"مجله علوم زراعي ايران"
جلد نهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸٦

WheatPot: مدلي ساده براي شبيه‌سازي پتانسيل عملكرد دانه گندم بهاره
I- توصيف و ارزيابي مدل

WheatPot: A simple model to simulate grain yield potential of spring wheat
I- Model description and evaluation

بهرام اندرزيان[۱]، عبدالمهدی بخشنده[۲]، محمد بنايان[۳]، يحيي امام[٤]، قدرت اله فتحي[٥] و خليل عالمي سعيد[٦]

چكيده

اندرزيان، ب.، ع. م. بنايان، ی. امام، ق. فتحي و خ. عالمي سعيد. ۱۳۸٦. WheatPot: مدلي ساده براي شبيه‌سازي پتانسيل عملكرد دانه گندم بهاره I- توصيف و ارزيابي مدل. مجله علوم زراعي ايران. ۹ (۲): ۱۲٤-۱۰۹.

يک مدل مكانيستيكي ساده به نام «WheatPot» براي شبيه‌سازي پتانسيل عملكرد دانه گندم در مقياس منطقه‌اي ساخته شد. اين مدل مراحل اصلي فنولوژی و توليد ماده خشک را به عنوان تابعي از درجه حرارت و تشعشع خورشيدی شبيه‌سازی مي‌كند و شامل زير مدل‌های مراحل نمو، توليد ماده خشک و عملكرد دانه مي‌باشد. ورودی‌های مورد نياز جهت اجرای مدل برای هر منطقه شامل ميانگين ماهانه داده‌های آب و هوايي (درجه حرارت‌های حداقل و حداكثر و تشعشع خورشيدی) و خصوصيات گياه زراعي (تاريخ كاشت، ميزان درجه- روز رشد يا GDD مورد نياز برای مراحل فنولوژی، كارايي مصرف نور و شاخص برداشت) مي‌باشد. با استفاده از نتايج آزمايش‌های انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طي سال‌های زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸٤-۱۳۸۳ مدل مورد ارزيابي قرار گرفت. مقايسه نتايج شبيه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گيری شده نشان داد، كه تحت شرايط پتانسيل، مدل مي‌تواند مراحل فنولوژی، توليد ماده خشک و عملكرد دانه را به خوبي شبيه سازی نمايد. به طوری كه مقدار ريشه انحراف ميانگين مربعات اشتباه (RMSE) برای تاريخ گل‌دهي، رسيدگي فيزيولوژيك، توليد ماده خشک و عملكرد دانه به ترتيب برابر ۳/۵ روز، ۲/۵ روز، ۰/٦۵ تن در هكتار و ۱/٦۹ تن در هكتار مي باشد. بنابراين، اين مدل مي‌تواند به عنوان يک ابزار كاربردی برای تخمين تقريبي پتانسيل عملكرد دانه گندم در مناطقي كه فاقد داده‌های آب و هوايي روزانه هستند مورد استفاده قرار گيرد.

واژه های كليدی: مدل سازی، پتانسيل عملكرد دانه، گندم، مراحل فنولوژی، تاريخ گل دهي، عملكرد دانه.

تاريخ دريافت: ۱۳۸۵/۱۱/٤

۱- عضو هيئت علمي مركز تحقيقات كشاورزی و منابع طبيعي خوزستان (اهواز) (مكاتبه كننده)
۲، ۵ و ٦- به ترتيب، استاد، دانشيار و استاديار دانشگاه علوم كشاورزی و منابع طبيعي رامين
۳- دانشيار دانشكده كشاورزی دانشگاه فردوسي مشهد
٤- استاد دانشكده كشاورزی دانشگاه شيراز

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

مقدمه

پتانسيل عملكرد را مي‌توان تحت عنوان عملكرد يک رقم (با سازگاری مناسب نسبت به محيط) در شرايط آب و مواد غذايي كافي و كنترل مؤثر عواملي مانند آفات، بيماری‌ها و علف‌های هرز تعريف نمود (Evans 1993). تحت چنين شرايطي تجمع ماده خشک (رشد) گياه تابعي از تشعشع خورشيدی، درجه حرارت و خصوصيات گياه زراعي است (نصيری محلاتي، ۱۳۷۹). تعيين پتانسيل عملكرد منطقه‌ای گندم و شناخت اختلاف عملكرد پتانسيل با عملكردهای زارعين منطقه از يک سو موجب بازنگری در مديريت‌های اعمال شده و يا به كارگيری راهكارهای نوين برای كاهش اين اختلاف عملكرد مي گردد، و از سوی ديگر باعث افزايش كارايي مصرف نهاده‌ها (Pala, 1995)، كاهش آلودگي محيط زيست و استقرار يک سيستم كشاورزی پايدار (Asadi and Clemente, 2003) مي‌شود.

آزمايش‌های مزرعه‌ای متداول فقط تعداد خيلي محدودی از عوامل مؤثر بر رشد گياه را در يک منطقه خاص و در يک فصل زراعي مورد ارزيابي قرار مي دهند. مدل‌های شبيه‌سازی نه تنها مي‌توانند تعداد زيادی از متغيرهای آب و هوايي و مديريتي را همزمان روی رشد گياه مورد ارزيابي قرار دهند، بلكه برای انتقال و تعميم نتايج آزمايش‌های انجام شده در يک منطقه و يک فصل زراعي را به مناطق و سال‌های زراعي ديگر مورد استفاده قرار مي گيرند (Bannayan *et al*., 2004). مدل‌های شبيه‌سازی گياهان زراعي، ابزارهای سودمندی برای شناخت فرايندهای بيوفيزيكي حاكم بر سيستم خاک- گياه- اتمسفر مي‌باشند(Timsina and Hympherys, 2006) . اين مدل‌ها اثرات تغييرات اب و هوا، خصوصيات ژنوتيپ‌های گياهي، ويژگي‌های خاک و عوامل مديريتي را روی رشد گياه شبيه سازی مي‌نمايند. مدل‌های زيادی وجود دارند كه برای اهداف متفاوتي ساخته شده‌اند (Timsina and Hympheryse, 2003). بعضي از اين مدل‌ها مانند CERES (Ritchie *et al*., 1993) و WOFOST (Boogaard *et al*., 1998) عمومي هستند، در صورتي كه بعضي‌ها مانند Rice-clock (Gao *et al*., 1992) منحصرا برای هدف خاصي ساخته شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضيات مربوط به فيزيولوژی گياه و رابطه آن با محيط پيرامون ساخته مي‌شوند. اين شناخت و روابط به صورت معادلات رياضي با هم تلفيق مي‌شوند تا سيستم خاک- گياه- اتمسفر را توصيف نمايند.

