان داد که انتقال تولید سبزی‌وصیفی از مزرعه به گلخانه پنجمین راهکار مؤثر در سازگاری با کم‌آبی در استان فارس است. گلی‌رئیسی و همکاران (Goli Raeisi *et al.*, 2019) با استفاده از مدل SWAT و AquaCrop و با بررسی ظرفیت صرفه‌جویی آب در مدیریت کشت گلخانه در زیرحوضهٔ مرودشت-خرامه نشان دادند مدیریت کشت گلخانه با ۲۴ درصد کاهش در تبخیر-تعرق نقش مهمی در کاهش مصرف آب در آن زیرحوضه دارد. ناصری (Naseri, 2019) طی مطالعه‌ای به مقایسهٔ عملکرد و اجزای آن در گیاه سیر در شرایط گلخانه و مزرعه پرداخت و گزارش کرد مصرف آب در گلخانه (۶ دور آبیاری) کمتر از مصرف آب در مزرعه (۱۲ دور آبیاری) است اما عملکرد سیر در گلخانه حدود ۴ برابر عملکرد سیر در مزرعه است. مطالعات خوشکام و ساعی (Khoshkam & Saei, 2011) و رضاوردی‌نژاد و همکاران (Rezaverdinejad *et al.*, 2017) نیز حاکی از آن است که کشت در محیط گلخانه، در مقایسه با کشت مزرعه‌ای (فضای باز)، می‌تواند به کاهش حجم آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب بینجامد.

نتایج مطالعه حاضر بستگی دارد به الگوی کشت فعلی، هدف مطالعه (حداقل‌سازی مصرف آب) و محدودیت‌هایی که در بهینه‌سازی تعریف شده است؛ یعنی اگر الگوی کشت فعلی و آن محدودیت‌ها تغییر یابند یا هدف چیز دیگری بود، نتایج متفاوتی حاصل می‌شد. بهینه‌سازی الگوی کشت به عواملی شامل: (۱) عملکرد، (۲) حجم آب آبیاری کاربردی، (۳) قیمت، و (۴) هزینه‌های تولید محصولات استان بستگی دارد. این عوامل هستند که با توجه به محدودیت‌ها و شرایط تعریف‌شده روی بهینه‌سازی الگوی کشت تأثیر می‌گذارند. تغییر هر یک از عوامل مذکور یا شرایط و محدودیت‌های جدید نتایجی متفاوت ارائه می‌دهد. در ارتباط با مالچ‌کلش، مقدار مالچ‌کلش ۲ تن در هکتار انتخاب شده است و اگر از این میزان بیشتر انتخاب گردد، نتیجه متفاوتی حاصل می‌شود. در مورد مالچ‌کلش سطح کاربرد مالچ‌کلش کل استان به جز یونجه و برنج لحاظ شد که اگر این سطح کاربرد تغییر داده شود نیز نتیجه دیگری به دست می‌آید. در ارتباط با کاربرد سایبان نیز دوره استقرار و خصوصیات تعریف‌شدهٔ آن در مطالعهٔ کنونی مشخص است که اگر این موارد تغییر داده شود، نتیجه متفاوت خواهد بود. در مورد جایگزینی کشت برنج هوازی به جای کشت غرقابی نیز فرض شده است که تمام برنج‌کاری‌های استان از غرقابی به هوازی تبدیل شوند که در این حالت نیز اگر ۵۰ درصد یا درصدهای کمتری از برنج‌کاری‌ها به هوازی تبدیل شوند طبیعتاً می‌تواند روی صرفه‌جویی آب تأثیرگذار باشد. باید این نکته را توجه داشت که پیاده‌سازی این راهکارها مستلزم ایجاد مقدمات خاص خود است. برای‌مثال به سرمایه‌گذاری، ادوات، دانش فنی، آموزش و موارد دیگری نیاز خواهد بود. موارد دیگری مانند خرد و کوچک‌بودن زمین‌های کشاورزی و معیشتی بودن مزارع در کشور نیز از مهم‌ترین موانع بر سر راه اجرای این راهکارها هستند.

