"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[1]، عبدالمهدی بخشنده[2]، محمد بنايان[3]، يحيي امام[4]، قدرت اله فتحي[5] و خليل عالمي سعيد[6]

چكيده

اندرزيان، ب.، ع. م. بنايان، ی. 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 سازی، پتانسيل عملكرد دانه، گندم، مراحل فنولوژی، تاريخ گل دهي، عملكرد دانه.

تاريخ دريافت: ۱۳۸۵/۱۱/٤

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

مقدمه

پتانسيل عملكرد را مي‌توان تحت عنوان عملكرد يک رقم (با سازگاری مناسب نسبت به محيط) در شرايط آب و مواد غذايي كافي و كنترل مؤثر عواملي مانند آفات، بيماری‌ها و علف‌های هرز تعريف نمود (Evans 1993). تحت چنين شرايطي تجمع ماده خشک (رشد) گياه تابعي از تشعشع خورشيدی، درجه حرارت و خصوصيات گياه زراعي است (نصيری محلاتي، ۱۳۷۹). تعيين پتانسيل عملكرد منطقه‌ای گندم و شناخت اختلاف عملكرد پتانسيل با عملكردهای زارعين منطقه از يک سو موجب بازنگری در مديريت‌های اعمال شده و يا به كارگيری راهكارهای نوين برای كاهش اين اختلاف عملكرد مي گردد، و از سوی ديگر باعث افزايش كارايي مصرف نهاده‌ها (Pala, 1995)، كاهش آلودگي محيط زيست و استقرار يک سيستم كشاورزی پايدار (Asadi and Clemente, 2003) مي‌شود.

آزمايش‌های مزرعه‌ای متداول فقط تعداد خيلي محدودی از عوامل مؤثر بر رشد گياه را در يک منطقه خاص و در يک فصل زراعي مورد ارزيابي قرار مي دهند. مدل‌های شبيه‌سازی نه تنها مي‌توانند تعداد زيادی از متغيرهای آب و هوايي و مديريتي را همزمان روی رشد گياه مورد ارزيابي قرار دهند، بلكه برای انتقال و تعميم نتايج آزمايش‌های انجام شده در يک منطقه و يک فصل زراعي را به مناطق و سال‌های زراعي ديگر مورد استفاده قرار مي گيرند (Bannayan *et al*., 2004). مدل‌های شبيه‌سازی گياهان زراعي، ابزارهای سودمندی برای شناخت فرايندهای بيوفيزيكي حاكم بر سيستم خاک- گياه- اتمسفر مي‌باشند(Timsina and Hympherys, 2006) . اين مدل‌ها اثرات تغييرات آب و هوا، خصوصيات ژنوتيپ‌های گياهي، ويژگي‌های خاک و عوامل مديريتي را روی رشد گياه شبيه سازی مي‌نمايند. مدل‌های زيادی وجود دارند كه برای اهداف متفاوتي ساخته شده‌اند (Timsina and Hympheryse, 2003). بعضي از اين مدل‌ها مانند CERES (Ritchie *et al*., 1993) و WOFOST (Boogaard *et al*., 1998) عمومي هستند، در صورتي كه بعضي‌ها مانند Rice-clock (Gao *et al*., 1992) منحصرا برای هدف خاصي ساخته شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضيات مربوط به فيزيولوژی گياه و رابطه آن با محيط پيرامون ساخته مي‌شوند. اين شناخت و روابط به صورت معادلات رياضي با هم تلفيق مي‌شوند تا سيستم خاک- گياه- اتمسفر را توصيف نمايند.

