

## کمی سازی پاسخ جوانه زنی بذرهای پیر شده شکر تیغال (*Echinops spp*) به تنش اسمزی با استفاده از مدل های غیر خطی و زمان رطوبتی

طیبه سادات چراغی تخته چوبی<sup>۱</sup>، سید امیر موسوی<sup>۲\*</sup>، احمد زارع<sup>۳</sup>، احمد کوچک زاده<sup>۳</sup> و قاسم پرمون<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۴. دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳)

### چکیده

اثر پیری تسریع شده بر جوانه زنی بذر شکر تیغال با استفاده از مدل های غیر خطی سیگموئید، دندانه ای، گامپرتز و ریچاردز و زمان رطوبتی در توزیع های ویبول، نرمال و گامبل کمی سازی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل های آزمایشی شامل پیری بذر برای مدت (صفر، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت) در رطوبت نسبی (RH=100، دمای (T) ۴۰ درجه سلسیوس و هفت پتانسیل اسمزی (صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، -۰/۸، -۱، -۱/۲ MPa) بود. نتایج آزمایش نشان داد که اثر متقابل میان پیری و تنش اسمزی روی درصد و سرعت جوانه زنی شکر تیغال معنی دار بود. صفات جوانه زنی بذر شکر تیغال با افزایش مدت زمان پیری تا ۷۲ ساعت، افزایش یافتند اما در تیمار ۹۶ ساعت کاهش پیدا نمود. مدل گامپرتز بهترین برازش را بر روی داده های حاصل از تیمارهای صفر، ۲۴ و ۴۸ ساعت پیری تسریع شده ایجاد نمود و مدل سیگموئید برای ۷۲ و ۹۶ ساعت پیری بهترین برازش را نشان داد. در بین تمامی توزیع های مورد بررسی، توزیع نرمال مناسب ترین بود و بنابراین پتانسیل پایه ( $\psi_b$ ) و ثابت زمان رطوبتی ( $\theta_H$ ) بر اساس آن به ترتیب ۰/۶۸ MPa h و ۶ MPa h برآورد شدند. اگرچه پس از ۹۶ ساعت تیمار پیری،  $\psi_b$  و  $\theta_H$  به ترتیب ۰/۷۳۱ MPa h و ۱۹/۳ MPa h برآورد شدند. می توان نتیجه گرفت که بذرهای تازه برداشت شکر تیغال دارای درجاتی از خواب بذر هستند که در شرایط تیمار پیری خفیف تا متوسط برطرف شده اما پس از ۷۲ ساعت، سازوکارهای پیری باعث ایجاد آسیب شده و کیفیت جوانه زنی کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: تنش اسمزی، زوال، گامبل

## Quantification of seed germination response of *Echinops* aged seeds under osmotic stress using various nonlinear models and hydrotime function

Tayebeh Alsadat Cheraghi Takht Choobi<sup>1</sup>, Seyed Amir Moosavi<sup>2\*</sup>, Ahmaz Zare<sup>2</sup>, Ahmad Koochekzadeh<sup>3</sup>, Ghasem Parmoon<sup>4</sup>

1. Master Student in Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

2. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

3. Associate professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

4. PhD. In Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: May. 23, 2021 – Accepted: Sept. 04, 2021)

### Abstract

The effects of accelerated aging treatment on seed germination of *Echinops* was quantified using nonlinear models using Sigmoid, Segmented, Gompertz, and Richards models and hydrotime model in Weibull, Normal and Gumbel distribution functions. Experimental factors were seed aging for (0, 24, 48, 72 and 96 hour) at relative humidity (RH)=100%, temperature (T)=40°C and seven osmotic potential (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -1.2 MPa). Results of the experiment revealed that the interaction effect of aging and osmotic stress on seed germination and germination rate of *Echinopsis* was significant. Seed germination parameters of *Echinops* were increased by aging treatment up to 72 h but it was declined at the aging treatment of 96 h. Seed germination and germination rate were increased by aging treatment till 72 h but at 96 h, both were declined. Gompertz exhibited the best fit for no aged, 24 h and 48 h while the sigmoid function was provided the best fit for aging at 72 and 96 h. Among all studied distribution functions, it was revealed that normal distribution was the most effective one thus base potential ( $\psi_b$ ) and hydrotime constant ( $\theta_H$ ) were -0.68 MPa and 6 MPa h, respectively. However, after 96 h of aging treatment  $\psi_b$  and  $\theta_H$  were estimated at 0.731 MPa and 19.3 MPa h, respectively. It can be concluded that freshly harvested *Echinops* exhibited some levels of seed dormancy which was alleviated at mild to moderate aging conditions, but after 72 h, deteriorative mechanism led to damaging effects and declined seed germination quality.

**Keywords:** Osmotic stress, deterioration, Gumbel

\* Email: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

افزایش عملکرد می شود (Baalbaki et al. 1999).

پیری یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر قدرت بذر می باشد. پیری یک ویژگی طبیعی اما نامطلوب برای بذرهای می شود که سبب کاهش عملکرد و افزایش زیان اقتصادی می گردد. بیشترین قدرت رویش در بذرهای هنگام رسیدگی فیزیولوژیک است اما به تدریج در اثر انبارداری از آن کاسته خواهد شد (Lehner et al. 2008). دلایل زیادی برای پیر شدن بذرهای وجود دارد که از مهم ترین آنها می توان به پراکسیداسیون لیپیدها و اثر آن بر تخریب غشاء سلولی در اثر افزایش گونه های اکسیژن فعال اشاره کرد (Walters. 2007). تحقیقات زیادی در زمینه یافتن سازوکارهای اصلی دخیل در پیری بذر انجام شده است، ولی هنوز درک دقیقی از دلایل وقوع پیر بذر وجود ندارد (McDonald. 1999). تیمار پیری تسریع شده باعث افزایش تنفس، هدایت الکتریکی و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بذر *Dipterux alata* می شود که در نتیجه این تغییرات فیزیولوژیکی، شاخص سرعت جوانه زنی نیز کاهش می یابد (Silva et al., 2020). نتایج بررسی اثر تیمار پیری تسریع شده بر کیفیت جوانه زنی بذر گیاه *Dendrocalamus sikkimensis* نشان داد که این تیمار باعث کاهش فعالیت آنزیم های آلفا و بتا آمیلاز بذر شده و در نهایت کیفیت و زندهمانی بذر کاهش یافت (Lakshmi et al., 2021).

امروزه از مدل های ریاضی برای پیش بینی صحیح از جوانه زنی و استقرار استفاده می شود. یکی از این مدل ها که حساسیت جوانه زنی بذرهای به تنش خشکی را تعیین می کند، مدل زمان رطوبتی است (Cheng and Bradford, 1999). مدل زمان رطوبتی یک روش برای توصیف رابطه بین پتانسیل آب و سرعت و درصد جوانه زنی بذر است (Bradford and Still, 2002). پارامترهای مدل زمان رطوبتی می تواند برای تفکیک توده های بذری از نظر قدرت نیز استفاده شود. به این ترتیب که پارامتر ثابت زمان

## مقدمه

داروهای با منشاء گیاهی، به دلیل دارا بودن منشاء ارگانیک و عوارض کمتر در مقایسه با داروهای شیمیایی امروزه مورد توجه ویژه ای قرار گرفته اند (Abdullaev and Espinosa-Aguirre. 2004). گیاه شکر تیغال با نام علمی (*Echinops spp*) یکی از گیاهان دارویی با ارزش است که کمتر شناخته شده و مطالعات کمی در رابطه با این گیاه در دسترس است. شکر تیغال بیشتر به عنوان علف هرز در حاشیه مزارع یا جاده ها رشد می کند. این گیاه متعلق به طایفه Echinopeae، تیره Asteraceae بزرگترین تیره گیاهی است و تاکنون ۱۳۰ گونه از آن در سراسر جهان گزارش شده است (Khadim et al. 2014). از گیاه شکر تیغال برای درمان و تسکین بیماری های ریوی، برطرف کننده سرفه و تنگی نفس استفاده می شود و خواص ضد سرطانی نیز در آن مشاهده شده است (Higashiyama. 2002).

عوامل محیطی مختلفی مانند دما، رطوبت خاک و تور می تواند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر فرایندهای جوانه زنی و رشد گیاه چه اثر گذار باشد. نیازهای جوانه زنی بسیاری از گونه های گیاهی تا امروز ناشناخته باقی مانده است (Tang et al. 2015). جوانه زنی بذر اولین و مهم ترین مرحله نموی در چرخه زندگی گیاهان محسوب می شود که علاوه بر ویژگی های ژنتیکی گیاه، تحت تأثیر عوامل محیطی مانند نور، دمای محیط و پتانسیل آب خاک قرار می گیرد (Chachalis and Reddy, 2000). پتانسیل آب یکی از عوامل مهم محیطی می باشد که بر درصد و سرعت جوانه زنی و استقرار گیاهچه گیاهان تأثیر می گذارد و برای جوانه زنی بذرهای بدون کمون دارای اهمیت زیادی می باشد (Bradfoed and Still. 2002; Larsen et al. 2004). چنانچه بذر در شرایط مطلوبی از نظر رطوبتی قرار داشته باشد، شانس بیشتری برای استقرار موفقیت آمیز و رسیدن به تراکم بوته بهینه خواهد داشت که در نتیجه باعث

افزایش مدت زمان پیری تا ۷۲ ساعت و کاهش پتانسیل آبی تا ۰/۳۶- مگاپاسکال، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و البته کاهش سرعت جوانه‌زنی بیشتر تحت تأثیر پتانسیل آب قرار داشت.

