"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، ۰/٦٥ 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 مي‌توان تحت عنوان عملكرد يك رقم (با سازگاري مناسب نسبت به محيط) در شرايط آب و مواد غذايي كافي و كنترل مؤثر عواملي مانند آفات، بيماري‌ها و علف‌هاي هرز تعريف نمود (Evans 1993). تحت چنين شرايطي تجمع ماده خشك (رشد) گياه تابعي از تشعشع خورشيدي، درجه حرارت و خصوصيات گياه زراعي است (نصيري محلاتي، ۱۳۷۹). تعيين پتانسيل عملكرد منطقه‌اي گندم و شناخت اختلاف عملكرد پتانسيل با عملكردهاي زارعين منطقه از يك سو موجب بازنگري در مديريت‌هاي اعمال شده و يا به كارگيري راهكارهاي نوين براي كاهش اين اختلاف عملكرد مي گردد، و از سوي ديگر باعث افزايش كارايي مصرف نهاده‌ها (Pala, 1995)، كاهش آلودگي محيط زيست و استقرار يك سيستم كشاورزي پايدار (Asadi and Clemente, 2003) مي‌شود.

آزمايش‌هاي مزرعه‌اي متداول فقط تعداد خيلي محدودي از عوامل مؤثر بر رشد گياه را در يك منطقه خاص و در يك فصل زراعي مورد ارزيابي قرار مي دهند. مدل‌هاي شبيه‌سازي نه تنها مي‌توانند تعداد زيادي از متغيرهاي آب و هوايي و مديريتي را همزمان روي رشد گياه مورد ارزيابي قرار دهند، بلكه براي انتقال و تعميم نتايج آزمايش‌هاي انجام شده در يك منطقه و يك فصل زراعي را به مناطق و سال‌هاي زراعي ديگر مورد استفاده قرار مي گيرند (Bannayan *et al.*, 2004). مدل‌هاي شبيه‌سازي گياهان زراعي، ابزارهاي سودمندي براي شناخت فرايندهاي بيوفيزيكي حاكم بر سيستم خاك - گياه- اتمسفر مي‌باشند(Timsina and Hympherys, 2006) . اين مدل‌ها اثرات تغييرات آب و هوا، خصوصيات ژنوتيپ‌هاي گياهي، ويژگي‌هاي خاك و عوامل مديريتي را روي رشد گياه شبيه سازي مي‌نمايند. مدل‌هاي زيادي وجود دارند كه براي 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) منحصراً براي هدف خاصي ساخته شده‌اند. همه مدل‌ها براساس شناخت و فرضيات مربوط به فيزيولوژي گياه و رابطه آن با محيط پيرامون ساخته مي‌شوند. اين شناخت و روابط به صورت معادلات رياضي با هم تلفيق مي‌شوند تا سيستم خاك - گياه- اتمسفر را توصيف نمايند.

پيش‌بيني عملكرد گندم از سطح مزرعه‌اي تا سطوح منطقه‌اي و ملي توسط مدل‌هاي شبيه سازي انجام مي‌گيرد (Bannayan *et al.*, 2003; Travasso and Delecolle, 1995; Suipt, 1997). استفاده از مدل‌هاي پيچيده داراي مشكلات خاص خود مي باشد، از جمله اين مشكلات نياز به داده‌هاي ورودي زياد براي اجراي اين مدل‌ها است كه بايد توسط كاربر فراهم گردد و معمولاً اين داده‌ها در كشورهاي در حال توسعه قابل دسترس نمي‌باشند (Amir and Sinclair, 1991). يك روش براي حل اين مشكل، استفاده از مدل‌هاي ساده شده مي‌باشد. در اين مدل‌ها رفتار گياه توسط چند رابطه محدود شبيه سازي مي‌شود(Amir and Sinclair, 1991). تاكنون از اين روش براي بررسي اثر تشعشع خورشيدي و درجه حرارت روي 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 مدل‌هاي گياهان زراعي معمولاً رشد گياه براساس داده‌هاي آب و هوايي روزانه شبيه‌سازي مي‌شوند. به علت محدوديت دسترسي به داده‌هاي آب و هوايي روزانه در اكثر مناطق ايران كاربرد اين مدل‌ها ميسر نمي‌باشد. بنابراين هدف از اين پژوهش ساخت يك مدل ساده براي پيش‌بيني پتانسيل عملكرد گندم

