

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

بهرام اندرزیان ، عبدالمهدی بخشند
بان امام ، قدرت الله فتح و خل

بده

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

نک مدل مکانی ساده به نام «WheatPot» برای سازی بل عملکرد دانه گندم در مقیاس منطقه‌ای ۱. مدل مراحل اصل فنولوژی و تولید ماده خشک را به عنوان تابع از درجه حرارت و تشبع خورشی سازی گندم و شامل ذیور مدل، ی مراحل نمو، تولید ماده خشک و عملکرد دانه، ورودی، ی مورد نیاز جهت اجرای مدل برای بن ماهانه داده، ی آب و هوا، درجه حرارت، ی حداقل و حدأکثر و تشبع خورشی) و خصوصیات گیاه زراعی (تاریخ زبان درجه-روز رشد، GDD مورد نیاز برای مراحل فنولوژی، کارا، مصرف نور و شاخص بوداشت) با استفاده از نتایج آزمایشی انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طی سال، ی زراعی - و - مدل مورد ارزی قرار گرفت. سازی شده با داده، ی اندازه، ی شده نشان داد، که تحت شرایط مدل ممکن تواند مراحل فنولوژی، بد ماده خشک و عملکرد دانه را به خوبی به سازی بدهی طوری که مقدار ریشه انحراف ممکنین مربعات اشتباہ (RMSE) برای تاریخ ده، رس، بولوژ، بد ماده خشک و عملکرد دانه به تقریب برابر / روز، / روز، / روز، / تن در هکتار و / تن در هکتار ممکن است. بنابراین، این مدل ممکن تواند به عنوان یک ابزار کاربردی برای بل عملکرد دانه گندم در مناطق که فاقد داده، ی آب و هوا، روزانه هستند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلی: مدل سازی، بل عملکرد دانه، گندم، مراحل فنولوژی، تاریخ گل ده، عملکرد دانه.

تاریخ در:

- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (آهواز) (مکاتبه کننده)
- بیب، استاد، دانشیار و استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامسر
- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی
- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

از ا.
.(Timsina and Hympheryse, 2003)
مدل، Ritchie *et al.*, 1993) CERES
هستند، در (Boogaard *et al.*, 1998) WOFOST
صورت؛ Rice-clock
(Gao *et al.*, 1992) منحصراً برای هدف خاص
شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضیات مربوط
بولوژی باه و رابطه آن با محیط برآمود ساخته
ان شناخت و روابط به صورت
معادلات ر.
خاک- باه- اتمسفر را توصیه
عملکرد کنند از سطح مزرعه‌ای تا سطوح
ای و مل، توسط مدل، ی به سازی انجام
(Bannayan *et al.*, 2003; Travasso and
ردد Delecolle, 1995; Suipt, 1997). استفاده از مدل، ی
به دارای مشکلات خاص خود، باشد، از جمله
این مشکلات نیاز به داده، ی ورودی زیاد برای اجرای
این مدل‌ها است که با بد توسط کاربر فراهم کردد و
معمولًا این داده‌ها در کشورهای در حال توسعه قابل
دسترس نم.
روش برای حل این مشکل، استفاده از مدل، ی ساده
شده، در این مدل‌ها رفتار گیاه توسط چند رابطه
محدود شیوه سازی شود (Amir and Sinclair, 1991).
تاکنون از این روش برای بررسی اثر تشعشع
خورشیدی و درجه حرارت روی عملکرد
اهان زراعی مختلف از جمله سو (Spaetch, 1987)
ذرت (Sheehy *et al.*, 1990) و برنج (Muchow *et al.*, 2004) استفاده شده
است.
در اکثر مدل، ی اهان زراعی معمولًا رشد گیاه
براساس داده، ی آب و هوا، روزانه شیوه سازی
به علت محدودیت دسترسی به داده، ی آب
و هوا، روزانه در اکثر مناطق ایران کاربرد این مدل،
بنابراین هدف از این پژوهش ساخت
یک مدل ساده برای عملکرد کنند

