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

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

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

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

چكيده

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

يك مدل مكانيستيكي ساده به نام «WheatPot» براي شبيه‌سازي پتانسيل عملكرد دانه گندم در مقياس منطقه‌اي ساخته شد. اين مدل مراحل اصلي فنولوژي و توليد ماده خشك را به عنوان تابعي از درجه حرارت و تشعشع خورشيدي شبيه‌سازي مي‌كند و شامل زير مدل‌هاي مراحل نمو، توليد ماده خشك و عملكرد دانه مي‌باشد. ورودي‌هاي مورد نياز جهت اجراي مدل براي هر منطقه شامل ميانگين ماهانه داده‌هاي آب و هوايي (درجه حرارت‌هاي حداقل و حداكثر و تشعشع خورشيدي) و خصوصيات گياه زراعي (تاريخ كاشت، ميزان درجه- روز رشد يا GDD مورد نياز براي مراحل فنولوژي، كارايي مصرف نور و شاخص برداشت) مي‌باشد. با استفاده از نتايج آزمايش‌هاي انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طي سال‌هاي زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸٤-۱۳۸۳ مدل مورد ارزيابي قرار گرفت. مقايسه نتايج شبيه‌سازي شده با داده‌هاي اندازه‌گيري شده نشان داد، كه تحت شرايط پتانسيل، مدل مي‌تواند مراحل فنولوژي، توليد ماده خشك و عملكرد دانه را به خوبي شبيه سازي نمايد. به طوري كه مقدار ريشه انحراف ميانگين مربعات اشتباه (RMSE) براي تاريخ گل‌دهي، رسيدگي فيزيولوژيك، توليد ماده خشك و عملكرد دانه به ترتيب برابر ۳/۵ روز، ۲/۵ روز، ۰/٦۵ تن در هكتار و ۱/٦۹ تن در هكتار مي باشد. بنابراين، اين مدل مي‌تواند به عنوان يك ابزار كاربردي براي تخمين تقريبي پتانسيل عملكرد دانه گندم در مناطقي كه فاقد داده‌هاي آب و هوايي روزانه هستند مورد استفاده قرار گيرد.

واژه هاي كليدي: مدل سازي، پتانسيل عملكرد دانه، گندم، مراحل فنولوژي، تاريخ گل دهي، عملكرد دانه.

تاريخ دريافت: ۱۳۸۵/۱۱/٤

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

مقدمه

پتانسيل عملكرد را مـي‌تـوان تحـت عنـوان عملكـرد يك رقـم (بـا سـازگاري مناسـب نـسبت بـه محـيط) در شرايط آب و مواد غذايي كافي و كنترل مـؤثر عـواملي مانند آفات، بيماري‌ها و علـف‌هـاي هـرز تعريـف نمـود (Evans 1993). تحت چنين شرايطي تجمع ماده خـشك (رشـــد) گيـــاه تـــابعي از تشعـــشع خورشـــيدي، درجـه حـرارت و خـصوصيات گيـاه زراعـي اسـت (نـصيري محلاتـي، ۱۳۷۹). تعيـين پتانـسيل عملكـرد منطقه‌اي گندم و شناخت اخـتلاف عملكـرد پتانـسيل بـا عملكردهاي زارعين منطقه از يك سو موجب بـازنگري در مــديريت‌هــاي اعمــال شــده و يــا بــه كــارگيري راهكارهاي نوين بـراي كـاهش ايـن اخـتلاف عملكـرد مـي گـردد، و از سـوي ديگـر باعـث افـزايش كـارايي مــصرف نهــاده‌هــا (Pala, 1995)، كــاهش آلــودگي محيط زيست و استقرار يك سيـستم كـشاورزي پايـدار (Asadi and Clemente, 2003) مي‌شود.

