

## مدل‌سازی الگوی جوانه‌زنی دو توده تاج‌خروس در واکنش به دما

رضا دیهیم فرد<sup>۱</sup> - شهرام نظری<sup>۲\*</sup> - محمدعلی ابوطالبیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵

### چکیده

مدل‌سازی جوانه‌زنی و سبز شدن بذور علف‌های هرز که ارائه دهنده مدلی برتر در پیش‌بینی زمان رویش علف‌هرز باشد به طور فزاینده‌ای موجب بهبود برنامه‌های مدیریتی خواهد شد. به همین منظور سعی شد تا با استفاده از شش مدل شامل ویبول (Weibull)، لگ نرمال (Lognormal)، لجستیک (Logistic)، گامپرتز (Gompertz)، سیگموئیدی (Sigmoidal) و چاپمن (Chapman) در دامنه دمایی ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، الگوی مناسب جوانه‌زنی دو توده تاج‌خروس (البرز و فارس) تعیین گردد. همچنین جهت تعیین نکویی برازش مدل‌ها از ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص آکائیک (AIC) استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدل نشان داد که بهترین مدل برای نشان دادن الگوی جوانه‌زنی جمعیت البرز مدل ۴ چهار پارامتره ویبول و مدل لجستیک نیز به عنوان بهترین مدل برای نشان دادن الگوی جوانه‌زنی جمعیت فارس بود. همچنین مدت زمانی که طول می‌کشد تا درصد جوانه‌زنی به صدک D90 (فاصله زمانی تا حداکثر ۹۰ درصد جوانه‌زنی) برسد در جمعیت البرز و فارس به ترتیب ۴ و نزدیک ۵ روز بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بالاترین درصد جوانه‌زنی جمعیت البرز بدست آمد، در حالی که، در دمای ۳۵ درجه کاهش داشت حال آن‌که در جمعیت فارس حداکثر جوانه‌زنی در دامنه دمایی بین ۳۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. سرعت جوانه‌زنی با افزایش درجه حرارت از ۱۰ به ۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشت که این افزایش در جمعیت البرز بالاتر از فارس بود.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، علف‌هرز، مدل‌های رگرسیونی

### مقدمه

می‌توان اذعان داشت، جوانه‌زنی بذور کامل‌ترین جنبه مورد بررسی در جهت استقرار گیاهان است (۱۴). جهت بهبود سیستم‌های مدیریتی، دارا بودن اطلاعات در زمینه‌ی الگوی جوانه‌زنی، سبز کردن گیاهچه و تغییرات آنها بین توده‌های گیاهان زراعی، بسیار حیاتی است (۱۳). بسیاری از عوامل محیطی در پیشبرد یا بازداشتن جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز شناخته شده است. از آنجایی که زمان نسبی سبز شدن به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی رقابت حائز اهمیت می‌باشد (۲۲)، بنابراین درک کامل از جوانه‌زنی و سبز شدن بذور جزء مهم‌ترین فرآیندها برای موفقیت در مدیریت یک علف‌هرز می‌باشد، چرا که اولین مرحله برای رقابت یک علف‌هرز، در یک آشیان اکولوژیک می‌باشد (۱۴). الگوی سبز شدن علف‌های هرز مشخص کننده زمان کاربرد علف‌کش و چگونگی کنترل علف‌های هرز خواهد بود. این موضوع کمک بزرگی در جلوگیری و یا به حداقل رساندن اثر علف‌های هرز بر عملکرد و کیفیت محصول خواهد نمود (۲۸). تفاوت‌های زمان سبز شدن گیاهان رقیب در پوشش گیاهی موجب بهبود شرایط رشد برای گیاهان زودتر سبز شده می‌شود و شرایط نامساعدتری را برای گیاهان دیرتر سبز شده نسبت به موقعیت سبز شدن همزمان پیش می‌آورد (۲۱).

پراکنندگی گونه‌های هرز در مقیاس زمان و مکان به صورت لکه-

تاج‌خروس سومین علف‌هرز غالب دولپه‌ای در جهان است که به دلیل دارا بودن طبیعت رشد نامحدود و مسیر فتوسنتزی C<sub>4</sub>، در مزارع گیاهان زراعی تابستانه و گرمادوست نظیر ذرت و آفتابگردان قدرت رقابتی بیشتری از خود نشان می‌دهد (۲۰). این علف‌هرز در سال‌های اخیر بدلیل قدرت سازگاری نسبتاً بالا در دامنه وسیعی از شرایط محیطی توانسته در جهان گسترش یابد (۳). جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک تاج‌خروس می‌باشد که نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت استقرار بذور این علف‌هرز خواهد داشت.

