



پیش‌بینی فصلی به روش تلفیقی بازنمونه‌گیری k-نزدیک‌ترین همسایه و مدل CERES-Wheat در کشت گندم دیم

سید بهرام اندرزیان^{۱*}، ایمان بابائیان^۲، سید بهنام اندرزیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۳

چکیده

اطلاع از شرایط آب و هوایی فصل پیش رو امکان اتخاذ راهبردهای مدیریتی متناسب در مزرعه را فراهم ساخته و در کاهش هزینه‌ها و ریسک تولید نقش مهمی ایفا نماید. در این مطالعه، به منظور پیش‌بینی فصلی عوامل جوی و انتخاب دو گزینه مدیریت زراعی (تاریخ کاشت و مصرف نیتروژن) برای فصل آبی در شهرستان ایذه در استان خوزستان، از روش k-نزدیک‌ترین همسایه (k-NN) اصلاح شده و مدل شبیه‌ساز رشد و نمو گندم CERES-Wheat استفاده شد. نتایج نشان داد که روش k-NN برای پیش‌بینی شرایط آب و هوایی و مدل CERES-Wheat جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم از دقت مناسبی برخوردارند. از تلفیق روش پیش‌بینی فصلی k-NN با مدل CERES-Wheat تاریخ کاشت مناسب گندم دیم در منطقه مطالعاتی، بین ۵ آبان تا اوایل آذر تعیین شد. مقدار نیتروژن مصرفی در سال‌های کم‌باران و سال‌های نرمال به ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پیشنهاد می‌گردد. این رهیافت می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم در مدیریت زراعت دیم پیش از آغاز سال فصل زراعی در سایر مناطق اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی فصلی، زراعت دیم، گرمایش جهانی، گندم، مدل‌های گیاهی

مقدمه

شرایط آب و هوایی از مؤلفه‌های اصلی و اساسی است که رشد و عملکرد گیاهان را بالاخص در شرایط دیم شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asseng et al., 2012). بررسی‌ها نشان داده‌اند که شرایط آب و هوایی تعیین‌کننده چگونگی مدیریت در سطح مزرعه است (Semenov et al., 2007; Domunt et al., 2015). تغییرات آب و هوایی از یک فصل به فصل دیگر حتی برای یک منطقه خاص، مدیریت مزرعه را تحت تأثیر قرار داده و امکان مدیریت یکسان در فصول مختلف را منتفی ساخته و ایجاب می‌نماید که متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مدیریت خاص آن فصل را اعمال نمود (Domunt et al., 2015). به کارگیری راه‌کارهای مدیریتی (مانند تاریخ کاشت، مدیریت نیتروژن، تناوب زراعی، آبیاری تکمیلی) متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مستلزم آگاهی از شرایط آب و هوایی فصل پیش رو است تا با در اختیار داشتن زمان کافی قبل از وقوع شرایط مطلوب و یا شرایط نامساعد آب و هوایی تصمیم مقتضی را اتخاذ نمود (Capa-Morocho et al., 2016)، تا بتوان علاوه بر دستیابی به منافع تحت شرایط مطلوب، اثرات ریسک را برای شرایط نامساعد نیز کاهش داد (Mavromatis, 2016). تلفیق مدل‌های پیش‌بینی فصلی و مدل‌های شبیه‌ساز رشد و عملکرد گیاهان، توانسته است به عنوان یک سیستم پیش‌آگاهی به تولیدکنندگان، صنایع وابسته به کشاورزی، شرکت‌های بیمه محصولات کشاورزی و مسئولین دولتی در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری کمک شایانی نماید (Mavromatis, 2016; Capa-Morocho et al., 2016). (Marletto et al., 2007). دو روش پیش‌بینی فصلی شامل مولد تصادفی شرایط آب

شرایط آب و هوایی از مؤلفه‌های اصلی و اساسی است که رشد و عملکرد گیاهان را بالاخص در شرایط دیم شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asseng et al., 2012). بررسی‌ها نشان داده‌اند که شرایط آب و هوایی تعیین‌کننده چگونگی مدیریت در سطح مزرعه است (Semenov et al., 2007; Domunt et al., 2015). تغییرات آب و هوایی از یک فصل به فصل دیگر حتی برای یک منطقه خاص، مدیریت مزرعه را تحت تأثیر قرار داده و امکان مدیریت یکسان در فصول مختلف را منتفی ساخته و ایجاب می‌نماید که متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مدیریت خاص آن فصل را اعمال نمود (Domunt et al., 2015). به کارگیری راه‌کارهای مدیریتی (مانند تاریخ کاشت، مدیریت نیتروژن، تناوب زراعی، آبیاری تکمیلی) متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مستلزم آگاهی از شرایط آب و هوایی فصل پیش رو است تا با در اختیار داشتن زمان کافی قبل از وقوع شرایط مطلوب و یا شرایط نامساعد آب و هوایی تصمیم مقتضی را اتخاذ نمود (Capa-Morocho et al., 2016)، تا بتوان علاوه بر دستیابی به منافع تحت شرایط مطلوب، اثرات ریسک را برای شرایط نامساعد نیز کاهش داد (Mavromatis, 2016). تلفیق مدل‌های پیش‌بینی فصلی و مدل‌های شبیه‌ساز رشد و عملکرد گیاهان، توانسته است به عنوان یک سیستم پیش‌آگاهی به تولیدکنندگان، صنایع وابسته به کشاورزی، شرکت‌های بیمه محصولات کشاورزی و مسئولین دولتی در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری کمک شایانی نماید (Mavromatis, 2016; Capa-Morocho et al., 2016). (Marletto et al., 2007). دو روش پیش‌بینی فصلی شامل مولد تصادفی شرایط آب

^۱ استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

(*نویسنده مسئول: brahamandarzian@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.128547.1011

^۲ استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد امنیت سایبری، دانشگاه اصفهان

و سپس با اجرای مدل APSIM مدیریت مصرف کود نیتروژن (مقدار و زمان مصرف) را برای گندم دیم توصیه نمودند. (Marletto et al., 2007) برای پیش‌بینی فصلی عملکرد جهت تصمیم‌سازی و کمک به تصمیم‌گیران دولتی و شرکت‌های تجاری از تلفیق مدل اقلیمی DEMETER و مدل گیاهی WOFOST استفاده نمودند. در این روش تا دو ماه قبل از برداشت از داده‌های سال‌های گذشته استفاده کردند و داده‌های دو ماه باقی‌مانده را با استفاده از پیش‌بینی فصلی تولید نمودند. برای پیش‌بینی فصلی از روش‌های متفاوتی مانند مولدهای تصادفی داده‌های آب و هوایی (که مبتنی بر آمار پارامتری هستند) و مدل‌های اقلیمی جهانی یا منطقه‌ای GCM/RCM استفاده می‌شود. مولد داده‌های آب و هوایی (مانند LARS-WG) نوعاً از بارش به عنوان متغیر پیش‌ران استفاده می‌نمایند. در این مدل‌ها زمان وقوع و مقدار بارش به طور مستقل تولید شده، سپس متغیرهای دیگر آب و هوا بر مبنای بارش به طور تصادفی تولید می‌شوند. نقطه ضعف این نوع مدل‌ها عدم شبیه‌سازی حوادث حدی مانند خشکی یا بارندگی طولانی (سیل) است (Sharif and Burns, 2005; Bannayan and Hoogenboom, 2007). مدل‌های جهانی یا منطقه‌ای داده‌های آب و هوایی را در مقیاس‌های مکانی و زمانی ارائه می‌نمایند که برای مدل‌های رشد گیاهان زراعی (که در سطح مزرعه و بر اساس داده‌های روزانه آب و هوا شبیه‌سازی می‌نمایند) دارای دقت کافی نیستند. این مدل‌ها داده‌های فصلی آب‌وهوایی را در مقیاس ماهانه و به صورت کیفی (نرمال، نزدیک نرمال و پائین تر از نرمال) پیش‌بینی می‌نمایند. به‌کارگیری خروجی این مدل‌ها برای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه، مستلزم ریزمقیاس نمودن این نوع داده‌های آب و هوایی است (Semenov et al., 2007; Capa-Morcho et al., 2016; Klemm and Mcpherson, 2017). استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری برای پیش‌بینی فصلی تا حدودی محدودیت‌های فوق‌الذکر را ندارد. در این روش هیچ‌گونه فرضی درباره توزیع هر یک از متغیرهای آب و هوایی و وابستگی آن‌ها به یکدیگر لحاظ نشده است (Brandsma and Konnen, 2006). یکی از این روش‌ها روش بازنمونه‌گیری k -نزدیک‌ترین همسایه^۳ (k-NN) است که از تشخیص الگوی آماری ناپارامتری