آزمايش‌هـاي مزرعـه‌اي متـداول فقـط تعـداد خيلـي محدودي از عوامل مؤثر بر رشد گياه را در يـك منطقـه خــاص و در يــك فــصل زراعــي مــورد ارزيــابي قــرار مي دهند. مدل‌هاي شبيه‌سازي نـه تنهـا مـي‌تواننـد تعـداد زيادي از متغيرهاي آب و هوايي و مـديريتي را همزمـان روي رشد گياه مـورد ارزيـابي قـرار دهنـد، بلكـه بـراي انتقــال و تعمــيم نتــايج آزمــايش‌هــاي انجــام شــده در يــك منطقــه و يــك فــصل زراعــي را بــه منــاطق و سال‌هاي زراعي ديگـر مـورد اسـتفاده قـرار مـي گيرنـد (Bannayan *et al.*, 2004). مدل‌هاي شبيه‌سـازي گياهـان زراعي، ابزارهاي سـودمندي بـراي شـناخت فراينـدهاي بيـوفيزيكي حـاكم بـر سيـستم خـاك - گيـاه- اتمـسفر مي‌باشند(Timsina and Hympherys, 2006) . اين مدل‌ها اثـرات تغييـرات آب و هـوا، خـصوصيات ژنوتيـپ‌هـاي گياهي، ويژگي‌هـاي خـاك و عوامـل مـديريتي را روي رشد گياه شبيه سازي مي‌نمايند. مدل‌هاي زيادي وجـود دارنـد كـه بـراي اهـداف متفـاوتي سـاخته شـده‌انـد (Timsina and Hympheryse, 2003). بعـضي از ايـن مــدل‌هــا ماننــد CERES (Ritchie *et al.*, 1993) و WOFOST (Boogaard *et al.*, 1998) عمومي هستند، در صـــورتي كـــه بعـــضي‌هـــا ماننـــد Rice-clock (Gao *et al.*, 1992) منحصراً براي هدف خاصي سـاخته شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضيات مربـوط به فيزيولوژي گياه و رابطه آن با محـيط پيرامـون سـاخته مــي‌شــوند. ايــن شــناخت و روابــط بــه صــورت معـادلات رياضـي بـا هـم تلفيـق مـي‌شـوند تـا سيـستم خاك - گياه- اتمسفر را توصيف نمايند.

پيش‌بيني عملكرد گندم از سطح مزرعه‌اي تا سطوح منطقـه‌اي و ملـي توسـط مـدل‌هـاي شـبيه سـازي انجـام مـي‌گيـرد (Bannayan *et al.*, 2003; Travasso and Delecolle, 1995; Suipt, 1997). استفاده از مـدل‌هـاي پيچيده داراي مشكلات خاص خود مي باشـد، از جملـه اين مشكلات نياز به داده‌هاي ورودي زياد براي اجـراي اين مدل‌ها است كه بايد توسـط كـاربر فـراهم گـردد و معمولاً اين داده‌ها در كـشورهاي در حـال توسـعه قابـل دسـترس نمـي‌باشـند (Amir and Sinclair, 1991). يـك روش براي حل اين مشكل، استفاده از مـدل‌هـاي سـاده شده مي‌باشد. در اين مدل‌ها رفتار گياه توسط چند رابطه محدود شبيه سازي مي‌شود(Amir and Sinclair, 1991). تـــاكنون از ايـــن روش بـــراي بررســـي اثـــر تشعـــشع خورشـــيدي و درجـــه حـــرارت روي عملكـــرد گياهان زراعي مختلف از جمله سويا (Spaetch, 1987)، ذرت (Muchow *et al.*, 1990) و بـرنج (Sheehy *et al.*, 2004; Pirmoradian and Sepaskha, 2005) استفاده شده است.

در اكثر مدل‌هاي گياهان زراعي معمـولاً رشـد گيـاه براسـاس داده‌هـاي آب و هـوايي روزانـه شـبيه‌سـازي مي‌شوند. به علت محدوديت دسترسي بـه داده‌هـاي آب و هوايي روزانه در اكثر مناطق ايران كاربرد اين مدل‌هـا ميسر نمي‌باشد. بنابراين هـدف از ايـن پـژوهش سـاخت يك مدل ساده براي پيش‌بينـي پتانـسيل عملكـرد گنـدم

براساس داده‌هاي آب و هوايي ماهانه مي‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- آزمايش‌هاي مزرعه‌اي

داده‌هاي مورد نياز براي واسنجي و بررسي صحت اين مدل از آزمايش‌هاي انجام شده در چند نقطه از استان خوزستان طي سال‌هاي زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳ فراهم شده‌اند. يك آزمايش با دو تاريخ كاشت(۱ آذر و ۲۵ آذر) و سه رقم گندم (فونگ، استار و چمران) به صورت طرح كرت‌هاي خرد شده در قالب بلوك هاي كامل تصادفي با چهار تكرار در مركز تحقيقات كشاورزي و منابع طبيعي خوزستان در اهواز در سال زراعي ۸۳-۱۳۸۲ اجرا گرديد. چهار آزمايش مشابه ديگر در چهار نقطه از استان، شامل مزرعه آزمايشي دانشكده كشاورزي دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي رامين، مركز تحقيقات كشاورزي و منابع طبيعي خوزستان، ايستگاه تحقيقات كشاورزي شاوور (در ۶۰ كيلومتري دزفول) و شهرستان دشت آزادگان در سال زراعي ۸۴-۱۳۸۳ اجرا گرديد(جدول۱). هريك از اين آزمايش‌ها شامل سه رقم گندم (فونگ، چمران، استار) بود كه تقريباً در اوايل آذر ماه به صورت طرح بلوك هاي كامل تصادفي با چهار تكرار كشت شدند. در همه آزمايش‌ها هر كرت آزمايشي براساس ۴۰۰ بذر در مترمربع در ۱۲ رديف به طول ۱۲ متر و به فاصله ۲۰ سانتي‌متر از يكديگر كشت شدند. نياز غذايي گياه بر مبناي آزمون خاك محل‌هاي آزمايش و براي دستيابي به پتانسيل عملكرد تأمين گرديد. در طي فصل رشد علف‌هاي هرز به روش شيميايي كنترل شدند و هيچگونه آفت و بيماري مشاهده نشد. به منظور تأمين رطوبت خاك، زماني كه ميزان رطوبت خاك به ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاك (اندازه‌گيري به روش وزني) كاهش مي‌يافت، بر مبناي مصرف ۱۰۰ ميلي‌متر در هكتار، آبياري كرت‌ها انجام مي‌شد.