پيش‌بيني عملكرد گندم از سطح مزرعه‌ای تا سطوح منطقه‌ای و ملي توسط مدل‌های شبيه سازی انجام مي‌گيرد (Bannayan *et al*., 2003; Travasso and Delecolle, 1995; Suipt, 1997). استفاده از مدل‌های پيچيده دارای مشكلات خاص خود مي باشد، از جمله اين مشكلات نياز به داده‌های ورودی زياد برای اجرای اين مدل‌ها است كه بايد توسط كاربر فراهم گردد و معمولا اين داده‌ها در كشورهای در حال توسعه قابل دسترس نمي‌باشند (Amir and Sinclair, 1991). يک روش برای حل اين مشكل، استفاده از مدل‌های ساده شده مي‌باشد. در اين مدل‌ها رفتار گياه توسط چند رابطه محدود شبيه سازی مي‌شود(Amir and Sinclair, 1991). تاكنون از اين روش برای بررسي اثر تشعشع خورشيدی و درجه حرارت روی عملكرد گياهان زراعي مختلف از جمله سويا (Spaetch, 1987)، ذرت (Muchow *et al*., 1990) و برنج (Sheehy *et al*., 2004; Pirmoradian and Sepaskha, 2005) استفاده شده است.

در اكثر مدل‌های گياهان زراعي معمولا رشد گياه براساس داده‌های آب و هوايي روزانه شبيه‌سازی مي‌شوند. به علت محدوديت دسترسي به داده‌های اب و هوايي روزانه در اكثر مناطق ايران كاربرد اين مدل‌ها ميسر نمي‌باشد. بنابراين هدف از اين پژوهش ساخت يک مدل ساده برای پيش‌بيني پتانسيل عملكرد گندم

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

براساس داده‌هاي آب و هوايي ماهانه مي‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- آزمايش‌هاي مزرعه‌اي

داده‌هاي مورد نياز براي واسنجي و بررسي صحت اين مدل از آزمايش‌هاي انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طي سال‌هاي زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳ فراهم شده‌اند. يک آزمايش با دو تاريخ کاشت (۱ آذر و ۲۵ آذر) و سه رقم گندم (فونگ، استار و چمران) به صورت طرح کرت‌هاي خرد شده در قالب بلوک‌هاي کامل تصادفي با چهار تکرار در مرکز تحقيقات کشاورزي و منابع طبيعي خوزستان در اهواز در سال زراعي ۸۳-۱۳۸۲ اجرا گرديد. چهار آزمايش مشابه ديگر در چهار نقطه از استان، شامل مزرعه آزمايشي دانشکده کشاورزي دانشگاه علوم کشاورزي و منابع طبيعي رامين، مرکز تحقيقات کشاورزي و منابع طبيعي خوزستان، ايستگاه تحقيقات کشاورزي شاوور (در ۶۰ کيلومتري دزفول) و شهرستان دشت آزادگان در سال زراعي ۸۴-۱۳۸۳ اجرا گرديد (جدول ۱). هريک از اين آزمايش‌ها شامل سه رقم گندم (فونگ، چمران، استار) بود که تقريبا در اوايل آذر ماه به صورت طرح بلوک‌هاي کامل تصادفي با چهار تکرار کشت شدند. در همه آزمايش‌ها هر کرت آزمايشي براساس ۴۰۰ بذر در مترمربع در ۱۲ رديف به طول ۱۲ متر و به فاصله ۲۰ سانتي‌متر از يکديگر کشت شدند. نياز غذايي گياه بر مبناي آزمون خاک محل‌هاي آزمايش و براي دستيابي به پتانسيل عملکرد تامين گرديد. در طي فصل رشد علف‌هاي هرز به روش شيميايي کنترل شدند و هيچگونه آفت و بيماري مشاهده نشد. به منظور تامين رطوبت خاک، زماني که ميزان رطوبت خاک به ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (اندازه‌گيري به روش وزني) کاهش مي‌يافت، بر مبناي مصرف ۱۰۰ ميلي‌متر در هکتار، ابياري کرت‌ها انجام مي‌شد. مراحل اصلي فنولوژي براساس مقياس زادوکس (Zadoks et al., 1974) از طريق بازديدهاي مستمر از مزارع يادداشت مي‌شد. براي اندازه‌گيري تغييرات وزن خشک گياه در هر ۱۵ روز يک بار از سطحي معادل ۰/۳۳m^2 گياهان کف‌بر شده و سپس به مدت ۷۲ ساعت در دماي ۶۰°C در اون خشک و سپس توزين مي‌شدند (Ehdaie and Wains, 2001). برداشت نهايي کرت‌ها ۱۰ روز بعد از رسيدگي فيزيولوژيک (زرد شدن آخرين ميانگره ۵۰% از گياهان) انجام شد.

۲- مدل سازي و توصيف مدل

ساختار مفهومي مدل «WheatPot» در شکل ۱ نشان داده شده است. عملکرد دانه به عنوان حاصل‌ضرب شاخص برداشت در ماده خشک کل محاسبه مي‌شود. محاسبات زير مدل‌هاي فنولوژي، تجمع ماده خشک و تشعشع دريافتي براي تعيين عملکرد ضروري هستند. در شکل ۱ پيکان‌هاي ممتد نشانگر ارتباطات منطقي بين زير مدل‌ها و پيکان‌هاي شکسته نشانگر ورودي‌هاي آب و هوايي و گياهي براي اجراي مدل مي‌باشند.

مدل بر اين اساس ساخته شده است که تشعشع خورشيدي دريافت شده توسط برگ‌هاي سايه‌انداز گياه منبع انرژي براي رشد گياه است. زماني که گياه زراعي تحت شرايط رطوبتي و تغذيه‌اي مطلوب رشد مي‌نمايد، يک رابطه خطي بين مجموع تشعشع فعال فتوسنتزي (Photosynthetic Active Radiation, PAR) دريافت شده و ماده خشک تجمع يافته وجود دارد (Montith *et al.*,1977; Sheehy *et al.*, 2004). شيب اين رابطه خطي، کارايي مصرف تشعشع (Radiation Use Efficiency, RUE) ناميده مي‌شود. کارايي مصرف تشعشع براي گندم بين ۴-۲ گرم ماده خشک به‌ازاي هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزي دريافتي (PAR) در واحد سطح (مترمربع) متغير است و براي برآورد آن در هر ژنوتيپ تحت شرايط مطلوب تغذيه‌اي و رطوبتي، از طريق

