

مدلینگ سبز و رشد نهالبرهای لوبیا سبز، آفتابگردان و ذرت با استفاده از برخی مدل‌های غیر خطی

بهنام بهتری^{۱*}، ذبیح الله نعمتی^۲، حمید حسن پور^۳ و جواد رضاپور فرد^۴

تاریخ دریافت: 89/6/6 تاریخ پذیرش: 89/10/5

1- دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد واحد تبریز

2- عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی اهر، دانشگاه تبریز

3- دانشجوی دکترای فیزیولوژی و اصلاح میوه، دانشگاه گیلان

4- دانشجوی دکترای گلکاری، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبات E:mail : Behtari@live.com

چکیده

احتمالاً سبز شدن نهالبر یکی از مهم‌ترین رویدادهای فنولوژیکی است که موفقیت گیاهان زراعی یک ساله را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تحقیقات بسیاری در سال‌های اخیر برای پیش‌بینی الگوی سبز نهالبر گیاهان زراعی و علف‌های هرز برای رسیدن به اهداف مختلف صورت گرفته است. استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیر خطی یکی از روش‌هایی است که به منظور بررسی الگوی سبز نهالبر گونه‌های زراعی و علف هرز به صورت تابعی از زمان به کار رفته است. در این آزمایش برای برآزش برخی مدل‌های سبز نهالبر از داده‌های مزرعه‌ای سه گونه زراعی شامل لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* var. *sunray*)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L. var. *alistar*) و ذرت (*Zea mays* L. var. *merit*) استفاده شد. پیش‌بینی سبز نهالبرها با استفاده از مدل فرانس و تورنلی و رشد با استفاده از مدل‌های لجستیک، گومپرتز و مونومولکولار انجام گردید. میزان شاخص‌های سبز گیاهچه (*SOE*, *MED*, *ERI*, *T0.5*) نشان داد که سبز گیاهچه‌های گیاه ذرت در مقایسه با دو گیاه دیگر یعنی لوبیا سبز و آفتابگردان بالاتر بود. مقادیر *T0.5* پیش‌بینی شده با مدل‌های لجستیک، با زمان لازم برای رسیدن به 50% سبز شدن که به طور مستقیم از درون‌یابی داده‌های سبز ردیف‌ها به دست آمد، مطابقت داشت. در حالی که از لحاظ آماری، برآزش رشد طولی گیاهان با دو مدل لجستیک و مونومولکولار اختلاف معنی‌داری داشت، در مدل رشد گومپرتز مقدار آن معنی‌دار نبود. در بین سه مدل، مدل‌های گومپرتز و لجستیک نتایج کاملاً رضایت بخشی را نشان دادند. به طوری که مقادیر پیش‌بینی شده از مدل و مقادیر مشاهده شده از آزمایش به طور کامل بر هم دیگر منطبق بودند (*EF* تقریباً 0/9 در بیشتر موارد و $RMSE < 8$). مدل مونومولکولار با $RMSE > 12$ مدل مناسبی برای برآزش سبز نهالبرهای گونه‌های زراعی نبود. با توجه به نتایج به دست آمده مدل‌های تجربی قرینه‌دار با یک انحنا که رشد نهالبرها و گیاهان زراعی را توجیه می‌نمایند، قابل پیشنهاد است.

واژه‌های کلیدی: برآزش مدل، رگرسیون غیر خطی، مدلینگ سبز شدن

Modeling Seedling Emergence and Growth in Green Bean, Sunflower and Maize by Some Nonlinear Models

B Behtari^{1*}, Z Nemati², H Hassanpour³, J Rezapour Fard⁴

Received : 28, August 2010

Accepted : 5, January 2011

¹ PhD Student of Crop Ecology, Faculty of Agronomy, I.A. University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

² Department of Animal Science, Ahar Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ PhD Student of Fruit Breeding and Physiology, Faculty of Horticulture, University of Gilan, Rasht, Iran

⁴ PhD Student of Horticultural Sciences, Physiology and Breeding of Ornamental Plants, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding author: E-mail: Behtari@live.com

Abstract

Seedling emergence is one of important phenological event that influences the success of an annual crop probably. There has been accomplished numerous researches in recent years to understand and predict the emergence patterns of crop and weed species for different objectives. Nonlinear regression models have been developed to explain crop and weed emergence patterns as a function of time. In this study, some seedling emergence models by field data of three crop species including green bean (*Phaseolus vulgaris* var. sunray), sunflower (*Helianthus annuus* L. var. alistar) and maize (*Zea mays* L. var. merit) were evaluated. Prediction of crop seedling emergence with the France and Thornley model and growth by the Logistic, Gompertz and Monomolecular models were also attempted. Emergence indices (*SOE*, *MED*, *ERI*, $T_{0.5}$) showed that seedling emergence of maize was greater than green bean and sunflower. The values of the median emergence date ($T_{0.5}$) predicted by Logistic model were in close agreement with the time required for 50% emergence calculated directly from interpolation of the raw emergence data. While shoot length (L_f) of crop seedling emergence fitted by Logistic and Monomolecular models were significant, it was not significant in Gompertz model statistically. Among the three models, the Gompertz and the Logistic models gave quite satisfactory results as the predicted values from the model and the observed values from the experiment were close (EF 0.9 in most of the cases and $RMSE < 8.0$). The Monomolecular model was not suitable for prediction of studied crop seedling emergence due to its higher $RMSE$ values (> 12 in all cases). Results showed that the empirical models with an inflection point are recommendable because they predicted growth of crops seedling superiorly.