مراحل اصلي فنولوژي براساس مقياس زادوكس(Zadoks et al., 1974) از طريق بازديدهاي مستمر از مزارع يادداشت مي‌شد. براي اندازه‌گيري تغييرات وزن خشك گياه در هر ۱۵ روز يك بار از سطحي معادل ۰/۳۳m^2 گياهان كف‌بر شده و سپس به مدت ۷۲ ساعت در دماي ۶۰C° در آون خشك و سپس توزين مي‌شدند (Ehdaie and Wains, 2001). برداشت نهايي كرت‌ها ۱۰ روز بعد از رسيدگي فيزيولوژيك (زرد شدن آخرين ميانگره ۵۰% از گياهان) انجام شد.

۲- مدل سازي و توصيف مدل

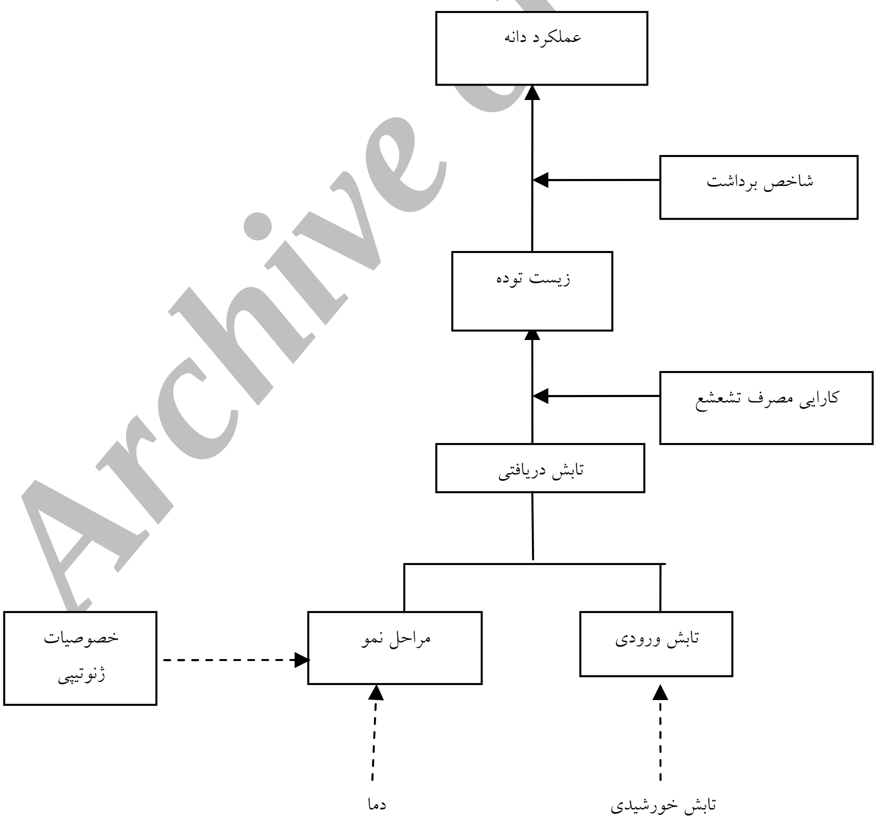
ساختار مفهومي مدل «WheatPot» در شكل ۱ نشان داده شده است. عملكرد دانه به عنوان حاصل‌ضرب شاخص برداشت در ماده خشك كل محاسبه مي‌شود. محاسبات زير مدل‌هاي فنولوژي، تجمع ماده خشك و تشعشع دريافتي براي تعيين عملكرد ضروري هستند. در شكل۱ پيكان‌هاي ممتد نشانگر ارتباطات منطقي بين زير مدل‌ها و پيكان‌هاي شكسته نشانگر ورودي‌هاي آب و هوايي و گياهي براي اجراي مدل مي‌باشند.

