

I- Model description and evaluation

اندریزیان، ب. ع. م. ی. امام، ق. و خ. WheatPot: ساده برای سازی بل عملکرد دانه گندم بهاره I-
و ارز مدل. مجله علوم زراعت ایران ۵(۱): ۳۳-۴۰.

یک مدل مکانی ساده به نام «WheatPot» برای پیش‌بینی عملکرد دانه گندم در مقیاس منطقه‌ای (۱۰۰۰۰۰ هکتار) مدل مراحل اصلی فنولوژی و تولید ماده خشک را به عنوان تابع از درجه حرارت و تشعشع خورشیدی پیش‌بینی می‌کند و شامل زیر مدل‌های مراحل نمو، تولید ماده خشک و عملکرد دانه می‌باشد. ورودی‌های مورد نیاز جهت اجرای مدل برای پیش‌بینی ماهانه داده‌های آب و هوا (درجه حرارت، حداقل و حداکثر و تشعشع خورشیدی) و خصوصیات گیاه زراعی (تاریخ کاشت، میزان درجه-روز رشد، GDD مورد نیاز برای مراحل فنولوژی، کارایی مصرف نور و شاخص برداشت) می‌باشد. با استفاده از نتایج آزمایش‌های انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طی سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تحت شرایط مختلف، مدل می‌تواند مراحل فنولوژی، تولید ماده خشک و عملکرد دانه را به خوبی پیش‌بینی کند. به طوری که مقدار ریشه انحراف میانگین مربعات اشتباه (RMSE) برای تاریخ برداشت، دهانه رسوب، پهنای برگ، تولید ماده خشک و عملکرد دانه به ترتیب برابر ۰/۵ روز، ۰/۵ روز، ۰/۵ تن در هکتار و ۰/۵ تن در هکتار می‌باشد. بنابراین، این مدل می‌تواند به عنوان یک ابزار کاربردی برای پیش‌بینی عملکرد دانه گندم در مناطق که فاقد داده‌های آب و هوا در روزانه هستند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: مدل سازی، عملکرد دانه، گندم، مراحل فنولوژی، تاریخ گل دهی، عملکرد دانه.

چکیده

عملکرد را می‌توان تحت عنوان عملکرد (با سازگاری و کنترل مؤثر عوامل) در شرایط آب و مواد غذایی و کنترل مؤثر عوامل مانند آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز تعریف نمود (Evans 1993). این شرایط برای تجمع ماده خشک (رشد) گیاه تابع از تشعشع خورشیدی، درجه حرارت و خصوصیات گیاه زراعتی است (عملکرد گیاه). این شرایط و شناخت اختلاف عملکرد پتانسیل عملکردهای زارعین منطقه از یک سو موجب بازنگری در مدل‌های اعمال شده و به کارگیری راهکارهای مناسب برای کاهش این اختلاف عملکرد گردید، و از سوی دیگر باعث افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها (Pala, 1995)، کاهش الودگی محیط زیست و استقرار سیستم‌های تاورزی (Asadi and Clemente, 2003) می‌شود.

ازمایش‌های مزرعه‌ای متداول فقط تعداد خبثات محدودی از عوامل مؤثر بر رشد گیاه را در نظر می‌گیرد و در یک فصل زراعتی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. مدل‌های سازگاری می‌توانند تعداد زیادی از متغیرهای آب و هوا، و مدل‌ها را همزمان روی رشد گیاه مورد ارزیابی قرار دهند، بلکه برای انتقال و تعمیم نتایج آزمایش‌های انجام شده در یک منطقه و یک فصل زراعتی را به مناطق و سال‌های زراعتی دیگر مورد استفاده قرار می‌دهند (Bannayan et al., 2004). مدل‌های سازگاری گیاهان زراعتی، ابزارهای سودمندی برای شناخت فراوانی عوامل مؤثر بر عملکرد گیاه - اتمسفر (Timsina and Hympherys, 2006). این مدل اثرات تغذیه‌ای آب و هوا، خصوصیات ژنوتیپی گیاه، و ویژگی خاک و عوامل مدل‌ها را روی رشد گیاه شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های زیادی وجود دارند که برای اهداف متفاوتی ساخته شده‌اند

(Timsina and Hympheryse, 2003). از این مدل‌ها CERES (Ritchie et al., 1993) و WOFOST (Boogaard et al., 1998) هستند، در صورتی که مدل‌های Gao et al., (1992) منحصر برای هدف خاصی طراحی شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضیات مربوط به فیزیولوژی گیاه و رابطه آن با محیط، برامون ساخته شده‌اند. این مدل‌ها شناخت و روابط به صورت معادلات ریاضیاتی، اتمسفر را توصیف می‌کنند.

