

WheatPot: ساده برای سازی بل عملکرد دانه گندم بهاره -I- ب ف و ارز مدل

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

بهرام اندرزیان، عبدالمهدی بخشنده بان، امام، قدرت اله فتحی و خلیفه

بده

اندرزیان، ب.، ع. م. بان، ی. امام، ق. و خ. WheatPot: ساده برای سازی بل عملکرد دانه گندم بهاره I-
و ارز: مدل. مجله علوم زراعت ایران. () -

یک مدل مکانی ساده به نام «WheatPot» برای سازی بل عملکرد دانه گندم در مقیاس منطقه‌ای
مدل مراحل اصلی فنولوژی و تولید ماده خشک را به عنوان تابع از درجه حرارت و تشعشع خورشیدی سازی کند و شامل
زیرمدل‌های مراحل نمو، تولید ماده خشک و عملکرد دانه می‌باشد. ورودی‌های مورد نیاز جهت اجرای مدل برای
بن ماهانه داده، ی آب و هوا (درجه حرارت، ی حداقل و حداکثر و تشعشع خورشیدی) و خصوصیات گیاه زراعت (تاریخ
بزان درجه-روز رشد، GDD مورد نیاز برای مراحل فنولوژی، کارایی مصرف نور و شاخص برداشت) با استفاده
از نتایج آزمایش‌های انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طی سال‌های زراعت ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ مدل مورد ارزیابی
قرار گرفت. سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد، که تحت شرایط بل، مدل می‌تواند مراحل
فنولوژی، بد ماده خشک و عملکرد دانه را به خوبی به سازی به طوری که مقدار ریشه انحراف بین مربعات
اشتباه (RMSE) برای تاریخ برداشت، دهه، رسوب، بولور، بد ماده خشک و عملکرد دانه به ترتیب برابر ۱/۱ روز، ۱/۱ روز،
/ تن در هکتار و ۱/۱ تن در هکتار می‌باشد. بنابراین، این مدل می‌تواند به عنوان یک ابزار کاربردی برای
بل عملکرد دانه گندم در مناطق که فاقد داده‌های آب و هوا، روزانه هستند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل سازی، بل عملکرد دانه، گندم، مراحل فنولوژی، تاریخ گل دهی عملکرد دانه.

تاریخ دریافت: / /

- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (اهواز) (مکاتبه کننده)

و، -، استاد، دانشیار و استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامهرمز

- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی

- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

براساس داده‌ی آب و هوا.

مواد و روش

- آزما ی مزرعه‌ای

داده‌ی مورد نیاز برای واسنج و بررسی این مدل از آزما ی انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طی سال‌ی زراعی - و - فراهم شده‌اند. یک آزمایش با دو تار (اذر و اذر) و سه رقم گندم (فونک، استار و چمران) به صورت طرح کرت‌ی خرد شده در قالب بلوک‌ی کامل تصادفی با چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طی خوزستان در اهواز در سال زراعی - اجرا گردید. چهار آزمایش مشابه دیگر در چهار نقطه از استان، شامل مزرعه آزما ی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طی رامهرمز، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طی خوزستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور (در ی دزفول) و شهرستان دشت آزادگان در سال زراعی - اجرا گردید (جدول 1). یک از این آزما ی رقم گندم (فونک، چمران، استار) بود که تقریباً در اوایل آذر ماه به صورت طرح بلوک‌ی کامل تصادفی با چهار تکرار کشت شدند. در همه آزما ی کرت آزما ی براساس بذردر مترمربع در ردیف به طول متر و به ف متر از باغ غذا ی بر مبنای آزمون خاک محل، ی آزمایش و برای دست عملکرد تامین گردید. در طی فصل رشد علف‌ی هرز به روش شب کنترل شدند و هیچگونه آفت و بیماری مشاهده نشد. به منظور تامین رطوبت خاک، زمان بزبان رطوبت خاک به درصد رطوبت قابل دسترس خاک (اندازه ی به روش وزن) (ی مصرف متردر هکتار، ای یاری کرت‌ها انجام می