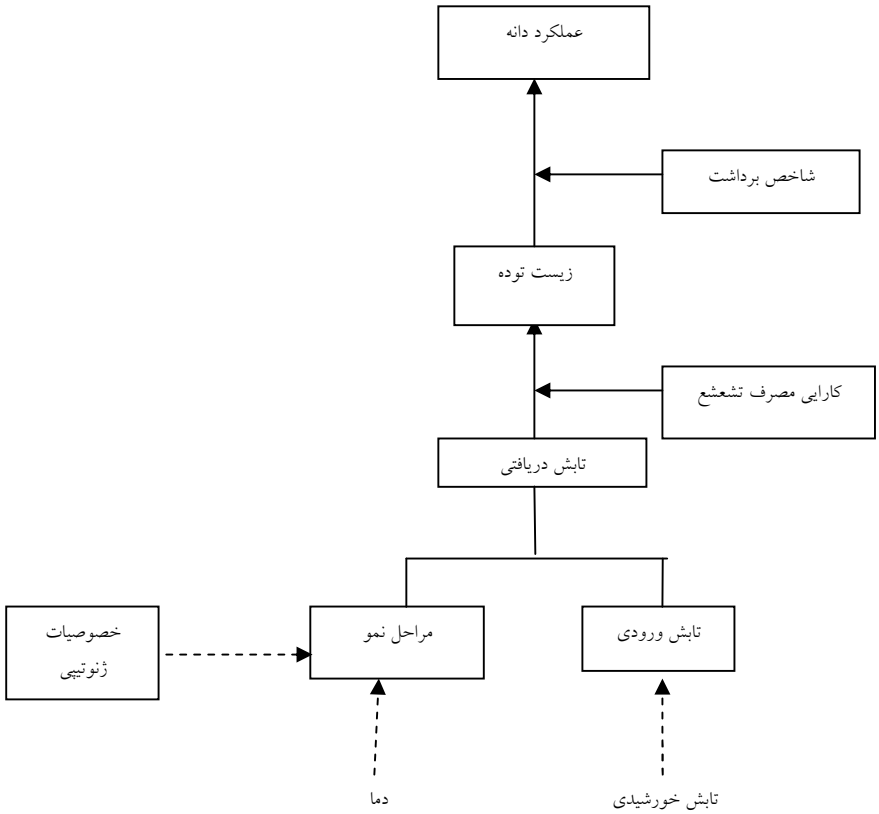
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

جدول ۱- مکان‌ها ، ارقام و تیمارهای مورد استفاده در آزمایش‌های ارزیابی مدل

Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

Location and Years	مکان و سال	عرض و طول جغرافیایی Latitude and Longitude	Treatments	تیمارها	Cultivars	ارقام
Ahvaz 2003-2004	اهواز ۱۳۸۲-۱۳۸۳	31° 21' N 48° 8' E	Cultivar and sowing date	رقم و تاریخ کاشت	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ahvaz 2004-2005	اهواز ۱۳۸۳- ۱۳۸٤	31° 2' N 48° 8' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ramin University 2004-2005	دانشگاه رامین ۱۳۸۳-۱۳۸٤	31° 36' N 48° 41' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Dezful 2004-2005	دزفول ۱۳۸۳-۱۳۸٤	31° 16' N 48° 25' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Bostan 2004-2005	بستان ۱۳۸۳-۱۳۸٤	31° 4' N 48° 0' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار

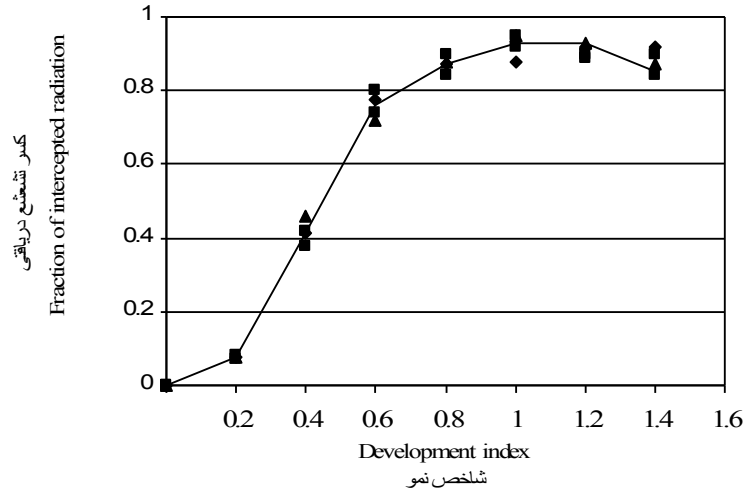


شکل ۱- الگوریتم برای مدل WheatPot

Fig. 1. Algorithm for WheatPot model

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]



شکل۲- رابطه بين شاخص نموی و کسر تشعشع دريافتي

Fig.2. Relationship between development index and fraction of intercepted radiation

تقسيم نمودن ماده خشک کل تجمع يافته در اندام‌های هوايي در مرحله رسيدگي فيزيولوژيکي بر مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دريافتي از مرحله سبز شدن تا رسيدگي فيزيولوژيکي محاسبه مي‌شود (Ewert *et al*., 1999). رابطه بين مراحل نمو و کسر تشعشع فعال فتوسنتزی دريافتي (شکل۲) از طريق منحني برازش داده شده بين مراحل نموی (۰= سبز شدن، ۱= گلدهي يا ظهور کامل سنبله و ۲= رسيدگي) و شاخص سطح برگ به دست آمد (Sheehy *et al*., 2004). معادله استفاده شده برای تخمين پتانسيل عملکرد عبارت است از (Evans, 1993):

$$Y = HI \times RUE \sum_{i=1}^{n} (Q_{dPARi} \times P_i \times F_i \times \Delta_{Ei}) \qquad (1)$$

که Y عملکرد دانه (گرم در مترمربع)، HI شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک توليد شده) است که در طي دوره پر شدن دانه به طور خطي افزايش مي‌يابد (Amir and Sinclair, 1991)، RUE کارايي مصرف تشعشع (گرم ماده خشک بر مگاژول)، Q_{dPARi} متوسط روزانه تشعشع دريافت شده در هر ماه (مگاژول)، F_i کسر تشعشع دريافتي، P_i تعداد روزهايي که تشعشع دريافت گرديده (روز)، Δe_i کسری از حداکثر کارايي مصرف تشعشع که متناسب با سطح برگ موثر (تفاضل حداکثر سطح برگ و سطح برگ تلف شده در اثر زوال برگ‌ها) است و n تعداد ماهها در طي فصل رشد مي‌باشد.

کسر تشعشع فعال فتوسنتزی دريافتي (Fraction of intercepted radiation, F_i) با استفاده از شاخص نمو گياه زراعي (Development Index, DVI)، که مرحله نمو گياه زراعي را بيان مي‌نمايد، برآورد گرديد (Horie *et al*., 1995).

$$F = \frac{a}{1 + Exp\left((b - DVI / C)\right)} \qquad (2)$$

که a =۰/۹۴۳ ، b =۰/۴۸۰ ، C =۰/۱۱۶ ثابت‌های تجربي معادله با (r^2=۰/۹۹) هستند.

