Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Development of water accounting system for irrigated agricultural lands of Fars province

Abdolrahman Mirzaei[1]✉ | Afshin Soltani[2] | Fariborz Abbasi[3] Ebrahim Zeinali[4] | Shahrzad Mirkarimi[5]

1. Corresponding Author, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: abdolrahmanmirzaei@gmail.com
2. Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: afshin.soltani@gmail.com
3. Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. E-mail: fa.abbasi@areeo.ac.ir
4. Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: zeinalistudents@gmail.com
5. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran: shahrzadmirkarimi@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 12, 2023

Revised: Dec. 19, 2023

Accepted: Jan. 28, 2024

Published online: April. 2024

Keywords:
Adaptation to Water Scarcity,
Irrigation Water,
Modeling,
SSM-iCrop2,
Water Balance.

ABSTRACT

Preparation and proper implementation of water scarcity adaptation programs at the provincial level requires diverse, reliable and integrated information related to the province's water resources. To obtain this information in an integrated and dynamic manner, a system called 'System for regional Agricultural Water balance and water Accounting' (SAWA) was prepared for Fars province. First, the irrigated agricultural lands of the province were divided into 17 homogenous Agro-Ecological-Zones (AEZ). Then, a crop model (SSM-iCrop2) was calibrated and set up to simulate the growth, yield and field water balance of 35 agricultural plants under potential and farmers' conditions in the 17 AEZ. The simulations were done using weather data of 2011-2021. The outputs of the system are produced on a daily basis and for the end of the growing season. The system is also able to produce monthly outputs of water balance that are essential information for water scarcity adaptation programs such as cropping pattern. Some of the outputs of the system are crop planting date and the date of bud burst in trees, the time of occurrence of important phenological stages, total biomass, leaf area index and field water balance components such as runoff, evaporation, transpiration, deep drainage, weeds' transpiration and applied irrigation water. The outputs of this system are available for each plant or all plants in each of the zones, counties and the whole province. The testing of the system showed that the simulated yields and applied irrigation water are in satisfactory agreement with the measured ones.

Cite this article: Mirzaei, A., Soltani, A., Abbasi, F. Zeinali, E., & Mirkarimi, Sh. (2024) Development of water accounting system for irrigated agricultural lands of Fars province, *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 55 (2), 219-244. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.362112.669532

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.362112.669532

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۲ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تهیه سامانه‌ی استانی حسابداری آب برای اراضی کشاورزی آبی استان فارس

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

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: abdolrahmanmirzaei@gmail.com

۲. گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: afshin.soltani@gmail.com

۳. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: fa.abbasi@areeo.ac.ir

۴. گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه:zeinalistudents@gmail.com

۵. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه:shahrzadmirkarimi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۸
تاریخ انتشار: فروردین ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
آب آبیاری،
بیلان آب،
سازگاری به کم‌آبی،
مدل‌سازی،
SSM-iCrop2.

چکیده

تهیه و اجرای مناسب برنامه‌های سازگاری به کم‌آبی در سطح استانی نیازمند وجود اطلاعاتی متنوع، معتبر و یکپارچه مرتبط با منابع آب استان است. برای دستیابی به این اطلاعات به‌صورت یکپارچه و پویا، سیستمی تحت عنوان سامانه استانی حسابداری آب (SAWA) برای استان فارس تهیه شد. ابتدا با بررسی شرایط اقلیمی و خاک، کل اراضی کشاورزی آبی استان به ۱۷ پهنه اگرواکولوژیک همگن تقسیم‌بندی شدند. سپس یک مدل شبیه‌ساز گیاهی (SSM-iCrop2) که هسته اصلی سیستم را تشکیل می‌دهد برای شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بیلان آب مزرعه ۳۵ گیاه مهم در شرایط کشاورزان در ۱۷ پهنه کالیبره و برپا (ستاپ) شد. شبیه‌سازی‌ها بر اساس داده‌های هواشناسی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ در دو حالت شرایط کشاورزان و پتانسیل صورت گرفت. خروجی‌های سیستم مذکور به‌صورت روزانه و نیز انتهای فصل رشد گیاه تولید می‌شوند. علاوه بر این، سیستم قادر است خروجی‌های ماهانه نیز تولید کند. این برآوردهای ماهانه یکی از ضروری‌ترین اطلاعات در برنامه‌ریزی‌های سازگاری با کم‌آبی مثل تغییر الگوی کشت است. برخی از خروجی‌های سیستم عبارتند از تاریخ کاشت گیاهان زراعی و تاریخ بازشدن جوانه درختان، مراحل مهم فنولوژیک گیاهان، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ و مؤلفه‌های بیلان آب یعنی رواناب، تبخیر، تعرق، زه‌کشی عمقی، برگاب، تعرق علف‌های هرز و آبیاری. خروجی‌های این سامانه برای هر گیاه و یا کل گیاهان به‌صورت پهنه، شهرستان و استان قابل دسترس هستند. ارزیابی صحت برآوردهای مدل نشان داد که برآوردهای شبیه‌سازی‌شده با اندازه‌گیری‌شده مطابقت رضایت بخشی دارند.

استناد: میرزائی؛ عبدالرحمن، سلطانی؛ افشین، عباسی؛ فریبرز، زینلی؛ ابراهیم، میرکریمی؛ شهرزاد، (۱۴۰۳) تهیه سامانه‌ی استانی حسابداری آب برای اراضی کشاورزی آبی استان فارس، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۲)، ۲۱۹-۲۴۴. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.362112.669532

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.362112.669532

مقدمه

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب در کشور است (باریکانی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ این در حالی است که در دهه‌های اخیر به‌منظور تولیدات بیشتر، اضافه برداشت‌هایی از این منابع انجام گرفته و نیز در حال انجام است که بایستی برای رفع آن چاره‌اندیشی گردد (سلطانی و میرزایی، ۱۴۰۰). در واقع ضرورت سازگاری به کم‌آبی در کشاورزی کشور مطرح است. به منظور برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مناسب برای سازگاری به کم‌آبی وجود اطلاعات کمّی با دقت مناسب و یکپارچه از منابع آب و بهره‌وری استفاده از آن ضروری است. از سوی دیگر بین سازمان‌های مرتبط با منابع آب مثل وزارت جهاد کشاورزی و وزارت نیرو در برآورد مقدار برداشت آب و سایر اطلاعات مرتبط با آن اختلاف‌هایی وجود دارد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). نکته‌ای که بایستی به آن توجه داشت این است که چنین برآوردهایی باید از مزارع کشاورزان انجام پذیرد. بسیاری از اوقات مدل‌ها و نرم‌افزارهایی که استفاده می‌شوند، برآوردها را برای شرایط مطلوب رشد ارائه می‌دهند (یعنی شرایطی که آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز مدیریت شده‌اند و کمبود عناصر غذایی در خاک وجود ندارد) مگر اینکه اصلاحات خاصی در آن‌ها صورت پذیرد. بنابراین، لازم است که برآوردها برای شرایط واقعی تحت مدیریت کشاورز صورت پذیرد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱).

سالانه ۸۶ میلیارد مترمکعب آب آبی از منابع سطحی و زیرزمینی برای کشاورزی در سطح کشور برداشت می‌شود (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) که ۲۸ درصد آن تا میزان آب قابل برنامه‌ریزی برای تخصیص به بخش کشاورزی (۶۲ میلیارد مترمکعب) اعلام‌شده توسط وزارت نیرو، اضافه برداشت وجود دارد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) میزان آب قابل بهره‌برداری برای کشاورزی کشور به‌صورت پایدار را کمتر از ۴۰ میلیارد مترمکعب برآورد نمود و این حاکی از آن است که برداشت آب برای کشاورزی کشور باید بیش از ۵۰ درصد کاهش پیدا کند. اضافه برداشت آب در استان فارس نیز وجود دارد. به‌طوری‌که وزارت نیرو میزان برداشت کنونی آب برای کشاورزی استان را ۸۶۲۱ میلیون مترمکعب در سال تخمین می‌زند درحالی‌که حد آب قابل‌برنامه‌ریزی برای تخصیص به بخش کشاورزی استان را ۶۲۳۲ میلیون مترمکعب در سال اعلام کرده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). این بدان معنی است که در استان فارس چیزی در حدود ۳۰ درصد اضافه برداشت آب تا حد آب قابل‌برنامه‌ریزی آن وجود دارد. با توجه به اثرات زیان‌بار اضافه برداشت آب بر محیط‌زیست و سپس بر سیستم‌های کشاورزی، ضروری است که هر چه زودتر مرتفع گردد (سلطانی و میرزایی، ۱۴۰۰). در همین ارتباط هیئت‌وزیران طی مصوبه‌ای (شماره ۱۵۸۹۶۹/ت ۵۵۰۹۲ هـ مورخه ۱۳۹۶/۱۲/۰۶) بخش‌های مرتبط با برداشت آب را موظف می‌کند تا برداشت آب را تا حد آب قابل‌برنامه‌ریزی کاهش دهند که برای این منظور وجود اطلاعات مرتبط با بیلان آب استان ضروری به نظر می‌رسد.

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) به‌منظور بررسی وضعیت کنونی و آینده تولید و تقاضا برای غذا در کشور در ارتباط با منابع آب و سایر محدودیت‌ها و ظرفیت‌های کشور، سامانه‌ای (سامانه ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط‌زیست: SEA[1]) را تهیه و مجموعه‌ای از سیاست‌ها و دو برنامه راهبردی برای سازگاری به کم‌آبی با حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست کشور برای برون‌رفت از وضعیت موجود ارائه کردند. سامانه مذکور برآوردهایی از حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب آبیاری و مانند این‌ها را برای بیش از ۳۵ گیاه مهم کشور ارائه می‌آورد. سامانه یاد شده برای سطح ملی تهیه شده و زیر واحدهای شبیه‌سازی آن به‌صورت استانی است. برآوردهای آن در سطح ملی معتبر بوده و برآوردهای استانی آن نیز با احتیاط قابل استفاده می‌باشند (Soltani et al., 2020c). حال چنان‌چه نیاز باشد تا آن سیاست‌ها و برنامه‌های راهبردی و یا برنامه‌های سازگاری به کم‌آبی دیگری به اجرا گذاشته شوند، ضروری است تا سامانه‌ای تهیه شود که بتواند برآوردهای مرتبط با منابع آب را به‌صورت یکپارچه و با دقت مناسب در سطح استان و زیر واحد آن (مثل شهرستان و یا بخش‌ها) ارائه کند (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). نکته مهم این است که سامانه مذکور باید بتواند بر اساس شرایط کشاورزان برآوردهای مذکور را فراهم آورد تا برای برنامه‌ریزی استانی قابل استفاده باشد. چراکه اگر برآوردها بر اساس شرایط مطلوب رشد (پتانسیل) صورت پذیرد، به واقعیت نزدیک نیست و ممکن است برنامه‌ریزی‌های مبتنی بر آن نتایج مطلوب را در پی نداشته باشد. علاوه بر این در گزارش‌های سازمان‌های مرتبط مانند جهاد کشاورزی و مدیریت منابع آب از نظر مصرف آب در بخش کشاورزی اختلاف‌هایی وجود دارد که برآوردهای سامانه مذکور باید برای رفع و یا کاهش اختلافات نیز کمک نماید (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱).

به‌طورکلی برآوردهای بیلان آب، رشد و عملکرد از طریق شبیه‌سازی در سطح وسیع مثل کشور و یا استان از دو رهیافت بالا به

1 System for integrated Assessment of water, land, food and environment (SEA)

پایین[1] و پایین به بالا[2] انجام می‌گیرد که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارد. اما رهیافت پایین به بالا به زمان، کار و تلاش بیشتری نیاز دارد و دقت آن نیز بیشتر است (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱) (برای جزئیات بیشتر به سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) و Rattalino Edreira و همکاران (۲۰۲۱) مراجعه شود). سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از رهیافت پایین به بالا و تلفیق آن با مدل شبیه‌ساز گیاهی SSM-iCrop2 (Soltani et al., 2020)، سامانه‌ای را تحت عنوان سامانه استانی بیلان آب (SAWA)[3] در استان گلستان ایجاد کردند. این سامانه قادر است برآوردهایی از بیلان آب برای هر گیاه و یا کل گیاهان در اراضی کشاورزی استان در شرایط کشت آبی و دیم ارائه دهد.

هدف اصلی این مطالعه تهیه سامانه استانی بیلان و حسابداری آب در اراضی کشاورزی آبی استان فارس بر اساس روش سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) بود. این سامانه قادر است برآوردهایی از اطلاعات مربوط به رشد، عملکرد، اجزای بیلان آب و حجم آب آبیاری به‌صورت روزانه، ماهانه و انتهای فصل رشد برای گیاهان مهم استان برای شرایط «مطلوب رشد (پتانسیل)» و «مزارع کشاورزان» ارائه دهد. برآوردهای این سامانه برای تهیه برنامه‌های سازگاری به کم‌آبی مثل تغییر الگوی کشت کشاورزان استان قابل استفاده است.

مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده در این مطالعه مبتنی بر یک پروتکل مقیاس نمایی پایین به بالا، یک مدل شبیه‌ساز گیاهی و داده‌های ورودی مختلف می‌باشد که روی هم رفته سامانه حسابداری استانی آب را تشکیل می‌دهند. با استفاده از یک پروتکل خاص، اراضی کشاورزی آبی استان به پهنه‌های یکنواخت تقسیم گردید. مساحت کشت هر گیاه در هر پهنه برای شرایط کشت آبی تعیین شد و سپس اطلاعات اقلیمی، خاک و مدیریت هر پهنه تهیه گردید. مدل شبیه‌ساز گیاهی (هسته اصلی سامانه) برای شبیه‌سازی گیاهان مهم استان در هر پهنه برای شرایط کشت آبی در شرایط «مزارع کشاورزان» واسنجی و برپا (ستآپ)[4] شد؛ به‌طوری‌که رشد، عملکرد و اجزای بیلان آب مزرعه را برای این گیاهان در سراسر استان به‌صورت یکپارچه شبیه‌سازی کند. در شکل ۱ فلوچارت گردش اطلاعات در سامانه نشان داده شده است.

گیاهان مهم استان

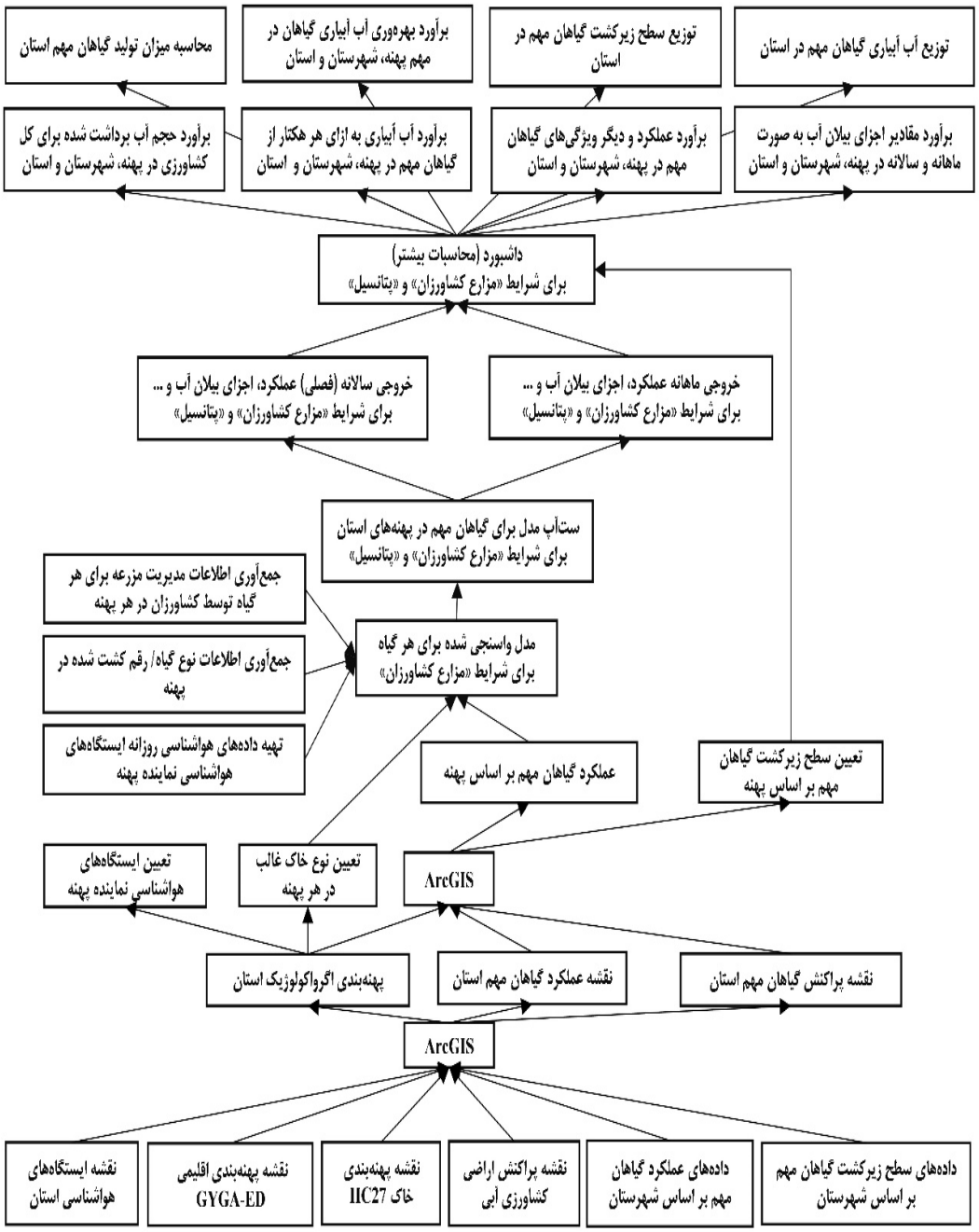
گیاهان مهم کشور قبلاً توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) به گونه‌ای انتخاب شدند که سطح زیرکشت حداقل ۵۰ هزار هکتار در کشور داشته باشند. بر همین اساس گیاهان مهم استان، طوری انتخاب شدند که (۱) جزو گیاهان مهم کشور باشند و (۲) سطح زیرکشت حداقل ۱۰۰۰ هکتار در سطح استان دارا باشند. فهرست گیاهان مهم استان بر اساس معیارهای تعیین شده، در جدول ۱ آورده شده است. به‌طورکلی بیشترین سطح زیرکشت در بین کل گیاهان استان در شرایط کشت آبی به ترتیب متعلق به گندم، جو و مرکبات بود. سامانه مورد نظر در مطالعه کنونی قرار است این گیاهان را در سراسر استان در شرایط کشت آبی شبیه‌سازی کند.