مراحل اصلی فنولوژی براساس مقب‌اس زادوکس (Zadoks et al., 1974) از طریق بازدید ی مستمر از مزارع یادداشت می. برای اندازه ی رات وزن خشک گیاه در هر روز یک بار از معادل m^2 / باهان کف بر شده و سپس به مدت ساعت در دمای $^{\circ}C$ در اون خشک و سپس توز. (Ehdaie and Wains, 2001). برداشت نهایی کرت، روز بعد از رسب بولور (زرد شدن اخ انکره % از گیاهان) انجام شد.

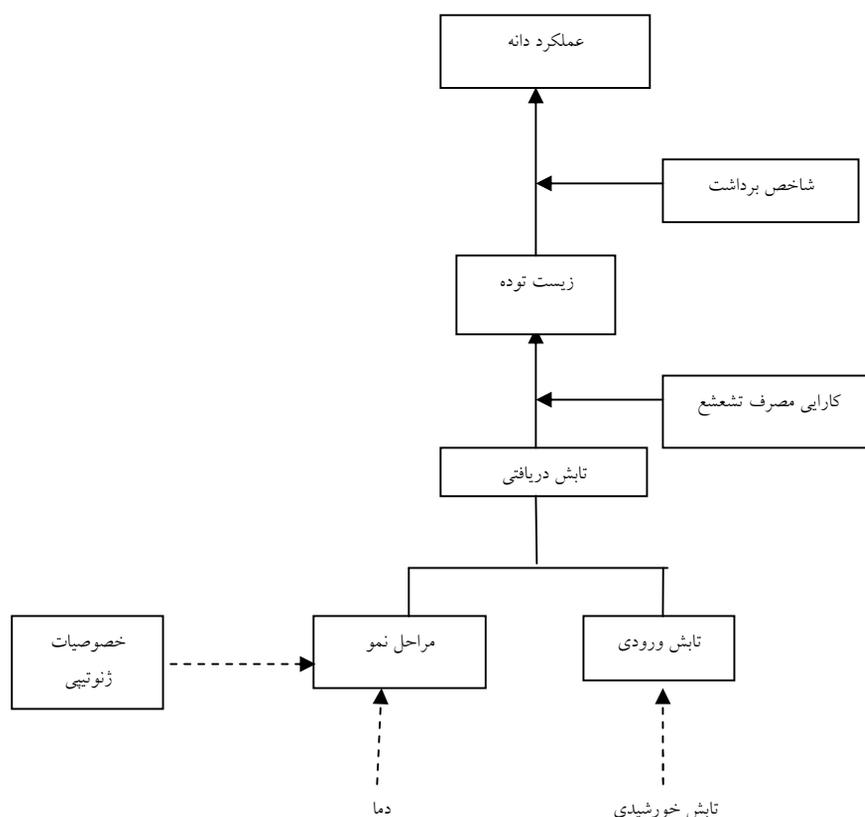
- مدل سازی و توصیف مدل

ساختار مفهوم مدل «WheatPot» در نشان داده شده است. عملکرد دانه به عنوان حاصل ضرب شاخص برداشت در ماده خشک کل محاسبه می شود. محاسبات زیر مدل، ی فنولوژی، تجمع ماده خشک و تشعشع در برای بین عملکرد ضروری در بکان، ی ممتد نشانگر ارتباطات منطبق بین مدل‌ها و پیکان، ی شکسته نشانگر ورودی، ی آب و هوا و گ برای اجرای مدل می. مدل بر این اساس ساخته شده است که تشعشع خورش ی دریافت شده توسط برگ، ی انداز گیاه انرژی برای رشد گیاه است. زمان باه زراعی تحت شرایط رطوبتی و تغذ ای مطلوب رشد می یک رابطه خطی بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation, PAR) در شده و ماده خشک تجمع یافته وجود دارد (Montith et al., 1977; Sheehy et al., 2004). این رابطه خطی کارا ی مصرف تشعشع (Radiation Use Efficiency, RUE) مده می شود. کارا ی مصرف تشعشع برای گندم ی - گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در (PAR) در واحد سطح () بر است و برای برآورد آن در هر ژنوتیپ رایت مطلوب تغذ ای و رطوبتی، از طریق

