

مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته گیاه چیا (*Salvia hispanica*) به سطوح مختلف شوری با استفاده از سه مدل

امین حقیقی^۱، یزدان ایزدی^۲، میعاد حاجی محمودی^۱، سید امیر موسوی^{۳*}

چکیده مبسوط

مقدمه: جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه علاوه بر اینکه وابسته به ژنتیک هر گونه است، تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند. از جمله این عوامل می‌توان به تغذیه و ژنتیک گیاه مادری، مرحله رسیدگی بذر در زمان برداشت و همچنین عوامل محیطی همچون دما، شوری، خشکی و وضعیت حاصلخیزی خاک اشاره کرد. بنیه بذر نیز به عنوان اولین جزء از کیفیت بذر تحت تأثیر پیری در طی انبارداری کاهش می‌یابد. هدف از این مطالعه ارزیابی واکنش جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته گیاه چیا در دامنه‌های شوری مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی شامل بذر پیری تسریع یافته در پنج سطح (صفر، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت) و تنش شوری در شش سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار سطوح مختلف پیری تسریع یافته بذر و شوری و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر تمام صفات اندازه‌گیری شده بود. با استفاده از سه تابع سیگموئیدی (لجستیک، گامپرتز و سیگموئید) و دو تابع چندجمله‌ای (درجه ۲ و ۳) و با کمک معیارهای سنجش مدل نظیر ضریب دقت اندازه‌گیری، ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص آیکائیک تصحیح شده الگوی مناسب جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته این گیاه در پاسخ به سطوح مختلف شوری تعیین گردید. نتایج نشان داد که در سطوح مختلف زوال توانایی مدل‌ها در توصیف پاسخ بذر چیا به سطوح شوری متفاوت بود. به گونه‌ای که در شرایط بدون زوال و تیمار ۷۲ ساعت پیری تسریع یافته بذر مدل سیگموئید و در سایر سطوح تیمار پیری بذر، مدل گامپرتز بهترین برازش را در توصیف جوانه‌زنی نهایی داشتند. بر اساس مدل سیگموئید کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی در سطوح پیری صفر و ۷۲ ساعت به ترتیب در غلظت‌های ۱۷۱/۱ و ۷۶/۹ میلی‌مولار و بر اساس مدل گامپرتز کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی در سطوح پیری ۲۴ و ۴۸ ساعت به ترتیب در غلظت‌های ۱۶۳/۸ و ۱۲۹/۶ میلی‌مولار حاصل شد. نتایج حاصل از برازش مدل‌های پلی‌نومینال نیز نشان داد که مدل کیوبیک توصیف مناسب‌تری برای صفات مورد مطالعه همچون بنیه بذر ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری: جوانه‌زنی بذر گیاه چیا نسبت به تنش شوری و پیری تسریع یافته بذر حساسیت نشان می‌دهد. در شرایط عدم اعمال تیمار زوال، بذرهای چیا تا غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار مقاومت نشان داده و قادر به جوانه‌زنی بودند؛ اما با افزایش سطح زوال، میزان جوانه‌زنی در تمام سطوح تنش شوری به تدریج کاهش یافت به گونه‌ای که در تیمار ۹۶ ساعت پیری، جوانه‌زنی گیاه در سطوح بالاتر از ۱۵۰ میلی‌مولار متوقف گردید.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، پیری تسریع‌شده، تنش اسمزی، مدل‌های غیر خطی

جنبه‌های نوآوری:

۱- بهترین مدل غیر خطی در پاسخ جوانه‌زنی گیاه چیا به سطوح مختلف پیری تسریع یافته بذر و شوری با کمک معیارهای سنجش مدل برآورد گردید.

۲- آستانه تحمل جوانه‌زنی بذر گیاه چیا به تنش شوری برای بذر زوال یافته و بدون زوال تعیین شد.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.2.11.0>

DOI: 10.29252/yuj.s.7.2.171



CrossMark

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
^۲ دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
^۳ استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

* رایانامه نویسنده مسئول: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

مقدمه

از عوامل مهم و تأثیرگذار بر جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان، تنش شوری (حاجیوند قاسم‌آبادی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸) و همچنین پیری تسریع یافته بذر (پوری^۲ و همکاران، ۲۰۱۲) می‌باشد که می‌توانند فرآیندهای فیزیولوژیکی مهمی را در گیاهان تحت تأثیر قرار دهد (کوکیرا و تونیر^۳، ۱۹۷۳). مشخص گردیده است که درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری می‌تواند به عنوان یک معیار ارزشمند برای طبقه‌بندی میزان مقاومت جمعیت‌های گیاهی به این نوع تنش محیطی استفاده شود (المنصوری^۴ و همکاران، ۲۰۰۱).