پراکنش جنس *Echinops L.* در بین تمامی جنس‌های تیره *Asteraceae* دارای پراکنش جغرافیایی زیادی در کشور ایران برخوردار است. علارغم خواص دارویی قابل توجه، سازگاری وسیع با اقلیم کشور، همچنان اطلاعات بسیار محدودی درباره این گیاه در دسترس است. تکثیر شکر تیغال با بذر صورت می‌گیرد و بنابراین مطالعه ویژگی‌های بذر این گیاه می‌تواند در افزایش شناخت بیشتر ویژگی‌های این گیاه موثر باشد (Mozafarian, 2006). با توجه به مطالب بیان شده هدف از این مطالعه بررسی مدل‌های غیره خطی و زمان رطوبتی جهت پیش‌بینی تغییرات جوانه‌زنی بذور پیر شده شکر تیغال در پتانسیل‌های مختلف اسمزی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ اجرا گردید. عامل اول شامل سطوح مختلف پیری تسریع شده در پنج سطح صفر، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پیر در رطوبت ۱۰۰٪ و دمای ۴۰ درجه سلسیوس (ISTA, 2017; Hampton and Tekrony, 1995) و عامل دوم پتانسیل‌های اسمزی در هفت سطح (صفر، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال) بود.

بذرهای شکر تیغال مورد استفاده در این مطالعه متعلق به اکوتیپ استان فارس بود که توسط خود محققان از محلی با طول جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی در سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. برای انجام این آزمون، بذرها در ظروف پلاستیکی درب دار قرار داده شده به گونه‌ای که در معرض

رطوبتی معیاری از سرعت جوانه‌زنی است و پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی حاکی از قدرت بذر است که در توده‌هایی با قدرت بذر بالاتر مقادیر منفی تری خواهد داشت (Soltani and Farzaneh, 2014). استفاده از مدل زمان رطوبتی جهت پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر *Slender wheatgrass* و چندین گونه متفاوت در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Schellenberg et al. 2013; Huarte, 2006). با توجه به اینکه مدل زمان-رطوبتی در اکثر موارد از تابع توزیع احتمال در تعیین پتانسیل پایه، ضریب زمان رطوبتی و یکنواختی جمعیت بذری مورد مطالعه استفاده می‌شود، در مطالعه ای، قابلیت سایر توزیع‌های آماری در توصیف این پارامترها را بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که برای تعیین ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر سه علف‌هرز فالاریس، تاج خروس ریشه قرمز و تاج خروس خوابیده پارامترهای برآورد شده با مدل زمان رطوبتی توسعه یافته بر مبنای توزیع ویبول از اطمینان بیشتری نسبت به سایر توزیع‌ها برخوردار بود (Derakhshan et al. 2014). در آزمایشی مسگران و همکاران (Mesgaran et al. 2013) نیز با مقایسه‌ی ۸ تابع توزیع احتمال دریافتند که توزیع پتانسیل آب پایه برای سه گونه از چهار گونه مورد بررسی آنها چوله به راست بوده و توزیع لوگ لجستیک را به عنوان مناسب‌ترین تابع معرفی کردند. وضعیت جوانه‌زنی بذر دو گیاه علفی *Chloris virgata* و *Glycophyte*، با استفاده از مدل زمان رطوبتی (هیدروتایم) به خوبی پیش‌بینی شد (Zhang et al. 2012; Bakhshandeh et al. 2015). در پژوهشی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه گلرنگ رقم صفه تحت تاثیر دما و پتانسیل‌های آب توسط (Ostadian Bidgoli et al. 2017) مشخص شد که در صورتی جوانه‌زنی در محدوده خارج از دمای بهینه و یا منفی تر شدن پتانسیل آبی انجام شود، سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. بخشنده و غلام‌حسینی (Bakhshandeh and Gholamhossieni. 2018) گزارش کردند که با

در پتانسیل های مختلف نیز از مدل های غیره خطی سیگموئید (رابطه ۳)، گامپرتز (رابطه ۴)، دو تکه ای (رابطه ۵) و ریچارد (رابطه ۶) استفاده شد که روابط مورد استفاده به ترتیب اشاره شده است.

$$Y = a / (1 + (t/x_0)^b) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$Y = a[\exp(-\exp(x_0 - bt))] \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Y = y_0 + b_1 t \quad X > X_0 \quad \text{رابطه ۵}$$

$$Y = (y_0 + b_1 t) + b_2 (t - x_0) \quad X < X_0$$

$$Y = a[1 - \exp(-b(t - x_0))] / (1 - v) \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه  $Y$  مقدار پارامتر،  $a$  حداکثر مقدار پارامتر (درصد)،  $x_0$  پتانسیل رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر پارامتر (مگاپاسکال)،  $t$  پتانسیل امسزی (مگاپاسکال)،  $b$ : شیب منحنی و  $v$  ضریب می باشد.

برازش مدل زمان رطوبتی بر داده های بدست آمده از این آزمایش که حساسیت جوانه زنی بذر به پتانسیل امسزی را تعیین می کند، بر اساس مدل (Gummerson, 1986) که توسط و (Bradford and Somasco, 1994) گسترش پیدا کرد با استفاده از رابطه ۷، صورت گرفت.

$$\theta H = (\psi - \psi b(g)) \times tg \quad \text{رابطه ۷}$$

$\theta H$ : ثابت زمان رطوبتی بر حسب مگاپاسکال ساعت،  $\psi$ : پتانسیل آب بر حسب مگاپاسکال،  $\psi b(g)$ : پتانسیل آب پایه برای صدک  $g$  جوانه زنی بر حسب مگاپاسکال و  $tg$ : زمان جوانه زنی  $g$  درصد از بذور بر حسب ساعت را نشان می دهند. با بازنویسی رابطه فوق رابطه ۸ به دست می آید:

$$\psi b(g) = \psi - \frac{\theta H}{tg} \quad \text{رابطه ۸}$$

بر اساس مدل زمان رطوبتی رابطه، در یک جمعیت

برخورد با آب نباشند. رطوبت درون ظرف ها تا حد اشباع بالا رفته و به منظور جلوگیری از هدر رفت رطوبت، ظروف با پارافیم، بسته شد. محلول های اسمزی مورد استفاده در این پژوهش بر اساس رابطه ی میچل (Michel, 1983) محاسبه و با استفاده از پلی اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ ساخت شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

برای آزمون جوانه زنی نیز ابتدا پتری های ۱۰ سانتی متری، در اتو کلاو با دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲ اتمسفر به مدت ۳ ساعت قرار داده تا استریل شوند (Demir Kaya, 2006). قبل از اجرای آزمایش، ابتدا بذور را از هر گونه گرد و غبار و ناخالصی پاک نموده، به مدت ۳ دقیقه با هیپوکلریت سدیم ضد عفونی شده و سپس در هر پتری بسته به نوع تیمار، مقدار ۵ میلی لیتر از محلول های آزمایش ریخته و به ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سلسیوس منطبق با دستورالعمل ایستا (۲۰۱۷) منتقل شد. برای به حداقل رساندن خطای تبخیر، پتری ها را با پلاستیک کاملاً بسته و شمارش بذرها ی جوانه زده در روز دو بار (هر ۱۲ ساعت) صورت گرفت. معیار جوانه زنی بذرها، خروج ریشه چه به اندازه ۲ میلی متر یا بیشتر در نظر گرفته شد (Soltani et al. 2008). در این مطالعه در پتانسیل های ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال جوانه زنی صورت نگرفته و به همین خاطر ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال از آنالیز حذف شدند. درصد جوانه زنی بذرها پس از ثابت شدن تعداد بذرها ی جوانه زده در دو شمارش متوالی و پس از گذشت هفت روز از شروع آزمایش، بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$\text{رابطه ۱} \quad (GP) = \frac{\sum ni}{N} \times 100$$

سرعت جوانه زنی بذرها نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه خواهد شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$\text{رابطه ۲} \quad GR = \sum \left( \frac{n1}{t1} + \frac{n2}{t2} + \frac{ni}{ti} \right)$$