بل عملکرد را می‌توان تحت عنوان عملکرد
ک، رقم (با سازکاری) (در
شرایط آب و مواد غذای و کنترل مؤثر عوامل
مانند آفات، بیماری‌ها و علف، ی هرز تعریف نمود
بن شرایط جمع ماده خشک (Evans 1993).
(رشد) ماه تابع از تشعشع خورشیدی
درجه حرارت و خصوصیات که ماه زراعی است
بل عملکرد (ی).
ای کندم و شناخت اختلاف عملکرد پتانسیل
عملکردهای زارعین منطقه از یک سو موجب بازنگری
در مدل، ی اعمال شده و مابه کارکری
راهکارهای بن برای کاهش این اختلاف عملکرد
کردد، و از سوی دیگر باعث افزایش کارایی
صرف نهاده، (Pala, 1995)، کاهش الودک
اوپریت و استقرار دار
آزمایی مزرعه‌ای متداول فقط تعداد خیلی
محدودی از عوامل مؤثر بر رشد گیاه را در
خاص و در، یک فصل زراعی مورد ارزی قرار
دهند. مدل، ی سازی توانند تعداد
زیادی از متغیر ی آب و هوا و مدل، ی را همزمان
روی رشد گیاه مورد ارزی قرار دهند، بلکه برای
انتقال و تعمیم بحث آزمایی انجام شده
در، یک منطقه و، یک فصل زراعی رابه مناطق و
سال، ی زراعی دیگر مورد استفاده قرار می‌شود.
(Asadi and Clemente, 2003)
آزمایی مزرعه‌ای متداول فقط تعداد خیلی
محدودی از عوامل مؤثر بر رشد گیاه را در
خاص و در، یک فصل زراعی مورد ارزی قرار
دهند. مدل، ی سازی توانند تعداد
زیادی از متغیر ی آب و هوا و مدل، ی را همزمان
روی رشد گیاه مورد ارزی قرار دهند، بلکه برای
انتقال و تعمیم بحث آزمایی انجام شده
در، یک منطقه و، یک فصل زراعی رابه مناطق و
سال، ی زراعی دیگر مورد استفاده قرار می‌شود.
(Bannayan *et al.*, 2004) مدل، ی سازی اهان زراعی،
ابزارهای سودمندی برای شناخت فرایانی
خاک- ماه- اتمسفر
(Timsina and Hympherys, 2006)
اثرات تغیرات آب و هوا، خصوصیات ژنتیکی
ی خاک و عوامل مدل، ی را روی رشد گیاه شیوه سازی
مدل، ی زیادی وجود دارند که برای اهداف متفاوت ساخته شده‌اند

مراحل اصل فولوژی براساس مقا م اس زادوکس (Zadoks et al., 1974) از طرق بازدی مستمر از مزارع یادداشت می شود. برای اندازه ی رات وزن خشک گیاه در هر روز که بار از معادل m^2 / باهان کف بر شده و سپس به مدت ساعت در دمای $20^\circ C$ در اون خشک و سپس توز (Ehdaie and Wains, 2001) برداشت نهاده کرت، روز بعد از رسیدن بولوژ (ازرد شدن اخ) انکره % از کیاهان انجام شد.

- مدل سازی و توصیف مدل

ساختم 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 فولوژی، تجمع ماده خشک و تشعشع در برای بن عملکرد ضروری در بکان، ی ممتد نشانگر ارتباطات منطقه بن زمین مدلها و پیکان، ی شکسته نشانگر ورودی، ی آب و هوا و که برای اجرای مدل می شود. مدل بر این اساس ساخته شده است که تشعشع خورشید دریافت شده توسط برگ، یعنی انداز گیاه انرژی برای رشد گیاه است. زمانی که زراعی تحت شرایط رطوبت و تغذیه مطلوب رشد می کند رابطه خطی بن مجموع تشعشع فعال فتوسترنی (Photosynthetic Active Radiation, PAR) در شده و ماده خشک تجمع باقته وجود دارد (Montith et al., 1977; Sheehy et al., 2004). ببین رابطه خطی کارا، مصرف تشعشع (Radiation Use Efficiency, RUE) مده می شود. کارا، مصرف تشعشع برای کنندم یعنی - کرم ماده خشک به ازای هر مکاری از تشعشع فعال فتوسترنی در (PAR) در واحد سطح راست و برای برآورد آن در هر ژنتوتی رابطه مطلوب تغذیه ای و رطوبت، از طریق