و هوا به نام predictWDT و نمونه‌گیر پیش‌بینی احتمال به نام FRersampler را با مدل گیاهی^۱ CERES-Wheat برای پیش‌بینی بارندگی طی سه فصل و اثرات آن‌ها بر عملکرد گندم دیم و ذرت آبی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که هر دو روش پیش‌بینی فصلی نتایج خوبی را برای مدیریت مزرعه ارائه نمودند. Roel and Baethegan (2007) برای پیش‌بینی فصلی عملکرد برنج در اروگوئه، فازهای مختلف ENSO^۲ شامل گرم، سرد و خنثی را به مدل شبیه‌ساز رشد گیاه داده و عملکرد را شبیه‌سازی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند اگرچه مدل عملکردها را کم‌تر از مقادیر واقعی پیش‌بینی نمود، لیکن ضرایب همبستگی بالایی برای هر سه فاز شبیه‌سازی به دست آمد ($r=0.78$ تا $r=0.9$). (Zinyanger et al., 2011). پنج فاز ENSO (النینو- نوسانات جنوبی) شامل مثبت، خنثی، افزایشی و کاهش‌ی را به عنوان ورودی به مدل اقلیمی Rainman دادند تا پیش‌بینی فصلی را برای فازهای ذکر شده در زیمبابوه پیش‌بینی نمایند. سپس خروجی‌های حاصل را به عنوان ورودی به مدل AquaCrop دادند تا عملکردهای ذرت را شبیه‌سازی نماید. آن‌ها این روش را به عنوان یک ابزار تصمیم‌یار برای تعیین زمان شروع کشت ذرت معرفی نمودند. (Semenov et al., 2007) برای پیش‌بینی فصلی مراحل فنولوژیکی و عملکرد گیاهان زراعی از تلفیق دو مدل، یکی مدل مولد داده‌های آب‌وهوایی (LARS-WG) و مدل رشد گیاه (Sirius) استفاده نمودند. روش آن‌ها مبتنی بر این بود که داده‌های آب‌وهوایی فصل تا زمان پیش‌بینی به صورت داده‌های اندازه‌گیری شده تهیه شده، سپس مدل LARS-WG بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده سال جاری و داده‌های ثبت شده سال‌های گذشته به صورت تصادفی داده‌های فصل پیش رو را تولید می‌کرد. سپس داده‌های تولید شده به عنوان ورودی به مدل Sirius وارد و مدل مراحل فنولوژیکی و عملکرد را برای فصل پیش رو پیش‌بینی می‌کرد و هر چه به پایان فصل رشد نزدیک‌تر می‌شدند به علت جایگزین شدن داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی، عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها کم‌تر می‌شد. (Asseng et al., 2012) با استفاده از مدل اقلیمی POAMA بارش فصلی را در مناطقی از استرالیا پیش‌بینی

^۱ Crop estimation through resources and environment synthesis

^۲ El Niño–Southern Oscillation

^۳ k-Nearest Neighbor Resampling

عنوان عامل اصلی و سه رقم گندم کریم، دهدشت و کوهدهشت (که برای کشت در مناطق دیم توصیه شده‌اند) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. در طی دره رشد گیاه داده‌های موردنیاز نظیر، مراحل فنولوژیکی، روند توسعه سطح برگ، روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد عملکرد و اجرا عملکرد اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بر اساس نتایج از بین سه رقم، رقم برتر (دهدشت) انتخاب و به عنوان ژنوتیپ گندم مورد نظر به مدل داده شد تا واسنجی و پارامترهای رشدی آن برآورد گردید.

پیش‌بینی فصلی از طریق تعیین سال آنالوگ (مشابه) به روش باز نمونه‌گیری K- نزدیک‌ترین

همسایه توسط نرم‌افزار Weather Analogue

روش K- نزدیک‌ترین همسایه به شرح مراحل شکل ۱ اجرا می‌شود.

الف- یک بردار شامل خصوصیات داده‌های مشاهده‌شده سال هدف (تابش خورشیدی، بارش و درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر) تشکیل شد.

ب- همه روزها درون یک پنجره متحرک به پهنای w و مرکزیت روز t قرار گرفتند تا روز بعد $(t+1)$ پیش‌بینی شود. برای مثال یک پنجره زمانی ۱۵ روزه برای اول آذر نیاز به داده‌های ۲۳ آبان تا ۷ آذر دارد. به جز داده‌ها برای روز t از داده‌های سال‌های گذشته مشابه مطالعات (Yates et al., 2003) و (Gangopadhyay and Rajagopalan, 2005) یک پنجره ۱۵ روزه یعنی ۷ روز قبل $(K=7)$ و ۷ روز بعد $(K=7)$ در این پژوهش استفاده گردید. بنابراین برای n روز به عنوان پنجره متحرک و t روزهای یک سال با z متغیر آب و هوایی یک ماتریس توسعه داده شد که دارای $n \times t$ ردیف و z ستون است. لازم به یادآوری است z بسته به تعداد متغیرهای آب و هوایی که می‌خواهند هم‌زمان استفاده شوند می‌تواند تغییر کند. در این تحقیق z معادل چهار متغیر شامل تابش خورشیدی، بارش، درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل است. ساختار ماتریس داده‌ها در معادله ۱ ارائه شده است.

$$[A]_{n \times 4}^f = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,4} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,t} & \dots & a_{n,t,1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

مشتق شده و برای تشخیص یک الگوی هدف از بین الگوهای مختلف مطابق با معیار انتخاب استفاده می‌شود. در این روش فرض بر این است که فصل پیش رو می‌تواند تکراری از همین فصل در یکی سال‌های گذشته باشد که داده‌های آن ثبت گردید (Bannayan and Hoogenboom, 2007). هدف از این تحقیق استفاده از روش بازنمونه‌گیری k - نزدیک‌ترین همسایه (K-NN) برای پیش‌بینی فصلی و به‌کارگیری داده‌های پیش‌بینی فصلی برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه در طی فصل پیش رو و به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریت مزرعه برای دستیابی به عملکرد بیشتر و یا کاهش ریسک تولید گندم در شرایط دیم به عنوان معرفی یک روش برای مطالعات مشابه در آینده است.

مواد و روش‌ها

داده‌های آب و هوایی

داده‌های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک شهرستان ایزه (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۷۶۰ متر) از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ (۲۳) سال تهیه و بعد از بررسی و رفع نواقص به فرمت مورد نیاز تبدیل و به مدل داده شد تا توانایی تکنیک K-NN در پیش‌بینی الگوی فصل پیش رو ارزیابی شود. در این بررسی ارزیابی برای سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ انجام گردید. همچنین برای ارزیابی آماری، متوسط ماهانه متغیرهای آب و هوایی (بارندگی درجه حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی) محاسبه و سپس با استفاده از رگرسیون یک به یک و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (N-RMSE) توانایی تکنیک در تشخیص الگوی فصلی مورد ارزیابی قرار گرفت.

آزمایش مزرعه‌ای

به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی و رشد و نمود عملکرد گندم در طی فصل پیش رو (فصل پیش‌بینی شده) و تعیین راه‌کارهای مناسب مدیریت مزرعه (تاریخ کاشت و نیتروژن) یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب کرت‌های خرد شده در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. در این آزمایش سه تاریخ کاشت ۱۵ آبان، ۱ آذر و ۱۵ آذر به

انتخاب می‌شود. اگر $u \leq p_k$ سپس روز مطابق با d_k انتخاب می‌شود. برای $p_1 < u < p_k$ ، روز t مطابق با d_j برای آن u انتخاب می‌شود که به p_j نزدیک‌تر باشد.

ه- پس از پردازش با استفاده از میانگین و انحراف استاندارد داده‌های مشاهده شده سال مشابه انتخاب شده از مقادیر استاندارد شده به مقادیر اولیه‌شان تغییر شکل می‌یابند.

توصیف مدل رشد و نمو گندم

مدل CERES-Wheat قادر است تأثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و همین‌طور تصمیمات مدیریتی مزرعه را ارزیابی نماید. این مدل مراحل فنولوژی، تجمع و تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تنش‌های آب و نیتروژن را شبیه‌سازی می‌نماید (Jones et al., 2003). بخش‌های اصلی مورد استفاده در ساختن مدل CERES-Wheat به شرح ذیل است.

بخش فتوسنتز

تولید ماده خشک از طریق حاصل ضرب تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده (PAR) در ضریب تبدیل (کارایی تشعشع فعال فتوسنتزی) محاسبه می‌شود. تشعشع جذب شده (IPAR) با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} PAR &= 0.45 \times R \\ IPAR &= PAR \times (1 - \exp(-0.85 \times LAI)) \end{aligned} \quad (5)$$

که LAI شاخص سطح برگ و R تشعشع ورودی کل حسب مگاژول بر متر مربع می‌باشد. سپس تولید ماده خشک با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} PCARB &= 7.5 \times IPAR^{0.6} \\ ARBO &= PCARB \times K \end{aligned} \quad (6)$$

که PCARB تولید ماده خشک پتانسیل، CARBO تولید ماده خشک واقعی (هر دو حسب گرم در متر مربع) می‌باشد و K فاکتور تنش آب و نیتروژن است که بسته به شدت تنش بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند.