پيش‌بيني عملكرد گندم از سطح مزرعه‌ای تا سطوح منطقه‌ای و ملي توسط مدل‌های شبيه سازی انجام مي‌گيرد (Bannayan *et al*., 2003; Travasso and Delecolle, 1995; Suipt, 1997).استفاده از مدل‌های پيچيده دارای مشكلات خاص خود مي باشد، از جمله اين مشكلات نياز به داده‌های ورودی زياد برای اجرای اين مدل‌ها است كه بايد توسط كاربر فراهم گردد و معمولا اين داده‌ها در كشورهای در حال توسعه قابل دسترس نمي‌باشند (Amir and Sinclair, 1991). يک روش برای حل اين مشكل، استفاده از مدل‌های ساده شده مي‌باشد. در اين مدل‌ها رفتار گياه توسط چند رابطه محدود شبيه سازی مي‌شود(Amir and Sinclair, 1991). تاكنون از اين روش برای بررسي اثر تشعشع خورشيدی و درجه حرارت روی عملكرد گياهان زراعي مختلف از جمله سويا (Spaetch, 1987)، ذرت (Muchow *et al*., 1990) و برنج (Sheehy *et al*., 2004; Pirmoradian and Sepaskha, 2005) استفاده شده است.

در اكثر مدل‌های گياهان زراعي معمولا رشد گياه براساس داده‌های آب و هوايي روزانه شبيه‌سازی مي‌شوند. به علت محدوديت دسترسي به داده‌های آب و هوايي روزانه در اكثر مناطق ايران كاربرد اين مدل‌ها ميسر نمي‌باشد. بنابراين هدف از اين پژوهش ساخت يک مدل ساده برای پيش‌بيني پتانسيل عملكرد گندم

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

براساس داده‌هاي آب و هوايي ماهانه مي‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- آزمایش‌های مزرعه‌ای

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 ۸٤-۱۳۸۳ فراهم شده‌اند. يک آزمايش با دو تاريخ كاشت(۱ آذر و ۲۵ آذر) و سه رقم گندم (فونك، استار و چمران) به صورت طرح كرت‌هاي خرد شده در قالب بلوك‌هاي 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 ازمايشي دانشكده كشاورزي دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي رامين، مركز تحقيقات كشاورزي و منابع طبيعي خوزستان، ايستگاه تحقيقات كشاورزي شاوور (در ٦۰ كيلومتري دزفول) و شهرستان دشت ازادگان در سال زراعي ۸٤-۱۳۸۳ اجرا گرديد(جدول۱). هريك از اين آزمايش‌ها شامل سه رقم گندم (فونك، چمران، استار) بود كه تقريبا در اوايل اذر ماه به صورت طرح بلوك‌هاي كامل تصادفي با چهار تكرار كشت شدند. در همه آزمايش‌ها هر كرت ازمايشي براساس ٤۰۰ بذر در مترمربع در ۱۲ رديف به طول ۱۲ متر و به فاصله ۲۰ سانتي‌متر از يكديگر كشت شدند. نياز غذايي گياه بر مبناي ازمون خاك محل‌هاي ازمايش و براي دستيابي به پتانسيل عملكرد تامين گرديد. در طي فصل رشد علف‌هاي هرز به روش شيميايي كنترل شدند و هيچگونه افت و بيماري مشاهده نشد. به منظور تامين 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، ابياري 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 ٦۰C° 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 سازی و توصیف مدل