براساس داده، ی آب و هوا

مواد و روش

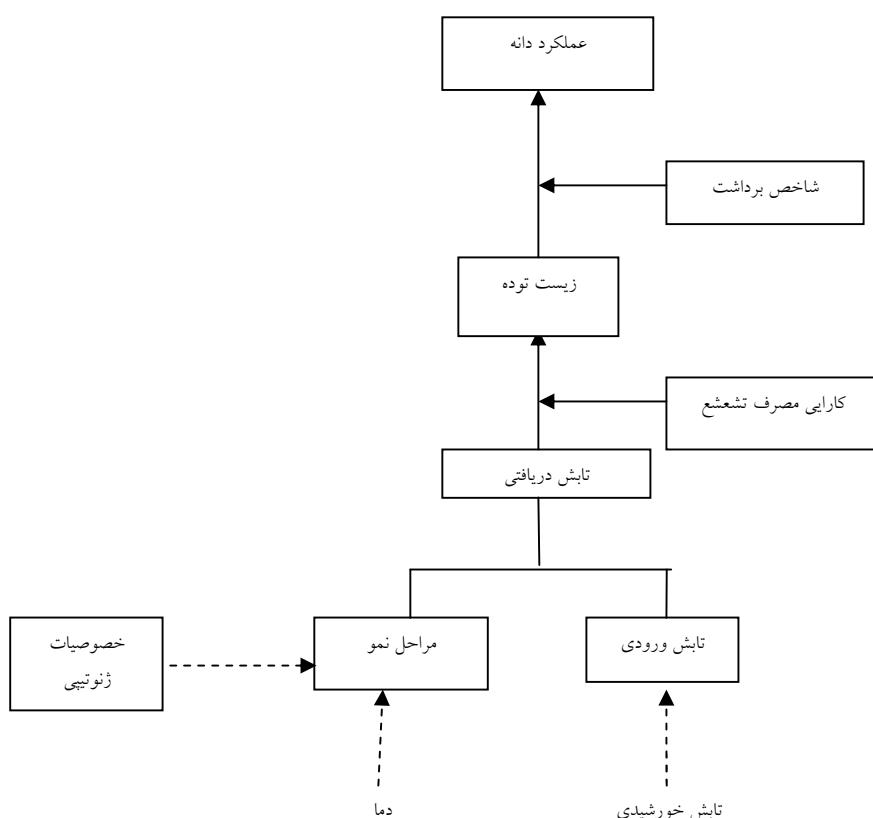
- آزمایش مزرعه ای

داده، ی مورد نیاز برای واسنج و بررسی این مدل از ازما، ی انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طی سال، ی زراعی - فراهم شده اند. که آزمایش با دو تار (اذرو و اذر) و سه رقم کنندم (فونک، استار و چمران) به صورت طرح کرت، ی خرد شده در قالب بلوک، ی کامل تصادف با چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبی خوزستان در اهواز در سال زراعی - اجرا گرد. چهار ازمی ش مشابه دیگر در چهار نقطه از استان، شامل مزرعه ازما، دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبی رام، بقات کشاورزی و منابع طبی خوزستان، استکاه بقات کشاورزی شاور (در دزفول) و شهرستان دشت آزادگان در سال زراعی - اجرا گرد (جدول). که این ازما، رقم کنندم (فونک، چمران، استار) بود که تقریبا در اوایل آذر ماه به صورت طرح بلوک، ی کامل تصادف با چهار تکرار کشت شدند. در همه آزمایشات آزمایش بزر در مترا مربع در ردیف به طول مترا و به فاصله مترا از باز غذا، باز بر مبنای آزمون خاک محل، ی آزمایش و برای دسته عملکرد تامین گرد. در طبقه فصل رشد علف، ی هرز به روش شبکه کنترل شدند و هیچگونه آفت و بماری مشاهده نشد. به منظور تامین رطوبت خاک، زمانی بزان رطوبت خاک به درصد رطوبت قابل دسترس خاک (اندازه ی به روش وزن) می مصرف متر در هکتار، ایاری کرت ها انجام می شوند.