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 ٦٠ كيلومتري دزفول) و شهرستان دشت آزادگان در سال زراعي ۸٤-۱۳۸۳ 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 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 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 $٦۰C°$ 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 سازي و توصيف مدل

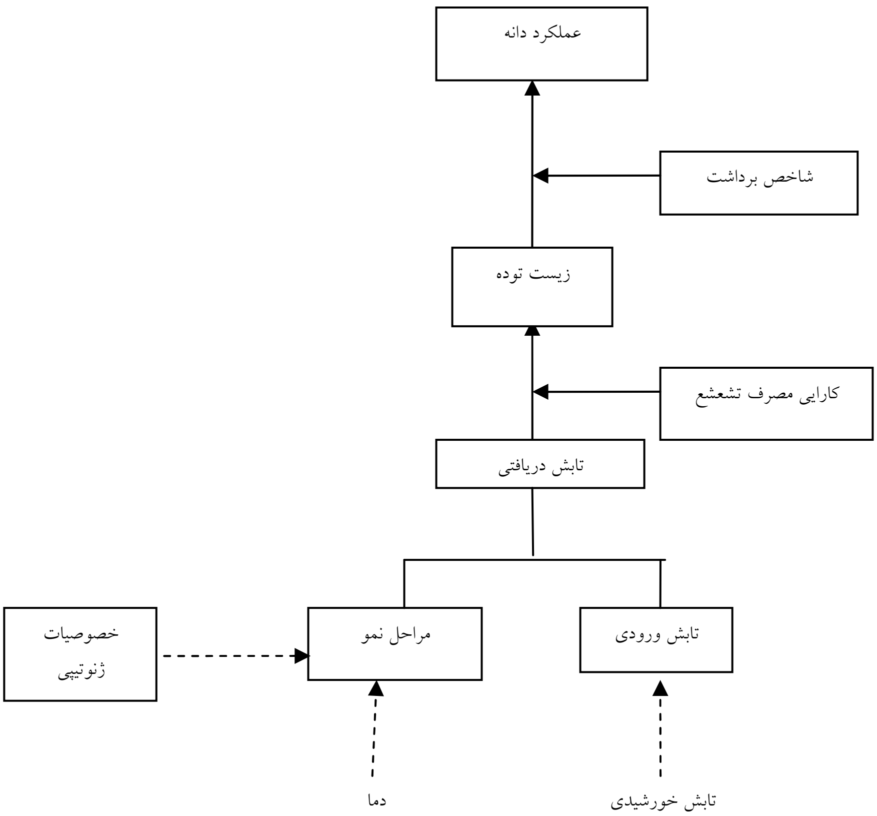
ساختار مفهومي مدل «WheatPot» در شكل ۱ نشان داده شده است. عملكرد دانه به عنوان حاصل‌ضرب شاخص برداشت در ماده خشك كل محاسبه مي‌شود. محاسبات زير مدل‌هاي فنولوژي، تجمع ماده خشك و تشعشع دريافتي براي تعيين عملكرد ضروري هستند. در شكل۱ پيكان‌هاي ممتد نشانگر ارتباطات منطقي بين زير مدل‌ها و پيكان‌هاي شكسته نشانگر 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 ٤-۲ 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 ۱- مکان‌ها ، ارقام و تیمارهاي مورد استفاده در آزمایش‌هاي ارزيابي مدل

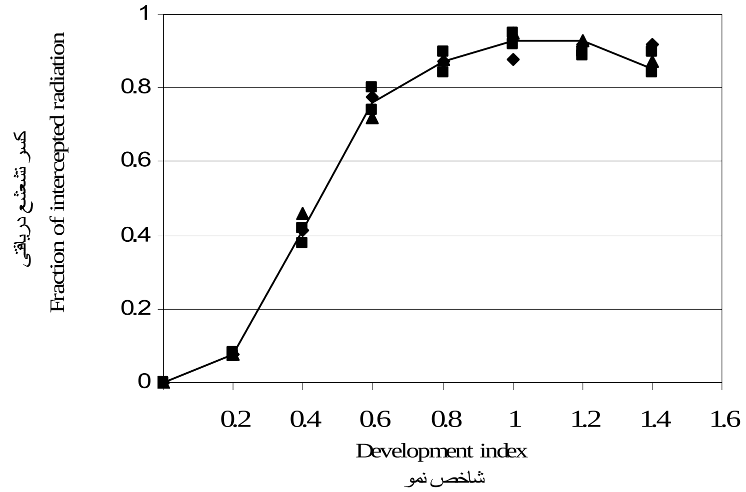
Table 1. Locations, cultivars and applied treatments in experiments for evaluation of model