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

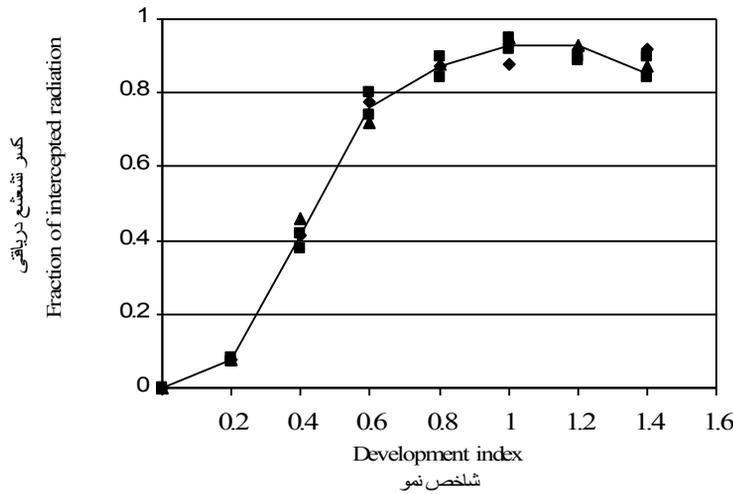
Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

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



WheatPot - الگوریتم برای مدل

Fig. 1. Algorithm for WheatPot model



رابطه ی و کسر تشعشع در

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

برآزش داده شده بین مراحل نموی
(= سبز شدن، =)
ما ظهور کامل سنبله
و = رسب) و شاخص سطح برک به دست آمد
(Sheehy et al., 2004). معادله استفاده شده
برای بل عملکرد عبارت است از
(Evans, 1993):

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

کسر تشعشع فعال فتوسنتزی در
(Fraction of intercepted radiation, F_i)
ماه زراع (Development Index, DVI)
ماه زراع را بیان می دهد، برآورد
کرد. (Horie et al., 1995).

$$F = \frac{a}{1 + \text{Exp}((b - DVI / C))} \quad (2)$$

ی $C = l$ $b = l$ $a = l$
معادله با $(r = l)$
DVI، از طریق جمع کردن سرعت
فاصله زمان بین مراحل فنولوژی.
گردد (Horie et al., 1995).

بم نمودن ماده خشک کل تجمع یافته در اندام-
ی هوا. در مرحله رسب بولوژ. بر مجموع
تشعشع فعال فتوسنتزی در. از مرحله سبز شدن تا
رسب و لوژ. شود
(Ewert et al., 1999). رابطه بین مراحل نمو و کسر
تشعشع فعال فتوسنتزی در. () از طریق

HI عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
برداشت (نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولد
شده) است که در طی دوره پر شدن دانه به طور خطی
افزایش می یابد. (Amir and Sinclair, 1991) RUE
کارا. مصرف تشعشع (گرم ماده خشک بر مگاژول)
 Q_{dPARi} متوسط روزانه تشعشع دریافت شده در هر ماه
(مگاژول) F_i کسر تشعشع در P_i تعداد روزها.
که تشعشع دریافت کرده (روز) Δ_{Ei} کسری از
حداکثر کارا. مصرف تشعشع که متناسب با سطح
برک موثر (تفاضل حداکثر سطح برک و سطح برک
تلف شده در اثر زوال برک) است و n تعداد ماهها در
فصل رشد می باشد.

