نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۶، آذر - دی ۱۴۰۱، ص. ۹۶۲-۹۵۰

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 16, Dec.-Jan. 2022, p. 950-962

مقاله علمی-پژوهشی

تعیین تاریخ کاشت بهینه و شاخص‌های عملکرد و بهره‌وری آب در کشت گندم با مدل CERES-Wheat (مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده‌رود و شمال‌غرب استان اصفهان)

سجاد امیرحاجلو[۱]، مهدی قیصری[۲]*، محمد شایان نژاد[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۶

چکیده

هدف از این پژوهش تعیین پتانسیل عملکرد گندم آبی و تاریخ کاشت مناسب در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان با استفاده از مدل گیاهی CSM-CERES-Wheat بود، مدل با استفاده از داده‌های هواشناسی برای ۶۳ پروفیل خاک، ۱۸ تاریخ کاشت مختلف و ۱۵ رقم رایج گندم با مدیریت زراعی بدون تنش آب و نیتروژن اجرا شد. متوسط پتانسیل تولید زیست‌توده در منطقه مورد مطالعه ۲۶۳۹۲/۴۷±۷۸/۹۹ کیلوگرم برهکتار، عملکرد دانه ۱۱۹۱۴/۱۷±۴۴۲/۶۲ کیلوگرم بر هکتار، بهره‌وری آب (WP)، ۱/۰±۷۳/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری آب آبیاری (WPi)، ۲/۰±۴۹/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. WP (ورزنه، کبوترآباد و لنجانات) ۱۲/۸۲ درصد بیشتر از مناطق غرب (چادگان، فریدونشهر و فریدن) و WPi برای مناطق غرب ۱۶/۳۰ درصد بیش‌تر از مناطق شرق بود. سهم آب سبز در تولید در مناطق غرب و شمال غرب استان ۳۸/۳۱ درصد و در مناطق شرق استان ۱۸/۸۶ درصد می‌باشد بنابراین جهت استفاده از ظرفیت آب سبز پیشنهاد می‌شود علاوه بر کاشت در تاریخ‌های مناسب تحت هر شرایطی مناطق غرب و شمال غرب استان اصفهان مناسب‌تر است. تاریخ کاشت مناسب بر اساس اینکه هدف بیشینه کردن شاخص عملکرد یا بهره‌وری آب باشد برای مناطق مختلف متفاوت بود، تاریخ کاشت مناسب برای شهرستان‌های فریدن، فریدونشهر و چادگان ۲۶ شهریور تا ۱۵ مهر، خوانسار و تیران ۲۶ شهریور تا ۲۵ مهر، گلپایگان ۵ مهرماه تا ۵ آبان، لنجانات، نجف آباد، کبوترآباد و ورزنه ۱۵ مهر تا ۲۵ آبان ماه بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آب سبز، بهره‌وری آب، بهره‌وری آب آبیاری، پتانسیل عملکرد، تاریخ کاشت

مقدمه

بخش کشاورزی در سرتاسر جهان با چالش بزرگ ضرورت افزایش تولید برای تامین امنیت غذایی جمعیتی مواجه است و پیش‌بینی می‌شود جمعیت زمین تا اواسط قرن جاری به ۹ میلیارد نفر و تا پایان قرن به بیش از ۱۱ میلیارد نفر برسد. تامین غذای جمعیت رو به رشد- که در حال حاضر نیز بیش از ۷۹۵ میلیون نفر از گرسنگی و بیش از دو میلیارد نفر از کمبود ریزمغذی‌ها یا سوء تغذیه رنج می‌برند - دشوار خواهد بود (Liu, 2017). تا سال ۲۰۵۰ جهان نیازمند افزایش حداقل ۷۰ درصدی در تولیدات کشاورزی برای تامین نیاز غذایی این جمعیت روز افزون می‌باشد (Alexandratos and Bruinsma, 2012). در حالی که باتوجه به محدویت منابع آب در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک امکان افزایش عملکرد از طریق توسعه افقی و افزایش سطح کشت وجود ندارد، تنها راهکار غلبه بر این مشکل افزایش عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی به نظر می‌رسد.

برای تصمیم‌گیری‌های صحیح در بخش کشاورزی نیاز به داده-های گسترده می‌باشد، با توجه به تغییر اقلیم و متفاوت بودن ویژگی‌های خاک و آب در نقاط مختلف، تولید داده‌های جدید به وسیله روش‌های تحقیقاتی کشاورزی و استفاده از داده‌های منتشر شده به تنهایی برای تصمیم‌گیری کافی نیست (Jones et al., 2017; Zhai et al., 2020)، برای جبران این کمبود، مدل‌های گیاهی با کارایی آسان‌تر و سریعتر برای بهینه‌سازی مدیریت زراعی و تولید محصول به‌طور گسترده مورد استفاده محققین قرار گرفته است. امروزه پیشرفت قابل توجهی در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی ایجاد شده است، این مدل‌ها می‌توانند رشد گیاه و تولید محصول را پیش-بینی نمایند. مدل‌های APSIM، CropSyst، DSSAT، EPIC،

۱- دانشجوی دکترا آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: gheysari@iut.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.5.6.1

SWAP، WOFOST، InfoCrop، STICS و AquaCrop از معروف‌ترین این مدل‌ها هستند (Camargo and Kemanian, 2016; Dhakar et al., 2018). هر مدل گیاهی از تعدادی زیر مدل تشکیل شده است. این زیر مدل‌ها که شامل فرآیندهای مختلف در سیستم‌های خاک-گیاه-اتمسفر هستند، به منظور پیش بینی رشد و تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند

بیش از ۴۰ سال است که بسته نرم افزاری DSSAT[1] مورد استفاده محققان در سراسر جهان قرار گرفته است. بهره‌گیری از بسته نرم افزاری DSSAT به منظور کامل نمودن دانش خاک، اقلیم، گیاهان و مدیریت برای تصمیم گیری بهتر و انتقال فناوری تولید از یک نقطه به نقاط دیگر با شرایط متفاوت خاک و اقلیم امکان پذیر می‌باشد (Jones et al., 2003). هم اکنون می‌توان فرایند رشد گیاه مورد نظر را به جای چندین سال آزمایش در مزرعه با کمک مدل و استفاده از اطلاعات هواشناسی بلند مدت و سناریوهای مختلف اقلیمی شبیه‌سازی کرد و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار داد (Soltani and Hoogenboom, 2007).

تحقیقات گذشته در نقاط مختلف جهان کارایی مدل CSM-CERES-Wheat را به خوبی نشان داده است و به عنوان ابزاری مناسب و قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری توصیه شده است (قوام سعیدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ توفیق و همکاران، ۱۳۹۹ ; Kheir et al., 2021; ;Dokoohaki et al., 2015; Malik and Dechmi, 2019; Zhang et al., 2018). الوی و همکاران با استفاده از مدل CSM-CERES-Wheat عملکرد پتانسیل و بهره‌وری آب و همچنین شکاف بین مقادیر واقعی و پتانسیل را برای دشت‌های شمال چین به دست آوردند (Lv et al., 2017). عزیز و همکاران با استفاده از مدل CERES-Wheat بهترین تاریخ کاشت گندم برای منطقه پنجاب پاکستان را استخراج کردند(Aziz et al., 2016). فلاح و همکاران کارایی مدل را در شبیه سازی عملکرد برای چهار رقم مختلف گندم در دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مدل، عملکرد دانه را برای طیف وسیعی از شرایط محیطی و مدیریتی به خوبی پیش بینی می‌کند (Fallah et al., 2021).

بر اساس چشم انداز ۱۴۰۴ در بخش کشاورزی می‌بایست جهت تولید محصولات اساسی کشاورزی برای مصارف داخلی، همزمان با احیاء منابع قبلی و حفاظت از منابع آب موجود و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی و محیط زیست گام برداشته شود (بی‌نام، ۱۳۹۱). از طرفی بر اساس برنامه ملی سازگاری با کم آبی استان اصفهان در افق ۱۴۰۵، باید به میزان ۸۷۱ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی -شامل ۶۸۰ میلیون مترمکعب در بخش آب‌های زیرزمینی و ۱۹۱ میلیون مترمکعب در بخش آب‌های سطحی- صورت پذیرد که سهم صرفه جویی در بخش کشاورزی ۸۲۵ مترمکعب – معادل ۹۵ درصد- خواهد بود (بی‌نام، ۱۴۰۰).

گندم مهمترین محصول زراعی شناخته شده در ایران است و منبع اصلی تامین ۳۷ درصد انرژی و ۴۰ درصد پروتئین مردم محسوب می‌شود بنابراین امنیت غذایی در ایران تا حدود زیادی وابسته به این محصول است (عالیمقام و همکاران، ۱۳۹۹) . ایران با تولید حدود ۱۲ میلیون تن در سال در رتبه دوازدهم تولید گندم قرار دارد، بر اساس آمار ۲۰ ساله اخیر سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان بیش از ۳۶ درصد از مجموع ۲۸۰ هزار هکتار اراضی زراعی استان به کشت گندم اختصاص داده شده است، میانگین عملکرد گندم آبی در سطح استان اصفهان ۴۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد (بی‌نام، ۱۴۰۱) . باتوجه به سطح زیر کشت چشمگیر این محصول در استان کم‌آب اصفهان، افزایش بهره‌وری مصرف آب این محصول کمک زیادی در جهت دستیابی به اهداف برنامه ملی سازگاری با کم آبی در این استان خواهد کرد.