مدل شبیه‌ساز گیاهی مورد استفاده

در این مطالعه از یک مدل شبیه‌ساز گیاهی بنام SSM-iCrop2 استفاده شده است که شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بیلان آب را انجام می‌دهد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). تهیه و کاربرد مدل‌های SSM از سال ۱۹۸۶ توسط Sinclair برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا شروع شده است و از آن زمان تاکنون در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Soltani & Sinclair, 2012؛ Sinclair *et al.*, 2019؛ سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). مدل SSM-iCrop2 ساده شده مدل اصلی SSM (Soltani *et al.*, 2013) است که برای شبیه‌سازی در سطح وسیع مناسب می‌باشد چون به اطلاعات و داده‌های ورودی کمتری نیاز دارد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). گام زمانی شبیه‌سازی مدل به صورت روزانه است. مدل تأثیر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کمبود عناصر غذایی خاک را در نظر نمی‌گیرد. در مدل برای شبیه‌سازی بیلان آب، خاک به صورت دو لایه در نظر گرفته می‌شود: لایه فوقانی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و لایه دوم که خود شامل لایه اول نیز می‌باشد و برابر با عمق مؤثر استخراج آب توسط ریشه است. عمق مؤثر ریشه در زمان سبزشدن برای گیاهان زراعی برابر با ۲۰ سانتی‌متر و برای گیاهان دائمی مثل درختان برابر با ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. پس از سبزشدن به ازای هر واحد دمایی، به مقداری که از پارامترهای گیاهی محسوب می‌شود، بر عمق ریشه افزوده می‌شود. عمق نهایی قابل دسترس برای ریشه می‌تواند بر اساس مرحله فنولوژیک، عمق نفوذ ریشه، عمق خاک و یا موانع فیزیکی و شیمیایی موجود در خاک برای رشد ریشه تعیین گردد (Soltani & Sinclair, 2012؛ سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بیلان آب بر اساس داده‌های هواشناسی،

1 Top-down
2 Bottom-Up
3 System for regional Agricultural Water balance and water Accounting
4 Setup

ویژگی‌های خاک، اطلاعات مربوط به مدیریت و پارامترهای گیاه و رقم صورت می‌گیرد. به عبارت ساده‌تر مدل رشد، عملکرد و موازنه آب‌خاک در مزرعه (شامل آب آبیاری با لحاظ باران مؤثر، تعرق، تبخیر، رواناب، زهکشی عمقی، برگاب و تعرق علف‌های هرز) را با استفاده از روابط مناسب شبیه‌سازی می‌کند. در جدول ۲ خلاصه‌ای از روش‌های مورد استفاده در مدل آورده شده است. برای جزئیات بیشتر درباره مدل به سلطانی (۱۳۸۸)، سلطانی و همکاران (۱۳۹۸)، Soltani و Sinclair (۲۰۱۲) و Soltani و همکاران (۲۰۲۰ الف) مراجعه شود. این مدل برای شبیه‌سازی هر گونه حدود ۲۰ پارامتر نیاز دارد که اخیراً برای بیش از ۳۵ گیاه اصلی کشور پارامتریابی و ارزیابی شده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Soltani *et al*., 2020a).



شکل ۱. فلوچارت گردش اطلاعات در سامانه حسابداری استانی آب.

جدول ۱. متوسط سطح کشت، تولید و عملکرد محصولات زراعی آبی، باغی آبی و سایر گیاهان آبی در استان فارس بر اساس آمار ۵ ساله از ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰

نام محصول	سطح کشت (Ha)		تولید (T)	عملکرد (Kg/Ha)
	غیرمثمر*	مثمر		
زراعی				
گندم	–	۲۸۹۲۴۵/۸	۱۳۴۷۴۵۲/۵	۴۶۵۸/۵
جو	–	۶۲۸۴۰/۲	۲۱۳۸۰۶/۸	۳۴۰۲/۴
یونجه	–	۳۳۰۱۶/۷	۳۵۰۳۰۳/۰	۱۰۶۰۹/۹
ذرت علوفه‌ای	–	۲۸۷۷۳/۲	۱۷۰۸۹۶۶/۶	۵۹۳۹۴/۴
برنج	–	۲۵۳۷۴	۱۳۳۲۵۶/۶	۵۲۵۱/۷
لوبیا	–	۲۴۸۹۰	۵۸۳۲۹/۷	۲۳۴۳/۵
پنبه	–	۱۶۵۰۴/۱	۵۸۴۶۲/۱	۳۵۴۲/۳
ذرت دانه‌ای	–	۱۴۳۴۵/۴	۱۳۱۸۲۱/۴	۹۱۸۹/۱
چغندرقند	–	۱۲۹۱۴/۳	۶۸۵۷۳۷/۳	۵۳۰۹۹/۱
کلزا	–	۱۰۹۴۰/۷	۲۲۵۹۷/۶	۲۰۶۵/۶
کنجد	–	۸۹۷۰	۹۸۵۹/۸	۱۰۹۹/۲
سیب‌زمینی	–	۸۴۸۶/۲	۳۶۳۱۶۸/۵	۴۲۷۹۶/۲
نخود	–	۲۰۷۱/۱	۴۵۷۲/۵	۲۲۰۷/۸
عدس	–	۱۹۷۸/۳	۳۶۹۲/۳	۱۸۶۶/۴
باغی				
مرکبات	۸۷۶۳	۵۴۴۲۶/۴	۱۱۶۸۰۴۷/۲	۲۱۴۶۱/۰
انگور	۱۳۱۲	۳۱۸۵۵	۴۶۳۵۰۲/۹	۱۴۵۵۰/۴
خرما	۳۳۵۰/۸	۳۰۹۱۳	۲۰۷۹۱۴/۶	۶۷۲۵/۸
سیب	۲۲۴۱/۴	۲۸۲۶۶/۲	۴۶۴۸۶۸/۲	۱۶۴۴۵/۱
انار	۱۶۶۲/۴	۲۱۷۲۷/۶	۳۶۳۸۲۹/۸	۱۶۷۴۵/۵
پسته	۸۴۴۳	۲۰۹۰۳/۱	۲۵۲۰۹/۰	۱۲۰۶/۰
گردو	۶۶۲/۸	۷۵۷۲/۴	۱۴۸۴۴/۱	۱۹۶۰/۳
بادام	۱۲۴۳/۶	۷۵۱۶/۳	۱۱۰۷۹/۳	۱۴۷۴/۰
زیتون	۲۵۳۵/۴	۷۳۸۴/۴	۱۹۳۵۰/۵	۲۶۲۰/۵
هلو	۳۰۴/۲	۳۷۷۳/۱	۴۲۳۹۰/۸	۱۱۲۳۵/۰
به	۵۲۶/۶	۳۲۸۸/۴	۴۷۳۹۲/۹	۱۴۴۱۲/۱
زردآلو	۳۱۵/۴	۲۴۹۳/۴	۲۶۳۰۲/۴	۱۰۵۴۸/۸
آلو	۲۴۳/۴	۲۳۴۰	۲۲۴۱۲/۷	۹۵۷۸/۱
انجیر	۱۰۴۹/۲	۱۶۸۸/۳	۸۹۹۲/۵	۵۳۲۶/۴
سبزی و صیفی				
گوجه‌فرنگی	–	۱۵۲۵۱/۳	۴۸۷۹۳۵/۷	۳۱۹۹۳/۱
هندوانه	–	۱۳۸۹۹/۰	۶۳۸۰۴۱/۱	۴۵۹۰۵/۵
خربزه	–	۸۱۷۹/۲	۲۵۱۵۸۲/۸	۳۰۷۵۸/۹
پیاز	–	۵۵۵۷	۲۳۲۴۴۷/۱	۴۱۸۲۹/۶
خیار	–	۴۸۲۴/۲	۱۰۷۶۱۷/۸	۲۲۳۰۷/۹
گرمک	–	۱۵۶۸/۳	۴۲۵۷۹/۹	۲۷۱۵۰/۴
بادنجان	–	۱۴۵۵/۴	۴۶۰۵۲/۹	۳۱۶۴۵/۰
سایر				
سایر زراعی	–	۷۳۰۹۸/۹	۶۵۵۷۰۷	۸۹۷۰/۱
سایر سبزی–صیفی	–	۱۱۵۰۵/۴	۱۵۴۹۳۶/۵	۱۳۴۶۶/۴
سایر باغبانی	۱۳۴۲/۴	۱۰۰۴۰/۳	۵۵۲۲۸/۱	۵۵۰۰/۶
سایر گلخانه‌ای	–	۵۱۳/۸	۹۴۶۲۰	۱۸۴۱۵۷/۳
کل	۳۳۹۹۵/۶	۹۱۰۳۹۰/۹	۱۰۷۴۴۹۱۲/۵	–

*غیرمثمر: منظور باغ‌هایی است که به‌تازگی احداث شده است و یا هنوز درختان به باردهی و میوه‌دهی نرسیده باشند.

جدول ۲. خلاصه‌ای از روش‌های محاسباتی مورد استفاده در مدل SSM-iCrop2 (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Soltani et al., 2020a; Soltani & Sinclair, 2012).

شاخص	روش محاسبه
تاریخ کاشت و باز شدن جوانه درختان	تابعی از دما
فنولوژی	بر اساس دما
شاخص سطح برگ	تابعی از دما، مرحله رشد و تنش دما و آب
تولید ماده خشک	بر اساس مفهوم کارایی استفاده از تشعشع
تشکیل عملکرد	بر اساس مفهوم افزایش خطی در شاخص برداشت
رواناب	بر اساس روش شماره منحنی خاک + اشباع بودن خاک
زهکشی عمقی	بر اساس ضریب زهکشی خاک و آب مازاد بر ظرفیت زراعی
تبخیرتعرق پتانسیل	بر اساس روش پریستیلی و تیلور
تبخیر از سطح خاک	بر اساس روش دو مرحله‌ای تغییر یافته
تعرق	به عنوان تابعی از تولید ماده خشک توسط گیاه
برگاب	به عنوان تابعی از میزان بارندگی و شاخص سطح برگ گیاه
تعرق علف‌های هرز	به عنوان تابعی از شاخص سطح برگ علف‌های هرز

روش مورد استفاده برای برپایی (ست‌آپ) مدل و تهیه سامانه

روش مورد استفاده برای تهیه برپایی (ست‌آپ) مدل و تهیه سامانه بر اساس روش سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) بود. سامانه تهیه‌شده بر اساس روش ایشان، مبتنی بر یک پروتکل مقیاس نمایی پایین به بالا، یک مدل شبیه‌ساز گیاهی و داده‌های ورودی مختلف می‌باشد. پروتکل پایین به بالا نقطه مقابل پروتکل بالا به پایین است. هر دو پروتکل مذکور از روش‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی بیلان آب، رشد و عملکرد گیاهان در سطح وسیع (مثل استان) هستند با این تفاوت که در پروتکل بالا به پایین در ابتدا ناحیه (استان) مورد نظر را شبکه‌بندی می‌کنند، سپس اطلاعات هواشناسی، خاک، گیاهی و مانند این‌ها را برای آن شبکه‌ها از بانک‌های اطلاعاتی موجود استخراج می‌کنند. اطلاعات این بانک‌های مختلف از طریق درون‌یابی و برون‌یابی تولید می‌شوند، معمولاً دقیق نیست (Mourtzinis *et al*., 2017; Rattalino Edreira *et al*., 2021). سپس این اطلاعات به مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی داده می‌شود و برای آن ناحیه با استفاده از پارامترهای عمومی[1] گیاهی شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. اما در پروتکل پایین به بالا که از سال ۲۰۱۰ به این سو در پروژه‌های بزرگ و متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (van Ittersum *et al*., 2013) در ابتدا ناحیه مورد نظر پراکنش گیاه (گیاهان) مورد مطالعه مشخص می‌شود که در کجا چه گیاهانی کشت می‌گردد (تعیین موقعیت مکانی محصول یا محصولات مورد کشت) و همچنین پهنه‌های اگرواکولوژیکی کشت گیاه (گیاهان) شناسایی می‌شود و سپس نقاطی به عنوان نماینده آن پهنه‌ها مشخص می‌گردد. از آن نقاط اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شده و به عنوان اطلاعات ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت خروجی‌های شبیه‌سازی توسط مدل برای این نقاط به نواحی کشت و یا استان تعمیم داده می‌شوند. به طور کلی سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) تهیه سامانه مورد نظر را طی سه گام اصلی انجام داد که به شرح زیر است:

الف- پهنه‌بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی آبی استان: دستیابی به پهنه‌های همگن اقلیمی- خاکی اراضی کشاورزی آبی بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی GYGA-ED (van Wart, *et al*., 2013) و پهنه‌بندی خاک HC27 (Koo & Dimes, 2013) انجام شد (برای جزئیات بیش‌تر در مورد پهنه‌بندی اقلیمی (GYGA-ED) و خاک (HC27) به سلطانی و همکاران (۱۴۰۱)، سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) و Nehbandani و همکاران (۲۰۲۰) مراجعه شود). با روی‌هم‌اندازی نقشه‌های کاربری اراضی و پهنه‌های اقلیمی GYGA-ED و پهنه‌های خاک، تعداد ۱۷ پهنه اگرواکولوژیک شناسایی شد. جزئیات و مشخصات این پهنه‌ها در بخش نتایج و بحث ارائه خواهد شد.

ب- تعیین ایستگاه‌های هواشناسی نماینده و نوع خاک در هر پهنه اگرواکولوژیک: با مشخص شدن پهنه‌های اگرواکولوژیک، ایستگاه هواشناسی نماینده شناسایی گردید و عبارت است از ایستگاه هواشناسی که در اقلیم یکسان با اقلیم پهنه واقع شده باشد و پهنه مورد نظر در بافر ایستگاه با شعاع ۱۰۰ کیلومتری قرار داشته باشد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). اطلاعات هواشناسی روزانه این ایستگاه‌ها برای ۱۰ سال اخیر (۲۰۱۱- ۲۰۲۱ میلادی) به منظور شبیه‌سازی گیاهی جمع‌آوری، کنترل کیفی و استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر این، اطلاعات خاک هر پهنه از بانک HC27 (Koo & Dimes, 2013) استخراج و برای کاربرد در مدل آماده گردید. وضوح این بانک

1 Generic

اطلاعاتی ۱۰ کیلومتر است و کیفیت آن توسط نه‌بندانی و همکاران (۲۰۲۰) برای شرایط کشور مورد بررسی قرار گرفته که نتیجه آن رضایت‌بخش بوده است.

ج- برپایی (ستآپ) و واسنجی مدل شبیه‌ساز گیاهی ساده برای شبیه‌سازی عملکرد، بیلان آب و سایر متغیرهای گیاهان مهم استان در مزارع کشاورزان در هر پهنه اگرواکولوژیک: این گام خود از ۳ زیرمرحله تشکیل شده بود که عبارتند از: (۱) تهیه نقشه پراکنش گیاهان مهم استان و تعیین مساحت مورد کشت هر گیاه در هر پهنه اگرواکولوژیک. (۲) برآورد عملکرد واقعی کشاورزان در هر پهنه بر اساس عملکرد واقعی کشاورزان در شهرستان‌های استان (تبدیل عملکردها از سطح شهرستان به سطح پهنه). (۳) واسنجی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد واقعی هر گیاه در مزارع کشاورزان در هر پهنه.

همان‌طور که بیان شد گام «ج» خود از سه زیرمرحله تشکیل شده بود که به شرح زیر هستند: در مرحله اول (۱) برای تهیه نقشه‌های پراکنش گیاهان مهم استان از نقشه کاربری اراضی کشاورزی آبی استان به عنوان نقشه پایه استفاده گردید. نقشه‌های پراکنش گیاهان مهم استان برای موقعیت‌یابی آن‌ها و تعیین سطح زیرکشت هر گیاه در هر پهنه اگرواکولوژیک مورد نیاز بود. روش مورد استفاده در تهیه این نقشه‌ها بر اساس روش توضیح داده شده توسط عالی‌مقام و همکاران (۱۴۰۲) بود. برای تهیه نقشه‌ها از اطلاعات پنج سال (برداشت) ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ استفاده شده است. با روی‌هم اندازی این نقشه‌ها و نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیک، سطح زیرکشت گیاهان در هر یک از پهنه‌ها حاصل شد. اطلاعات سطح زیرکشت گیاهان در هر پهنه برای تعمیم نتایج از سطح هکتار به پهنه و یا تبدیل نتایج از پهنه به سطح شهرستان‌ها مورد نیاز بود.