DVI، از طريق جمع کردن سرعت نمو در طي فاصله زماني بين مراحل فنولوژيك محاسبه مي‌گردد (Horie *et al*., 1995).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

$$DVI_t = \sum_{i=0}^{t} DVR_i \quad (3)$$

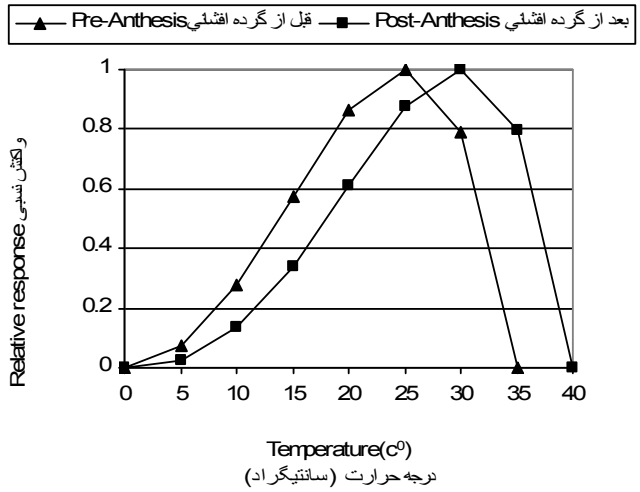
كـه DVI ، شـاخص نمـوی در زمـان (t) و DVR_i سرعت نمو در روز (i)ام بعد از سبز شدن گياه مي‌باشد كه متناسب با معكوس مدت زمان لازم برای وقوع هر يک از اينپ مراحل است (نصيری محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al*., 1994). باتوجه به اين كه ژنوتيپ‌های مورد آزمايش برای مدل‌سازی از تيپ بهاره مي‌باشند و به فتوپريود نيز حساسيتي ندارند، مهمترين عامل مؤثر بر سرعت نمو آنها در مناطق مشابه اهواز درجه حرارت است (نصيری محلاتي، ۱۳۷۸)، كه طبق معادله زير بر سرعت نمو تأثير مي‌گذارد (Streck *et al*., 2003; Wang and Engel, 1998).

$$DVR = DVR_{\max} . \ f(T) \quad (4)$$

تابع واكنش حرارتي f(T) نيز چنين محاسبه مي‌گردد(شكل۳، Wang and Engel, 1998):

$$\begin{cases} f(T) = \dfrac{\left[2(T-T_{\min})^{a}(T_{opt}-T_{\min})^{a} - (T-T_{\min})^{2a}\right]}{\left[T_{opt}-T_{\min}\right]^{2a}} & if \ \ T_{\min} < T < T_{\max} \quad (5) \\ f(T) = 0 & if \ \ T < T_{\min} or T > T_{\max} \end{cases}$$

$$a = \frac{Ln2}{Ln\left[(T_{\max}-T_{\min})/(T_{opt}-T_{\min})\right]} \quad (6)$$



شكل۳- واكنش حرارتي سرعت نمو

Fig. 3. Temperature response of development rate

كـه T_{min}، T_{opt} و T_{max} (درجـه حرارتهـای اصـلي نمـو) بـه ترتيب درجه حرارت‌های حداقل، مطلوب و حداكثر و T ميانگين درجه حرارت ماهانـه مـي‌باشـد. بـرای مرحلـه سبز شدن تا گل‌دهـي كنـدم T_{min}، T_{opt} و T_{max} بـه ترتيـب ۰، ۲٤ و ۳۵ درجه سانتي‌گراد و برای مرحله گل‌دهي تـا رسـيدگي فيزيولوژيكي T_{min}، T_{opt} و T_{max} به ترتيب ۸، ۲۹ و ٤۰ درجـه سانتي‌گـراد در نظـر گرفتـه مـي‌شـود (Wang *et al*., 1998). برای مرحله سبز شدن تا گـل‌دهـي DVI<1 و بـرای مرحلـه گـل‌دهـي تـا رسـيدگي فيزيولوژيـك 1<DVI<2 منظـور گرديد (Sheehy *et al*., 2004). سپس با استفاده از داده‌هـای اقليمي (ميانگين ماهانه) مدل اجرا و پتانسيل عملكـرد بـرای هر منطقه شبيه‌سازی گرديد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

جدول ۲- انطباق شاخص نمو با مراحل رشد گندم در مقياس زادكس (Wang and Engel, 1998)

Table 1. Correspondence of development index (DVI) to Zadoks stages (ZS)

مقياس زادكس Zadoks Scale	شاخص نمو Development Index	Commencement of stage	شروع مرحله	Stage	مرحله
0.0	-1.0	Sowing	كاشت	Pre- Emergence	قبل از رويش
0.5	- 0.5	Germination	جوانه‌زني		
10.00	0.0	Emergence	سبز شدن	Pre-Anthesis	قبل از گل‌دهي
14.22	0.20	Spiklet Initiation	آغازش سنبلچه		
30.00	0.45	Terminal Spiklet	سنبلچه انتهايي		
40.00	0.65	Flag Leaf	برگ پرچم		
50.00	0.90	Spike Emergence	ظهور سنبله		
60.00	1.00	Anthesis	گل‌دهي	Post- Anthesis	بعد از گل‌دهي
70.00	1.15	Milky grain	دانه شيري		
80.00	1.50	Doughy grain	دانه خميري		
90.00	1.95	Pysiological Maturity	رسيدگي فيزيولوژيك	Ripening	رسيدگي
92.00	2.00	Maturity	رسيدگي		

داده‌های هواشناسي

ميانگين درجه حرارت ماهانه و ساعات آفتابي ماهانه، مربوط به هريك از ايستگاه‌های هواشناسي نزديك به محل اجرای آزمايش‌ها در سال‌های اجرای آزمايش‌ها تهيه و به عنوان ورودی‌های مدل به شكل مورد نياز مدل تبديل و در پوشه ورودی ذخيره شدند. باتوجه به اين كه تشعشع فعال فتوسنتزی (۵۰ درصد تشعشع خورشيدی وارد شده به سطح زمين) به عنوان ورودی مدل مدنظر است. لازم است كه ساعات آفتابي موجود به تشعشع خورشيدی تبديل شوند. بدين منظور از زير مدلي به شرح زير (FAO 56) استفاده گرديد، كه در اين زير مدل از رابطه آنگستروم برای تصحيح تشعشع ورودی بر اساس ساعات آفتابي استفاده شده است(عليزاده، ۱۳۷۸).

$$Ra = 37.6\,dr(Ws.Sin\lambda.Sin\delta + Cos\lambda.Cos\delta.SinWs) \quad (7)$$

$$Ws = Arc\cos(-\tan\lambda.\tan\delta) \quad (8)$$

$$dr = 1 + 0.033\,Cos(0.0172\,J) \quad (9)$$

$$\delta = 0.409\,Sin(0.0172\,J - 1.39) \quad (10)$$

$$J=\text{integer}\ (30.5M-14.6) \quad (11)$$

$$N = 7.64\ Ws \quad (12)$$

$$Rs = 0.77\,(0.25 + 0.5\,n/N)\,Ra \quad (13)$$

$$PAR = Rs \times 0.5 \quad (14)$$

كه در اين معادلات Ra : تابش برون زميني (MJ m^{-2} d^{-1}) ، λ : عرض جغرافيايي (راديان) ، Ws : زاويه ساعتي غروب خورشيد (راديان) ، dr: فاصله نسبي زمين تا خورشيد، δ : زاويه ميل خورشيد (راديان) ، M : شماره ماه ميلادی، J : شماره روز ژوليوسي از ابتدای سال ميلادی، Rs : تشعشع ورودی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

به سايه‌انداز گياهي ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) N، تعداد ساعات روشنايي، n : تعداد ساعات آفتابي و PAR : تشعشع فعال فتوسنتزي ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) است.