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

جدول ١- مكان‌ها ، ارقام و تيمارهاي مورد استفاده در آزمايش‌هاي ارزيابي مدل

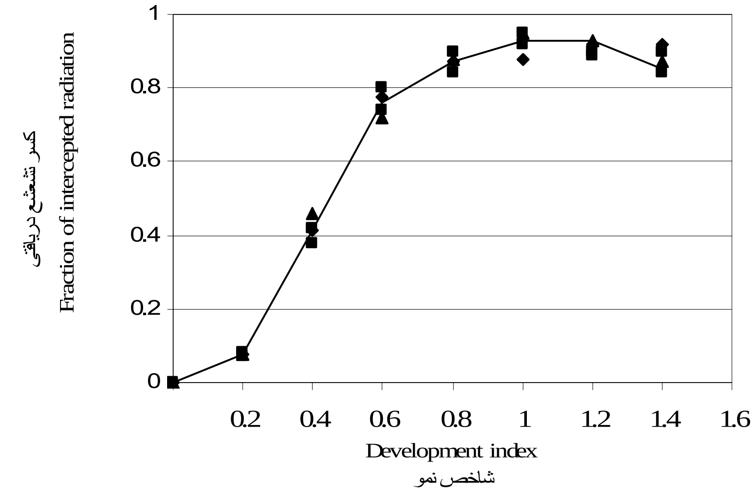
Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

Location and Years	مکان و سال	عرض و طول جغرافيايي Latitude and Longitude	Treatments	تیمارها	Cultivars	ارقام
Ahvaz 2003-2004	اهواز ١٣٨٢-١٣٨٣	31° 21' N 48° 8' E	Cultivar and sowing date	رقـم و تـاريخ کاشت	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ahvaz 2004-2005	اهواز ١٣٨٣- ١٣٨٤	31° 2' N 48° 8' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ramin University 2004-2005	دانشگاه رامين ١٣٨٣-١٣٨٤	31° 36' N 48° 41' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Dezful 2004-2005	دزفول ١٣٨٣-١٣٨٤	31° 16' N 48° 25' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Bostan 2004-2005	بستان ١٣٨٣-١٣٨٤	31° 4' N 48° 0' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار



شکل ١- الگوریتم براي مدلWheatPot

Fig. 1. Algorithm for WheatPot model



شكل۲- رابطه بين شاخص نموي و كسر تشعشع دريافتي

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

تقسيم نمودن ماده خشك كل تجمع يافته در اندام‌هاي هوايي در مرحله رسيدگي فيزيولوژيكي بر مجموع تشعشع فعال فتوسنتزي دريافتي از مرحله سبز شدن تا رسيدگي فيزيولوژيكي محاسبه مي‌شود (Ewert *et al.*, 1999). رابطه بين مراحل نمو و كسر تشعشع فعال فتوسنتزي دريافتي (شكل۲) از طريق منحني برازش داده شده بين مراحل نموي (۰= سبز شدن، ۱= گلدهي يا ظهور كامل سنبله و ۲= رسيدگي) و شاخص سطح برگ به دست آمد (Sheehy *et al.*, 2004). معادله استفاده شده براي تخمين پتانسيل عملكرد عبارت است از (Evans, 1993):

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

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

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

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

كه a =۰/۹٤۳ ، b =۰/٤۸۰ ، C =۰/۱۱٦ ثابت‌هاي تجربي معادله با (r^2=۰/۹۹) هستند.

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

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

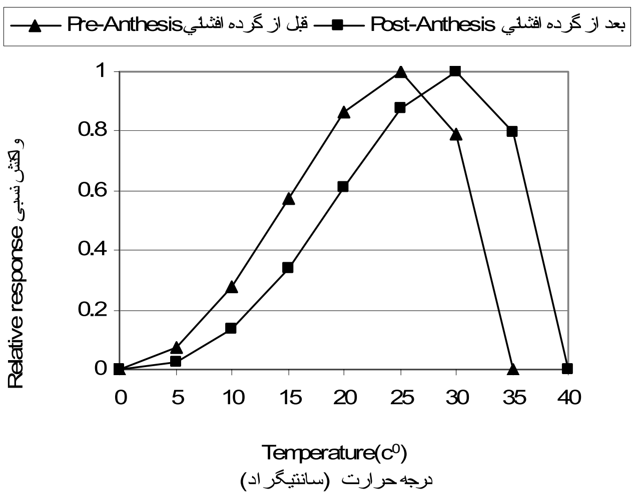
كه DVI ، شاخص نموي در زمان (t) و DVR_i سرعت نمو در روز (i)ام بعد از سبز شدن گياه مي‌باشد كه متناسب با معكوس مدت زمان لازم براي وقوع هر يك از اينپ مراحل است (نصيري محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al*., 1994). باتوجه به اين كه ژنوتيپ‌هاي مورد آزمايش براي مدل‌سازي از تيپ بهاره مي‌باشند و به فتوپريود نيز حساسيتي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