در مرحله دوم (۲) نیاز بود که عملکرد در واحد سطح گیاهان مهم استان که به‌صورت شهرستانی از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه شده بودند، به عملکرد در واحد سطح در پهنه‌های اگرواکولوژیک تبدیل شوند تا در واسنجی مدل مورد استفاده قرار گیرند. این کار برای ۳۵ گیاه مهم استان و برای هر یک از سال‌های برداشت ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ تهیه شد. به‌عبارت‌دیگر این محاسبات برای ۱۷۵ ترکیب گیاه- سال صورت گرفت. در این مطالعه به‌منظور صرفه‌جویی در زمان از زبان برنامه‌نویسی پایتون[1] و ایجاد مدل در GIS[2] برای انجام مراحل یک و دو استفاده شد.

در مرحله سوم (۳) عملکردهای حاصل از شبیه‌سازی (مدل SSM-iCrop2) با عملکرد واقعی کشاورزان (مستخرج از مرحله دوم) برای هر گیاه در هر پهنه اگرواکولوژیک در یک نمودار مقابل یکدیگر قرار داده شد. این کار برای تمامی گیاهان انجام پذیرفت. همان‌طور که بیان شد، مدل مذکور قبلاً برای بیش از ۳۵ گیاه مهم کشور پارامتریابی و ارزیابی شده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). این پارامتریابی و ارزیابی برای شرایط آزمایش‌های کشاورزی با فرض عدم محدودیت عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز انجام گرفته است. درصورتی‌که در شرایط مزارع کشاورزان این عوامل فعال هستند و موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شوند. با توجه به ماهیت مدل و فیزیولوژی تأثیر این عوامل بر رشد و عملکرد گیاهان، فرض گردید که عوامل مذکور از طریق تأثیر بر سه پارامتر موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند که عبارتند از: (۱) LAIMX: حداکثر شاخص سطح برگ که در شرایط مطلوب رشد قابل‌دستیابی است. (۲) IRUE: کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی و تبدیل آن به ماده خشک و (۳) HImax: حداکثر شاخص برداشت در شرایط مطلوب رشد. در واسنجی مدل، پارامترهای سه‌گانه مذکور تغییر داده شدند تا عملکردهای شبیه‌سازی‌شده توسط مدل به عملکردهای واقعی کشاورزان نزدیک شوند. همچنین برای شبیه‌سازی تأثیر علف‌های هرز بر بیلان آب مزرعه از طریق تعرق، پارامتری به مدل اضافه شد که عبارت است از متوسط سطح برگ علف‌های هرز در مزرعه (LAIW). چنان‌چه برآوردی از این پارامتر در مدل وارد گردد، تعرق علف‌های هرز شبیه‌سازی می‌شود. در صورت عدم قرار دادن مقداری برای این پارامتر، مدل فرض می‌کند تعرق علف‌های هرز ناچیز است و از شبیه‌سازی صرف‌نظر می‌کند.

سامانه تهیه‌شده (SAWA) برای استان فارس به روش بالا عبارت است از یک مدل شبیه‌سازی که با استفاده از ورودی‌هایی مثل اطلاعات هواشناسی، مدیریتی، خاک و گیاه (رقم) قادر است رشد، عملکرد و مؤلفه‌های بیلان آب را برای گیاهان مهم استان در پهنه‌های اگرواکولوژیک تعریف‌شده در این مطالعه برای سراسر استان شبیه‌سازی کند. شایان ذکر است که این شبیه‌سازی برای شرایط مطلوب (پتانسیل) و شرایط مزارع کشاورزان قابل انجام است. خروجی‌های سامانه به‌صورت روزانه و فصلی قابل تولید هستند. علاوه بر این خروجی‌های سامانه برای مؤلفه‌های بیلان آب در مزرعه به‌صورت ماهانه نیز قابل تولید هستند. از خروجی‌های دیگر سامانه می‌توان به تاریخ کاشت، تاریخ بازشدن جوانه در درختان، مراحل مهم فنولوژیک گیاهان مهم استان مثل روز تا پر شدن دانه یا میوه و یا روز تا برداشت،

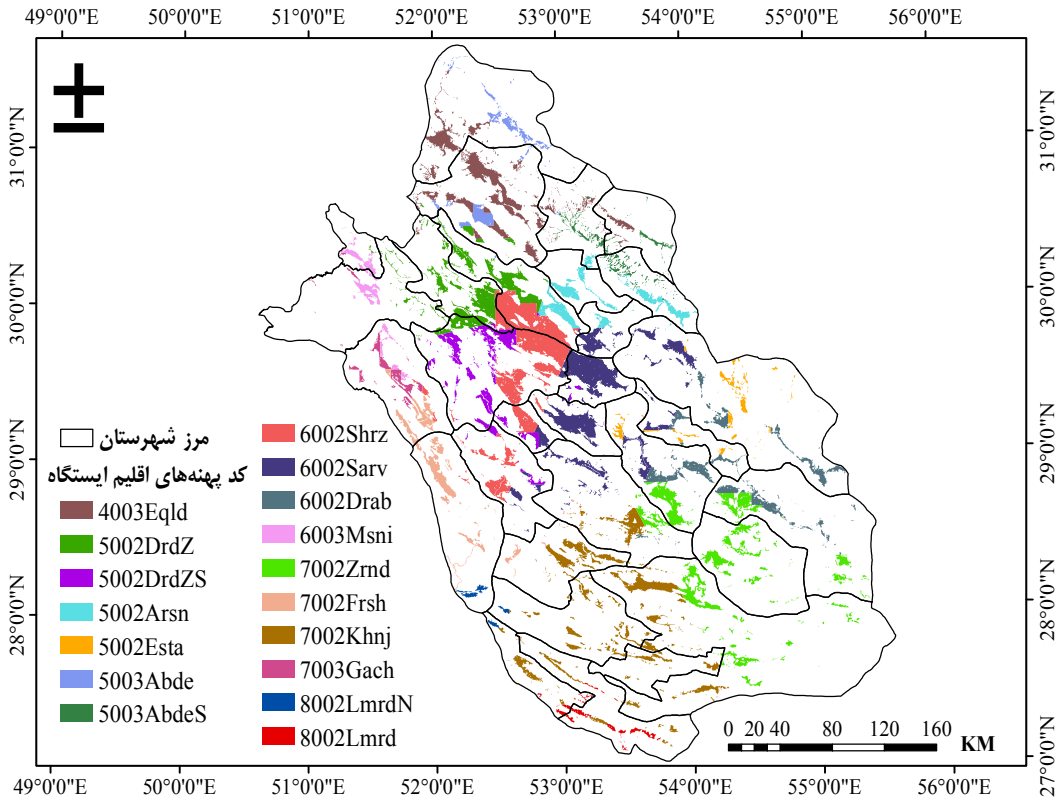
1 Python
2 ModelBuilder in ArcGIS

عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ و مؤلفه‌های بیلان آب یعنی آبیاری، تعرق، تبخیر، رواناب، زهکشی عمقی، برگاب و تعرق علف‌های هرز نام برد. خروجی‌های سامانه برای هر گیاه در هر پهنه که به‌صورت در واحد سطح هستند قابل تبدیل به مقادیر کل در پهنه می‌باشند. برای این منظور فایل دیگری بنام داشبورد تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. در داشبورد اطلاعات سطح زیرکشت گیاهان در هر یک از خروجی‌های سامانه ضرب شده و مقادیر کل پهنه و سپس استان قابل برآورد است. برای نمونه حجم آب آبیاری در واحد سطح برای گیاهان هر پهنه به کل حجم آبیاری در پهنه اگرواکولوژیک قابل تبدیل است. به‌این‌ترتیب خروجی‌های مختلف از جمله مؤلفه‌های بیلان آب در کل استان به تفکیک گیاه و یا کل گیاهان قابل برآورد است. چنانچه بیان شد در مطالعه حاضر از اطلاعات هواشناسی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ برای شبیه‌سازی استفاده شد ولی برای هر بازه زمانی و نیز به‌صورت real time قابل استفاده است.

نتایج و بحث

پهنه‌بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی آبی استان فارس

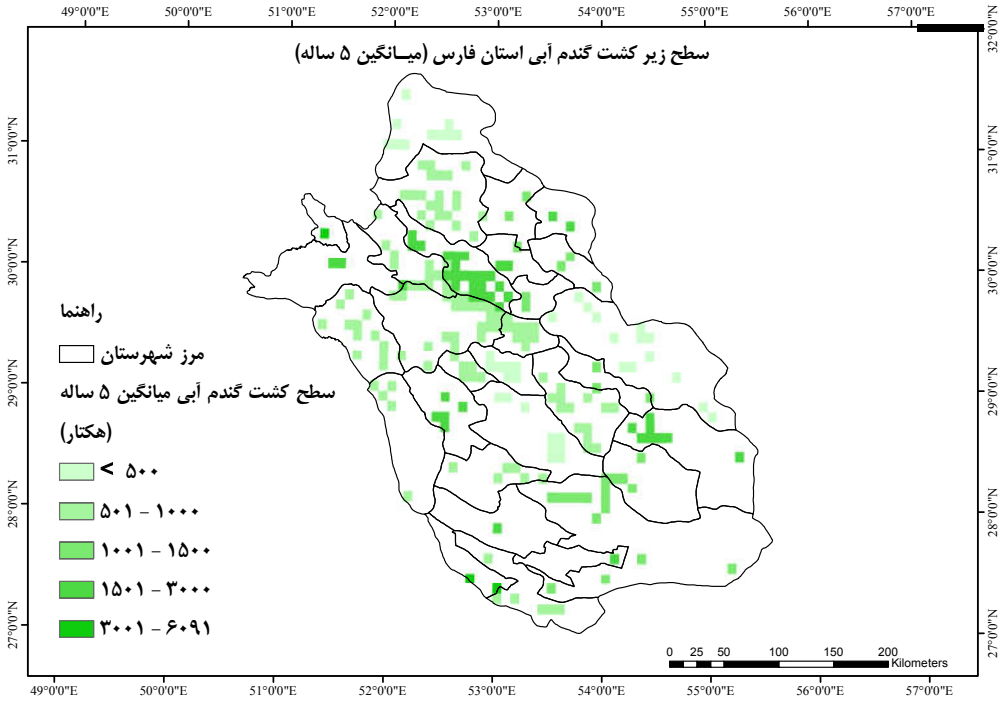
با روی‌هم‌اندازی نقشه‌های کاربری اراضی، ایستگاه‌های هواشناسی و پهنه‌های اقلیمی تعداد ۱۷ پهنه اگرواکولوژیک در اراضی کشاورزی آبی استان شناسایی شدند (شکل ۲) که بیش از ۹۵ درصد از اراضی کشاورزی آبی استان را تحت پوشش قرار داد. برای این میزان پوشش نیاز بود تا اطلاعات هواشناسی ۱۴ ایستگاه در سطح استان استفاده گردد. این ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن شعاع ۱۰۰ کیلومتری برای هر یک از آن‌ها و ملاحظاتی که در بخش روش‌ها وجود داشت، شناسایی و انتخاب شدند. دلیل تعداد بیشتر ایستگاه در مقایسه با تعداد پهنه‌های اقلیمی این است که برخی پهنه‌های اقلیمی بزرگ هستند و برای پوشش آن‌ها به بیش از یک ایستگاه هواشناسی نیاز بود. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که استفاده از شعاع ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتری کافی می‌باشد (van Ittersum *et al.*, 2013). جزئیات و مشخصات پهنه‌های مذکور در جدول ۲ آورده شده است. مهم‌ترین پهنه‌های اگرواکولوژیک استان به ترتیب عبارتند از 6002Shrz، 6002Sarv، 7002Khnj، 7002Zrnd، 4003Eqld، 5002DrdZ و 6002Drab که بیش از ۷۰ درصد از اراضی کشاورزی آبی استان را در خود جای داده بودند.



شکل ۲. پهنه‌بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی آبی به دست آمده که بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی آبی استان را پوشش می‌دهد. هر رنگ نشان‌دهنده یک پهنه اگرواکولوژیک است که با کد ۸ یا ۹ حرفی مشخص شده است.

نقشه پراکنش گیاهان در استان

در شکل ۳ برای نمونه نقشه پراکنش گندم بر اساس میانگین سطح زیرکشت آن در سال‌های (برداشت) ۱۴۰۰-۱۳۹۶ ارائه شده است. مشابه این نقشه برای ۳۵ گیاهان مهم استان تهیه و استفاده گردید. در این نقشه‌ها هر پیکسل به ابعاد ۰/۰۸۳ در ۰/۰۸۳ درجه و مساحت ۳۵۰۰ هکتار بود. موقعیت هر پیکسل محل کشت گیاه را در استان مشخص می‌سازد و تفاوت رنگ پیکسل‌ها نشانگر تفاوت در چگالی یا تراکم کشت گیاه در هر پیکسل است و نشان می‌دهد چه بخشی از مساحت پیکسل به کشت گیاه موردنظر اختصاص یافته است. یکی از کاربردهای مهم این نقشه‌ها که در این مطالعه به کار رفت، استفاده از آن‌ها در ترکیب با نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی و خاک برای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی نماینده و نوع خاک آن‌ها برای استفاده در مطالعات شبیه‌سازی تولید گیاهی است. علاوه بر این، وجود این نقشه‌ها می‌تواند اهمیت زیادی در مطالعات و تصمیمات کلان کشوری و استانی در زمینه‌های مختلف (مثل برنامه‌ریزی و توسعه شهری، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، سیل و بلایای طبیعی، بررسی خلأ عملکرد و امنیت غذایی، مدیریت سیستم‌های تولید دام، خدمات اکوسیستم‌ها، مدیریت مصرف کود، تعیین الگوی کشت و سایر مطالعات در بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی) داشته باشد (You *et al*., 2014).



شکل ۳. نقشه پراکنش گندم آبی در استان فارس. این نقشه بر اساس اطلاعات سطح زیرکشت ۱۳۹۶-۱۴۰۰ در استان فارس تهیه شده است. تفاوت رنگ‌ها مربوط به هکتار سطح زیرکشت در هر پیکسل است. در این نقشه‌ها دقت هر پیکسل برابر با ۰/۰۸۳۳ در ۰/۰۸۳۳ درجه که در این حالت ابعاد هر پیکسل ۳۵۰۰ هکتار می‌شود.

با روی هم‌اندازی نقشه‌های پراکنش گیاهی و نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیک، اطلاعات سطح زیرکشت هر گیاه در هر پهنه مشخص گردید. اطلاعات سطح زیرکشت گیاهان در تبدیل برآوردهای واحد سطح پهنه به کل در پهنه کاربرد دارند. برای نمونه اطلاعات سطح زیرکشت گندم آبی در پهنه‌های اگرواکولوژیک تعریف‌شده در این مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود پهنه 6002Shrz با ۲۰ درصد، 5002DrdZ با ۱۱/۲ درصد، 7002Zrnd با ۱۰/۴ درصد، 4003Eqld با ۸/۸ درصد، 7002Khnj با ۸/۵ درصد، 6002Sarv با ۶/۷ درصد، 5002Arsn با ۵/۸، 6003Msni با ۴/۹ و 6002Drab با ۴/۶ درصد بیش از ۸۰ درصد از سطح زیرکشت گندم آبی استان را در خود جای داده‌اند. در سامانه تهیه‌شده چنانچه به متغیرهای کل مثل تولید گیاه در پهنه یا حجم آب آبیاری برای گیاه در پهنه نیاز باشد، با حاصل‌ضرب برآورد صورت گرفته در واحد سطح و مساحت کشت گیاه در پهنه محاسبه می‌شوند. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، سامانه ۹۵/۵ درصد از سطح زیرکشت اراضی کشاورزی آبی استان را پوشش می‌دهد یعنی ۴/۵ درصد از اراضی کشاورزی آبی استان را پوشش نمی‌دهد که قابل چشم‌پوشی است (لازم به ذکر است که در مطالعات برآورد عملکرد، بیلان آب و غیره

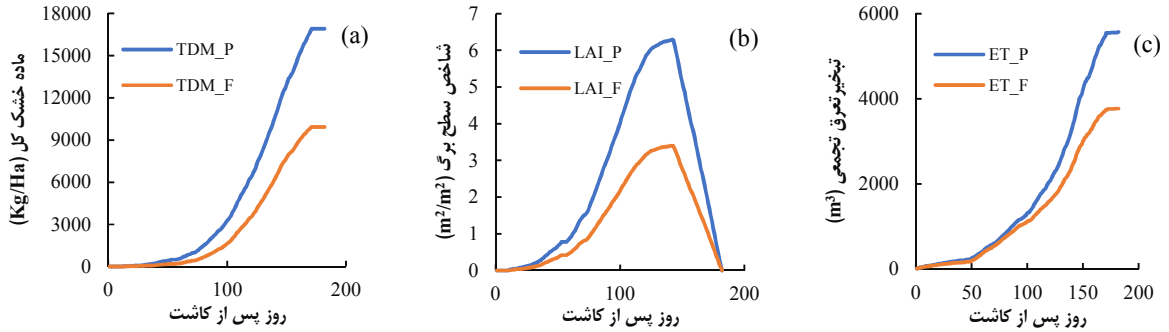
سطح پوشش بیش از ۵۰ درصد قابل قبول است). اما این بدان معنی نیست که سامانه همه گیاهان را با همین میزان، پوشش می‌دهد به عبارت ساده‌تر ممکن است بخشی از سطح زیرکشت یک گیاه در آن بخشی باشد که سامانه پوشش نداده است. به عنوان مثال، برای گندم این مقدار برابر با ۹۴/۳ درصد است که این بدان معنی است که ۵/۷ درصد از سطح زیرکشت گندم آبی استان فارس در جاهایی خارج از پهنه‌های ۱۷گانه اگرواکولوژیک تعریف‌شده در این مطالعه انجام می‌شود؛ بنابراین بایستی در برآوردهای سامانه لحاظ و محاسبه شود که برای این‌کار سامانه برآوردهای خود را به آن مناطق تعمیم می‌دهد. برای مثال، اگر برآورد حجم آب آبیاری گندم آبی در استان مدنظر باشد، باید حجم آب آبیاری شبیه‌سازی‌شده توسط سامانه برای پهنه‌ها را در مساحت کل آن گیاه در استان (به‌جای مساحت پوشش داده‌شده) ضرب شود تا برای کل استان به دست آید.