سرعت نمو آنها در مناطق مشابه اهواز درجه حرارت است (بی)، که طبق معادله زیر (Streck *et al.*, 2003; Wang and Engel, 1998) کژاردر (Wang and Engel, 1998) تابع واکنش حرارتی (f(T)) گردد:

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

تابع واکنش حرارتی (f(T)) گردد (Wang and Engel, 1998):

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

$$a = \frac{L \cdot \bar{r}}{L \cdot [(T_{max}-T_{min}) / (T_{opt}-T_{min})]} \quad (6)$$

DVI در زمان (t) و DVR_i سرعت نمو در روز (i)م بعد از سبز شدن گیاه می باشد که متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر یک از این مراحل است (Ritchi *et al.*, 1994). باتوجه به این که ژنوتیپ مورد آزمایش برای مدل سازی از تیپ بهاره می باشند و بودن ندارند، مهمتر.

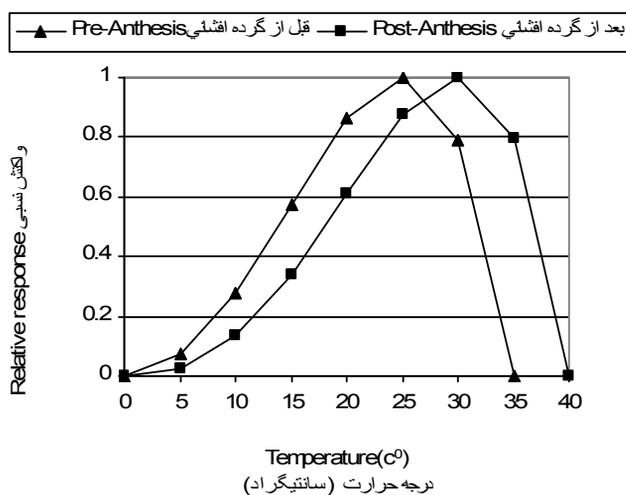


Fig. 3. Temperature response of development rate

گراد در نظر گرفته می شود (Wang *et al.*, 1998). برای مرحله سبز شدن تا کل دهه $DVI < 1$ و برای دهه تارسی بولوز: $1 < DVI < 2$ منظور کرد: (Sheehy *et al.*, 2004). سپس با استفاده از داده های اقلی () مدل اجرا و پتانسیل عملکرد برای سازی گرد.

T_{min} و T_{opt} (درجه حرارت های اصل) و T_{max} ب درجه حرارت، ی حداقل، مطلوب و حداکثر و T ن درجه حرارت ماهانه می باشد. برای شدن تا کل دهه کنیم T_{min} و T_{opt} و T_{max} و درجه سانتی گراد و برای دهه تارسی بولوز: T_{min} و T_{opt} و T_{max} و درجه

جدول - انطباق شاخص نمو با مراحل رشد گندم در مقیاس زادکس (Wang and Engel, 1998)

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

باس زادکس Zadoks Scale	Development Index	Commencement of stage	شروع مرحله	Stage	
0.0	-1.0	Sowing		Pre- Emergence	قبل از رو:
0.5	- 0.5	Germination	جوانه زنی		
10.00	0.0	Emergence	سبز شدن		
14.22	0.20	Spiklet Initiation	آغازش سنبلچه		
30.00	0.45	Terminal Spiklet	سنبلچه انتها:	Pre-Anthesis	قبل از گل دهی
40.00	0.65	Flag Leaf	برگ پرچم		
50.00	0.90	Spike Emergence	ظهور سنبله		
60.00	1.00	Anthesis	دهی		
70.00	1.15	Milky grain	دانه شیری	Post- Anthesis	بعد از گل دهی
80.00	1.50	Doughy grain	دانه خمیری		
90.00	1.95	Pysiological Maturity	رسب بولوز:	Ripening	رسب
92.00	2.00	Maturity	رسب		

داده های هواشناسی

بن درجه حرارت ماهانه و ساعات آفتاب
ماهانه، مربوط به هر از ایستگاه هواشناسی
نزدیک به محل اجرای آزمایشها در سال اجرای
آزمایشها و به عنوان ورودی مدل به شکل
مورد نیاز مدل تبدیل و در پوشه ورودی ذخیره شدند.
باتوجه به این که تشعشع فعال فتوسنتزی (درصد