در طی فرآیند جوانه‌زنی، نقش بذور به عنوان یک واحد زایشی آن است که، بقای تمام گونه‌ها را تضمین می‌کند. علاوه بر این، جوانه‌زنی بذور به دلیل نقش بذور در استقرار بوته به عنوان یک عامل کلیدی در کشاورزی نوین اهمیت خود را حفظ کرده است (۱۵). بطوری‌که

۱- استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲ و ۳- دانشجوی دکتری و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\* نویسنده مسئول: (Email: shahram\_nazari1986@yahoo.com)

مزارع مناطق مختلف ذرت در استان‌های البرز و فارس بذور این علف هرز جمع‌آوری شدند. بذور جمع‌آوری شده بیش از ۲۰۰ بوته، جهت تشکیل یک نمونه بذری با هم مخلوط شد. آزمایش اولیه جوانه‌زنی نشان‌دهنده خواب بالایی در بذور بود و لذا نمونه‌های بذری مذکور تا زمان شروع آزمایش‌های مربوط به اکولوژی جوانه‌زنی (حدود شش ماه پس از رسیدگی) در داخل پاکت کاغذی در محیطی خشک در شرایط آزمایشگاه در بخش تحقیقات علف‌های هرز مؤسسه تحقیقات گیاه-پزشکی نگهداری شد. قبل از شروع آزمایش، ابتدا کلیه ظروف و سپس بذرها بطور کامل ضدعفونی شدند. جهت ضدعفونی بذور تاج‌خروس از محلول هیپوکلریت سدیم سه درصد به مدت ۳۰ ثانیه استفاده شد و بلافاصله بعد از آن بذور چندبار با آب مقطر شستشو گردیدند (۲۷). این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. جهت سنجش قابلیت جوانه‌زنی هر دو توده البرز و فارس نخست ۲۵ عدد بذر در پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متری و محتوی دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک جای داده شده و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. سپس این پتری‌دیش‌ها درون ژرمیناتورهای با دمای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. این دماها به منظور شبیه‌سازی دامنه تغییرات درجه حرارت در دوره زمانی بهار تا تابستان برای هر دو منطقه انتخاب گردیدند. فرآیند جوانه‌زنی با جذب آب توسط بذر خشک در حال استراحت شروع و با خروج ریشه‌چه از ساختارهایی که آن را فرا گرفته‌اند کامل می‌شود. بر این اساس، خروج دو میلی‌متری ریشه‌چه به عنوان معیار بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد (۲۴). ثبت جوانه‌زنی از روز دوم آغاز و هر ۲۴ ساعت یک بار به مدت ۱۴ روز شمارش شد. در طی آزمایش نیز به پتری‌دیش‌ها آب افزوده شد. نوسان دمایی در ژرمیناتورها در  $\pm 1/5$  درجه سانتی‌گراد بود.

### ارزیابی درصد و سرعت جوانه‌زنی

برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور از برنامه Germin استفاده شد که این برنامه D10، D50، D90 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر پلات از طریق درون‌یابی<sup>۱</sup> منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در روز) از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۲۵):

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = 1/D50 \quad (۱)$$

### شرح مدل‌های جوانه‌زنی

از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی سازی واکنش جوانه-

ای می‌باشد که این ویژگی منحصر به فرد گونه‌های هرز، روش مدیریتی نوینی را می‌پسندد و می‌توان آن را مدیریت زمان-ویژه نامید که برای دستیابی به این مهم، مدل‌های سبز شدن گیاهچه راه-گشا هستند (۴). پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز می‌تواند یک راهبرد مناسب مدیریتی باشد، چرا که می‌تواند بطور بالقوه-ای تعداد علف‌هرزی را که در مزرعه سبز می‌شود و نیز زمان رویش آن‌ها را تعیین کند (۱۰). به دلیل تفاوت در نیاز حرارتی انواع گونه‌های هرز، تغییرات دما ممکن است موجب تغییر تناسب زیست‌توده بین گیاهان مختلف در جامعه گیاهی شود. به عنوان مثال، ممکن است دلیل آن مربوط به اثرات مختلف دما روی سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن باشد و به این ترتیب توازن رقابتی گونه‌ها در جوامع گیاهی تعیین می‌شود (۲۱). تغییرات دمایی شدید که اغلب در سطح خاک یا نزدیک آن اتفاق می‌افتد، معمولاً جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز را تسریع می‌بخشد.

بدین منظور می‌توان از رگرسیون‌های غیرخطی و مدل‌های ریاضی به منظور شبیه‌سازی جوانه‌زنی، سبز شدن بذور و پیش‌بینی فنولوژی گیاهان نسبت به دما می‌توان استفاده کرد (۲۷). چانتر و همکاران (۸) با بررسی مدل‌های ویبول و لجستیک در پیش‌بینی سبز شدن یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* L.) در دامنه دمایی مختلف اظهار داشتند که مدل لجستیک سه پارامتره توانست با دقت بالایی رابطه بین زمان دمایی و سبز شدن گیاهچه این علف‌هرز را پیش‌بینی نماید. ایزکوبردو و همکاران (۱۸) نیز مدل گامپرتز و ویبول را به داده‌های رویش تجمعی علف هرز چچم (*Lolium rigidum*) در شرایط دمایی مختلف در حضور غلات زمستانه برآزش کردند. در پژوهش آن‌ها مقادیر کم شاخص آکائیک مدل گامپرتز (۲۳۷/۵) نسبت به مدل ویبول (۲۴۴/۴) حاکی از برتری مدل گامپرتز بود. دستیابی و تدوین الگوهای سبز شدن گونه‌های هرز تاج‌خروس در مزارع کشور در ارتباط با واکنش بذر این علف‌هرز به میزان دما، باعث بهبود برنامه‌های مدیریتی خواهد شد. مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی رویش علف‌های هرز وجود دارد که برای هر گونه یا توده-ای، یک مدل ویژه می‌تواند پیش‌بینی مناسب‌تری ارائه دهد. هدف از این مطالعه نیز مقایسه مدل‌های تجربی به منظور ارائه رویکرد مدل-سازی پویا و پیش‌بینی سبز شدن تاج‌خروس دو جمعیت البرز و فارس می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### جمع‌آوری بذر و شرح عملیات