Keywords: Model fitting, Modeling seedling emergence, Nonlinear regression

مقدمه

شروع می‌شود که در آن، هیچ سبز نهال‌بذری صورت نمی‌گیرد. بدنبال این مرحله، یک مرحله رشد نمایی³ از سبز شدن اتفاق می‌افتد و در نهایت، زمانی که سبز شدن کامل شد این روند بصورت یکنواخت ادامه می‌یابد (اسکات و همکاران 1984، بهلر و همکاران 1989). توابع غیر خطی معمولی مانند مدل‌های گومپرتز⁴، لجستیک⁵ و مونومولکولار⁶ جهت تعریف مدل‌های سیگموئیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند (رومن و همکاران 2000). برازش مدل‌های غیر خطی نیازمند تعیین پارامترهای اولیه برای آغاز برآورد بهینه است که از محدودیت این مدل‌ها محسوب می‌شود. پارامترهای مدل در رگرسیون غیر خطی، از طبیعت غیر خطی ناشی می‌شود و نمی‌توان آنها را از طریق روش معمولی یعنی حداقل مربعات برآورد کرد. از این رو، در رگرسیون غیر خطی الگوریتم‌های گوناگونی برای برآورد پارامترها ارائه شده است. بعضی از این الگوریتم‌ها عبارتند از گوس-نیوتون⁷، نلدر-مید⁸، مارکواردت-لونبرگ⁹ و غیره (نش و والکراسمیت 1987). هدف اصلی از انجام این تحقیق مدلینگ سبز و رشد نهال‌بذرهای گیاهان زراعی لوبیا سبز، آفتابگردان و ذرت و هدف دیگر مقایسه مدل‌های رگرسیونی غیرخطی و انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی سبز و رشد نهال‌بذرها بر اساس تابعی از زمان به منظور مدیریت بهینه تاریخ کاشت و کنترل علف‌های هرز در این گیاهان زراعی بود.

مواد و روش‌ها

به منظور برازش مدل‌های رگرسیون غیر خطی سبز نهال‌بذرها در سه گیاه زراعی، یعنی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم سانری¹⁰، آفتابگردان

سبز شدن نهال‌بذر یکی از مهمترین رویدادهای فنولوژیکی است که موفقیت گیاهان زراعی یکساله را تحت تاثیر قرار می‌دهد (فورسلا و همکاران 2000). مدت زمان لازم برای سبز شدن نیز نقش مهمی در بقاء و ایجاد شرایط مناسب جهت رقابت با گیاهان دیگر دارد (رُز و هارپر 1972، بوش و وان آوکین 1991). تاخیر در سبز شدن گیاهچه می‌تواند اثرات بسیار زیادی در مقدار ماده خشک کل و تولید بخصوص تحت شرایط رقابت داشته باشد (بهتری و آبدیان 2009، رُز و هارپر 1972).

با افزایش سرعت سبز شدن، بذرها به طور موثرتری قادر به استفاده از باران‌های بهاری هستند و علاوه بر آن توان رقابت بیشتر با علف‌های هرز سریع‌الرشد را به دست می‌آورند و به این دلیل استفاده از علف‌کش‌ها نیز کاهش می‌یابد (بهتری 1388، واتس 2001).

توانایی پیش‌بینی سبز نهال‌بذر گیاهان زراعی، مدیریت مزرعه را از طریق کنترل موثر علف‌های هرز با بهینه کردن زمان کنترل ارتقا می‌دهد (لبلانک و همکاران 2004، میرس و همکاران 2004). استفاده از مدل‌های ریاضی به منظور تعیین استراتژی کنترل علف هرز برای کاهش نهاده‌های شیمیایی یا سازگاری با روش‌های غیر شیمیایی در حال افزایش است (گروندی و همکاران 2000، یوسفی داز و همکاران 1384).

تحقیقات اخیر ثابت کرده است که مدل‌های ریاضی می‌توانند برای پیش‌بینی سبز نهال‌بذرهای گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گیرند. درجه حرارت یکی از عوامل اولیه محیطی تنظیم‌کننده فرآیندهای خواب و جوانه‌زنی بذر در بیشتر گیاهان است. به این دلیل مدل‌های زمان‌دمایی¹ برای پیش‌بینی سبز نهال‌بذر گونه‌های مختلف گیاهی توسعه بیشتری یافته‌اند (گروندی و همکاران 2003، لگویزامون و همکاران 2005، اکلمه و همکاران 2005، توماس و همکاران 2006). روند جوانه زنی بذر بصورت یک منحنی سیگموئیدی است که به صورت یک مرحله کند²

3 Exponential Phase

4 Gompertz

5 Logistic

6 Monomolecular

7 Gauss-Newton

8 Nelder-Mead

9 Marquardt-Levenberg

10 Sunray

1 Thermal time

2 Lag Phase

(1988)، میانگین زمان سبز (MED)⁴، ضریب سرعت سبز (ERI)⁵ و سبز نسبی (RE)⁶ (بیلبرو و وانجورا 1982) از طریق زیر محاسبه شد:

$$SOE = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

$$MED = \frac{N_1 t_1 + N_2 t_2 + \dots + N_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

$$ERI = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{MED}$$

که در آن N_1, N_2, \dots, N_n تعداد نهالبرهای سبز شده در زمان t_1, t_2, \dots, t_n ، از شروع سبز شدن بود.