جدول ۳. مشخصات پهنه‌های اگرواکولوژیک شناسایی‌شده که بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی آبی استان را در خود جای داده‌اند. (توضیحات بیشتر در مورد کدهای اقلیم و خاک به ترتیب به van Wart, *et al.*, 2013 و Koo & Dimes, 2013 رجوع شود.).

کد پهنه	مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی نماینده						سطح کشت در پهنه		سطح کشت گندم در پهنه	
	نام	شناسه	طول	عرض	ارتفاع	کد اقلیم	کد خاک	(هکتار)	(درصد)	(هکتار)	(درصد)
6002Shrz	شیراز	۴۰۸۴۸	۵۲/۶۰	۲۹/۵۴	۱۴۸۴	۶۰۰۲	۵	۱۳۲۳۹۶	۱۴/۶	۵۶۶۹۱	۱۹/۶
6002Sarv	سروستان	۹۹۵۹۷	۵۳/۲۲	۲۹/۲۸	۱۵۵۹	۶۰۰۲	۵	۱۱۹۲۰۵	۱۳/۱	۱۹۳۹۷	۶/۷
7002Khnj	خنج	۹۹۶۳۸	۵۳/۴۲	۲۷/۸۷	۶۷۴	۷۰۰۲	۵	۹۴۶۶۷	۱۰/۴	۲۴۵۱۷	۸/۵
7002Zrnd	زرین‌دشت	۹۹۵۹۰	۵۴/۴۳	۲۸/۳۷	۱۰۲۹	۷۰۰۲	۵	۸۶۷۹۵	۹/۷۶	۳۰۰۷۷	۱۰/۴
4003Eqld	اقلید	۴۰۸۲۸	۵۲/۶۸	۳۰/۸۷	۲۳۰۰	۴۰۰۳	۵	۷۸۱۰۸	۸/۷۸	۲۵۴۷۳	۸/۸
5002DrdZ	درودزن	۴۰۸۴۴	۵۲/۴۷	۳۰/۱۸	۱۶۵۰	۵۰۰۲	۵	۷۴۰۳۶	۸/۳۲	۳۲۴۵۹	۱۱/۲
6002Drab	داراب	۴۰۸۶۲	۵۴/۳۰	۲۸/۷۹	۱۰۹۸	۶۰۰۲	۱۷	۵۵۹۰۵	۶/۲۸	۱۳۲۷۲	۴/۶
5002DrdZS	درودزن	۴۰۸۴۴	۵۲/۴۷	۳۰/۱۸	۱۶۵۰	۵۰۰۲	۵	۴۸۲۵۳	۵/۴۲	۶۸۸۳	۲/۴
5002Arsn	ارسنجان	۹۹۵۷۹	۵۳/۲۸	۲۹/۹۴	۱۷۰۳	۵۰۰۲	۱۷	۳۸۷۹۱	۴/۳۶	۱۶۷۴۲	۵/۸
7002Frsh	فراشبند	۴۰۸۶۴	۵۲/۱۲	۲۸/۸۱	۷۸۲	۷۰۰۲	۵	۳۸۱۶۸	۴/۲۹	۶۹۲۲	۲/۴
5003Abde	آباده	۴۰۸۱۸	۵۲/۶۱	۳۱/۲۰	۲۰۳۰	۵۰۰۳	۵	۲۳۶۷۵	۲/۶۶	۴۵۸۷	۱/۶
6003Msni	ممسنی	۹۹۵۸۰	۵۱/۵۴	۳۰/۰۸	۹۷۲	۶۰۰۳	۱۷	۱۹۶۹۶	۲/۲۱	۱۴۲۱۹	۴/۹
7003Gach	گچساران	۴۰۸۳۵	۵۰/۸۰	۳۰/۳۰	۶۹۹/۵	۷۰۰۳	۵	۱۵۸۷۸	۱/۷۸	۲۳۷۳	۰/۸
5002Esta	استهبانات	۹۹۶۰۷	۵۴/۰۵	۲۹/۱۴	۱۶۹۰	۵۰۰۲	۱۴	۱۵۱۳۵	۱/۷۰	۱۳۱۲	۰/۵
5003AbdeS	آباده	۴۰۸۱۸	۵۲/۶۱	۳۱/۲۰	۲۰۳۰	۵۰۰۳	۵	۱۳۸۷۹	۱/۵۶	۶۰۷۶	۲/۱
8002Lmrd	لامرد	۸۸۱۹۰	۵۳/۲۰	۲۷/۳۶	۴۰۵	۸۰۰۲	۵	۹۵۳۱	۱/۰۷	۱۰۹۷۶	۳/۸
8002LmrdN	لامرد	۸۸۱۹۰	۵۳/۲۰	۲۷/۳۶	۴۰۵	۸۰۰۲	۵	۵۲۵۵	۰/۵۹	۷۸۳	۰/۳
-	کل	-	-	-	-	-	-	۸۶۹۳۷۴	۹۵/۹	۲۷۲۷۵۹	۹۴/۳

نمونه خروجی‌های سامانه SAWA

در مطالعه کنونی برآوردها بر اساس اطلاعات ۱۰ ساله هواشناسی (۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱) انجام گرفت اما سامانه SAWA توانایی برآورد اطلاعات مذکور را برای هر بازه زمانی و نیز اجرا به صورت real time را دارد. در شکل ۴ یک نمونه از شبیه‌سازی تجمع ماده خشک (a)، شاخص سطح برگ (b) و تبخیرتعرق تجمعی (c) گندم آبی که در پهنه اگرواکولوژیک پهنه 6002Shrz (ایستگاه هواشناسی شیراز) در سال ۲۰۲۱ برای شرایط پتانسیل و مزارع کشاورزان انجام شده، نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود برآوردها در شرایط مزارع کشاورزان نسبت به شرایط پتانسیل، کمتر هستند. لازم به ذکر است که اکثر مدل‌ها و نرم‌افزارها محاسبه نیاز آبی و حجم آب آبیاری را برای شرایط مطلوب (رشد مطلوب گیاهی بدون در نظر گرفتن تأثیر منفی عوامل مثل آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و کمبود عناصر غذایی) انجام می‌دهند که متفاوت از آن چیزی است که در شرایط واقعی کشاورزی اتفاق می‌افتد. بنابراین، برای شرایط کشاورزان قابل استفاده نیستند مگر اینکه با استفاده از روش‌های تجربی برای شرایط واقعی کشاوران تبدیل گردند. این اصلاحات همراه با خطا و فرضیات بیش‌تر هستند (Soltani *et al.*, 2020b). اما در سامانه SAWA برآوردها برای شرایط کشاورزان و شرایط پتانسیل مستقیماً توسط سامانه انجام می‌شوند و نیازی به کاربرد روش‌های تجربی به منظور بهینه‌سازی و یا اصلاح برآوردها وجود ندارد.



شکل ۴. مقایسه برآوردهای شبیه‌سازی‌شده ماده خشک کل (a)، شاخص سطح برگ (b) و تبخیرتعرق تجمعی (c) گیاه گندم آبی توسط مدل برای شرایط پتانسیل (P) و مزارع کشاورزان (F) در سال ۲۰۲۱ در پهنه 6002Shrz (ایستگاه هواشناسی شیراز).

همان‌طور که قبلاً بیان شد، هدف از تهیه سامانه SAWA برآورد اطلاعات مصرف و برداشت آب و برخی اطلاعات مرتبط با عملکرد و فنولوژی گیاهان مهم استان فارس بود. سامانه تهیه‌شده قادر است این اطلاعات ارزشمند و معتبر را برای ۳۵ گیاه مهم استان برآورد کند. برای نمونه در جدول ۴ برآوردهای سامانه از برخی اطلاعات خروجی آن شامل عملکرد، حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب آبیاری گیاه گندم در شرایط مزارع کشاورزان و پتانسیل در پهنه‌های تعریف‌شده در این مطالعه آورده شده است. بهره‌وری آب عبارت است از نسبت عملکرد محصول (کیلوگرم) به میزان آب تعرق شده توسط گیاه (مترمکعب) و بهره‌وری آب آبیاری عبارت است از نسبت عملکرد محصول (کیلوگرم) به میزان آب آبیاری (مترمکعب). منظور از آب آبیاری، حجم آب آبیاری به همراه لحاظ باران مؤثر است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد برآوردهای مذکور در شرایط مزارع کشاورزان از شرایط پتانسیل کمتر است که دلیل اصلی آن به نحوهٔ مدیریت کشاورزان در پهنه‌ها بازمی‌گردد. در شرایط کشاورزان آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز فعال هستند و در بیشتر مواقع کمبود عناصر غذایی نیز وجود دارد. اما در شرایط پتانسیل تأثیر این عوامل در نظر گرفته نمی‌شود، به همین دلیل می‌توان گفت برآوردهایی که بر اساس شرایط پتانسیل انجام می‌گیرد نشان‌دهنده شرایط واقعی مزارع نیست و به نظر می‌رسد بهتر است که برنامه‌ریزی‌های سازگاری با کم‌آبی که بر اساس آن انجام نگردد بلکه برآوردهای حاصل از شرایط مزارع کشاورزان مدنظر قرار گیرد، در این صورت احتمال دستیابی به نتایج مطلوب بیشتر خواهد بود.

جدول ۴. برآوردهای سامانه از عملکرد، حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب آبیاری گیاه گندم در شرایط کشاورزان (F) و پتانسیل (P) در پهنه‌های تعریف‌شده در این مطالعه برای استان فارس. شبیه‌سازی‌ها بر اساس اطلاعات هواشناسی سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ صورت گرفته است. مشابه این جدول برای ۳۵ گیاه مهم قابل تولید هستند

کد پهنه	عملکرد (Kg/Ha)		حجم آب آبیاری (mm)		بهره‌وری آب (Kg/m³)		بهره‌وری آب آبیاری (Kg/m³)	
	F	P	F	P	F	P	F	P
6002Shrz	۴۷۸۳	۹۶۵۶	۲۵۰/۸	۳۴۹/۷	۱/۱۷	۱/۶۹	۱/۹۱	۲/۷۶
6002Sarv	۴۸۳۰	۹۷۸۸	۲۶۸/۷	۳۵۳/۱	۱/۲۷	۱/۸۱	۱/۸۰	۲/۷۷
7002Khnj	۴۱۰۳	۷۷۹۳	۲۷۰/۷	۳۵۹/۳	۱/۲۴	۱/۵۸	۱/۵۲	۲/۱۷
7002Zrnd	۴۴۶۷	۸۷۲۹	۲۷۷/۳	۳۷۷/۹	۱/۲۷	۱/۶۸	۱/۶۱	۲/۳۱
4003Eqld	۵۰۶۰	۱۰۳۲۱	۲۲۳/۰	۲۷۵/۷	۱/۳۲	۱/۹۸	۲/۲۷	۳/۷۴
5002DrdZ	۵۰۹۰	۱۰۲۳۲	۲۲۹/۲	۳۳۱/۸	۱/۱۷	۱/۷۰	۲/۲۲	۳/۰۸
6002Drab	۴۵۱۰	۸۹۶۱	۲۳۲/۶	۳۲۳/۲	۱/۴۰	۱/۸۶	۱/۹۴	۲/۷۷
5002DrdZS	۵۰۹۰	۱۰۲۳۲	۲۲۹/۲	۳۳۱/۸	۱/۱۷	۱/۷۰	۲/۲۲	۳/۰۸
5002Arsn	۴۹۵۰	۹۷۷۶	۲۳۵/۴	۳۲۵/۰	۱/۴۱	۱/۹۷	۲/۱۰	۳/۰۱
7002Frsh	۴۲۵۰	۹۴۰۰	۲۸۹/۶	۴۲۹/۶	۱/۰۷	۱/۵۱	۱/۴۷	۲/۱۹
5003Abde	۵۰۵۰	۹۸۴۲	۲۵۹/۹	۳۴۶/۳	۱/۵۲	۲/۰۲	۱/۹۴	۲/۸۴
6003Msni	۴۳۹۴	۹۹۵۷	۲۳۳/۰	۳۵۱/۶	۱/۱۱	۱/۶۵	۱/۸۹	۲/۸۳
7003Gach	۳۹۴۶	۷۶۸۸	۲۰۰/۴	۲۷۷/۲	۱/۱۲	۱/۵۴	۱/۹۷	۲/۷۷
5002Esta	۴۸۲۵	۱۰۹۶۷	۲۵۰/۰	۳۷۷/۰	۱/۳۰	۱/۹۴	۱/۹۳	۲/۹۱
5003AbdeS	۵۰۵۰	۹۸۴۲	۲۵۹/۹	۳۴۶/۳	۱/۵۲	۲/۰۲	۱/۹۴	۲/۸۴
8002Lmrd	۴۲۵۶	۷۶۱۱	۳۲۲/۱	۴۳۵/۰	۱/۱۵	۱/۳۵	۱/۳۲	۱/۷۵
8002LmrdN	۴۲۵۶	۷۶۱۱	۳۲۲/۱	۴۳۵/۰	۱/۱۵	۱/۳۵	۱/۳۲	۱/۷۵

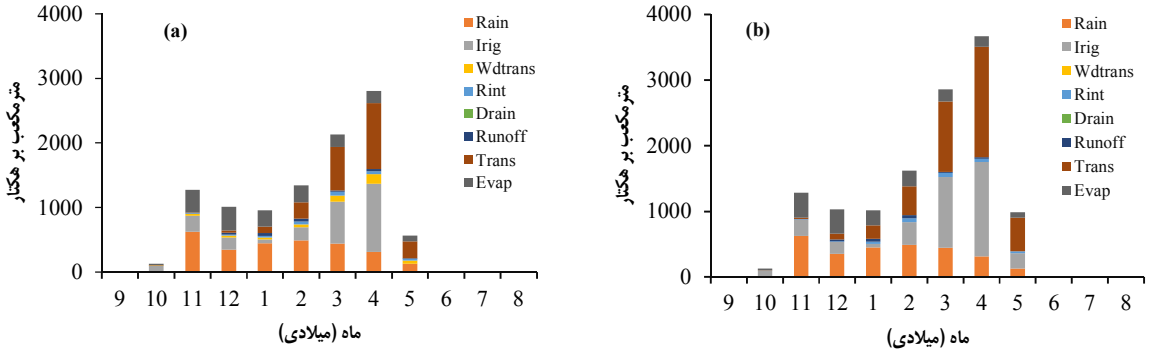
سامانه تهیه‌شده قادر است تا اطلاعات مذکور را برای برش‌های شهرستانی ارائه دهد. برای نمونه در جدول ۵ اطلاعات مذکور برای گیاه گندم در شهرستان‌های مختلف استان فارس آورده شده است (چنانچه بیان شد این برآوردها برای سایر گیاهان نیز قابل استخراج است که در این‌جا به گیاه گندم اکتفا شده است). از آن‌جا که اکثر تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های منابع آب در بخش کشاورزی در سطح استان و حتی کشور بر اساس آمار و برآوردهای شهرستان‌ها انجام می‌گیرد، این برآوردها می‌تواند نقش مؤثری در بهبود و اصلاح آن‌ها داشته باشد. همچنین به نظر می‌رسد که برآوردهای شهرستانی برای مسئولین اجرایی و یا حتی کارشناسان و متخصصین ملموس‌تر باشد، از این رو ممکن است کاربرد بیشتری در مباحث ترویجی و پژوهشی داشته باشد.

جدول ۵. برآوردهای سامانه از عملکرد، حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب آبیاری گیاه گندم در شرایط کشاورزان (F) و پتانسیل (P) در شهرستان‌های استان فارس. شبیه‌سازی‌ها بر اساس اطلاعات هواشناسی سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ صورت گرفته است. مشابه این جدول برای ۳۵ گیاه مهم قابل تولید هستند.