برای بررسی روند تغییرات درصد و سرعت جوانه زنی

است و به توزیع نرمال نزدیک می‌باشد. زمانی که پارامتر شکل کوچکتر یا بزرگتر از این مقادیر باشد، توزیع ویبول به ترتیب چوله به راست یا چپ خواهد بود. توزیع گامبل را نیز می‌توان به شرح زیر در مدل زمان رطوبتی به کار برد (Mesgaran et al. 2013).

$$\psi b(g) = \mu - \sigma \left( \ln \left( \ln \left( \frac{1}{g} \right) \right) \right) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$g = \exp - \left( \exp \left( - \left( \frac{\psi - (\theta_H / t_g) - \mu}{\sigma} \right) \right) \right) \quad \text{رابطه ۱۴}$$

برای ارزیابی برازش مدل‌ها از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) شاخص آکاییک تصحیح شده (AICc)، معیار اطلاعات بیسین (BIC) برای انتخاب بهترین تابع توزیع مورد استفاده قرار گرفت که روابط آنها (۱۵) تا (۱۷) در ادامه بیان شد (Burnham and Anderson, 2002).

$$AICc = n \cdot \ln \left( \frac{RSS}{n} \right) + 2K + \left( \frac{2K(K+1)}{n-K-1} \right) \quad \text{رابطه ۱۵}$$

که RSS، جمع مربعات باقی مانده؛ n، تعداد نمونه و K، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می‌باشد.

$$BIC = -2 \log L_i + p_i \log n \quad \text{رابطه ۱۶}$$

که در آن  $L_i$  و  $P_i$  احتمال و تعداد پارامترها برای هر مدل، و n تعداد مشاهدات است.

$$RMSE = 1 - \sqrt{\frac{SS_{residual}}{n-p-1}} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

با توجه به اینکه جوانه‌زنی بذر در دو پتانسیل ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال صفر بود و به منظور پیشگیری از تکرار تیمارهای با مقدار صفر، این سطوح در تجزیه واریانس وارد نشدند و بنابراین درجه آزادی در جدول بر این اساس محاسبه شده است (جدول ۱). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۱۹ انجام شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و سیگما پلات نسخه ۱۴، مدل‌های مورد نظر بر

بذری سرعت جوانه‌زنی (1/tg) برای صدک‌های مختلف جوانه‌زنی (g) با پتانسیل آب ( $\psi$ ) رابطه خطی دارد که در این رابطه شیب خط برابر معکوس ضریب زمان رطوبتی و عرض از مبدأ خط برابر منفی نسبت پتانسیل پایه بر ضریب زمان رطوبتی می‌باشد. با فرض نرمال بودن توزیع مقادیر پتانسیل پایه در جمعیت بذر، رابطه ۹ رای می‌توان بدست آورد.

$$probit(g) = \frac{\psi b(g) - \psi b(50)}{\sigma \psi b} \quad \text{رابطه ۹}$$

Probit (g): یا همان واحد احتمال، معکوس رابطه توزیع نرمال استاندارد است که در واقع از روی فراوانی جمعی یک عامل (در اینجا نسبت جوانه‌زنی جمعی (g)) در یک جمعیت با توزیع نرمال، مقدار Z را برای توزیع نرمال استاندارد برآورد می‌کند. با جایگزینی رابطه ۸ در داخل رابطه ۹، رابطه ۱۰ بدست می‌آید:

$$probit = \frac{\left\{ \psi - \frac{\theta_H}{t_g} \right\} - \psi b(50)}{\sigma \psi b} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

رابطه این رابطه به‌عنوان رابطه رابطه کلیدی و کاربردی برای تخمین پارامترهای زمان رطوبتی محسوب می‌شود که با داشتن مقدار پتانسیل آب ( $\psi$ )، زمان جوانه‌زنی (tg) برای هر صدک و درصد جمعی جوانه‌زنی در زمان t به راحتی قابل برآورد است (Bradford and Still, 2004). در توزیع ویبول، توزیع جمعی معکوس برای پیش‌بینی  $\psi b(g)$  (رابطه ۱۱) و تابع توزیع جمعی برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی g (رابطه ۱۲) به شرح زیر است (Watt et al. 2010).

$$\psi b(g) = \mu + \sigma (-\ln(1-g))^{1/\lambda} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$g = 1 - \left( \exp \left( - \left( \frac{\psi - (\theta_H / t_g) - \mu}{\sigma} \right)^\lambda \right) \right) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که  $\mu$ ،  $\sigma$  و g به ترتیب پارامترهای مکان، مقیاس و کسر جوانه‌زنی هستند.  $\lambda$ ، پارامتر شکل است، چنانچه مقدار  $\lambda$  بین ۲/۶ تا ۳/۷ باشد، توزیع ویبول تقریباً متقارن

روی داده های جوانه زنی برآزش داده شد. در نهایت پارامترهای بدست آمده از مدل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمودارها با استفاده از سیگما پلات رسم گردید.

سرعت جوانه زنی کاهش پیدا می کند. با توجه به مدل های برآزش شده مشخص شد، در بذره های پیر نشده و بذره های قرار گرفته در شرایط پیری تسریع شده به مدت ۲۴ ساعت، مدل گامپرتز ( $R^2= 0.999$  and  $RMSE= 1.54- 2.24$ ) مناسب تر از دو مدل دیگر بوده، ولی در شدت های شدید پیری تسریع شده (۷۲ و ۹۶ ساعت)، مدل های سیگموئیدی ( $R^2= 0.999$  and  $RMSE= 0.674- 1.405$ ) بهتر عمل کرده است. همچنین مشخص شد در تمام سطوح پیری مدل گامپرتز مدل مناسب برای پیش بینی تغییرات سرعت جوانه زنی می باشد (شکل ۱ و ۲).

## نتایج و بحث

نتایج این مطالعه نشان داد، درصد و سرعت جوانه زنی شکر تیغال تحت تأثیر پیری، پتانسیل اسمزی و اثر متقابل آن ها قرار گرفتند (جدول ۱). با توجه به روند تغییرات درصد و سرعت جوانه زنی در پتانسیل های مختلف مشخص شد که با منفی تر شدن پتانسیل اسمزی درصد و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه زنی بذور پیری شده شکر تیغال در پتانسیل های اسمزی مختلف.

Table 1- Analysis of variance of germination percentage and germination rate of aged seeds of *Echinops spp* under different osmotic potentials

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square	
		درصد جوانه زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی Germination rate
زوال Aging (A)	4	184.32**	0.19**
پتانسیل اسمزی Osmotic potential (W)	4	25188.59**	1.15**
W x A	16	71.92**	0.04**
خطا Error	50	31.36	0.0042
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.82	12.89

\*\* significant at 0.01% level

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

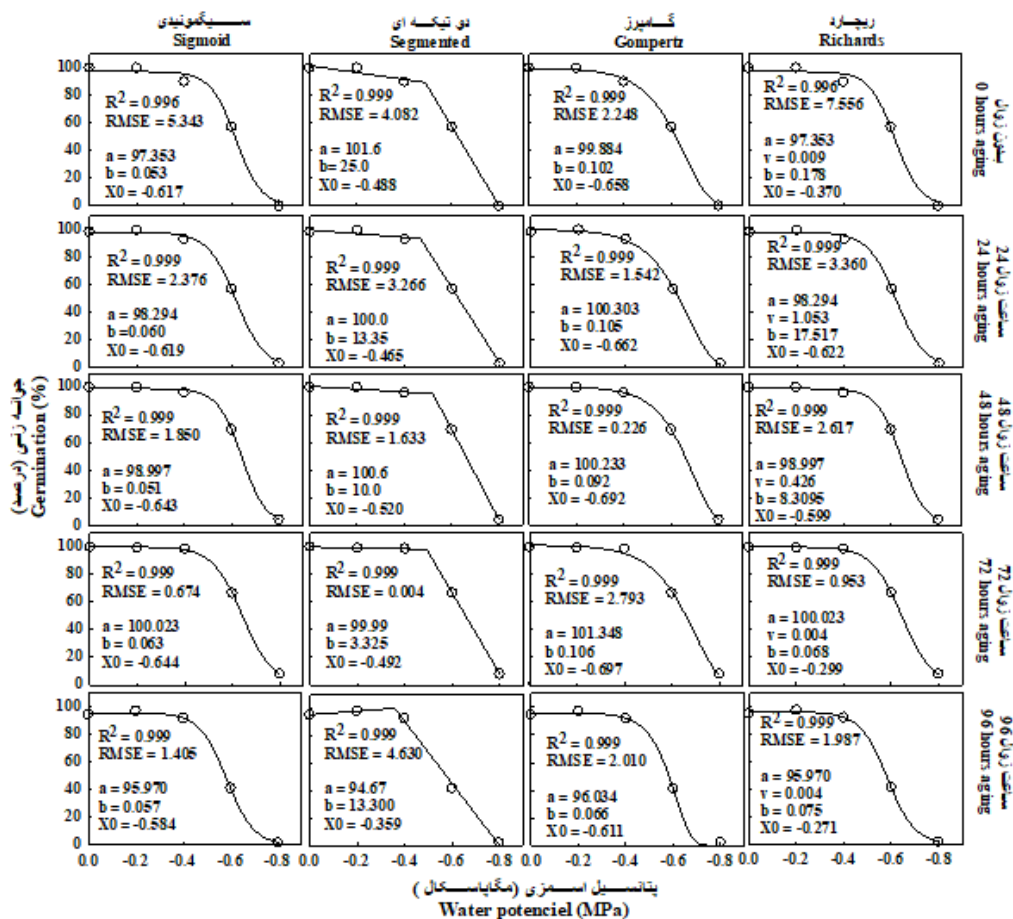
و بعد از این مقدار روند کاهشی بود (شکل ۱). بررسی تغییرات صفت سرعت جوانه زنی نیز نشان داد، در بذره های پیر نشده، سرعت جوانه زنی در حدود ۰/۱۰۳ جوانه در ساعت بوده که در پتانسیل اسمزی ۰/۵۴۹- مگاپاسکال به ۵۰ درصد مقدار اولیه خود رسید. همچنین مشخص شد که در برخی از سطوح پیری، سرعت جوانه زنی افزایش یافت. به طوری که تا ۷۲ ساعت پیری سرعت جوانه زنی بیشتر از بذره های پیر نشده بود ولی در ۹۶ ساعت پیری تسریع شده،