تشعشع خورشیدی وارد شده به سطح زمین) به عنوان
ورودی مدل مدنظر است. لازم است که ساعات آفتاب
موجود به تشعشع خورشیدی منظور
از زمین به شرح زیر (FAO 56) استفاده کرد، که
در این زیر مدل از رابطه آنکسترم برای
ورودی بر اساس ساعات آفتاب استفاده شده
است (بزاده،) .

$$Ra = 37.6 dr (Ws \cdot \sin \lambda \cdot \sin \delta + \cos \lambda \cdot \cos \delta \cdot \sin Ws) \quad (7)$$

$$Ws = \text{Arc cos}(-\tan \lambda \cdot \tan \delta) \quad (8)$$

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

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

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

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

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

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

زمین تا خورشید زاویه δ : زاویه
(راد) M : شماره ماه میلادی، J : شماره روز
ژول از ابتدای سال میلادی، Rs : تشعشع ورودی

در این معادلات Ra : تابش برون زمین
($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) λ : عرض جغرافیایی (راد) N
زاویه Ws : زاویه غروب خورشید (راد) dr :

اندازه: N (MJ m⁻² d⁻¹) : تعداد ساعات
 روشنایی: n : تعداد ساعات آفتاب و PAR :
 فعال فتوسنتزی (MJ m⁻² d⁻¹) است.
 عنوان ورودی برای اجرای مدل استفاده شدند، از
 آزمایشی انجام شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی
 اهواز طی سالهای زراعتی - و -
 شرح جدول به دست آمدند.
 واسنج مدل
 پارامترهای
 یک از ارقام گندم که به

جدول - ۱ - ارقام گندم مورد استفاده

Table 3. The physiological traits of wheat cultivars

Cultivar	رقم	GDD مورد نیاز از از سبز شدن تا Required GDD from Emergence to Anthesis	GDD مورد نیاز از دهم رسب بولوز: Required GDD from Anthesis to maturity	حداکثر رو: Maximum Development Rate of Vegetative Phase	حداکثر زا: Maximum Development Rate of Reproductive Phase	کارآیی صرف نور Radiation Use Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index (%)
Fong		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

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

($R_{max,v}$: حداکثر سرعت نمو رو: (سبز شدن تا گل دهی) در دمای مطلوب، معکوس زمان: d^{-1})

($R_{max,r}$: حداکثر سرعت نمو زا: (از گل دهی تا رسب بولوز) در دمای مطلوب، معکوس زمان: d^{-1})

(RUE : کارآیی مصرف تشعشع) : بل تشعشع فعال فتوسنتزی به ماده خشک، گرم ماده خشک بر مگازول بر متر مربع در روز تشعشع: $gr MJ^{-1} m^{-2} d^{-1}$

(HI : شاخص برداشت نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک اندامی هوا:)

Ritchi *سرعت وقوع مراحل نموی دهم و رسب بولوز: متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر یک از این مراحل است ($et al., 1994$)

ارزیابی مدل عملکردهای به دست آمده از آزمایشی مزرعهای

مذکور، مقایسه و توسط شاخصهای
 ارزیابی (Root Mean Square Error) RMSE و
 (Mean Bias Error) MBE (Mean Percentage Error) و
 (Willmot Agreement Index) d مدل ارزیابی
 گردید (جدول ۱).