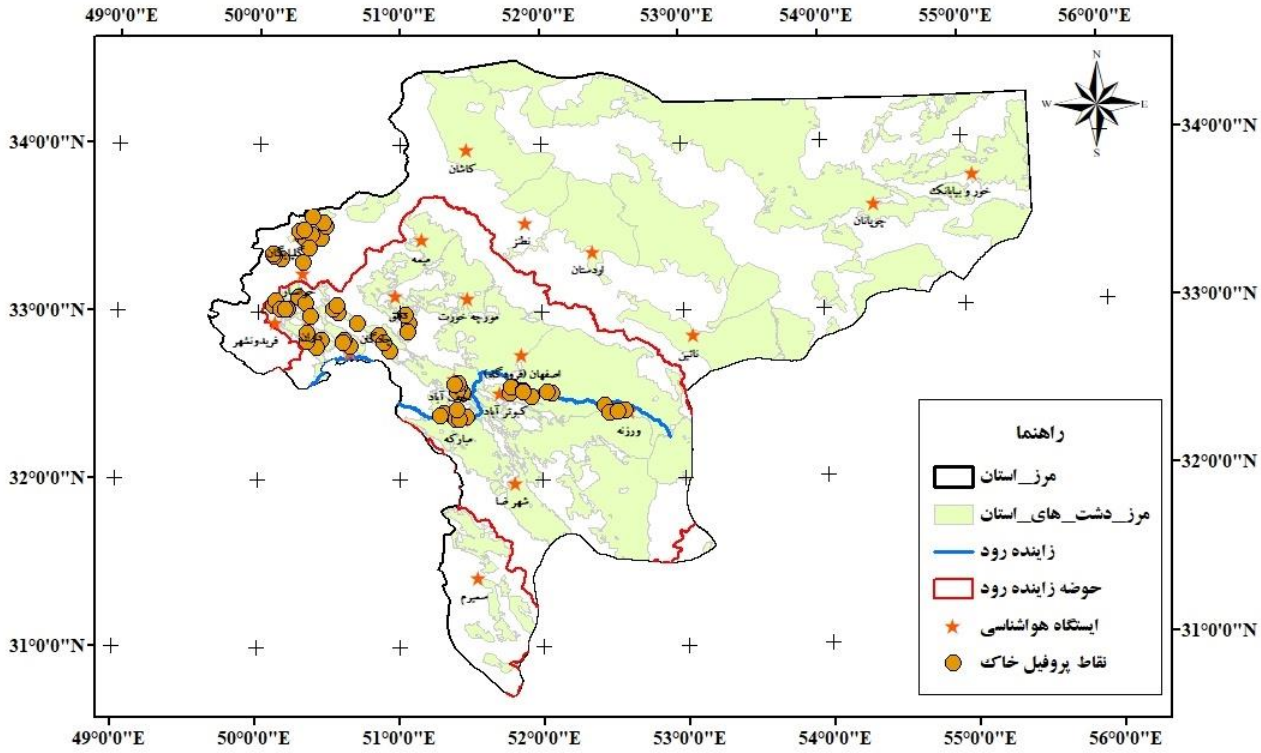
با توجه به اسناد بالادستی ضرورت دارد در راستای افزایش بهره‌وری آب از ابزارهای مدیریتی استفاده نمود تا تحقق اهداف بالادستی منجر به افزایش برداشت آب از منابع آب نگردد، در این راستا با توجه به تغییرات اقلیمی، تعیین تاریخ کاشت مناسب و شناسایی عوامل محدودکننده تولید گندم در هرمنطقه برای افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب، اهمیت بسیار زیادی دارد شرایط اقلیمی استان اصفهان از غرب تا شرق ، کیفیت آب، بافت و مواد آلی خاک، توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا و غیره در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. مجموعه این عوامل سبب می‌شود که عملکرد گندم پاییزه در مناطق مختلف استان متفاوت باشد. لذا اهداف این مطالعه (۱) برآورد عملکرد گندم پاییزه در شهرستان‌های اصلی تولید گندم در استان اصفهان و شناسایی تغییرات مکانی در عملکرد گندم ناشی از تفاوت در آب و هوا و خاک، (۲) آشکار کردن شکاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی، (۳) ارائه بازه کاشت مناسب برای هر یک از مناطق استان، (۴) ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در مناطق اصلی تولید گندم می‌باشد.

مواد و روش

- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه مناطق عمده کشت گندم در استان اصفهان شامل دشت‌های واقع در شمال‌غرب، غرب تا شرق استان اصفهان واقع در مختصات جغرافیای ۳۲-۳۴ درجه شمالی و ۵۰-۵۳ درجه شرقی می‌باشد، بخش عمده‌ی از این محدوده در حوضه زاینده‌رود واقع شده است، شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Decision support system for agro technology transfer



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

- تیمارهای مورد بررسی

در این مطالعه هدف بدست آوردن پتانسیل عملکرد، بهره‌وری آب، بهره وری آبیاری و انتخاب بهترین تاریخ کاشت در هر دشت بود، لذا بعد از وارد کردن اطلاعات، اقلیم، خاک و ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف گندم، مدل با فرض کنترل علف‌های هرز، کنترل بیماری‌ها و آفات به صورت مطلوب و بدون استرس آبی و نیتروژن اجرا شد.

باتوجه به اینکه برداشت محصول گندم در استان تا اواخر مرداد ماه به طول می‌انجامد، تاریخ‌های کاشت برای استفاده در مدل از ۲۷ مرداد تا ۱۵ بهمن طی ۱۸۰ روز (۱۸ تاریخ کاشت با فواصل زمانی ۱۰ روز) انتخاب شد و مدل بر اساس آن برای ۶۳ پروفیل مختلف خاک اجرا شد. همچنین در اجرای مدل از داده‌های نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به هر نقطه پروفیل خاک استفاده شد. از آنجایی که نزدیک بودن ایستگاه هواشناسی ویژگی‌های اقلیمی یک نقطه را به خوبی نشان نمی‌دهد علاوه بر نزدیکی ایستگاه، رقوم ارتفاعی ایستگاه هواشناسی نیز در انتخاب ایستگاه هواشناسی مد نظر قرار گرفت.

- مدل CSM-CERES-Wheat

مدل DSSAT یک بسته نرم‌افزاری کاربردی است که شامل زیرمدل‌های شبیه‌سازی محصول برای بیش از ۴۲ گیاه (در نسخه ۴.۸) و ابزارهایی برای تسهیل و استفاده مؤثر از زیرمدل‌ها است(Hoogenboom G., 2019) . این ابزارها شامل برنامه‌های مدیریت پایگاه داده خاک، آب و هوا، مدیریت محصول و داده‌های تجربی، ابزارهای کاربردی و برنامه‌های کاربردی است. مدل CSM-CERES-Wheat شبیه‌سازی روزانه مراحل رشد فنولوژیکی گندم شامل طول دوره‌های رشد، رشد ساقه و برگ، پیر شدن برگ‌ها، تولید زیست‌توده، توسعه و عملکرد محصول را به عنوان تابعی از دینامیک خاک-گیاه-اتمسفر انجام می‌دهد (Jones et al., 2003; Ritchie et al., 1985).

- اطلاعات هواشناسی

داده‌های هواشناسی پیش نیاز اجرای مدل CERES – DSSATشامل: مختصات جغرافیایی محل ایستگاه، داده‌های روزانه حداکثر، حداقل دما (°C)، بارندگی (میلی‌متر)، تابش خورشیدی ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$) یا ساعات آفتابی، سرعت باد ($m\ s^{-1}$) و رطوبت نسبی (٪) بر اساس داده‌های بلند مدت روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان با استفاده از ابزار Weatherman وارد مدل شد. موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در شکل (۱) ارائه شده است. باتوجه به اینکه سال‌های

آماری ایستگاه‌ها متفاوت بود جهت جلوگیری از بروز خطا در نتایج، دوره آماری ۱۵سال اخیر (۲۰۰۵-۲۰۲۰) که تمامی ایستگاه‌ها داده‌های کامل داشتند، مورد استفاده قرار گرفت.