عملکرد گیاه از سطح مزرعه‌ای تا سطوح منطقه‌ای و ملی توسط مدل‌های سازگاری (Bannayan et al., 2003; Travasso and Suipt, 1997) استفاده از مدل‌های مبتنی بر مشکلات خاص خود می‌باشد، از جمله این مشکلات نیاز به داده‌های ورودی زیاد برای اجرای این مدل‌ها است که باید توسط کاربر فراهم گردد و معمولاً این داده‌ها در کشورهای در حال توسعه قابل دسترسی نیست (Amir and Sinclair, 1991). روش برای حل این مشکل، استفاده از مدل‌های ساده شده می‌باشد. در این مدل‌ها رفتار گیاه توسط چند رابطه محدود شبیه‌سازی می‌شود (Amir and Sinclair, 1991). تاکنون از این روش برای بررسی اثر تشعشع خورشیدی و درجه حرارت روی عملکرد گیاهان زراعتی مختلف از جمله سویا (Spaetch, 1987) ذرت (Muchow et al., 1990) و برنج (Sheehy et al., 2004; Pirmoradian and Sepaskha, 2005) استفاده شده است.

در اکثر مدل‌های گیاهان زراعتی معمولاً رشد گیاه براساس داده‌های آب و هوا، روزانه شبیه‌سازی می‌شود. به علت محدودیت دسترسی به داده‌های آب و هوا، روزانه در اکثر مناطق ایران کاربرد این مدل‌ها محدود است. بنابراین هدف از این پژوهش ساخت یک مدل ساده برای گیاهان زراعتی منطقه است

براساس داده‌های آب و هوا، آشنایی با شرایط منطقه.

مواد و روش

آزمایش مزرعه‌ای

داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و بررسی، این مدل از آزمایش‌های انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طی سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ فراهم شده‌اند. یک آزمایش با دو تار (فونک، استار و چمران) به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در اهواز در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ اجرا گردید. چهار آزمایش مشابه دیگر در چهار نقطه از استان، شامل مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور (در شهرستان دشت آزادگان در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱) اجرا گردید (جدول ۱). یک آزمایش از این آزمایش‌ها رقم گندم (فونک، چمران، استار) بود که تقریباً در اوایل آذر ماه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار کشت شدند. در همه آزمایش‌ها کرت آزمایشی براساس بذر در مترمربع در ردیف به طول ۲ متر و به فاصله ۰/۲۵ متر از یک رابطه خطی بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation, PAR) در منطقه و ماده خشک تجمع یافته وجود دارد (Montith et al., 1977; Sheehy et al., 2004). این رابطه خطی کارایی مصرف تشعشع (Radiation Use Efficiency, RUE) ماده می‌شود. کارایی مصرف تشعشع برای گندم یا به کرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در (PAR) در واحد سطح (گرم ماده خشک) بر است و برای برآورد آن در هر ژنوتیپ، رابطه خطی مطلوب تغذیه‌ای و رطوبتی، از طریق

مراحل اصلی فنولوژی براساس مقیاس زادوکس (Zadoks et al., 1974) از طریق بازدید مستمر از مزارع یادداشت می‌شود. برای اندازه‌گیری رات وزن خشک گیاه در هر روز یک بار از ۱۰۰۰ مترمربع/مربع گیاهان کف بر شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰°C در اون خشک و سپس توزین می‌شود (Ehdaie and Wains, 2001). برداشت نهایی کرت‌ها روز بعد از رسیدن (زرد شدن اخ‌نکره ۱۰% از گیاهان) انجام شد.