برای ارزیابی مدل، از دادههای به دست آمده از
 آزمایشی انجام شده در دانشگاه رامین، دزفول و
 بستان در سال زراعتی - استفاده شد.
 سالهای اجرای آزمایشها، دادههای هواشناسی مربوط
 به آن سال در هر ایستگاه تنظیم و مدل اجرا گردید.
 سپس عملکردهای حاصل از شبیهسازی توسط مدل با

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

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

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

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left((P_i - O_{i_{avg}}) + (O_i - O_{i_{avg}}) \right)^2} \quad (18)$$

که در این معادلات:

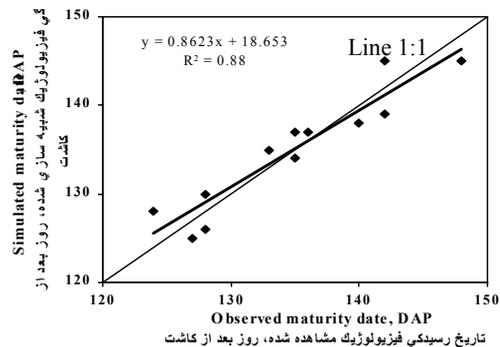
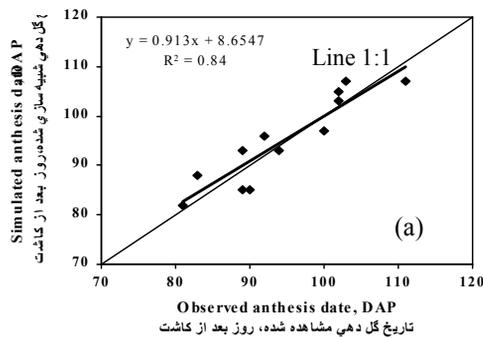
O_i : مقادیر مشاهده شده (واقع) P_i : مقادیر سازی شده (شده) n : تعداد مشاهدات و $O_{i_{avg}}$: میان داده‌ی مشاهده شده است.

رسب بولوژیک را + - روز نسبت به زمان- ی مشاهده شده پی نمود. مقادیر د. بارهای ارزی MBE MPE و d برای زمان گل دهی ب برابر / روز، / % و / و برای رسب بولوژ: ب معادل / روز، / % و / بود (جدول). بین آنالیز رگرسیون ب زمان ی سازی شده (شده) و مشاهده شده برای دهی و رسب بولوژ: ب دارای / و $r =$ / بودند (). ا. بچ نشان م دهد که مدل «WheatPot» تواند مراحل فنولوژی را به طور رضا

بج و بحث

مراحل فنولوژی

مدل «WheatPot» مراحل گل دهی و رسب بولوژیک را به خوبی سازی مقدار RMSE محاسبه شده برای مراحل گل دهی و رسب بولوژ: ب برابر / و / روز بود. ا. مدل تار دهی را + - روز و



- رابطه بین زمان گل دهی (a) و رسب بولوژ: ب (b) سازی شده و اندازه ی شده

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

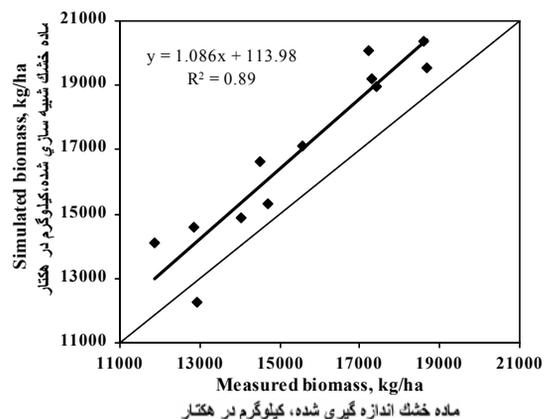
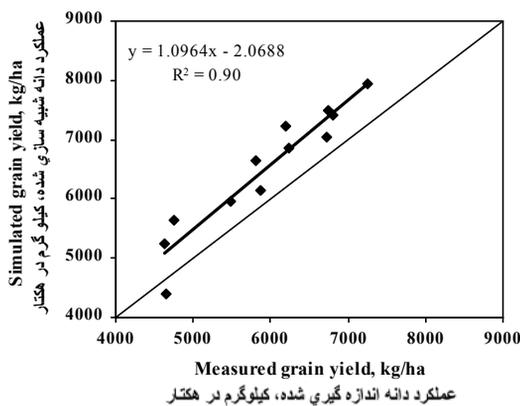
عملکرد دانه و تولید ماده خشک