- اطلاعات خاک

داده‌های ورودی خاک شامل ویژگی‌های لایه‌ای خاک مانند بافت خاک (شن (٪)، سیلت (٪)، رس (٪)، درصد سنگریزه، شیب زمین، وضعیت زهکشی زمین، وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)، رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه ($cm^3\ cm^{-3}$)، نقطه پژمردگی دائم ($cm^3\ cm^{-3}$)، رطوبت حجمی اشباع خاک ($cm^3\ cm^{-3}$)، هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm\ h^{-1}$)، کربن آلی (٪)، pH ، شوری عصاره اشباع ($dS\ m^{-1}$)، نیتروژن، فسفر و پتاسیم ($mmol\ kg^{-1}$)، ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والانت در ۱۰۰ گرم خاک خشک)، کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات ($meq\ L^{-1}$) با استفاده از ابزار Soil برای هر پروفیل خاک وارد مدل شد. اطلاعات خاک از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان اخذ گردید. شکل (۱) موقعیت پروفیل‌های خاک را در سطح استان نشان می‌دهد، برای انتخاب پروفیل‌های خاک سعی شد نقاطی انتخاب شوند که اولاً در دشت‌های زراعی با سابقه کاشت گندم قرار بگیرند، ثانیاً پروفیل انتخاب شده نماینده درصد زیادی از خاک منطقه باشد. لذا ۶۳ پروفیل خاک با مشخصات ذکر شده انتخاب و اطلاعات آن وارد قسمت SBuild بسته نرم افزاری DSSAT گردید.

-ضرایب ژنتیکی مدل

دما متغیر اصلی تاثیر گذار بر روی نرخ رشد می‌باشد، مدت زمان حرارتی برای هر فاز با ضرایب مختلف توصیف می‌شود. زمان‌بندی مراحل فنولوژیک زراعی با اصلاح ضرایب ژنتیکی بهاره‌سازی (P1V)، پاسخ فتوپریود (P1D)، مدت زمان پر شدن دانه (P5) و فاصله زمانی بین ظهور دو برگچه متوالی (PHINT) بدست می‌آید. همچنین عملکرد بر اساس ضرایبG1 ،G2 وG3 تعریف و مشخص می‌گردد، جدول (۱) ضرایب استفاده شده در مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۱- توصیف ضرایب ژنتیکی گندم در مدل DSSAT-CERES-Wheat

ضرایب ژنتیکی	توضیح ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT	واحد
P1V	مدت زمان لازم برای انجام بهاره‌سازی کامل در زمانی که دما در محدوده بهینه است	برحسب روز، محدوده آن۶۰-۰ روز می‌باشد
P1D	مقدار کاهش نسبی سرعت رشد و نمو به ازای هر ۱ ساعت کوتاه تر شدن طول روز نسبت حالت مطلوب- ۲۰ ساعت-	برحسب درصد کاهش سرعت رشد و نمو ضرب در ۱۰، محدوده آن ۲۰۰-۰ می‌باشد
P5	زمان حرارتی از زمان پرشدن خطی دانه تا رسیدگی فیزیولوژی	برحسب درجه روز، بر اساس دمای پایه صفر درجه سانتی گراد، محدوده آن ۹۹۹-۱۰۰ سلسیوس می‌باشد
G1	تعداد دانه در هر واحد وزن پوشش در مرحله پایان گرد افشانی	واحد برحسب تعداد دانه بر واحد وزن خشک پوشش گرم ماده خشک/تعداد دانه، محدوده آن ۵۰-۱۰ می‌باشد
G2	وزن هر دانه در زمان رسیدگی در شرایط بهینه	برحسب میلی‌گرم، محدوده آن بین ۸۰-۱۰ می‌باشد
G3	وزن خشک یک خوشه گندم که هیچگونه تنشی به آن وارد نشده باشد شامل دانه در زمان رسیدگی	برحسب گرم، محدوده آن ۸-۰/۵ گرم می‌باشد
PHINT	فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی	برحسب درجه روز رشد محدوده آن ۱۵۰-۳۰ سلسیوس

اثر اقلیم و موقعیت مکانی بر رشد گیاهان زراعی جهت تطبیق فنولوژی با شرایط غیر زیستی و زیستی یک شرط لازم برای سازگاری واریته با محیط است. علت این امر به دلیل وابسته بودن گلدهی به طول روز با عرض جغرافیایی منطقه می‌باشد (Abdulai et al., 2012). به همین منظور در این پژوهش با بررسی تحقیقات متعدد داخلی و خارجی ضرایب ۱۵ رقم رایج گندم که در استان اصفهان کاشت می‌شوند و قبلا برای عرض جغرافیایی و شرایط اقلیمی مشابه منطقه مورد مطالعه کالیبره و ارزیابی شده بود انتخاب شد جدول (۲) ضرایب ژنتیکی ارقام مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی مورد استفاده در مدل بر اساس پژوهش-های گذشته

محققان	رقم	موقعیت	اقلیم	ضرایب						
				P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
کیانی و همکاران (۱۳۸۳)	روشن	بیرجند ′۵۱ °۳۱ شمالی ′۲ °۱۷ شرقی	خشک و نیمه‌خشک	۴/۵	۲/۹	۵/۱	۱/۴	۳/۱	۱/۲	۸۵
	الوند			۴/۷	۳	۶/۸	۲	۳/۱	۲/۵	۸۷
اندرزیان و همکاران (۱۳۸۷)	فونگ	خوزستان ′۲ °۳۱ شمالی ′۸ °۴۸ شرقی	خشک و نیمه‌خشک با تابستان بسیار گرم	۰	۸۳	۷۰۰	۲۲/۵	۴۳	۱/۲	۹۵
	چمران			۰	۹۱	۷۳۵	۲۱/۵	۴۰	۱/۲	۹۵
	استار			۰	۱۰۰	۶۵۰	۱۵	۴۳	۱/۲	۹۵
دلقندی و همکاران (۱۳۹۲)	چمران	خوزستان ′۲ °۳۱ شمالی ′۸ °۴۸ شرقی	خشک و نیمه‌خشک با تابستان بسیار گرم	۰	۱۰۳	۷۰۰	۱۱	۴۵	۱	۱۰۵
دو کوهکی و همکاران (۱۳۹۵)	سرداری	کوهرنگ ′۳۰ °۳۲ شمالی ′۱۴ °۵۰ شرقی	مرطوب و معتدل با زمستان-های بسیار سرد	۶۵	۵۰	۴۱۰	۲۳	۳۵	۱/۵	۹۴
سعادتی و همکاران (۱۳۹۵)	C-73-5	طرق مشهد ′۱۶ °۳۶ شمالی ′۳۸ °۵۹ شرقی	خشک و نیمه‌خشک با تابستان بسیار گرم	۶۰	۹۵	۳۱۰	۳۰	۴۱	۱/۵	۹۰
	C-78-4			۶۰	۹۵	۳۲۰	۳۰	۳۸	۱/۵	۹۰
	C-78-8			۶۰	۹۰	۳۲۰	۳۰	۴۶	۱/۵	۹۰
	C-79-6			۶۰	۸۰	۳۳۰	۳۰	۴۱	۱/۵	۹۰
	C-79-16			۶۰	۹۵	۳۴۰	۲۵	۳۸	۱/۵	۹۰
قوام سعیدی و همکاران (۱۳۹۸)	رقم آنفارم ۴	بیرجند ′۵۳ °۳۲ شمالی ′۷ °۵۹ شرقی	خشک و نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد	۰/۲۵	۰	۱۷	۲۰.۵	۳۰.۱۶	۱.۹۸۲	۳۰
فلاح و همکاران (۱۳۹۹)	تجن پیشتاز شهریار	ایستگاه‌های تحقیقاتی کل کشور	خشک و نیمه‌خشک	۱	۵/۲	۷۸۰	۳۰	۳۶	۲.۶	۸۳
				۱	۴/۹	۷۰۰	۳۰	۲۸	۲.۴	۸۲
				۱	۴/۸	۷۲۰	۳۰	۳۴	۲.۴	۸۰

- شاخص‌های عملکرد و شاخص‌های بهره‌وریعملکرد دانه (Y) و وزن خشک اندام هوایی در زمان رسیدگی به عنوان زیست‌توده (TB) برحسب کیلوگرم بر هکتار به عنوان شاخص‌های عملکرد در نظر گفته شد، همچنین شاخص‌های بهره‌وری آب (WP) و بهره‌وری آب آبیاری (WPi) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Fernández et al., 2020; Gheysari et al., 2021):

$$WP = \frac{Y}{ET_{ac} \times 10} \quad (۱)$$

$$WP_i = \frac{Y}{I \times 10} \quad (۲)$$

در روابط (۱) و (۲)، Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار ($kg\ ha^{-1}$)، ETac تبخیر و تعرق واقعی محصول برحسب میلی متر(mm) و I عمق آبیاری بر حسب میلی‌متر (mm) است.