بخش تعرق

این قسمت از مدل تولید ماده خشک را به مصرف آب گیاه متصل می‌نماید، به صورت معادله ۷ است.

$$Y = T \times \frac{Y_p}{T_p} \quad (7)$$

که j و i مقدار متغیر آب و هوایی برای اندیس زمان i ($i=1, \dots, nt$) و متغیر آب و هوایی j ($j=1, \dots, 4$) است.

ج- برای این که متغیرها بدون بعد شوند و تغییر فصلی کاهش یابد، داده‌ها به متغیرهای استاندارد شده تبدیل می‌شوند (Brandsma and Buishand, 1998). در این مطالعه مطابق معادله ۲ برای هر سال از سال‌های آب و هوایی گذشته داده‌های روزانه هر متغیر از میانگین سالانه آن (m_d) کسر و بر انحراف استاندارد سالیانه (s_d) تقسیم گردید.

$$x_{st} = (x_{it} - m_d) / s_d \quad (2)$$

که x_{st} و x_{it} به ترتیب متغیر اولیه و استاندارد شده برای روز t هستند.

د- فاصله اقلیدسی d_j بین بردار خصوصیات آب و هوایی روز جاری و بردار داده‌های مشاهده شده برای هر ۱۵ روز از هر یک از سال‌های گذشته با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$d_j = \sqrt{\sum_{j=1}^d W_j (V_{ij} - V_{mj})^2} \quad (3)$$

d_j فاصله اقلیدسی است، V_{ij} و V_{mj} مؤلفه‌های j ام هر یک از بردارها (خصوصیات فصل پیش رو و سال‌های گذشته) هستند. d تعداد متغیرهای آب و هوایی است و W_j وزن‌های مقیاس ($1/s_j$) هستند که s_j انحراف استاندارد داده‌های مشاهده شده است. نزدیک‌ترین همسایه بر اساس فواصل اقلیدسی و اوزان احتمال تخصیصی برای زیرمجموعه‌ای از فواصل k از کم‌ترین به بیش‌ترین فاصله اقلیدسی بردار خصوصیات انتخاب می‌شود. فاصله اقلیدسی d_j ، به ترتیب صعودی ذخیره می‌شوند و k نزدیک‌ترین همسایه اول نگه داشته می‌شود. هدف نهایی انتخاب سال‌های k است که بیش‌ترین شباهت را با سال هدف، برای همه روزهای پیش‌بینی شده دارد.

و- اوزان همسایه‌های k بر مبنای فاصله رتبه‌شان از مقدار وزن هدف است. و بر اساس معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$p_j = \frac{1/j}{\sum_{j=1}^k 1/j}, j=1, \dots, k \quad (4)$$

که j رتبه سال‌های گذشته در ترتیب صعودی است. تابع وزنی وزن هر یک از K -NNها را تعیین می‌کند. به طوری که به همسایه با کوتاه‌ترین فاصله بیش‌ترین وزن تخصیص داده می‌شود. سپس یک شماره تصادفی یکسان (u 0 و 1) تولید می‌شود. اگر $u \geq p$ سپس روز مطابق با فاصله d_1

حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی)، اطلاعات خاک‌شناسی (بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هریک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان EC و pH) و اطلاعات عملیات زراعی (نوع رقم و تیپ آن، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطوط، تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری، مقدار آب آبیاری) بودند.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای واسنجی و بررسی صحت مدل

این اطلاعات شامل تاریخ‌های جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گلدهی، شروع پرشدن دانه، رسیدگی فیزیولوژیک، اطلاعات مربوط به حداقل سه نمونه‌برداری شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول دوره رشد و نمو، عملکرد دانه، ماده خشک کل، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد برگ می‌باشند.

واسنجی مدل CERES-Wheat

واسنجی مدل معمولاً تعیین ضرایب ژنتیکی (Genotype File) برای رقم مورد کشت است به نحوی که مراحل فنولوژی، رشد و عملکرد اندازه‌گیری شده با شبیه‌سازی شده کم‌ترین تفاوت با یکدیگر را داشته باشند.

حساسیت به ورنالیزاسیون (PIV): ضریب PIV برای تعیین میزان حساسیت ارقام گندم به ورنالیزاسیون به کار می‌رود. گیاهانی که ورنالیزه (بهاره‌سازی) نمی‌شوند نمو آن‌ها به تأخیر می‌افتد. ضریب PIV تأخیر در نمو گیاه به ازای هر روز تأمین نشدن نیاز ورنالیزاسیون (روز) را نشان می‌دهد. به طوری که هر چه نیاز سرمایی رقم بیشتر باشد، PIV به ازای هر روز برآورده نشدن نیاز ورنالیزاسیون، مقدار بیش‌تری خواهد شد.

حساسیت به فتوپریود (PID): در ارقام مختلف گندم اختلافات ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز وجود دارد و میزان تأخیر در نمو گندم در صورت عدم تأمین طول روز مطلوب، بستگی به حساسیت رقم به فتوپریود خواهد داشت. ضریب PID میزان تأخیر در نمو گندم را به ازای قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاه‌تر از فتوپریود مطلوب نشان می‌دهد.

P5: ضریب P5 طول دوره پرشدن دانه را براساس درجه-روز نشان می‌دهد.

که Y ماده خشک واقعی، Y_p ماده خشک پتانسیل، T تعرق واقعی و T_p تعرق پتانسیل است.

بخش رشد برگ و پنجه‌زنی

سطح برگ یکی از مؤلفه‌های مهم و مؤثر بر نور دریافتی و تولید ماده خشک است. مدل سطح برگ ساقه اصلی را محاسبه نموده و سپس بر مبنای تعداد پنجه در گیاه آن را تعدیل می‌نماید. سرعت ظهور برگ به عنوان تابعی از درجه حرارت بین ۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است و سرعت رشد سطح برگ به عنوان تابعی از درجه حرارت و فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ متوالی) محاسبه می‌شود. سپس زوال برگ، رشد سنبله و پر شدن دانه با استفاده از معادلاتی که براساس درجه حرارت، فیلوکرون و تنش آب هستند، محاسبه می‌شوند.

زیرمدل توازن آب خاک

این زیرمدل در برگ‌برنده مقدار کمی آب خاک است که این مقدار آب برآیند آب آبیاری و بارندگی ورودی، تبخیر و تعرق خروجی، رواناب و زهکشی از پروفیل خاک می‌باشد. در مدل، توازن رطوبت خاک تا ۱۰ لایه خاک منظور گردیده است و کاربر باید عمق هر لایه را مشخص نماید.

زیرمدل پویایی نیتروژن

در مدل CERES-Wheat این زیرمدل طوری طراحی شده که فرآیندهای تلفات نیتروژن (شستشو از خاک، تلفات گازی) و معدنی شدن نیتروژن را شبیه‌سازی می‌نماید. این مدل جذب نیتروژن توسط گیاه و کارایی مصرف نیتروژن را توصیف می‌کند. غیر متحرک شدن نیتروژن، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، هیدرولیز دوره و تلفات نیترات بر اثر حرکت آب در خاک را نیز شبیه‌سازی می‌نماید. این زیرمدل مصارف کودها، جذب نیتروژن توسط اندام‌های مختلف گیاه، توزیع مجدد نیتروژن در طی رشد دانه را نیز در برمی‌گیرد.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل شامل داده‌های موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین درجه حرارت سالانه)، اطلاعات هواشناسی (داده‌های روزانه مربوط به درجه حرارت

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_{iavg}|) + (|O_i - O_{iavg}|)^2} \quad (10)$$

که P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده، n تعداد مشاهدات و O_{iavg} میانگین مقادیر مشاهده می‌باشد.