همچنین زوال تسریع یافته بذر نوعی تنش فیزیولوژیکی است که در شرایط دما و رطوبت نسبی بالا در بذر رخ می‌دهد (برادفورد^۵، ۱۹۷۶). میزان پیری تسریع یافته بذر در بین جمعیت‌های متفاوت بذری یکسان نمی‌باشد (کیبینزا^۶ و همکاران، ۲۰۰۶). بنیه بذر پس از رسیدگی در حداکثر مقدار خود قرار دارد، اما بطور حتم پس از ریزش از روی گیاه مادری و در داخل بانک بذر خاک در همین وضعیت باقی نمی‌ماند و زوال پیدا می‌کند. مطالعات مختلفی در مورد اثر پیری تسریع یافته بذر بر جوانه‌زنی و سبز شدن تحت تنش‌های محیطی صورت گرفته است (محسن‌نسب^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). محققان اظهار داشتند که قدرت بذر اولین جزء از کیفیت بذر است که با پیری تسریع یافته بذر کاهش می‌یابد و به دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی و قوه‌نامیه نیز کاهش می‌یابد (باسرا^۸ و همکاران، ۲۰۰۳). خواجه حسینی^۹ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که قدرت جوانه‌زنی بذر سویا در شرایط شور پس از پیری کاهش یافت، اگرچه اثر متقابل شوری و پیری معنی‌دار نبود. در گزارش‌های مشابه اثرات متقابل بین شوری و پیری در

گندم (دل‌آکیلا و دی‌توری^{۱۰}، ۱۹۹۶) و اقاچیا (رحمان^{۱۱} و همکاران، ۱۹۹۹) وجود نداشت. هرچند گزارش شده است که در پیری طبیعی و مصنوعی کاهش معنی‌داری در جوانه‌زنی بذرهای یونجه در شرایط شور دیده می‌شود (خواجه‌حسینی و همکاران، ۲۰۰۳).

یکی از کاربردهای مدل‌های غیر خطی در شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی در طیف وسیعی از شرایط محیطی می‌باشد (جیم و کاتفورث^{۱۲}، ۲۰۰۴). بررسی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها نسبت به تنش‌های غیر زنده از جمله تنش شوری و پیری تسریع یافته بذر در جهت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن، ایجاد شرایط انبارداری مناسب، گزینش گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به شوری‌های بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، مفید است. در همین راستا محققان در مطالعات خود روی بذرهای بامیه گزارش دادند که مدل‌های غیر خطی سیگموئیدی در طی جوانه‌زنی در توصیف و پیش‌بینی میزان خسارت بذرها در طی انبارداری مفید واقع شدند (پرمون^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از گیاهانی که در کشور کمتر به آن توجه شده گیاه چیا می‌باشد (هادیان^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹). چیا با نام علمی *Salvia hispanica* L. و نام انگلیسی Chia گیاهی یکساله از سرده مریم‌گلی و خانواده نعناعیان^{۱۵} می‌باشد. این گیاه بومی آمریکای مرکزی (جنوب مکزیک و گواتمالا) است (سیدی^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۹). دانه‌های آن دارای سطح بالای پروتئین، آنتی-اکسیدان، فیبر غذایی، ویتامین‌ها، مواد معدنی و همچنین روغن آن حاوی بیشترین مقدار اسید لینولنیک و اسید الفالینولنیک یا امگا ۳ است. در سال ۲۰۰۹ اتحادیه اروپا دانه‌های این گیاه را به عنوان یک غذای تازه تأیید کرد و اجازه داد که تا پنج درصد کل ماده نان تولیدی از این

¹ Hajivand Ghasemabadi

² Poori

³ Kucera and Turner

⁴ Almansouri

⁵ Bradford

⁶ Kibinza

⁷ Mohssen nasab

⁸ Basra

⁹ Khajeh-Hosseini

¹⁰ Dell Aquila and Di Turi

¹¹ Rehman

¹² Jame and Cutforth

¹³ Parmoon

¹⁴ Hadian

¹⁵ Lamiaceae

¹⁶ Seyedi

گیاه تأمین شود (گویتو^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ اگلیسیاس-اگلیسیاس-پویگ و هاروس^۲، ۲۰۱۳). امروزه کاربرد دانه‌های چیا در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و خوراک دام پتانسیل عظیمی را ایجاد نموده است (اسچیر^۳، ۲۰۱۱). کشت، تولید و مصرف چنین گیاهانی در کشور می‌تواند ضمن ایجاد اشتغال در بخش کشاورزی و فرآوری، به حفظ سلامت جامعه کمک نماید. در کشور ما تاکنون تولید تجاری این گیاه انجام نشده و اطلاعات کمی در مورد پاسخ‌های فنولوژیک و فیزیولوژیک این گیاه به شرایط مختلف از جمله تنش‌های غیر زنده وجود دارد (هادیان و همکاران، ۲۰۱۹). حال با توجه به اهمیت این گیاه، این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات جوانه‌زنی گیاه چیا در پاسخ به شرایط پیری تسریع یافته بذر و تنش شوری و معرفی بهترین مدل رگرسیون غیرخطی با استفاده از شاخص‌های سنجش مدل به منظور شناخت بهتر از الگوی جوانه‌زنی و سبز شدن این گیاه انجام پذیرفت.