این مطالعه با هدف بررسی الگوی رویش دو توده تاج‌خروس (البرز و فارس) در دماهای مختلف جهت دستیابی به دمای مطلوب جوانه‌زنی انجام شد. برای این منظور ابتدا در شهریور ماه ۱۳۹۳، از

که در آن SSE و SSG به ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل هستند. هر چه مقدار  $R^2$  بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که مدل درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف را بیشتر توجیه می‌کند. RMSE (جذر میانگین مربعات خطا): شاخصی است که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهدات را نشان می‌دهد و توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل است. این شاخص با معادله (۹) محاسبه می‌شود (۸):

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 / n} \quad (9)$$

در این معادله  $x_i$ : درصد جوانه‌زنی تجمعی واقعی،  $y_i$ : درصد جوانه‌زنی تجمعی پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد. هر چه مقدار RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که مدل برازش مناسب‌تری داشته است.

همچنین معیار دیگری که به کمک آن می‌توان مدل‌ها را با هم مقایسه کرد، شاخص آکائیک<sup>۸</sup> می‌باشد (۱۷)، که از رابطه (۱۰) تعیین می‌شود:

$$AIC = n \log \left( \frac{RSS}{n} \right) + 2k \quad (10)$$

که در معادله فوق  $k$  تعداد پارامترهای مدل،  $n$  تعداد مشاهدات و RSS نیز مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. در مقایسه مدل‌ها، هر کدام که از مقدار AIC کمتری برخوردار باشد به عنوان مدل بهتر انتخاب می‌شود.

## نتایج و بحث

### روز تا جوانه‌زنی ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد

نتایج مؤید آن است که در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دو توده فارس و البرز درصد و سرعت جوانه‌زنی کاملاً متوقف شد (شکل ۱، ۲ و ۳). استکل و همکاران (۲۶) نیز با بررسی دامنه‌های مختلف دمایی بر جوانه‌زنی ۹ گونه تاج خروس نتایج مشابهی گزارش کردند. آن‌ها همچنین بیان داشتند که درصد و سرعت جوانه‌زنی نتیجه نهایی مجموعه‌ای از واکنش‌های بیوشیمیایی بوده که با وساطت آنزیم‌های متعددی انجام می‌گیرند و به طور مستقیم تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند. بطور کلی توده فارس نسبت به البرز مدت زمان بیشتری نیاز دارد تا جوانه‌زنی را به حداکثر مقدار خود برسد. عکس‌العمل بذور نسبت به درجه حرارت بسته به گونه، رقم، منطقه رشد و مدت زمان برداشت متفاوت است. ولی به عنوان یک قاعده کلی بذره‌های مناطق

زنی تاج خروس نسبت به دما استفاده شده است (۵). توابع استفاده شده در این آزمایش شامل توابع ویبول<sup>۱</sup> (۲)، لگ نرمال<sup>۲</sup> (۳)، لجستیک<sup>۳</sup> (۴)، گامپرتز<sup>۴</sup> (۵)، سیگموئیدی<sup>۵</sup> (۶) و چاپمن<sup>۶</sup> (۷) بودند.

$$y = a \left[ 1 - e^{-\left( \frac{x-x_0+b \ln 2^{\frac{1}{c}}}{b} \right)^c} \right] \quad (2)$$

$$y = \frac{a}{x} \exp \left[ -0.5 \left( \frac{\ln(x/x_0)}{b} \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$y = \frac{a}{1 + \left( \frac{x}{x_0} \right)^b} \quad (4)$$

$$y = a e^{-e^{-\left( \frac{x-x_0}{b} \right)}} \quad (5)$$

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left( \frac{x-x_0}{b} \right)}} \quad (6)$$

$$y = a(1 - e^{-bx})^c \quad (7)$$

$y$ : درصد جوانه‌زنی تجمعی در دامنه مشخصی از دما  $x$ ،  $X_0$  دمای لازم جهت ۵۰ درصد بازدارندگی حداکثر جوانه‌زنی و  $a$ ،  $b$  و  $c$  پارامترهای مدل می‌باشند.

### ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی و تعیین نکویی برازش مدل‌های مختلف از معیارهای زیر استفاده شد:

$R^2$  (ضریب تبیین): میزان همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را به صورت معادله (۸) نشان می‌دهد:

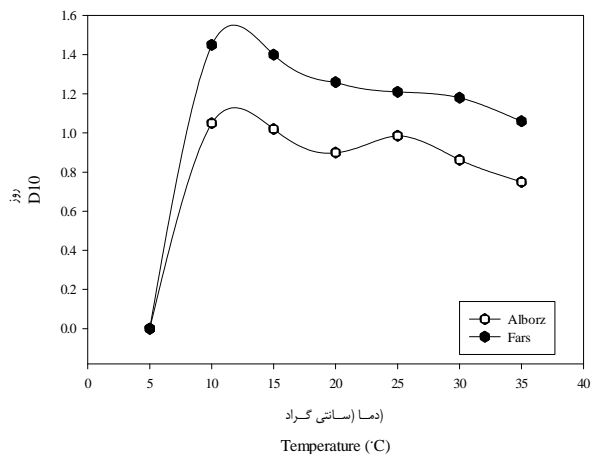
$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSG} \quad (8)$$

- 1- Weibull
- 2- Lognormal
- 3- Logistic
- 4- Gompertz
- 5- Sigmoid
- 6- Chapman

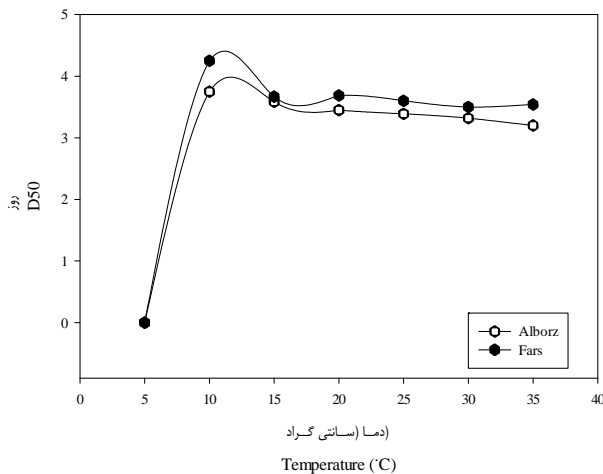
7- Root Mean Squares Error  
8- Akaike Information Criterion

آن است که در هر دو جمعیت برای اینکه از D10 به D50 برسد در جمعیت البرز و فارس به ترتیب ۲/۴۴ و ۲/۴۵ روز می‌باشد حال آن که اگر جوانه‌زنی از D50 به D90 برسد در جمعیت البرز و فارس به ترتیب ۰/۸ و ۱/۴۳ روز است. بنابراین افزایش درجه حرارت سبب تسریع درصد جوانه‌زنی می‌گردد. در اثر سرما رادیکال‌های آزاد اکسیژن مثل سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل تجمع می‌یابند، این رادیکال‌های فعال موجب آسیب رساندن به DNA سلول‌ها و در نتیجه باعث کاهش جوانه‌زنی و تأخیر در رشد گیاه می‌شود (۱۶).

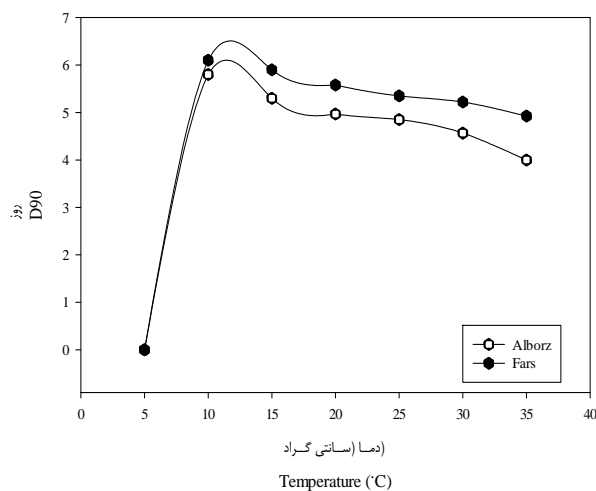
معتدله نسبت به مناطق گرمسیر به دمای کمتری نیاز دارند (۲۳). نتایج نشان داد مدت زمانی را که طول می‌کشد تا درصد جوانه‌زنی به صدک D10 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد) برسد در جمعیت البرز و فارس به ترتیب ۰/۷۵ و ۱/۰۶ روز، در صدک D50 به ترتیب ۳/۲ و ۳/۵ روز و در صدک D90 نیز به ترتیب ۴ و ۴/۹۳ روز بود (شکل ۱، ۲ و ۳). این بدان معنی است که با در بهار با شروع گرما این علف هرز به سرعت جوانه‌زده و رقیب جدی برای محصولات بهاره خواهد بود. نتایج مؤید



شکل ۱- روز تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی بذرهای تاج‌خروس تحت تأثیر سطوح مختلف دما  
Figure 1- Day to 10 percent germination pigweed seeds under different levels of temperature



شکل ۲- روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذرهای تاج‌خروس تحت تأثیر سطوح مختلف دما  
Figure 2- Day to 50 percent germination pigweed seeds under different levels of temperature