مدل سازی و توصیف مدل

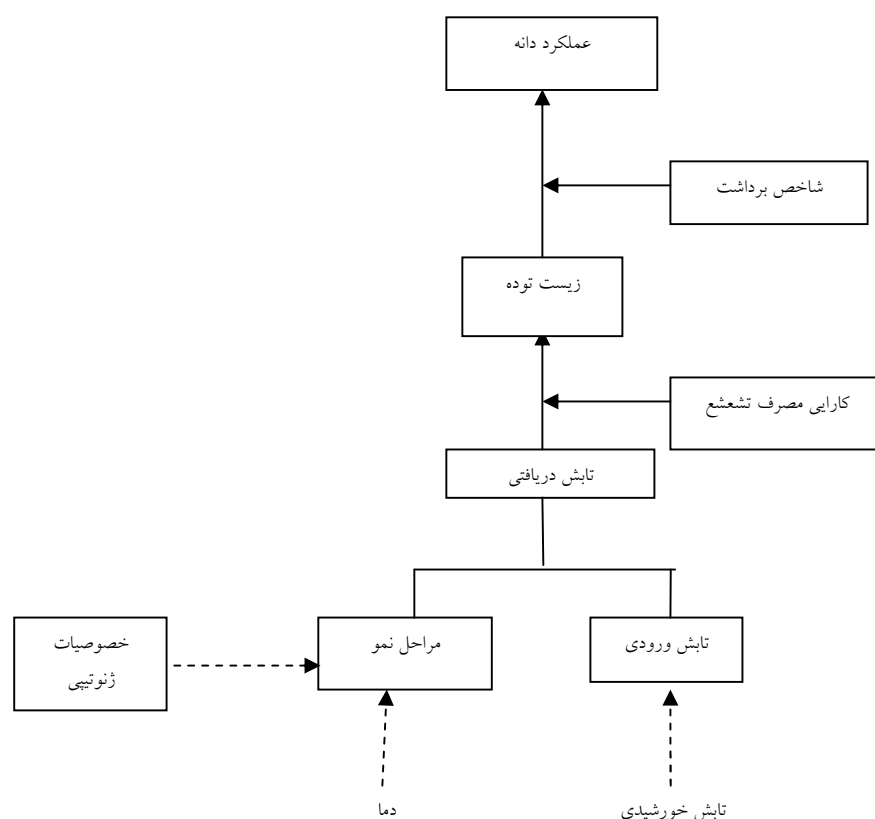
ساختار مفهوم مدل «WheatPot» در نشان داده شده است. عملکرد دانه به عنوان حاصل ضرب شاخص برداشت در ماده خشک کل محاسبه می‌شود. محاسبات زیر مدل فنولوژی، تجمع ماده خشک و تشعشع در برای این عملکرد ضروری است. در این مکان‌های ممتد نشانگر ارتباطات منطقه این زوایا و مدل‌ها و پیکان‌های شکسته نشانگر ورودی آب و هوا و گیاه برای اجرای مدل می‌شود.

مدل بر این اساس ساخته شده است که تشعشع خورشیدی دریافت شده توسط برگ‌های اندازه گیاه انرژی برای رشد گیاه است. زمانه گیاه زراعی تحت شرایط رطوبتی و تغذیه‌ای مطلوب رشد می‌کند. یک رابطه خطی بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation, PAR) در منطقه و ماده خشک تجمع یافته وجود دارد (Montith et al., 1977; Sheehy et al., 2004). این رابطه خطی کارایی مصرف تشعشع (Radiation Use Efficiency, RUE) ماده می‌شود. کارایی مصرف تشعشع برای گندم یا به کرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در (PAR) در واحد سطح (گرم ماده خشک) بر است و برای برآورد آن در هر ژنوتیپ، رابطه خطی مطلوب تغذیه‌ای و رطوبتی، از طریق