رابطه ۱: $MC = (m_2 - m_3 / m_2 - m_1) \times 100$

که در آن m_1 : وزن پتری خالی، m_2 : وزن پتری‌ها با بذر و m_3 : وزن پتری حاوی بذر بعد از خشک کردن، است. درصد رطوبت اولیه بذر ۸ درصد تعیین گردید.

روش آزمون پیری تسریع شده بر اساس روش پیشنهادی ایستا ((ایستا، ۲۰۱۲)، در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد انجام شد (دلوجه و باسکین^۴، ۱۹۷۳). ظروف استفاده شده در تیمار پیری تسریع شده دارای ابعاد (۱۰ × ۱۵ × ۲۰ سانتی‌متر) بودند که توسط ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر از نظر رطوبت نسبی اشباع کامل گردید. بذرهای به‌گونه‌ای در ظروف مخصوص قرار داده شده که در معرض برخورد با آب نباشند (ایستا، ۲۰۱۲). مدت زمان آزمون پیری تسریع‌شده به ترتیب صفر، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بود (عیسوند و فرج‌الهی^۵، ۲۰۱۷) که پس از خاتمه مدت فوق بذرهای جهت انجام آزمون جوانه‌زنی در شرایط اعمال تنش شوری با کلرید سدیم، به ژرمیناتور منتقل گردید. قبل از شروع آزمایش پتری‌ها و بستر (کاغذ صافی واتمن) در اتو کلاو در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت ضدعفونی شدند. سپس برای کشت بذرهای، به هر یک از ظروف پتری ۵ میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم مورد نظر (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر با به کارگیری دو فاکتور شامل تنش شوری و پیری تسریع یافته بذر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در ابتدا جوانه‌زنی بذرهای گیاه چیا (تهیه شده از شرکت ا.آ.ب OAB) بررسی شده تا میزان تحمل آن‌ها در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، نسبت به تنش شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار با استفاده از کلرید سدیم) و پیری تسریع یافته بذر (صفر، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت) مورد ارزیابی قرار گیرد. بذرهای تهیه شده قبل از شروع آزمایش به منظور ارزیابی قوه نامیه با انجام آزمون جوانه‌زنی استاندارد بر اساس ایستا^۴ (۲۰۱۲) سنجش و مشخص شد که قوه‌نامیه آن‌ها ۱۰۰ درصد بود.

¹ Guiotto

² Iglesias-Puig and Haros

³ Scheer

⁴ ISTA

⁵ Copeland and McDonald

⁶ Delouche and Baskin

⁷ Eisvand and Farajollahi

۳- سرعت جوانه‌زنی (GR) با استفاده از رابطه ۴ تعیین گردید (قاسمی‌گلعدانی^۵ و همکاران، ۲۰۰۷):

$$\text{GR} = \frac{1}{\text{MGT}} \quad \text{رابطه ۴:}$$

۴- متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG) که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه است از رابطه ۵ محاسبه شد (اسکات^۶ و همکاران، ۱۹۸۴):

$$\text{MDG} = \frac{\text{FGP}}{d} \quad \text{رابطه ۵:}$$

در این رابطه FGP درصد جوانه‌زنی نهایی (قوه نامیه) و d تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دوره آزمایش) است.

۵- ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) که مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذر است که از رابطه ۶ محاسبه شد (مگوایر^۷، ۱۹۶۲):

$$\text{CVG} = \frac{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n}{(1 \times G_1) + (2 \times G_2) + (3 \times G_3) + \dots + (n \times G_n)} \quad \text{رابطه ۶:}$$

آخر را نشان می‌دهد.

۶- شاخص سرعت جوانه‌زنی (GRI) طبق فرمول ۷ محاسبه شد (ایسچی^۸، ۱۹۹۴):

$$\text{GRI} = \frac{G_1}{1} + \dots + \frac{G_n}{n} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که G_1 ، G_2 و G_n به ترتیب تعداد بذره‌های جوانه‌زده در روز اول، دوم و روز n ام هستند.

۷- شاخص جوانه‌زنی (GI) نیز بر اساس رابطه ۸ محاسبه گردید (آلیس و روبرت^۹، ۱۹۸۱):

$$\text{GI} = (10 \times n_1) + (9 \times n_2) + \dots + (1 \times n_{10}) \quad \text{رابطه ۸:}$$

n_i = آخرین روزی که تمام بذرها جوانه زدند و gn = تعداد بذره‌های جوانه زده در همان روز است.