WPi یا به عبارتی نسبت عملکرد دانه به میزان آب آبیاری شاخص مهمتری نسبت به دیگر شاخص‌ها می‌باشد و نشان دهنده مصرف واقعی آب از منابع آب آبی است، و نقش و اهمیت آب سبز را در تولید محصولات کشاورزی بیان می‌کند. اختلاف بین WP و WPi به نوعی نشان دهنده حجم آب سبز مصرفی می‌باشد، آب سبز، آبی است که در خاک نگهداری می‌شود و در دسترس گیاهان است و اگر گیاهی جهت استفاده از این آب وجود نداشته باشد مجدد به صورت تبخیر از سطح خاک وارد جو خواهد شد، با این توصیف آب سبز را می‌توان به صورت سهم بارندگی در عملکرد در نظر گرفت

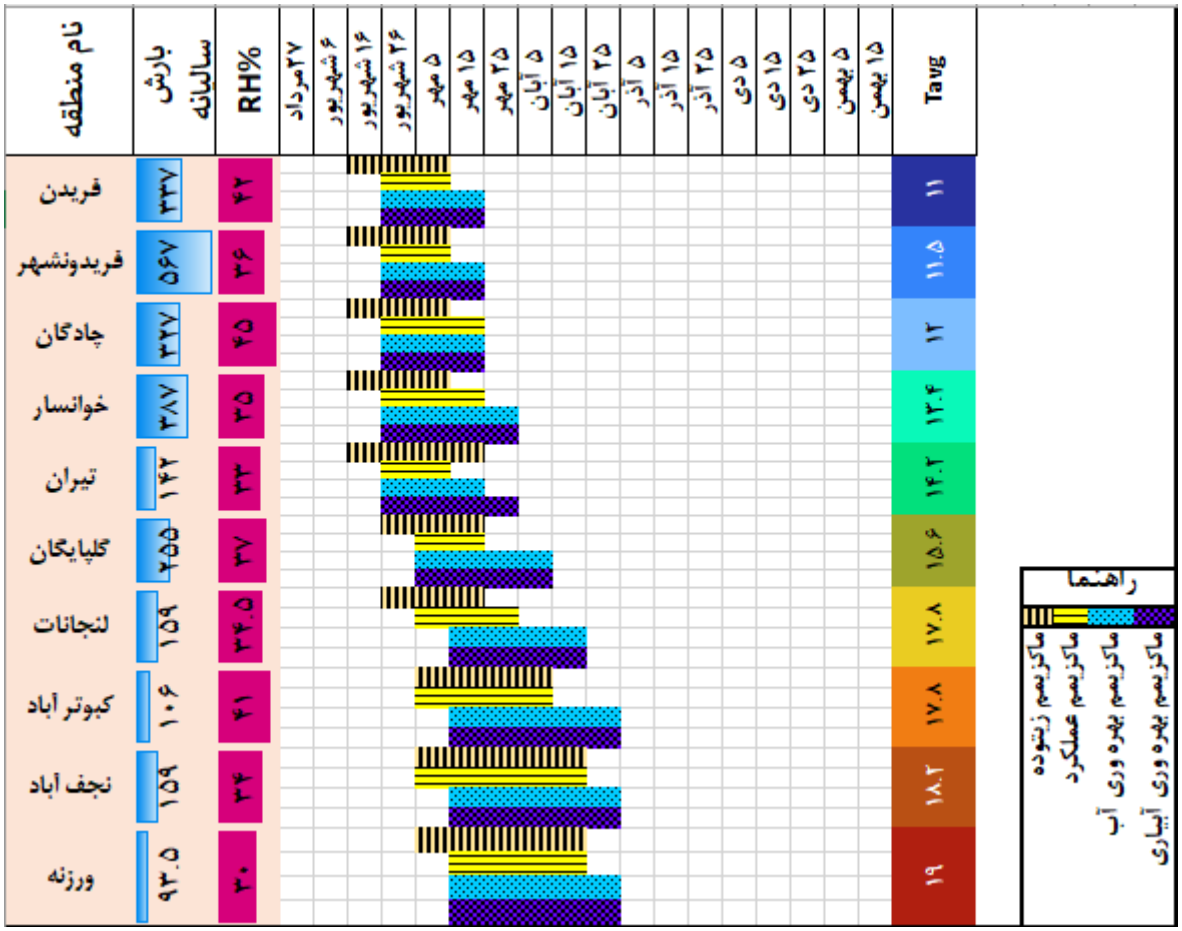
- تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار (IBM SPSS Statistics 26.0.0.1) انجام شد (Montgomery., 2017) . همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه و به روش آزمون دانکن صورت گرفت. تست چند برد دانکن یکی از رایج‌ترین تست‌ها برای مقایسه همه جفت‌ها است. بر خلاف تست های LSD و دانته که در آنها آزمون فیشر باید معنی‌دار باشد، تست دانکن همیشه معتبر است، حتی اگر فیشر معنی‌دار نباشد (Duncan., 1955). برای پهنه‌بندی نتایج شاخص‌ها از نرم افزار ArcGIS (نسخه ۱۰.۸.۱) کمک گرفته شد.

نتایج و بحث

-تاریخ کاشت

تاریخ وقوع بیشینه شاخص‌های عملکرد و بهره‌وری آب برای یک منطقه الزاماً بر هم منطبق نمی‌باشند و بسته به اینکه هدف افزایش عملکرد و یا شاخص‌های بهره‌وری آب باشد، تاریخ کاشت متفاوتی باید انتخاب شود. با توجه به کاربردی نبودن انجام کاشت در یک تاریخ مشخص، با قبول حداکثر ۵ درصد کاهش شاخص‌ها نسبت به مقدار بیشینه، بازه‌ی کاشت برای محدوده مورد مطالعه، ۱۶ شهریور تا ۲۵ آبان ماه بدست آمد (شکل ۲). شکل ۲ بازه مناسب برای هریک از مناطق و شاخص‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد. جهت دستیابی به بیشینه عملکرد در مناطق فریدن، فریدونشهر، چادگان، خوانسار و تیران در تاریخ ۲۶ شهریور ماه، گلپایگان پنجم مهر ، لنجانات، کبوترآباد و ورزنه در ۱۵ مهر باید کشت انجام شود. درصورتی که هدف افزایش شاخص‌های بهره‌وری آب و آبیاری باشد جهت دستیابی به این هدف در فریدونشهر ۲۶ شهریور، فریدن، چادگان، خوانسار و تیران پنجم مهر، گلپایگان، لنجانات، ورزنه و کبوتر آب در تاریخ ۱۵ مهر بایستی کشت انجام شود، همچنین به علت کوتاه‌تر بودن بازه کشت بهینه برای مناطق سردسیر، حساسیت و کشت در تاریخ مناسب برای این مناطق بیشتر از مناطق گرمسیر استان اصفهان است.



شکل ۲- بازه مناسب کاشت در هر یک از مناطق مورد مطالعه با توجه به متوسط رطوبت نسبی و متوسط دمای هوای سالانه.

- شاخص‌های عملکرد و بهره وری آب

نتایج تجزیه و تحلیل آماری به روش واریانس یک طرفه نشان داد اختلاف معنی‌داری از لحاظ کلیه شاخص‌های عملکرد، زیست‌توده کل، WP و WPi بین مناطق مختلف وجود دارد، جدول(۳) مقایسه میانگین بیشینه مقادیر پتانسیل شاخص‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد، مقدار این شاخص‌ها از طریق میانگین‌گیری بیشینه‌های بدست آمده برای ۶۳ موقعیت مورد بررسی حاصل شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین بیشینه مقادیر پتانسیل تولید زیست‌توده کل، عملکرد دانه، بهره‌وری آب، بهره‌وری آبیاری و سهم آب سبز در تولید

نام شهرستان	متوسط دمای سالانه (°C)	متوسط رطوبت نسبی (%)	بارندگی سالیانه(mm)	زیست‌توده کل ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	بهره‌وری آب ($kg\ m^{-3}$)	بهره‌وری آب آبیاری ($kg\ m^{-3}$)	سهم آب سبز در تولید(٪)
فریدن	۱۱	۴۲	۳۳۶/۷	۲۶۹۱۴/۹۱^{ab}	۱۲۱۹۵/۷۷^{a}	۱/۶۱۳^{c}	۲/۷۱۱^{b}	۴۰/۵۰
فریدونشهر	۱۱/۵	۳۶	۵۶۷	۲۵۸۰۲/۴۷^{d}	۱۱۶۷۹/۷۲^{b}	۱/۶۳۸^{c}	۲/۷۲۲^{b}	۳۹/۸۲
چادگان	۱۲	۴۵	۳۲۶/۵	۲۶۸۰۹/۸۳^{abc}	۱۲۳۰۹/۲۳^{a}	۱/۶۱۵^{c}	۲/۴۳۶^{c}	۳۳/۷۰
خوانسار	۱۳/۴	۳۵	۳۸۶/۵	۲۵۸۴۶/۳۵^{d}	۱۱۶۱۷/۵۳^{b}	۱/۷۷۷^{b}	۳/۰۹۸^{a}	۴۲/۶۴
تیران	۱۴/۲	۳۳	۱۴۲	۲۷۴۱۹/۶۳^{a}	۱۲۳۰۶/۶۱^{a}	۱/۶۱۹^{c}	۲/۳۵۷^{cd}	۳۱/۳۱
گلپایگان	۱۵/۶	۳۷	۲۵۵	۲۵۹۲۸/۱۸^{cd}	۱۱۶۴۸/۳۲^{b}	۱/۷۹۳^{b}	۲/۶۵۸^{b}	۳۴/۵۷
لنجانات*	۱۷/۸	۳۴.۵	۱۵۹	۲۶۲۰۷/۶۹^{bcd}	۱۱۵۹۷/۲۹^{b}	۱/۷۹۱^{b}	۲/۲۸۶^{cd}	۲۱/۶۵
کبوترآباد	۱۷/۸	۴۱	۱۰۶/۳	۲۶۱۴۲/۷۶^{bcd}	۱۱۹۸۶/۵۶^{ab}	۱/۷۵۷^{b}	۲/۱۶۹^{d}	۱۸/۹۹
نجف‌آباد	۱۸/۲	۳۴	۱۵۹	۲۵۹۹۷/۹۶^{bcd}	۱۱۸۰۴/۰۹^{ab}	۱/۷۶۱^{b}	۲/۲۵۳^{cd}	۲۱/۸۳
ورزنه	۱۹	۳۰	۹۳/۵	۲۶۳۸۱/۱۹^{bcd}	۱۱۹۵۳/۵۴^{ab}	۱/۹۴۲^{a}	۲/۳۱۱^{cd}	۱۵/۹۶

* لنجانات شامل سه شهرستان فلاورجان، زرین شهر و مبارکه می‌باشد

**در هر ستون مقادیر با حداقل یک حرف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵٪ درصد آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نمی‌باشد.