واسنجي مدل

پارامترهای گياهي هر يک از ارقام گندم که به عنوان ورودی برای اجرای مدل استفاده شدند، از آزمايش‌های انجام شده در ايستگاه تحقيقات کشاورزی اهواز طي سال‌های زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸٤-۱۳۸۳ به شرح جدول۳ به دست آمدند.

جدول۳- خصوصيات فيزيولوژيکي ارقام گندم مورد استفاده

Table 3. The physiological traits of wheat cultivars

Cultivar	رقم	GDD[1] مورد نياز از سبز شدن تا گلدهي Required GDD from Emergence to Athesis	GDD مورد نياز از گلدهي تا رسيدگي فيزيولوژيکي Required GDD from Anthesis to maturity	حداکثر سرعت نمو رويشي Maximum Development Rate of Vegetative Phase	حداکثر سرعت نمو زايشي Maximum Development Rate of Reproductive Phase	کارآيي مصرف نور Radiation Use Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index (%)
Fong	فونگ	1100	872	0.0143	0.0232	3.0	40
Chamran	چمران	1262	895	0.0126	0.0244	3.4	39
Star	استار	1280	1017	0.0115	0.0244	3.0	36

(۱): GDD : درجه- روز رشد (Growing Degree Days)

(۲): $R_{max,v}$: حداکثر سرعت نمو رويشي (سبز شدن تا گل‌دهي) در دمای مطلوب، معکوس زمان يا d^{-1}

(۳): $R_{max,r}$: حداکثر سرعت نمو زايشي (از گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيک) در دمای مطلوب، معکوس زمان يا d^{-1}

(٤): RUE : کارآيي مصرف تشعشع (ضريب تبديل تشعشع فعال فتوسنتزی به ماده خشک)، گرم ماده خشک بر مگاژول بر متر مربع در روز تشعشع يا $gr\ MJ^{-1}\ m^{-2}\ d^{-1}$

(۵): HI : شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک اندام‌های هوايي)

*سرعت وقوع مراحل نموی گلدهي و رسيدگي فيزيولوژيکي، متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر يک از اين مراحل است (نصيری محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al*., 1994).

ارزيابي مدل

برای ارزيابي مدل، از داده‌های به دست امده از آزمايش‌های انجام شده در دانشگاه رامين، دزفول و بستان در سال زراعي ۸٤-۱۳۸۳ استفاده شد. باتوجه به سال‌های اجرای ازمايش‌ها، داده‌های هواشناسي مربوط به آن سال در هر ايستگاه تنظيم و مدل اجرا گرديد. سپس عملکردهای حاصل از شبيه‌سازی توسط مدل با عملکردهای به دست آمده از آزمايش‌های مزرعه‌ای مستقل مذکور ، مقايسه و توسط شاخص‌های ارزيابي RMSE (Root Mean Square Error) ، MBE (Mean Bias Error)، MPE (Mean Percentage Error) و d (Willmot Agreement Inex) مدل ارزيابي گرديد(جدول٤).

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \qquad (15)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)}{n} \qquad 16)$$

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

$$MPE = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{|O_i - P_i|}{Oi} \right).100 \right] / n \qquad (17)$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2}{\sum \left(\left| P_i - O_{i\,avg} \right| \right) + \left(\left| Oi - Oi_{avg} \right| \right)^2} \qquad (18)$$

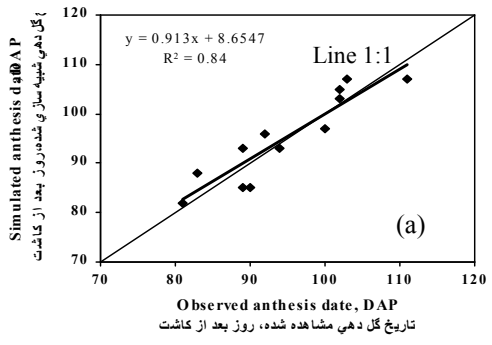
که در این معادلات:

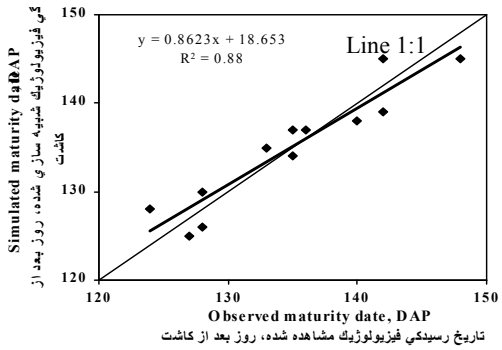
O_i: مقادیر مشاهده شده (واقعي)، P_i: مقادیر شبیه‌سازی شده (پیش‌بیني شده)، n : تعداد مشاهدات و O_{iavg} : میانگین داده‌های مشاهده شده است.

نتایج و بحث

مراحل فنولوژی

مدل «WheatPot» مراحل گل‌دهي و رسیدگي فیزیولوژیک را به خوبي شبیه‌سازی مي‌نماید. مقدار RMSE محاسبه شده برای مراحل گل‌دهي و رسیدگي فیزیولوژیك به ترتیب برابر ۳/۵ و ۲/۵ روز بود. این مدل تاریخ گل‌دهي را ۵+ تا ۵- روز و رسیدگي فیزیولوژیک را ٤+ تا ۳- روز نسبت به زمان‌های مشاهده شده پیش‌بیني نمود. مقادیر دیگر معیارهای ارزیابي شامل MBE ، MPE و d برای زمان گل‌دهي به ترتیب برابر ۰/٤۱ روز، ۲/٦% و ۰/۹۵ و برای مرحله رسیدگي فیزیولوژیك به ترتیب معادل ۰/۰۸ روز، ۱/۲% و ۰/۹٦ بود (جدول ٤). همچنین انالیز رگرسیون بین زمان‌های شبیه‌سازی شده (پیش بیني شده) و مشاهده شده برای گل‌دهي و رسیدگي فیزیولوژیك به ترتیب دارای r^2=۰/۸٤ و r^2=۰/۸۸ بودند(شکل٤). این نتایج نشان مي‌دهد که مدل «WheatPot» مي‌تواند مراحل فنولوژیکي را به طور رضایت‌بخشي پیش‌بیني نماید.





