

I- Model description and evaluation

111

چکیده

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

از میان مزرعه‌ای متداول فقط تعداد محدودی از عوامل مؤثر بر رشد گیاه را در یک خاص و در یک فصل زراعتی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. مدل‌های آبیاری 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 آبیاری می‌توانند برای شناخت فراوانی اثرات تغذیه‌ای آب و هوا، خصوصیات ژنوتیپی و عوامل مدلی را روی رشد گیاه شیه سازی می‌کنند. مدل‌های زیستی 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 (Gao et al., 1992) منحصراً برای هدف خاصی طراحی شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضیات مربوط به بولوی گیاه و رابطه آن با محیط، برآورد می‌کنند. این شناخت و روابط به صورت معادلات ریاضیاتی و با استفاده از داده‌های خاک - گیاه - اتمسفر را توصیف می‌کنند.

عملکرد گندم از سطح مزرعه‌ای تا سطوح منطقه‌ای و ملی توسط مدل‌های آبیاری انجام می‌دهند (Bannayan et al., 2003; Travasso and Suipt, 1997). استفاده از مدل‌های آبیاری دارای 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 شیه سازی 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 شیه سازی می‌شود. به علت محدودیت دسترسی به داده‌های آب و هوا، روزانه در اکثر مناطق ایران کاربرد این مدل‌ها، بنابراین هدف از این پژوهش ساخت یک مدل ساده برای آبیاری و عملکرد گندم

براساس داده‌های آب و هوا، گیاه‌ها و بررسها.

مواد و روش

- آزمایش‌های مزرعه‌ای

داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و بررسیها در 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 تاریخ (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 آزمایش دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور (در ۱۰ کیلومتری دزفول) و شهرستان دشت آزادگان در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ 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 آزمایشها براساس بذور در مترمربع در ردیف به طول ۱۰ متر و به فاصله ۰/۲۵ متر از یک رابطه خطی بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation, PAR) در ۱۰۰۰ شده 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) نامیده می‌شود. کارایی مصرف تشعشع برای گندم یا ۰/۰۱ گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در (PAR) در واحد سطح (۱۰۰۰۰۰) بر است و برای برآورد آن در هر ژنوتیپ (۱۰۰۰۰۰) رابطه مطلوب تغذیه‌ای و رطوبتی، از طریق

مراحل اصلی فنولوژی براساس مقیاس زادوکس (Zadoks et al., 1974) از طریق بازدیدهای مستمر از مزارع یادداشت می‌شود. برای اندازه‌گیری رات وزن خشک گیاه در هر ۱۰ روز یک بار از ۱۰۰۰۰ معادل $0/00m^2$ گیاهان کف بر شده و سپس به مدت ۱۰ ساعت در دمای $20^{\circ}C$ در اون خشک و سپس توزین (Ehdaie and Wains, 2001). برداشت نهایی کرت‌ها ۱۰ روز بعد از رسیدن بولور (زرد شدن آخرین برگه از گیاهان) انجام شد.

- مدل سازی و توصیف مدل

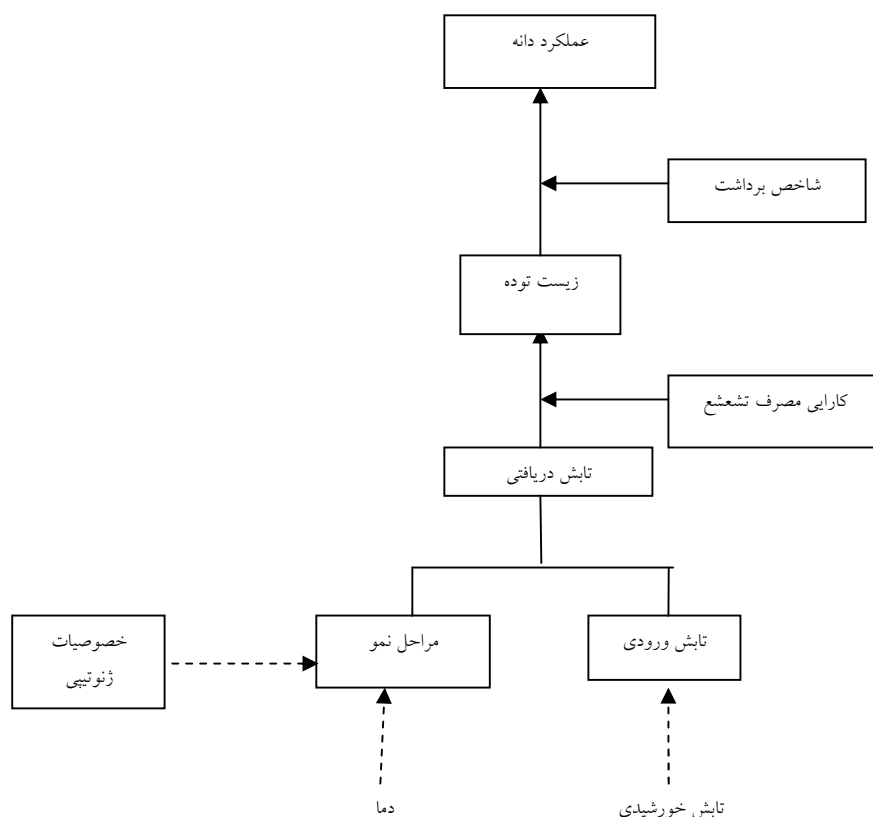
ساختار مفهوم مدل «WheatPot» در ۱۰ نشان داده شده است. عملکرد دانه به عنوان حاصل ضرب شاخص برداشت در ماده خشک کل محاسبه می‌شود. محاسبات زیر مدل فنولوژی، تجمع ماده خشک و تشعشع در ۱۰۰۰ برای این عملکرد ضروری است. در ۱۰۰۰ گیاهانی ممتد نشانگر ارتباطات منطقه‌ای این زوایا مدل‌ها و پیکان‌های شکسته نشانگر ورودی آب و هوا و گیاه برای اجرای مدل می‌باشد.