| Location and Years | مکان و سال | عرض و طول جغرافيايي Latitude and Longitude | Treatments | تیمارها | Cultivars | ارقام |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ahvaz 2003-2004 | اهواز ۱۳۸۲-۱۳۸۳ | 31° 21' N 48° 8' E | Cultivar and sowing date | رقـم و تـاريخ كاشت | 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 رامين 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 |




شكل ۱- الگوريتم 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)، $\Delta e_i$ 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).

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

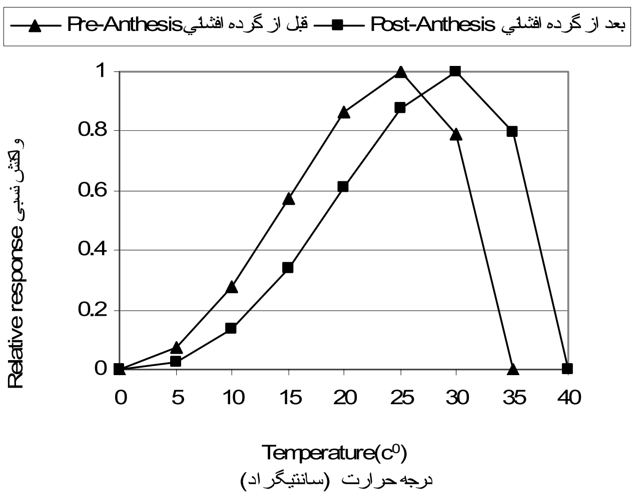
که DVI ، شاخص نمـوي در زمـان (t) و $DVR_i$ سرعت نمو در روز (i)ام بعد از سبز شدن گياه مـي‌باشـد که متناسب با معکوس مدت زمان لازم بـراي وقـوع هـر يـك از اينـپ مراحـل اسـت (نـصيري محلاتـي ۱۳۷۹، Ritchi *et al.*, 1994). باتوجـه بـه ايـن کـه ژنوتيـپ‌هـاي مورد آزمايش براي مدل‌سازي از تيپ بهاره مي‌باشـند و به فتوپريود نيز حساسيتي ندارند، مهمترين عامل مؤثر بـر سرعت نمو آنها در مناطق مـشابه اهـواز درجـه حـرارت است (نصيري محلاتي، ۱۳۷۸)، که طبق معادلـه زيـر بـر سرعت نمو تأثير مي‌گذارد (Streck *et al.*, 2003; Wang and Engel, 1998).

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

تـابع واکـنش حرارتـي f(T) نيـز چنـين محاسـبه مـي‌گـردد(شـکل۳، Wang and Engel, 1998):