مدل مورد نظر برای شرا. ل اجرا و توانا. آن برای سازی ب عملکرد دانه و ماده خشک مورد ارزی قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهای دانه

سازی شده و اندازه ی شده بسته به سال و منطقه / - / تن در هکتار متغیر بود. به طور کلی مدل پتانسیل عملکرد دانه را تا حدودی از عملکرد واقع (اندازه ی شده) برآورد نمود. مقادیر

رگرسیون بین عملکردهای سازی شده و مشاهده شده ($r = 1$) کارکرد این مدل را در پ عملکرد کندم برای داده های آب و هوا روزانه وجود ندارد مورد تأیید قرار می دهد (a). تفاوتی بین عملکردهای سازی شده و اندازه گیری شده احتمالاً به عوامل شناخته نشده که مشمول مدل نمی شوند نسبت داده می شود. ماده خشک کل شیء سازی شده از % % نسبت به ماده خشک کل اندازه گیری شده (واقع) مربوط. این دیگر تفاوت بین ماده خشک سازی شده و مشاهده شده از % / تن در هکتار بود. مقدار RMSE محاسبه شده ' / تن در هکتار و کمتر از درصد بین مقادیر مشاهده شده بود. مقدار شاخص های MBE MPE و d ب برابر / تن در هکتار، % و / بود. آنالیز رگرسیون بین داده های سازی شده و مشاهده شده (b) (توافق خوبی را بین این دو سری داده، این نمودار ($r = 1$) به طور کلی مقادیر مذکور بین کارکرد مناسب مدل در پی ماده خشک کل شده تا اندازه ای بیشتر از مقدار مشاهده شده آن بود که این تفاوت احتمالاً به عوامل محیطی مؤثر بر کارایی مصرف نور مربوط می شود که مدل نشده اند.

محاسبه شده RMSE MBE MPE و شاخص توافق d ب برابر ' / تن در هکتار، / تن در هکتار، % و / بود. در مقایسه با این مدل، کارکرد مدل CERES-Wheat در مناطق و سال های گزارش گردید. مقدار RMSE محاسبه شده بین عملکردهای سازی شده و شیء سازی شده برابر / تن در هکتار (Ghaffari et al., 2001) در هکتار (Bannayan et al., 2003) و / تن در هکتار (Timsina and Hymphres, 2003) بود. جامسون و همکاران (Jamieson et al., 1998) مدل، ی AFRECWHEAT2 (Porter, 1993) (Ritchie and Otter, 1985) CERES-Wheat (Broking et al., and Otter, 1985) SIRIUS2 (Van Laar et al., 1992) SUCROS2 و SWHEAT (Van Keulen and Seligman, 1987) را با سه نمودار. مقدار RMSE بین عملکردهای سازی شده و مشاهده شده برای مدل، ی مذکور به ب برابر / / / / و / تن در هکتار بود. سه مقدار RMSE محاسبه شده برای مدل WheatPot (/ تن در هکتار) RMSE مدل، ی مذکور که عملکرد دانه را با استفاده از داده های آب و هوا روزانه شیء سازی بند، نشان داد که توانایی مدل WheatPot در پی عملکرد دانه تا حدود زیادی مشابه این مدل، به علاوه برآزش



- رابطه بین عملکرد دانه (a) و ماده خشک (b) به سازی شده و اندازه گیری شده

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

جدول - به سازی مراحل کل دهم و رسب بولوژیک، عملکرد دانه و ماده خشک اندامهای هوا. 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

رقم Cultivar	data												
	دهی (روز بعد از کاشت) Anthesis (DAP)*			رسیدگی فیزیولوژیک (روز بعد از کاشت) Physiological Maturity (DAP)			عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain Yield (kg ha ⁻¹)			ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار) Biomass (kg ha ⁻¹)			
	سازي شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	سازي شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	سازي شده Simulated	اندازه گيري شده Measured	تفاوت Difference	سازي شده simulated	اندازه گيري شده Measured	تفاوت Difference	
اهواز Ahvaz													
Fong		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		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		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		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