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

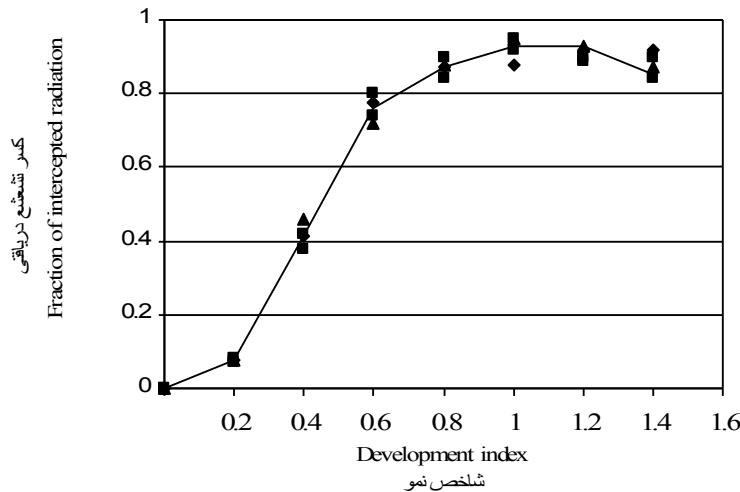
Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

Location and Years	مکان و سال	عرض و طول جغرافیایی Latitude and Longitude	Treatments	ارقام	تیمارها	Cultivars
Ahvaz 2003-2004	اهواز ۱۳۸۳-۱۳۸۴	31° 21' N 48° 8' E	Cultivar and sowing date	رقم و تاریخ بکار	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ahvaz 2004-2005	اهواز ۱۳۸۴-۱۳۸۵	31° 2' N 48° 8' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ramin University 2004-2005	دانشگاه رامین ۱۳۸۴-۱۳۸۵	31° 36' N 48° 41' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Dezful 2004-2005	دزفول ۱۳۸۴-۱۳۸۵	31° 16' N 48° 25' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Bostan 2004-2005	بستان ۱۳۸۴-۱۳۸۵	31° 4' N 48° 0' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار



الگوریتم برای مدل WheatPot

Fig. 1. Algorithm for WheatPot model



رابطه بین شاخص توسعه و کسر تشعشع درخت

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

برآزش داده شده بین مراحل نمو (سبز شدن، ظهور کامل سنبه و رسب) و شاخص سطح برگ به دست آمد (Sheehy *et al.*, 2004). معادله استفاده شده برای عملکرد درخت (Evans, 1993):

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

کسر تشعشع فعال فتوسنتزی در (Fraction of intercepted radiation, F_i) با استفاده از (Development Index, DVI) و زراع را بیان می‌دهد، برآورد کرد (Horie *et al.*, 1995).

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

$C = \text{مقدار } a = \text{مقدار } b = \text{مقدار } r^2 = \text{مقدار}$ معادله با (Horie *et al.*, 1995).
DVI، از طریق جمع کردن سرعت در طی فاصله زمان بین مراحل فنولوژی (Horie *et al.*, 1995).

نمودن ماده خشک کل تجمع یافته در اندام- (هوا) در مرحله رسب بولور بر مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی در (Horie *et al.*, 1999). رابطه بین نمو و کسر تشعشع فعال فتوسنتزی در (Horie *et al.*, 1999) از طریق

Y عملکرد دانه (گرم در مترمربع) HI نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولید شده است که در طی دوره پر شدن دانه به طور خطی افزایش می‌دهد (Amir and Sinclair, 1991).
کارا مصرف تشعشع (گرم ماده خشک بر مکزول) Q_{dPARi} متوسط روزانه تشعشع دریافت شده در هر ماه (مکزول) F_i کسر تشعشع در P_i تعداد روزها که تشعشع دریافت کرده (روز) ΔE_i کسری از حداکثر کارا مصرف تشعشع که متناسب با سطح برگ موثر (تفاضل حداکثر سطح برگ و سطح برگ تلف شده در اثر زوال برگ) است و n تعداد ماهها در فصل رشد می‌باشد.