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

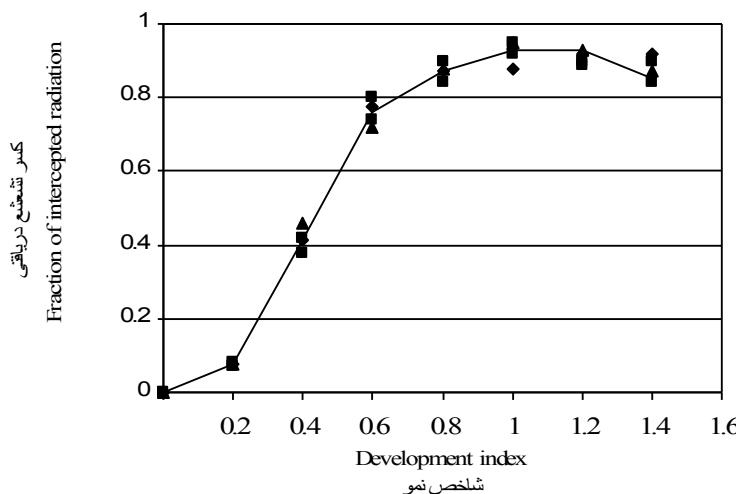
Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

Location and Years	مکان و سال	عرض و طول جغرافی	Treatments	بیمارها	Cultivars	ارقام
Ahvaz 2003-2004	اهواز -	31° 21' N 48° 8' E	Cultivar and sowing date	رقم و تاریخ蒾	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	رقة	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Bostan 2004-2005	بسستان -	31° 4' N 48° 0' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار



WheatPot برای مدل الگوریتم

Fig. 1. Algorithm for WheatPot model



- رابطه بـ کسر تشعشع در

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

برازش داده شده بین مراحل نموی
اظهور کامل سنبه (سبز شدن، = رس، و رس) و شاخص سطح برک به دست آمد (Sheehy *et al.*, 2004). معادله استفاده شده برای این 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 فتوستتری در (Fraction of intercepted radiation, F_i) با استفاده از (Development Index, DVI) از زراعی رایانه مدل، برآورد گردید (Horie *et al.*, 1995).

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

معادله با (r = 1) در طبقه DVI، از طرق جمع کردن سرعه فاصله زمانی بین مراحل فنولوز گردد (Horie *et al.*, 1995).

به نمودن ماده خشک کل تجمع یافته در اندام-ی هوا در مرحله رس بلوژ بر مجموع تشعشع فعال فتوستتری در از مرحله سبز شدن تا رس. ولوز (Ewert *et al.*, 1999). رابطه بین مراحل نمو و کسر تشعشع فعال فتوستتری در (از طریق

عملکرد دانه (گرم در مترمربع) HI برداشت (نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولید شده) است که در طی دوره پر شدن دانه به طور خطی افزایش دارد (Amir and Sinclair, 1991). کارا، مصرف تشعشع (گرم ماده خشک بر مکاژول) متوسط روزانه تشعشع دریافت شده در هر ماه (مکاژول) F_i کسر تشعشع در P_i تعداد روزها، که تشعشع دریافت گردیده (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 می‌باشد.

سرعت نمو آنها در مناطق مشابه اهواز درجه حرارت است (۵)، که طبق معادله ز

(Streck *et al.*, 2003; Wang د, گذا,

.and Engel, 1998)

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

تابع واکنش حرارتی $f(T)$

: (Wang and Engel, 1998)

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

DVR و زمان (t) در دی

سرعت نمو در روز (i)ام بعد از سبز شدن گیاه مهـ که متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر یک از اـ مراحل است (Ritchi *et al.*, 1994). با توجه به این که ژنتیکی مورد آزمایش برای مدل سازی از تیپ بهاره مهـ باشند و ندارند، مهمتر و دنـ

$$f(T) = \begin{cases} \frac{2(T-T_{\min})^{\alpha}(T_{opt}-T_{\min})^{\alpha}-(T-T_{\min})^{2\alpha}}{[T_{opt}-T_{\min}]^{2\alpha}} & \text{if } T_{\min} < T < T_{\max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a = \begin{cases} f(T) = 0 & \text{if } T < T_{\min} \text{ or } T > T_{\max} \\ L\hat{\omega} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