۸- شاخص بنیه (VI) نیز با استفاده از رابطه ۹ محاسبه شد که در آن VI شاخص بنیه، L_s میانگین طول ساقچه (میلی‌متر) و P_g درصد جوانه‌زنی کل در پایان آزمایش است (ابدول باکی و اندرسون^{۱۰}، ۱۹۷۳):

$$\text{VI} = \frac{L_s \times P_g}{100} \quad \text{رابطه ۹:}$$

۲۵۰ میلی مولار) و برای تیمار شاهد ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد (ستایش‌مهر و اسماعیل‌زاده بهابادی^۱، ۲۰۱۳).

به منظور تعیین درصد جوانه‌زنی نهایی و بعضی ویژگی‌های مرتبط، بذره‌های جداسازی شده مورد نظر در آزمون جوانه‌زنی استاندارد مطابق با معیارهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر^۲ قرار گرفتند. هر پتری حاوی ۵۰ عدد بذر بود و شمارش بذره‌های جوانه‌زده به صورت روزانه از ۲۴ ساعت پس از کشت، در یک ساعت مشخص تا زمانی که دیگر جوانه‌زنی پس از چند روز متوالی مشاهده نگردید، انجام پذیرفت. ملاک جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه و ساقچه سالم بود و بذره‌های جوانه‌زده از محیط آزمایش حذف گردید (ایستا، ۲۰۱۲). دوره دمایی در ژرمیناتور در هنگام جوانه‌زنی به میزان ۲۰ درجه سلسیوس و دوره نوردهی ۸ ساعت نور در طی روز و ۱۶ ساعت تاریکی تنظیم شد (لئال^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). به منظور ارزیابی صفات جوانه‌زنی برای هر تکرار در هر سطح تیماری از ۳ پتری به عنوان نمونه تخریبی استفاده شد و از هر پتری ۱۵ گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب شده و صفات طول ریشه‌چه و ساقچه آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین این تعداد به عنوان طول ریشه‌چه و ساقچه آن تکرار ذکر گردید (ایستا، ۲۰۱۲). اندازه‌گیری برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی مرتبط با بنیه بذر و گیاهچه:

۱- درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP) از تعداد بذره‌های جوانه‌زده تقسیم بر تعداد بذره‌های کشت شده و ضربدر ۱۰۰ محاسبه گردید.

۲- متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MGT) که شاخصی از سرعت و درصد جوانه‌زنی است، از رابطه ۱ محاسبه گردید (متیوس و خواجه‌حسینی^۴، ۲۰۰۶):

$$\text{MGT} = \frac{\sum(nd)}{\sum n} \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در این رابطه: n = تعداد بذره‌های جوانه‌زده در طی d = تعداد روزها از ابتدای جوانه‌زنی و $\sum n$ = تعداد کل بذره‌های جوانه زده است.

⁵ Ghasemi Golazani

⁶ Scott

⁷ Maguire

⁸ Esehie

⁹ Ellis and Roberts

¹⁰ Abdul-Baki and Anderson

¹ Setayesh Mehr and Esmaeilzadeh Bahabadi

² ISTA: International Seed Testing Association

³ Leal

⁴ Matthews and Khajeh-Hosseini

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Pt - Ot)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$R^2_{\text{Adj}} = 1 - \frac{\sum (Ot - Pt)^2}{(Ot - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

که در این دو رابطه O_t و P_t به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و \bar{O} میانگین مشاهدات می‌باشد. RMSE کمتر به معنی برآزش مناسب‌تر مدل بوده و R^2_{Adj} توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل را ارائه می‌کند که عدد نزدیک‌تر به یک نیز نشان‌گر برآزش بهتر مدل به داده‌ها می‌باشد. همچنین برای انتخاب بهترین مدل از شاخص آیکائیک تصحیح‌شده (در آزمایش‌هایی که تعداد نقاط یا نمونه‌ها n) کم است از شاخص AICc به جای شاخص AIC استفاده می‌گردد) نیز استفاده گردید.

$$\text{AICc} = \text{AIC} + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$\text{AIC} = n \times \ln\left(\frac{\text{RSS}}{n}\right) + 2k \quad \text{رابطه ۱۸}$$

که در این دو رابطه k تعداد پارامترهای مدل، n ، تعداد نقاط نمونه‌گیری و RSS مجموع مربعات باقیمانده^۶ می‌باشد. در مقایسه بین مدل‌ها هر کدام که مقدار AICc کمتر یا منفی‌تری داشته باشند به عنوان مدل بهتر معرفی می‌شوند (دهقان^۷ و همکاران، ۲۰۱۳).