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

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

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

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



شكل۳- واكنش حرارتي سرعت نمو

Fig. 3. Temperature response of development rate

كه T_{min}، T_{opt} و T_{max} (درجه حرارتهاي اصلي نمو) به ترتيب درجه حرارت‌هاي حداقل، مطلوب و حداكثر و T ميانگين درجه حرارت ماهانه مي‌باشد. براي مرحله سبز شدن تا گل‌دهي گندم T_{min}، T_{opt} و T_{max} به ترتيب ۰، ۲٤ و۳۵ درجه سانتي‌گراد و براي مرحله گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيكي T_{min}، T_{opt} و T_{max} به ترتيب ۸، ۲۹ و٤۰ درجه سانتي‌گراد در نظر گرفته مي‌شود (Wang *et al*., 1998). براي مرحله سبز شدن تا گل‌دهي DVI<1 و براي مرحله گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيك 1<DVI<2 منظور گرديد (Sheehy *et al*., 2004). سپس با استفاده از داده‌هاي اقليمي (ميانگين ماهانه) مدل اجرا و پتانسيل عملكرد براي هر منطقه شبيه‌سازي گرديد.

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

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

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

داده‌هاي هواشناسي

ميانگين درجه حرارت ماهانه و ساعات آفتابي ماهانه، مربوط به هريك از ايستگاه‌هاي هواشناسي نزديك به محل اجراي آزمايش‌ها در سال‌هاي اجراي آزمايش‌ها تهيه و به عنوان ورودي‌هاي مدل به شكل مورد نياز مدل تبديل و در پوشه ورودي ذخيره شدند. باتوجه به اين كه تشعشع فعال فتوسنتزي (۵۰ درصد تشعشع خورشيدي وارد شده به سطح زمين) به عنوان ورودي مدل مدنظر است. لازم است كه ساعات آفتابي موجود به تشعشع خورشيدي تبديل شوند. بدين منظور از زير مدلي به شرح زير (FAO 56) استفاده گرديد، كه در اين زير مدل از رابطه آنگستروم براي تصحيح تشعشع ورودي بر اساس ساعات آفتابي استفاده شده است(عليزاده، ۱۳۷۸).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

واسنجي مدل

پارامترهاي گیاهي هر یك از ارقام گندم كه به عنوان ورودي براي اجراي مدل استفاده شدند، از آزمایش‌هاي انجام شده در ایستگاه تحقیقات كشاورزي اهواز طي سال‌هاي زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸٤-۱۳۸۳ به شرح جدول۳ به دست آمدند.

جدول۳- خصوصیات فیزیولوژیكي ارقام گندم مورد استفاده

Table 3. The physiological traits of wheat cultivars

Cultivar	رقم	GDD[1] مورد نیاز از سبز شدن تا گلدهي Required GDD from Emergence to Athesis	GDD مورد نیاز از گل‌دهي تا رسیدگي فیزیولوژیكي Required GDD from Anthesis to maturity	حداكثر سرعت نمو رویشي Maximum Development Rate of Vegetative Phase	حداكثر سرعت نمو زایشي Maximum Development Rate of Reproductive Phase	كارآيي صرف نور Radiation Use Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index (%)
Fong	فونگ	1100	872	0.0143	0.0232	3.0	40
Chamran	چمران	1262	895	0.0126	0.0244	3.4	39
Star	استار	1280	1017	0.0115	0.0244	3.0	36

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

(۲): $R_{max,v}$: حداكثر سرعت نمو رویشي (سبز شدن تا گل‌دهي) در دماي مطلوب، معكوس زمان یا d^{-1}

(۳): $R_{max,r}$: حداكثر سرعت نمو زایشي (از گل‌دهي تا رسیدگي فیزیولوژیك)در دماي مطلوب، معكوس زمان یا d^{-1}

(٤): RUE : كارآيي مصرف تشعشع (ضریب تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزي به ماده خشك)، گرم ماده خشك بر مگاژول بر متر مربع در روز تشعشع یا $gr\ MJ^{-1}\ m^{-2}\ d^{-1}$

(٥): HI : شاخص برداشت (نسبت عملكرد دانه به كل ماده خشك اندام‌هاي هوايي)

*سرعت وقوع مراحل نموي گل‌دهي و رسیدگي فیزیولوژیكي، متناسب با معكوس مدت زمان لازم براي وقوع هر یك از این مراحل است (نصیري محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al.*, 1994).

ارزیابي مدل

براي ارزیابي مدل، از داده‌هاي به دست آمده از آزمایش‌هاي انجام شده در دانشگاه رامین، دزفول و بستان در سال زراعي ۸٤-۱۳۸۳ استفاده شد. باتوجه به سال‌هاي اجراي آزمایش‌ها، داده‌هاي هواشناسي مربوط به آن سال در هر ایستگاه تنظیم و مدل اجرا گردید. سپس عملكردهاي حاصل از شبیه‌سازي توسط مدل با عملكردهاي به دست آمده از آزمایش‌هاي مزرعه‌اي مستقل مذكور ، مقایسه و توسط شاخص‌هاي ارزیابي(Root Mean Square Error) RMSE، MBE (Mean Bias Error)، MPE (Mean Percentage Error) و (Willmot Agreement Inex) d مدل ارزیابي گردید(جدول٤).