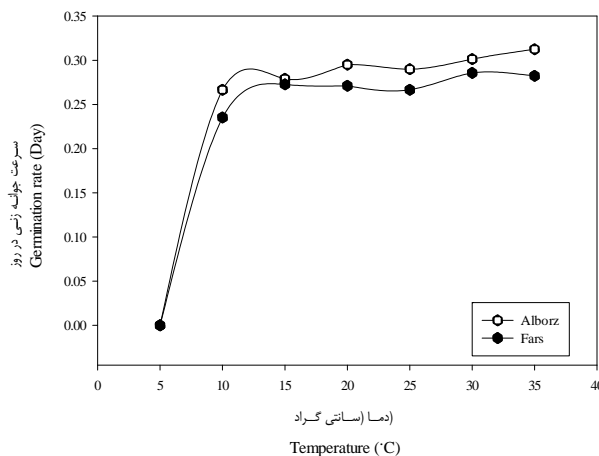


شکل ۳- روز تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی بذرهای تاج خروس تحت تأثیر سطوح مختلف دما  
Figure 3- Day to 90 percent germination pigweed seeds under different levels of temperature

جوانه‌زنی در دماهای پایین، علت اصلی سرعت کمتر جوانه‌زنی می‌باشد (۱۹). واکنش‌های متفاوت مرحله جوانه‌زنی بذر به درجه حرارت‌های مختلف به این دلیل است که با افزایش دما فعالیت آنزیم‌ها و به تبع آن، کارایی واکنش‌های آنزیمی افزایش می‌یابد، که این امر بهبود سرعت جوانه‌زنی را به دنبال دارد (۲). از طرف دیگر، درجه حرارت‌های خیلی کم و زیاد موجب غیرفعال شدن برخی آنزیم‌ها و کاهش سرعت جوانه‌زنی را موجب می‌گردد (۱۷).

#### سرعت جوانه‌زنی

سرعت جوانه‌زنی در توده البرز در کلیه دامنه‌های دمایی همواره بالاتر از توده فارس بود (شکل ۴) نتایج بدست آمده نشان داد که سرعت جوانه‌زنی (در روز) نیز همانند درصد جوانه‌زنی از روند مشابهی تبعیت می‌کند بطوری که با افزایش درجه حرارت از ۱۰ به ۳۵ درجه سانتی‌گراد در توده البرز به ترتیب از ۰/۲۷ به ۰/۳۱ و توده فارس از ۰/۲۳ به ۰/۲۸ افزایش یافت (شکل ۴). کاهش جذب آب و متعاقب آن کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی



شکل ۴- سرعت جوانه‌زنی بذرهای تاج خروس تحت تأثیر سطوح مختلف دما  
Figure 4- Rate germination pigweed seeds under different levels of temperature

جوانه‌زنی و منحنی پیش‌بینی مدل وجود داشت. در همین راستا بش و همکاران (۶) اظهار داشتند، برازش حاصل از مدل ویبول به عنوان مدل برتر جهت پیش‌بینی زمان-دمایی رویش تاج‌خروس در شرایط اقلیمی زنجان انتخاب شد. ولی دهقان و همکاران (۹) بهترین مدل برای نشان دادن تاج‌خروس در شرایط مشهد را مدل گامپرتز معرفی کردند. بنابراین می‌توان بیان داشت که هر چند شکل کلی مدل‌های تجربی از روند مشابهی تبعیت می‌کند ولی مدل‌ها برای گونه‌های مشابه در شرایط محیطی مختلف توان توصیفی متفاوتی ارائه می‌دهد (۱۲). یوسفی و همکاران (۲۸) به نقل از دونالد (۱۱) اظهار داشتند که مدل لجستیک می‌تواند به خوبی واکنش رویش‌های شاخساره‌های حاصل از جوانه‌های نابجای ریشه خار لته (*Cirsium arvense*) به درجه روز دمای تجمعی را، برازش کند. پس می‌توان نتیجه گرفت جوانه‌زنی علف‌های هرز در طی فصول مختلف یک پدیده تصادفی نیست بلکه هم جوانه‌زنی و هم سبز شدن از الگوی خاصی طی زمان پیروی می‌کند که این الگوها در شرایط محیطی مختلف دچار تغییر می‌شوند. درستی و صحت پیش‌بینی مدل‌هایی که تاکنون شناخته شده‌اند تنها در حدی است که بتواند بهترین زمان یا زمان‌های اعمال شیوه‌های کنترلی مانند علف‌کش یا وجین را تعیین نمایند. مواجهه با الگوهای رویش متعدد در بین گونه‌های گوناگون قابل انتظار است (۹). تفاوت مدل بین گونه‌ها را می‌توان به دمای پایه و احتیاجات دمایی خاص برای تکمیل مراحل نمو گیاهان نسبت داد.