طبق پارامترهای مدل، در بذور پیری نشده، بالاترین درصد جوانه زنی در حدود ۹۹/۸ درصد تخمین زده شد که با منفی تر شدن پتانسیل اسمزی با شیب ۰/۱۰۲ تغییر یافته و در پتانسیل اسمزی ۰/۶۵۸- مگاپاسکال به ۵۰ درصد مقدار اولیه خود می رسد. همچنین مشاهده شد در تیمار پیری تسریع شده به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت درصد جوانه زنی ۱۰٪ مشاهده شد. با افزایش مدت زمان پیری، پارامتر  $X_0$  روند افزایشی داشته و به ۰/۶۹۷- مگاپاسکال در ۷۲ ساعت رسید

پیش‌بینی نمایند. همچنین این مدل‌ها توانستند جوانه‌زنی کنجد در تنش‌های فلزات سنگین را به‌خوبی پیش‌بینی نمایند (Parmoon *et al.* 2020). همچنین طبق نتایج مشخص شد که در سطوح پایین پیری، جوانه‌زنی شکر تیغال بهبود یافته و با شدت یافتن پیری تا ۹۶ ساعت افت و کاهش جوانه‌زنی در این گیاه مشاهده شد. پیری بذر باعث می‌شود تا بسیاری از آنزیم‌ها و فرایندهای متابولیکی دیگر کیفیت و سرعت اولیه خود را نداشته باشند و در نتیجه، مدت زمان لازم برای تکمیل فرایندهای جوانه‌زنی بذر افزایش قابل توجهی پیدا کند و به دنبال آن سرعت جوانه‌زنی کاهش یابد (Bailly *et al.* 2000).

سرعت جوانه‌زنی کمتر از شاهد بود. تغییرات  $X_0$  که نشان‌دهنده ۵۰ درصد افت سرعت جوانه‌زنی است در اثر تیمار پیری کاهش یافته به طوری که این پارامتر در اثر پیری تسریع شده به مدت ۹۶ ساعت با تغییر ۳۰ درصدی به  $0/388$  - مگاپاسکال کاهش یافت (شکل ۲).

پرمون و همکاران (Parmoon *et al.* 2019) نیز از مدل‌های غیره خطی جهت بررسی روند تغییرات جوانه‌زنی بامیه در سطوح مختلف پیری استفاده کرده‌اند. ایشان گزارش کردند که مدل‌های هیل و گامپرتز اطلاعات خوبی از روند تغییرات جوانه‌زنی این گیاه در اثر پیری بذر در اختیار ما قرار می‌دهند و می‌توانند جوانه‌زنی را بهتر

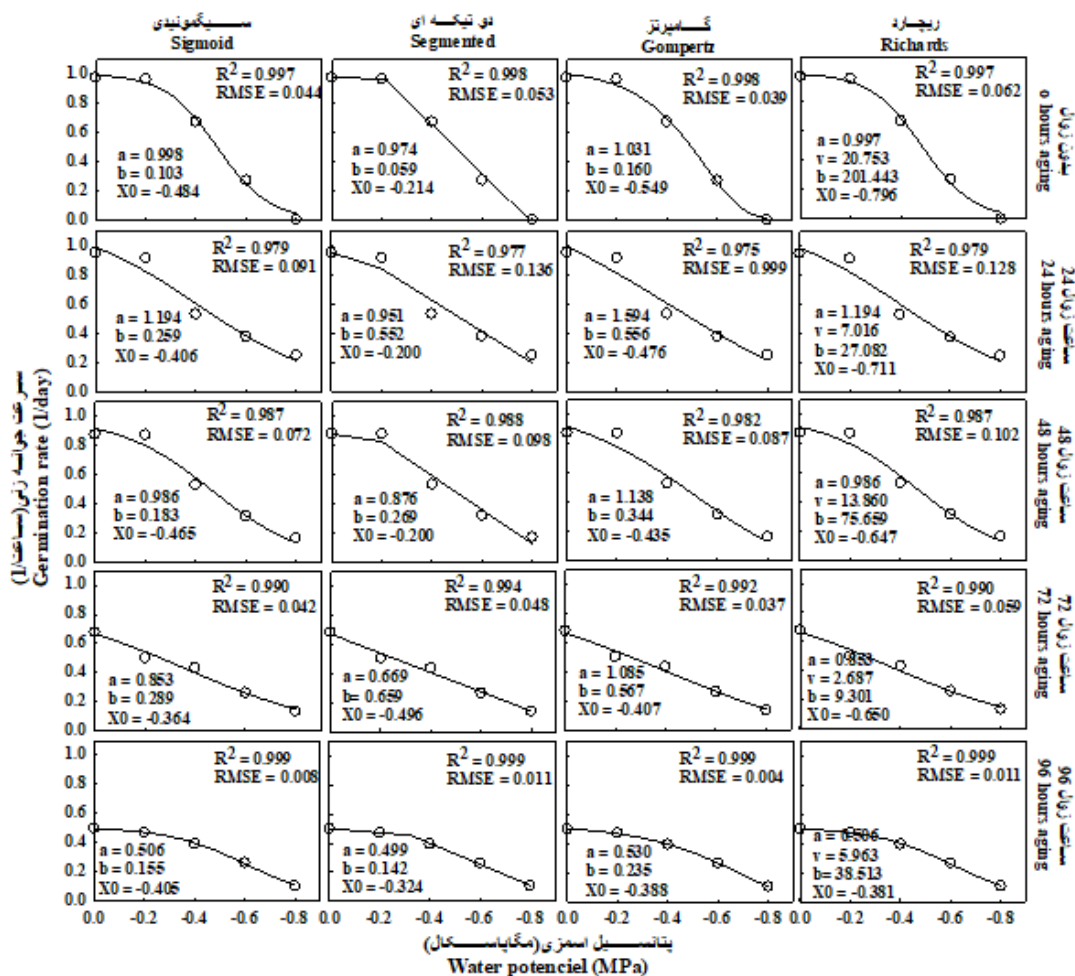


شکل ۱- تخمین تغییرات جوانه‌زنی بذر پیر شده شکر تیغال در پتانسیل‌های مختلف با استفاده از مدل‌های غیر خطی.

نقاط مقدار مشاهده شده، خط‌ها مقدار پیش‌بینی شده، a: بالاترین مقدار مشاهده شده،  $X_0$ : پتانسیل ۵۰٪ مقدار a، b: شیب تغییرات، v: ضریب

Fig. 1- Estimates change germination seed aging of *Echinops* spp under different water potential by nonlinear regression.

Circle point is observation content, liner is predict content, a: highest observed value,  $X_0$ : potential that reaches 50% of value a, b: slope of changes, v: coefficient



شکل ۲- تخمین تغییرات سرعت جوانه زنی بذر پیر شده شکر تیغال در پتانسیل های مختلف با استفاده از رگرسیون غیره خطی.

نقاط مقدار مشاهده شده، خطها مقدار پیش بینی شده، a: بالاترین مقدار مشاهده شده، X<sub>0</sub>: پتانسیل ۵۰٪ مقدار a، b: شیب تغییرات، v: ضریب مدل

Fig. 2- Estimates change germination rate seed aging of *Echinops spp.* under different water potential by nonlinear regression.

Circle point is observation content, liner is predict content. a: highest observed value, X<sub>0</sub>: potential that reaches 50% of value a, b: slope of changes, v: coefficient

(Bazin et al. 2011) مطابقت داشت.