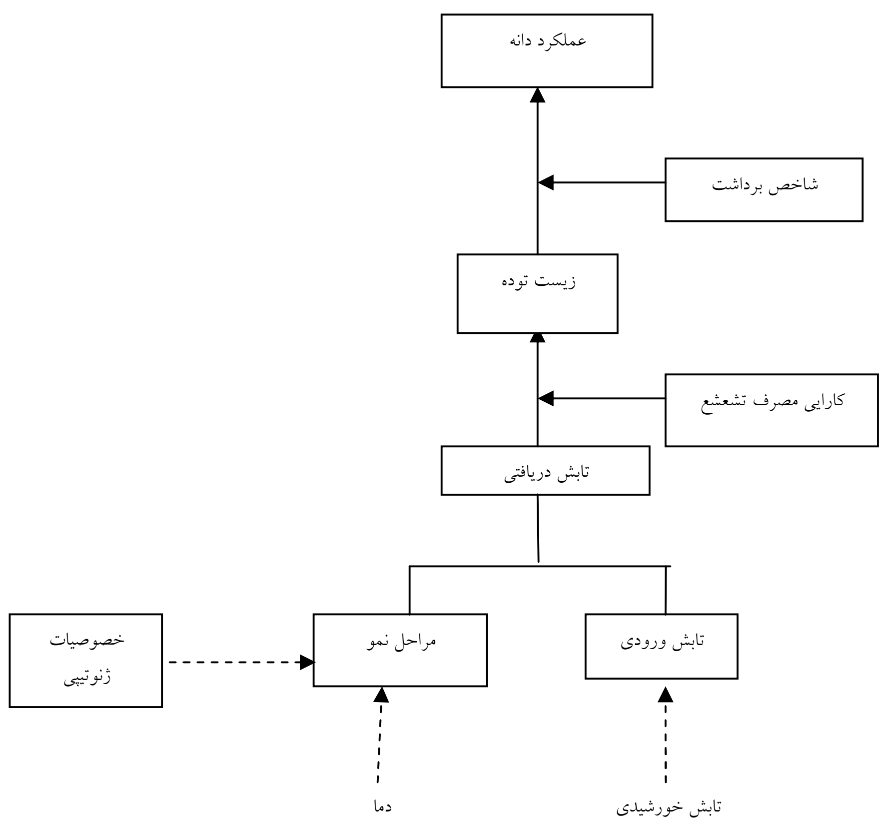
ساختار مفهومي مدل «WheatPot» در شكل ۱ نشان داده شده است. عملكرد دانه به عنوان حاصل‌ضرب شاخص برداشت در ماده خشك كل محاسبه مي‌شود. محاسبات زير مدل‌هاي فنولوژي، تجمع ماده خشك و تشعشع دريافتي براي تعيين عملكرد ضروري هستند. در شكل۱ پيكان‌هاي ممتد نشانگر ارتباطات منطقي بين زير مدل‌ها و پيكان‌هاي شكسته نشانگر ورودي‌هاي اب 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 ٤-۲ گرم ماده خشك به‌ازاي هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزي دريافتي (PAR) در واحد سطح (مترمربع) متغير است و براي براورد ان در هر ژنوتيپ تحت شرايط مطلوب تغذيه‌اي و رطوبتي، از طريق

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

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

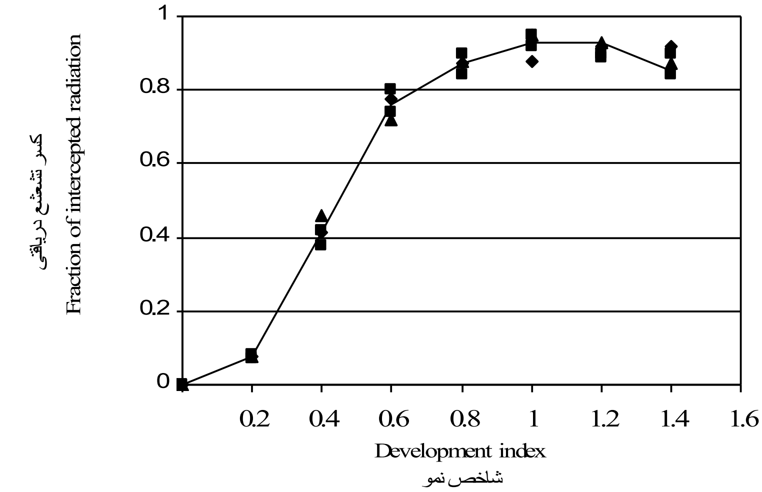
Location and Years	مکان و سال	عرض و طول جغرافيايي Latitude and Longitude	Treatments	تیمارها	Cultivars	ارقام
Ahvaz 2003-2004	اهواز ۱۳۸۲-۱۳۸۳	31° 21' N 48° 8' E	Cultivar and sowing date	رقم و تاریخ کاشت	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ahvaz 2004-2005	اهواز ۱۳۸۳- ۱۳۸٤	31° 2' N 48° 8' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Ramin University 2004-2005	دانشگاه رامین ۱۳۸۳-۱۳۸٤	31° 36' N 48° 41' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Dezful 2004-2005	دزفول ۱۳۸۳-۱۳۸٤	31° 16' N 48° 25' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار
Bostan 2004-2005	بستان ۱۳۸۳-۱۳۸٤	31° 4' N 48° 0' E	Cultivar	رقم	Fong, Chamran, Star	فونگ، چمران، استار