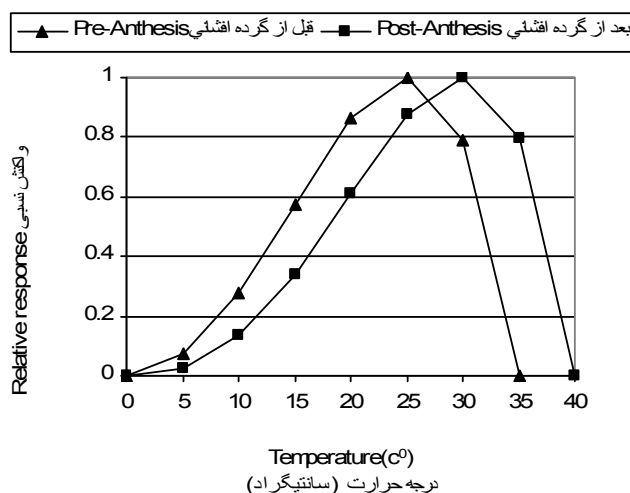
سرعت نمو آنها در مناطق مشابه اهواز درجه حرارت است (معیاری برای مقایسه)، که طبق معادله زیر (Streck *et al.*, 2003; Wang and Engel, 1998).

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

تابع واکنش حرارتی $f(T)$ درجه حرارت (Wang and Engel, 1998) گردید.

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

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



واکنش حرارتی - واکنش حرارتی
Fig. 3. Temperature response of development rate

گزاره در نظر گرفته می‌شود (Wang *et al.*, 1998). برای مرحله سبز شدن تا کل دهه $DVI < 1$ و برای مرحله دهه تا رسب $1 < DVI < 2$ (Sheehy *et al.*, 2004). سپس با استفاده از داده‌های اقله (معیاری برای مقایسه) مدل اجرا و پتانسیل عملکرد برای سبزی‌سازی گردید.

$DVI_t = \sum_{i=0}^t DVR_i$ (درجه حرارت‌های اصلی) T_{max} و T_{opt} و T_{min} (درجه حرارت‌های حداقل، مطلوب و حداکثر) و T (درجه حرارت ماهانه) برای مقایسه درجه حرارت تا کل دهه T_{max} و T_{opt} و T_{min} و درجه سانتیگراد و برای مرحله تا رسب T_{max} و T_{opt} و T_{min} و بولوز T_{max} و T_{opt} و T_{min} و درجه

سرعت نمو در روز (i) بعد از سبز شدن گیاه می‌باشد که متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر یک از این مراحل است (Ritchie *et al.*, 1994). باتوجه به این که ژنوتیپ مورد آزمایش برای مدل‌سازی از تیپ بهاره می‌باشند و در این مورد نیاز به دقت ندارند، مهمتر از این است که

جدول ۱- 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)

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

داده های هواشناسی

این درجه حرارت ماهانه و ساعات آفتاب ماهانه، مربوط به هر یک از ایستگاه های هواشناسی نزدیک به محل اجرای آزمایش ها در سال های اجرای آزمایش ها 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 زمینی) به عنوان ورودی مدل مدنظر است. لازم است که ساعات آفتاب موجود به تشعشع خورشیدی تبدیل شود. این منظور از زبانی به شرح زبانی (FAO 56) استفاده گردید، که در این زیر مدل از رابطه آنکسترم برای تبدیل ساعات ورودی بر اساس ساعات آفتاب استفاده شده است (بازده، ۱۳۹۳).

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

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

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

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

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

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

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

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

مقدار زمین تا خورشیدی زاویه: δ زاویه خورشیدی (رادیان) M : شماره ماه میلادی J : شماره روز ژوئیه از ابتدای سال میلادی Rs : تشعشع ورودی

در این معادلات Ra : تابش برون زمینی $(MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$ λ : عرض جغرافیایی (رادیان) Ws : زاویه غروب خورشیدی (رادیان) dr : ضرایب

عنوان ورودی برای اجرای مدل استفاده شدند، از آزمایشی انجام شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز طی سالهای زراعت ۱۳۹۰-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ شرح جدول به دست آمدند.

نیاز انرژی (MJ m⁻² d⁻¹) : تعداد ساعات روشنایی n : تعداد ساعات آفتاب و PAR : PAR : فعال فتوسنتزی (MJ m⁻² d⁻¹) است.