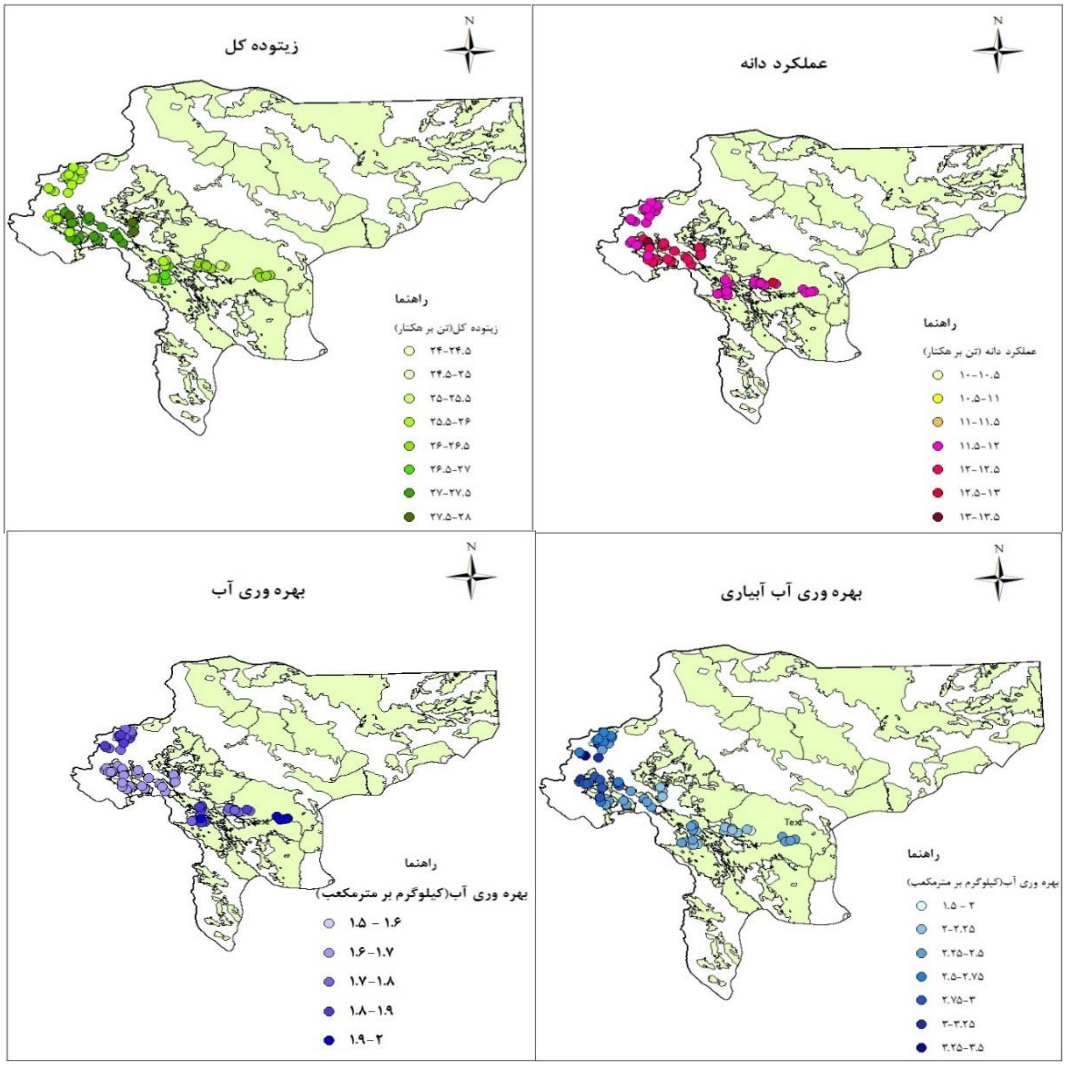
پتانسیل تولید زیست‌توده کل در محدوده مورد مطالعه بین ۲۷۴۱۹ تا ۲۵۸۰۲ کیلوگرم بر هکتار برای مناطق مختلف متفاوت بود و بیشینه مقادیر برای مناطق فریدن، چادگان و تیران بود. اختلاف بین بیشترین و کمترین مقادیر ۶/۲۶ درصد -معادل ۱۶۱۷/۱۶ کیلوگرم برهکتار- بود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین سایر مناطق از لحاظ پتانسیل تولید زیست‌توده مشاهده نشد. متوسط پتانسیل تولید زیست‌توده برای ۶۳ موقعیت مورد بررسی در سطح استان ۲۶۳۹۲ کیلوگرم برهکتار بود. الگوی توزیع شاخص زیست‌توده کل در محدوده مورد مطالعه روند خاصی را نشان می‌دهد (شکل ۳).

پتانسیل تولید عملکرد در محدوده مورد مطالعه بین ۱۲۳۰۹ تا ۱۱۵۹۷کیلوگرم بر هکتار برای مناطق مختلف متفاوت بود و بیشینه مقادیر برای مناطق فریدن و چادگان و تیران و کمینه برای نجف آباد و خوانسار بدست آمد، اختلاف بین مقادیر بیشینه و کمینه عملکرد ۶/۱۴ درصد - معادل ۷۱۱/۹۴ کیلوگرم در هکتار- بود (جدول ۳). همچنین الگوی توزیع عملکرد در سطح استان مشابه الگوی توزیع زیست‌توده بود (شکل ۴). متوسط پتانسیل عملکرد گندم در سطح استان که حاصل میانگین‌گیری از بیشینه مقادیر ۱۵ واریته مختلف گندم برای ۶۳ پروفیل خاک برای ۱۵ سال با سه بار اجرای مدل است، برای محدوده مورد مطالعه ۴۴۲/۶۲±۱۱۹۱۴/۱۷ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد.

WP برای منطقه مورد مطالعه بین ۱/۶۱۳ تا ۱/۹۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب بین مناطق مختلف متفاوت بود، بیشینه WP برای ورزنه ۱/۹۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب و کمینه برای فریدن، فریدونشهر، چادگان، و تیران به ترتیب ۱/۶۱۳، ۱/۶۳۸، ۱/۶۱۵ و ۱/۶۱۹ بدست آمد (جدول ۳). الگوی کلی توزیع نشان داد WP برای مناطق شرق استان بیشتر از سایر مناطق است (شکل ۳)، WP برای مناطق شرق (ورزنه، کبوترآباد و لنجانات) ۱۲/۸۲ درصد بیشتر از مناطق غرب (چادگان، فریدن و فریدونشهر) است، متوسط پتانسیل WP برای استان ۱/۷۳±۰/۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد، مقدار واقعی این شاخص برای کشورهای پیشرو ۱/۴ و در ایران ۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (حیدری، ۱۴۰۰).