مدل بر این اساس ساخته شده است که تشعشع خورشیدی دریافت شده توسط برگ‌های ۱۰۰۰ انداز گیاه انرژی برای رشد گیاه است. زمانه ۱۰ گیاه زراعی تحت شرایط رطوبتی و تغذیه‌ای مطلوب رشد می‌کند. یک رابطه خطی بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation, PAR) در ۱۰۰۰ شده 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) نامیده می‌شود. کارایی مصرف تشعشع برای گندم یا ۰/۰۱ گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در (PAR) در واحد سطح (۱۰۰۰۰۰) بر است و برای برآورد آن در هر ژنوتیپ (۱۰۰۰۰۰) رابطه مطلوب تغذیه‌ای و رطوبتی، از طریق

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

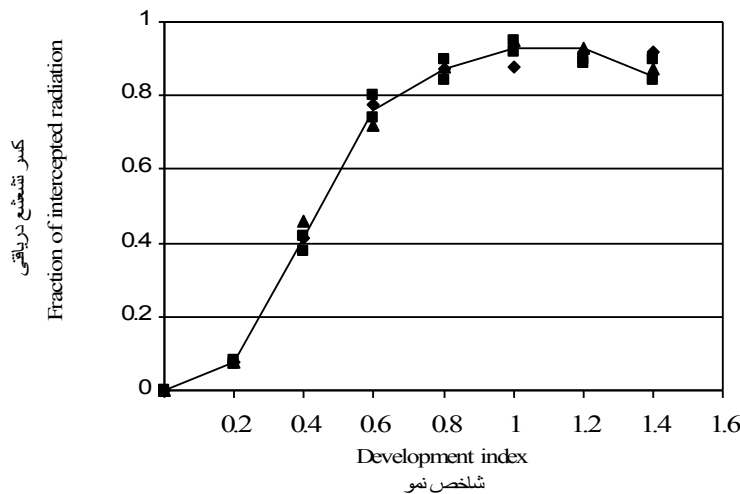
Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

Location and Years	مکان و سال	عرض و طول جغرافیایی Latitude and Longitude	Treatments	تیمارها	Cultivars	ارقام
Ahvaz 2003-2004	اهواز ۱۳۸۳-۱۳۸۴	31° 21' N 48° 8' E	Cultivar and sowing date	رقم و تاریخ کار	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 درخت (Fraction of intercepted radiation, F_i) با استفاده از (Development Index, DVI) و شاخص سطح برگ (Sheehy *et al.*, 2004) محاسبه شد. برآورد کرد (Horie *et al.*, 1995):

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

معادله با $(r^2 = 0.99)$ و $a = 0.0001$ ، $b = 0.0001$ ، $C = 0.0001$ و DVI از طریق جمع کردن سرعت درخت

فاصله زمان بین مراحل فتولوژی (Horie *et al.*, 1995).