یافته‌های مطالعهٔ حاضر حاکی از آن است که ترکیب راهکار سازگاری با کم‌آبی می‌تواند بیش از ۶۶ درصد (۳۰۵۶ میلیون مترمکعب در سال) صرفه‌جویی در آب آبیاری کاربردی کشاورزی استان ایجاد کند که بخش بزرگی از این میزان صرفه‌جویی ناشی از بهینه‌سازی الگوی کشت و کاربرد سایبان در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی استان است. این درحالی است که میزان صرفه‌جویی مدنظر وزارت نیرو (Ministry of Energy, 2021) برای استان فارس برابر با ۸۲۴ میلیون مترمکعب در سال است. این میزان برای شرایط برداشت پایدار استان (Soltani *et al.*, 2019) برابر با ۲۶۱۵ میلیون مترمکعب در سال است. بنابراین، بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان گفت ترکیب راهکارهای سازگاری به کم‌آبی در استان فارس می‌تواند نزدیک به ۴ برابر کاهش مدنظر وزارت نیرو و ۱/۲ برابر کاهش برای شرایط برداشت پایدار صرفه‌جویی در آب آبیاری کشاورزی استان ایجاد کند. باید توجه داشت که این راه‌کارهای سازگاری به کم‌آبی جزء گزینه‌های ایمن برای محیط زیست هستند (Soltani & Mirzaei, 2021) و مانند گزینه‌های افزایش دسترسی به آب مثل استفاده از آب چاه‌های ژرف، انتقال آب بین حوضه‌ای، شیرین‌سازی آب دریا، بارورسازی ابرها برای طبیعت و محیط‌زیست مخاطره‌ای در پی ندارند.

نتایج مطالعهٔ کنونی نشان داد که راهکارهای سازگاری به کم‌آبی مثل بهینه‌سازی الگوی کشت و ترکیب بهینه‌سازی الگوی کشت با کاربرد مالچ‌کلش در باغ‌ها و مزارع سبزی‌وصیفی تأثیری بر درآمد کشاورزان ندارد. ولی ترکیب الگوی کشت بهینه با کاربرد مالچ‌کلش و سایبان، ترکیب الگوی کشت بهینه با کابرد مالچ‌کلش، سایبان و برنج هوازی و ترکیب الگوی کشت بهینه با مالچ‌کلش، سایبان، برنج هوازی و انتقال تولیدات سبزی و صیفی از مزرعه به گلخانه باعث کاهش بازده ناخالص کشاورزان استان می‌گردد. با توجه به ضرورت سازگاری با کم‌آبی در استان فارس باید به سمت استفاده از راهکارهای صرفه‌جویی آب حرکت کرد هرچند مقداری از سود کشاورزان کاهش پیدا کند. البته در این بخش دولت می‌تواند با استفاده از یارانه یا تسهیلات بانکی

بخشی از این هزینه‌ها یا کاهش درآمد کشاورزان را جبران کند. علاوه بر این، برای جبران ناترازی هزینه-درآمد کشاورزان پیشنهاد می‌گردد که (۱) زنجیرهٔ ارزش در زیربخش‌های مختلف زراعت و باغبانی در استان به‌منظور حذف دلال‌ها در خرید و فروش محصولات کشاورزی ایجاد شود تا از این طریق به افزایش درآمد کشاورزان کمک گردد و (۲) صادرات محصولات کشاورزی توسعه یابد و فرآیند تجارت محصولات گلخانه‌ای تسهیل گردد.

نتایج این مطالعه نشان داد که ۵ راهکار ایمن و مؤثر برای سازگاری با کم‌آبی در کشاورزی استان فارس وجود دارد که اثربخشی هر یک از آن‌ها به تنهایی در کاهش حجم آب آبیاری کاربردی در الگوی کشت کنونی بین ۴ تا ۳۵ درصد (۱۶۷ تا ۱۶۱۲ میلیون مترمکعب در سال) متغیر است. ترکیب این راه‌کارها با در نظر گرفتن شرایط و فرضیاتی در الگوی کشت کنونی و بهینهٔ استان فارس می‌تواند به ترتیب در حدود ۶۶ و ۴۸ درصد (۳۰۵۶ و ۱۴۴۴ میلیون مترمکعب در سال) در حجم آب آبیاری کاربردی صرفه‌جویی ایجاد کند. پیشنهاد می‌شود محققان، مسئولان اجرایی، سیاست‌گذاران و بهره‌برداران بخش کشاورزی با ارزیابی و مطالعات تکمیلی به سمت رفع موانع و فراهم کردن زمینهٔ گسترش استفاده از این راهکارهای ارزشمند حرکت کنند تا علاوه بر پایداری در تولیدات کشاورزی استان، به شادابی طبیعت آن کمک کنند و از تخریب بیشتر محیط‌زیست نیز جلوگیری شود.