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

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

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

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

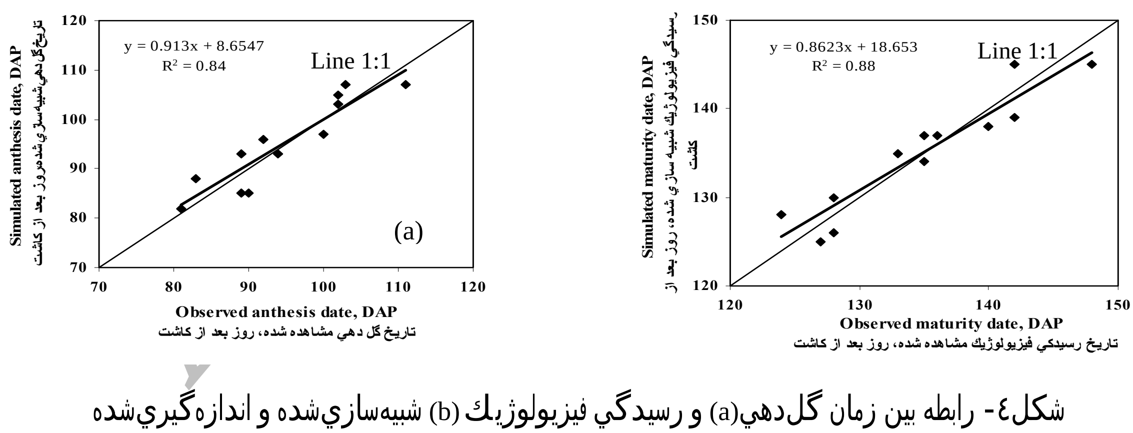
که در این معادلات:

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

نتایج و بحث

مراحل فنولوژي

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



شکل٤- رابطه بین زمان گل‌دهي(a) و رسیدگي فیزیولوژیك (b) شبیه‌سازي‌شده و اندازه‌گیري‌شده

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

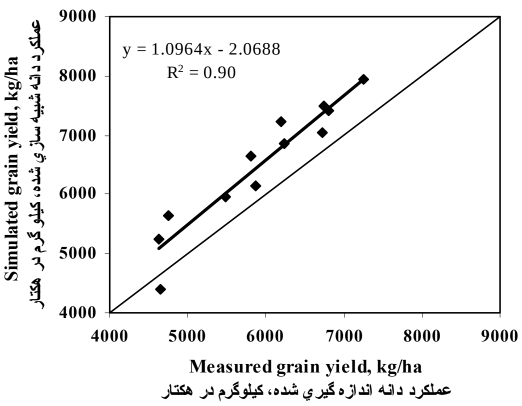
عملکرد دانه و تولید ماده خشك

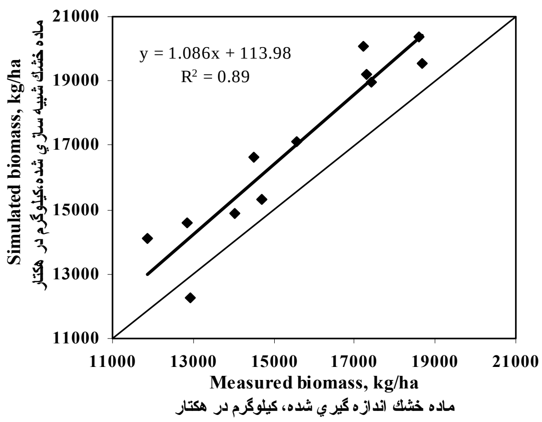
مدل مورد نظر براي شرایط پتانسیل اجرا و توانایي آن براي شبیه‌سازي پتانسیل عملکرد دانه و ماده خشك مورد ارزیابي قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهاي دانه شبیه‌سازي شده و اندازه‌گیري شده بسته به سال و منطقه بین ۰/۳٤- تا ۱/۰۲ تن در هکتار متغیر بود. به طور کلي مدل پتانسیل عملکرد دانه را تا حدودي بیشتر از عملکرد واقعي (اندازه‌گیري شده) برآورد نمود. مقادیر

محاسبه شده RMSE ، MBE ، MPE و شاخص توافق d، به ترتیب برابر ۰/۷ تن در هکتار، ۰/۷۳ تن در هکتار، ۱۱/۹% و ۰/۸۸ بود. در مقایسه با این مدل، کارکرد مدل CERES-Wheat در مناطق و سال‌هاي مختلف چنین گزارش گردید. مقدار RMSE محاسبه شده بین عملکردهاي پیش‌بیني شده و شبیه‌سازي شده برابر ۰/۲٤ تن در هکتار (Ghaffari *et al.*, 2001)، ۰/۲۸ تن درهکتار (Bannayan *et al.*, 2003) و ۰/٤ تن در هکتار (Timsina and Hymphres, 2003) بود.