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

Y عملکرد دانه (گرم در مترمربع) HI برداشت (نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولید شده) است که در طول دوره پر شدن دانه به طور خطی افزایش (Amir and Sinclair, 1991) RUE کارایی مصرف تشعشع (گرم ماده خشک بر مگاژول) Q_{dPARi} متوسط روزانه تشعشع دریافت شده در هر ماه (مگاژول) F_i کسر تشعشع درخت P_i تعداد روزها که تشعشع دریافت کرد (روز) ΔE_i کسری از حداکثر کارایی 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 می باشد.

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

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 زمین) به عنوان ورودی مدل مدنظر است. لازم است که ساعات آفتاب موجود به تشعشع خورشیدی تبدیل شود. این منظور از زبانی به شرح زیر (FAO 56) استفاده گردید، که در این زیر مدل از رابطه آنکسترم برای تبدیل ساعات ورودی بر اساس ساعات آفتاب استفاده شده است (بازده، ۱۳۸۵).

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

$$Ws = \arccos(-\tan \lambda \cdot \tan \delta) \quad (8)$$

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

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

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

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

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

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

مقدار زمین تا خورشید: زاویه تابش خورشید (رادیان) M: شماره ماه میلادی J: شماره روز ژولین از ابتدای سال میلادی Rs: تشعشع ورودی

در این معادلات Ra: تابش برون زمین (MJ m⁻² d⁻¹) λ: عرض جغرافیایی (رادیان) Ws: زاویه غروب خورشید (رادیان) dr: ضریب

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

Cultivar	رقم	GDD مورد نیاز از از سبز شدن تا رسوب	GDD مورد نیاز از رسوب بولور	حداکثر بولور روبو	حداکثر بولور زای	کارآیی صرف نور Radiation Use Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index (%)
		Required GDD from Emergence to Anthesis	Required GDD from Anthesis to maturity	Maximum Development Rate of Vegetative Phase	Maximum Development Rate of Reproductive Phase		
Fong	۱۱۱	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 بو (سبز شدن تا گل دهی) در دمای مطلوب، معکوس زمان d⁻¹)

(R_{max,r}: حداکثر سرعت نمو زای (از گل دهی تا رسوب بولور) در دمای مطلوب، معکوس زمان d⁻¹)

(RUE: کارآیی مصرف تشعشع (بیل 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 اندام های هوا))

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

ارزاء مدل

عملکردهای به دست آمده از آزمایشی مزرعه ای
مذکور، مقایسه و توسط شاخصهای
ارزاء RMSE (Root Mean Square Error) و
MBE (Mean Bias Error) و MPE (Mean Percentage Error)
d (Willmot Agreement Inex) مدل ارزاء
گرد (جدول ۴).

برای ارزاء مدل، از داده های به دست آمده از
آزمایشی انجام شده در دانشگاه رامین، دزفول و
بستان در سال زراعت ۱۳۹۰-۱۳۹۱ استفاده شد.
سالهای اجرای آزمایشها، داده های هواشناسی مربوط
به آن سال در هر ایستگاه تنظیم و مدل اجرا گردید.
سپس عملکردهای حاصل از شبیه سازی توسط مدل با

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

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

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

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

که در این معادلات:

O_i : مقدار مشاهده شده (واقع) P_i : مقدار

سازی شده (شده) n : تعداد مشاهدات و $O_{i\text{avg}}$: میانگین داده‌ای مشاهده شده است.

نتیجه و بحث

مراحل فنولوژی

مدل «WheatPot» مراحل گل‌دهی و رسب

بولوژیک را به خوبی سازی و مقدار

RMSE محاسبه شده برای مراحل گل‌دهی و رسب

بولوژیک میانگین برابر و روز بود. ا

مدل تاریخ گل‌دهی را + روز و

رسب بولوژیک را + روز نسبت به زمان-

ی مشاهده شده یا نمود. مقدار د

ارز MBE و MPE و برای زمان گل‌دهی

ب برابر روز، و برای

رسب بولوژیک میانگین معادل روز،

و بود (جدول). این آنالیز رگرسیون ب

زمان سازی شده (شده)

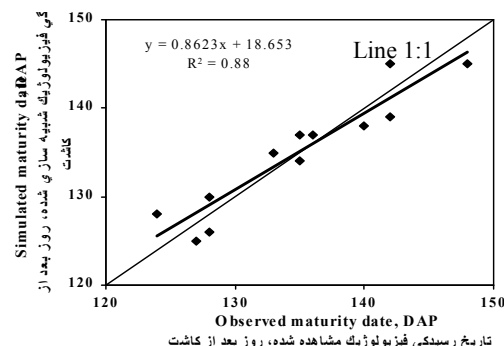
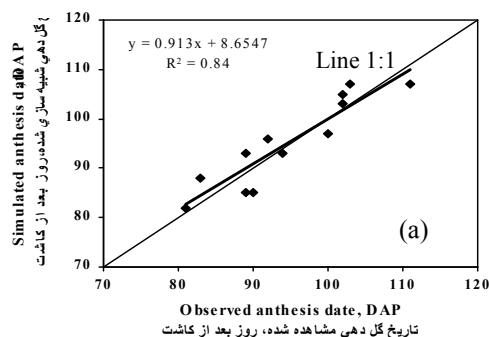
مشاهده شده برای رسب بولوژیک