شکل٤- رابطه بین زمان گل‌دهي(a) و رسیدگي فیزیولوژیك (b) شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده

Fig 4. Relationship between simulated and observed anthesis (a) and physiological maturity (b) dates

عملکرد دانه و تولید ماده خشک

مدل مورد نظر برای شرایط پتانسیل اجرا و توانایي آن برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد دانه و ماده خشک مورد ارزیابي قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهای دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده بسته به سال و منطقه بین ۰/۳٤- تا ۱/۰۲ تن در هکتار متغیر بود. به طور کلي مدل پتانسیل عملکرد دانه را تا حدودی بیشتر از عملکرد واقعي (اندازه‌گیری شده) برآورد نمود. مقادیر

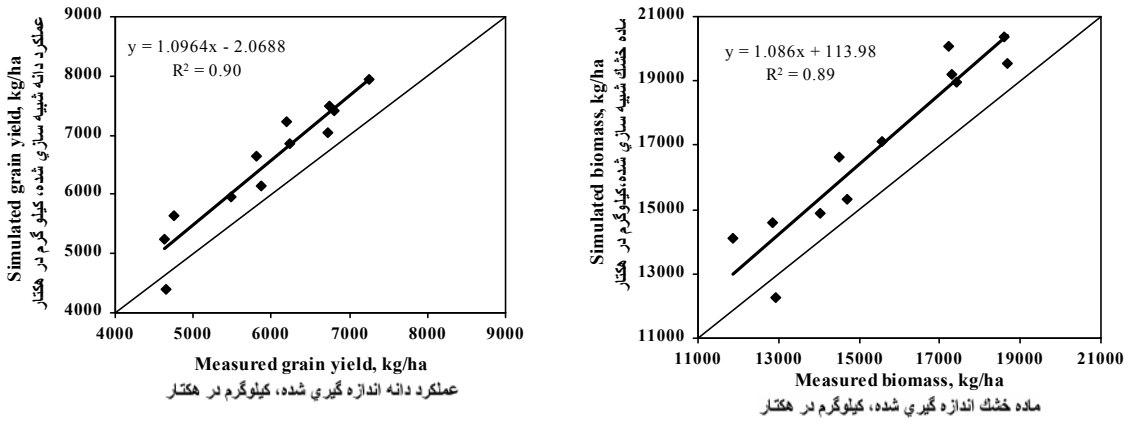
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

محاسبه شده RMSE ، MBE ، MPE و شاخص توافق d، به ترتيب برابر ۰/۷ تن در هكتار، ۰/۷۳ تن در هكتار، ۱۱/۹% و ۰/۸۸ بود. در مقايسه با اين مدل، كاركرد مدل CERES-Wheat در مناطق و سال‌های مختلف چنين گزارش گرديد. مقدار RMSE محاسبه شده بين عملكردهای پيش‌بيني شده و شبيه‌سازی شده برابر ۲٤/ تن در هكتار ۰(Ghaffari *et al.*, 2001) ، ۰/۲۸ تن درهكتار (Bannayan *et al.*, 2003) و ۰/٤ تن در هكتار (Timsina and Hymphres, 2003) بود.

جامسون و همكاران (Jamieson *et al.*, 1998) مدل‌های AFRECWHEAT2 (Porter, 1993) ، (Ritchie and Otter, 1985) CERES-Wheat (Broking *et al.*, 1995) Sirius، SUCROSW2 (Van Laar *et al.*, 1992) و SWHEAT (Van Keulen and Seligman, 1987) را با يكديگر مقايسه نمودند. مقدار RMSE بين عملكردهای شبيه‌سازی شده و مشاهده شده برای مدل‌های مذكور به ترتيب برابر ۰/٦٤، ۰/۹ ، ۱/۲۸ و ۱/٤۲ تن در هكتار بود. مقايسه مقدار RMSE محاسبه شده برای مدل WheatPot (۰/۷ تن در هكتار) با RMSE مدل‌های مذكور كه عملكرد دانه را با استفاده از داده‌های آب و هوايي روزانه شبيه‌سازی مي‌نمايند، نشان داد كه توانايي مدل WheatPot در پيش‌بيني عملكرد دانه تا حدود زيادی مشابه اين مدل‌ها مي‌باشد. به علاوه برازش رگرسيون بين عملكردهای شبيه‌سازی شده و مشاهده شده (r^2 =۰/۹۰) كاركرد اين مدل را در پيش‌بيني عملكرد گندم برای مناطقي كه داده‌های آب و هوايي روزانه وجود ندارد مورد تاييد قرار مي‌دهد (شكل5a). تفاوت‌های بين پتانسيل عملكردهای شبيه‌سازی شده و اندازه‌گيری شده احتمالا به عوامل شناخته نشده كه مشمول مدل نمي‌شوند نسبت داده مي‌شود.

ماده خشك كل شبيه‌سازی شده از ۹۵% تا ۱۱۹% نسبت به ماده خشك كل اندازه‌گيری شده (واقعي) متغير بود. به بيان ديگر تفاوت بين ماده خشك شبيه‌سازی شده و مشاهده شده از ۰/۲٤ تا ۲/۸ تن در هكتار بود. مقدار RMSE محاسبه شده ۱/۷ تن در هكتار و كمتر از ۱۰درصد ميانگين مقادير مشاهده شده بود. مقدار شاخص‌های MBE ، MPE و d به ترتيب برابر ۱/٤ تن در هكتار، ۱۰/۲% و ۰/۸۸ بود. انالیز رگرسيون بين داده‌های شبيه‌سازی شده و مشاهده شده (شكل 5b) توافق خوبي را بين اين دو سری داده‌ها بيان نمود (r^2 =۰/۸۹). به طور كلي مقادير شاخص‌های مذكور مبين كاركرد مناسب مدل در پيش‌بيني ماده خشك كل مي‌باشد. اگرچه در بيشتر حالات ماده خشك شبيه‌سازی شده تا اندازه‌ای بيشتر از مقدار مشاهده شده آن بود كه اين تفاوت احتمالا به عوامل محيطي مؤثر بر كارايي مصرف نور مربوط مي‌شود كه مدل نشده‌اند.



شكل5- رابطه بين عملكرد دانه(a) و ماده خشك (b) شبيه سازی شده و اندازه گيری شده

Fig 5. Relationship between simulated and measured grain yield (a) and biomass (b)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

جدول ٤ - مقایسه نتایج شبیه سازی مراحل گل دهي و رسیدگي فیزیولوژیک، عملکرد دانه و ماده خشک اندامهای هوایي توسط مدل WheatPot با داده های اندازه گیری شده

Table 4. Comparison of the results of anthesis and physiological maturity dates; simulated grain yield and biomass by wheat potential model (WheatPot) with observed data