در روش دوم، داده‌ها سبز نسبی (RE) در مدل رشد لجستیک به طریق رگرسیون غیر خطی از طریق رابطه زیر برازش شد (فرانس و تورنلی 1984):

$$RE = \frac{1}{1 + \exp(a + bt)}$$

در این رابطه؛ a ثابت انتگرال و b ثابت سرعت سبز نهالبر و t زمان از ظهور نهالبر است. مدل رشد لجستیک برای ارزیابی اثرات محیطی بر جوانه زنی بذر بطور موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است (شیمپ و همکاران 1977). مدل رشد لجستیک دارای انحنایی است که سرعت جوانه‌زنی در آن نقطه به حداکثر می‌رسد و این در زمانی است که $RE=0.5M$ است، M پارامتری است که حداکثر تعداد نهالبرهای سبز شده را بیان می‌کند (فرانس و تورنلی 1984).

همچنین زمانی را که در آن انحنای اتفاق می‌افتد را میانه زمان سبز شدن ($T_{0.5}$) می‌گویند که از رابطه زیر محاسبه شد:

$$T_{0.5} = \frac{a}{b}$$

حداکثر مقدار سبز شدن نیز از طریق رابطه زیر بدست آمد:

(*Helianthus annuus* L.) رقم آلیستار¹ و ذرت (*Zea mays* L.) رقم مریث²، آزمایشی در غالب طرح بلوک کامل تصادفی در سال 1389 در مزرعه تحقیقاتی آموزشکده کشاورزی اهر وابسته به دانشگاه تبریز انجام گرفت، این محل با 1346 متر ارتفاع از سطح دریای آزاد در طول جغرافیایی $37^\circ 3'$ شرقی و عرض جغرافیایی $38^\circ 27'$ شمالی قرار گرفته است. خاک محل آزمایش از نوع شنی لومی، میزان مواد آلی به طور متوسط 0/8 درصد و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره گل اشباع معادل 1134 میکرو زیمنس بر سانتی متر بود. جرم مخصوص ظاهری خاک حدود 1/48 گرم بر سانتی متر مکعب تعیین شد.

محل اجرای آزمایش، در سال قبل از اجرا به مدت طولانی 10 سال تحت آیش با کاه و کلش بود. زمین زراعی، در بهار شخم زده شد و برای خرد کردن کلوخه‌ها از دو دیسک عمود بر هم استفاده گردید. با استفاده از فاروئر، پشته‌هایی به فواصل 60 سانتی متر ایجاد شد. بذور در تاریخ دوازدهم خرداد ماه و با دست در پلات‌هایی به ابعاد $2/5 \times 5$ متر و شامل هفت ردیف کاشت با فاصله خطوط 60 سانتی متری در هر پشته، کشت گردید. در هر محل سه بذر سالم کاشته شد. برای تلقیح باکتری با خاک مقدار 250 گرم در هکتار ریزوبیوم با مقدار کافی ماسه مرطوب و نرم مخلوط شد و بعد از انجام عملیات شخم که زمین در حالت گاورو بود در پلات‌های کاشت لوبیا سبز پخش گردید. به منظور اطمینان از تامین مقدار کافی نیتروژن خاک، مقدار 50 کیلوگرم در هکتار اوره در موقع کاشت به خاک اضافه شد.

سبز نهالبرها بصورت روزانه در طول ردیف‌ها شمارش شد. ظهور یک سانتی متر نهالبر ملاک شمارش بود. دو روش برای آنالیز سبز نهالبر مورد استفاده قرار گرفت. در اولین روش، سرعت سبز نهالبر (SOE)³ (تسیر

4 Mean Emergence Date

5 Emergence Rate Index

6 Relative Emergence

1 Alistar

2 Merit F1

3 Speed of Emergence

که در آن K_g سرعت رشد نسبی است، و دو پارامتر L_f و K_g برآورد شدند.

مدل مونومولکولار که یک تابع ریاضی بدون انحنا است:

$$L(t) = L_f [1 - \exp(-K_m t)]$$

در این رابطه K_m (در روز) یک ضریب نسبی از Γ (سرعت رشد نسبی) است، و رابطه بصورت $L_0 = 0$ در زمانی که $t = 0$ بود در نظر گرفته شد. در این مدل دو پارامتر K_m و L_f برآورد شدند.