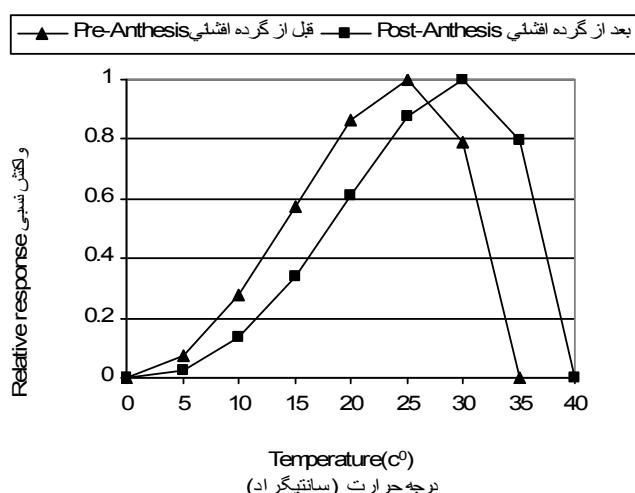


Fig. 3 Temperature response of development rate

کراد در نظر گرفته می شود (Wang *et al.*, 1998) برای مرحله سبز شدن تا کل ده، $DVI < 1$ و برای ده، $DVI < 2$ منظور بولوژ: تارس: $DVI < 1$ کرد: (Sheehy *et al.*, 2004). سپس با استفاده از داده های (قبل:) مدل اجرا و پتانسیل عملکرد برای سازی گردید.

- (درجه حرارت های اصلی T_{\max} و T_{\min})
 - ب درجه حرارت، ی حداقل، مطلوب و حداکثر و T
 - ن درجه حرارت ماهانه می برای شدن تا کل دهم گندم T_{\max} و T_{\min} و T_{opt}
 - وا درجه سانتی گراد و برای دهم تاریب و درجه T_{\max} و T_{\min} و T_{opt} بلوژ

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

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

پاس زادکس	Zadoks Scale	Development Index	Commencement of stage	شروع مرحله	Stage
	0.0	-1.0	Sowing		
	0.5	-0.5	Germination	جوانه زدن	قبل از روند
	10.00	0.0	Emergence	سیز شدن	
	14.22	0.20	Spiklet Initiation	آغاز شدن سنبچه	
	30.00	0.45	Terminal Spiklet	سبنچه انتها	قبل از گلدهی
	40.00	0.65	Flag Leaf	برگ پرچم	
	50.00	0.90	Spike Emergence	ظهور سنبله	
	60.00	1.00	Anthesis	دهم	
	70.00	1.15	Milky grain	دانه شیری	بعد از گلدهی
	80.00	1.50	Doughy grain	دانه خمیری	
	90.00	1.95	Physiological Maturity	بولوژن	رسان
	92.00	2.00	Maturity	رسان	رسان

تشعشع خورشیدی وارد شده به سطح زمین (به عنوان ورودی مدل مدنظر است. لازم است که ساعت آفتاب موجود به تشعشع خورشیدی . ن منظور از زمین به شرح زیر (FAO 56) استفاده گردید، که در این زیر مدل از رابطه آنکسترم برای ورودی بر اساس ساعت آفتاب استفاده شده است (بزاده، ۲۰۰۰).

داده‌ی هواشناسی

بن درجه حرارت ماهانه و ساعت آفتاب ماهانه، مربوط به هر از استکاه، ی هواشناسی نزدیک به محل اجرای آزمایش‌ها در سال، ی اجرای آزمایش و به عنوان ورودی، ی مدل به شکل مورد نیاز مدل تبدیل و در پوشش ورودی ذخیره شدند. با توجه به این که تشعشع فعال فتوستتری (درصد

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

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

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

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

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

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

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

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

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

در این معادلات Ra : تابش بروزن زمین $(MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$ λ : عرض جغرافی (رادیان) dr : زاویه غروب خورشید (رادیان) Ws

عنوان ورودی برای اجرای مدل استفاده شدند، از آزمایشی انجام شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز طبق سال زراعی ۹۷-۹۶ و شرح جدول به دست آمدند.

اندازه N ($MJ m^{-2} d^{-1}$) : تعداد ساعت روشنا: n : تعداد ساعت آفتاب و PAR : فعال فتوستزی ($MJ m^{-2} d^{-1}$) است.

واسنج مدل

که از ارقام گندم که به پارامترهای

جدول' - ارقام گندم مورد استفاده بات ف بولوژ.