شکل ۱- الگوریتم برای مدلWheatPot

Fig. 1. Algorithm for WheatPot model

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]



شکل۲- رابطه بین شاخص نموی و کسر تشعشع دریافتي

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=۰/۹۴۳ ، b=۰/٤٨۰ ، 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).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

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

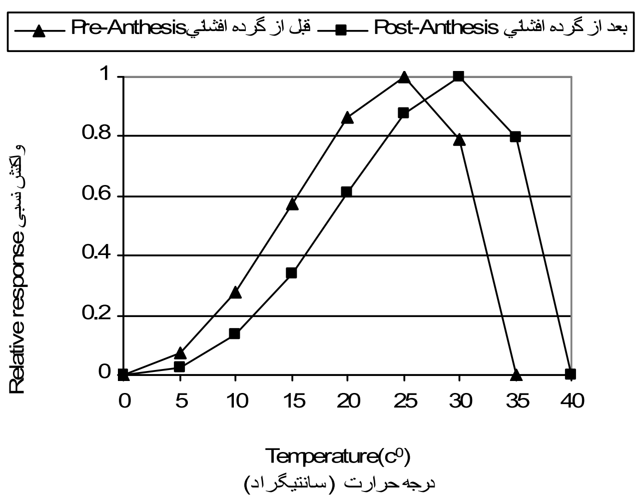
كه DVI ، شاخص نموی در زمان (t) و DVR_i سرعت نمو در روز (i)ام بعد از سبز شدن گياه مي‌باشد كه متناسب با معكوس مدت زمان لازم براى وقوع هر يک از اينپ مراحل است (نصيرى محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al.*, 1994). باتوجه به اين كه ژنوتيپ‌هاى مورد آزمايش براى مدل‌سازى از تيپ بهاره مي‌باشند و به فتوپريود نيز حساسيتي ندارند، مهمترين عامل مؤثر بر سرعت نمو آنها در مناطق مشابه اهواز درجه حرارت است (نصيرى 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):

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

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



شكل۳- واكنش حرارتي سرعت نمو

Fig. 3. Temperature response of development rate

كه T_{min}، T_{opt} و T_{max} (درجه حرارتهاى اصلي نمو) به ترتيب درجه حرارت‌هاى حداقل، مطلوب و حداكثر و T ميانگين درجه حرارت ماهانه مي‌باشد. براى مرحله سبز شدن تا گل‌دهي گندم T_{min}، T_{opt} و T_{max} به ترتيب ۰، ۲٤ و ۳۵ درجه سانتي‌گراد و براى مرحله گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيكي T_{min}، T_{opt} و T_{max} به ترتيب ۸، ۲۹ و ٤۰ درجه سانتي‌گراد در نظر گرفته مي‌شود (Wang *et al.*, 1998). براى مرحله سبز شدن تا گل‌دهي DVI<1 و براى مرحله گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيک 1<DVI<2 منظور گرديد (Sheehy *et al.*, 2004). سپس با استفاده از داده‌هاى اقليمي (ميانگين ماهانه) مدل اجرا و پتانسيل عملكرد براى هر منطقه شبيه‌سازى گرديد.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

جدول ۲- 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 نمو Development Index	Commencement of stage	شروع مرحله	Stage	مرحله
0.0	-1.0	Sowing	کاشت	Pre- Emergence	قبل از رویش
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 انتهایي		
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 شیری		
80.00	1.50	Doughy grain	دانه خمیری		
90.00	1.95	Pysiological Maturity	رسیدگي فیزیولوژیك	Ripening	رسیدگي
92.00	2.00	Maturity	رسیدگي		