	عملکرد (Kg/Ha)		حجم آب آبیاری (mm)		بهره‌وری آب (Kg/m^3)		بهره‌وری آب آبیاری (Kg/m^3)	
شهرستان	F	P	F	P	F	P	F	P
آباده	۵۰۵۸	۱۰۲۴۸	۲۲۸/۶	۲۸۶/۵	۱/۳۵	۱/۹۹	۲/۲۲	۳/۶۰
ارسنجان	۴۸۸۶	۹۷۸۲	۲۵۳/۳	۳۴۰/۱	۱/۳۳	۱/۸۸	۱/۹۴	۲/۸۸
بوانات	۵۰۵۸	۱۰۲۲۹	۲۳۰/۱	۲۸۹/۳	۱/۳۶	۱/۹۹	۲/۲۱	۳/۵۷
داراب	۴۴۹۰	۸۸۶۴	۲۶۳/۲	۳۶۱/۶	۱/۳۱	۱/۷۴	۱/۷۲	۲/۴۶
اقلید	۵۰۷۵	۱۰۲۴۰	۲۲۸/۹	۳۱۰/۰	۱/۲۶	۱/۸۴	۲/۲۲	۳/۳۳
استهبانات	۴۷۰۵	۹۵۱۱	۲۵۳/۹	۳۴۲/۳	۱/۳۲	۱/۸۳	۱/۸۶	۲/۷۸
فراشبند	۴۷۱۹	۹۶۰۴	۲۵۵/۸	۳۵۹/۳	۱/۱۶	۱/۶۷	۱/۸۶	۲/۶۹
فسا	۴۵۹۳	۹۱۴۴	۲۶۴/۹	۳۵۹/۰	۱/۳۰	۱/۷۶	۱/۷۴	۲/۵۶
فیروزآباد	۴۷۷۶	۹۷۰۹	۲۵۶/۰	۳۵۵/۲	۱/۱۸	۱/۷۰	۱/۸۸	۲/۷۴
گراش	۴۳۰۴	۸۳۰۹	۲۷۴/۳	۳۶۹/۵	۱/۲۶	۱/۶۴	۱/۵۷	۲/۲۵
جهرم	۴۴۸۲	۸۸۸۴	۲۶۵/۷	۳۶۱/۸	۱/۲۶	۱/۶۹	۱/۷۰	۲/۴۷
کوار	۴۸۱۹	۹۷۳۵	۲۵۳/۲	۳۴۹/۰	۱/۱۹	۱/۷۲	۱/۹۱	۲/۷۹
کازرون	۴۶۷۹	۹۶۷۷	۲۴۷/۹	۳۵۳/۰	۱/۱۵	۱/۶۷	۱/۹۰	۲/۷۵
خرامه	۴۸۹۸	۹۹۰۴	۲۵۸/۴	۳۴۷/۵	۱/۲۴	۱/۷۸	۱/۹۱	۲/۸۵
خنج	۴۱۰۸	۷۷۸۷	۲۷۲/۳	۳۶۱/۶	۱/۲۴	۱/۵۷	۱/۵۱	۲/۱۶
خرم‌بید	۵۰۲۳	۱۰۰۵۲	۲۳۴/۴	۳۰۵/۵	۱/۳۹	۱/۹۸	۲/۱۵	۳/۳۳
لامرد	۴۱۵۰	۷۷۳۷	۲۸۶/۶	۳۸۲/۷	۱/۲۱	۱/۵۱	۱/۴۶	۲/۰۴
لارستان	۴۳۴۴	۸۴۳۶	۲۶۶/۲	۳۶۰/۵	۱/۲۸	۱/۶۸	۱/۶۴	۲/۳۵
ممسنی	۴۸۳۳	۱۰۰۲۹	۲۲۸/۹	۳۳۴/۹	۱/۱۵	۱/۶۸	۲/۱۱	۲/۹۹
مرودشت	۴۹۰۷	۹۸۶۱	۲۴۵/۵	۳۴۱/۹	۱/۲۳	۱/۷۶	۲/۰۱	۲/۸۹
مهر	۴۱۶۸	۸۰۰۱	۲۸۷/۷	۳۹۱/۲	۱/۱۹	۱/۵۱	۱/۴۶	۲/۰۶
نی‌ریز	۴۷۸۶	۹۵۹۸	۲۴۷/۸	۳۳۶/۶	۱/۳۵	۱/۸۸	۱/۹۴	۲/۸۵
پاسارگاد	۵۰۴۸	۱۰۱۶۰	۲۲۸/۵	۳۱۱/۱	۱/۲۷	۱/۸۶	۲/۲۱	۳/۲۹
قیروکارزین	۴۴۰۰	۸۷۷۳	۲۷۲/۵	۳۶۶/۵	۱/۲۳	۱/۶۶	۱/۶۲	۲/۴۰
رستم	۴۸۳۳	۱۰۰۲۹	۲۲۸/۹	۳۳۴/۹	۱/۱۵	۱/۶۸	۲/۱۱	۲/۹۹
سرچهان	۴۹۷۷	۹۷۹۴	۲۴۱/۹	۳۳۰/۷	۱/۴۴	۱/۹۸	۲/۰۶	۲/۹۶
سروستان	۴۸۲۰	۹۷۵۴	۲۵۳/۱	۳۴۹/۴	۱/۲۰	۱/۷۲	۱/۹۱	۲/۷۹
سپیدان	۴۹۴۰	۹۹۸۲	۲۳۸/۰	۳۲۸/۴	۱/۲۰	۱/۷۵	۲/۰۹	۳/۰۷
شیراز	۴۸۹۶	۹۸۷۵	۲۴۶/۴	۳۴۴/۲	۱/۱۹	۱/۷۱	۲/۰۰	۲/۸۷
زرین دشت	۴۴۶۷	۸۷۲۹	۲۷۷/۳	۳۷۷/۹	۱/۲۷	۱/۶۸	۱/۶۱	۲/۳۱

همچنین سامانه SAWA قادر بود که برآوردهای ماهانه‌ای از متغیرهای مرتبط با بیلان آب در شرایط «مزارع کشاورزان» و «پتانسیل» را تولید نماید. برای نمونه در شکل ۵ برآوردهای انجام شده با سامانه برای یک هکتار گندم آبی در پهنه 6002Shrz (ایستگاه هواشناسی شیراز) در شرایط «مزارع کشاورزان» و «پتانسیل» بر حسب مترمکعب در هکتار نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در ماه‌های ۴ تا ۸ میلادی (فروردین تا شهریور) بیشترین میزان حجم آبیاری و تبخیرتعرق در سطح یک هکتار گندم آبی در پهنه 6002Shrz

(ایستگاه هواشناسی شیراز) انجام شده است. مقایسه برآوردهای ماهانه در شرایط «مزارع کشاورزان» و «پتانسیل» هم حاکی از آن است که برآوردهای حاصل از شرایط «مزارع کشاورزان» از شرایط «پتانسیل» کمتر است. علاوه بر این همان‌طور که ملاحظه می‌شود در شرایط «مزارع کشاورزان» بخشی از منابع آب به تعرق علف‌های هرز اختصاص می‌یابد در حالی که در شرایط «پتانسیل» حذف می‌شود.



شکل ۵. شبیه‌سازی متغیرهای بیلان آب (شامل بارندگی، آبیاری، تبخیر، تعرق، زهکشی عمقی، رواناب، تعرق علف‌های هرز و برگاب) برای یک هکتار گیاه گندم در شرایط «مزارع کشاورزان» (a) و «پتانسیل» (b) در پهنه اگرواکولوژیک 6002Shrz (ایستگاه هواشناسی شیراز) در ماه‌های مختلف سال میلادی (بر حسب مترمکعب در هکتار). شبیه‌سازی‌ها بر اساس اطلاعات هواشناسی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ میلادی انجام شده است. چنین برآوردهایی برای ۳۵ گیاه مهم برای سایر پهنه‌ها و نیز کل استان قابل تهیه است.

با استفاده از سطح زیرکشت گیاهان مقادیر اجزای بیلان آب برای همه گیاهان در پهنه مورد نظر و یا کل استان قابل برآورد است که برای نمونه در جدول ۶ برآوردهای مذکور برای گیاهان مهم استان در پهنه 6002Shrz (ایستگاه هواشناسی شیراز) به صورت ماه‌های مختلف سال (میلادی) در «شرایط مزارع کشاورزان» و «شرایط پتانسیل» نشان داده است. برآوردهای شرایط مزارع کشاورزان حاکی از آن است که بیشترین میزان آبیاری برای کل گیاهان مهم استان در این پهنه در ماهای ۴ تا ۸ میلادی (فروردین تا شهریور) انجام می‌گیرد؛ به‌طوری که میزان آب آبیاری برای کل گیاهان مهم استان در پهنه مذکور در ماه ۷ میلادی (تیر) بیش از ۱۵۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید و در مقابل کمترین میزان آب آبیاری برای کل گیاهان مهم استان در این پهنه در ماه ۱ میلادی (دی) معادل با ۴/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. از سوی دیگر، بیشترین میزان تبخیر و تعرق نیز در ماه‌های ۴ تا ۸ میلادی (فروردین تا شهریور) اتفاق می‌افتد. شایان ذکر است که برآوردهای سامانه با لحاظ تلفات زهکشی و رواناب است بنابراین، برای برآورد حجم آب برداشت شده برای کل گیاهان پهنه مذکور باید (۱) راندمان انتقال آب از مبدأ (مثل چاه یا رودخانه) به مزرعه و نیز (۲) توزیع غیریکنواخت آب در مزرعه را نیز در نظر گرفت (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). اما تخمین دقیقی برای موارد مذکور در منابع در دسترس یافت نشد. با این حال می‌توان حدوداً ۲۰ درصد برای جمع این دو لحاظ کرد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱) که در این صورت حجم آب برداشت شده برای کل گیاهان مهم استان در این پهنه برابر با ۹۴۴/۱ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شد. لازم به ذکر است که بخشی از تلفات زهکشی و رواناب به چرخهٔ طبیعت بازمی‌گردد. اگر فرض شود که میزان برگشتی ۵۰ درصد تلفات زهکشی و رواناب باشد، حجم آب برگشتی ۱۲/۳ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شد که باید از حجم آب برداشت شده کسر گردد. با کسر این رقم، حجم آب برداشت شده برای کل گیاهان مهم استان در پهنه مذکور، ۸۹۴/۸ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود. همان‌طور که بیان شد سامانه قادر است تا این برآوردها را برای شرایط پتانسیل نیز ارائه دهد که در جدول ۶ آورده شده است. چنین برآوردهایی از مقادیر اجزای بیلان آب برای همه گیاهان، در تمامی پهنه‌های استان و نیز سراسر استان توسط سامانه SAWA قابل تولید هستند که برای سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با منابع آب مورد نیاز است. یکی از نیازهای اطلاعاتی برای ارزیابی اقتصادی الگوهای کشت جایگزین برای استان، حجم آب آبیاری ماهانه مورد نیاز برای گیاهان مختلف است. ارزیابی الگوهای کشت بدون توجه به محدودیت ماهانه منابع آب استان می‌تواند به پاسخ‌های غیرواقعی منتهی شود (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). مقایسه برآوردهای شرایط مزارع کشاورزان و شرایط پتانسیل حاکی از آن است که در شرایط مزارع کشاورزان اجزای بیلان آب غالباً کمتر هستند که بایستی در برنامه‌ریزی‌ها به آن توجه داشت چراکه معمولاً اکثر مدل‌ها و یا

نرم‌افزارهای مرتبط با بیلان و یا حسابداری آب، برآوردهای مذکور را بر اساس شرایط پتانسیل انجام می‌دهند که برآوردی از شرایط واقعی مزارع کشاورزان نیست (مگر این‌که بر اساس روش‌های تجربی اصلاح گردند که در این‌صورت هم ممکن است با خطا همراه باشند).

جدول ۶. برآوردهای ماهانه (سال میلادی) سامانه SAWA از مقادیر اجزای بیلان آب (بر حسب میلیون مترمکعب) برای گیاهان مهم استان در پهنه Shrz۶۰۰۲ (ایستگاه هواشناسی شیراز) در شرایط «کشاورزان (F)» و «پتانسیل (P)». شبیه‌سازی‌ها بر اساس اطلاعات هواشناسی سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ صورت گرفته است. مشابه این جدول برای سایر پهنه‌ها و کل استان نیز قابل تولید است.

ماه	بارندگی		آبیاری		علف‌های هرز	برگاب		زهکش		رواناب		تعرق		تبخیر		تبخیرتعرق	
	F	P	F	P	F	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
۱	۳۲/۱	۳۲/۱	۴/۳	۴/۹	۱/۹	۱/۹	۰	۰	۰	۳/۱	۲/۸	۷/۲	۱۵/۰	۱۸/۲	۱۶/۷	۲۵/۵	۳۱/۷
۲	۳۷/۳	۳۷/۳	۲۰/۴	۳۳/۲	۳/۰	۳/۳	۰	۰	۰	۴/۱	۴/۹	۱۸/۳	۳۲/۵	۱۹/۷	۱۸/۳	۳۸/۰	۵۰/۹
۳	۴۶/۲	۴۶/۲	۴۶/۹	۷۸/۹	۷/۶	۴/۸	۰	۰	۰	۳/۶	۳/۲	۴۸/۳	۸۱/۷	۲۲/۷	۲۱/۸	۷۱/۱	۱۰۳/۵
۴	۳۴/۸	۳۴/۸	۸۴/۰	۱۳۳/۵	۱۳/۳	۴/۰	۰	۰	۰	۴/۱	۳/۴	۸۱/۷	۱۴۶/۸	۲۸/۲	۲۴/۶	۱۰۹/۹	۱۷۱/۴
۵	۱۴/۲	۱۴/۲	۶۷/۳	۱۰۴/۶	۱۱/۰	۲/۷	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۶	۵۷/۳	۱۱۲/۶	۱۸/۹	۱۶/۱	۷۶/۲	۱۲۸/۷
۶	۰	۰	۱۵۱/۲	۲۰۶/۱	۱۵/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۳/۵	۱۸۰/۱	۲۵/۱	۲۰/۹	۱۲۸/۶	۲۰۰/۹
۷	۰/۵	۰/۵	۱۵۶/۶	۲۱۶/۹	۱۷/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۱۱۳/۵	۱۹۲/۲	۲۲/۸	۱۷/۷	۱۳۶/۳	۲۰۹/۹
۸	۰/۲	۰/۲	۱۳۰/۴	۱۸۰/۲	۱۳/۸	۰/۱	۰/۱	۳/۶	۳/۳	۰	۰	۹۵/۶	۱۶۱/۳	۱۶/۲	۱۲/۴	۱۱۱/۸	۱۷۳/۷
۹	۰	۰	۴۰/۹	۵۹/۴	۵/۳	۰	۰	۲/۰	۲/۰	۰	۰	۳۶/۸	۶۲/۶	۶/۷	۵/۹	۴۳/۵	۶۸/۵
۱۰	۰/۵	۰/۵	۲۰/۴	۲۸/۲	۱/۶	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۱۲/۷	۲۱/۸	۳/۳	۳/۶	۱۶/۰	۲۵/۴
۱۱	۵۰/۴	۵۰/۴	۱۹/۴	۱۹/۴	۲/۱	۱/۰	۰/۷	۰	۰	۰/۹	۰/۶	۲/۶	۶/۱	۲۷/۵	۲۹/۳	۳۰/۰	۳۵/۴
۱۲	۲۷/۹	۲۷/۹	۱۳/۴	۱۵/۳	۲/۳	۰/۹	۱/۰	۰	۰	۲/۰	۲/۰	۳/۵	۸/۳	۲۹/۵	۲۹/۵	۳۳/۰	۳۷/۸
کل	۲۴۴/۱	۲۴۴/۱	۷۵۵/۲*	۱۰۸۰/۶*	۹۴/۶	۲۱/۶	۰	۶/۰	۵/۵	۱۷/۹	۲۱/۰	۵۸۱/۱	۱۰۲۱/۰	۲۳۸/۸	۲۱۶/۷	۸۱۹/۸	۱۲۳۷/۸
			۹۴۴/۱**	۱۳۵۰/۷**													
			۸۹۴/۸***	۱۳۰۳/۸***													

*** این رقم حجم آب آبیاری پهنه Shrz۶۰۰۲ (ایستگاه هواشناسی شیراز) بدون در نظر گرفتن راندمان انتقال و توزیع غیریکنواخت آب است.**

**** این رقم میزان برداشت آب پهنه پهنه Shrz۶۰۰۲ (ایستگاه هواشناسی شیراز) با در نظر گرفتن راندمان انتقال و توزیع برابر ۸۰ درصد است.**

***** این رقم با در نظر گرفتن بازگشت ۵۰ درصد زهکش و رواناب به چرخهٔ آب در طبیعت است.**

عدم قطعیت در برآوردهای سامانه

سامانه تهیه شده مبتنی بر یک مدل شبیه‌ساز گیاهی، یک پروتکل مقیاس نمایی پایین به بالا و داده‌های ورودی مختلفی می‌باشد. بنابراین، کارکرد و پیش‌بینی‌های سامانه تا یک حد قابل قبول در عدم قطعیت به کیفیت اجزای زیر بستگی دارد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱) : (۱) مدل شبیه‌ساز گیاهی، (۲) روش مقیاس نمایی، (۳) نقشه‌های پراکنش گیاهی، (۴) آمار و اطلاعات هواشناسی، (۵) اطلاعات خاک، (۶) اطلاعات مدیریت و کشت و کار، (۷) اطلاعات و آمار سطح زیرکشت و عملکردهای واقعی.