Table 3. The physiological traits of wheat cultivars

Cultivar	رقم	GDD مورد نیاز از سبز شدن تا رس	GDD مورد نیاز از دھ بولوژ	حداکثر روز	حداکثر زای	صرف نور Radiation Use	کارآیی Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index
		Required GDD from Emergence to Athesis	Required GDD from Anthesis to maturity	Development	Rate of Vegetative Phase	Development	(%)	
				Rate of Reproductive Phase				
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 روز؛ آسیز شدن تا گل دھ در دمای مطلوب، معکوس زمان: d^{-1})

($R_{max,r}$: حداکثر سرعت نمو زایی از گل دھ تا رس بولوژ در دمای مطلوب، معکوس زمان: d^{-1})

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

(HI: شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک اندام) ی هوای)

Ritchi سرعت وقوع مراحل نموی دھ رس بولوژ، مناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر یک از این مراحل است (یعنی *et al.*, 1994)

عملکردهای به دست آمده از آزمایشی مزرعه‌ای مذکور، مقابله و توسط شاخص، ارزی MBE RMSE (Root Mean Square Error) ارزی و MPE (Mean Percentage Error) (Mean Bias Error) مدل ارزی (Willmot Agreement Inex) کرد. (جدول).

ارزی مدل برای ارزی مدل، از داده‌ی به دست آمده از آزمایشی انجام شده در دانشگاه رامین، دزفول و بستان در سال زراعی ۹۷-۹۶ استفاده شد. سال، ای اجرای ازما، داده‌ی هواشناسی مربوط به آن سال در هر ایستگاه تنظیم و مدل اجرا گردید. سپس عملکردهای حاصل از شیوه سازی توسط مدل با

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

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

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

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

رس بولوژیک را + - روز نسبت به زمان- از میلادی مشاهده شده پر نمود. مقادیر دارهای ارز MPE و MBE که برای زمان کل دهنده برابر / روز، % و / و برای رس بولوژ ب معادل، / روز، % و / بود (جدول). بن انالیز رگرسیون ب زمان، رس سازی شده (شده) و مشاهده شده برای دهنده رس بولوژ ب دارای / روز، بودند (۱). این نشان می دهد که مدل «WheatPot» تواند مراحل فولوژ را به طور رضامنده تاریخ زمان کل دهنده رس بولوژ را + - روز و

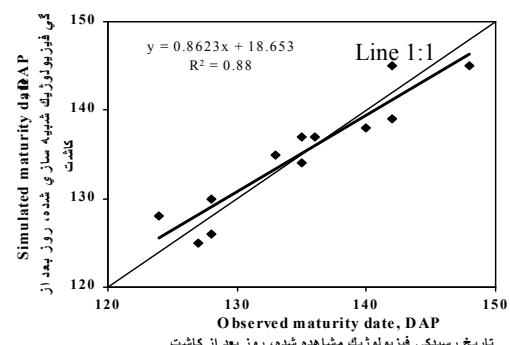
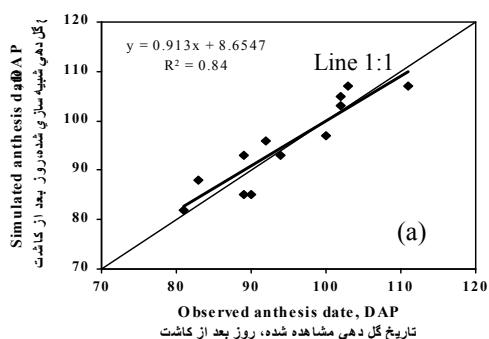
که در این معادلات:

O_i : مقادیر مشاهده شده (واقعی) P_i : مقادیر سازی شده (نمود) n : تعداد مشاهدات و $O_{i\text{avg}}$: مقدار می مشاهده شده است.

ج و بحث

مراحل فنولوژی

مدل «WheatPot» مراحل کل دهنده رس بولوژ را به خوبی سازی می دارد. مقدار RMSE محاسبه شده برای مراحل کل دهنده رس بولوژ ب برابر / روز بود. این مدل تاریخ زمان کل دهنده رس بولوژ را + - روز و