داده‌های هواشناسي

میانگین درجه حرارت ماهانه و ساعات آفتابي ماهانه، مربوط به هریک از ایستگاه‌های هواشناسي نزدیک به محل اجرای آزمایش‌ها در سال‌های اجرای آزمایش‌ها تهیه و به عنوان ورودی‌های مدل به شکل مورد نیاز مدل تبدیل و در پوشه ورودی ذخیره شدند. باتوجه به این که تشعشع فعال فتوسنتزی (۵۰ درصد تشعشع خورشیدی وارد شده به سطح زمین) به عنوان ورودی مدل مدنظر است. لازم است که ساعات آفتابي موجود به تشعشع خورشیدی تبدیل شوند. بدین منظور از زیر مدلي به شرح زیر (FAO 56) استفاده گردید، که در این زیر مدل از رابطه انگستروم برای تصحیح تشعشع ورودی بر اساس ساعات آفتابي استفاده شده است(علیزاده، ۱۳۷۸).

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

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

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

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

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

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

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

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

که در این معادلات Ra: تابش برون زمینی ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، λ: عرض جغرافیایي (رادیان)، Ws: زاویه ساعتي غروب خورشید (رادیان)، dr: فاصله نسبي زمین تا خورشید، δ: زاویه میل خورشید (رادیان)، M: شماره ماه میلادی، J: شماره روز ژولیوسي از ابتدای سال میلادی، Rs: تشعشع ورودی

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

به سايه‌انداز گياهي ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، N: تعداد ساعات روشنايي، n : تعداد ساعات افتابي و PAR : تشعشع فعال فتوسنتزی ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) است.

واسنجي مدل

پارامترهای گياهي هر يک از ارقام گندم که به عنوان ورودی برای اجرای مدل استفاده شدند، از ازمايش‌های انجام شده در ايستگاه تحقيقات کشاورزی اهواز طي سال‌های زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸٤-۱۳۸۳ به شرح جدول۳ به دست آمدند.

جدول۳- خصوصيات فيزيولوژيکي ارقام گندم مورد استفاده

Table 3. The physiological traits of wheat cultivars

Cultivar	رقم	GDD[1] مورد نياز از سبز شدن تا گلدهي Required GDD from Emergence to Athesis	GDD مورد نياز از گلدهي تا رسيدگي فيزيولوژيکي Required GDD from Anthesis to maturity	حداکثر سرعت نمو رويشي Maximum Development Rate of Vegetative Phase	حداکثر سرعت نمو زايشي Maximum Development Rate of Reproductive Phase	کارآيي 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): $R_{max,v}$: حداکثر سرعت نمو رويشي (سبز شدن تا گل‌دهي) در دمای مطلوب، معکوس زمان با d^{-1}

(۳): $R_{max,r}$: حداکثر سرعت نمو زايشي (از گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيک)در دمای مطلوب، معکوس زمان با d^{-1}

(٤): RUE : کارآيي مصرف تشعشع (ضريب تبديل تشعشع فعال فتوسنتزی به ماده خشک)، گرم ماده خشک بر مگاژول بر متر مربع در روز تشعشع با $gr\ MJ^{-1}\ m^{-2}\ d^{-1}$

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

*سرعت وقوع مراحل نموی گلدهي و رسيدگي فيزيولوژيکي، متناسب با معکوس مدت زمان لازم برای وقوع هر يک از اين مراحل است (نصيری محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al*., 1994).

ارزيابي مدل

برای ارزيابي مدل، از داده‌های به دست آمده از ازمايش‌های انجام شده در دانشگاه رامين، دزفول و بستان در سال زراعي ۸٤-۱۳۸۳ استفاده شد. باتوجه به سال‌های اجرای آزمايش‌ها، داده‌های هواشناسي مربوط به آن سال در هر ايستگاه تنظيم و مدل اجرا گرديد. سپس عملکردهای حاصل از شبيه‌سازی توسط مدل با عملکردهای به دست آمده از آزمايش‌های مزرعه‌ای مستقل مذکور، مقايسه و توسط شاخص‌های ارزيابي(RMSE (Root Mean Square Error، MBE (Mean Bias Error)، MPE (Mean Percentage Error) و d (Willmot Agreement Inex) مدل ارزيابي گرديد(جدول٤).