برای سبز نهال‌بذرهای از یک مدل و برای رشد نهال‌بذرهای از سه مدل استفاده گردید. داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهده شده رشد نهال‌بذر مورد مقایسه قرار گرفت. معیار آماری استفاده شده برای مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده (P_i) و داده‌های مشاهده شده (O_i) از روابط زیر محاسبه گردید که توسط اسمیت و همکاران (1996) پیشنهاد شده است:

کارایی مدلینگ (ME)²:

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} (O_i - \bar{O})^2}$$

ریشه میانگین مربعات اشتباه (RMSE)³:

$$RMSE = \frac{100}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - O_i)^2}{n}}$$

ضریب مجموع باقیمانده (CRM)⁴:

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} O_i - \sum_{i=1}^{i=n} P_i}{\sum_{i=1}^{i=n} O_i}$$

در روابط بالا، n تعداد زمان مشاهده شده و \bar{O} میانگین داده‌های مشاهده شده بود. در این تحقیق از الگوریتم مارکوارت-لونیبرگ برای برازش منحنی‌ها استفاده شد.

$$MER = \frac{1}{4} (Mb)$$

در غیاب رابطه‌های تئوریک معمولی برای توجیه رشد نهال‌بذر، سه منحنی رشد تجربی در مقابل زمان (یعنی گومپرتز، لجستیک و مونومولکولار) مورد استفاده قرار گرفت. بصورت طبیعی با افزایش ارتفاع گیاه و افزایش تعداد برگ‌ها درست بعد از سبز (2-3 برگ اولیه)، رشد نهال‌بذر متوقف می‌شود. دما و پتانسیل آبی خاک در طول زمان انجام آزمایش ثابت فرض شد.

بر پایه داده‌های آزمایش، از برازش سه رابطه رگرسیون غیر خطی زیر برای برآورد پارامترهای رشد استفاده گردید.

رابطه لجستیک قرینه با یک نقطه انحنا:

$$L(t) = \frac{L_0 L_f}{L_0 + (L_f - L_0) \exp(-\Gamma_0 t)}$$

که در آن $L(t)$ طول نهال‌بذر برحسب میلی‌متر در زمان، L_0 طول نهال‌بذر در زمان شروع رشد ($t = 0$), Γ_0 نشان دهنده سرعت رشد نسبی (RGR)¹ در زمان صفر (در هر روز) بود. $L_0 = 1$ میلی‌متر درست بعد از جوانه زنی فرض شد، بنابراین رابطه فوق را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$L(t) = \frac{L_f}{1 + (L_f - 1) \exp(-\Gamma_0 t)}$$

بنابراین در این مدل فقط دو پارامتر L_f و Γ_0 برآورد شدند.

مدل گومپرتز، یک مدل قرینه با یک انحنا است، در این رابطه سرعت رشد نسبی بوسیله Γ تعریف شد که بصورت سیگموئیدی با زمان کاهش یافت:

$$L(t) = L_f \exp\left\{ \left[-\ln(L_f) \right] \exp(-K_g t) \right\}$$

2 Modeling Efficiency

3 Root Mean Square Error

4 Coefficient of Residual Mass

1 Relative Growth Rate= Γ

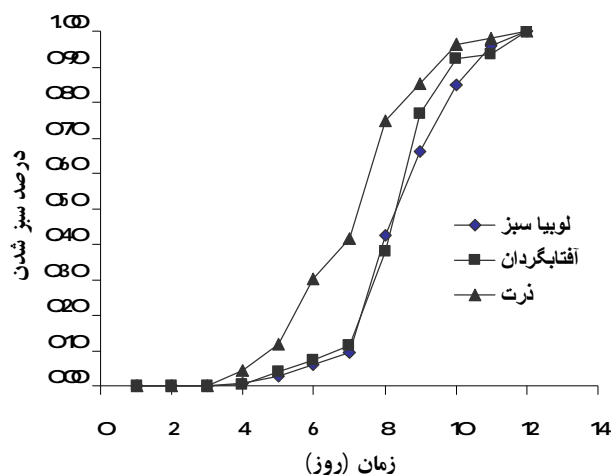
بعد از 11 روز، هیچ اختلافی بین درصد سبز نهایی گیاهان مشاهده نشد اما زمان مورد نیاز برای رسیدن به سبز نهایی، و سبز 50% نهالبرها ($T_{0.5}$) متفاوت بود. بررسی شاخص های سبز نهالبر ($SOE, MED, ERI,)$ نشان داد که با توجه به شاخص های SOE و MED سبز نهالبرهای گیاه ذرت در مقایسه با دو گیاه دیگر یعنی لوبیا سبز و آفتابگردان بالاتر است (جدول 1).

سرعت بالا، یکنواختی و سبز کامل نهالبرهایی با بنیه قوی، با کاهش فاصله زمانی کاشت تا پوشش کامل زمین، زراعت را به تولید عملکرد بالا هدایت کرده و اجازه استقرار بهینه ساختار تاج پوشش برای حداقل کردن رقابت بین گونه ایی، تولید حداکثر عملکرد و تولید گیاهانی با توزیع زمانی و فضایی مناسب برای رقابت با علف های هرز را می دهد (سلطانی و همکاران 2001). از این رو با توجه به شاخص های سبز شدن، گیاه ذرت با داشتن سرعت سبز بالا، قدرت بیشتری در تولید عملکرد و رقابت با علف های هرز در مقایسه با لوبیا سبز و آفتابگردان را دارد.