جامسون و همکاران (Jamieson *et al.*, 1998) مدل‌هاي AFRECWHEAT2 (Porter, 1993)، CERES-Wheat (Ritchie and Otter, 1985)، Sirius (Broking *et al.*, 1995)، SUCROSW2 (Van Laar *et al.*, 1992) و SWHEAT (Van Keulen and Seligman, 1987) را با یکدیگر مقایسه نمودند. مقدار RMSE بین عملکردهاي شبیه‌سازي شده و مشاهده شده براي مدل‌هاي مذکور به ترتیب برابر ۰/٦٤، ۰/۹، ۰/۹، ۱/۲۸ و ۱/٤۲ تن در هکتار بود. مقایسه مقدار RMSE محاسبه شده براي مدل WheatPot (۰/۷ تن در هکتار) با RMSE مدل‌هاي مذکور که عملکرد دانه را با استفاده از داده‌هاي آب و هوایي روزانه شبیه‌سازي مي‌نمایند، نشان داد که توانایي مدل WheatPot در پیش‌بیني عملکرد دانه تا حدود زیادي مشابه این مدل‌ها مي‌باشد. به علاوه برازش رگرسیون بین عملکردهاي شبیه‌سازي شده و مشاهده شده (r^2=۰/۹۰) کارکرد این مدل را در پیش‌بیني عملکرد گندم براي مناطقي که داده‌هاي آب و هوایي روزانه وجود ندارد مورد تأیید قرار مي‌دهد (شکل5a). تفاوت‌هاي بین پتانسیل عملکردهاي شبیه‌سازي شده و اندازه‌گیري شده احتمالاً به عوامل شناخته نشده که مشمول مدل نمي‌شوند نسبت داده مي‌شود.

ماده خشك کل شبیه‌سازي شده از ۹۵% تا ۱۱۹% نسبت به ماده خشك کل اندازه‌گیري شده (واقعي) متغیر بود. به بیان دیگر تفاوت بین ماده خشك شبیه‌سازي شده و مشاهده شده از ۰/۲٤ تا ۲/۸ تن در هکتار بود. مقدار RMSE محاسبه شده ۱/۷ تن در هکتار و کمتر از ۱۰درصد میانگین مقادیر مشاهده شده بود. مقدار شاخص‌هاي MBE ، MPE و d به ترتیب برابر ۱/٤ تن در هکتار، ۱۰/۲% و ۰/۸۸ بود. آنالیز رگرسیون بین داده‌هاي شبیه‌سازي شده و مشاهده شده (شکل 5b) توافق خوبي را بین این دو سري داده‌ها بیان نمود (r^2=۰/۸۹). به طور کلي مقادیر شاخص‌هاي مذکور مبین کارکرد مناسب مدل در پیش‌بیني ماده خشك کل مي‌باشد. اگرچه در بیشتر حالات ماده خشك شبیه‌سازي شده تا اندازه‌اي بیشتر از مقدار مشاهده شده آن بود که این تفاوت احتمالاً به عوامل محیطي مؤثر بر کارایي مصرف نور مربوط مي‌شود که مدل نشده‌اند.





شکل۵- رابطه بین عملکرد دانه(a) و ماده خشك (b) شبیه سازي شده و اندازه گیري شده

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

جدول٤ - مقايسه نتايج شبيه سازي مراحل گل دهي و رسيدگي فيزيولوژيك ، عملكرد دانه و ماده خشك اندامهاي هوايي توسط مدل WheatPot با داده هاي اندازه گيري 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		گل‌دهي(روز بعد از كاشت) Anthesis (DAP)*			رسيدگي فيزيولوژيك (روز بعد از كاشت) Physiological Maturity (DAP)			عملكرد دانه(كيلوگرم در هكتار) Grain Yield ($kgha^{-1}$)			ماده خشک کل(كيلوگرم در هكتار) Biomass ($kgha^{-1}$)		
		شبيه‌سازي‌شده Simulated	مشاهده‌شده Observed	تفاوت Difference	شبيه‌سازي‌شده Simulated	مشاهده‌شده Observed	تفاوت Difference	شبيه‌سازي‌شده Simulated	اندازه‌گيري‌شده Measured	تفاوت Difference	شبيه‌سازي‌شده simulated	اندازه‌گيري‌شده Measured	تفاوت Difference
Ahvaz اهواز													
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
Ramin Uni دانشگاه رامين													
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
Dezful دزفول													
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
Bostan بستان													
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

آناليز حساسيت مدل

نتايج ارزيابي حساسيت مدل نسبت به وروديهاي مدل، درجه حرارت، تشعشع خورشيدي و تاريخ كاشت (جدول۵) نشان ميدهد كه مدل به خوبي تأثير اين عوامل را بر پتانسيل عملكرد شبيهسازي مينمايد. پتانسيل عملكرد شاهد در نظر گرفته شده مربوط به كاشت گندم رقم چمران در تاريخ كاشت مناسب (اول آذر) در ايستگاه تحقيقات كشاورزي اهواز در سال زراعي ۸۳-۱۳۸۲ ميباشد.