در مطالعه واکنش جوانه زنی بذرهای گیاه سویا تحت شرایط پیری بذر و پتانسیل های مختلف آب، مشخص شد که درصد جوانه زنی با افزایش پیری بذر (صفر تا ۷۲ ساعت) و همچنین کاهش پتانسیل آب (صفر تا ۰/۳۶ - مگاپاسکال) روند کاهشی دارد. البته شرایط تنش (خشکی، دما و پیری) همانطور که بر ویژگی های فیزیولوژیک بذر مؤثر است، می تواند بر ساختار مورفولوژیک و ترکیبات بذر هم مؤثر

همچنین بهبود جوانه زنی در سطوح پیری ۲۴ و ۴۸ ساعت را می توان به این علت دانست که در طبیعت بذرهای تولید شده بخصوص اگر تازه بالغ شده باشند، دارای درجاتی از خواب اولیه در بذرهای خود هستند، در این حالت برای رفع خواب بذر نیاز به پس رسی دارند. در تیمار پیری تسریع شده به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت، بذرهای شکر تیغال نیازهای پس رسی خود را به دست آورده و توانستند بهتر از بذرهای پیری نیافته جوانه بزنند که با نتایج



جوانه‌زنی در اثر پیری می‌باشد (Baladi et al. 2016; Lin et al. 2010). کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به‌ویژه کاتالاز در اثر پیری یکی از علت‌های دیگر کاهش جوانه‌زنی گزارش شده است (Kibinza et al. 2011). نتایج برازش توزیع‌های مختلف جهت تخمین تغییرات جوانه‌زنی در پتانسیل‌های اسمزی با استفاده از مدل زمان رطوبتی نیز مشخص شد، توزیع نرمال توزیع مناسب برای این مدل در تمام سطوح مختلف پیری بود. خطای استاندارد این توزیع برای بذرهای این گیاه از ۰/۰۴۷ تا ۰/۰۶۹، AICc در محدوده ۴۶۸/۸- تا ۳۵۷/۸- و BIC نیز ۴۳۹/۸- تا ۴۳۶/۱- بود (جدول ۲).

باشد (Bakhshandeh and Gholamhossieni. 2018). پیری بذر سبب افزایش سرعت وقوع برخی از واکنش‌های آنزیمی و متابولیکی می‌شود، که تسریع زوال بذر را به دنبال دارد و از این طریق درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Lin et al. 2010). ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی همچون آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و همچنین محتوای قند محلول، وجود شرایط تنش‌ی همچون پیری، خشکی و دما دچار تغییرات معنی‌دار خواهند شد (Shaban. 2016). کاهش مصرف ذخایر بذر و کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده ترکیبات ذخیره‌ی و انتقال مواد به محور جنینی در اثر پیری یکی از علت‌های کاهش درصد و سرعت

جدول ۲- پارامترهای تخمین شده و خواص توزیع بهترین توزیع آماری برای بذر پیر شده شکر تیغال با استفاده از مدل زمان رطوبتی و پلی اتلین گلاکول

Table 2- Parameter estimates, distribution properties and measures of goodness of fit for statistical distributions seed aging of *Echinops* spp used in hydro time modelling by PEG

زوال (ساعت) Aging (h)	توزیع Distribution	ضرب هیدرو تائم (مگا پاسکال / ساعت) Hydrotime Constant (MPah <sup>-1</sup> )	پارامترهای توزیع Distribution parameters			خصوصیات توزیع Distribution properties			AICc	BIC	RMSE
			موقعیت Location ( $\mu$ or d)	مقیاس Scale (r)	شیب Shape (k)	میانگین Mean	میانه Median	مدل Mode			
0	Weibull- ویبول	2.29±1.79	-1.835±0.751	1.22±0.71	26.86±0.01	-0.631±0.02	-0.625±0.01	-1.803±0.64	-218.6	-204.1	0.111
0	Normal- نرمال	6.25±0.24	-0.680±0.004	0.099±0.006	-	-0.680±0.004	-0.680±0.004	-0.680±0.004	-451.5	-439.8	0.050
0	Gumbel- گامبل	6.05±0.24	-0.702±0.006	0.070±0.005	1.00±0.001	-0.661±0.004	-0.676±0.005	-0.702±0.006	-434.4	-419.9	0.053
24	Weibull- ویبول	6.07±0.18	-3.16±4.46	2.51±4.46	24.91±64.4	-0.686±0.004	-0.673±0.004	-3.09±4.47	-451.4	-436.8	0.050
24	Normal- نرمال	7.73±0.23	-0.682±0.004	0.103±0.01	-	-0.682±0.004	-0.682±0.004	-0.682±0.004	-468.8	-457.2	0.047
24	Gumbel- گامبل	7.74±0.23	-0.721±0.005	0.056±0.01	1.00±0.001	-0.641±0.004	-0.689±0.004	-0.721±0.005	-459.4	-444.9	0.048
48	Weibull- ویبول	9.43±0.32	-1.01±0.12	0.34±0.12	3.79±1.65	-0.700±0.004	-0.699±0.005	-0.948±0.11	-418.7	-404.2	0.056
48	Normal- نرمال	9.36±0.29	-0.698±0.005	0.095±0.005	-	-0.698±0.005	-0.698±0.005	-0.698±0.005	-421.5	-409.8	0.056
48	Gumbel- گامبل	9.00±0.31	-0.729±0.007	0.082±0.005	1.00±0.001	-0.682±0.005	-0.699±0.006	-0.729±0.007	-414.4	-399.9	0.057
72	Weibull- ویبول	17.07±0.37	-1.05±0.12	0.34±0.12	2.67±0.5	-0.746±0.007	-0.752±0.007	-0.970±0.05	-369.6	-355.0	0.066
72	Normal- نرمال	17.05±0.36	-0.748±0.007	0.123±0.006	-	-0.748±0.007	-0.748±0.007	-0.748±0.007	-370.2	-358.5	0.066
72	Gumbel- گامبل	17.10±0.42	-0.799±0.008	0.107±0.005	1.00±0.001	-0.737±0.007	-0.759±0.008	-0.799±0.008	-362.6	-348.1	0.068
96	Weibull- ویبول	19.27±0.44	-1.35±0.33	0.667±0.33	5.87±3.32	-0.735±0.008	-0.727±0.008	-1.260±0.33	-356.1	-341.6	0.069
96	Normal- نرمال	19.33±0.43	-0.731±0.007	0.124±0.007	-	-0.731±0.007	-0.731±0.007	-0.731±0.007	-357.8	-346.1	0.069
96	Gumbel- گامبل	19.55±0.43	-0.783±0.009	0.110±0.007	1.00±0.001	-0.719±0.008	-0.743±0.008	-0.783±0.009	-347.8	-333.3	0.071

می دهد که در توزیع ویول محدوده پتانسیل پایه جوانه زنی بذرهای این توده نزدیک به همدیگر بوده است، ولی در توزیع گامبل این محدوده پتانسیل پایه جوانه زنی وسیع تر بود. همچنین مشخص شد که پیری موجب افزایش محدوده پتانسیل پایه جوانه زنی به همراه کاهش تفاوت توزیع ها در این مورد شده است (شکل ۳).

در مورد اثرات کاهش پتانسیل آب بر جوانه زنی رشد گیاهیچه و عملکرد گزارش های زیادی وجود دارد، مبنی بر اینکه کاهش پتانسیل آب، درصد جوانه زنی، شاناس استقرار گیاه، سبز شدن یکنواخت، سرعت جوانه زنی و عملکرد را کاهش می دهد (Springer, 2005). از مدل ۴ پارامتر ویول جهت کمی سازی پاسخ جوانه زنی تجمعی به عوامل محیطی و محاسبه سرعت جوانه زنی توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (Derakhshan *et al.*, 2012). همچنین کاهش آستانه تحمل به تنش خشکی در اثر پیری را می توان به کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت و همچنین ایجاد اختلال در سنتز برخی از پروتئین ها در طی فرایند جوانه زنی موجب این امر می شود (Kibinza *et al.*, 2011; Romero-Puertas *et al.*, 2002). پیری در بذرهای یونجه نیز سبب کاهش میزان کارایی سیستم های آنتی اکسیدانی به خصوص فعالیت آنزیم کاتالاز شد (Cakmak *et al.*, 2010).