برازش داده های RE هر یک از گونه ها با مدل لجستیک (شکل 2) نشان داد که پارامترهای a و b برای گونه های مورد مطالعه متفاوت بوده است (جدول 1). مقادیر $T_{0.5}$ پیش بینی شده با مدل های لجستیک با زمان لازم برای رسیدن به 50% سبز شدن که بطور مستقیم از درون یابی داده های سبز ردیف بدست آمد مطابقت داشت.

نتایج و بحث

درصد سبز شدن در زمان های اندازه گیری شده به ترتیب از کمتر به بیشتر به گونه های لوبیا سبز، آفتابگردان و ذرت مربوط بود (شکل 1). علت پایین بودن سبز در لوبیا سبز و آفتابگردان را می توان به اپی ژال بودن نوع جوانه زنی آنها در مقایسه با ذرت نسبت داد، زیرا فشار فیزیکی خاک در بالا آمدن جوانه یک عامل تاثیر گذار است.

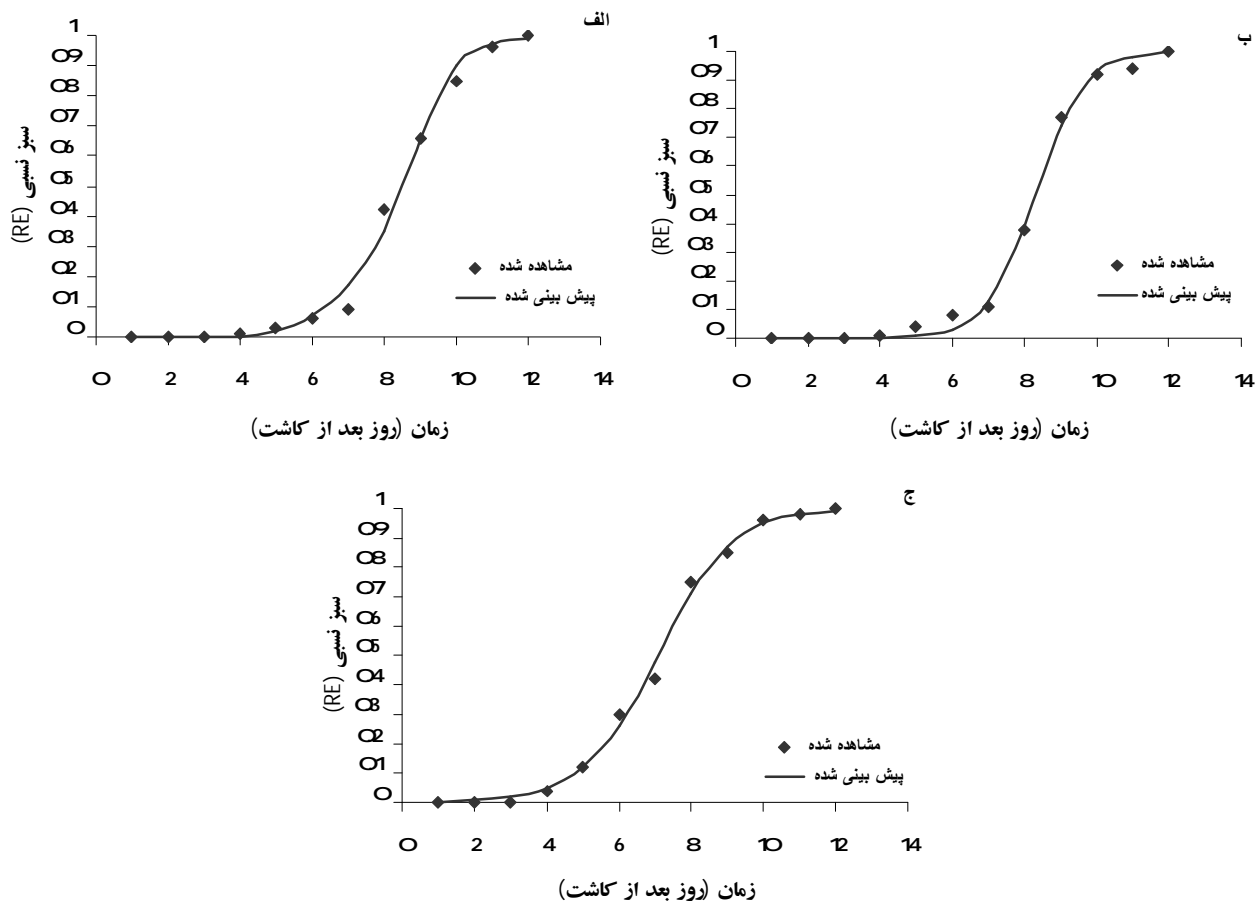


شکل 1- درصد سبز شدن نهالبرهای سه گونه زراعی از زمان کاشت بذر

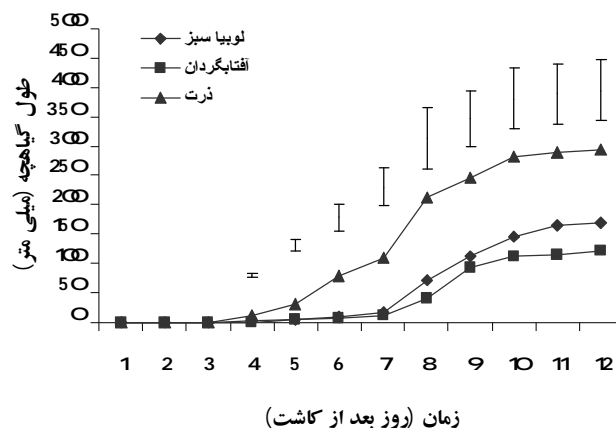
جدول 1- شاخص های سبز نهالبر لوبیا سبز، آفتابگردان و ذرت (تسیر 1988، بیلرو و وانجورا 1982)، ثابت های تجربی a ، b و ضریب تشخیص (R^2) مدل لجستیک (فرانس و تورنلی 1984) در گونه های زراعی مختلف

گونه زراعی	شاخص های سبز شدن					ثابت های تجربی		
	SOE	MED	ERI	MER	$T_{0.5}$	a	b	R^2
لوبیا سبز	۸/۹۳	۹۰/۹۲	۸/۷۶	۰/۱۲	۸/۴۳	۱۰/۹۷	۱/۳۱	۰/۹۹۲
آفتابگردان	۶/۵۱	۶۶/۳۳	۸/۷۷	۰/۱۹	۸/۲۴	۱۳/۵۰	۱/۶۳	۰/۹۸۹
ذرت	۱۹/۰۴	۱۸۲/۸۰	۹/۲۷	۰/۰۹	۷/۳۰	۶/۳۱	۰/۸۷	۰/۹۶۱
LSD(P≤0.05)	۳/۵۴۲	۳۵/۱۸۹	۰/۱۲۴	۰/۰۵۸	۰/۴۰۸	۲/۶۸	۰/۳۳	

SOE: سرعت سبز شدن (گیاه در روز); MED: میانگین روز سبز شدن (روز); ERI: شاخص میزان سبز شدن (در روز); MER: حداکثر میزان سبز شدن (گیاه در روز); $T_{0.5}$: میانه زمان سبز شدن (روز).



شکل 2- داده‌های مشاهده شده در مقابل پیش‌بینی شده سبز نسبی سه گونه زراعی لوبیا سبز (الف)، آفتابگردان (ب) و ذرت (ج) با استفاده از مدل لجستیک (فرانس و تورنلی 1984)



شکل 3- طول نهالذر گیاهان زراعی لوبیاسبز، آفتابگردان و ذرت در روزهای بعد از سبز شدن (شاخص‌ها نشان‌دهنده اشتباه استاندارد میانگین سه گونه زراعی است)