ب دارای $r^2 = 0.84$ و $r^2 = 0.88$ بودند. ا

ج نشان می‌دهد که مدل «WheatPot»

مراحل فنولوژیک را به طور رضا

و



رابطه بین زمان گل‌دهی (a) و رسب بولوژیک (b) سازی شده و اندازه یی شده

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

سازی شده و اندازه یی شده بسته به سال و منطقه

تن در هکتار متغیر بود. به طور کلی

مدل پتانسیل عملکرد دانه را تا حدودی

عملکرد واقع (اندازه یی شده) برآورد نمود. مقدار

عملکرد دانه و تولید ماده خشک

مدل مورد نظر برای شرا و اجرا و توانا

آن برای سازی و عملکرد دانه و ماده خشک

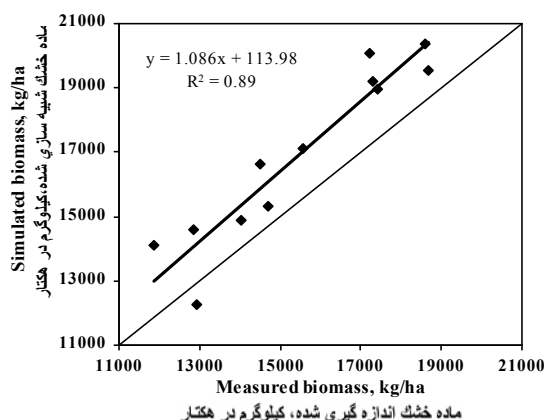
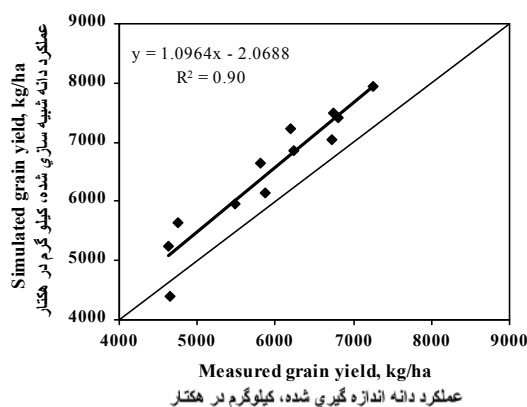
مورد ارز قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهای دانه

رگرسیون بین عملکردهای شبیه سازی شده و مشاهده شده ($r^2 = 0.90$) کارکرد این مدل را در پهنای عملکرد کندی برای داده های آب و هوا، روزانه وجود ندارد مورد تأیید قرار می دهد ($a = 1.0964x - 2.0688$). 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 بود. نسبت به ماده خشک کل اندازه گیری شده (واقعاً) بر بود. بین دیگر تفاوت بین ماده خشک شبیه سازی شده و مشاهده شده از ۴۰۰۰ تا ۹۰۰۰ درصد بود. مقدار RMSE محاسبه شده ۱/۰۹۶۴ تن در هکتار و کمتر از ۱ درصد بین مقادیر مشاهده شده بود. مقدار شاخص های MBE، MPE و d بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد بود. تن در هکتار، ۱/۰۹۶۴ و ۱/۰۹۶۴ بود. آنالیز رگرسیون بین داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده ($b = 1.086x + 113.98$) توافق خوبی را بین این دو سری داده ها نشان نمود ($r^2 = 0.89$). به طور کلی مقادیر شبیه سازی مذکور بین 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 بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد بود. تن در هکتار، ۱/۰۹۶۴ و ۱/۰۹۶۴ بود. در مقایسه با این مدل، کارکرد مدل CERES-Wheat در مناطق و سال های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ گزارش گردید. مقدار RMSE محاسبه شده بین عملکردهای ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد شده و شبیه سازی شده برابر ۱/۰۹۶۴ تن در هکتار (Ghaffari et al., 2001) و ۱/۰۹۶۴ تن در هکتار (Bannayan et al., 2003) و ۱/۰۹۶۴ 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., and Otter, 1985) و SUCROS2 (Van Laar et al., 1992) و SWHEAT (Van Keulen and Seligman, 1987) را با مقادیر RMSE محاسبه نمودند. مقدار RMSE بین عملکردهای شبیه سازی شده و مشاهده شده برای مدل مذکور به ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد و ۱/۰۹۶۴ و ۱/۰۹۶۴ تن در هکتار بود. مقدار RMSE محاسبه شده برای مدل WheatPot (تن در هکتار) RMSE بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد بود. عملکرد دانه را با استفاده از داده های آب و هوا، روزانه شبیه سازی شد، 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) Physiological Maturity (DAP)			عملکرد دانۀ (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