محاسبات آماری

قبل از انجام محاسبات آماری آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها با استفاده از آزمون شاپرو-ویلک انجام گرفت که نشان داد کلیه داده‌ها از لحاظ آماری نرمال می‌باشند. تجزیه واریانس داده‌ها بوسیله نرم افزار 9.3 SAS (سس^۸، ۲۰۱۲) و دستور ANOVA به صورت مدل آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. همچنین برآزش منحنی‌ها و رسم شکل‌ها با کمک نرم‌افزارهای v14 SigmaPlot انجام شد. در ضمن با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل فاکتورهای مورد بررسی برش‌دهی اثرات متقابل در هر سطح پیری تسریع یافته بذر با استفاده از نرم افزار 9.3 SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین

مدل‌های مورد استفاده

داده‌های جمع‌آوری شده از میانگین‌های سطوح شوری در هر سطح پیری تسریع یافته بذر برای پیش‌بینی برخی خصوصیات جوانه‌زنی و برای ساخت و ارزیابی مدل‌های غیر خطی تجربی مورد استفاده قرار گرفت. پنج تابع معروف (روابط ۱۰ تا ۱۴) برای بررسی خصوصیات جوانه‌زنی گیاه چیا در برابر شوری مورد استفاده قرار گرفتند که همه این توابع از جنس مدل‌های سیگموئیدی و چندجمله‌ای هستند که بسته به شرایط، در توصیف روند جوانه‌زنی، نقاط قوت یا ضعف مخصوص به خود را دارا هستند:

تابع لوجستیک^۱:

$$y = a / (1 + \exp^{-b(x-x_0)}) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

تابع گامبرتز^۲:

$$y = a \exp^{-\exp(-b(x-x_0))} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

تابع سیگموئید^۳:

$$y = a / (1 + \exp^{-(x-x_0)/b}) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

تابع درجه ۲^۴:

$$y = a + bx + cx^2 \quad \text{رابطه ۱۳}$$

تابع درجه ۳^۵:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad \text{رابطه ۱۴}$$

که در این مدل‌ها y نشان‌دهنده شاخص‌های جوانه‌زنی مرتبط با بنیه بذر و گیاهچه گیاه چیا، x نشان‌گر سطوح شوری، a بیانگر مجانب بالای منحنی یا همان حداکثر مقدار شاخص‌های جوانه‌زنی مرتبط با بنیه بذر و گیاهچه، b شیب منحنی یا آهنگ تغییر صفت مورد بررسی به ازای هر سطح شوری، x_0 سطحی از شوری که در آن شیب منحنی خطی می‌شود و در نهایت c و d پارامترهای شکل‌دهنده مدل هستند.

همچنین از شاخص میانگین مربعات ریشه خطا (RMSE) و ضریب دقت اندازه‌گیری (R^2_{Adj}) (روابط ۱۵ و ۱۶) به منظور ارزیابی در دقت برآزش مدل‌ها استفاده گردید

¹ Logistic

² Gompertz

³ Sigmoid

⁴ Quadratic

⁵ Cubic

⁶ The residual sums of squares

⁷ Dehghan

⁸ SAS

در برابر شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط عدم اعمال پیری تسریع یافته و مقاومت تا سطح ۵۰ میلی‌مولار در شرایط پیری تسریع یافته بذر به مدت ۲۴ ساعت می‌باشد. در مورد صفت متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی نیز نتایج حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این صفت در شرایط پیری تسریع یافته بذر به مدت ۴۸ ساعت و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (با میانگین ۴/۶۹ روز) حاصل گردید (جدول ۲).

نتایج برازش مدل‌های مورد مطالعه نشان داد که توابع لجستیک، گامپرتز و سیگموئید بر صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی نهایی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی (جدول ۳) و مدل‌های درجه ۲ و ۳ بر صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر (جدول ۴) برازش مناسب‌تری داشتند، سپس انتخاب بهترین مدل برای هر صفت بر اساس شاخص‌های ذکر شده (R^2_{adj} ، RMSE و AICc) انجام شد.

در مورد صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی نهایی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی، مدل‌های لجستیک، گامپرتز و سیگموئید به دلیل هم‌خانواده بودن توابع مورد استفاده دارای اشکال نزدیک به هم (S شکل) بودند. هر چند شکل کلی مدل‌های تجربی مورد استفاده از روند S شکل تبعیت می‌کند ولی در سطوح مختلف پیری تسریع یافته بذر توان توصیفی گیاه چیا در پاسخ به سطوح شوری متفاوت بود.