کاربرد مدل برای پیش‌بینی فصلی و راه‌کارهای مدیریت مزرعه

برای ارزیابی و به‌کارگیری پیش‌بینی فصلی برای مدیریت مزرعه، اطلاعات و داده‌های هواشناسی شهرستان ایزده که یکی از مناطق دیم خوزستان است، به عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. داده‌های ایستگاه هواشناسی این شهرستان بعد از بررسی و رفع نواقص به فرمت‌های موردنیاز تبدیل و به مدل داده شد. سپس فصل پیش‌رو به روش ناپارامتری K-NN توسط نرم‌افزار Weather Analogue (Bannayan and Hoogenboom, 2008) پیش‌بینی و متناسب با فصل پیش‌رو تاریخ کاشت تعیین و مقدار نیتروژن موردنیاز رشد گندم توسط مدل CERES-Wheat مطابق شکل ۱ مشخص گردید. برای تعیین تاریخ کاشت در هر فصل، معیارهایی برای مدل CERES-Wheat تعریف شد تا بر مبنای آن‌ها تاریخ کاشت برای فصل پیش‌رو مشخص گردد. این معیارها شامل درجه حرارت و رطوبت خاک است. در مدل تعریف گردید که در دامنه زمانی ۲۰ آبان لغایت ۱۰ دی که رژیم دمایی در شهرستان ایزده برای کاشت گندم مناسب است. مدل باید روز یا روزهایی را مشخص کند که بارندگی رطوبت خاک را در عمق ۲۰ سانتی‌متری به ۵۰٪ ظرفیت زراعی برساند (Raes et al., 2004). این روز یا روزهای پیش‌بینی‌شده به عنوان تاریخ کاشت گندم در فصل پیش‌رو در نظر گرفته می‌شوند. تحت شرایط دیم، مدیریت نیتروژن شدیداً به میزان بارندگی و رطوبت خاک وابسته است. لذا مقدار و زمان مصرف نیتروژن نیز در فصول مختلف متفاوت بوده و از سالی به سال دیگر نیز تغییر می‌کند. برای تعیین مقدار نیتروژن مورد نیاز در فصل پیش‌رو می‌توان مقادیر دلخواه (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) را بر اساس دو مرحله مصرف به صورت سرک برای مدل تعریف‌شده تا مناسب‌ترین توصیه را برای فصل پیش‌رو برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری ارائه نماید.

G1: این ضریب برای محاسبه تعداد دانه در سنبله به کار می‌رود. در مدل CERES-Wheat تعداد دانه بر اساس همبستگی که بین وزن ساقه در زمان گرده‌افشانی و تعداد دانه وجود دارد، محاسبه می‌شود.

G2: از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پر شدن دانه استفاده می‌شود. سرعت پر شدن دانه به تأمین مواد فتوسنتزی از منابع تأمین‌کننده آن بستگی دارد. فتوسنتز جاری برگ‌ها، سنبله‌ها و نیز انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای ساقه، منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی دانه‌ها هستند و ضریب G2، سرعت پر شدن دانه را بر اساس فراهمی منابع فوق محاسبه خواهد کرد.

G3: این ضریب وزن سنبله و ساقه، در زمان کاهش طولیل شدن ساقه، را محاسبه می‌کند.

PHINT: این ضریب فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی (Phyllochron) را نشان می‌دهد. این فاصله زمانی بر مبنای واحد درجه-روز بیان می‌شود.

پارامترهای اکوتیپ و جنس به روش آزمون و خطا و ضرایب کولتیوار با GENCALC2 (Hunt et al., 1993) محاسبه گردیدند.

ارزیابی مدل CERES-Wheat

بر اساس داده‌ها و اطلاعات حاصل از تاریخ کاشت اول (۱۵ آبان) مدل CERES-Wheat برای گندم رقم دهدشت واسنجی^۱ و با استفاده از داده‌های تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۱ و ۱۵ آذر) مدل صحت‌سنجی^۲ گردید. برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای، از شاخص‌های ارزیابی مطابق معادلات ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب ریشه میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده^۴ (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت^۵ (d) و خط رگرسیون یک به یک استفاده شد.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (8)$$

$$NRMSE = \frac{1}{O_{iavg}} \times \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (9)$$

¹ Calibration

² Validation

³ Root Mean Square Error

⁴ Normalized Root Mean Square Error

⁵ Willmott Index

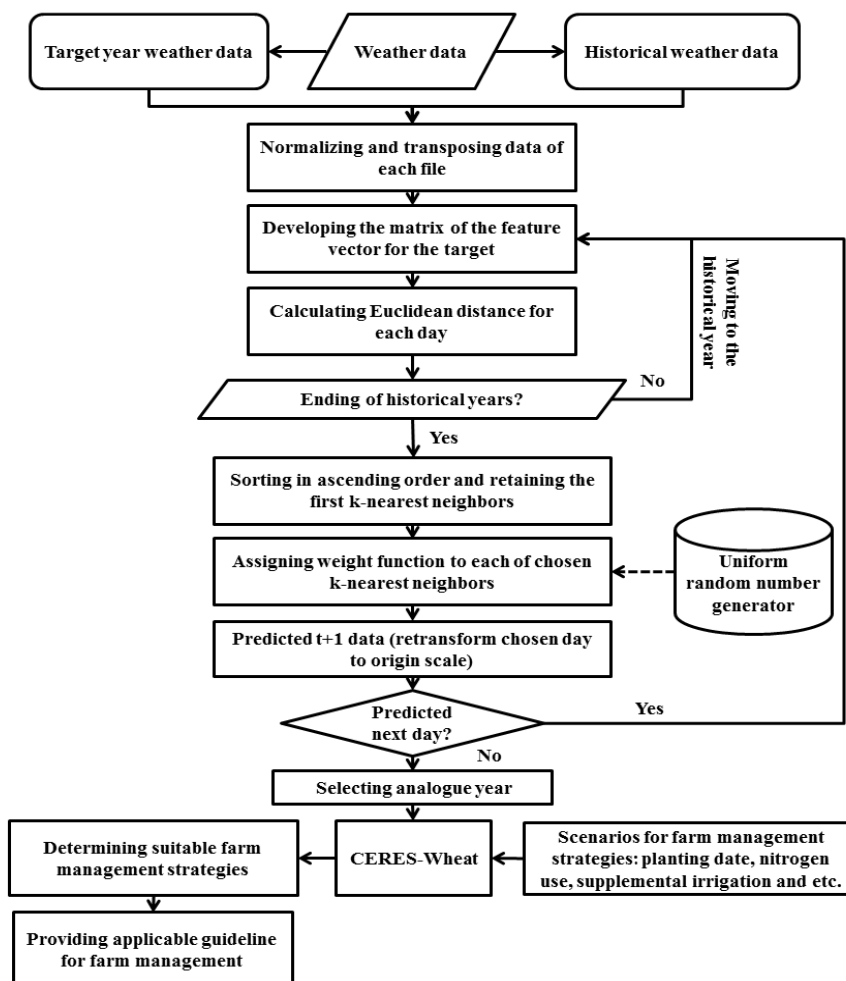


Figure 1- Flowchart of seasonal forecasting methodology and determination of farm management strategies

شکل ۱- فلوجارت روش کار (متدولوژی) پیش‌بینی فصلی و تعیین راه‌کارهای مدیریت مزرعه

نتایج و بحث

واسنجی مدل CERES-Wheat

به منظور انطباق شبیه‌سازی مراحل نمو، توسعه سطح برگ، تولید ماده خشک، عملکرد دانه و اجزای آن با مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها (جدول ۲)، علاوه بر ضرایب ژنتیکی مربوط به کولتیوار (Cultivar file)، بعضی از پارامترهای موجود در فایل‌های اکوتایپ (Ecotype File) و (Species File) در دامنه تغییرات خود در جدول ۱ تنظیم شدند. اگر چه بیشتر نوشته‌های مرتبط با واسنجی مدل بر روی تعیین ضرایب ژنتیکی کولتیوار متمرکز شده‌اند، لیکن نتایج نشان داد که بعد از تعیین ضرایب ژنتیکی و بدون اصلاح ضرایب اکوتایپ و گونه، مدل به خوبی مراحل ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیکی را شبیه‌سازی می‌نماید، اما تفاوت بین زمان‌های شبیه‌سازی شده (پیش‌بینی شده) و مشاهده شده برای مراحل تمایز

سنبلچه انتهایی و ظهور برگ پرچم چشم‌گیر بود. لذا پارامترهای P1، P2، P3 و P4 (در فایل اکوتایپ) تنظیم گردیدند تا مراحل ذکر شده در حالت‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با یکدیگر منطبق شوند (Johen et al., 2012; Thorp et al., 2010). همچنین با توجه به شرایط اقلیمی و خصوصیات رقم زراعی برای شبیه‌سازی بهتر روند توسعه سطح برگ و تجمع ماده خشک، پارامترهای PARU2، SLAS، TIL#S، LAFR، LAFV و PARUE (به ترتیب مربوط به سطح مخصوص برگ و راندمان تشعشع فعال فتوسنتزی) در فایل اکوتایپ تنظیم شدند (Andarzian et al., 2015). برای انطباق زمان سبز شدن بذر پارامتر PEMRG در فایل گونه (Species File) واسنجی گردید تا زمان سبز شدن گیاهچه شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده نزدیک شود.