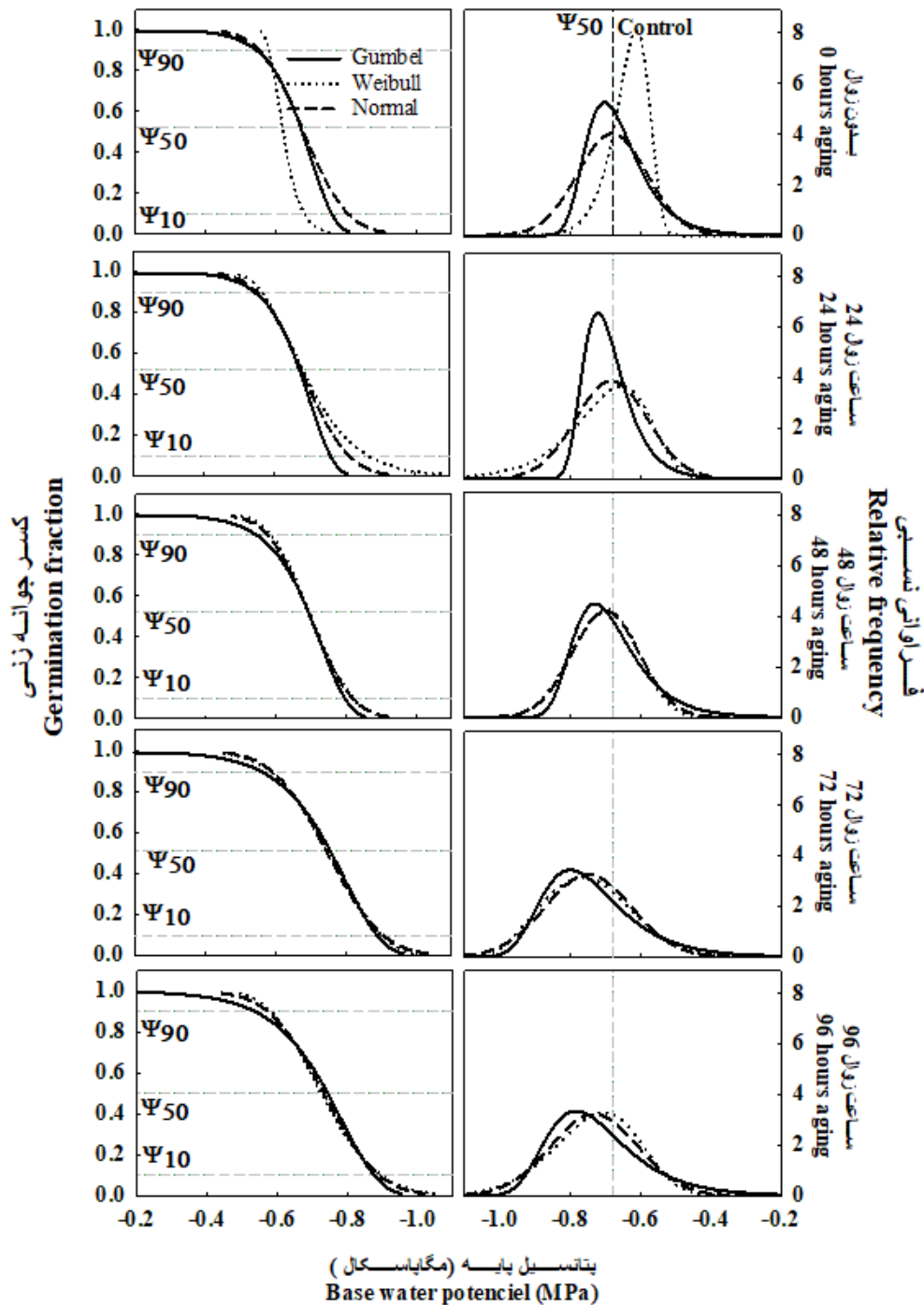
بیشتر مطالعات انجام شده روی جوانه زنی بذر حاکی از اهمیت ویژه دما و رطوبت در کنترل سرعت جوانه زنی است (Cardoso *et al.*, 2013; Bradford, 2002). با افزایش پتانسیل آب یا خارج شدن از محدوده دمای بهینه، جوانه زنی بذرهای گلرنگ دچار کاهش معنی دار سرعت جوانه زنی می شوند (Ostadian bidgoly *et al.*, 2017). یکی از علت های کاهش جوانه زنی در اثر تنش خشکی، محدود شدن آب قابل جذب به دلیل منفی شدن پتانسیل آب محیط است که جذب آن را توسط بذر مشکل می سازد و در نهایت کاهش استقرار گیاهیچه و افت عملکرد را به دنبال دارد

طبق پارامترهای تخمین شده در این مدل مشخص شد که ثابت زمان رطوبتی برای بذرهای پیری نیافته شکر تیغال در حدود ۶/۲۵ مگاپاسکال ساعت بود که در اثر تیمار پیری تسریع شده، مقدار این ضریب افزایش یافته و در تیمار پیری تسریع شده به مدت ۹۶ ساعت به ۱۹/۳۳ مگاپاسکال ساعت رسید. ضریب *Location* که نشان دهنده پتانسیل اسمزی است که درصد جوانه زنی بذرها در آن به ۵۰٪ مقدار حداکثر خود کاهش می یابد و به عنوان شاخص تحمل به تنش نیز تعریف می شود در بذرهای پیری نشده در حدود ۰/۶۸۰- مگاپاسکال بوده که در اثر پیری ۷۲ ساعت کاهش یافته و به ۰/۷۴۸- مگاپاسکال رسید. همچنین مشخص شد که روند تغییرات این پارامتر تا پیری ۷۲ ساعت کاهش ولی در ۹۶ ساعت مجدداً افزایش پیدا کرد (۰/۷۴۸- به ۰/۷۳۱- مگاپاسکال) (جدول ۲).

مدل زمان رطوبتی برای توصیف الگوی جوانه زنی بذرها در ارتباط با پتانسیل آب محیط با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (Bradford, 2002). این مدل توان بالایی برای توصیف و کمی سازی رابطه میان پتانسیل آب و جوانه زنی و سبز شدن دارد (Larsen *et al.*, 2004). نتایج مربوط به پیش بینی کسرهای مختلف جوانه زنی با استفاده از مدل زمان رطوبتی در سه توزیع مورد استفاده نیز مشخص کرد که در بذرهای پیری نشده، بین روند تغییرات اختلاف زیادی بوده و شیب تغییرات مدل پیش بینی در مدل ویول شدیدتر از دو مدل دیگر بوده و توزیع نرمال ملایم تر از بقیه بود. پیری بذر موجب افزایش شیب تغییرات در مدل ویول و نرمال شده و موجب نزدیک تر شدن این توزیع ها به یکدیگر شد به طوری که در ۹۶ ساعت پیری تسریع شده، نمودار پیش بینی این سه مدل بر یکدیگر منطبق شد (شکل ۳). نتایج توزیع فراوانی توده بذر مورد مطالعه بر اساس پتانسیل پایه جوانه زنی نیز مشخص کرد در بذرهای پیر نشده، فراوانی توده بذر در توزیع ویول کشیده تر از دو توزیع دیگر بود این در حالی است که توزیع گامبل کمترین کشیدی را نشان داد. این نشان

جوانه‌زنی بذر کتان کتان روغنی گزارش شده و مشخص شده که کم شدن پتانسیل آب باعث کاهش درصد جوانه‌زنی بذرها شد (Rajabi Khamseh et al. 2015).

(Soltani et al. 2006). اثر متقابل میان دما و رطوبت نیز اهمیت ویژه‌ای در کنترل جوانه‌زنی بذر گیاه برگ نقره‌ای دارد (Wang et al. 2006). نتایج مشابهی روی شاخص‌های



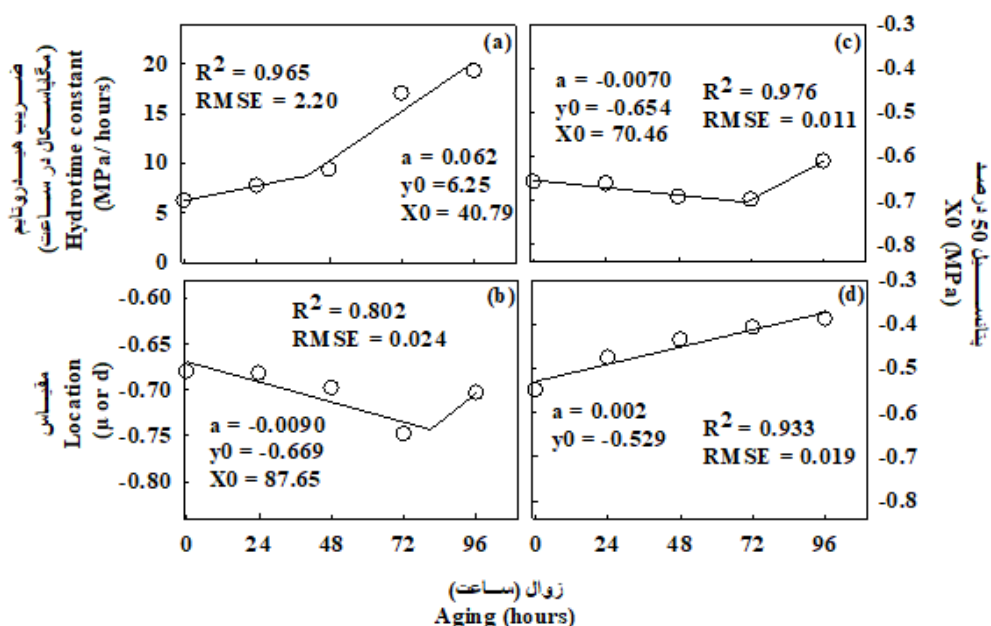
شکل ۳- روابط بین کسر جوانه‌زنی (نمودار سمت چپ) و فراوانی نسبی (نمودار سمت راست) با پتانسیل پایه بذر پیر شده شکر تیغال در توزیع‌های مختلف

Fig. 3- Relation between germination fraction (left plot) and relative frequency (right plot) with base water potencial seed aging of *Echinops* spp in different distributions.