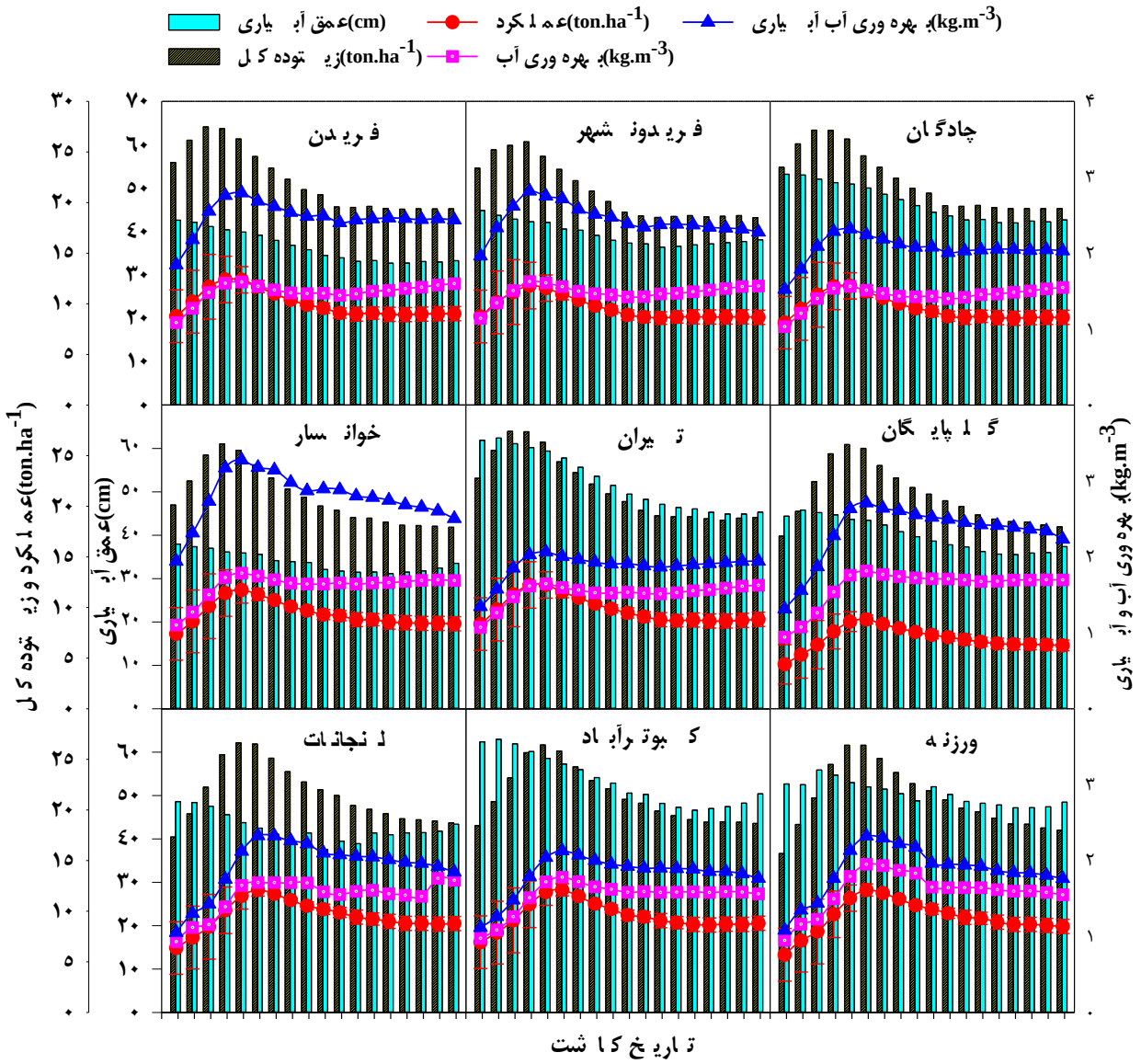
WPi برای منطقه مورد مطالعه بین ۲/۰۴۷ تا ۳/۲۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب در مناطق مختلف متفاوت بود، متوسط پتانسیل WPi برای استان ۲/۴۹±۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده که بیشنه WPi برای منطقه خوانسار برابر ۳/۰۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب و کمینه آن برای مناطق کبوترآباد، نجف آباد، لنجانات، ورزنه و تیران به ترتیب، ۲/۱۶۹، ۲/۲۵۳، ۲/۲۸۶، ۲/۳۱۱ و ۲/۳۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. WPi برای مناطق غرب (فریدونشهر، فریدن و چادگان) با میانگین بارش سالیانه به ترتیب ۵۶۷، ۳۳۶/۷ و ۳۲۶/۵ میلی‌متر، ۱۶/۳۰ درصد بیشتر از مناطق شرق حوضه زاینده‌رود (لنجانات، کبوترآباد و ورزنه) با میانگین بارش به ترتیب ۱۵۹، ۱۰۶/۳و ۹۳/۵ میلی‌متر بود (جدول ۳).

بیشینه سهم آب سبز در عملکرد گندم برای خوانسار ۴۲/۶۴ درصد و کمینه برای ورزنه ۱۵/۹۶ درصد بود، به طور متوسط، سهم آب سبز در تولید برای مناطق شمال‌غرب(خوانسار و گلپایگان)، ۳۸/۶۰ درصد، غرب استان (فریدن، فریدونشهر و چادگان)، ۳۸/۰۱ درصد، در مناطق میانی حوضه زاینده رود (تیران و نجف آباد)، ۲۶/۵۷ درصد و برای مناطق شرق استان(ورزنه، کبوترآباد و لنجانات)، ۱۸/۸۶ درصد بود. به طور متوسط ۳۰ درصد از سهم تولید گندم در استان اصفهان را آب سبز تشکیل می دهد. بنابراین کشت گندم پاییزه به دلیل قابلیت استفاده از آب سبز به خصوص در مناطق غرب و شمال‌غرب استان گزینه مناسبی محسوب می‌گردد.



شکل ۳- الگوی توزیع زیست‌توده کل، عملکرد، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب-آبیاری گندم

نتایج اجرای مدل برای ۱۸ تاریخ کاشت مختلف در مناطق مختلف نشان داد روند تغییرات شاخص‌های عملکرد و بهره‌وری آب در ابتدا صعودی و پس از رسیدن به بیشینه مقدار نزولی می‌شوند. این موضوع اهمیت انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای بیشینه کردن این مقادیر را نشان می‌دهد. مقایسه روند تغییرات کلیه شاخص‌ها نسبت به تاریخ کاشت نشان داد شیب بازوی صعودی نمودارها تا رسیدن به بیشترین مقادیر تقریبا ۸۰ درصد بیشتر از شیب بازوی نزولی می‌باشد. این موضوع بیانگر حساسیت عملکرد به تاریخ کاشت زودتر از زمان کاشت بهینه در مقایسه با تاخیر در تاریخ کاشت نسبت به زمان کاشت بهینه می‌باشد. مقایسه بهره‌وری آب و بهره‌وری آب-آبیاری با تغییرات تاریخ کاشت برای مناطق مختلف نشان داد فاصله این دو نمودار برای مناطقی که وضعیت بارندگی در آن‌ها مساعدتر است، بیشتر از سایر مناطق می‌باشد. بهره‌وری آب-آبیاری برای فریدن، فریدونشهر، چادگان، خوانسار و گلپایگان به ترتیب ۶۸/۰۷، ۶۶/۱۷، ۵۰/۸۳، ۷۴/۳۴ و ۴۸/۲۴ درصد بیشتر از بهره‌وری آب در همان مناطق می‌باشد و کمترین اختلاف این دو شاخص در ورزنه، کبوتر آباد و لنجانات به ترتیب، ۱۹، ۲۳/۴۴ و ۲۷/۶۴ درصد بدست آمد (شکل ۴).



شکل ٤- عملکرد، زیست‌توده کل و شاخص‌های بهره‌وری با تاریخ کاشت‌های مختلف

-شکاف عملکرد واقعی و پتانسیل

شکاف عملکرد را می‌توان در مقیاس های مختلف، از یک مزرعه گرفته تا یک قاره یا جهان، ارزیابی کرد و بر اساس آب و هوای فعلی و منابع خاک و آب موجود، پتانسیل تولید محصول را ارائه کرد (Schils et al., 2018). با اینحال، مطالعه شکاف عملکرد به ویژه در مقیاس محلی برای ارائه پیشنهادهای مدیریت کشاورزی برای مکان خاص برای افزایش عملکرد محصول مفیدتر است (Rong et al., 2021). جدول ۴ شکاف عملکرد پتانسیل و مقادیر فعلی را برای شهرستان‌های مختلف نشان می‌دهد. بیشترین شکاف برای فریدن، فریدونشهر و خوانسار به ترتیب ۸۶۹۶، ۸۵۸۰ و ۸۱۱۸ کیلوگرم بر هکتار و کمترین شکاف عملکرد به ترتیب برای لنجانات و اصفهان به ترتیب ۶۷۰۸ و ۶۷۷۶ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد. شکاف عملکرد برای مناطق غرب و شمال‌غرب استان بیشتر از سایر مناطق می‌باشد دلایل متعددی از قبیل، کوتاه‌تر بودن بازه کشت بهینه و محدودیت زمان برای آماده‌سازی زمین برای انجام کشت منظم، سرما زدگی، مسطح نبودن اراضی که عملیات خاک‌ورزی را محدود می‌کند. همچنین می‌توان به خرده مالکی اراضی، دسترسی کمتر به نهاده های کود و سم، سنتی بودن کشاورزی و عدم استفاده از ارقام جدید اشاره کرد. علاوه بر موارد فوق می توان این اختلاف‌ها را به دقت شبیه‌سازی مدل ارتباط داد، اگرچه نتایج شبیه‌سازی مدل CERES-Wheat برای شرایط تپه ماهوری با داده‌های میدانی نشان داده که مدل توانایی پیش‌بینی عملکرد را با دقت قابل قبول دارد

(Dokoohaki et al., 2015) اما در مدل مذکور گزینه‌ای برای وارد کردن شرایط تپه ماهوری ندارد و فقط امکان وارد کردن شیب متوسط و یکنواخت در مدل وجود دارد.