آنالیز حساسیت مدل

مجموعه ارزش‌های مدل نسبت به ورودی‌های مدل، درجه حرارت، تشعشع خورشیدی و تاریخ کاشت (جدول ۵) نشان می‌دهد که مدل به خویله‌ها (عوامل را بر پتانسیل عملکرد شبیه‌سازی می‌کند) حساس‌تر است. بل عملکرد شاهد در نظر گرفته شده مربوط به کاشت گندم رقم چمران در تاریخ ۱۳۹۳/۰۱/۰۱ (اول آذر) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ است.

به منظور ارزیابی حساسیت مدل به تغییرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت را ۱۰ روز زودتر (+۱۰) و ۱۰ روز دیرتر (-۱۰) به مدل وارد شد. تغییرات حاصل شده توسط مدل نشان داد که کاشت زودتر به مدت ۱۰ روز باعث ۱۰ درصد (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد و کاشت گندم با ۱۰ روز تاخیر ۱۰ درصد (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد

گردد. افزایش ۱۰ درصد درجه حرارت در طی فصل رشد باعث ۱۰ درصد (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد می‌شود در صورتی که ۱۰ درصد درجه حرارت در طی فصل رشد موجب ۱۰ درصد (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد می‌گردد. همچنین افزایش و کاهش ۱۰ درصدی مقدار تشعشع خورشیدی ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) ۱۰ درصد (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش و کاهش در پتانسیل عملکرد می‌شود. این نشان می‌دهد که حساسیت مدل به تشعشع خورشیدی بیشتر از درجه حرارت است و چنانچه استنباط می‌شود که درجه حرارت از طریق تغییرات سرعت نمو و تغییر طول دوره رشد گیاه بر رشد عملکرد تأثیرگذار دارد، در صورتی که تشعشع خورشیدی به عنوان منبع انرژی و انرژی محرکه لازم برای 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 sensitivity to sowing date, temperature and solar radiation

Factor	تغییرات	درصد تغییرات	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تغییرات نسبی	درصد تغییرات
	Variation %		Grain Yield (kg/ha)	Change Relative to Control (kg/ha)	Change Relative to Control %
Control	-	-	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

داده‌های هواشناسی به‌کاررفته در مدل عملکرد را تخمین زد. ارزش مدل با استفاده از نتایج آزمایش‌های اجرا شده نشان داد که مدل به طور رضایتمندی قادر است عملکرد را با تغییرات ۱۰ درصدی درجه حرارت و ۱۰ درصدی تشعشع خورشیدی (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) تخمین بزند. این نشان می‌دهد که مدل نسبت به تغییرات ۱۰ درصدی درجه حرارت و ۱۰ درصدی تشعشع خورشیدی حساس‌تر است.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی ساخت این مدل (WheatPot) کمک به کشاورزان در انتخاب تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری و استفاده از کودها و سموم است تا به کمک آن بتوان در مناطق که با محدودیت داده‌های هواشناسی روزهانه بلند مدت مواجه هستند (مناطق کشور) با استفاده از مدل‌های

اثرات تاریخ کاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی را بر عملکرد دانه شیپ‌سازی می‌کند. اگرچه مدل می‌تواند تا حدودی تفاوت پتانسیل عملکرد را با ژنوتیپ‌های مختلف گندم شیپ‌سازی می‌کند. استفاده از آن برای ارزیابی عملکرد ژنوتیپ‌ها در اقلیم‌های مختلف مستلزم وارد نمودن پارامترها در مدل است. به طور کلی، به داده‌های هواشناسی می‌توان پتانسیل عملکرد گندم آن منطقه را توسط این مدل تخمین زد.

References

منابع مورد استفاده

- بازاده، ا.، ۱۳۸۵. رابطه‌ی آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۱۳۸۵.
- بازاده، ا.، ۱۳۸۵. مدل‌سازی فرا-محیط زیستی رشد گیاه زراعت، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۵.
- 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.