- رابطه بین زمان کل دهنده رس بولوژ و رس سازی شده و اندازه رس شده

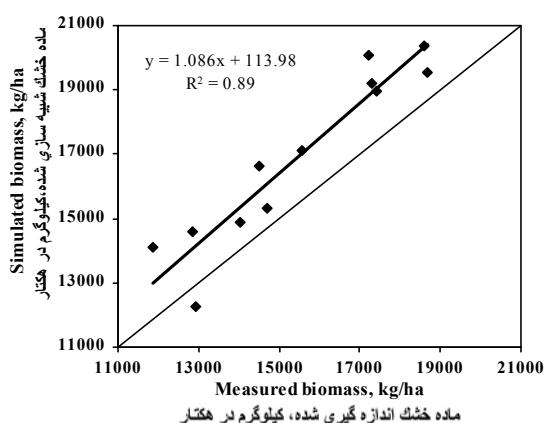
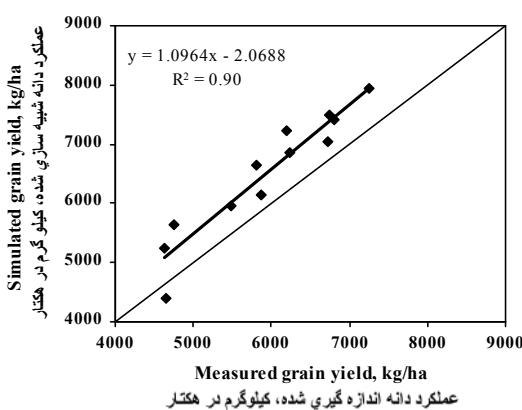
Fig 4. Relationship between simulated and observed anthesis (a) and physiological maturity (b) dates

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

عملکرد دانه و تولید ماده خشک مدل مورد نظر برای شرایط اجرا و توانایی آن برای سازی دانه عملکرد دانه و ماده خشک موردنیاز قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهای دانه

رگرسیون بین عملکردهای سازی شده و مشاهده شده ($r = 0.9$) کار کرد. این مدل را در پر عملکرد کنندم برای که داده‌ی آب و هوای روزانه وجود ندارد مورد تأثیر قرار نمود. مدل (a) اندمازه ای شده احتمالاً به عوامل شناخته نشده که مشمول مدل ننمودند. شوند نسبت داده از ۳٪ ماده خشک کل شبی سازی شده از ۴٪ نسبت به ماده خشک کل اندمازه ای شده (واقع) برابود. این دیگر تفاوت بین ماده خشک سازی شده و مشاهده شده از ۰٪/ تن در هکتار بود. مقدار RMSE محاسبه شده ۰٪/ تن در هکتار و کمتر از درصد ممتن مقادیر مشاهده شده بود. مقدار شاخص i MPE و MBE بب برابر ۰٪/ تن در هکتار، ۰٪ و ۰٪ بود. آنالیز رگرسیون بین داده‌ی سازی شده و مشاهده شده (b) توانست خوبی را بین آن دو سری داده، مذکور ($r = 0.9$). به طور کلی مقادیر ماده خشک کل بن کار کرد مناسب مدل در پر اگرچه در بیشتر حالات ماده خشک شبی سازی شده تا اندمازه‌ای بستر از مقدار مشاهده شده آن بود که این تفاوت احتمالاً به عوامل محیط مؤثر بر کاراً مصرف نور مربوط نمود که مدل نشده‌اند.

محاسبه شده MPE MBE RMSE و شاخص توافق i بب برابر ۰٪/ تن در هکتار، ۰٪/ تن در هکتار، ۰٪ و ۰٪ بود. در مقایسه با این مدل، کار کرد مدل CERES-Wheat کیزازش کرد. مقدار RMSE محاسبه شده بین عملکردهای شبی سازی شده برابر ۰٪/ تن در هکتار (Ghaffari *et al.*, 2001) و ۰٪/ تن در هکتار در هکتار (Bannayan *et al.*, 2003) (Timsina and Hymphres, 2003) جامسون و همکاران (Jamieson *et al.*, 1998) مدل، ۰٪/ تن در هکتار AFRECWHEAT2 (Ritchie (Porter, 1993) Brooking *et al.*, and Otter, 1985) CERES-Wheat (Van Laar *et al.*, 1992) SUCROSW2 (1995) Sirius (Van Keulen and Seligman, 1987) SWHEAT و سه نمونه مقدار RMSE بین عملکردهای سازی شده و مشاهده شده برای مدل، ۰٪/ تن در هکتار بب برابر ۰٪/ و ۰٪/ و ۰٪/ تن در هکتار بود. سه مقدار RMSE محاسبه شده برای مدل WheatPot (۰٪/ تن در هکتار) RMSE مدل، ۰٪ مذکور که عملکرد دانه را با استفاده از داده، ۰٪/ آب و هوا، روزانه شبی سازی بند، نشان داد که تواند این عملکرد دانه تا حدود مدل WheatPot در پر افزایش زیادی مشابه این مدل، به علاوه بر این اندمازه ای شده و ماده خشک اندمازه ای شده، کیلوگرم در هکتار