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

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

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

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

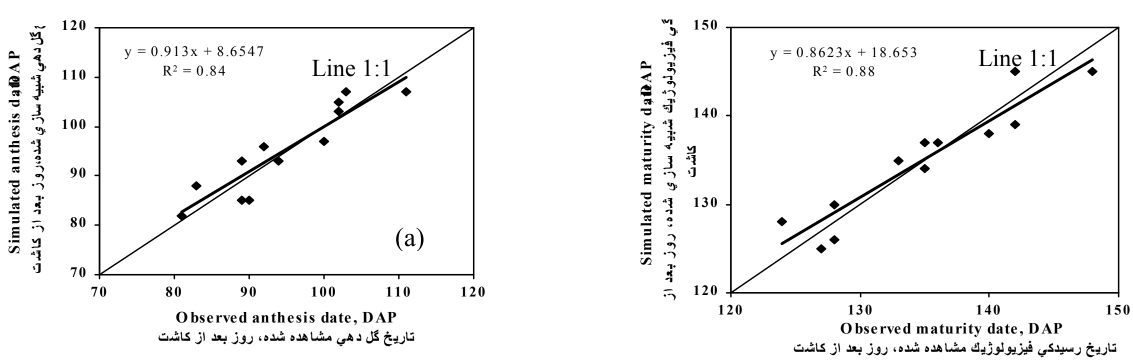
که در این معادلات:

O_i: مقــادیر مشــاهده شــده (واقعــي)، P_i: مقــادیر شبیه‌سازی شده (پیش‌بیني شده)، n : تعـداد مشـاهدات و O_{iavg} : میانگین داده‌های مشاهده شده است.

نتایج و بحث

مراحل فنولوژی

مـدل «WheatPot» مراحـل گـل‌دهـي و رسـیدگي فیزیولوژیک را به خـوبي شـبیه‌سازی مـي‌نمایـد. مقـدار RMSE محاسبه شده برای مراحل گل‌دهـي و رسیدگي فیزیولوژیك بـه ترتیب برابـر ۳/۵ و ۲/۵ روز بـود. ایـن مـــدل تـــاریخ گـــل‌دهـــي را ۵+ تـــا ۵- روز و رسیدگي فیزیولوژیک را ٤+ تا ۳- روز نسبت بـه زمـان‌های مشاهده شده پیش‌بیني نمود. مقادیر دیگر معیارهای ارزیابي شامل MBE ، MPE و d برای زمان گل‌دهـي بـه ترتیـب برابـر ۰/٤۱ روز، ۲/٦% و ۰/۹۵ و بـرای مرحلـه رسیدگي فیزیولوژیك به ترتیب معادل ۰/۰۸ روز، ۱/۲% و ۰/۹٦ بود (جدول ٤). همچـنین انـالیز رگرسیون بـین زمــان‌هــای شــبیه‌ســازی شــده (پــیش بینــي شــده) و مشاهده شده برای گل‌دهي و رسیدگي فیزیولوژیك بـه ترتیب دارای r^2=۰/۸٤ و r^2=۰/۸۸ بودنـد(شـکل٤). ایـن نتـایج نشـان مـي‌دهـد کـه مـدل «WheatPot» مـي‌توانـد مراحــل فنولــوژیکي را بــه طــور رضــایت‌بخشــي پیش‌بیني نماید.