### مقایسه مدل‌ها

جدول ۱ مقدار پارامترهای توابع برازش شده و نکویی برازش مدل‌ها بر حسب معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و سنجه آکائیک (AIC) را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدلی بیانگر آن است که بهترین مدل برای نشان دادن الگوی جوانه‌زنی تاج‌خروس در جمعیت البرز مدل چهار پارامتری ویبول بود. مقدار شاخص AIC برای مدل ویبول برابر با ۹۲۷/۳۳ بود در صورتی که این شاخص برای مدل‌های لجستیک، چاپمن، گامپرتز، سیگموئیدی و لگ نرمال به ترتیب ۹۴۷/۶، ۹۴۹/۳۱، ۹۵۴/۹۱ و ۹۹۶/۷۴ بود. همچنین در مدل ویبول مقادیر  $R^2$  با ۰/۹۷ بیشترین و RMSE با ۶/۰۵ کمترین مقدار بود (جدول ۱)، که می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه-سازی شده و مشاهده شده کم می‌باشد و مدل توانسته برازش مناسبی داده شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد در دماهای ثابت مدل لجستیک توانست درصد جوانه‌زنی را نسبت به سایر مدل‌ها در جمعیت فارس برازش نماید. مدل پیشنهادی برای جمعیت فارس، اندازه خطا را نسبت به سایر مدل‌ها کاهش داد (RMSE= ۴/۲۱). مقایسه سنجه AIC بین مدل لجستیک (AIC= ۷۴۱/۶۴) با سایر مدل‌ها به روشی برتری مدل مذکور را بیان می‌کند (جدول ۱). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت که مدل لگ نرمال با شاخص AIC برابر ۸۰۸/۷۲ و RMSE برابر ۴/۸۱ برازش ضعیف‌تری نسبت به سایر مدل‌ها ارائه داد، زیرا همخوانی کمتری میان داده‌های

جدول ۱- پارامترهای برآورد شده به وسیله مدل‌های ویبول، چاپمن، لگ نرمال، لجستیک، گامپرتز و سیگموئیدی برای دو جمعیت البرز و فارس  
Table 1- Parameter estimates for the Weibull, Chapman, Lognormal, Logistic Sigmoidal and Gompertz models for two population Alborz and Fars

تاج خروس Pigweed	Models	AIC						$R^2$		RMSE	
		a	B	c	$X_0$						
البرز Alborz	Weibull	88.86 ± 6.84*	5.41 ± 1.42	1.01 ± 0.55	8.75 ± 1.19	927.33	0.97	6.05			
	Chapman	87.08 ± 4.35	0.31 ± 0.11	12.31 ± 13.7	-	949.31	0.95	6.31			
	Log Normal	2972.1 ± 433.1	0.75 ± 0.11	-	42.94 ± 10.19	996.74	0.95	6.92			
	Logistic	87.53 ± 4.5	-4.33 ± 1.79	-	9.22 ± 0.44	947.6	0.95	6.29			
	Gompertz	86.8 ± 4.31	2.98 ± 1.01	-	8.15 ± 0.88	954.91	0.95	6.37			
	Sigmoidal	84.82 ± 4.63	1.59 ± 0.92	-	9.19 ± 0.84	996.39	0.93	6.92			
فارس Fars	Weibull	94.42 ± 4.83	10.21 ± 2.28	1.51 ± 0.5	12.28 ± 0.74	757.88	0.98	4.35			
	Chapman	95.08 ± 4.2	0.18 ± 0.04	6.33 ± 3.03	-	752.61	0.97	4.29			
	Log Normal	3607.7 ± 426.1	0.73 ± 0.07	-	50.17 ± 8.75	808.72	0.97	4.81			
	Logistic	97.81 ± 6.08	-3.29 ± 0.72	-	12.57 ± 0.88	741.64	0.98	4.21			
	Gompertz	94.52 ± 3.96	5.02 ± 0.93	-	10.58 ± 0.63	757.23	0.98	4.34			
	Sigmoidal	92.94 ± 4.06	3.42 ± 0.72	-	12.83 ± 0.82	767.21	0.97	4.43			

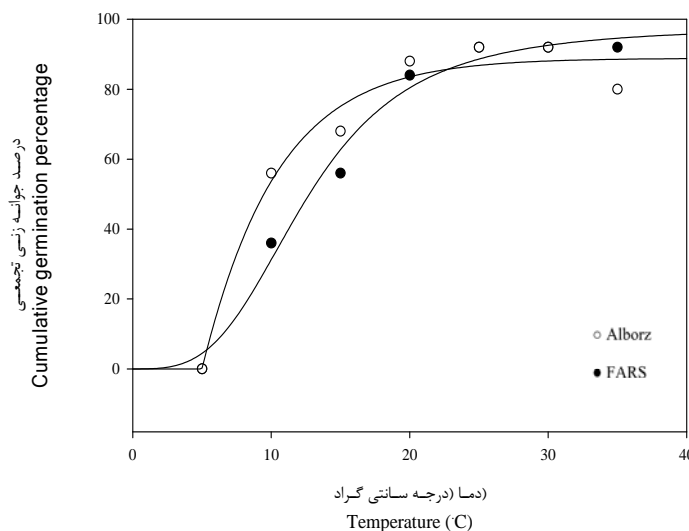
\*Standard error (SE)