جدول ٤- شکاف عملکرد پتانسیل و شرایط فعلی در مناطق مختلف

شهرستان	سطح زیر کشت (ha)	متوسط عملکرد فعلی ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد پتانسیل ($kg\ ha^{-1}$)	شکاف عملکرد ($kg\ ha^{-1}$)
فریدن	۴۷۵۰	۳۵۰۰	۱۲۱۹۵/۷۷	۸۶۹۵/۷۷
فریدونشهر	۲۱۰۰	۳۵۰۰	۱۱۶۷۹/۷۲	۸۱۷۹/۷۲
چادگان	۱۹۰۰	۴۰۰۰	۱۲۳۰۹/۲۳	۸۳۰۹/۲۳
خوانسار	۸۰۰	۳۵۰۰	۱۱۶۱۷/۵۳	۸۱۱۷/۵۳
تیران	۱۴۸۰	۴۰۰۰	۱۲۳۰۶/۶۱	۸۳۰۶/۶۱
گلپایگان	۲۴۵۰	۳۸۰۰	۱۱۶۴۸/۳۲	۷۸۴۸/۳۲
نجف آباد	۷۱۰	۴۷۰۰	۱۱۸۰۴/۰۹	۷۱۰۴/۰۹
لنجانات	۸۰۵۰	۵۰۰۰	۱۱۷۰۸/۰۱	۶۷۰۸/۰۱
اصفهان(کبوتر آباد و ورزنه)	۳۱۰۰۰	۵۴۰۰	۱۱۹۷۵/۵۵	۶۵۷۵/۵۵

*سطح زیر کشت و متوسط عملکرد بر اساس آمار جهاد کشاورزی استان اصفهان می‌باشد و عملکرد پتانسیل با استفاده از نرم افزار DSSAT- CERES-Wheat بدست آمده است

میانگین عملکرد گندم آبی در سطح استان اصفهان طی ۲۰ سال اخیر ۴۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱)، نتایج اختلاف عملکرد ۲/۷۳ برابری (معادل ۷۵۷۶ کیلوگرم برهکتار) بین شرایط فعلی و پتانسیل را نشان می‌دهد. خسروی‌فرد و همکاران در تحقیقی که به صورت میدانی در منطقه شرق استان در مزرعه کشاورز پیشرو در زمینه تولید گندم در دو فصل زراعی انجام شد بیشینه بهره‌وری آب آبیاری را ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و بیشینه عملکرد را ۵۸۵۶ کیلوگرم برهکتار گزارش دادند (خسروی‌فرد و همکاران، ۱۴۰۰) لذا حداقل شکاف عملکرد در منطقه شرق استان اصفهان با نتایج این تحقیق ۶۰۸۰ کیلوگرم بر هکتار بود. درصورتی که با اصلاح تاریخ کاشت، کودهی و مدیریت زراعی مناسب، استفاده از ارقام با عملکرد زیاد حداقل ۵۰ درصد شکاف عملکرد در سطح ۳۱ هزار هکتار از اراضی گندم آبی جبران شود، میزان صرفه‌جویی آب حاصل از این اقدام ۱۰۷ میلیون متر مکعب خواهد بود. این حجم صرفه‌جویی با در نظر گرفتن ۱۵۰ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز آب برای تامین آب شرب ۲ میلیون نفر در سال کفایت می‌کند.

نتیجه گیری

نتایج تجزیه و تحلیل آماری به روش واریانس یک طرفه نشان داد اختلاف معنی‌داری ($p<$ ۰/۰۵) بین مناطق مختلف مورد بررسی برای شاخص‌های عملکرد، زیست‌توده کل، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب آبیاری وجود داشت. همچنین مقایسه زمان کاشت بهینه بدست آمده در مناطق مختلف استان لزوم برنامه‌ریزی محلی به جای استانی برای جدول زمانبندی کاشت را به خوبی آشکار می‌نماید. توصیه کلی برای کشت در مناطق فریدن، فریدونشهر و چادگان ۲۶ شهریور تا ۱۵ مهر، خوانسار و تیران ۲۶ شهریور تا ۲۵ مهر، گلپایگان پنجم مهرماه تا پنجم آبان، لنجانات، نجف آباد، کبوترآباد و ورزنه ۱۵ مهر تا ۲۵ آبان ماه می‌باشد.

پتانسیل تولید عملکرد در محدوده مورد مطالعه بین ۱۲۳۰۹ تا ۱۱۵۹۷کیلوگرم بر هکتار و متوسط پتانسیل عملکرد گندم در سطح استان ۴۴۳±۱۱۹۱۴ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد. اختلاف بین مقادیر بیشینه و کمینه عملکرد در مناطق مختلف ۶/۱۴ درصد – معادل ۷۱۲ کیلوگرم در هکتار بود. WP برای منطقه مورد مطالعه بین ۱/۶۱۳ تا ۱/۹۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب بین مناطق مختلف متفاوت بود. WP برای مناطق شرق (ورزنه، کبوترآباد و لنجانات) ۱۲/۸۲ درصد بیشتر از مناطق غرب (چادگان، فریدن و فریدونشهر) بدست آمد. WPi نشان دهنده مصرف واقعی آب از منابع آب آبی است، WPi برای منطقه مورد مطالعه بین ۲/۰۴۷ تا ۳/۲۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب در مناطق مختلف متفاوت بود. WPi برای مناطق غرب (فریدونشهر، فریدن و چادگان) ۱۶/۳۰ درصد بیشتر از مناطق شرق حوضه زاینده‌رود (لنجانات، کبوترآباد و ورزنه) بود. اختلاف بین WP و WPi به نوعی نشان دهنده سهم آب سبز در تولید می‌باشد، به طور متوسط سهم آب سبز در تولید گندم در کل محدوده مورد مطالعه ۳۰ درصد و سهم آب آبی ۷۰ درصد می‌باشد. استفاده حداکثری از ظرفیت آب سبز در تولید گندم در مناطق غرب و شمال غرب استان با توجه به شرایط بارش و عدم شوری آب می‌تواند مورد توجه سیاستگذاران بخش کشاورزی قرار گیرد و کشت گندم در این مناطق ترویج یابد.

ترویج به معنای اختصاص سهم بیشتری از الگوی کشت فعلی مناطق غرب به کشت گندم و استفاده از آب سبز، از طریق کم کردن سطح زیر کشت محصولات پر آب‌بری از قبیل سیب زمینی، پیاز و اختصاص آن به کشت گندم است. به هیچ وجه توسعه افقی اراضی که نیازمند منابع آب جدید باشد توصیه نمی‌شود، زیرا که در حال حاضر نیز وضعیت آبخوان این مناطق از لحاظ تقسیم‌بندی وزارت نیرو ممنوعه بحرانی می‌باشد و امکان اختصاص سهم بیشتر به کشاورزی به هیچ وجه امکان وجود ندارد.

سپاسگزاری

داده‌های پروفیل خاک استفاده شده در این تحقیق از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و داده‌های کمی و کیفی منابع آب از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان اخذ شده است که نویسندگان مراتب قدردانی خود را به دلیل به اشتراک گذاشتن داده‌ها در راستای این پژوهش اعلام می‌دارند.

منابع

اندرزیان، س.ب.، عبدالمهدی، ب.، بنایان، ا.م. و امامی، ی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. پژوهش‌های زراعی ایران. ۶ (۱). ۲۱-۱۱.

بی‌نام. ۱۴۰۱. آمار زراعی. عملکرد و سیمای کشاورزی استان و شهرستان‌ها. سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان. https://www.agri-es.ir/Default.aspx?tabid=1927.

بی‌نام. ۱۴۰۰. برنامه ملی سازگاری با کم آبی. https://www.wsanw.ir.

بی‌نام. ۱۳۹۱. چشم انداز بخش کشاورزی کشور در افق ۱۴۰۴ ه. ش (مصوبه ششمین جلسه شورای راهبری بخش کشاورزی). http://boe.nkj.ir/?partid=4836&indexid=416 .

توفیق، ص.، رحیمی، د. و یزدان‌پناه، ح. ۱۳۹۹. شبیه‌سازی عملکرد، تبخیرتعرق، نیاز آبی و کارآیی مصرف آب گندم با استفاده از مدل CERES-WHEAT-DSSAT در دشت شهرکرد. آب و خاک. ۳۴ (۳). ۵۹۲-۵۷۹.

حیدری، ن. ۱۴۰۰. بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵ (۴). ۴۳۵-۴۲۱.

خسروی فرد، م.، قیصری،م. و شایانژاد، م. ۱۴۰۰. بهره‌وری آب گندم در دو تاریخ کاشت و مدیریت عرضه محور آب در شرق اصفهان. روابط آب و خاک. ۱۲ (۴). ۱۰۷-۹۳.