با توجه به این که مصادف شدن مرحله پر شدن دانه گندم (به ویژه در تاریخ کاشت‌های دیر هنگام) با درجه حرارت‌های بالا در شرایط آب و هوایی خوزستان یک امر متداول است، به منظور اعمال تأثیر تنش دمای بالا (گرما) بر کاهش وزن دانه، دماهای اصلی (کاردینال) تابع پاسخ فرآیند پر شدن دانه به درجه حرارت اصلاح گردید تا مدل بتواند به خوبی تأثیر تنش گرما را بر افزایش وزن دانه شبیه‌سازی نماید. بنابراین برای این منظور پارامتر TRGF مربوط به فایل گونه (Species File) مطابق با یافته‌های Porter and Gawith, 1999; Zahedi and Jener, 2003; Spiertz et al., 2006; Wahid et al., 2007; Farooq et al., 2011) اصلاح گردید. بهترین ترکیب ضرایب ژنتیکی کولتیوار، اکوتایپ و گونه که موجب ایجاد کم‌ترین تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده گردیده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 2- Calibration results based on traits of Dehdasht cultivar

جدول ۲- نتایج واسنجی براساس خصوصیات گندم رقم ده‌دشت

Trait	Measured	Simulated
Anthesis Date (DAP)	100	100
Maturity Date (DAP)	150	149
Grain yield	4350	4336
Biomass	11400	11511
LAI _{max}	5	5

DAP: Day after planting

ارزیابی مدل

شبیه‌سازی مراحل فنولوژی

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل گل‌دهی و رسیدگی نشان می‌دهد که مدل با دقت خوبی مراحل مذکور را مطابق شکل‌های ۲ و ۳ شبیه‌سازی نموده است، به طوری که مقادیر شاخص‌های ارزیابی کارکرد مدل RMSE و D-Index برای مرحله گل‌دهی به ترتیب برابر ۲/۳ روز و ۰/۸۸ و برای مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی به ترتیب برابر ۲ روز و ۰/۹۷ می‌باشد. مقادیر شاخص‌های آماری مذکور مبین توانایی بالای مدل در پیش‌بینی مراحل گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی می‌باشد. با توجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه (آبیاری، مصرف کود و دیگر نهاده‌ها) برای دستیابی به حداکثر تولید محصول دارند، به نظر می‌رسد مدل CERES-Wheat می‌تواند با پیش‌بینی مراحل فنولوژی در اقلیم‌های متفاوت به عنوان

Table 1- Calculated the genetic coefficients for Dehdasht cultivar

جدول ۱- ضرایب ژنتیکی تعیین شده برای رقم ده‌دشت

Crop file	Coefficient	Value
(Species File)	PEMRG (TU/cm)	25
	TRGF	
	T _{base}	9.5
	T _{opt1}	16
	T _{opt2}	25
(Ecotype File)	T _{max}	35
	P1	400
	P2	260
	P3	172
	LAFV	0.15
	LAFR	0.30
	TIL#S	4
	SLAS	300
	PARUE	2.6
	PARU2	2.6
(Genotype File)	P1V	0.3
	P1D	79.6
	P5	810.7
	G1	17.7
	G2	47
	G3	0.50
	PHINT	119.2

PEMRG (TU/cm): طول دوره سبز شدن (واحد حرارتی به ازای عمق خاک).

TRGF: واکنش وزن خشک دانه به درجه حرارت در طی دوره پر شدن دانه (درجه سانتی‌گراد).

T_{base}: دمای پایه، کم‌تر از این دما افزایش وزن دانه صفر است.

T_{opt1}: دمای بهینه اول، بالاتر از این دما افزایش وزن دانه تسریع می‌شود

T_{opt2}: دمای بهینه دوم، حداکثر دمایی است که در آن افزایش وزن دانه هنوز در حداکثر خود است

T_{max}: دمای حداکثر، دمایی است که در آن افزایش وزن دانه صفر است.

P1: دوره زمانی فاز گیاهچه‌ای تا تمایز سنبلچه انتهایی (GDD).

P2: دوره زمانی فاز تمایز سنبلچه انتهایی تا پایان رشد برگ (GDD).

P3: دوره زمانی فاز پایان رشد برگ تا پایان رشد سنبله (GDD).
SLAS: سطح برگ ویژه (g-1 cm3).

PARUE: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک قبل از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

PARU2: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک بعد از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

LAFV: افزایش سطح پتانسیل برگ در مرحله رویشی (fr/leaf).

LAFR: افزایش سطح پتانسیل برگ در مرحله زایشی (fr/leaf).

TIL#S: شروع تولید پنجه (تعداد برگ).

PARUE: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک قبل از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

PARU2: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک بعد از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

به خوبی شبیه‌سازی نموده است، به طوری که RMSE و D-Index به ترتیب ۶۹۵ کیلوگرم در هکتار و ۰/۷۷ می‌باشد. مقادیر این شاخص‌ها که در شکل ۵ نشان داده شد، بیان‌گر دقت خوب مدل در شبیه‌سازی رشد و ماده خشک گیاه است. مقدار RMSE و D-Index محاسبه شده برای عملکرد دانه به ترتیب ۷۸ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۶ است که نشان‌گر کارایی بسیار خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد.

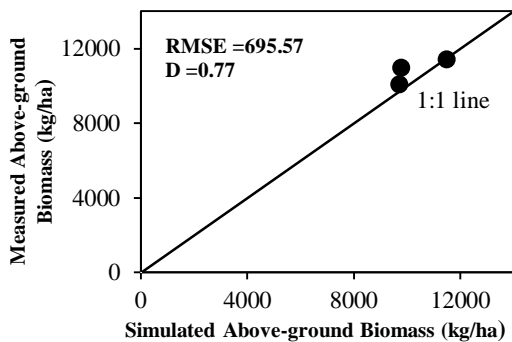


Figure 4- Comparison of measured and simulated aboveground biomass (kg ha⁻¹)

شکل ۴- مقایسه ماده خشک اندام‌های هوایی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

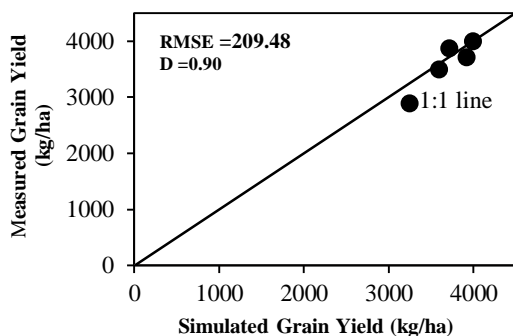


Figure 5- Comparison of measured and simulated grain yield (kg ha⁻¹)

شکل ۵- مقایسه عملکرد دانه اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

کاربرد مدل برای پیش‌بینی فصلی

نتایج پیش‌بینی فصلی به روش ناپارامتری K-NN برای فصل زراعی ۱۵-۲۰۱۴ (سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳) برای ایستگاه هواشناسی شهر ایزده در شکل ۶ نشان داده شده است. در این تحقیق فرض بر این است که داده‌های هواشناسی فصل پیش رو تا ۲۵ مهر ثبت شده و ما می‌خواهیم از ۲۵ مهر فصل زراعی پیش رو را برای مدیریت کاشت و داشت گندم پیش‌بینی و نسبت به به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریتی مزرعه تصمیم‌گیری کنیم. نتایج استفاده از روش K-NN نشان داد که فصل زراعی پیش رو بیش‌ترین نزدیکی و تشابه را با فصل زراعی ۸۷-

یک ابزار برای مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. با عنایت به دقت قابل قبول مدل CERES-Wheat در پیش‌بینی مراحل فنولوژی، تاکنون از این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده است (Andarzian et al., 2015).

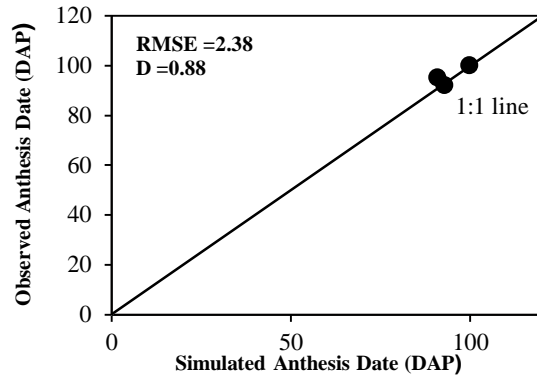


Figure 2- Comparison of observed and simulated anthesis date (DAP)

شکل ۲- مقایسه زمان گل‌دهی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده

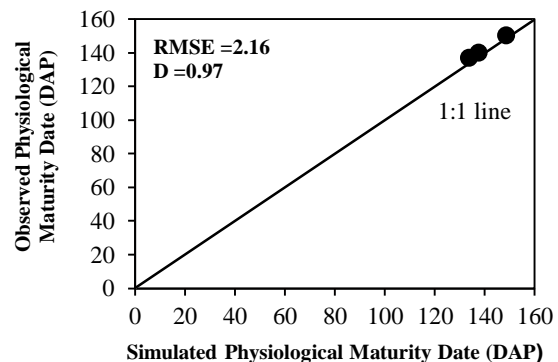


Figure 3- Comparison of observed and simulated Physiological maturity date (DAP)

شکل ۳- مقایسه زمان رسیدگی فیزیولوژیکی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده

علاوه بر نقش مهم مراحل نمو در مدیریت مزرعه، تعیین زمان دقیق این مراحل برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه نیز دارای اهمیت است. چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی گیاه (ضرایب تخصیص) متناسب با مراحل نمو گیاه انجام می‌گیرد. از این رو پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژی و تعیین مقدار فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ متوالی) برای ارقام مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ضروری است.

شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه نتایج شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی در شکل ۴ نشان می‌دهند که مدل تولید ماده خشک اندام‌های هوایی را

حداکثر را نیز برآورد نمود. مقدار RMSE و NRMSE برای این متغیر نیز به ترتیب ۰/۷۱ و ۳/۱ درصد بود. مقدار تابش خورشیدی برای فصل پیش رو نیز به نحو مطلوبی پیش‌بینی گردید مقدار RMSE و NRMSE برای این متغیر آب و هوایی به ترتیب ۰/۶۱ مگاژول بر مترمربع در روز و ۴ درصد بود. این تکنیک در برآورد الگوی بارش در مقایسه با الگوهای درجه حرارت و تابش خورشیدی ضعیف‌تر عمل نموده و دارای دقت کم‌تری است. به طوری که مقدار RMSE و NRMSE به ترتیب ۱۵/۷ میلی‌متر و ۲۴ درصد است. هرچند این دقت در برآورد بارندگی مناسب است. کارایی این روش برای پیش‌بینی تغییرات متغیرهای آب و هوایی قبلاً توسط (Bannayan and Hoogenboom, 2007) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و بیان نمودند این روش می‌تواند به‌خوبی الگوی فصلی را تشخیص و پیش‌بینی نماید.

۱۳۸۶ دارد. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده روند تغییرات روزانه پیش‌بینی فصلی درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، تابش خورشیدی و بارندگی با روند تغییرات روزانه اندازه‌گیری شده در الگوی مشابه تشخیص داده شده، تقریباً مشابه هستند. اگرچه دقیقاً بر هم منطبق نیستند ولی این عدم انطباق به حدی نیست که رشد گیاه را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهد و رشد گیاه و عملکرد آن برای این دو فصل تقریباً مشابه و دارای عملکرد یکسان است. با میانگین‌گیری ماهانه از هر یک از متغیرها و ارزیابی آماری آن‌ها این انطباق در شکل ۷ مورد تصدیق قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده، توافق بالایی بین مقدار درجه حرارت حداقل پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. مقدار شاخص آماری RMSE و NRMSE برای این متغیر آب و هوایی به ترتیب ۵۳/۰، درجه سانتی‌گراد و ۶/۵ درصد است. نتایج نشان می‌دهد این تکنیک به خوبی درجه حرارت

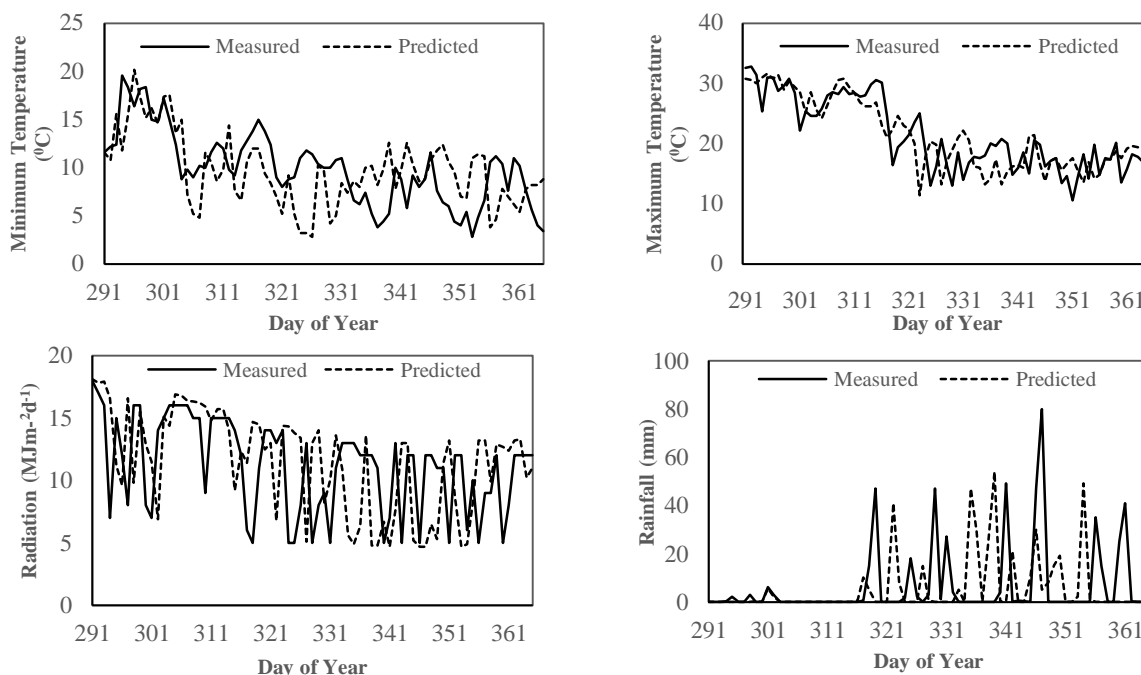


Figure 6- Daily variations trend of weather variables in seasonal forecasting 2014-15

شکل ۶- روند تغییرات روزانه متغیرهای آب و هوایی در پیش‌بینی فصلی ۱۳۹۳-۹۴

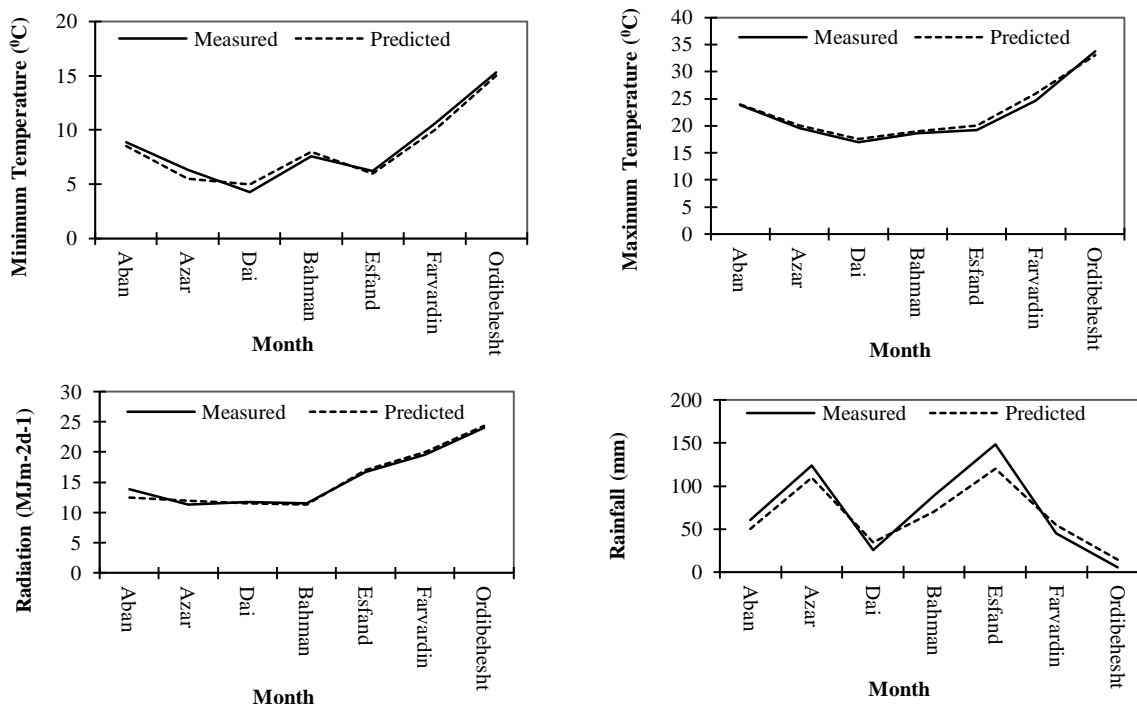


Figure 7- Monthly variations trend of weather variables in seasonal forecasting 2014-15