\* خطای استاندارد (SE) هستند

## الگوی جوانه‌زنی هر دو جمعیت

شکل ۴ و ۵ اثر سطوح مختلف دمایی مورد نیاز جهت رسیدن به مقدار مشخص جوانه‌زنی را برای هر دو جمعیت البرز و فارس نمایش می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که جمعیت البرز در دماهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد رشد سریع‌تری نسبت به جمعیت فارس داشت و توانست در مدت زمان کمتری (شکل ۳) به حداکثر رویش خود برسد. این موضوع نشان دهنده آن است که مناطقی که دارای اقلیمی مشابه فارس دارند با می‌توان با کاشت زود هنگام محصولات زراعی علف هرز تاج خروس را مدیریت کرد. همچنین در مورد جمعیت البرز که در مدت زمان کوتاه‌تری به حداکثر رشد خود می‌رسد، لازم است کنترل سریع‌تر آن در مراحل اولیه رشد گیاهان زراعی صورت بگیرد، زیرا رویش اوایل فصل این علف‌هرز باعث می‌شود تاج خروس در مورد منابع، رقابت بیشتری با گیاه داشته باشد. نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی در جمعیت البرز با افزایش دما از ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به صورت خطی افزایش داشت و سپس با افزایش بیشتر دما نسبت به دمای مطلوب، درصد جوانه‌زنی کاهش داشت (شکل ۵). حال آنکه درصد جوانه‌زنی در جمعیت فارس در دماهای ۱۰، ۱۵

و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب با ۳۶، ۵۶ و ۸۴ درصد بود که با افزایش دما از ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد این مؤلفه همواره روند ثابتی داشت (شکل ۵). بنابراین چنین استنباط می‌شود که توده فارس نسبت به البرز دارای پتانسیل ژنتیکی و فیزیولوژیکی بالایی در پاسخ به دما می‌باشد. این موضوع از نگاه بوم‌شناختی برای تاج خروس دارای حائز اهمیت باشد، زیرا در مناطق گرم‌تر (مانند شیراز) نسبت به مناطق سردتر (مانند کرج) در دماهای بالا نیز قادر خواهد بود به حداکثر مقدار جوانه‌زنی دست یابد. این پدیده به تاج خروس سازگاری بسیار بالایی می‌دهد که منجر به افزایش توان رقابتی در دامنه گسترده‌ای از دماهای محیطی جنوب کشور باشد. عسگرپور و همکاران (۱) نیز با بررسی دماهای مختلف بر جوانه‌زنی دو توده علف شور (*Salsola kali* L.) (خراسان شمالی و رضوی) اظهار داشتند که بالاترین درصد جوانه‌زنی در توده خراسان شمالی در دمای ۳۵ و خراسان جنوبی در دامنه ۳۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد حادث شد. شاید علت این اختلاف بین توده‌ها را می‌توان با کیفیت فیزیولوژیکی و پتانسیل ژنتیکی بذر توجیه کرد.



شکل ۵- درصد جوانه‌زنی تجمعی مشاهده شده (● و ○) و شبیه‌سازی شده (-) تاج خروس توده البرز و فارس به ترتیب با تابع ویبول و لجستیک در رابطه با دما

Figure 5- Cumulative germination percent observed (● and ○) and simulated (-) pigweed Alborz and Fars ecotype mass for Weibull and Logistic model, respectively in relation to temperature

است که بهترین مدل برای نشان داد الگوی جوانه‌زنی توده‌های البرز و فارس به ترتیب مدل ویبول و لجستیک بود. بی‌شک، ارزیابی تعداد بیشتری از مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی، تحت تیمارهای مختلف دمایی، رطوبتی و نیز سایر عوامل محیطی مؤثر بر فرآیند جوانه‌زنی، می‌تواند محققین را در درک بهتر نیازهای اکولوژیک این علف هرز کمک نماید.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که مدت زمانی را که طول می‌کشد تا درصد جوانه‌زنی به صدک D90 برسد در جمعیت البرز و فارس به ترتیب به ترتیب ۴ و ۴/۹۳ روز بود. همچنین سرعت جوانه‌زنی در توده البرز در کلیه دامنه‌های دمایی همواره بالاتر از توده فارس بود. نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدلی در این آزمایش بیانگر آن