مدل مورد استفاده یک مدل مکانیستیک است (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱) که قبلاً با جمع‌آوری گسترده اطلاعات از تحقیقات مزرعه‌ای در سراسر کشور توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) برای گیاهان مهم کشور پارامتریابی و ارزیابی شده است که نتایج آزمون مدل رضایت‌بخش بوده است و چون زمان زیادی از آن نمی‌گذرد، در این مطالعه از پارامترهای تهیه شده توسط آن‌ها برای استان فارس استفاده گردید. در نتیجه انتظار می‌رود عدم قطعیت از این ناحیه اندک باشد. در مورد روش استفاده شده برای مقیاس نمایی بیان شده است که حداقل سطح زیرکشت تحت پوشش پهنه‌های انتخابی ۴۰ تا ۵۰ درصد باشد (van Wart *et al*., 2013a; van Bussel *et al*., 2015) که در مطالعه کنونی این مورد رعایت شده است و حتی سطح پوشش سامانه به مراتب بیشتر است. در مطالعه حاضر نقشه‌های پراکنش گیاهی بر اساس آخرین اطلاعات قابل دسترس سطح زیرکشت گیاهان استان و مطابق توصیه‌های مرتبط (عالی‌مقام و همکاران، ۱۴۰۲) تهیه شدند. استفاده از آمار هواشناسی اندازه‌گیری‌شده برای دستیابی به برآوردهای قابل اطمینان حائز اهمیت است. خاطر نشان می‌گردد در موارد مشابه برای سامانه‌های پیش‌بینی عمدتاً از آمار هواشناسی تولید شدهٔ شبکه‌ای استفاده می‌گردد. مطالعات حاکی از عدم قطعیت بالا در پیش‌بینی سامانه‌هایی است که با این آمار حاصل می‌شود (van Wart *et al*. 2013a; Mourtzinis *et al*., 2017). در مطالعه کنونی، از آمار هواشناسی ثبت شده اخیر استفاده شد که عدم قطعیت از این سو را به حداقل می‌رساند. برای اطلاعات خاک بهتر بود از اطلاعات جمع‌آوری شده محلی استفاده شود. اما، این اطلاعات به صورت رقومی‌شده[1]موجود نبود و به دلیل کمبود منابع تهیه آن‌ها نیز امکان‌پذیر

1 Digitize

نبود. بنابراین، از اطلاعات بانک HC27 استفاده شد. با توجه به این‌که تأثیر حاصلخیزی خاک و کمبود عناصر غذایی توسط مدل شبیه‌سازی نمی‌گردد، تنها تأثیر اطلاعات خاک مرتبط با رابطه آب‌خاک و گیاه اهمیت دارد. ارزیابی اطلاعات بانک HC27 برای کشور (Nehbandani *et al*., 2020) نشان داد که استفاده از اطلاعات بانک مذکور در مقایسه با اطلاعات خاک اندازه‌گیری‌شده، تفاوت معنی‌داری در پیش‌بینی‌های مدل منجر نمی‌شود. اطلاعات مرتبط با ارقام و گیاهان، کشت‌وکار آن‌ها، اطلاعات تاریخ کاشت و تاریخ بازشدن جوانه درختان برای شبیه‌سازی اهمیت دارد. این اطلاعات از اطلاعاتی که اخیراً توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) برای کل کشور و استان فارس جمع‌آوری شده بود، استفاده شد. اطلاعات و آمار سطح زیرکشت نیز از آخرین اطلاعات در دسترس (۱۴۰۰-۱۳۹۶) سازمان جهاد کشاورزی استان فارس تهیه گردید. استفاده از آمارهای قدیمی می‌تواند به واسنجی اریب‌دار مدل و ضعف در پیش‌بینی‌های آن منتهی گردد (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). با رعایت نکات فوق انتظار می‌رود عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های سامانه اندک باشد.

برای ارزیابی صحت برآوردهای سامانه، از داده‌های عملکرد و آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده در مزارع کشاورزان (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و داده‌های عملکرد گزارش‌شده سازمان جهاد کشاورزی (میانگین عملکرد برداشت شده سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۰) استفاده شد. لازم به ذکر است که داده‌های اندازه‌گیری‌شده عملکرد و آب آبیاری برای محصولات اندکی (گندم و جو) در دسترس بودند، چون بیش‌تر برآوردهای در دسترس تحت «شرایط مزارع کشاورز» انجام نشده بود. بنابراین، در مطالعه حاضر ارزیابی صحت برآوردهای مدل (۱) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری دو گیاه گندم و جو در «شرایط مزارع کشاورزان» (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و (۲) داده‌های گزارش‌شده عملکرد (میانگین عملکرد برداشت شده سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۰ گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی) برای ۳۵ گیاه مهم استان انجام شد. شایان ذکر است که اندازه‌گیری‌های عباسی و همکاران (۱۴۰۱) برای تعدادی از مزارع کشاورزان در هر پهنه انجام گرفته بود که در این مطالعه از میانگین آن‌ها استفاده شده است. در ابتدا به ارزیابی صحت برآوردهای سامانه بر اساس داده‌های اندازه‌گیری‌شده (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و شبیه‌سازی‌شده آب آبیاری و عملکرد دو گیاه گندم و جو پرداخته شد. بدین منظور برای هر کدام از گیاهان گندم و جو در سال اندازه‌گیری و در پهنه کشت شده، سامانه SAWA اجرا شد و خروجی‌های مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده برای حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری با یکدیگر مقایسه شدند که در شکل ۶ ارایه شده است. خوشبختانه ارزیابی برآوردهای اندازه‌گیری شده (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی دارند. برای نمونه ارزیابی مقادیر آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و شبیه‌سازی شده برای گیاه گندم و جو نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطا به ترتیب ۲۳۸ و ۲۱۰ مترمکعب در هکتار بود که معادل ۴/۵۱ و ۵/۳۶ درصد میانگین آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده بود. همچنین ضریب همبستگی بالایی بین داده‌های آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و شبیه‌سازی‌شده دو گیاه گندم (r=۰/۹۸) و جو (r=۰/۹۶) وجود داشت (شکل ۶). به همین ترتیب نتایج ارزیابی صحت برآوردهای سامانه بر اساس عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) و شبیه‌سازی شده نیز مطابقت مطلوبی را نشان داد (شکل ۶).

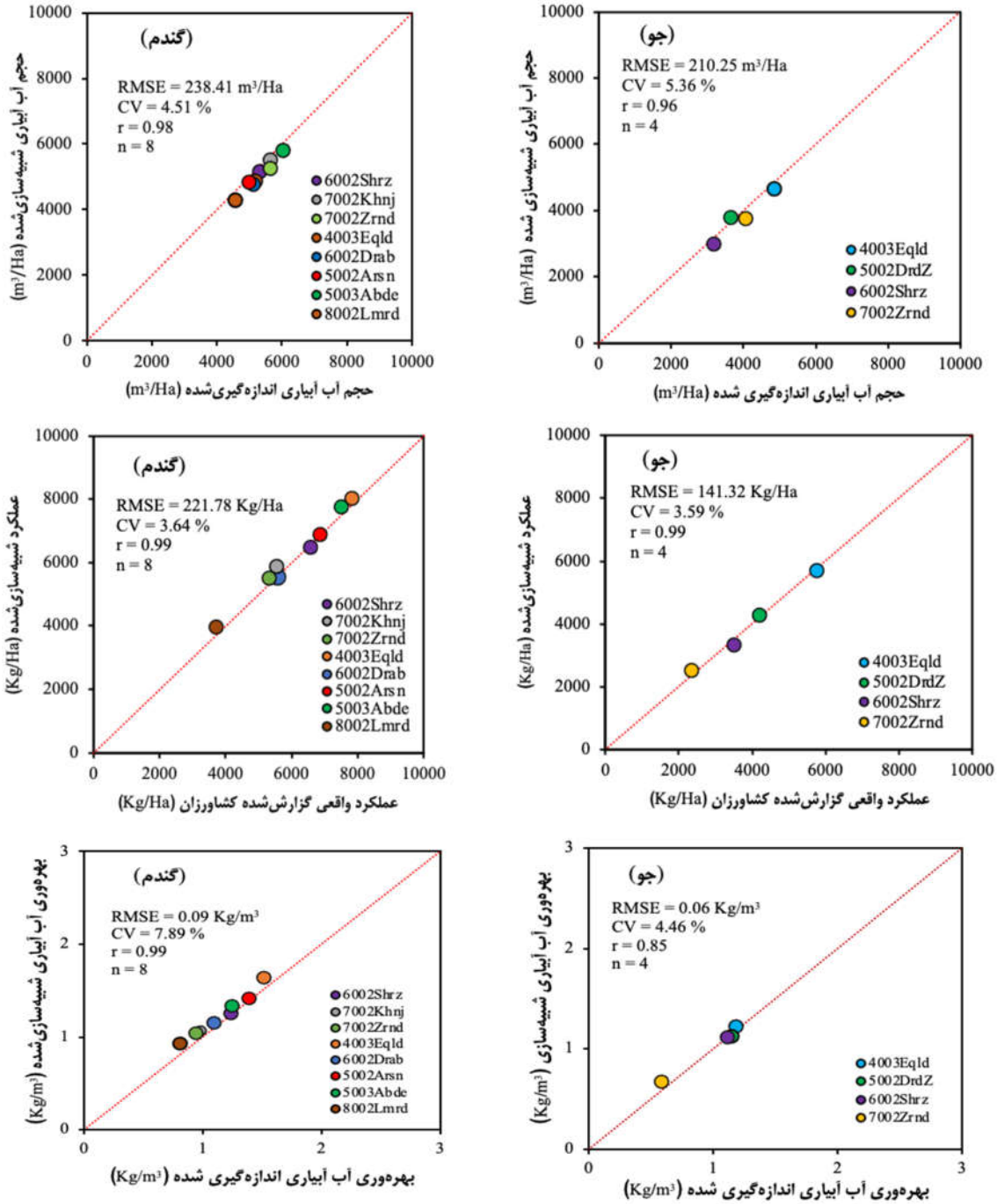
نتایج ارزیابی صحت برآوردهای سامانه بر اساس داده‌های عملکرد گزارش‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی (میانگین عملکرد برداشت شده سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) و شبیه‌سازی‌شده برای ۳۵ گیاه مهم استان مطلوب بود (شکل ۷). همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج ارزیابی صحت برآوردهای سامانه بر اساس عملکردهای گزارش‌شده سازمان جهاد کشاورزی نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین دقت برآوردهای سامانه از عملکرد به ترتیب متعلق به گیاه گرمک با ضریب همبستگی بالای ۰/۹۹ و مقدار جذر میانگین مربعات خطای ۲۶۸/۹ کیلوگرم در هکتار (معادل ۰/۹۹ درصد میانگین عملکرد اندازه‌گیری‌شده) و چغندرقند با ضریب همبستگی ۰/۸۴ و مقدار جذر میانگین مربعات خطای ۱۲۸۶/۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲/۵ درصد میانگین عملکرد اندازه‌گیری‌شده) بود. شایان ذکر است که برآوردهای سامانه برای شرایط پتانسیل و مقایسه آن با مشاهدات و اندازه‌گیری‌های واقعی قبلاً نیز توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸؛ Soltani *et al*., 2020) انجام شده است.

سایر کاربردهای سامانه

همان‌طور که بیان شد کاربرد اصلی سامانه تهیه‌شده تولید اطلاعات متنوع و یکپارچه مرتبط با عملکرد، تولید و آب در سطح مزارع کشاورزان استان است. این برآوردها به صورت نقطه‌ای، پهنه اگرواکولوژیک، شهرستان و کل استان برای شرایط کشاورزان و نیز شرایط پتانسیل قابل دستیابی هستند. برای مؤلفه‌های بیلان آب برآوردهای ماهانه نیز تولید می‌شوند. با کمک برآوردهای سامانه می‌توان آب مصرفی (حجم آب آبیاری در مزرعه) و آب برداشت شده (اختصاص یافته از منبع مثل رودخانه یا چاه) در سطح استان تخمین زد. اما، این سامانه می‌تواند کاربردهای دیگری نیز داشته باشد. در این قسمت به سایر کاربردهای سامانه اشاره می‌شود.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای این سامانه، کمک به تجمیع و تلفیق اطلاعات و آمار می‌باشد. در تهیه این سامانه از یک مدل پارامتریابی

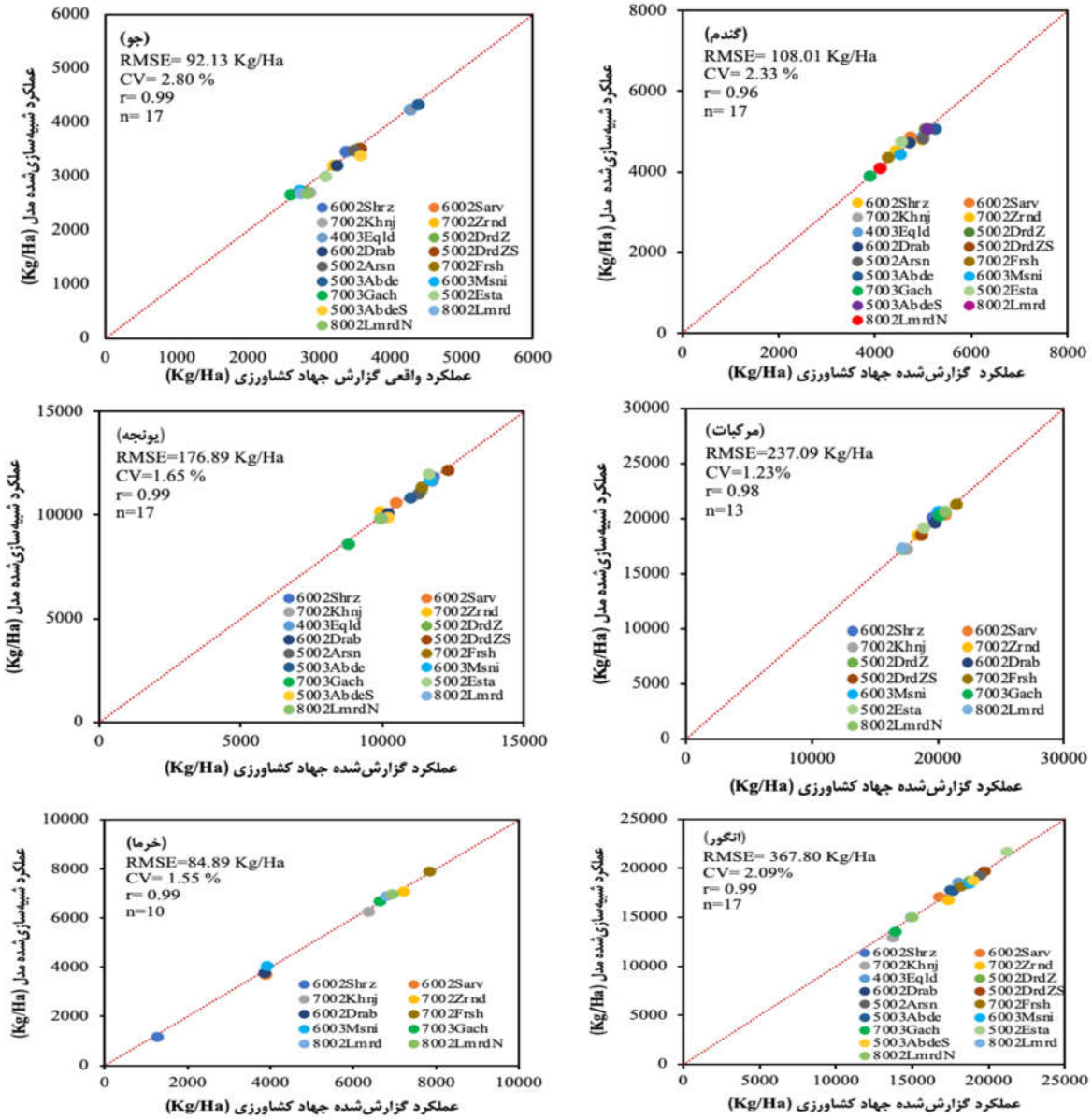
و ارزیابی‌شده استفاده می‌شود که انجام پارامتریابی و ارزیابی مستلزم جمع‌آوری اطلاعات رشد و عملکرد گیاه و نیز اطلاعات تبخیرتعرق و آبیاری از منابع مختلف مثل مقالات، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های تحقیقاتی است و بنابراین به گردآوری این تحقیقات و آرشیوشدن آن‌ها کمک می‌کند. از سوی دیگر، تهیه سامانه مستلزم جمع‌آوری اطلاعات خاک، آب‌وهوا و مدیریت کشاورزی و نیز اطلاعات سطح زیرکشت، تولید و عملکرد گیاهان مختلف در استان است. به این ترتیب، تهیه سامانه به جمع‌آوری و آرشیو این اطلاعات کمک می‌کند.



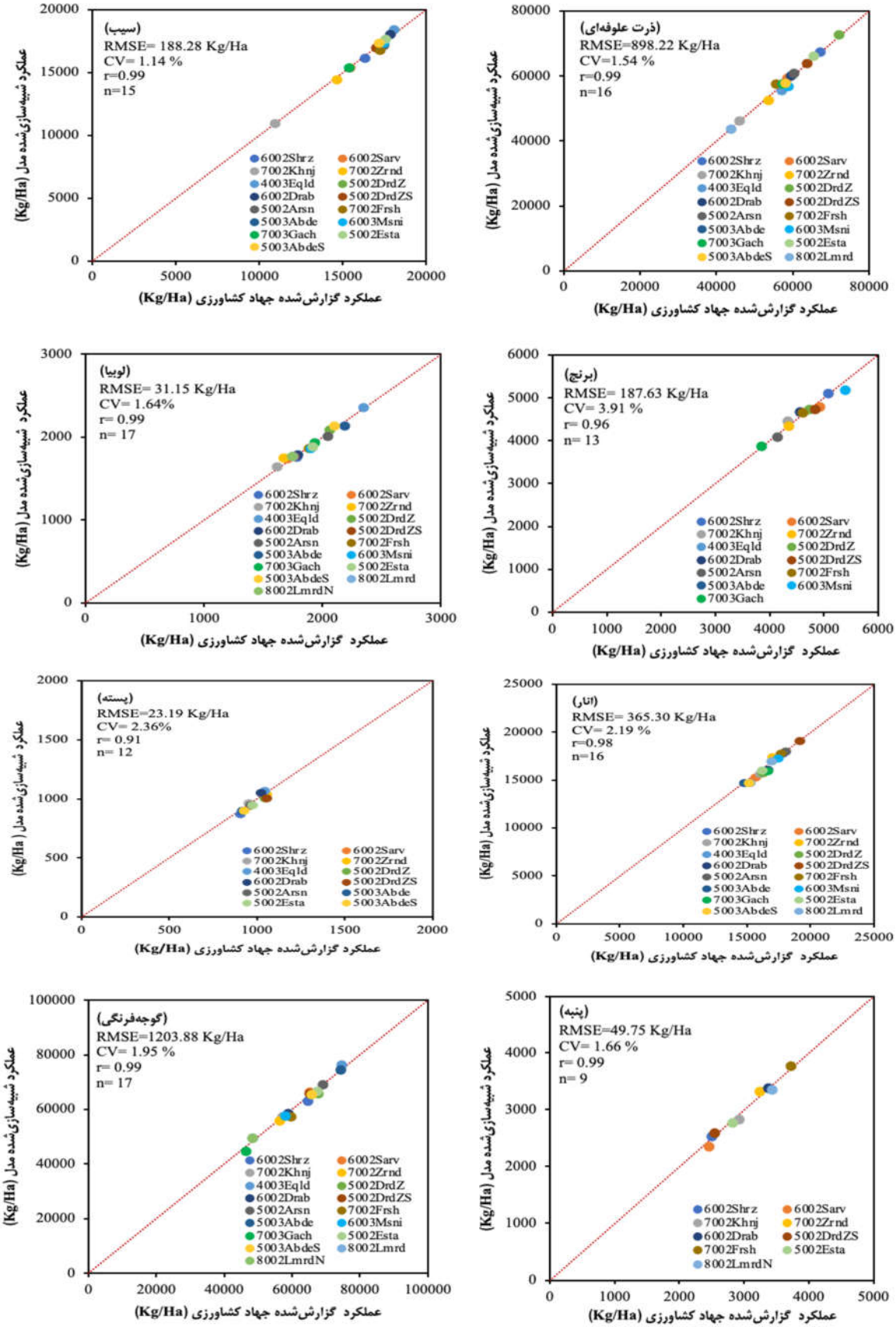
شکل ۶. مقایسه برآوردهای سامانه از حجم آب آبیاری (m^3/Ha)، عملکرد (Kg/Ha) و بهره‌وری آب آبیاری (Kg/m^3) برای گیاه گندم و جو در پهنه‌های همگن تعریف شده در این مطالعه در شرایط واقعی کشاورزان در برابر مقادیر اندازه‌گیری‌شده توسط عباسی و همکاران (۱۴۰۱). اندازه‌گیری‌ها از تعدادی از مزارع کشاورزان برای گیاه گندم در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و برای گیاه جو در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ انجام گرفته است که در اینجا از معدل آن‌ها استفاده شده است. بنابراین، هر نقطه معادل پارامتر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در شرایط کشاورزان در برابر معدل پارامتر واقعی اندازه‌گیری‌شده توسط عباسی و همکاران (۱۴۰۱) در مزارع کشاورزان در سال مورد نظر است.