شکل٤- رابطه بین زمان گل‌دهي(a) و رسیدگي فیزیولوژیك (b) شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده

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

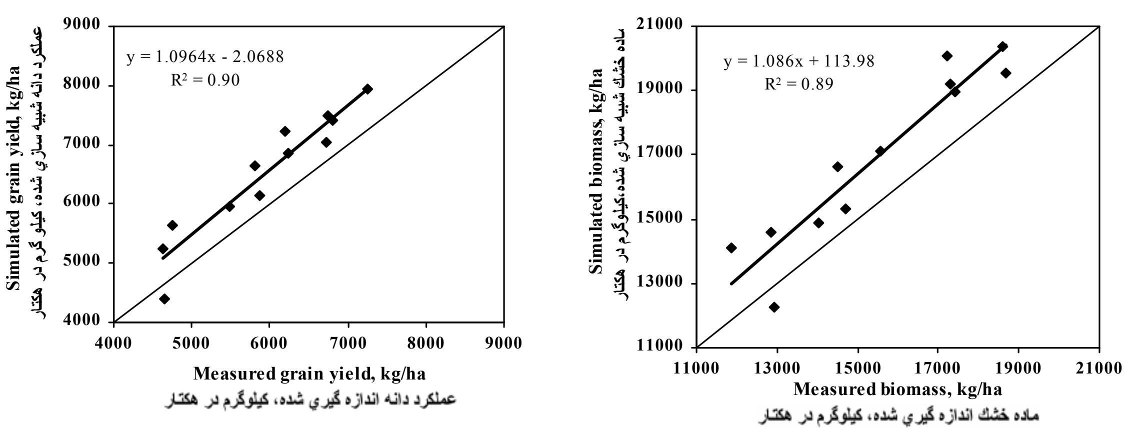
عملکرد دانه و تولید ماده خشک

مدل مورد نظر برای شرایط پتانسیل اجـرا و توانـایي آن برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد دانه و ماده خشـک مورد ارزیابي قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهـای دانـه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده بسته به سال و منطقـه بین ۰/۳٤- تا ۱/۰۲ تن در هکتار متغیر بود. به طور کلـي مـدل پتانسـیل عملکـرد دانـه را تـا حـدودی بیشـتر از عملکرد واقعي (اندازه‌گیری شده) برآورد نمود. مقـادیر

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 سال‌های مختلف چنین گزارش گردید. مقدار RMSE محاسبه شده بین عملکردهای پیش‌بینی شده و شبیه‌سازی 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) مدل‌های 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 عملکردهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای مدل‌های مذکور به ترتیب برابر ۰/٦٤، ۰/۹، ۰/۹ ، ۱/۲۸ و ۱/٤۲ تن در هکتار بود. مقایسه مقدار RMSE محاسبه شده برای مدل WheatPot (۰/۷ تن در هکتار) با RMSE مدل‌های مذکور که عملکرد دانه را با استفاده از داده‌های آب و هوایی روزانه شبیه‌سازی می‌نمایند، نشان داد که توانایی مدل WheatPot در پیش‌بینی عملکرد دانه تا حدود زیادی مشابه این مدل‌ها می‌باشد. به علاوه برازش رگرسیون بین عملکردهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده (r^2 = ۰/۹۰) کارکرد این مدل را در پیش‌بینی عملکرد گندم برای مناطقی که داده‌های آب و هوایی روزانه وجود ندارد مورد تایید قرار می‌دهد (شکل5a). تفاوت‌های بین پتانسیل عملکردهای شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده احتمالا به عوامل شناخته نشده که مشمول مدل نمی‌شوند نسبت داده می‌شود.

ماده خشک کل شبیه‌سازی شده از ۹۵% تا ۱۱۹% نسبت به ماده خشک کل اندازه‌گیری شده (واقعی) متغیر بود. به بیان دیگر تفاوت بین ماده خشک شبیه‌سازی 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 شاخص‌های MBE ، MPE و d به ترتیب برابر ۱/٤ تن در هکتار، ۱۰/۲% و ۰/۸۸ بود. انالیز رگرسیون بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده (شکل 5b) توافق خوبی را بین این دو سری داده‌ها بیان نمود (r^2 = ۰/۸۹). به طور کلی مقادیر شاخص‌های مذکور مبین کارکرد مناسب مدل در پیش‌بینی ماده خشک کل می‌باشد. اگرچه در بیشتر حالات ماده خشک شبیه‌سازی شده تا اندازه‌ای بیشتر از مقدار مشاهده شده آن بود که این تفاوت احتمالا به عوامل محیطی مؤثر بر کارایی مصرف نور مربوط می‌شود که مدل نشده‌اند.