همچنین مشخص شد که پتانسیل پایه جوانه زنی بذرها در اثر پیری ابتدا کاهش می دهد، ولی بعد از ۸۷/۶۵ ساعت پیری مجدداً افزایش پیدا می کند. روند تغییرات  $X_0$  برای درصد و سرعت جوانه زنی نیز نشان داد که تغییرات این پارامتر برای درصد جوانه زنی به صورت دو تیکه ای ولی برای سرعت جوانه زنی به صورت خطی بود. پیری در سطوح ابتدای موجب افزایش این پارامتر شده ولی در پیری های بالاتر از ۷۰/۵ ساعت کاهش این پارامتر را سبب شد. همچنین مشخص شد که شیب تغییرات  $X_0$  مربوط به سرعت جوانه زنی در حدود ۰/۰۰۲ بود که افزایش پیری موجب کاهش این پارامتر شد (شکل ۴).

پس با توجه به کاهش میزان دسترسی به آب در سطوح پایین تر پتانسیل آبی ناشی از پلی اتیلن گلیکول فرآیند جذب آب توسط بذر کندتر شده و بذر مدت زمان بیشتری را برای رسیدن به پتانسیل پایه جهت جوانه زنی صرف می کند و در نهایت نیز هیدرولیز ماده اندوخته بذر کمتر می شود (Patane et al. 2016).

نتایج مدل رگرسیونی تغییرات ضریب زمان رطوبتی در شدت های مختلف پیری نیز نشان داد که مدل دو تکه ای توانست روند تغییرات این ضریب را به خوبی تخمین بزند. مشخص شد که با افزایش مدت زمان پیری ضریب زمان رطوبتی افزایش یافته که در زمان پیری تسریع شده بیشتر از ۴۰/۸ ساعت شیب تغییرات شدیدتر می شود.



شکل ۴- رابطه رگرسیونی بین پارامترهای تخمین شده بهترین مدل و پیری بذور شکر تیغال

a: ضریب هیدروتایم، b: پتانسیل پایه، c: پتانسیل افت ۵۰٪ جوانه زنی و d: پتانسیل افت ۵۰٪ سرعت جوانه زنی

Fig. 4- Relation regression between estimates parameters best model and aging seed of *Echinops* spp. a; hydrotime content; location (b),  $X_0$  for germination (c) and  $X_0$  for germination rate (d).

بذر های پیری شده یا زوال یافته کاهش می یابد (Chen et al. 2007; Kapoor et al. 2010). در بین شاخص های جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و قدرت بذر زودتر از درصد جوانه زنی تحت تأثیر پیری قرار می گیرند

به طور معمول سرعت جوانه زنی به صورت خطی با قابلیت دسترسی به آب، افزایش (Guerke et al. 2004) و با کاهش پتانسیل آب کاهش می یابد (Ansari et al. 2012). بسیاری از محققین گزارش نموده اند که شاخص های جوانه زنی در

جوانه‌زنی شود (Liu et al. 2013).

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش مدت زمان پیری به ۷۲ ساعت و بالاتر، کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی در این گیاه آغاز شد. همچنین مشخص شد که در بدور پیری نشده یا پیری ۲۴ ساعت، درصد و سرعت جوانه‌زنی این گیاه در سطوح مختلف تنش خشکی به صورت گامپرتز ولی در اثر پیری ۹۶ ساعت روند تغییرات به صورت سیگموئیدی خواهد بود. همچنین طبق مدل زمان رطوبتی، تابع توزیع نرمال، مناسب‌ترین توزیع جهت پیش‌بینی روند تغییرات جوانه‌زنی این گیاه در پتانسیل‌های اسمزی مختلف بوده و پتانسیل پایه این گیاه در حدود  $-0.680$  مگاپاسکال برآورد شد که در اثر پیری ۷۲ ساعت افزایش یافت و به  $-0.748$  مگاپاسکال رسید. افزایش مدت زمان تیمار پیری سبب افزایش مقدار ثابت زمان رطوبتی و کاهش آستانه تحمل به تنش در گیاه شکر تیغال شد.

و روند تغییرات آن‌ها نیز سریع‌تر صورت می‌گیرد. روند تغییرات  $X_0$  در مورد درصد و سرعت جوانه‌زنی نیز مؤید این مطلب می‌باشد. پارامتر  $X_0$  که می‌تواند آستانه تحمل به تنش را نیز نشان دهند، در مورد سرعت جوانه‌زنی در اثر پیری به صورت خطی ولی در مورد درصد جوانه‌زنی به صورت دو تیکه‌ای تغییر یافت (شکل ۴). با افزایش در سطوح تنش اسمزی پتانسیل آب منفی‌تر شده و جذب آب توسط بذر مشکل می‌شود و کاهش در جذب آب سبب کاهش در جوانه‌زنی می‌شود. کاهش پتانسیل آب سبب بروز اختلال در جوانه‌زنی بذر اغلب گیاهان شده و منجر به عدم استقرار گیاهچه و کاهش عملکرد می‌شود (Soltani et al, 2006). اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به آرامی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Al-Taisan, 2010). پیری بذر با ایجاد اختلال در پایداری غشایی سلولی می‌تواند علاوه بر ایجاد اختلال در عملکرد سلول در فرایند جذب آب توسط بذر نیز ایجاد اشکال نماید و از این طریق موجب کاهش

### Reference

### منابع

- Al-Taisan, W.A. 2010. Comparative effects of drought and salt stress on germination and seedling growth of *Pennisetum divisum* (Gmel.) Henr. Am. J. Appl. Sci. 7: 640-646.
- Ansari, O., H.R. Choghazardi, F. Sharif Zadeh, and H. Nazarli. 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. Cercetări Agronomice în Moldova. 2(150): 43-48.
- Baalbaki, R. Z., R. A. Zurayk, M. M. Blelk, and S. N. Tahouk. 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. Seed Sci. Technol. 27: 291-302.
- Bailly, C., A. Benamar, F. Corbineau, and D. Come. 2000. Antioxidant systems in sun-flower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Sci. Res. 10: 35-42.
- Bakhshandeh, E., and M. Gholamhossieni. 2018. Quantification of soybean seed germination response to seed deterioration under peg-induced water stress using hydrotim concept. Acta Physiol. Plant. 40(7): 126-131.
- Bakhshandeh, E., S. Atashi, M. Hafeznia, H. Pirdashti, and J.A. Teixeira da Silva. 2015. Hydrothermal time analysis of watermelon (*Citrullus vulgaris* cv. Crimson sweet) seed germination. Acta Physiol. Plant. 37: 1-8.