سطوح شوری و رتبه‌بندی آن‌ها در هر سطح تیمار پیری تسریع یافته بذر به‌طور مجزا انجام شد (سلطانی^۱، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

نتایج (جدول ۱) نشان داد که برهمکنش بین زمان‌های مختلف پیری تسریع یافته بذر و تنش شوری برای تمام صفات مورد مطالعه مربوط به جوانه‌زنی گیاه چیا معنی‌دار بود.

با توجه به نتایج، به‌جز صفت متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، با افزایش سطوح شوری اختلاف میان حداکثر و حداقل تمام صفات با افزایش سطوح پیری تسریع یافته بذر کاهش یافت (جدول ۲). یعنی شدت تنش بر تمام صفات مربوط به جوانه‌زنی بذره‌های پیر شده بسیار تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که در تمام سطوح پیری تسریع یافته بذر و سطح شوری ۲۵۰ میلی‌مولار، جوانه‌زنی گیاه چیا متوقف گردید. همچنین در تیمار ۹۶ ساعت پیری تسریع یافته بذر، سطوح شوری بالاتر از ۱۵۰ میلی‌مولار نیز جوانه‌زنی گیاه چیا را به صفر رسانید. این درحالی است که بیشترین مقدار طول ریشه‌چه (با میانگین ۲۹/۲ میلی‌متر)، طول ساقه‌چه (با میانگین ۷/۵ میلی‌متر)، درصد جوانه‌زنی نهایی (با میانگین ۱۰۰ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (با میانگین ۰/۴۲ بذر در روز)، متوسط جوانه‌زنی روزانه (با میانگین ۳/۵۷ درصد بذر به ازای هر روز)، ضریب سرعت جوانه‌زنی (با میانگین ۴۲/۲ درصد)، شاخص سرعت جوانه‌زنی (با میانگین ۱۴/۷۹ درصد در روز)، شاخص جوانه‌زنی (با میانگین ۱۴۰/۶) و شاخص بنیه بذر (با میانگین ۳۶/۷) در شرایط بدون پیری تسریع یافته و عدم اعمال شوری حاصل گردید. البته در مورد صفات درصد جوانه‌زنی نهایی و متوسط جوانه‌زنی روزانه بین تیمارهای توام بدون پیری تسریع یافته بذر و شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار و همچنین تیمارهای توام پیری تسریع یافته بذر به مدت ۲۴ ساعت و سطوح شوری صفر و ۵۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری با تیمار عدم اعمال پیری تسریع یافته بذر و شوری مشاهده نگردید که نشان‌دهنده مقاومت گیاه چیا

^۱ Soltani

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر پیری تسریع یافته بذر و سطوح شوری بر برخی صفات جوانه‌زنی گیاه چیا (*Sativa hispanica* L.)

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقچه Shoot length	طول جوانه‌زنی FGP	درصد جوانه‌زنی نهایی	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی MGT	سرعت جوانه‌زنی GR	میانگین جوانه‌زنی روزانه MDG	ضریب سرعت جوانه‌زنی CVG	شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI	شاخص جوانه‌زنی GI	بنيه بذر Vigor
پیری تسریع یافته (A)	4	131.95**	2.215**	9549.4**	9.091**	0.046**	12.17**	469.57**	191.1**	16748.2**	388.8**	
تنش شوری Salinity (S)	5	1225.58**	108.538**	12474.0**	27.547**	0.206**	15.90**	2080.9**	170.5**	17480.5**	1254.6**	
پیری تسریع یافته × تنش شوری A × S	20	19.17**	0.338**	792.1**	2.571**	0.019**	1.01**	192.7**	17.6**	1314.5**	87.2**	
خطا Error	60	0.10	0.039	11.4	0.160	0.001	0.01	13.9	0.21	20.5	0.34	
ضریب تغییرات (%) CV (%)		4.3	10.7	8.7	14.7	16.5	8.7	16.5	11.0	10.1	8.5	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

** Significant at the 0.01 probability level

FGP, Final Germination Percentage; MGT, Mean Germination Time; GR, Germination rapidity; MDG, Mean Day Germination; CVG, Coefficient of Velocity of Germination; GRI, Germination Rate Index; GI, Germination Index.

جدول ۲. برهمکنش پیری تسریع یافته بذر × سطوح شوری بر برخی صفات جوانه‌زنی گیاه چیا (برش‌دهی اترات متقابل شوری در هر سطح پیری تسریع یافته بذر) **Table 2.** Accelerated ageing test × salinity levels interaction on some germination traits in Chia seed (sliced by accelerated ageing)