## منابع

- 1- Asgarpour R., Mijani S., and Ghorbabi R. 2014. Effect of temperature on germination rate of Russian thistle (*Salsola kali* L.) based on regression models. *Journal of Plant Protection*, 27(4): 476-483. (in Persian with English abstract).
- 2- Azimi R., Khaje Hosseini M., and Falahpor F. 2014. Evaluation of seed germination features of *Bromus kopetdaghensis* Drobov under different temperature. *Journal of Range and Watershed Management*. 67(2): 253-261. (in Persian with English abstract).
- 3- Bavec F., and Mlakar S.G. 2002. Effects of soil and climatic conditions on emergence of grain amaranths. *European Journal of Agronomy*, 17: 93-103.
- 4- Beheshtian M. M. 2011. Modeling seeding emergence patterns of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and canary grass (*Phalaris minor*) weeds. Ph.D. thesis. University of Tehran. (in Persian).
- 5- Blackshaw R.E. 1991. Soil temperature and moisture effects on downy brome Vs. winter canola, wheat, and rye emergence. *Crop Science*, 31: 1034-1040.
- 6- Bosh Z., Yousefi A.R., Tavakoli A., and Nikbakht J. 2013. Emergence prediction of *Amaranthus retroflexus* L. under different irrigation systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) production. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 44(1): 119-127. (in Persian with English abstract).
- 7- Burnham K.P., and Anderson D.R. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer Verlag, New York.
- 8- Chantre G.R., Blanco A.M., Lodovichi M.V., Bandoni A.J., Sabbatini M.R., Lopez R.L., Viga M.R., and Gigon R. 2013. Modeling *Avena fatua* seedling emergence dynamics: An artificial neural network approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 88: 95-102.
- 9- Dehghan A., Bannayan Awal M., Khajeh Hossaini M., Izadi E and Mijani S. 2013. Simulation of emergence pattern of weeds species in corn (*Zea mays* L.) field based on sigmoidal models. *Journal of Plant Protection*, 26(4): 457-466. (in Persian with English abstract).
- 10- Derakhshan A., Gherekhloo J., and Paravar E. 2013. Estimation of cardinal temperatures and thermal time requirement for *Cyperus difformis* seed germination. *Iranian Journal of Weed Science*, 9(1): 27-38. (in Persian with English abstract).
- 11- Donald W.W. 2000. A degree-day model of *Cirsium arvense* shoot emergence from adventitious root buds in spring. *Weed Science*, 48: 333-341.
- 12- Dorado J., Sousa E., Calha I.M., Gonzalez-Andujar J.L., and Frenandez-Quintalilla C. 2009. Predicting weed emergence in maize crops under two contrasting climatic conditions. *Weed Research*, 59: 1-9.
- 13- Ebrahimi E., Eslami S.V., Jami Al-Ahmadi M., and Mahmodi S. 2011. Studying the effect of different environmental factors on germination of *Ceratocarpus arenarius* L. Bluk seed. *Iranian Journal of Weed Science*, 7(1): 45-87. (in Persian with English abstract).
- 14- Forcella F., Benech-Arnold R.L., Sanchez R., and Ghera C.M. 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67: 123-139.
- 15- Ghaderi Far F., Alimaghani S.M., Rezaei Moghadam H., and Hagheghi M. 2013. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of rye (*Secale cereale* L.) as a volunteer plant in wheat fields. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(4): 121-133. (in Persian with English abstract).
- 16- Hasagawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., and Bohner H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463-499.
- 17- Jalilian A., Mazaheri D., Rahimian H., Tavakkol Afshari R., Abdolahian M., and Gohari J. 2004. Estimation of base temperature and the investigation of germination and field emergence trend of monogerm sugar beet under various temperatures. *Journal of Sugar Beet*, 40(2): 97-112. (in Persian with English abstract).
- 18- Izquierdo J., Bastida F., Lezaun J.M., Sanchez M.J., and Gonzalez-Andujar J.L. 2013. Development and evaluation of a model for predicting *Lolium rigidum* emergence in winter cereal crops in the Mediterranean area. *Weed*



- Research, 53(4): 269-278.
- 19- Maiti R., and Wesche-Ebeling P. 2001. Advance in Chickpea Science. Science Publishers, Inc. 410 pp.
  - 20- Rafael A.M., Randall S.C., Michael J.H., and John B.J. 2001. Interference of palmer amaranth in corn. Weed Science, 49: 202-208.
  - 21- Rashed Mohassel M.H., Rastgoo M., Mousavi S.K., Valiollahpour R.H., and Haghighi A.A. 2006. An introduction to weeds science. Trans. Ferdowsi University of Mashad Press, 536 pp. (in Persian).
  - 22- Sarabi V., Nassiri Mahallati M., Nezami A., and Rashed Mohassel M.H. 2010. The effect of relative tmergence time and density of *Common lambsquarters* (*Chenopodium album* L.) on corn (*Zea mays* L.) grain and biological yield. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 862-870. (in Persian with English abstract).
  - 23- Shaban M. 2013. Effect of water and temperature on seed germination and emergence as a seed hydrothermal time model. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1(12): 1686-1691.
  - 24- Soltani E., Akram Ghaderi F., and Memar H. 2008. The effect of priming on germination components and seedling growth of cotton seeds under drought. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(5): 9-16. (in Persian with English abstract).
  - 25- Soltani, A. and Madah, V. 2010. Simple applied programs for education and research in agronomy. Iranian Society of Ecological Agriculture. Tehran. Iran. 80p. (in Persian with English abstract).
  - 26- Steckel L.E., Christy L.S., Edward W.S., and Wax L.M. 2004. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. Weed Science, 52(2): 217-221.
  - 27- Vleeshouwers L.M. 1997. Modelling the effect of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on preemergence growth of weeds. Annals of Botany, 79: 553-563.
  - 28- Yousefi A.R., Rastgoo M., Ghanbari Motlagh M., and Ebrahimi M. 2013. Predicting seedling emergence of Flixweed (*Descurainia sophia* (L.) Webb.) and Hoary cress (*Cardaria draba* (L.) Desv.) in rapeseed (*Brassica napus*) field in Zanjan conditions. Journal of Plant Protection, 27(1): 48-54.(in Persian with English abstract).