به منظور ارزيابي تغيير تاريخ كاشت بر پتانسيل عملكرد گندم، تاريخ كاشت را ۱۰ روز زودتر (۱۰+) و ۱۰ روز ديرتر (۱۰-) به مدل وارد شد. نتايج شبيهسازي شده توسط مدل نشان داد كه كاشت زودتر به مدت ۱۰ روز باعث ۱/۸ درصد (۱۳۳ كيلوگرم در هكتار) افزايش عملكرد و كاشت گندم با ۱۰ روز تأخير منجر به ٦ درصد (٤۵۷ كيلوگرم در هكتار) كاهش عملكرد ميگردد. افزايش ۱۰ درصد درجه حرارت در طي فصل رشد باعث ٦/٤ درصد (٤۹۷ كيلوگرم در هكتار) كاهش عملكرد ميشود در صورتي كه كاهش ۱۰% درجه حرارت در طي فصل رشد موجب ۲/۸ درصد (۲۱۳ كيلوگرم در هكتار) افزايش عملكرد ميگردد. همچنين افزايش و كاهش ۱۰ درصدي مقدار تشعشع خورشيدي به ترتيب باعث ۱۰ درصد (۷۵۰ كيلوگرم در هكتار) افزايش و كاهش در پتانسيل عملكرد ميشود. اين نتايج نشان ميدهند كه حساسيت مدل به تشعشع خورشيدي بيشتر از درجه حرارت است و چنين استنباط ميشود كه درجه حرارت از طريق تأثير بر سرعت نمو و تغيير طول دورة رشد گياه بر رشد و عملكرد تأثير ميگذارد، در صورتي كه تشعشع خورشيدي به عنوان منبع انرژي و نيروي محركه لازم بر فرايند فتوسنتز و توليد ماده خشك مؤثر است.

جدول ۵- آناليز حساسيت مدل نسبت به تاريخ كاشت، درجه حرارت و تشعشع خورشيدي

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

Factor	عامل	تغيير(در صد) Variation %	عملكرد دانه(كيلوگرم درهكتار) Grain Yield (kg/ha)	تغيير نسبت به شاهد Change Relative to Control (kg/ha)	درصد تغيير نسبت به شاهد Change Relative to Control %
Control	شاهد	-	7495	0	0.0
Sowing Date	تاريخ كاشت	+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 خورشيدي	+10	8247	+750	+10.0
		-10	6748	-750	-10.0

نتيجهگيري

هدف اصلي ساخت اين مدل (WheatPot)، توليد يك ابزار كمكي است تا به كمك آن بتوان در مناطقي كه با محدوديت دادههاي هواشناسي روزانه بلند مدت مواجه هستند (برخي مناطق كشور) با استفاده از ميانگين دادههاي هواشناسي ماهانه، پتانسيل عملكرد را تخمين زد. ارزيابي مدل با استفاده از نتايج آزمايشهاي اجرا شده نشان داد كه مدل به طور رضايتبخشي قادر است پتانسيل عملكرد را پيشبيني نمايد. نتايج آناليز حساسيت مدل نيز مبين آن است كه مدل ميتواند

اثـرات تـاريخ كاشـت، درجـه حـرارت و تشعـشع خورشيدي را بر عملكرد دانه شبيه‌سازي نمايـد. اگرچـه مدل مي‌تواند تا حدودي تفاوت پتانسيل عملكرد را بـين ژنوتيپ‌هـاي مختلـف گنـدم شـبيه‌سـازي نمايـد، لـيكن استفاده از آن براي ارزيابي پتانسيل عملكرد ژنوتيـپ‌هـا در اقليم‌هاي مختلـف مـستلزم وارد نمـودن پارامترهـا يـا خـصوصيات ژنتيكـي بيـشتري از ژنوتيـپ‌هـا در مـدل مي‌باشد. به طور كلي با تهيه داده‌هاي هواشناسي ماهانـه در يك دوره بلند مدت براي هر منطقه مي‌توان پتانـسيل عملكرد گندم آن منطقه را توسط اين مدل تخمين زد.

منابع مورد استفاده

References

عليزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه‌ي آب و خاك و گياه، انتشارات دانشگاه امام رضا.۳۵۳ صفحه.

نصيري محلاتي، م. ۱۳۷۸. مدل‌سازي فرايندهاي رشد گياه زراعي، انتشارات جهاد دانشگاهي مشهد. ۲۸۰ صفحه.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRACT

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

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

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

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.