تیمارها Treatments	طول ریشه‌چه Root length (mm)	طول ساقچه Shoot length (mm)	درصد جوانه‌زنی نهایی FGP (%)	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی MGT (day)	سرعت جوانه‌زنی GR (day ⁻¹)	میانگین		ضریب سرعت جوانه‌زنی CVG (%)	شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI (%/day)	شاخص جوانه‌زنی GI	بنيه بذر Vigor	
						میانگین ± انحراف استاندارد	میانگین ± انحراف استاندارد					
پیری Ageing	تنش شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
		0	29.2 ^a ±0.41	7.50 ^a ±0.26	100.0 ^a ±0.0	2.37 ^b ±0.12	0.42 ^a ±0.022	3.57 ^a ±0.0	42.2 ^a ±2.211	14.79 ^a ±0.613	140.6 ^a ±3.0	36.7 ^a ±0.45
		50	21.7 ^b ±0.43	3.40 ^b ±0.363	100.0 ^a ±0.0	2.45 ^b ±0.18	0.41 ^a ±0.031	3.57 ^a ±0.0	40.9 ^a ±3.221	14.55 ^a ±0.829	138.6 ^a ±4.6	25.1 ^a ±0.65
		100	7.5 ^c ±0.15	1.70 ^c ±0.50	100.0 ^a ±0.0	3.05 ^a ±0.15	0.33 ^b ±0.016	3.57 ^a ±0.0	32.8 ^b ±1.67	12.50 ^b ±0.769	123.6 ^b ±3.7	9.2 ^a ±0.35
		150	4.6 ^d ±0.001	0.73 ^d ±0.06	72.0 ^b ±0.0	3.42 ^a ±0.19	0.29 ^b ±0.016	2.57 ^b ±0.0	29.2 ^b ±1.682	8.21 ^b ±0.462	87.6 ^b ±2.1	3.8 ^d ±0.04
		200	2.1 ^e ±0.61	0.30 ^{de} ±0.17	22.6 ^c ±8.3	3.25 ^a ±0.43	0.31 ^b ±0.038	0.81 ^b ±0.297	31.1 ^b ±3.848	2.23 ^d ±0.944	29.0 ^b ±11.5	0.53 ^e ±0.15
250	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^c ±0.0	0.001 ^c ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	
LSD	0.633	0.505	6.04	0.396	0.043	0.216	4.34	1.20	9.80	0.643		
24 h	0	28.5 ^a ±0.2	7.36 ^a ±0.51	100.0 ^a ±0.0	3.26 ^a ±0.18	0.31 ^a ±0.017	3.571 ^a ±0.0	30.6 ^a ±1.706	12.41 ^a ±0.525	118.3 ^a ±4.51	35.8 ^a ±0.68	
	50	14.4 ^b ±0.98	3.20 ^b ±0.36	100.0 ^a ±0.0	3.56 ^a ±0.28	0.28 ^a ±0.022	3.571 ^a ±0.0	28.2 ^a ±2.225	11.69 ^a ±0.762	111.0 ^a ±7.0	17.6 ^b ±0.87	
	100	7.1 ^c ±0.26	2.0 ^c ±0.20	77.3 ^b ±2.31	3.66 ^a ±0.18	0.27 ^a ±0.014	2.76 ^b ±0.083	27.3 ^a ±1.404	8.35 ^b ±0.483	84.0 ^b ±6.1	7.0 ^c ±0.26	
	150	4.2 ^d ±0.11	0.46 ^d ±0.11	49.3 ^c ±6.11	3.37 ^a ±0.36	0.30 ^a ±0.031	1.76 ^c ±0.218	29.8 ^a ±3.074	4.44 ^c ±0.172	56.6 ^c ±2.5	2.3 ^d ±0.21	
	200	1.6 ^e ±0.53	0.001 ^d ±0.0	16.0 ^d ±4.0	3.28 ^a ±0.30	0.31 ^a ±0.027	0.57 ^d ±0.142	30.6 ^a ±2.780	1.34 ^d ±0.250	18.6 ^c ±3.5	0.3 ^e ±0.14	
	250	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^b ±0.0	0.001 ^b ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^b ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0
LSD	0.851	0.485	5.56	0.440	0.038	0.198	3.77	0.79	8.12	0.846		
48 h	0	23.6 ^a ±0.36	6.60 ^a ±0.26	69.3 ^a ±2.31	4.11 ^b ±0.14	0.24 ^a ±0.008	2.47 ^a ±0.082	24.3 ^a ±0.851	5.79 ^a ±0.225	67.3 ^a ±0.5	20.9 ^a ±1.08	
	50	13.0 ^b ±0.41	2.56 ^b ±0.21	60.0 ^b ±4.0	4.22 ^b ±0.09	0.24 ^b ±0.005	2.14 ^b ±0.143	23.7 ^a ±0.503	4.70 ^b ±0.269	56.6 ^b ±3.2	9.3 ^b ±0.44	
	100	6.8 ^c ±0.11	0.96 ^c ±0.15	40.0 ^c ±4.0	4.69 ^a ±0.13	0.21 ^b ±0.006	1.43 ^c ±0.142	21.3 ^b ±0.599	2.56 ^c ±0.174	33.0 ^c ±2.0	3.1 ^c ±0.35	
	150	3.2 ^d ±0.35	0.33 ^d ±0.06	29.3 ^d ±6.11	4.65 ^a ±0.30	0.21 ^b ±0.013	1.05 ^d ±0.218	21.5 ^b ±1.370	1.94 ^d ±0.450	24.6 ^d ±6.3	1.0 ^d ±0.21	
	200	1.5 ^e ±0.29	0.001 ^e ±0.0	16.0 ^d ±0.0	4.0 ^b ±0.43	0.25 ^b ±0.029	0.57 ^e ±0.0	25.2 ^a ±2.911	1.25 ^e ±0.139	16.0 ^d ±1.7	0.2 ^{de} ±0.04	
	250	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^c ±0.0	0.001 ^c ±0.0	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0
LSD	0.525	0.271	6.27	0.416	0.025	0.224	2.48	0.445	5.53	0.901		
72 h	0	18.4 ^a ±0.40	6.36 ^a ±0.11	61.3 ^a ±2.31	3.28 ^a ±0.40	0.31 ^a ±0.038	2.19 ^a ±0.082	30.8 ^a ±3.840	6.40 ^a ±0.912	72.3 ^a ±6.4	14.5 ^a ±0.44	
	LSD	0.525	0.271	6.27	0.416	0.025	0.224	2.48	0.445	5.53	0.901	