دل قندی، م.، اندرزیان، س.ب.، برومند نسب، س.، مساح بوانی، ع.، و جواهری، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT 4.5 در شبیه سازی رشد، عملکرد و مراحل فنولوژی گندم در شرایط مدیریت‌های مختلف تخصیص آب در مزرعه (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸ (۱). ۹۱-۸۲.

رحیمی بدر، ب. ۱۳۹۶. اولویت‌بندی تولید محصولات کشاورزی منتخب با هدف تامین تقاضا در افق چشم انداز توسعه (۱۴۰۴). اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۵ (۹۷). ۱۵۷-۱۸۲.

سعادتی، ز.، دلبری، م.، امیری، ا.، پناهی، م.، رحیمیان، م. و قدسی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی-پژوهشی) ۵ (۳). ۸۵-۷۳.

عالی‌مقام، س.م.، سلطانی، ا.، وادز، و.، زینلی.، ا. و زند، ا. ۱۳۹۹. عملکرد پتانسیل گندم آبی (Triticum aestivum L.) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران. بوم‌شناسی کشاورزی. ۱۲ (۳). ۴۳۱-۴۱۳.

فلاح، م.ح.، نظامی، ا.، خزاعی، ح.ر. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی جامع مدل DSSAT-Nwheat در طیف وسیعی از مناطق اقلیمی ایران. بوم‌شناسی کشاورزی. ۱۲ (۴). ۵۸۰-۵۶۱.

قوام سعیدی نوقابی، س.، یعقوب زاده، م.، شهیدی، ع.، حمامی، ح. و کلانی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل DSSATv4. 7 در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم رقم آنفارم ۴ تحت سطوح مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۲). ۵۵۸-۵۴۸.

کیانی، ع.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و بنایان اول، م. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل CERES-Wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان II شبیه سازی فنولوژی و پارامترهای رشد. بیابان. ۹ (۱). ۱۴۲-۱۲۵.

Abdulai, A.L., Kouressy, M., Vaksmann, M., Asch, F. and Giese, M. 2012. Latitude and date of sowing influences phenology of photoperiod‐sensitive sorghums. Journal of agronomy and crop science. 198 (5): 340-348.

Alexandratos, N. and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.

Aziz, M., Tariq, M., Ishaque, W., 2016. Optimization of wheat and barley production under changing climate in rainfed Pakistan Punjab-A crop simulation modeling study. Annals of Arid Zone. 55 (3-4):1-13.

Camargo, G. and Kemanian, A. 2016. Six crop models

DSSAT cropping system model. European journal of agronomy. 18(3-4): 235-265.

Kheir, A.M., Alrajhi, A.A., Ghoneim, A.M., Ali, E.F., Magrashi, A., Zoghdan, M.G., Abdelkhalik, S.A., Fahmy, A.E., Elnashar, A., 2021. Modeling deficit irrigation-based evapotranspiration optimizes wheat yield and water productivity in arid regions. Agricultural Water Management. 256, 107122.

Liu, P., 2017. The future of food and agriculture: Trends and challenges. FAO.

Lv, Z., Liu, X., Cao, W. and Zhu, Y. 2017. A model-based estimate of regional wheat yield gaps and water use efficiency in main winter wheat production regions of China. Scientific reports. 7(1): 1-15.

Malakar, A., Snow, D.D. and Ray, C. 2019. Irrigation water quality—A contemporary perspective. Water. 11(7):113-131.

Malik, W. and Dechmi, F. 2019. DSSAT modelling for best irrigation management practices assessment under Mediterranean conditions. Agricultural water management. 216: 27-43.

Montgomery, D.C. 2017. Design and analysis of experiments. John wiley and sons.

Ritchie, J., Godwin, D. and Otter-Nacke, S. 1985. CERES-Wheat. A simulation model of wheat growth and development. Texas A and M Univ. Press College Station.

Rong, L.-b., Gong, K.-y., Duan, F.-y., LI, S.-k., Ming, Z., Jianqiang, H., Zhou, W.-b. and Qiang, Y. 2021. Yield gap and resource utilization efficiency of three major food crops in the world–A review. Journal of Integrative Agriculture. 20(2): 349-362.

Schils, R., Olesen, J.E., Kersebaum, K.-C., Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., Khitrykau, M., Gobin, A., Kirchev, H. and Manolova, V. 2018. Cereal yield gaps across Europe. European Journal of Agronomy. 101: 109-120

Soltani, A. and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research. 103 (3):198-207.

Zhai, Z., Martínez, J.F., Beltran, V. and Martínez, N.L. 2020. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. Computers and Electronics in Agriculture. 170, 105256.

Zhang, D., Li, R., Batchelor, W.D., Ju, H. and Li, Y. 2018. Evaluation of limited irrigation strategies to improve water use efficiency and wheat yield in the North China Plain.

differ in their simulation of water uptake. Agricultural and forest meteorology. 220:116-129.

Dhakar, R., Chandran, S., Nagar, S., Visha Kumari, V., Subbarao, A., Bal, S.K. and Vijaya Kumar, P., 2018. Field crop response to water deficit stress: assessment through crop models. Advances in Crop Environment Interaction. 287-315.

Dokoohaki, H., Gheysari, M., Mehnatkesh, A. and Ayoubi, S., 2015. Applying the CSM-CERES-Wheat model for rainfed wheat with specified soil characteristic in undulating area in Iran. Archives of Agronomy and Soil Science. 61:1231-1245.

Duncan, D., 1955. Multiple range range and multiple F test Biometrics 11.

Farid, H., Bakhsh, A., Mahmood-Khan, Z., Ahmad, N. and Ahmad, A., 2015. Calibration and validation of CERES-Wheat (Triticum aestivum) model for simulating fertilizer application rates in management zones. Journal of Agricultural Science. 7 (7):115-127.

Fernández, J., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V. and Cuevas, M., 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. Agricultural Water Management. 237, 106074.

Gheysari, M., Pirnajmedin, F., Movahedrad, H., Majidi, M.M. and Zareian, M.J., 2021. Crop yield and irrigation water productivity of silage maize under two water stress strategies in semi-arid environment: Two different pot and field experiments. Agricultural Water Management. 255, 106999.

Hoogenboom, G., C.H. Porter, V. Shelia, K.J. Boote, U. Singh, J.W. White, W. Pavan, F.A.A. Oliveira, L.P. Moreno-Cadena, J.I. Lizaso, S. Asseng, D.N.L. Pequeno, B.A. Kimball, P.D. Alderman, K.R. Thorp, M.R. Jones, S.V. Cuadra, M.S. Vianna, F.J. Villalobos, T.B. Ferreira, W.D. Batchelor, J. Koo, L.A. Hunt. and J.W. Jones. 2021. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8 (DSSAT.net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, I., Godfray, H.C.J., Herrero, M., Howitt, R.E. and Janssen, S. 2017. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. Agricultural systems. 155: 269-288.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 16, Dec.-Jan. 2022, p. 950-962

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۶، آذر - دی ۱۴۰۱، ص. ۹۶۲-۹۵۰

Determining the Optimal Planting Date, Yield and Water Productivity Indicators of Wheat with the CERES-Wheat Model (case study: Zayandeh Rud Catchment Area and Northwest of Isfahan Province)

S. Amirhajloo[1], M. Gheysari [2]*, M. Shayannejad[3]
Recived: Aug.07, 2022 Accepted: Jun.03, 2022

Abstract:

The purpose of this study was to determine the yield potential of winter wheat (Triticum aestivum) in Isfahan province and the appropriate cultivation date in different regions of the province using the CSM-CERES-Wheat plant model. For this purpose, 63 main areas of wheat cultivation were selected and their soil information was entered into the model. The model was run using meteorological data for 63 soil profiles, 18 different planting dates and 15 common wheat cultivars in the province with agronomic management without water and nitrogen stress. Average biomass production potential in the study area was 26392.47± 780.99 kg ha^{-1}, grain yield 11914.17±442.62 kg ha^{-1}, water productivity (WP) 1.73±0.11 kg m^{-3} and irrigation water efficiency (WPi) was 2.49±0.30 kg m^{-3}. WP of the eastern regions of Zayandehrud basin (Varzaneh, Kabutarabad and lenjanat) was 12.82% higher than the western regions (Fereydunshahr, Fereydan and Chadegan) and WPi for the western regions was 16.30% higher than the eastern regions. In western and northwestern regions of the province, the production portion of green water is 38.31% and in eastern regions of the province is 18.86%. therefore, it is recommended to use the capacity of green water under any conditions in the western and northwest regions in addition to planting on suitable dates. Planting dates varied for different regions depending on whether the goal was to maximize the yield or water productivity index. Suitable planting date was obtained as following: for Fereydan, Fereydunshahr and Chadegan regions 26 September to 15 October, Khansar and Tiran 26 September to 25 October, Golpayegan 5 October to 5 November, Lenjanat, Najafabad, Kabutarabad and Varzaneh 15 October to 25 November.

Keywords: Green water, Water Productivity, Irrigation Water Productivity, Yield Potential, Planting Date

1- PhD Student in Irrigation and Drainage, Department of Irrigation, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Department of Irrigation, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Irrigation, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: gheysari@iut.ac.ir)