خشک موجود در گیاه در واحد زمان می باشد و به عنوان برآورد اساسی تولید ماده خشک به کار می رود و می توان آن را برای مقایسه کارایی گونه‌ها یا اثرات دما در شرایط معین به کار برد (سرمدنیا و کوچکی 1370).

اختلاف مابین سبز نهالذرهای سه گونه زراعی در روز 4 به بعد شروع شد و این اختلاف در مراحل پایانی بیشتر بود.

در این مطالعه سه رابطه رشد تجربی برای انتخاب بهترین مدل مورد مقایسه قرار گرفت (جدول 2). به طور کلی نتایج زیر بدست آمد:

1- برازش منحنی ها، کارایی بالای 0/88 را در مدل های لجستیک و گومپرتز و کارایی متوسط بالاتر از 0/5 را برای مدل مونومولکولار نشان داد.

2- در بین سه مدل، مدل های گومپرتز و لجستیک نتایج رضایت بخشی را نشان دادند بطوری که مقادیر پیش بینی شده از مدل و مقادیر مشاهده شده از آزمایش کاملاً بر همدیگر منطبق بودند (EF تقریباً 0/9 در بیشتر موارد و $RMSE$ کمتر از 8). مدل مونومولکولار با $RMSE > 12$ مدل مناسبی برای برازش سبز نهالذرهای گونه های زراعی تعیین نشد.

شکل 3 حساسیت رشد طولی سه گونه زراعی را به روشنی نشان می دهد. رشد طولی گیاه در دو مدل لجستیک و مونومولکولار دارای اختلاف معنی دار بود در صورتی که در مدل رشد گومپرتز، طول نهالذر غیر معنی دار بدست آمد. رشد نهالذر گونه زراعی ذرت بطور معنی داری در مقایسه با رشد نهالذر لوبیا سبز و آفتابگردان بیشتر بود. اختلاف رشدی بین گونه های زراعی را می توان این چنین بیان کرد که چون جوانه زنی گیاهان آفتابگردان و لوبیا سبز از نوع اپی ژال است مقدار انرژی بیشتری را صرف بالا آمدن نهالذر صرف می کنند و رشد بعد از سبز شدن، بیشتر به فعالیت اتوتروفی نهالذر مربوط است در صورتی که در ذرت این فعالیت می تواند به انرژی بالای حاصل از تجزیه اندوخته بذر همزمان با فعالیت اتوتروفی نهالذر همراه شده و رشد نهالذرهای تسریع گردد. اختلاف معنی دار سرعت رشد نسبی (K_g) موید این مطلب است.