با کمک اطلاعات تولیدی این سامانه می‌توان برخی ارزیابی‌های کلیدی مرتبط با کشاورزی- آب را انجام داد. ارزیابی گزینه‌های سازگاری با کم‌آبی (مانند بهینه‌سازی الگوهای کشت) نمونه‌ای از این کاربرد است. این ارزیابی با استفاده از برآوردهای سامانه مطالعه حاضر همراه با اطلاعات هزینه و درآمد برای شرایط و فرضیات مختلف، قابل انجام است. برای مثال، در صورت نیاز به کاهش برداشت آب چه الگوی کشتی در استان می‌تواند حداکثر درآمد را برای کشاورزان فراهم آورد؟ یا در شرایط کاهش برداشت آب توأم با کاهش سطح زیرکشت در حداقل ممکن خود، چه الگوی کشتی می‌تواند کمک می‌کند تا میزان اشتغال در بخش کشاورزی کم‌تر صدمه ببیند؟

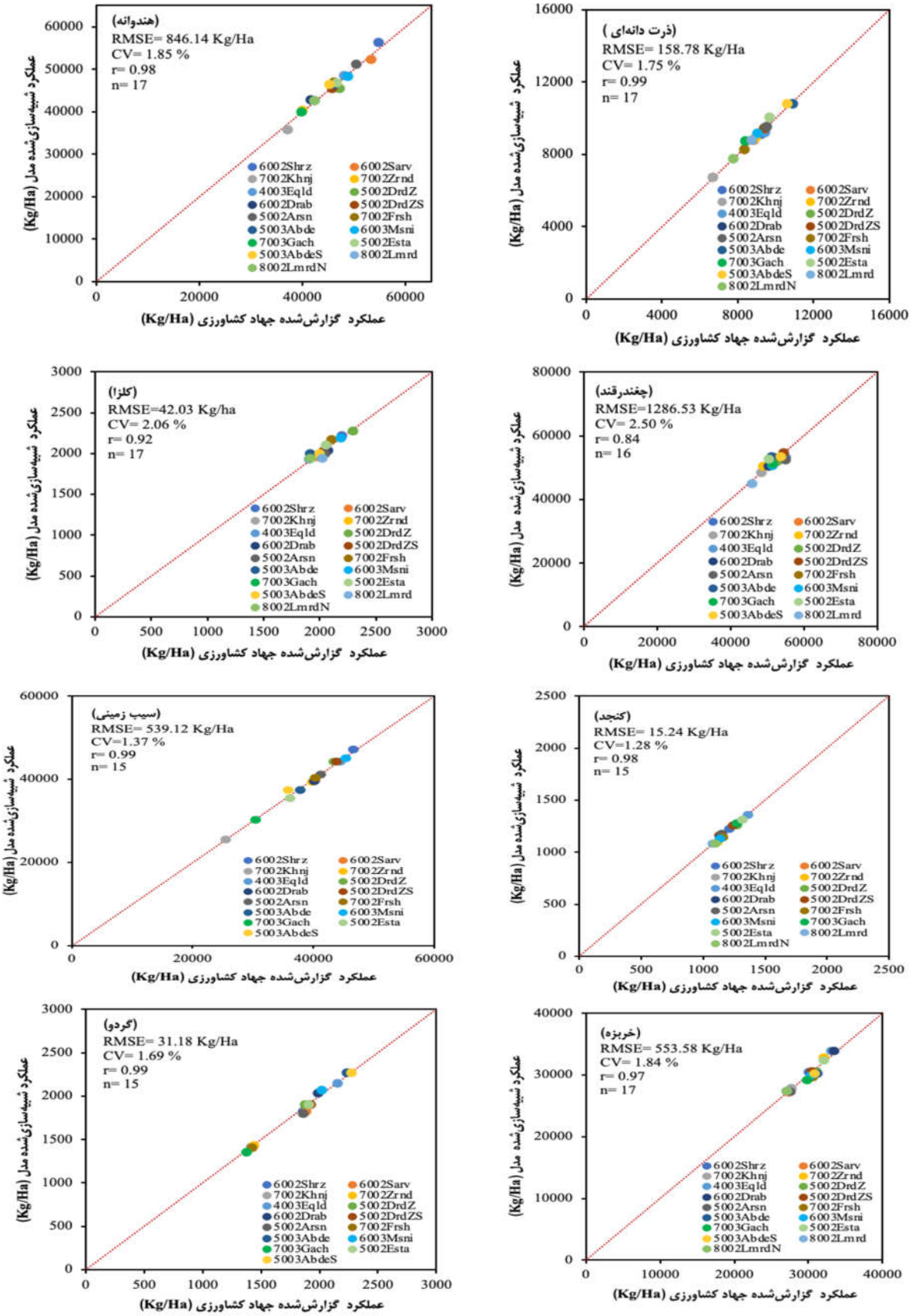
دیگر کاربردهای سامانه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱): ارزیابی تأثیر گزینه‌های سازگاری به کم‌آبی و کمی‌سازی تأثیر هر یک از آن‌ها، ارزیابی تأثیر رفع خلأ عملکرد بر بهره‌وری آب آبیاری، آب مصرفی و برداشت آب، ارزیابی تأثیر تغییر تغییر اقلیم بر عملکرد، تولید و مؤلفه‌های بیلان آب.



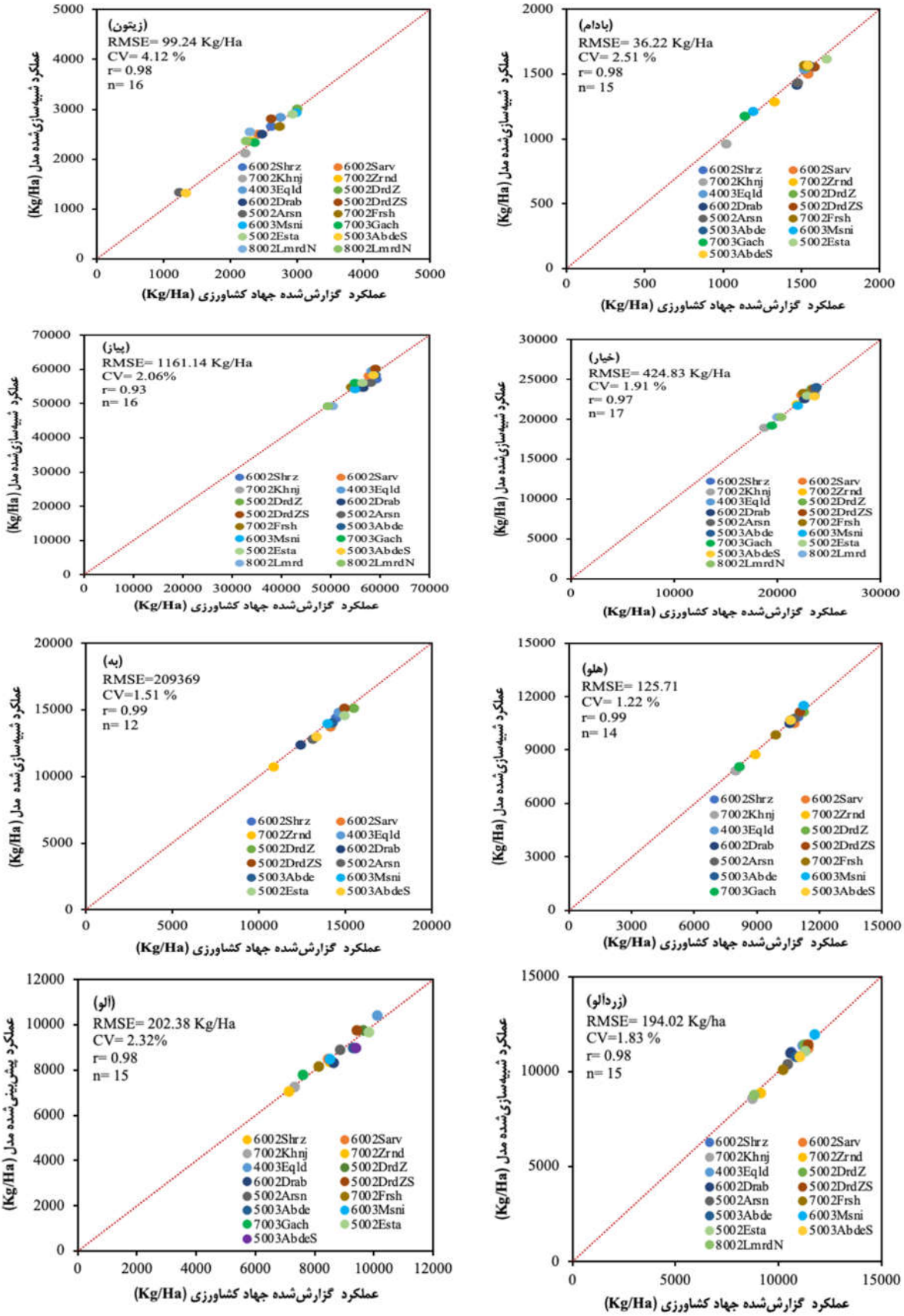
شکل ۷. مقایسه برآوردهای سامانه از عملکرد (Kg/Ha) برای گیاهان مهم استان در پهنه‌های همگن تعریف شده در این مطالعه در «شرایط مزارع کشاورزان» در برابر مقادیر گزارش‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی. داده‌های گزارش‌شده برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ بوده است که در اینجا از معدل آن‌ها استفاده شده است. بنابراین، هر نقطه معادل پارامتر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در شرایط مزارع کشاورزان در برابر معدل پارامتر واقعی گزارش‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در طی سال‌های مورد مطالعه است.


(سیب)
RMSE= 188.28 Kg/Ha
CV= 1.14 %
r=0.99
n=15
(ذرت علوفه‌ای)
RMSE=898.22 Kg/Ha
CV=1.54 %
r=0.99
n=16
(لوبیا)
RMSE= 31.15 Kg/Ha
CV= 1.64%
r= 0.99
n= 17
(برنج)
RMSE= 187.63 Kg/Ha
CV= 3.91 %
r= 0.96
n= 13
(پسته)
RMSE=23.19 Kg/Ha
CV= 2.36%
r= 0.91
n= 12
(انار)
RMSE= 365.30 Kg/Ha
CV= 2.19 %
r=0.98
n=16
(گوجه‌فرنگی)
RMSE=1203.88 Kg/Ha
CV= 1.95 %
r= 0.99
n= 17
(پنبه)
RMSE=49.75 Kg/Ha
CV= 1.66 %
r= 0.99
n= 9
عملکرد شبیه‌سازی‌شده مدل (Kg/Ha)
عملکرد گزارش‌شده جهاد کشاورزی (Kg/Ha)

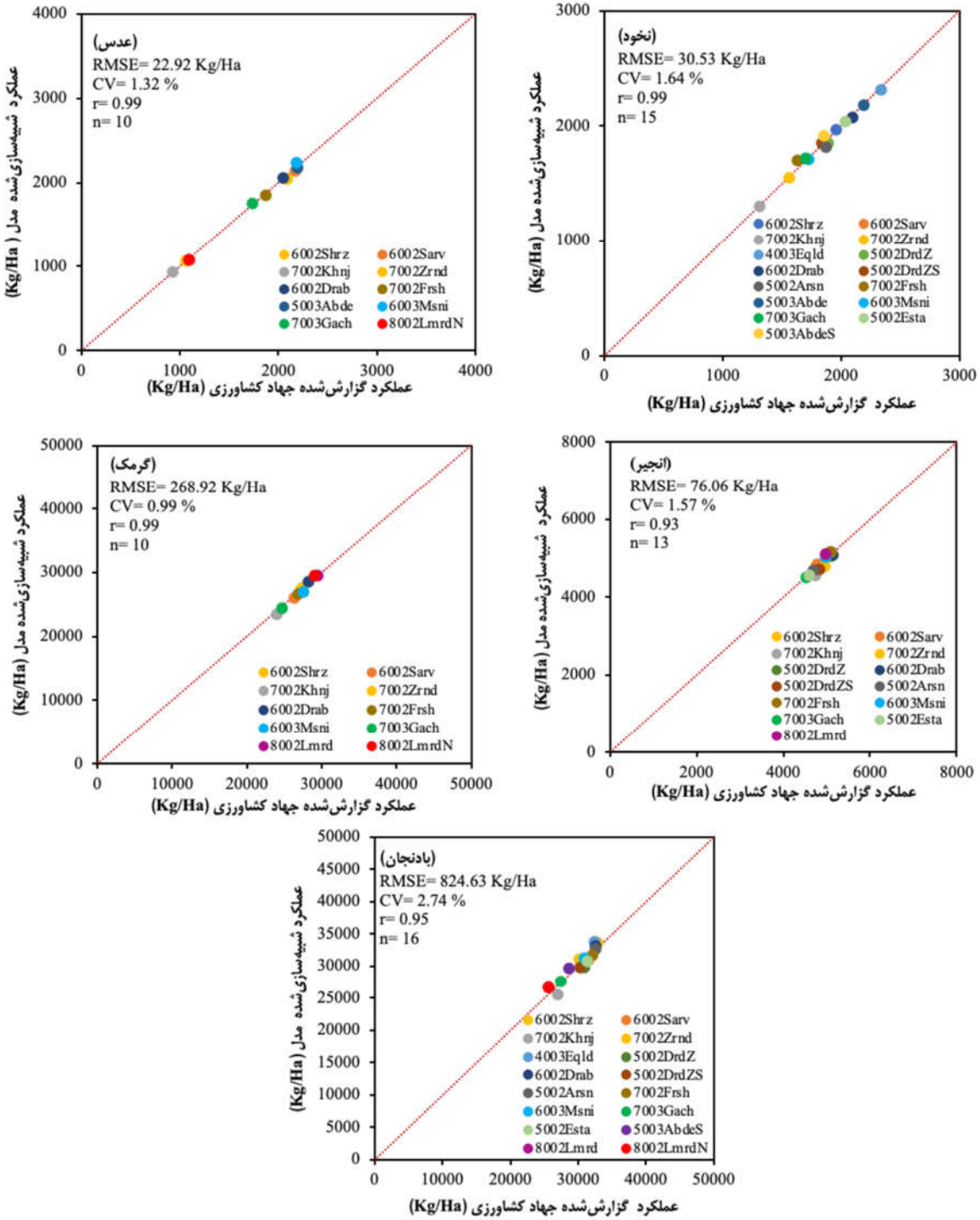
ادامه شکل ۷


(هندوانه)
RMSE= 846.14 Kg/Ha
CV= 1.85 %
r= 0.98
n= 17
(ذرت دانه‌ای)
RMSE= 158.78 Kg/Ha
CV= 1.75 %
r= 0.99
n= 17
(کلزا)
RMSE=42.03 Kg/ha
CV= 2.06 %
r= 0.92
n= 17
(چغندرقند)
RMSE=1286.53 Kg/Ha
CV= 2.50 %
r= 0.84
n= 16
(سیب زمینی)
RMSE= 539.12 Kg/Ha
CV=1.37 %
r= 0.99
n= 15
(کنجد)
RMSE= 15.24 Kg/Ha
CV=1.28 %
r= 0.98
n= 15
(گردو)
RMSE= 31.18 Kg/Ha
CV= 1.69 %
r= 0.99
n= 15
(خربزه)
RMSE= 553.58 Kg/Ha
CV= 1.84 %
r= 0.97
n= 17
عملکرد شبیه‌سازی‌شده مدل (Kg/Ha)
عملکرد گزارش‌شده جهاد کشاورزی (Kg/Ha)
6002Shrz
6002Sarv
7002Khnj
7002Zrnd
4003Eqld
5002DrdZ
6002Drab
5002DrdZS
5002Arsn
7002Frsh
5003Abde
6003Msni
7003Gach
5002Esta
5003AbdeS
8002Lmrd
8002LmrdN

ادامه شکل ۷


(زیتون)
RMSE= 99.24 Kg/Ha
CV= 4.12 %
r= 0.98
n= 16
(بادام)
RMSE= 36.22 Kg/Ha
CV= 2.51 %
r= 0.98
n= 15
(پیاز)
RMSE= 1161.14 Kg/Ha
CV= 2.06%
r= 0.93
n= 16
(خیار)
RMSE= 424.83 Kg/Ha
CV= 1.91 %
r= 0.97
n= 17
(به)
RMSE=209369
CV=1.51 %
r= 0.99
n= 12
(هلو)
RMSE= 125.71
CV= 1.22 %
r= 0.99
n= 14
(آلو)
RMSE= 202.38 Kg/Ha
CV= 2.32%
r= 0.98
n= 15
(زردآلو)
RMSE= 194.02 Kg/ha
CV=1.83 %
r= 0.98
n= 15
عملکرد شبیه‌سازی‌شده مدل (Kg/Ha)
عملکرد گزارش‌شده جهاد کشاورزی (Kg/Ha)

ادامه شکل ۷



ادامه شکل ۷. مقایسه برآوردهای سامانه از عملکرد (Kg/Ha) برای گیاهان مهم استان در پهنه‌های همگن تعریف شده در این مطالعه در «شرایط مزارع کشاورزان» در برابر مقادیر گزارش‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی. داده‌های گزارش‌شده برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ بوده است که در اینجا از معدل آن‌ها استفاده شده است. بنابراین، هر نقطه معادل پارامتر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در شرایط مزارع کشاورزان در برابر معدل پارامتر واقعی گزارش‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در طی سال‌های مورد مطالعه است.