شکل ۷- روند تغییرات ماهانه متغیرهای آب و هوایی در پیش بینی فصلی ۱۳۹۳-۹۴

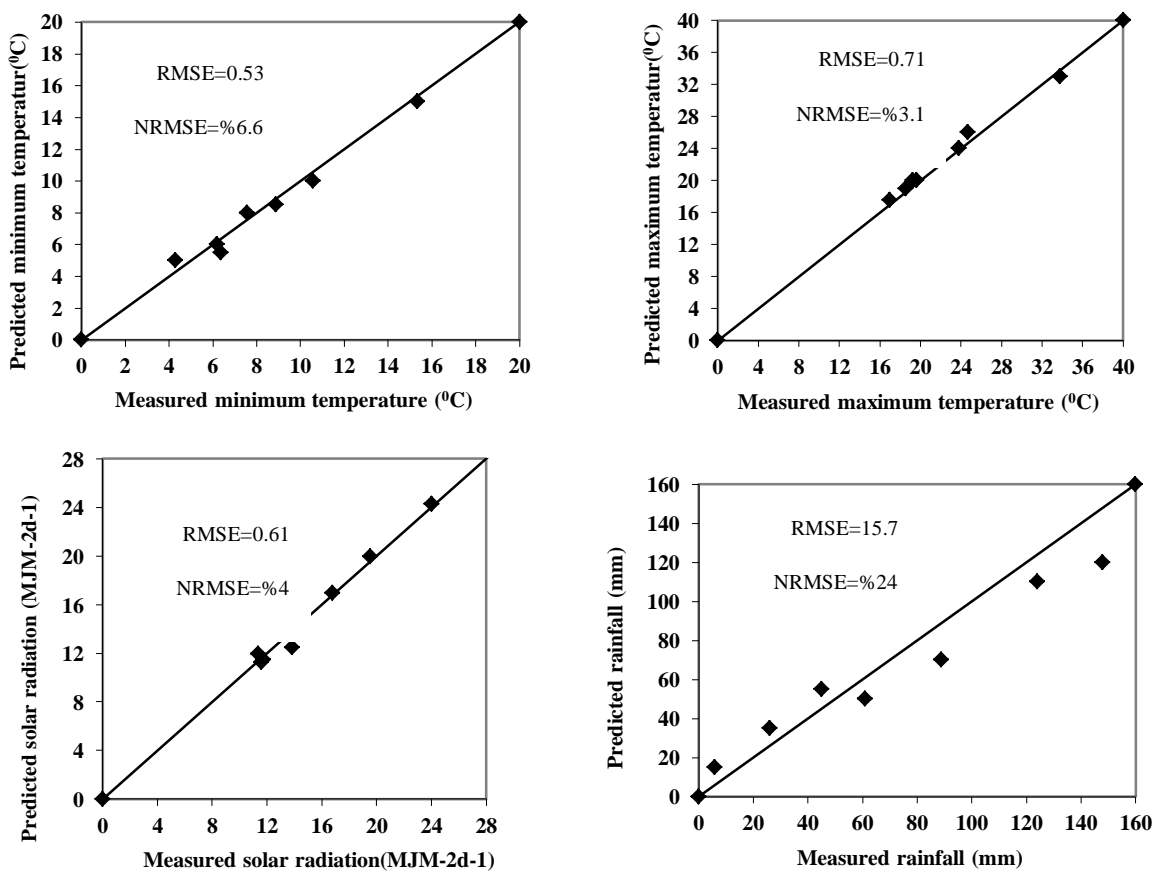


Figure 8- A comparison of measured and predicted Monthly weather variables in seasonal forecasting 2014-15

شکل ۸- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده ماهانه متغیرهای آب و هوایی در پیش بینی فصلی ۱۳۹۳-۹۴

است و بیشتر سالها در دامنه‌ای از ۵ آبان تا اوایل آذر اتفاق می‌افتد. لذا با پیش‌بینی فصلی پیش رو و زمان و مقدار بارندگی می‌توان با کمک مدل زمان کاشت در آن فصل را مشخص نمود و تمهیدات لازم جهت مدیریت کاشت را به کار گرفت تا علاوه بر کاهش خطرات عدم سبز شدن گیاه در شرایط نامساعد از پتانسیل‌ها و ظرفیت‌ها در شرایط مناسب نیز بهره برد.

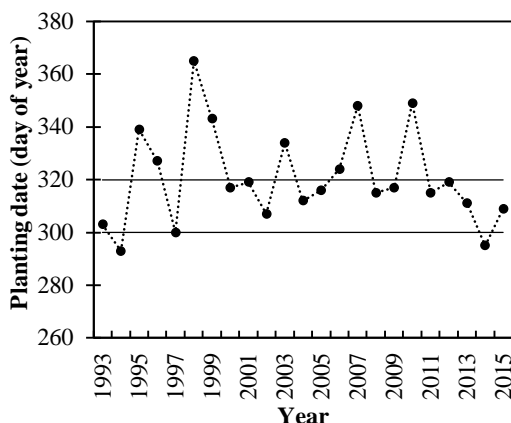


Figure 10- Variations of suitable planting date over different years

شکل ۱۰- تغییرات زمان مناسب کاشت در سال‌های مختلف

مقدار مصرف نیتروژن گندم برای شرایط دیم ایده در دو فصل زراعی ۱۲-۲۰۱۱ و ۱۵-۲۰۱۴ که به ترتیب فصل زراعی نسبتاً کم‌باران و دارای بارندگی مناسب بودند، توسط نرم‌افزار پیش‌بینی و سپس مقدار مصرف نیتروژن موردنیاز متناسب با فصل رشد گندم توسط مدل محاسبه شد. مطابق نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شد که در سال‌های کم‌باران با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن، پتانسیل عملکرد دیم در آن فصل (۲۸۵۰ کیلوگرم در هکتار) قابل‌دست‌یابی است و مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن نه تنها باعث افزایش عملکرد نشده، بلکه مقادیر خیلی بالا باعث کاهش عملکرد نیز شده است. چون تحت این شرایط به علت رطوبت پایین خاک و افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک گیاه نیز با تنش کم‌آبی مواجه شده و رشد و عملکرد آن تقلیل می‌یابد (Asseng et al., 2012)، اما در سال‌هایی که بارندگی دارای مقدار و پراکنش مناسب است با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص، امکان دست‌یابی به پتانسیل عملکردهای بالا (۶ تن در هکتار) امکان‌پذیر است و مصرف بیشتر از این مقدار تأثیر بر عملکرد ندارد. تحت این شرایط به علت شرایط مناسب رطوبت خاک گیاه رشد نموده و نیتروژن موردنیاز خود را متناسب باشد

برای ارزیابی بیشتر این روش، فصل زراعی گندم برای سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۲-۱۳۹۱ (به ترتیب ۱۴-۲۰۱۳ و ۱۳-۲۰۱۲) مطابق شکل ۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد فصل زراعی سال‌های ۱۴-۲۰۱۳ و ۱۳-۲۰۱۲ به ترتیب بیش‌ترین مشابهت را با فصول زراعی مذکور در سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۳ و ۲۰۰۲-۲۰۰۱ دارند. نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه‌سازی نشان می‌دهد که عملکرد سال‌های فصل‌های زراعی مشابه به هم نزدیک می‌باشد.

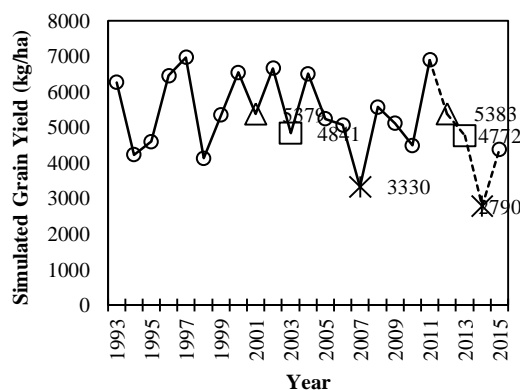


Figure 9- Variations trend of attainable yield over different seasonal forecast (case study Izeh County)

شکل ۹- روند تغییرات عملکرد قابل دست‌یابی در سال‌های مختلف و فصول پیش‌بینی شده (مطالعه موردی شهرستان ایذه)

تعیین تاریخ کاشت و مقدار مصرف نیتروژن برای فصل پیش رو

در شرایط دیم تاریخ کاشت علاوه بر دما به بارندگی وابستگی تام دارد (Bannayan et al., 2013). در شرایط دیم بارندگی نقش اصلی را در تعیین تاریخ کاشت ایفا می‌نماید. معمولاً در دامنه دمایی مناسب تاریخ کاشت زمانی صورت می‌گیرد که رطوبت موجود در خاک برای جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها کافی باشد در صورت کشت بعد از بارندگی بدون توجه به میزان ذخیره آب در خاک ممکن است موجبات جوانه‌زنی بذور را فراهم نموده اما به دلیل تأخیر در بارندگی‌های بعدی و ناکافی بودن ذخیره رطوبت خاک، بذور جوانه‌زده با خشکی مواجه شده و گیاهچه‌های تولید شده تلف شده و درنهایت منجر به عدم موفقیت در زراعت گردد. با توجه به متغیر بودن زمان شروع بارندگی مؤثر در سال‌های مختلف زمان کاشت گندم نیز متغیر است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود تاریخ کاشت در شرایط دیم شهرستان ایذه متغیر

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از سازمان جهاد کشاورزی خوزستان به خاطر حمایت مالی این پروژه پژوهشی قدردانی می‌شود.