در تمامی مدل ها ذرت سرعت رشد نسبی بیشتری را در مقایسه با لوبیا سبز و آفتابگردان نشان داد. سرعت رشد نسبی در یک لحظه از زمان، بیان کننده، میزان افزایش در وزن خشک گیاه به ازای واحد وزن

لجستیک وجود ندارد و تنها در برآورد مقادیر پارامترهای مدل لجستیک و گومپرتز اختلاف اندکی بدست آمد. کل پارامترها متناسب با گونه‌های زراعی بطور جداگانه مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت. نوع گونه زراعی، پارامتر مدل‌های لجستیک یعنی L_f و Γ_0 ، مدل گومپرتز، L_f و K_g و مدل مونومولکولار، L_f و K_m را بطور معنی داری تحت تاثیر قرار داد (جدول 3). مقدار L_f در ذرت بطور معنی داری بیشتر از لوبیا سبز و آفتابگردان بود. دامنه تغییرات L_f به طور تقریبی از 170 در آفتابگردان تا 934 میلی متر در ذرت متغییر بود. پارامتر L_f مدل گومپرتز حداقل تغییرات را نشان داد. این حالت نشان دهنده تغییرات واقعی سرعت رشد در بین گیاهان زراعی و مدل‌ها بود. با توجه به نتایج بدست آمده مدل‌های تجربی قرینه دار با یک انحنا که رشد نهال‌بذرها و گیاهان زراعی را توجیه می نماید پیشنهاد شد.

3- در تمامی تغییرات مقادیر پیش بینی شده رشد نهال‌بذرها با زمان، اندکی بیشتر از مقادیر مشاهده شده بود (CRM با مقادیر منفی در تمام موارد). هرچند در دو مدل لجستیک و گومپرتز به خوبی با شکل داده‌های آزمایشی برای سه گونه برازش شد. بوآزیز و بروکلر (1989) نیز گزارش کردند که مدل مونومولکولار مدل مناسبی برای برازش داده‌های سبز نهال‌بذر نیست.

4- از بین سه مدلی که مورد مقایسه قرار گرفت بهترین مدل برای برازش داده‌های حاصل از سبز نهال‌بذرهای سه گونه زراعی مدل لجستیک تعیین شد. بر خلاف نتایج آزمایش، موهانتی و پینولی (2004) که با مقایسه سه مدل گومپرتز، لجستیک و مونومولکولار تحت تاثیر شخم‌های مختلف و مدیریت بقایا بهترین مدل برای برازش داده‌های آزمایش را مدل گومپرتز معرفی کردند. حاج سید هادی و گونزالس-اندرجور (2009) نشان دادند که اختلاف معنی‌داری در برازش مدل‌های گومپرتز و

جدول 2- مقادیر معیار آماری برای مدل‌های رشد گونه‌های مختلف زراعی

گونه زراعی	مدل	EF	RMSE	CRM
لوبیا سبز	لجستیک	۰/۹۵۲	۶/۴۴	-۰/۰۸۵
	گومپرتز	۰/۹۲۱	۸/۷۱	-۰/۰۸۹
	مونومولکولار	۰/۶۶۵	۱۹/۲۰	-۰/۲۲۰
آفتابگردان	لجستیک	۰/۹۱۸	۸/۶۲	-۰/۱۰۴
	گومپرتز	۰/۸۸۶	۱۰/۵۹	-۰/۱۰۲
	مونومولکولار	۰/۵۷۵	۱۹/۸۲	-۰/۲۱۹
ذرت	لجستیک	۰/۹۵۱	۴/۶۸	-۰/۰۱۸
	گومپرتز	۰/۹۳۲	۵/۸۵	-۰/۰۴۷
	مونومولکولار	۰/۷۸۱	۱۲/۱۴	-۰/۱۵۰

جدول 3- ثابت‌های تجربی؛ طول نهایی نهال‌بذر (L_f)، ضریب نسبی (K_m) و سرعت رشد نسبی (K_g) برای نهال‌بذر سه گونه زراعی بر اساس مدل‌های لجستیک، گومپرتز و مونومولکولار

گونه زراعی	لجستیک		گومپرتز		مونومولکولار	
	L_f	Γ_0	L_f	K_g	L_f	K_m
لوبیا سبز	۲۲۶/۹۰	۰/۵۸	۲۰۸/۵۹	۰/۱۱	۷۹۲/۷۲	۰/۰۰۰۱۴
آفتابگردان	۱۷۰/۷۷	۰/۵۴	۳۹۶/۶۲	۰/۱۱	۶۰۴/۳	۰/۰۰۰۱۴
ذرت	۳۰۸/۹۴	۰/۷۶	۵۷۲/۸۴	۰/۲۲	۹۳۴/۹۶	۰/۰۰۰۲۷
LSD($P \leq 0.05$)	۶۲/۴۲۹	۰/۰۴۳	NS	۰/۰۲۵	۲۴۹/۵۲	۰/۰۰۰۰۱

NS: غیر معنی دار

منابع مورد استفاده

بهتری ب، 1388. اثر پرایمینگ رطوبتی و اسمزی بذر روی صفات جوانه‌زنی، سبز شدن گیاهچه، کیفیت و کمیت علوفه تولیدی در فستوک پا بلند و علف گندمی. پایان نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

سرمد نیا غ ح و کوچکی ع، 1370. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

یوسفی داز م، سلطانی ا، قادریفرشید ا و زینلی ا، 1384. ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای توصیف سرعت سبز شدن نخود نسبت به دما. صفحه‌های 121 تا 124. اولین همایش ملی حبوبات. مشهد.