واستجاء مدل

پارامترهای مدل از ارقام گندم که به

جدول ۳- ویژگیهای فیزیولوژیکی ارقام گندم مورد استفاده

Table 3. The physiological traits of wheat cultivars

شاخص برداشت	کارایی صرف نور	حداکثر سرعت نمو رویش	حداکثر سرعت نمو رویش	GDD مورد نیاز از	GDD مورد نیاز از	رقم	Cultivar
Harvest Index	Radiation Use Efficiency	Maximum Development	Maximum Development	از سبز شدن تا رسیدن به بلوغ	از سبز شدن تا رسیدن به بلوغ		
(%)		Rate of Vegetative Phase	Rate of Reproductive Phase	Required GDD from Emergence to Anthesis to maturity	Required GDD from Emergence to Anthesis to maturity		
40	3.0	0.0232	0.0143	872	1100	فونگ	Fong
39	3.4	0.0244	0.0126	895	1262	چمران	Chamran
36	3.0	0.0244	0.0115	1017	1280	استار	Star

(GDD: (Growing Degree Days) روز رشد

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

(R_{max,r}: حداکثر سرعت نمو رویش (از گل دهی تا رسیدن به بلوغ) در دمای مطلوب، معکوس زمان d⁻¹)

(RUE: کارایی مصرف تشعشع (میل تشعشع فعال فتوسنتزی به ماده خشک)، گرم ماده خشک بر مگازول بر متر مربع در روز تشعشع MJ m⁻² d⁻¹ gr)

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

*سرعت وقوع مراحل نموی دهی و رسیدن به بلوغ، متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر یک از این مراحل است (Ritchi et al., 1994)

ارزشهای مدل

عملکردهای به دست آمده از آزمایشی مزرعه‌ای برای ارزیابی مدل، از داده‌های به دست آمده از آزمایشی انجام شده در دانشگاه رامین، دزفول و بستان در سال زراعت ۱۳۹۰-۱۳۹۱ 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

عملکردهای به دست آمده از آزمایشی مزرعه‌ای برای ارزیابی مدل، از داده‌های به دست آمده از آزمایشی انجام شده در دانشگاه رامین، دزفول و بستان در سال زراعت ۱۳۹۰-۱۳۹۱ 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

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

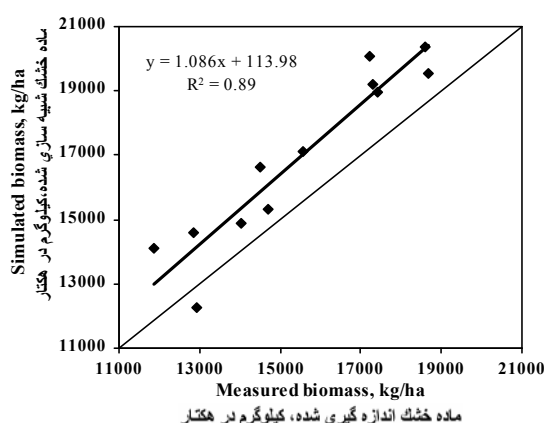
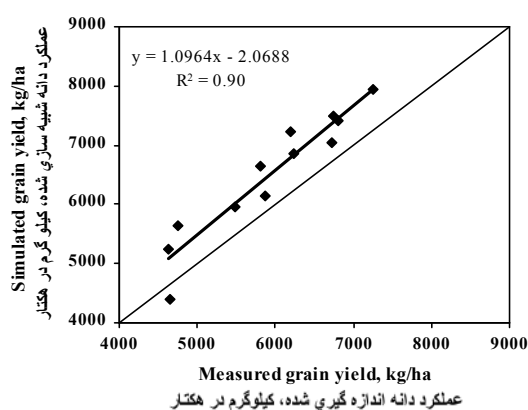
$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (16)$$

رگرسیون بین عملکردهای شبیه سازی شده و مشاهده شده ($r^2 = 0.90$) کارکرد این مدل را در پهنای عملکرد کدوم برای داده های آب و هوا، روزانه وجود ندارد مورد تأیید قرار می دهد ($a = 1.0964$). تفاوت های بین عملکردهای شبیه سازی شده و اندازه گیری شده احتمالاً به عوامل شناخته نشده که مشمول مدل نمی شوند نسبت داده می شود.