مراجع

Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavvakoli, A. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Journal of Water and Sustainable Development*. 4(1): 141-144. (In Persian)

Agricultural Jihad Organization of Fars Province. (2023). Statistics and information on cultivated area, production and yield of agricultural and garden plants at 2017- 2021. (In Persian)

Ajmi, A., Vazquez, S., Morales, F., Chaari, A., Hamdi El-Jendoubi, H. Abadia, A. & Larbi, A. (2018). Prolonged artificial shade affects morphological, anatomical, biochemical and ecophysiological behavior of young olive trees. *Scientia Horticulturae*. 241: 275-284.

Akhtar, K., Wang, W., Khan, A., Ren, G., Afridi, M.Z., & Feng, Y. (2019). Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. *Agricultural Water Management*. 211 (1): 16-25.

Bassett, C., Wisniewski, M., Artlip, T., & Norelli, J. (2006). Global analysis of genes regulated by low temperature and photoperiod in peach bark. *Journal of American Society of Horticultural Science*. 131(4): 551-563.

Bogle, C.R., Hartz, T.K., & Nanez, C . (1989). Comparison of subsurface trickle and furrow irrigation on plastic mulched and bare soil for tomato production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114(1): 40-43.

Cai, T., Zhang., Y., Huang, H., Huang, B., Yang, Z., & Zhao, C. (2015). Effects of different straw mulch modes on soil water storage and water use efficiency of spring maize (*Zea mays* L.) in the Loess Plateau of China. *Plant Soil Environmental*. 61(6): 253-259.

Chacha, J.M., Thirumalai, M., Idawa, O., Chilwea, J., Kilamba, C., Hussy, B.D., Ishaq, H., Rajendran, K. (2023). Greenhouse and open-field Tomato farming. A comparison through yield and growth parameters investigated in Dar es Salaam. *Innovations in Agriculture.* 6: e32876. https://doi.org/10.25081/ia.2023-02

Chouchane, H., Krol, M. S., & Hoekstra, A. 2020. Changing global cropping patterns to minimize national blue water scarcity. *Hydrology and Earth System Sciences*. 24: 3015-3031. https://doi.org/10.5194/hess-24-3015-2020

Czyzyk, K.A., Bement, S.T., Dawson W.F., and K. Mehta, K. (2014). Quantifying water savings with greenhouse farming, *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)*, San Jose, CA, USA, 325-332. https://doi:10.1109/GHTC.2014.6970300

Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., & Zeinali, E. (2020). Parameterization and Evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for Potato (Solanum tuberosum L.) Growth and Yield in Iran. *Potato Research*. 63: 545-563.

Esfaram Meshgin Shahr, H., Mirshekari, B., Hassanpanah, D., Farahvash, F., & Yarnia, M. (2022). Effect of sowing depth on qualitative characteristics tuber yield and water use efficiency of potato cultivars in autumn and spring cultivations of moderate and cold regions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 15(1): 259-273. (in Persian)

Eslami, A., & Farzamnia, M. (2009). Effect of mulch material on increasing soil water holding capacity and Pistachio yield. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*. 2(3): 79-87. (in Persian)

Foroughifar, H., & Pourkasemani, M. (2003). *Soil Sciences and Management*. Mashhad University Publication. 336 pages. (In Persian)

Ghasemi, M.M., Karamouz, M. & Shui, L.T. (2016). Farm-based cropping pattern optimization and conjunctive use planning using piece-wise genetic algorithm (PWGA): a case study. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2(1), 1-12.

Gheshlaghi, P., Kamrani, E., Naji, A., Daliri, M. (2022). Impacts of the seawater desalination plants' discharges on survival and ionic balance of Blue swimmer crab, Portunus segnis (Forskal, 1775), in the northern Persian Gulf. *Iranian Journal of Health and Environment*. 15(2): 245-260. (In Persian)

Gindaba, J. & S. J. E. Wand. (2005). Comparative effects on evaporative cooling, kaolin particle film and shade net on sunburn and fruit quality in apples. *HortSciense*. 40(3): 592-596.

Goli Raeisi, L., Morid, S., Delavar, M. (2019). Assessment of water saving and increasing agriculture water productivity policies in an integrated framework. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage.* 13(5): 1410-1425. (in Persian)

Hemmati, A., Ghorbani, Kh., & Ebrahimi, K. (2022). Assessment of inter-basin water transfer projects damages in Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*. 12(1): 139-156. (in Persian)

Hirzel, J., Moya-Elizondo, E., Herndndez, M., Guzman, P., & Gonzlez, D. (2020). Effect of shade cloth on fruit and leaf nutritional concentration and bitter pit incidence in 'Fuji' apples. *Chilean journal of agricultural research*. 80: 535–545.