- Baladi, S., H. Balouchi, A. Moradi, and M. Movahedi Dehnavi. 2016.** The Effect of different temperatures and moisture during storage period on germination indices of *Linum usitatissimum* L. Iranian J. Seed Sci. Technol. 5(1): 107-122. (In Persian)
- Bazin, J., D. Batlla, S. Dussert, H. El-Maarouf-Bouteau, and C. Bailly. 2011.** Role of relative humidity, emperature, and water status in dormancy alleviation of sunflower seeds during dry after-ripening. J Exp. Bot. 62: 627-640.
- Bradfoed, K.J., and D.W. Still. 2002.** Applications of hydrotime analysis in seed testing. J. Seed Technol. 26: 74-85.
- Bradford, K. J., and O.A. Somasco. 1994.** Water relations of lettuce seed thermoinhibition. I. Priming and endosperm effects on base water potential. Seed Sci. Res. 4: 1-10.
- Bradford, K.J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.
- Burnham K.P., and D.R. Anderson. 2002.** Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information Theoretic Approach. Springer, New York, USA.
- Cardoso, V.J.M., and A. Bianconi. 2013.** Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. Acta Sci. 35(2), 255-261.
- Chachalis, D., and K.N. Reddy. 2000.** Factors affecting *Campsis radicans* seed germination and seedling emergence. Weed Sci. 48:212-216.
- Chen, J., Z. Cheng, and S. Zhong. 2007.** Effect of exogenous salicylic acid on growth and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. J. Environ. Sci. 19: 44-49.
- Cheng, Z., and K.J. Bradford. 1999.** Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatment. J. Exp. Bot. 50: 89-99.
- Demir Kaya, M., O. Gamze, M. Atak, Y. Cikili, and O. Kolsarici. 2006.** Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Eur. J. Agron. 24: 291-295.
- Derakhshan A., H. Akbari, and J. Gherekhloo. 2014.** Hydrotime modeling of *Phalaris minor*, *Amaranthus retroflexus* and *A. blitoides* seed germination. Iranian J. Seed Sci. Res. 1(1): 82-95. (In Persian)
- Derakhshan, A., J. Gherekhloo, R.B. Vidal, and R. De Prado. 2012.** Quantitative description of the germination of little seed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. Weed Sci. 62: 250-257.
- Ellis, R. H., and E.H. Roberts, 1981.** The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9: 373-409.
- Guerke, W.R., T. Gutormson, D. Meyer, M. McDonald, D. Mesa, J.C. Robinson, and D. TeKrony. 2004.** Application of hydrotime analysis in seed testing. Seed Technol. 26(1):75- 85.
- Gummerson, R.J. 1986.** The effect of constant temperature and osmotic potentials on the germination of sugar beet. J. Exp. Bot. 37: 729-741.
- Hampton, J. G., D. M. Tekrony. 1995.** Handbook of Vigor Test Methods. The International Seed Testing Asociation, Zurich.
- Higashiyama, T. 2002.** Novel functions and applications of trehalose. IUPAC. 74 :1263-1269.
- Huarte, R. 2006.** Hydrotime analysis of the effect of fluctuating temperatures on seed germination in several non-cultivated species. Seed Sci. Technol. 34: 533-547.
- ISTA. 2017.** International rules for seed testing. International Seed Testing Association, Switzerland.
- Kamkar, B., M. J. Al-Alahmadi, A. Mahdavi-Damghani, and F.J. Villalobos. 2012.** Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. Ind. Crops. Prod. 35(1): 192-198.
- Kapoor, N., A. Arya, M. A. Siddiqui, A. Amir, and H. Kumar. 2010.** Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated aging. Asian J. Plant Sci. 9(3):158-162.
- Khadim, E.J., A.A. Abdulrasool, and Z.J. Awad. 2014.** Phytochemical Investigation of Alkaloids in the Iraqi Echinops heterophyllus. Iraqi. J. Pharm. Sci. 23 (1): 26 - 34.

- Kibinza, S., J. Bazin, C.H. Bailly, J.M. Farrant, F. Corbineau, and H.E. Maarouf-Bouteau. 2011.** Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Sci.* 181: 309-315.
- Larsen, S.U., C. Bailly, D. Côme, and F. Corbineau, 2004.** Use of the hydrothermal time model to analysis interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Sci. Res.* 14:35-50.
- Lakshmi, C.J., C.M. Jijeesh, and K.K. Seethalakshmi. 2021.** Impact of accelerated aging process on seed quality and biochemical changes of *Dendrocalamus sikkimensis* Gamble. *Acta Physiol. Plant.* 43(2):1-9.
- Lehner, A., N. Mamadou, P. Poels, D. Come, C. Bailly, and F. Corbineau. 2008.** Change in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in the embryo during aging in wheat grains. *J. Cereal Sci.* 47: 555-565.
- Lin, R.H., K.Y. Chen, C.L. Chen, J.J. Chen, and J.M. Sung. 2010.** Slow post-hydrat-ion drying improves initial quality but reduces longevity of primed bitter melon seeds. *Sci. Hortic.* 106: 114-124
- Liu, R., T. Lai, Y. Xu, and S. Tian. 2013.** Changes in physiology and quality of Laiyang pear in long time storage. *Sci. Hortic.* 150: 31-36
- McDonald, M.B. 1999.** Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Sci. Technol.* 27: 177-237.
- Mesgaran M.B., H.R. Mashhadi, H. Alizadeh, J. Hunt, and K.R. Young, R.D, Cousens. 2013.** Importance of distribution function selection for hydrothermal time models of seed germination. *Weed Res.* 53(2): 89-101.
- Michel, B.E. 1983.** Evaluation of water potential of solutions polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.* 72: 66- 70.
- Mozaffarian, V. 2006.** A taxonomic survey of *Echinops* L. Tribe Echinopeae (*Asteraceae*) in Iran: 14 new species and diagnostic keys. *Iranian J. Bot.* 11 (2): 197-239.
- Ostadian Bidgoli, R., H.R. Balouchi, E. Soltani, and A. Moradi. 2017.** Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sofeh var. *Iranian J. Seed Sci. Technol.* 6(1): 11-22. (In Persian)
- Parmoon, G., A. Ebadi, S. Janbakhsh, and S.A. Moosavi. 2015.** Effects of seed priming on catalase activity and storage reservoirs of aged milk thistle seeds (*Silybum marianum* (L.) Gaertn). *Tarim Bilimeleri Dergisi-J. Agric. Sci.* 21(3): 363-372.
- Parmoon, G., S.A. Moosavi, and S.A. Siadat. 2019.** Descriptions of okra seed longevity loss behavior using nonlinear regression models. *Advances Hortic. Sci.* 33(3): 301-310.
- Parmoon, G., S. A. Moosavi, A. Poshtdar, and S.A. Siadat. 2020.** Effects of cadmium toxicity on sesame seed germination explained by various nonlinear growth models. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids.* 27: 57-63.
- Patane, C., A. Saita, A. Tubeileh, S.L. Cosentino, and V. Cavallaro. 2016.** Modeling seed germination of unprimed and primed seeds of sweet sorghum under peg-induced water stress through the hydrotime analysis. *Acta Physiol. Plant.* 38(5): 115.
- Rajabi Khamseh, S., A.R. Danesh Shahraki, and M. Ghobadi Nia. 2015.** Effect of drought stress on germination and seedling growth of *Linum usitatissimum* L. The First Int. Conf. and the 4<sup>th</sup> Natl. Conf. Plants Judging Sustainable Agric. Hamedan-Permanent Secretariat of the Conference. (In Persian).
- Romero-Puertas, M.C., J.M. Palma, M. Gomez, L.A. Del Rio, L.M. Sandalio. 2002.** Cadmium causes the oxidative modification of proteins in pea plants. *Plant Cell Environ.* 25: 677-686
- Silva, G.P., J.F. Sales, K.J.T. Nascimento, A.A. Rodrigues, G.N. Camelo, and E.E.D.L. Borges. 2020.** Biochemical and physiological changes in *Dipteryx alata* Vog. seeds during germination and accelerated aging. *S. Afr. J. Bot.* 131: 84-92.
- Schellenberg, M.P., B. Biliget, and Y. Wei. 2013.** Predicting seed germination of slender wheatgrass [*Elymus trachycaulus* (Link) Gould subsp. *trachycaulus*] using thermal and hydro time models. *Can. J. Plant Sci.* 93: 793-798.
- Shaaban, M. 2016.** Effect of aging on enzymatic and non-enzymatic antioxidant changes and biochemical characteristics in barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds cv. Valfajr. *Iranian J. Seed Sci. Res.* 3(3): 79-93. (In Persian)

- Soltani E., and S. Farzaneh. 2014.** Hydrotime analysis for determination of seed vigour in cotton. *Seed Sci. Technol.* 42(2): 260-273.
- Soltani, E., S. Galeshi, B. Kamkar, and F. Akramghaderi. 2008.** Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Sci. Biotechnol.* 2: 32-36.
- Soltani, A, M. Gholipoor, and E. Zeinali. 2006.** Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environ. Exp. Bot.* 55: 195-200.
- Springer, T.L., 2005.** Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Crop Sci.* 45: 2075-2080.
- Stadian Bidgoli, R., H.R. Balouchi, E. Soltani, and A. Moradi. 2017.** Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian J. Seed Sci. Technol.* 6(1):11-22.
- Tang, W., X. Xu, G. Shen, and J. Chen. 2015.** Effect of environmental factors on germination and emergence of aryloxyphenoxy propanoate herbicide-resistant and-susceptible Asia minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Sci.* 63(3): pp.669-675.
- Walters, C. 2007.** Materials used for seed storage containers. *Seed Sci. Res.* 17(04): 233-242.
- Wang, R., Y. Bai, and K. Tanino. 2006.** Seedling emergence of winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (pursh) adj meeuse & smit) in the field and its prediction using the hydrothermal time model. *J. Arid Environ.* 64(1): pp. 37-53.
- Watt M.S., V. Xu, and M. Bloomberg. 2010.** Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential. *Ecol. Model.* 221(9): 1267-1272.
- Zhang, H., L. Irving, Y. Tian, and D. Zhou. 2012.** Influence of salinity and temperature on seed germination rate and the hydrotime model parameters for the halophyte, *Chloris virgata*, and the -glycophyte, *Digitaria sanguinalis*. *South Afr. J. Bot.* 78(1): 203-210.