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

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




شکل۳- واکنش حرارتي سرعت نمو

Fig. 3. Temperature response of development rate

کـه $T_{min}$، $T_{opt}$ و $T_{max}$ (درجـه حرارتهـاي اصـلي نمـو) بـه ترتيب درجه حرارت‌هاي حداقل، مطلوب و حـداکثر و T ميانگين درجه حرارت ماهانه مي‌باشـد. بـراي مرحلـه سـبز شدن تا گل‌دهي گنـدم $T_{min}$، $T_{opt}$ و $T_{max}$ بـه ترتيـب ۰، ۲٤ و۳۵ درجه سانتي‌گراد و براي مرحله گل‌دهي تا رسـيدگي فيزيولوژيکي $T_{min}$، $T_{opt}$ و $T_{max}$ به ترتيب ۸، ۲۹ و٤۰ درجه سانتي‌گراد در نظـر گرفتـه مـي‌شـود (Wang *et al.*, 1998). براي مرحله سبز شدن تا گل‌دهـي $DVI<1$ و بـراي مرحلـه گـل‌دهـي تـا رسـيدگي فيزيولوژيـك $1<DVI<2$ منظـور گرديد (Sheehy *et al.*, 2004). سپس با استفاده از داده‌هاي اقليمي (ميانگين ماهانه) مدل اجرا و پتانسيل عملکرد بـراي 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 آنگسترم 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$^{-1}$)، $\lambda$ : عرض جغرافيايي (راديان)، $Ws$ : زاويه ساعتي غروب خورشيد (راديان)، $dr$: فاصله نسبي زمين تا خورشيد، $\delta$ : زاويه ميل خورشيد (راديان)، $M$ : شماره ماه ميلادي، $J$ : شماره روز ژوليوسي از ابتداي سال ميلادي، $Rs$ : تشعشع ورودي

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

واسنجي مدل

پارامترهاي گياهي هر يك از ارقام گندم كه به عنوان ورودي براي اجراي مدل استفاده شدند، از آزمايش‌هاي انجام شده در ايستگاه تحقيقات كشاورزي اهواز طي سال‌هاي زراعي ۸۳-۱۳۸۲ و ۸٤-۱۳۸۳ به شرح جدول۳ به دست آمدند.

جدول۳- خصوصيات فيزيولوژيكي 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 فيزيولوژيكي Required GDD from Anthesis to maturity | حداكثر سرعت نمو رويشي Maximum Development Rate of Vegetative Phase | حداكثر سرعت نمو زايشي 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 رويشي (سبز شدن تا گل‌دهي) در دماي مطلوب، معكوس زمان يا $d^{-1}$

(۳): $R_{max,r}$ : حداكثر سرعت نمو زايشي (از گل‌دهي تا رسيدگي فيزيولوژيك)در دماي مطلوب، معكوس زمان يا $d^{-1}$

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

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

*سرعت وقوع مراحل نموي گل‌دهي و رسيدگي فيزيولوژيكي، متناسب با معكوس مدت زمان لازم براي وقوع هر يك از اين مراحل است (نصيري محلاتي ۱۳۷۹، Ritchi *et al.*, 1994).

ارزيابي مدل

براي ارزيابي مدل، از داده‌هاي به دست آمده از آزمايش‌هاي انجام شده در دانشگاه رامين، دزفول و بستان در سال زراعي ۸٤-۱۳۸۳ استفاده شد. باتوجه به سال‌هاي اجراي آزمايش‌ها، داده‌هاي هواشناسي مربوط به آن سال در هر ايستگاه تنظيم و مدل اجرا گرديد. سپس عملكردهاي حاصل از شبيه‌سازي توسط مدل با عملكردهاي به دست آمده از آزمايش‌هاي مزرعه‌اي مستقل مذكور ، مقايسه و توسط شاخص‌هاي ارزيابي(RMSE (Root Mean Square Error، MBE (Mean Bias Error)، MPE (Mean Percentage Error) و d (Willmot Agreement Inex) مدل ارزيابي گرديد(جدول٤).

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

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

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

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

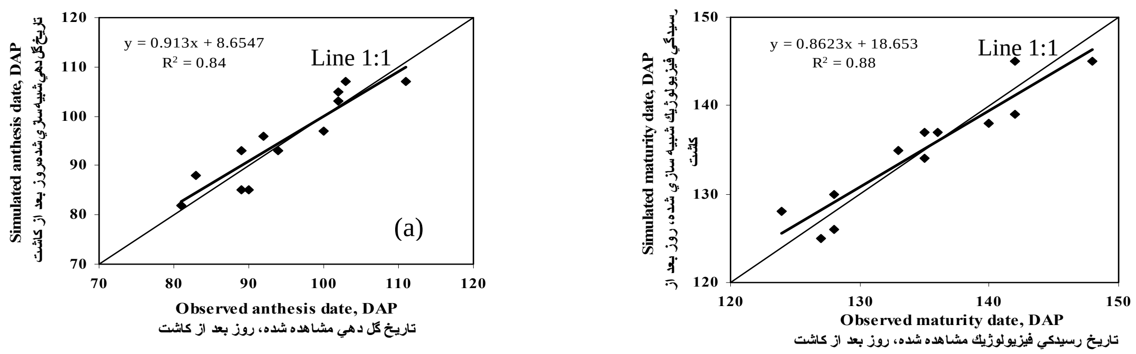
که در این معادلات:

$O_i$: 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 ۴+ 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 ۰/۴۱ روز، ۲/۶% و ۰/۹۵ و براي مرحله رسیدگي فیزیولوژیك به ترتیب معادل ۰/۰۸ روز، ۱/۲% و ۰/۹۶ 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

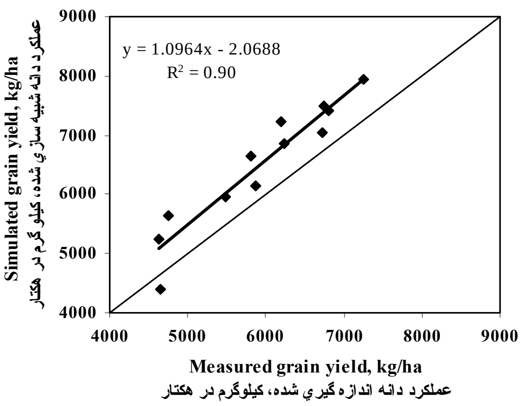
### عملکرد دانه و تولید ماده خشك

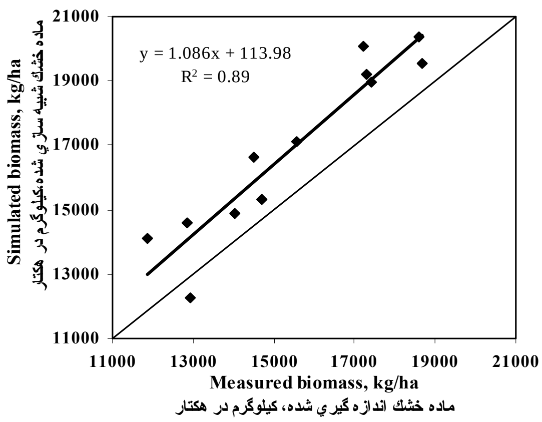
مدل مورد نظر براي شرایط پتانسیل اجرا و توانایي آن براي شبیه‌سازي پتانسیل عملکرد دانه و ماده خشك مورد ارزیابي قرار گرفت. تفاوت بین عملکردهاي دانه شبیه‌سازي شده و اندازه‌گیري شده بسته به سال و منطقه بین ۰/۳٤- تا ۱/۰۲ تن در هکتار متغیر بود. به طور کلي مدل پتانسیل عملکرد دانه را تا حدودي بیشتر از عملکرد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

محاسبه شده RMSE ، MBE ، MPE و شاخص توافق d، به ترتيب برابر ۰/۷ تـن در هكتـار، ۰/۷۳ تـن در هكتـار، ۱۱/۹% و ۰/۸۸ بود. در مقايسه با اين مدل، كاركرد مدل CERES-Wheat در منـاطق و سـال‌هـاي مختلـف چنـين گـزارش گرديـد. مقـدار RMSE محاسـبه شـده بـين عملكردهاي پيش‌بيني شده و شبيه‌سازي شـده برابـر ۰/۲۴ تـن در هكتـار (Ghaffari *et al.*, 2001)، ۰/۲۸ تـن درهكتار (Bannayan *et al.*, 2003) و ۰/٤ تن در هكتار (Timsina and Hymphres, 2003) بود.