Jafarnodeh, S., Soltani, A., Soltani, E., Dadrasi, A., & Rahban, S. (2024). Application of SSM-iCrop2 Model for Yield and Water Balance Simulation under Farmers' Conditions. *Water and Soil*. 38(3): 301-319. (in Persian)

Jahantigh, H. (2022). Optimization of Agricultural Cropping Pattern in order to Water Use Management in Gorgan. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 12(3): 369-385. (in Persian)

Jordán, A., Zavala, L. M. and Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81, 77–85.

Jin, H., Qingjie, W., Hongwen, L., Lijin, L., & Huanwen, G. (2009). Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research*. 104: 198-205.

Kavousi Heidari, A., Roozbahani, R., Eftekhari, M. (2019). Deep groundwater resources: characteristics and constraints. *Journal of Water and Sustainable Development*. 6(1): 67-76. (in Persian)

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. (in Persian)

Khoshkam, S., & Saei, M. (2011). Agronomic and economic study of the most appropriate time of continuous lettuce cultivation in greenhouse and open space conditions in Jiroft area. *Journal of Soil and Plant Interactions*. 2(3): 29-40. (in Persian)

Mahmood, A., Hu. Y., Tanny, J. & Asante, E. A. (2018). Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae*. 241: 241-251.

Matteau, J.P., Célicourt, P., Létourneau, G., Gumiere, T., & Gumiere, S.J. (2022). Effects of irrigation thresholds and temporal distribution on potato yield and water productivity in sandy soil. *Agricultural Water Management*. 264: 107483.

Ministry of Agriculture-Jihad. (2024). Statistics and information on cultivated area, production and yield of agricultural and garden plants in 2024. (In Persian) available at: https://maj.ir/

Ministry of Energy. (2019). Second round of statistics. Available at: https://data.wrm.ir/st/161

Ministry of Energy. (2021). Fars province water scarcity adaptation programs. . Available at: https://www.wsanw.ir/st/56/

Mirzaei, A., Soltani, A., Abbasi, F., Zeinali, E., & Mirkarimi, Sh. (2024a). Development of water accounting system for irrigated agricultural lands of Fars province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 55(2): 219-244. (in Persian)

Mirzaei, A., Soltani, A., Abbasi, F., Zeinali, E., & Mirkarimi, Sh. (2024b). Estimation of withdrawal water for Fars Province agriculture based on water balance modelling. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 55(6): 963-978. (in Persian)

Mirzaei, A., Soltani, A., Abbasi, F., Zeinali, E., & Mirkarimi, Sh. (2024c). Optimizing the cropping pattern of Fars province irrigated lands with the aim of adaptation to water scarcity. *Journal of Water and Soil Science*. (Accepted) (in Persian)

Mohammadi, A. (2023). A perspective on the position of potato crops in the country's food security in the horizon of 1430. *Journal of Applied Potato Sciences*. 6(11): 13-22. (in Persian)

Mohammadi, S., Zeinali, E., Soltani, A., Torabi, B. (2022). Parameterization and evaluation of SSM_iCrop2 model to simulate the growth and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*. 13(1): 37-54. (in Persian)

Mohammadian, R. (2020). Management package to reduce irrigation water and increase water use productivity in sugar beet cultivation. *Journal of Water Management in Agriculture*. 6(2): 103-114. (in Persian)

Møller, Ch., March-Salas, M., Kuppler, J., De Ferenne, P., and Scheepens, J.F. (2023). Intra-individual variation in Galium odoratum is affected by experimental drought and shading. *Annals of Botany*. 131: 411–422.

Montazar, A., Riazi, H., & Behbahani, S. (2010). Conjunctive water use planning in anirrigation command area. *Water Resources Management*. 24: 577–596.

Momeni, D., Javadimoghaddam, J., & Roustapour, O. (2022). Investigating the Effect of Using Shading Net on Climate Change in Pistachio and Apricot Gardens. *Journal of Agricultural Mechanization*. 7(1): 49-72. (in Persian)

Najjar, H., Taherian, M., & Saeidnia, F. (2023). Comparison of water consumption in direct cultivation and cotton transplanting under farmers' conditions. *Journal of Water Conservation and Efficiency*. 1(7): 52-57.