نتیجه‌گیری

سازگاری به کم‌آبی در بخش کشاورزی کشور و به طور ویژه استان فارس، یک ضرورت مهم است. به این منظور وجود اطلاعات متنوع و یکپارچه از برداشت و مصرف آب گیاهان، بهره‌وری آب آبیاری و مواردی از این دست از اهمیت زیادی برخوردار است. سامانه تهیه شده در

مطالعه حاضر با کمک تحلیل شرایط اقلیمی و خاک، پهنه‌های اگرواکولوژیک استان را تولید و مهم‌ترین پهنه‌های همگن استان را شناسایی می‌کند. با تهیه نقشه‌های پراکنش گیاهی، سطح زیرکشت گیاهان مهم استان در هریک از این پهنه‌ها معین می‌گردد. با جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی، خاک، مدیریت تولید گیاهان مهم استان و میزان عملکرد واقعی کشاورزان برای هر گیاه می‌توان مدل شبیه‌ساز گیاهی SSM-iCrop2 (هسته اصلی سامانه) را برای شبیه‌سازی عملکرد و بیلان آب در مزرعه برای شرایط مزارع کشاورزان، واسنجی نمود. برآوردهای مدل که به صورت نقطه و یا نقاط نماینده (ایستگاه‌های هواشناسی) به صورت واحد سطح در هر پهنه استخراج می‌شود، با کمک سطح زیرکشت هر گیاه در هر پهنه، قابل تعمیم به کل پهنه و استان هستند.

سامانه تهیه‌شده برآوردهایی از مؤلفه‌های بیلان آب شامل حجم آب آبیاری، تعرق علف‌های هرز، برگاب، زه‌کشی عمقی، رواناب، تعرق و تبخیر در واحد سطح به صورت ماهانه و فصلی برای هر گیاه و نیز کل گیاهان استان فراهم می‌آورد. از این برآوردها حجم آب آبیاری و نیز کل برداشت آب برای کشاورزی در مقیاس‌های پهنه اگرواکولوژیک، شهرستان و کل استان به صورت ماهانه یا سالانه و یا هر دوره زمانی قابل محاسبه است. شایان ذکر است این اطلاعات برای شرایط مزارع کشاورزان و شرایط پتانسیل قابل تهیه است. مقایسه برآوردهای شرایط مزارع کشاورزان و شرایط پتانسیل حاکی از آن است که در شرایط مزارع کشاورزان اجزای بیلان آب کمتر هستند (به دلیل وجود عواملی چون آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و یا کمبود عناصر غذایی) که بهتر است در برنامه‌ریزی‌ها به آن توجه گردد چراکه معمولاً اکثر مدل‌ها و یا نرم‌افزارهای مرتبط با بیلان و یا حسابداری آب، برآوردهای مذکور را بر اساس شرایط پتانسیل انجام می‌دهند (مگر این‌که بر اساس روش‌های تجربی برای شرایط کشاورزان اصلاح گردند) که به شرایط واقعی مزارع کشاورزان نزدیک نیستند و به همین خاطر ممکن است به نتیجه مطلوب منتهی نگردند. این درصورتی است که برآوردهای سامانه مذکور به طور مستقیم برآوردها را برای شرایط مزارع کشاورزان ارائه می‌دهد و نیازی به کاربرد روش‌های تجربی نخواهد داشت. برآوردهای حاصل از این سامانه می‌تواند به کاهش اختلاف بین سازمان‌های دولتی از نظر حجم آب مصرفی با آب برداشت‌شده برای کشاورزی کمک کند. برآوردهای این سامانه برای هر گونه برنامه‌ریزی برای سازگاری کشاورزی با کم‌آبی در سطح استانی (مانند بهینه‌سازی الگوی کشت)، ضروری است.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

باریکانی، الهام؛ احمدیان، مجید و خلیلیان، صادق (۱۳۹۰). بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی: مطالعه موردی زیربخش زراعت دشت قزوین. *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۵ (۲): ۲۶۲-۲۵۳.

سلطانی، افشین (۱۳۸۸). مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. *جهاد دانشگاهی مشهد*. ۱۷۶ صفحه.

سلطانی، افشین.، و میرزایی، عبدالرحمان (۱۴۰۰). کشاورزی پایدار. *انتشارات واژگان سیرنگ*. ۳۸۴ صفحه.

سلطانی، افشین.، جافرنوده، صفورا؛ دادرسی، امیر؛ رهبان، سمانه؛ ناظری، محمد؛ زینلی، ابراهیم؛ نجفی‌نژاد، علی؛ ترابی، بنیامین و کاظمی، حسین (۱۴۰۱). *تهیه سیستم استانی بیلان و حسابداری آب کشاورزی با مدل‌سازی تولید گیاهی و موازنه آب در اراضی کشاورزی: مطالعه موردی استان گلستان*. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، افشین.، عالیمقام، سید مجید؛ نه‌بندانی، علیرضا؛ بارانی، حسین؛ سلطانی، الیاس؛ ترابی، بنیامین؛ زینلی، ابراهیم؛ میرکریمی، شهرزاد؛ جولایی، رامتین؛ خسرویان، تکتم؛ حبیب‌پور کاشفی، احسان؛ جافرنوده، صفورا؛ دادرسی، امیر؛ قاسمی، ثریا؛ رهبان، سمیه؛ پورشیرازی، شبنم؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ دهقانی، امیراحمد؛ اشرافی، فرشید؛ بهمنی، محمود؛ فتاح طالقانی، داریوش؛ احمدی، کریم؛ محمدرضایی، مریم؛ گلی، شیدا؛ الستی، ، امید؛ حسینی، رقیه‌السادات؛ زاهد، محبوبه؛ فیاضی، حسنا؛ کمری، حسین؛ عرب‌عامری، راحله؛ محمدزاده، زهرا؛ محمدی، سمانه؛ کرامت، صالح؛ سوسرایی، نعیمه؛ آشناور، محبوبه؛ احمدی، مادح و تقدیسی نقاب، رضا (۱۳۹۸). *تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل‌سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط‌زیست: چشم‌انداز و سیاست‌های لازم*. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، افشین؛ نه‌بندانی، علیرضا؛ زینلی، ابراهیم؛ ترابی، بنیامین؛ زند، اسکندر؛ قاسمی، ثریا؛ الستی، امید؛ دادرسی، امیر؛ حسینی، رقیه‌السادات؛ عالیمقام، سید مجید؛ زاهد، محبوبه؛ فیاضی، حسنا؛ کمری، حسین؛ عرب‌عامری، راحله؛ محمدزاده، زهرا؛ رهبان، سمانه؛ پورشیرازی، شبنم؛ محمدی، سمانه؛ کرامت، صالح (۱۳۹۷). *اطلس خاک عملکرد و توان تولید گیاهان زراعی مهم در کشور در شرایط اقلیمی فعلی و آینده*. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

عالی‌مقام، سید مجید؛ سلطانی، افشین؛ دادرسی، امیر؛ نه‌بندانی، علیرضا (۱۴۰۲). تهیه نقشه‌های پراکنش سطح زیرکشت گیاهان باغی و زراعی در

سطح کشوری برای ایران. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*. ۱۵(۱): ۸۸-۷۵.

عباسی، فریبرز؛ باغانی، جواد؛ یزدانی، محمدرضا؛ حقایقی‌مقدم، سید ابوالقاسم؛ اکبری، مهدی؛ معیری، منصور؛ نخجوانی‌مقدم، محمد مهدی (۱۴۰۲). *تعیین آب مصرفی محصولات زراعی در کشور*. گزارش پژوهش نهایی شماره ۶۳۲۸۸، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

REFERENCES

Abbasi, F., Baghani, J., Yazdani, A., Haghayeghi Moghaddam, M.R., Akbari, M., Moeiri, M., Nakhjavani Moghaddam, M.M. (2022). Determining the water consumption of crops in the country. Final research report No. 63288*, Agricultural Engineering and Technical Research Institute*, Karaj. (in Persian)

Alimagham, S.M., Soltani, A., Dadrasi, A., & Nehbandani, A. (2023). Spatial Distribution Maps of Horticultural and Agricultural Crops Land Generating at the Country Scale for Iran. Journal of Agroecology. 15(1): 75-88. (in Persian) https://doi.org/10.22067/agry.2021.69619.1033

Barikani, E., Ahmadian, M., & Khaliliyan, S. (2021). Optimal Sustainable Use of groundwater in Agricultural sector: Case Study Subsector in Qazvin Basin. Journal of Agricultural Economics and Development. 25 (2): 252-263. (*In Persian*) https://doi.org/10.22067/jead2.v1390i2.9717

Koo, J., & Dimes, J. (2013). HC27 Generic soil profile database. Harvard Dataverse ver. 4. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.Groves SJ, Bailey RJ. Strategies for the sub-optimal irrigation of sugar beet. *Aspects of Applied Biology*. 1994. 38: 201-207.

Nehbandani, A., Soltani, A., Taghdisi, R., Dadrasi, A., & Alimagham, S.M. (2020). Assessing HC27 Soil Database for Modeling Plant Production. *International Journal of Plant Production*. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00114-4.

Mourtzinis, S., Edreira, J.R., Conley, S.P., & Grassini, P. (2017). From grid to field: assessing quality of gridded weather data for agricultural applications. *European Jouranl of Agronomy*. 82: 163-172.

Rattalino Edreira, J.I., Andrade, J.A., Cassman, K.G., van Ittersum, M.K., van Loon, M.P., & Grassini, P. (2021). Spatial frameworks for robust estimation of yield gaps. *Nature Food*. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00365-y

Sinclair, T.R. (1986). Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model development. *Field Crops Research*. 15(2): 125-141.

Sinclair, T.R., Soltani, A., Marrou, H., Ghanem, M., & Vadez, V. (2019). Geospatial assessment for crop physiological and management improvements with examples using the Simple Simulation Model. *Crop Science*. 59: 1-9.

Soltani, A. (2009). Mathematical modeling in field crops. *Publications University of Mashhad*. 175 pages. (*In Persian*)

Soltani, A., & Mirzaei, A. (2022). Sustainable Agriculture. *Publications Vajegan Sirang*. 384 pages. (*In Persian*)

Soltani. A., Jafar Nodeh, S., Dadrasi. A., Rahban, S., Nazeri, M., Zeinali, E., Najafinejad, A., Torabi, B., & Kazemi, H. (2022). Development of a provincial system for water balanceand water accounting in agricultural lands:case study of Golestan province. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. Research Report. 124 pages. (*In Persian*)

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Barani, H., Soltani, E., Torabi, B., Zeinali, E., Mirkarimi, Sh., Joulaei, R., Khosravian, T., Habibpur Kashefi, E., Jafar Noudeh, S., Dadrasi, A., Ghasemi, S., Rahban, S., Pourshirazi, Sh., Bahrehmand, A.R., Dehghani, A.A., Ashrafi, F., Bahmani, M., Fattah Taleghani, D., Ahmadi, K., Mohammad Rezaei, M., Goli, SH., Alasti, O., Hoseini, R., Zahed, M., Fayazi, H., Kamari, H., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Mohammadi, S., Keramat, S., Sosaraei, N., Ashenavar, M., Ahmadi, M., Taghdisi Naghab, R. (2019). Analysis of Iran's food security until 2020, modeling the correlation of water, land, food and environment: perspectives and necessary policies. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. Research Report. 130 pages. (In Persian)

Soltani, A., Nehbandani, A., Zeinali, E., Torabi, B., Zand, E., Ghasemi, S., Alasti, O., Dadrasi, A., Hoseini, R., Alimagham, S.M., Zahed, M., Fayazi, H., Kamari, H., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Pourshirazi, Sh., Mohammadi, S., Keramat, S. (2018). Gap yield atlas and production capacity of important crops in the country level in current and future climatic conditions. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. Research Report. 130 pages. (In Persian)

Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield. *CABI Publisher*. 312 p.

Soltani, A., Maddah, V., & Sinclair, T.R. (2013). SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*. 7(4): 711-740.

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. (2020) a. 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,. Ghassemi, S., Vadez, V., Sinclair, T.R., & van Ittersum, M.K. (2020) b. Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*. 183: 102859.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E,. Vadez, V., van Loon, M.P., & van Ittersum, M.K. 2020c. Future food selfsufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*. 24: 100351.

Van Bussel, L.G.J., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H,. Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., & van Ittersum, M.K. (2015) .From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*. 177: 98-108. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.005.

Van Ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance-A Review. *Field Crops Research*. 143: 4-17.

Van Wart, J., Grassini, P., & Cassman, K.G. (2013) a. Impact of derived global weather data on simulated crop yields. *Global Change Biology*. 19: 3822-3834.

Van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K.G., (2013) b. Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*. 143: 34-43.

You, L., Wood, S., Wood-Sichra, U., & Wu, W. (2014). Generating global crop distribution maps: From census to grid. *Agricultural Systems*.127: 53-60.

Development of water accounting system for irrigated agricultural lands of Fars province

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Adapting to water scarcity in agricultural sector of Iran is a necessity and Fars province is no exception. Preparation and implementation of appropriate adaptation planning to water scarcity requires diverse, valid and integrated information on water resources. Models and software typically estimate this information for optimal growth conditions (potential) and then refine it based on empirical methods that may be subject to error. The main objective of this research is to develop a system that can provide this information directly, dynamically and in an integrated manner under farmer's conditions. This information is essential for water scarcity adaptation planning.

Materials and Methods

In this research, the water balance accounting system was developed based on a scaling protocol, a plant simulation model and various input data. First, the irrigated agricultural lands of Fars province were divided into homogeneous agro-ecological zones (AEZ), and the cultivated area of each of the important plants of the province was determined in each AEZ. In the next step, one or more representative weather stations (RWS) were selected for each AEZ based on the size of the cultivated area. For these RWS points, required information and plant simulation model inputs such as management, soil, crop (variety), and weather data were prepared. The plant simulation model (SSM-iCrop2), which forms the core of the system, was set up and calibrated to simulate the water balance, yield and growth of the important plant(s) of the province under the conditions of farmers, and finally the system was developed. The system is able to simulate and produce the growth, yield and water balance components under the conditions of farmers or potential for the important plant(s) of the province.

Results

The results indicated that wheat, barley, and citrus have the largest area of irrigated plants among the 35 important plants of the province. 17 AEZ were identified to cover more than 95% of the irrigated agricultural lands of the Fars province, among which 6002Shrz AEZ had the largest cultivated area. The system produces important outputs such as information on water balance and growth, yield, and phenology of important plants in the province. These outputs can be generated monthly, annually (at the end of the growth season), or at any other time interval. Monthly water balance information is crucial for effective water scarcity adaptation planning. This information can be obtained for individual plants, all plants in each AEZ, or all plants in the entire province. Moreover, the system can provide this information in the form of counties. The system generates this information for farmers and potential conditions. The results indicated that the estimates of the potential conditions are different from the farmers. Therefore, it is necessary that the estimations of farmers conditions should be taken into account in water scarcity adaptation planning. The evaluation of the accuracy of the model estimates was satisfactory.

Conclusion

The system provides reliable and integrated information on yield, growth, and other water balance components for each plant or all plants monthly and annually (at the end of the growing season). The system produces estimates that can be used to calculate the volume of irrigation water and total water harvesting for agriculture on a monthly, yearly, or any time period basis. This information can be produced under farmers and potential conditions. This system is unique in its ability to provide the mentioned information directly under farmer's conditions and does not require the use of experimental methods to modify estimates, unlike other systems. Estimates from this system can help reduce the difference in the volume of water consumed (volume of irrigation water) and water harvested for agriculture between government agencies. In addition, the estimates from this system are necessary for planning to adapt agriculture to water scarcity, such as optimizing cropping patterns.

Keywords: Adaptation to Water Scarcity, Irrigation Water, Modeling, SSM-iCrop2, Water Balance.