منابع

- Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., Andarzian, B. 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of Saudian Society of Agricultural Science*, 14(2): 189-199.
- Asseng, S., McIntosh, P. C., Wang, G., Khimashia, N. 2012. Optimal Nfertilizer management based on a seasonal forecast. *European Journal of Agronomy*, 38: 66-73.
- Bannayan, M., Eyshi Rezaei, E., Hoogenboom, G. 2013. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 126: 56-63.
- Bannayan, M., Hoogenboom, G. 2007. Daily weather sequence prediction realization using the non-parametric nearest-neighbor resampling technique. *International Journal of Climatology*, 28: 1357-1368.
- Bannayan, M., Hoogenboom, G. 2008. Weather Analogue: a tool for real-time prediction of daily weather data realizations based on a modified k-nearest neighbor approach. *Environmental Modeling and Software*, 23: 703-713.
- Brandsma, T., Konnen, G. P. 2006. Application of nearest-neighbor resampling for homogenizing temperature records on a daily to sub-daily level. *International Journal of Climatology*, 26: 75-89.
- Brandsma, T., Buishand, T. A. 1998. Simulation of extreme precipitation in the Rhine basin by nearest neighbor resampling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2: 195-209.
- Capa-Morocho, M., Ines, A., Amor, V. M., Baethgeen, W. E., Rodríguez-Fonseca, B., Han, E., Ruiz-Ramos, M. 2016. Crop yield outlooks in the Iberian Peninsula: Connecting seasonal climate forecasts with crop simulation models. *Agricultural Systems*, 149: 75-87.
- Dumont, B., Basso, B., Leemans, V., Bodson, B., Destain, J. P., Destain, M. F. 2015. A comparison of within-season yield prediction algorithms based on crop model behavior analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204: 10-21.
- Farooq, M., Bramley, H., Palata, J. A., Siddique, K. H. M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Review in Plant Science*, 30: 1-17.

رشد از خاک جذب می‌نماید. لذا به‌کارگیری فن پیش‌بینی فصلی و برآورد مقدار موردنیاز نیتروژن از یک‌سو می‌تواند در سال‌های خشک از مصرف بیش از حد کود، تحمیل هزینه و آلودگی خاک و محیط‌زیست جلوگیری نموده و از سوی دیگر می‌تواند در سال‌های مطلوب با به‌کارگیری تمهیدات لازم نیتروژن مورد نیاز گیاه را فراهم نمود تا از ظرفیت محیطی استفاده و موجبات افزایش عملکرد و سود اقتصادی بیش‌تر را برای کشاورزان رقم زد.

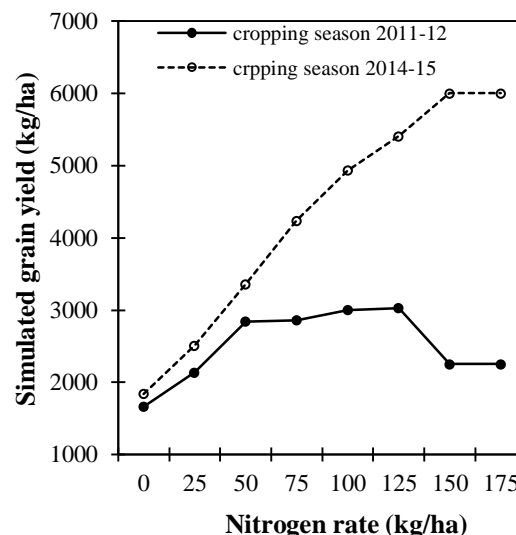


Figure 11- Suitable amount of nitrogen use for two forecasted seasons

شکل ۱۱- مقدار مناسب مصرف نیتروژن در دو فصل پیش‌بینی شده

نتیجه‌گیری

تغییرات سالانه شرایط آب و هوایی در طی فصل رشد گندم تحت شرایط دیم امکان اعمال مدیریت یکسان در سال‌های مختلف را منتفی می‌نماید. اطلاع از شرایط آب و هوایی فصل پیش‌رو و به‌کارگیری تمهیدات و راه‌کارهای مدیریت مزرعه متناسب با شرایط آب و هوایی نه تنها می‌تواند موجبات افزایش عملکرد را فراهم آورد بلکه می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و ریسک تولید نقش مهمی ایفا نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که تلفیق مدل‌های پیش‌بینی فصلی مانند k-NN (K - نزدیک‌ترین همسایه) با نرم‌افزار Weather Analogue با مدل CERES-Wheat می‌تواند نقش مؤثری در پیش‌بینی فصلی و به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریت مزرعه برای شرایط دیم فصل پیش‌رو داشته باشد.

- Gangopadhyay, S. M., Rajagopalan, C. B. 2005. Statistical downscaling using K-nearest neighbors. *Water Resources Research*, 41: 1-23.
- Hunt, L. A., Pararajasingham, S., Jones, J. W., Hoogenboom, G., Imamura, D. T., Ogoshi, R. M. 1993. GENCALC-Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal*, 85: 1090-1094.
- Johen, T., Boettcher, U., Kage, H. 2012. A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model. *Computer and Electronic in Agriculture*, 89: 62-69.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boot, K. J., Batchelor, W. D., Hunts, L. A., Wilkens, P. W., Singh U., Gijssman, A. J., Ritchie, J. T. 2003. DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy*, 18: 235-265.
- Kelmm, T., Mcpherson, R. A. 2017. The development of seasonal climate forecasting for agricultural producers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232: 384-399.
- Marletto, V., Ventura, F., Fontana, G., Tomei, F. 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecast and a numerical model. *Agricultural and Forest meteorology*, 147: 71-79.
- Mvromatis, T. 2016. Spatial resolution effects on crop yield forecasts: an application to rainfed wheat yield in north Greece with CERES-Wheat. *Agricultural Systems*, 143: 38-48.
- Porter, J. R., Gawith, M., 1999. Temperature and growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10: 23-36.
- Raes, D., Sithole, A., Markarau, A., Milford, J. 2004. Evaluation of first planting date recommended by criteria currently used in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125: 17-185
- Roel, A., Baethegan, W. E., 2007. Towards the development of a spatial decision support system (SDSS) for the application of climate forecasts in uruguayan rice production sector. In: Hansen, J.W., Sivakumar, M.V.K. (Eds.), *Climate Prediction and Agriculture*. Springer, pp. 89-97.
- Semenov, M. A., Doblas-Reyes, F. J., Martre, P. 2007. Utility of dynamical seasonal forecasts in predicting crop yield. *Climate Research*, 34(1): 71-81.
- Sharif, M., Burn, D. H., 2005. Simulating climate change scenarios using an improved K-nearest neighbor model. *Journal of Hydrology*, 325: 179-196.
- Spiertz, J. H. J., Hamer, R. J., Xu, H., Primo-Martin, C., Don, C., Van der Putten, P. E. L., 2006. Heat stress in wheat: Effects on grain growth and quality traits. *European Journal of Agronomy*, 25: 89-95.
- Thorp, K. R., Hunsaker, D. J., French, A. N., White, J. W., Clark, T. R. Pinter, J. P. J. 2010. Evaluation of the CSM-CROPSIM-CERES-Wheat model as a tool for crop water management. *American Society Agricultural and Biological Engineers* 53: 87-102.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M. R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 199-223.
- Yates D., Gangopadhyay, S., Rajagopalan, B., Strzepek, K. 2003. A technique for generating regional climate scenarios using a nearest neighbor algorithm. *Water Resources Research*, 39(7): 1199.
- Zahedi, M., Jenner, C. F., 2003. Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *Journal of Agricultural Science*, 141: 203-212.
- Zinyengere, N., Mhiza, T., Mashonjowa, E., Chipindu, B., Geerts, S., Raes, D. 2011. Using seasonal climate forecasts to improve maize production decision support in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 1792-1799.



Integrating seasonal forecasting using K- nearest neighbor (k-NN) method and CERES-wheat model for management of rainfed wheat cultivation

S. B. Andarzian^{1*}, I. Babaeian², S. B. Andarzian³

Received: 25/01/2018

Accepted: 02/02/2019

Abstract

Seasonal weather forecast for the upcoming season may serve as a useful tool for making management decisions which may decrease the production costs and associated risks. In this study attempts have been made to combine a seasonal weather forecast approach based on k-NN nearest neighbor and dynamic simulation model CERES-Wheat model as a decision support system of farm management practices (planting date and nitrogen application level) for rainfed wheat (variety Dehdasht) using the data of a field experiment at Izeh research station, Khuzestan province, Iran during 2015-2016 growing season. The results showed that the k-NN approach and CERES-Wheat model have an acceptable performance in seasonal weather forecast and crop growth simulation, respectively. By combining k-NN and CERES-Wheat models, the appropriate sowing time of the selected variety in Izeh region was determined to be between November 5 and early December. The recommended amount of applied nitrogen fertilizer in dry and rainy seasons are 50 and 150 kg ha⁻¹, respectively. The proposed combined approach can be used as a suitable decision support system of rainfed crops in other climatic regions.

Keywords: Crop models, Dry-land Farming, Global warming, Seasonal forecasting, Wheat



¹ Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Khuzestan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: bahramandarzian@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.128547.1011

² Assistant Professor, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran

³ M. Sc. Student of Cyber Security, Isfahan University, Isfahan, Iran