ماده خشک کل شبیه سازی شده از ۴۰۰۰ تا ۹۰۰۰ درصد نسبت به ماده خشک کل اندازه گیری شده (واقع) بود. همان دیگر تفاوت بین ماده خشک شبیه سازی شده و مشاهده شده از ۴۰۰۰ تا ۹۰۰۰ درصد بود. مقدار RMSE محاسبه شده در هکتار و کمتر از ۱۰ درصد بین مقادیر مشاهده شده بود. مقدار شاخص های MBE، MPE و d شبیه برابر ۰/۰۰ تن در هکتار، ۰/۰۰٪ و ۰/۰۰٪ بود. آنالیز رگرسیون بین داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده ($b = 1.086$) (توافق خوبی را بین این دو سری داده ها نشان نمود ($r^2 = 0.89$)). به طور کلی، مقدار مقادیر شبیه سازی شده کارکرد مناسب مدل در پهنای ماده خشک کل بود. اگرچه در بیشتر حالات ماده خشک شبیه سازی 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 و MPE و شاخص توافق d شبیه برابر ۰/۰۰ تن در هکتار، ۰/۰۰٪ و ۰/۰۰٪ بود. در مقایسه با این مدل، کارکرد مدل CERES-Wheat در مناطق و سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ گزارش گردید. مقدار RMSE محاسبه شده بین عملکردهای ۰/۰۰ تن در هکتار و ۰/۰۰٪ شده و شبیه سازی شده برابر ۰/۰۰ تن در هکتار (Ghaffari et al., 2001) و ۰/۰۰ تن در هکتار (Bannayan et al., 2003) و ۰/۰۰ تن در هکتار (Timsina and Hymphres, 2003) بود.

جامسون و همکاران (Jamieson et al., 1998) مدل AFRECWHEAT2 (Porter, 1993) و CERES-Wheat (Broking et al., 1985) و SUCROS2 (Van Laar et al., 1992) و SWHEAT (Van Keulen and Seligman, 1987) را با مقادیر RMSE مشاهده نمودند. مقدار RMSE بین عملکردهای شبیه سازی شده و مشاهده شده برای مدل مذکور به ۰/۰۰ تن در هکتار، ۰/۰۰٪ و ۰/۰۰٪ بود. مقدار RMSE محاسبه شده برای مدل WheatPot (۰/۰۰ تن در هکتار) RMSE بین عملکردهای مذکور که عملکرد دانه را با استفاده از داده های آب و هوا، روزانه شبیه سازی می کند، نشان داد که توانایی مدل WheatPot در پهنای عملکرد دانه تا حدود زیادی مشابه این مدل بود. به علاوه برآزش



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

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

جدول ۴ - مقایسه نتایج تاریخ انthesis و رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه و ماده خشک اندامهای هوا [۱] 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		انthesis (DAP)* (روز بعد از کاشت)			رسیدگی فیزیولوژیک (روز بعد از کاشت)			عملکرد دانة(کیلو گرم در هکتار) Grain Yield (kgha ⁻¹)			ماده خشک کل (کیلو گرم در هکتار) Biomass (kgha ⁻¹)		
		Physiological Maturity (DAP)											
		سازى شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	سازى شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	سازى شده Simulated	اندازه گیرى شده Measured	تفاوت Difference	سازى شده simulated	اندازه گیرى 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

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

اثرات تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی را بر عملکرد دانه شیار سازی. اگرچه مدل می تواند تا حدودی تفاوت پتانسیل عملکرد را با ژنوتیپ های مختلف گندم شیار سازی آشنایی با آشنایی استفاده از آن برای ارزیابی عملکرد ژنوتیپ ها

در اقلیم های مختلف مستلزم وارد نمودن پارامترها در آشنایی با آشنایی به طور کلی به داده های هواشناسی در یک دوره بلند مدت برای آشنایی با آشنایی عملکرد گندم آن منطقه را توسط این مدل تخمین زد.

References

منابع مورد استفاده

- آشنایی با آشنایی. رابطه ی آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا. آشنایی با آشنایی.
- آشنایی با آشنایی. مدل سازی آشنایی با آشنایی، انتشارات جهاد دانشگاهی آشنایی با آشنایی.
- 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

- 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

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.