Naseri, A., Abbasi, Fariborz, F., Akbari, M. (2017). Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 18(68): 17-32. (in Persian)

Naseri, M. (2019). Comparison of yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.) under greenhouse and field conditions. *Journal of Greenhouse Vegetable*. 2(2): 45-50. (in Persian)

Nehbandani, A., Barani, H., Soltani, A., Torabi, B., & Sharifian, A. (2023). Estimating Rangeland Production in Current and Future Conditions Using SSM-iCrop2 Model in Iran. *Agricultural Research*. 12(3): 346-355.

Oliveira, M., Teles, J., Barbosa, P., Olazabal, F., & Queiroz, J. (2014). Shading of the fruit zone to reduce grape yield and quality losses caused by sunburn. *OENO One*. 48(3): 179–187. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2014.48.3.1579.

Osama, S., Elkholy, M., and Kansoh, R. M. (2017). Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*. 56: 557–566, https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.04.015.

Paravar, E. 2017. Studying the effect of wheat residue mulch on soybean yield and water consumption in Gorgan: Experiment and simulation (M. Sc. Thesis). Faculty of Plant Production. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran. (in Persian)

Pourshirazi, Sh., 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. (in Persian)

Rana, G., Katerji, N., Introna, M., and Hammami, A. (2004). Microclimate and plant water relationship of the "overhead" table grape vineyard managed with three different covering techniques. *Scientia Horticulturae*. 102: 105-120.

Retamal-Salgado, J., Vasquez, R., Fischer, S., Hirzel, J., and Zapata, N. (2017). Decrease in artificial radiation with netting reduces stress and improves rabbit-eye blueberry productivity (Vaccinium virgatum Aiton) 'Ochlockonee' productivity. *Chilean Journal of Agricultural Research.* 77: 226-233.

Rezaverdinejad, V., Shabanian, M., Besharat, S., & Hasani, A. (2017). Determination of crop water requirement, crop coefficient and water use efficiency of greenhouse-grown cucumber and tomato (Case study: Urmia region). *Journal of Soil and Plant Interactions*. 8(3): 27-40. (In Persian)

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., & Seyyedi, S.M. (2013) The effects of different levels of applied wheat straw in different dates on saffron (Crocus sativus L.) daughter corms and flower initiation criteria in the second year. *Saffron Agronomy and Technology*. 1(1): 55-70. (In Persian)

Shafiee, L., Abdolahi-Ezzatabadi, M., Panahi, B. (2023). Economic, financial and environmental evaluation of canopy use in pistachio orchards. *Pistachio Science and Technology*. 8(14):29-50. (In Persian)

Soltani. A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, Sh., 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.

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 self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*. 24: 100351.

Soltani, A., Jafarnode, S., Dadrasi, A., Rahban, S., Nazeri, M., 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. 124 pages. (In Persian)

Soltani, A., Jafarnode, S., Zeinali, E., Gherekhloo, 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

Soltani, A., Mirzaei, A., Jafarnodeh, S., Zeinali, E., Mirkarimi, Sh. 2024. Adaptation of irrigated agriculture in Golestan province to water scarcity through optimizing cropping pattern. *Journal of Water and Soil Conservation*. (Accepted) (In Persian)

Soltani, A., & Mirzaei, A. (2021). *Sustainable agriculture*. Sirang Publication. 384 Pages. (In Persian)

Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2012). *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*. CABI Publisher. 312 p.

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., and 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)

Statistical Center of Iran. (2023). Available at: https://amar.org.ir/statistical-information

Taheri, Sh., Soltani, A., Behnam, K., Nazeri, M., Shakeri, E. (2021). Modelling the effect of seedling culture on yield and water use of maize under Gorgan environmental conditions. *Journal of Agroecology*. 13 (2): 307-324. (In Persian)

Taheriyoun, M., Alavi, V., Ahmadi, A. (2016). Risk analysis of wastewater reuse in agriculture using baysian network. *Journal of Civil Engineering*. 48(1): 101-109. (In Persian)

Villalobos-Soublett, E., Gutiérrez-Gamboa, G., Balbontín, C., Zurita-Silva, A., Ibacache, A., and Verdugo-Vásquez, N. (2021). Effect of Shading Nets on Yield, Leaf Biomass and Petiole Nutrients of a Muscat of Alexandria Vineyard Growing under Hyper-Arid Conditions. Horticulturae. *7*, 445. https://doi.org/10.3390/horticulturae7110445.