رقم Cultivar		گلدهی(روز بعد از کاشت) Anthesis (DAP)*			رسیدگی فیزیولوژیک (روز بعد از کاشت) Physiological Maturity (DAP)			عملکرد دانه(کیلوگرم در هکتار) Grain Yield ($kgha^{-1}$)			ماده خشک کل(کیلوگرم در هکتار) Biomass ($kgha^{-1}$)		
		شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	شبیه‌سازی شده Simulated	اندازه‌گیری شده Measured	تفاوت Difference	شبیه‌سازی شده simulated	اندازه‌گیری شده Measured	تفاوت Difference
							اهواز Ahvaz						
Fong	فونگ	88	83	5	128	124	4	6131	5880	251	15327	14700	627
Chamran	چمران	96	92	4	134	135	-1	5955	5475	480	14887	14038	849
Star	ستار	103	102	1	137	135	2	4410	4650	-240	12250	12917	-667
							دانشگاه رامین Ramin Uni						
Fong	فونگ	82	81	1	125	127	-2	6850	6230	620	17125	15575	1550
Chamran	چمران	93	89	4	137	136	1	7950	7250	700	20384	18598	1786
Star	استار	105	102	3	145	142	3	7030	6727	303	19528	18686	842
							دزفول Dezful						
Fong	فونگ	85	89	-4	126	128	-2	6650	5800	850	16625	14500	2125
Chamran	چمران	97	100	-3	138	140	-2	7480	6750	730	19180	17308	1872
Star	استار	107	111	-4	145	148	-3	7225	6200	1025	20070	17222	2848
							بستان Bostan						
Fong	فونگ	85	90	-5	130	128	2	5650	4750	900	14125	11875	2250
Chamran	چمران	93	94	-1	135	133	2	7400	6800	600	18974	17436	1538
Star	استار	107	103	4	139	142	-3	5250	4632	618	14583	12867	1716
RMSE		3.5			2.5			656				1692	
MBE		0.41			-0.08			570				1444	
MPE		2.6			1.2			10.4				10.2	
d		0.95			0.96			0.88				0.88	

* Days After Planting

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

آنالیز حساسیت مدل

نتایج ارزیابی حساسیت مدل نسبت به ورودی‌های مدل، درجه حرارت، تشعشع خورشیدی و تاریخ کاشت (جدول ۵) نشان می‌دهد که مدل به خوبی تأثیر این عوامل را بر پتانسیل عملکرد شبیه‌سازی می‌نماید. پتانسیل عملکرد شاهد در نظر گرفته شده مربوط به کاشت گندم رقم چمران در تاریخ کاشت مناسب (اول آذر) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ می‌باشد.

به منظور ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بر پتانسیل عملکرد گندم، تاریخ کاشت را ۱۰ روز زودتر (۱۰+) و ۱۰ روز دیرتر (۱۰-) به مدل وارد شد. نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل نشان داد که کاشت زودتر به مدت ۱۰ روز باعث ۱/۸ درصد (۱۳۳ کیلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد و کاشت گندم با ۱۰ روز تاخیر منجر به ٦ درصد (٤٥٧ کیلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد می‌گردد. افزایش ۱۰ درصد درجه حرارت در طی فصل رشد باعث ٦/٤ درصد (٤٩٧ کیلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد می‌شود در صورتی که کاهش ۱۰% درجه حرارت در طی فصل رشد موجب ۲/۸ درصد (۲۱۳ کیلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد می‌گردد. همچنین افزایش و کاهش ۱۰ درصدی مقدار تشعشع خورشیدی به ترتیب باعث ۱۰ درصد (۷۵۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش و کاهش در پتانسیل عملکرد می‌شود. این نتایج نشان می‌دهند که حساسیت مدل به تشعشع خورشیدی بیشتر از درجه حرارت است و چنین استنباط می‌شود که درجه حرارت از طریق تأثیر بر سرعت نمو و تغییر طول دورهٔ رشد گیاه بر رشد و عملکرد تاثیر می‌گذارد، در صورتی که تشعشع خورشیدی به عنوان منبع انرژی و نیروی محرکه لازم بر فرایند فتوسنتز و تولید ماده خشک مؤثر است.

جدول ۵- آنالیز حساسیت مدل نسبت به تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی

Table 5. Analysis of model sensivity to sowing date, temperature and solar radiation

Factor	عامل	تغییر(در صد) Variation %	عملکرد دانه(کیلوگرم درهکتار) Grain Yield (kg/ha)	تغییر نسبت به شاهد Change Relative to Control (kg/ha)	درصد تغییر نسبت به شاهد Change Relative to Control %
Control	شاهد	-	7495	0	0.0
Sowing Date	تاریخ کاشت	+10	7630	+133	+1.8
		-10	7040	-457	-6.0
Temperature	درجه حرارت	+10	7018	-497	-6.4
		-10	7710	+213	+2.8
Radiation	تشعشع خورشیدی	+10	8247	+750	+10.0
		-10	6748	-750	-10.0

نتیجه‌گیری

هدف اصلی ساخت این مدل (WheatPot)، تولید یک ابزار کمکی است تا به کمک آن بتوان در مناطقی که با محدودیت داده‌های هواشناسی روزانه بلند مدت مواجه هستند (برخی مناطق کشور) با استفاده از میانگین داده‌های هواشناسی ماهانه، پتانسیل عملکرد را تخمین زد. ارزیابی مدل با استفاده از نتایج آزمایش‌های اجرا شده نشان داد که مدل به طور رضایت‌بخشی قادر است پتانسیل عملکرد را پیش‌بینی نماید. نتایج آنالیز حساسیت مدل نیز مبین آن است که مدل می‌تواند

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

اثـرات تـاریخ کاشـت، درجـه حـرارت و تشعشـع خورشیدی را بر عملکرد دانه شبیه‌سازی نمایـد. اگرچه مدل مي‌تواند تا حدودی تفاوت پتانسیل عملکرد را بـین ژنوتیـپ‌هـای مختلـف گنـدم شـبیه‌سـازی نمایـد، لـیکن استفاده از آن برای ارزیابي پتانسیل عملکـرد ژنوتیـپ‌هـا در اقلیم‌های مختلـف مسـتلزم وارد نمـودن پارامترهـا یـا خصوصـیات ژنتیکـي بیشـتری از ژنوتیـپ‌هـا در مـدل مي‌باشد. به طور کلي با تهیه داده‌های هواشناسـي ماهانـه در یک دوره بلند مدت برای هر منطقه مي‌توان پتانسـیل عملکرد گندم آن منطقه را توسط این مدل تخمین زد.

منابع مورد استفاده

References

علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه‌ی آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا. ۳۵۳ صفحه.

نصیری محلاتي، م. ۱۳۷۸. مدل‌سازی فرایندهای رشد گیاه زراعي، انتشارات جهاد دانشگاهي مشهد. ۲۸۰ صفحه.

Amir, J. and T. R. Sinclair. 1991. A model of temperature and solar radiation effects on spring wheat growth and yield. Field Crops Research, 28, 47-58.

Asadi, M. E. and R. S. Clement. 2003. Evaluation of CERES-maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. Food Agriculture and Environment. 1(3-4): 270-276.

Bannayan, M., N. M. Crout and G. Hoogenboom. 2003. Application of CERES-Wheat Model for within-season prediction of winter wheat yield in United Kingdom. Agron. J. 95, 114-125.

Bannayan, M., G. Hoogenboom and N. M. Crout. 2004. Photothermal impact on maize performance: a simulation approach. Ecological Modelling. 180 (2&3): 277-290.

Boogaard, H. L., C. A. Van Diepen., R. P. Rotter., J. M. C. A. Carberea and H. H. Vaan Laar. 1998. User's guide for WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST control center.1.5. Technical document 52. DLO. Winda Staring Center Wageningen.

Brooking, I. R., J. P. D. Amieson., and J. R. Porter. 1995. The influence of day length on the final leaf number in spring wheat. Field Crops Research. 41: 155-165.