جامـسون و همكـاران (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 يكديگر مقايسه نمودند. مقدار RMSE بين عملكردهاي شبيه‌سازي شده و مشاهده شده براي مدل‌هاي مذكور به ترتيب برابر ۰/٦٤، ۰/۹، ۰/۹، ۱/۲۸ و ۱/٤۲ تن در هكتار بـود. مقايـسه مقـدار RMSE محاسـبه شـده بـراي مـدل WheatPot (۰/۷ تـن در هكتـار) بـا RMSE مـدل‌هـاي مذكور كه عملكرد دانه را با استفاده از داده‌هـاي آب و هوايي روزانه شبيه‌سازي مي‌نمايند، نشان داد كه توانـايي مدل WheatPot در پـيش‌بينـي عملكـرد دانـه تـا حـدود زيادي مشابه ايـن مـدل‌هـا مـي‌باشـد. بـه عـلاوه بـرازش رگرسيون بين عملكردهاي شبيه‌سازي شـده و مـشاهده شـده ($r^2$ = ۰/۹۰) كـاركرد ايـن مـدل را در پـيش‌بينـي عملكرد گندم براي مناطقي كه داده‌هـاي آب و هـوايي روزانه وجود ندارد مورد تأييد قرار مي‌دهـد (شـكل5a). تفاوت‌هاي بين پتانسيل عملكردهاي شبيه‌سازي شـده و اندازه‌گيري شده احتمـالاً بـه عوامـل شـناخته نـشده كـه مشمول مدل نمي‌شوند نسبت داده مي‌شود.

ماده خشك كل شـبيه‌سـازي شـده از ۹۵% تـا ۱۱۹% نسبت به ماده خشك كـل انـدازه‌گيـري شـده (واقعـي) متغيـر بـود. بـه بيـان ديگـر تفـاوت بـين مـاده خـشك شبيه‌سازي شده و مـشاهده شـده از ۰/۲٤ تـا ۲/۸ تـن در هكتـار بـود. مقـدار RMSE محاسـبه شـده ۱/۷ تـن در هكتار و كمتر از ۱۰درصد ميانگين مقادير مشاهده شـده بود. مقدار شاخص‌هاي MBE ، MPE و d به ترتيب برابر ۱/٤ تن در هكتار، ۱۰/۲% و ۰/۸۸ بود. آنـاليز رگرسـيون بين داده‌هاي شبيه‌سازي شده و مشاهده شده (شـكل 5b) توافـق خـوبي را بـين ايـن دو سـري داده‌هـا بيـان نمـود ($r^2$ = ۰/۸۹). به طور كلي مقـادير شـاخص‌هـاي مـذكور مبين كاركرد مناسب مدل در پيش‌بيني ماده خشك كل مي‌باشد. اگرچه در بيشتر حالات ماده خشك شبيه‌سازي شده تا اندازه‌اي بيشتر از مقدار مشاهده شده آن بود كـه اين تفاوت احتمالاً به عوامل محيطي مـؤثر بـر كـارايي مصرف نور مربوط مي‌شود كه مدل نشده‌اند.




شكل۵- رابطه بين عملكرد دانه(a) و ماده خشك (b) شبيه سازي شده و اندازه گيري 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(کیلوگرم در هکتار) 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 (جدول٥) 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 ٨٣-١٣٨٢ ميباشد.

به منظور ارزيابي تغيير تاريخ كاشت بر پتانسيل عملكرد گندم، تاريخ كاشت را ١٠ روز زودتر (+١٠) و ١٠ روز ديرتر (-١٠) به مدل وارد شد. نتايج شبيهسازي شده توسط مدل نشان داد كه كاشت زودتر به مدت ١٠ روز باعث ١/٨ درصد (١٣٣ كيلوگرم در هكتار) افزايش عملكرد و كاشت گندم با ١٠ روز تأخير منجر به ٦ درصد (٤٥٧ كيلوگرم در هكتار) كاهش عملكرد ميگردد. افزايش ١٠ درصد درجه حرارت در طي فصل رشد باعث ٦/٤ درصد (٤٩٧ كيلوگرم در هكتار) كاهش عملكرد ميشود در صورتي كه كاهش ١٠% درجه حرارت در طي فصل رشد موجب ٢/٨ درصد (٢١٣ كيلوگرم در هكتار) افزايش عملكرد ميگردد. همچنين افزايش و كاهش ١٠ درصدي مقدار تشعشع خورشيدي به ترتيب باعث ١٠ درصد (٧٥٠ 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 ٥- 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

اثــرات تــاريخ كاشــت، درجــه حــرارت و تشعــشع خورشيدي را بر عملكرد دانه شبيه‌سازي نمايـد. اگرچـه مدل مي‌تواند تا حدودي تفاوت پتانسيل عملكرد را بـين ژنوتيپ‌هـاي مختلـف گنـدم شـبيه‌سـازي نمايـد، ليكن 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 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

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.