آنال: بت مدل

بت مدل نسبت به ورودی، ی
مدل، درجه حرارت، تشعشع خورشیدی و تاریخ (جدول) نشان می‌دهد که مدل به خوبی برا
عوامل را برپتانسیل عملکرد شبیه‌سازی
بل عملکرد شاهد در نظر گرفته شده مربوط به
کاشت گندم رقم چمران در تاریخ (اول
آذر) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز در سال
زراعت -
به منظور ارزیابی بر تاریخ
عملکرد گندم، تاریخ کاشت را روز زودتر (+) و
روز دیر (-) به مدل وارد شد. سازی
شده توسط مدل نشان داد که کاشت زودتر به مدت
روز باعث ۱۰ درصد (بلوگرم در هکتار)
افزایش عملکرد و کاشت گندم با روز تاخیر
درصد (بلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد

گردد. افزایش ۱ درصد درجه حرارت در طی
فصل رشد باعث ۱ درصد (بلوگرم در هکتار)
کاهش عملکرد می‌شود در صورتی %
درجه حرارت در طی فصل رشد موجب ۱۰ درصد
(بلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد می‌گردد.
بن افزایش و کاهش درصدی مقدار تشعشع
خورشیدی ۱ درصد (بلوگرم در
هکتار) افزایش و کاهش در پتانسیل عملکرد می‌شود.
این نشان می‌دهند که حساسیت مدل به
تشعشع خورشیدی بیشتر از درجه حرارت است و چنانچه
استنباط می‌شود که درجه حرارت از طریق
سرعت نمو و تغییر طول دوره رشد گیاه بر رشد و
عملکرد تأثیرگذار است. گذارد، در صورتی
تشعشع خورشیدی به عنوان منبع انرژی و
روی محرکه لازم بر فرایند فتوسنتز و تولید
ماده خشک مؤثر است.

جدول ۵ - آنال: بت مدل نسبت به تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی

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

Factor	Variation % (درصد)	عملکرد دانه (بلوگرم در هکتار) Grain Yield (kg/ha)	درصد تغییر	
			Change Relative to Control (kg/ha)	Change Relative to Control %
Control	-	7495	0	0.0
Sowing Date تاریخ	+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

ی

هدف اصلی ساخت این مدل (WheatPot)
یک ابزار کمکی است تا به کمک آن بتوان در مناطقی
که با محدودیت داده‌های هواشناسی روزانه بلند مدت
مواجه هستند (مناطق کشور) با استفاده از مدل

داده‌های هواشناسی بل عملکرد را تخمین
زد. ارزیابی مدل با استفاده از نتایج آزمایشی اجرا
شده نشان داد که مدل به طور رضایتمند قادر است
بل عملکرد را پیش‌بینی کند. این آنال
بت مدل نیز بن آن است که مدل می‌تواند

اثرات تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی را بر عملکرد دانه شیی سازی . اگرچه مدل م تواند تا حدودی تفاوت پتانسیل عملکرد را ب ژن ی مختلف گندم شیی سازی استفاده از آن برای ارزی بل عملکرد ژنوتیپ در اقلب ی مختلف مستلزم وارد نمودن پارامترها ؛ ات ژنتی ی از ژنوتیپ ها در مدل به طور کلی به داده ی هواشناسی در یک دوره بلند مدت برای توان پتانسیب عملکرد گندم آن منطقه را توسط این مدل تخمین زد.

References

منابع مورد استفاده

- زاده، ا. ، رابطه ی آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا. ، م. ، مدل سازی فرا ی رشد گیاه زراعی ، انتشارات جهاد دانشگاهی .
- 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. Carberrea 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

- 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. *Phil, 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

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.

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

B. Andarzian¹, A. M. Bakhshandeh², M. Bannayan³, Y. Emam⁴, G. Fathi⁵,
K. Alami Saeed⁶

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 phenological 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.

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 University of 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.