Ehdaie, B. and J. G. Waines .2001. Sowing dates and nitrogen rates effect on dry mater and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. Field Crops Research. 73:47-61.

Evans, L. T. 1993. Crop evaluation, adaptation and yield. Cambridge University Press.

Ewert, F., M .Van Dijenand., and J. R. Porter. 1999. Simulation of growth and development processes of spring wheat in response to CO2 and Ozone for different sites and years in Europe using mechanistic crop simulation models. European J. Agron. 10: 231-247.

Ghaffari, A., H. F. Cook., and H. C. Lee .2001. Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. European Journal of Agronomy. 15: 231-240.

Gao, L., Z . Jin., Y. Hung., and H. Zhang .1992. Rice-clock model: A computer model to simulate rice development. Agricultural Forest and Meteorology. 39: 205-213.

Horie, T., H. Nakagawa., H. G. S. Centeno., and M. J. Kropff .1995. The rice crop simulation model

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

SIMRIW and its testing. In: Matthews R B; Kropff M. J. Bachelet D.; Van laar H. H. (Eds.). Modeling the impact of climate change on rice production in Asia. CABI, IRRI, Walling ford. PP. 51-66.

Jamieson, P. D., J. R. Porter., J. Goudriaan., J .T. Ritchie., H. Van Keulen and W. Stol .1998. A comparison of the models AGRCWHEAT2, CERES-wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. Field Crops Research. 55: 23-44.

Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phill, Trans. R. Soc. Landon ser. B.281. 277- 249.

Monteith, J. L., and R. K. Scott .1982. Weather and yield variation of crops. In: K. Blaxter and L.Fowden (Editors), Food, Nutriyion and Climate. Applied Science, Englewood Cliffs, NJ. PP.127-149.

Muchow, R .C. 1990. Effect of high temperature on grain growth in maize. Field Crops Research. 23: 145-158.

Pala, M. 1995. Use of models to enhance nitrogen use by wheat. In proceeding of the soil fertility workshop, 19-23 November 1995, Aleppo, Syria.

Pirmoradian, N., and A. R. Sepaskhah. 2005. A very simple model for yield prediction of rice under different water and nitrogen applications. Biosystems Engineering. 93(1): 25-34.

Porter, J. R. 1993. AFRECWHEAT2, a model of the growth and development of wheat incorporating responses to water and nitrogen. European Journal of Agronomy. 2: 69-82.

Ritchie, J. T., U. Singh., D. C. Godwin and W. T. Bowen. 1998. Cereal growth, development and yield. In: Tsuji G Y (ed.): Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic publishers.

Ritchie, J. T. and S. Otter. 1985. CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model AGRISTARS PUBL., YM-U3-0442-JSC-18892, Johonson Space Center, Houston,TX.

Sheehy, J. E., S. Peng., A. Doberman and P. L. Mitchell. 2004. Fantastic yields in the system of rice intensification: Fact or fallacy? Field Crops Research. 88: 1-8.

Spaeth, S. C., T. R. Sinclair; T. K .Ohunuma and S. Onno. 1987. Temperature, radiation and duration dependence of light soybean yields: measurements and simulation. Field Crops Research. 16: 297-307.

Streck, N. A., A. Weiss., Q. Xue and P. S. Baenziger. 2003. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. Agricultural Forest and Meteorology. 115: 139-150.

Suipt, I. 1997. Prediction national wheat yields using a crop simulation and trend models. Agricultural Forest and Meteorology. 88: 199-214.

Timsina, J. and E. Humphreys. 2003. Performance and application of CERES and SWAGMAN destiny models for rice-wheat cropping system in Asia and Australia: A review. CSIRO Land and water, Griffith. Technical Report.

Timsina, J. and E. Humphreys. 2006. Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. Agricultural Systems. 90: 5-31.

Travasso, M. I. and R. Delecolle. 1995. Adaptation of CERES-Wheat model for large area yields estimation in

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

Argentina. European Journal of Agronomy. 86: 860-868.

Van Laar, H. H., J. Goudriaan and H. Van Keulen. 1992. Simulation crop growth for potential and water limited production situations (as applied to spring wheat) Simulation reports CABO-TT, 27, CABO-DLO/ TPE-WAU, Wageningen, 78pp.

Van Keulen. H. and N. G. Seligman. 1987. Simulation of water use, nitrogen nutrition and growth of spring wheat Crop. PUDOC. Wageningen, 310pp.

Wang, E. and T. Engel. 1998. Simulation of phenological development of wheat crops. Agricultural Systems. 58: 1-24.

Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorology Society. 63: 1309-1313.

Zadoks, J. C., J. J. Chang and C. F. Konzack. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Research. 14:415-421.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

WheatPot: A simple model to simulate grain yield potential of spring wheat I- Model description and evaluation

B. Andarzian[1], A. M. Bakhshandeh[2], M. Bannayan[3], Y. Emam[4], G. Fathi[5], K. Alami Saeed[6]

ABSTRACT

Andarzian, B., A. M. Bakhshandeh, M. Bannayan, Y. Emam, G. Fathi and K. Alami Saeed, 2007. WheatPot: A simple model to simulate grain yield potential of spring wheat I- Model description and evaluation. Iranian Journal of Crop Sciences. 9 (2): 109-124

A simple mechanistic crop growth simulation model "WheaPot" was developed for simulating site-specific wheat yield potential. The model simulates critical phonological stages and dry matter production as a function of temperature and solar radiation. Crop aspects of the model including developmental stages, dry matter production and grain yield are modulated in sub-models. The model requires inputs of site mean monthly weather data (minimum and maximum temperatures in ˚C) and photosynthetically active radiation (PAR in MJ m^{-2}), and plant characteristics such as sowing date, required growing degree days (GDD) for vegetative and reproductive phases, radiation use efficiency (RUE in g MJ^{-1}), and harvest index (HI). The model was verified using different experiments, which were carried out in several locations in Khuzestan province in 2003-2004 and 2004-2005 growing seasons. Comparison of simulated and measured values under non-limiting conditions indicated satisfactory performance of the model in predicting anthesis and maturity dates, and a fair prediction of dry matter production and grain yield with root mean square error (RMSE), 3.5 d, 4 d, 0.65 t ha^{-1} and 1.69 t ha^{-1}, respectively. The model proved as a useful tool for a rough estimation of wheat yield potential at regional level where there is no access to daily weather data.

Key words: Modeling, Yield potential, Wheat, Dry matter, Grain yield, Maturity.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

Received: Februray, 2007.

1- Faculty member, of Agriculture and Natural Resources Research Center of Khuzestan, Ahvaz, Iran (Corresponding author)
2- Professor, Agriculture and Natural Resources University of Ramin, Ahvaz, Iran. .
3- Associate Prof. of Universityof Ferdowsi, Mashhad, Iran.
4- Professor, The University of Shiraz.
5- Associate Prof., Agriculture and Natural Resources University Of Ramin, Ahvaz, Iran.
6- Assistant Prof., Agriculture and Natural Resources University of Ramin, Ahvaz, Iran.