شکل۵- 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)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

جدول ٤ - مقايسه نتايج شبيه سازی مراحل گل دهي و رسيدگي فيزيولوژيک، عملکرد دانه و ماده خشک اندامهای هوايي توسط مدل WheatPot با داده های اندازه گيری 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		گل‌دهی (روز بعد از کاشت) Anthesis (DAP)*			رسیدگی فیزیولوژیک (روز بعد از کاشت) Physiological Maturity (DAP)			عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain Yield ($kgha^{-1}$)			ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار) Biomass ($kgha^{-1}$)		
		شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	تفاوت Difference	شبیه‌سازی شده Simulated	اندازه‌گیری شده Measured	تفاوت Difference	شبیه‌سازی شده simulated	اندازه‌گیری شده 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 رامین													
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 ورودی‌هاى مدل، درجه حرارت، تشعشع خورشيدی و تاريخ كاشت (جدول ۵) نشان مي‌دهد كه مدل به خوبي تـأثير اين عوامل را بر پتانسيل عملكرد شبيه‌سازی مي‌نمايد. پتانسيل عملكرد شاهد در نظر گرفته شده مربوط به كاشت گندم رقم چمران در تاريخ كاشت مناسب (اول آذر) در ايستگاه تحقيقات كشاورزی 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 شبيه‌سازی 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 تاخير 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 درصدی مقدار تشعشع خورشيدی 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 خورشيدی بيشتر از درجه حرارت است و چنين استنباط مي‌شود كه درجه حرارت از طريق تأثير بر سرعت نمو و تغيير طول دورهٔ رشد گياه بر رشد و عملكرد تاثير مي‌گذارد، در صورتي كه تشعشع خورشيدی به عنوان منبع انرژی و نيروی محركه لازم بر فرايند فتوسنتز و توليد ماده خشك مؤثر است.

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

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 خورشيدی	+10	8247	+750	+10.0
		-10	6748	-750	-10.0

نتيجه‌گيری

هدف اصلي ساخت اين مدل (WheatPot)، توليد يك ابزار كمكي است تا به كمك آن بتوان در مناطقي كه با محدوديت داده‌های هواشناسي روزانه بلند مدت مواجه هستند (برخي مناطق كشور) با استفاده از ميانگين داده‌های هواشناسي ماهانه، پتانسيل عملكرد را تخمين زد. ارزيابي مدل با استفاده از نتايج آزمايش‌های 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

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

اثـرات تـاريخ كاشـت، درجـه حـرارت و تشعشـع خورشيدي را بر عملكرد دانه شبيه‌سازي نمايـد. اگرچه مدل مي‌تواند تا حدودي تفاوت پتانسيل عملكرد را بـين ژنوتيـپ‌هـاي مختلـف گنـدم شـبيه‌سـازي نمايـد، لـيكن استفاده از آن براي ارزيابي پتانسيل عملكـرد ژنوتيـپ‌هـا در اقليم‌هاي مختلـف مسـتلزم وارد نمـودن پارامترهـا يـا خصوصـيات ژنتيكـي بيشـتري از ژنوتيـپ‌هـا در مـدل مي‌باشد. به طور كلي با تهيه داده‌هاي هواشناسـي ماهانـه در يک دوره بلند مدت براي هر منطقه مي‌توان پتانسـيل عملكرد گندم آن منطقه را توسط اين مدل تخمين زد.

منابع مورد استفاده

References

عليزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه‌ی آب و خاک 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

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

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.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1386.9.2.2.0]

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.