Ye, Q., Li, Y., Zhuo, L., Zhang, W., Xiong, W., Wang, C., and Wang, P. (2018). Optimal allocation of physical water resources integrated with virtual water trade in water scarce regions: A case study for Beijing, China, Water Res., 129, 264–276, https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.036

Zolfagharan, A., Alizadeh, A., Khavari, S., Bannayan, M., & Ansari, H. (2016). Investigation and comparison of water productivity in direct and transplant seeding of corn in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 10(4) 508-519. (In Persian)

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.97/ Winter /2024/P: 51-78

Original Research

Assessment of options to reduce irrigation demand and adaptation to water scarcity in Fars province

A. Mirzaei, A. Soltani*, F. Abbasi, E. Zeinali, Sh. Mirkarimi

***Corresponding Author:** Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
Received: 20 January 2025, **Accepted:** 9 March 2025
Email: afshin.soltani@gmail.com
https://doi.org/ 10.22092/idser.2025.368347.1606

Introduction

Over-withdrawal of water in the agricultural sector of Iran is one of the most important factors that threatens the sustainability of agricultural production and natural resources. Therefore, appropriate approaches should be used to eliminate this factor. In this study, the water saving capacity in the irrigated agricultural sector of Fars province was examined using some options that decrease irrigation demand in fields and orchards. These options are: (1) optimization of cropping pattern with the aim of minimizing water use, (2) using shade net in gardens and vegetable farms, (3) using straw mulch in gardens and farms though implementation of conservation tillage, (4) changing the current flooded rice cultivation system to aerobic system, and (5) transferring vegetable production from the farm to the greenhouse. The effects of the options were assessed individually and in combination.

Methodology

The System for regional Agricultural Water balance and Accounting (SAWA) set up for irrigated agriculture lands in Fars province was used. The core of this system consists of a plant simulation model (SSM-iCrop2). For each of the water saving option of this study, a separate SAWA system was prepared and the amount of irrigation water used in agriculture in the province was estimated and compared. The system provides crop yield and irrigation water under farmer's and potential conditions as influenced by climate, soil, management and crop. The system estimates were based on 10-year meteorological data (2011-2021), 5-year average crop area statistics (2017-2021), and yield, price, and cost of production data for plants in 2021.

Results and Discussion

The results showed that the applied irrigation water in agriculture in the province for farmers' conditions (not for potential or optimal conditions) under the current cropping pattern is 4619 million cubic meters per year (net irrigation water without considering irrigation efficiency and uneven water distribution). Optimization of the cropping pattern reduced this figure by 35% (a reduction equivalent to 1616 million cubic meters per year). Optimizing the cropping pattern was done with the aim of minimizing the amount of irrigation water applied under farmers' conditions in the entire province provided 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.The ***implementation*** of 2 t/ha straw mulch vias conservation tillage for all crops except for rice and alfalafa in the current and optimal cropping patterns reduced the net applied water by 8 and 10%, respectively (equivalent to 384 and 292 million cubic meters per year), the use of shade net (decreases solar radiation by 50%) during the summer months in the current and optimal cropping patterns reduced the applied water by 29 and 24%, respectively (equivalent to 1331 and 713 million cubic meters per year), and the use of aerobic rice cultivation system instead of flooding system in the current and optimal cropping patterns reduced the applied water by 4 and 1%, respectively (equivalent to 185 and 37 million cubic meters per year). Transferring vegetable production from the field to

the greenhouse in both the current and optimal cultivation patterns was able to reduce the applied irrigation water by 4 percent (equivalent to 167 and 137 million cubic meters per year, respectively). However, combination of water saving options in the current and optimal cropping patterns could save irrigation water by 66 and 48% (equivalent to 3048 and 1444 million cubic meters per year), respectively.

Conclusions

The findings of this study indicate that the evaluated options provide safe and effective solutions for addressing water scarcity in the irrigated agriculture of Fars Province. Therefore, it is recommended that executive officials, policymakers, and agricultural sector stakeholders work toward eliminating barriers and promoting the widespread adoption of these valuable options through evaluation and additional studies. By doing so, sustainable agricultural practices can be achieved, contributing to a healthier environment and preventing further ecological degradation.

Keywords: Aerobic rice cultivation, Cropping pattern optimization, Mulch, Shade net.

https://doi.org/ 10.22092/idser.2025.368347.1606 **Email:** afshin.soltani@gmail.com **نگارنده مسئول:**

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).