Bahler C, Hil RR and Byers AR, 1989. Comparison of logistic and Weibull functions: the effect of temperature on cumulative germination of alfalfa. *Crop Sci* 29: 142–146.

Behtari B, and Abadian H, 2009. Quality and quantity response of soybean (*Glycine max* L.) seeds to water deficit. P. 195. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. University of Hamburg, October 6-8.

Bilbro JD and Wanjura DF, 1982. Soil crust and cotton emergence relationship. *Trans ASAE* 25: 1485–1488.

Bouaziz A and Bruckler L, 1989. Modeling wheat seedling growth and emergence: seedling growth affected by soil water potential. *Soil Sci Soc Am J* 53: 1832–1838.

Bush JK and Van Auken OW, 1991. Growth and survival of *Prosopis glandulosa* seedlings associated with shade and herbaceous competition. *Botanisscal Gazette* 151: 234–239.

Ekeleme F, Forcella F, Archer DW, Akobunda IO and Chikoye D, 2005. Seedling emergence model for tropic ageratum (*Ageratum conyzoides*). *Weed Sci* 53: 55–61.

- Forcella F, Benech-Arnold RL, Sanchez R and Ghera CM, 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Res* 67: 123–139.
- France J and Thornley JHM, 1984. *Mathematical models in agriculture and related sciences*. Butterworths, London.
- Grundy AC, Phelps K, Reader RJ and Burston S, 2000. Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *N Phytol* 148: 433–444.
- Grundy AC, Peters NCB, Rasmussen IA, Hartmann KM, Sattin M, Andersson L, Mead A, Murdoch AJ and Forcella F, 2003. Emergence of *Chenopodium album* and *Stellaria media* of different origins under different climatic conditions. *Weed Res* 43: 163–176.
- Haj Seyed Hadi MR and Gonzalez-Andujar JL, 2009. Comparison of fitting weed seedling emergence models with nonlinear regression and genetic algorithm. *Computers and Electronics in Agri* 65:19–25.
- Leblanc ML, Cloutier DC, Stewart KA and Hamel C, 2004. Calibration and validation of a common lambsquarter (*Chenopodium album*) seedling emergence model. *Weed Sci* 52: 61–66.
- Leguizamon ES, Fernandez-Quintanilla C, Barroso J and Gonzalez-Andujar JL, 2005. Using thermal and hydrothermal time to model seedling emergence of *Avena sterilis* spp. *Ludoviciana* in Spain. *Weed Res* 45: 149–156.
- Mohanty M and Painuli DK, 2004. Modeling rice seedling emergence and growth under tillage and residue management in a rice–wheat system on a Vertisol in Central India. *Soil and Tillage Res* 76: 167–174.
- Myers MW, Curran WS, VanGessel MJ, Galvin DD, Mortensen DA, Majek BA, Karsten HD and Roth GW, 2004. Predicting weed emergence for eight annual species in the northeastern United States. *Weed Sci* 52: 913–919.
- Nash JC and Walker-Smith M, 1987. *Nonlinear parameter estimation*. M. Dekker, Inc., New York.
- Roman ES, Murphy SD and Swanton CJ, 2000. Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. *Weed Sci* 48: 217–224.
- Ross MA, Harper JL, 1972. Occupation of biological space during seeding establishment. *Journal of Ecology* 60: 77–88.
- Scott SJ, Jones RA and Williams WA, 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Sci* 24: 1192–1199.
- Schimpf DJ, Flint SD and Palmblad IG, 1977. Representation of germination curves with the logistic function. *Ann Bot* 41: 1357–1360.

- Smith J, Smith P and Addiscott T, 1996. Quantitative methods to evaluate and compare soil organic matter models. Pp. 181–199. In: Powlson DS, Smith P and Smith J (eds). Evaluation of soil organic matter models. Springer-Verlag, Berlin.
- Soltani A, Zeinali E, Galeshi S and Latifi N, 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Sci Technol* 29: 653–662.
- Tessier S, 1988. Zero till furrow opener geometry effect on wheat emergence and seed zone properties. PhD Dissertation. Washington State University, Pullman.
- Thomas WE, Burkw IC, Spears JF and Wilcut JW, 2006. Influence of environmental factors on slender amaranth (*Amaranthus viridis*) germination. *Weed Sci* 54: 316–320.
- Watts JC, 2001. The effect of seed priming on the germination, emergence, and development of five different grass species. MSc thesis, Department of Plant Science, University of Manitoba, Canada. pp.111.