- رابطه بین عملکرد دانه (a) و ماده خشک (b) به سازی شده و اندمازه ای شده

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

جدول - به سازی مراحل کل ده و رس بولوژیک، عملکرد دانه و ماده خشک اندامهای هوا 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	ماهه خشک کل (کیلو گرم در هکتار)												
	دهی (روز بعد از کاشت) Anthesis (DAP)*			رسیدگی فیزیولوژیک (روز بعد از کاشت) Physiological Maturity (DAP)			عملکرد دان (کیلو گرم در هکتار) Grain Yield (kg ha^{-1})			Biomass (kg ha $^{-1}$)			
	سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	سازی شده Simulated	الاتراوه گیری شده Measured	تفاوت Difference	سازی شده simulated	الاتراوه گیری شده Measured	تفاوت Difference	
اهواز													
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
Ramin Uni دانشگاه رامین													
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													
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
Bostan بستان													
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

آنالیز مدل

گردد. افزایش درصد درجه حرارت در طبقه ارزش باعث / درصد (بلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد می‌شود در صورت درجه حرارت در طبیعت فصل رشد موجب / درصد (بلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد می‌گردد. بنابراین افزایش و کاهش درصدی مقدار تشعشع خورشیدی درصد (بلوگرم در هکتار) افزایش و کاهش در پتانسیل عملکرد می‌شود. این نشان می‌دهند که حساسیت مدل به تشعشع خورشیدی بستر از درجه حرارت است و چنان استنبط می‌شود که درجه حرارت از طریق سرعت نمو و تغیر طول دوره رشد کمای بر رشد و عملکرد تاثیرگذارد، در صورت تشعشع خورشیدی به عنوان منبع انرژی و روی محركه لازم بر فرایند فتوسنتز و تولید ماده خشک مؤثر است.

ج ارزی ب ت مدل نسبت به ورودی ای مدل، درجه حرارت، تشعشع خورشیدی و تاریخ (جدول) نشان می‌دهد که مدل به خوبی را عوامل را برابر پتانسیل عملکرد شیوه سازی بل عملکرد شاهد در نظر گرفته شده مربوط به کاشت گندم رقم چمران در تاریخ (اول آذر) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز در سال زراعی - به منظور ارزی بر تاریخ کاشت را روز زودتر (+) و روز دی (-) به مدل وارد شد. شده توسط مدل نشان داد که کاشت زودتر به مدت روز باعث / درصد (بلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد و کاشت گندم با روز تاخیر (بلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد

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

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

Factor	(درصد)	عملکرد دانه (بلوگرم در هکتار)	Change Relative to Control (kg/ha)	درصد نسبت به تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی
	Variation %	Grain Yield (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

داده‌ی هواشناسی بل عملکرد را تخمین زد. ارزی مدل با استفاده از نتایج آزمایشی اجرا شده نشان داد که مدل به طور رضامانی قادر است بل عملکرد را پیش‌بینی کند. این نتایج آنالیز مدل نشان داد که مدل می‌تواند

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

در اقلی مختلف مستلزم وارد نمودن پارامترها
ات زنگی از ژنتیک ها در مدل
به طور کلی به داده های هواشناسی
در یک دوره بلند مدت برای توان پتانسیل
عملکرد گندم آن منطقه را توسط این مدل تخمین زد.

اثرات تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع
خورشید را بر عملکرد دانه شی سازی اگرچه
مدل می تواند تا حدودی تفاوت پتانسیل عملکرد را ب
زنگی مختلف گندم شی سازی استفاده از آن برای ارزیابی عملکرد ژنتیک

References

منابع مورد استفاده

- بزاده، ا. رابطه‌ی آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا.
ی، م. مدل‌سازی فرایند رشد کیاه 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. 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 Dijkenand., 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, Wallingford. 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. London 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, Nutrition 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, Johnson 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.

Suipit, 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 “WheatPot” 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 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.