ادامه جدول ۳.

Table 2. Continue

50	8.8 ^b ±0.15	2.80 ^b ±0.17	48.0 ^b ±4.0	3.35 ^a ±0.09	0.30 ^a ±0.008	1.71 ^b ±0.143	29.8 ^a ±0.848	4.38 ^b ±0.467	55.6 ^b ±3.5	5.2 ^b ±0.98
100	4.7 ^c ±0.30	0.50 ^c ±0.0	29.3 ^c ±4.62	3.72 ^a ±0.50	0.27 ^a ±0.036	1.05 ^c ±0.165	27.2 ^a ±3.620	2.32 ^c ±0.482	31.3 ^c ±6.1	1.5 ^c ±0.39
150	1.2 ^d ±0.29	0.001 ^d ±0.0	12.0 ^d ±4.0	3.47 ^a ±0.93	0.307 ^a ±0.076	0.43 ^d ±0.142	30.1 ^a ±7.656	1.01 ^d ±0.454	14.0 ^d ±6.2	0.1 ^d ±0.08
200	0.76 ^c ±0.11	0.001 ^d ±0.0	10.6 ^d ±2.31	4.05 ^a ±0.42	0.25 ^a ±0.025	0.38 ^d ±0.082	24.8 ^a ±2.529	0.73 ^{de} ±0.202	10.6 ^d ±3.2	0.1 ^d ±0.026
250	0.001 ^f ±0.0	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^b ±0.0	0.001 ^b ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^b ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^d ±0.0
LSD	0.445	0.151	5.81	0.882	0.070	0.207	7.02	0.898	8.60	0.836
0	17.5 ^a ±0.1	6.70 ^a ±0.26	34.6 ^a ±6.11	3.54 ^{ab} ±0.37	0.28 ^b ±0.031	1.24 ^a ±0.218	28.4 ^b ±3.105	2.80 ^a ±0.375	38.3 ^a ±5.1	8.0 ^a ±2.1
50	6.8 ^b ±0.36	2.13 ^b ±0.06	13.3 ^b ±6.11	3.95 ^a ±0.93	0.26 ^b ±0.057	0.47 ^b ±0.218	26.1 ^b ±5.705	1.05 ^b ±0.688	14.3 ^b ±9.1	1.1 ^b ±0.646
100	0.63 ^c ±0.15	0.001 ^e ±0.0	4.0 ^c ±0.0	2.66 ^b ±1.15	0.41 ^a ±0.144	0.14 ^c ±0.0	41.6 ^a ±14.433	0.41 ^c ±0.144	5.3 ^c ±1.1	0.025 ^b ±0.006
150	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^b ±0.0
200	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^b ±0.0
250	0.001 ^d ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^e ±0.0	0.001 ^b ±0.0
LSD	0.293	0.196	6.27	1.11	0.115	0.224	11.49	0.578	7.61	1.63

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون و در هر سطح پیری تسریع یافته دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نیستند.

Means within each column and each level of the accelerated ageing test followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

FGP, Final Germination Percentage; MGT, Mean Germination Time; GR, Germination Rate; MDG, Mean Day Germination; CVG, Coefficient of Velocity of Germination; GRI, Germination Rate Index; GT, Germination Time.

آبین و اسلامی^۱ (۲۰۰۹) در بررسی اثر محیط گیاه مادری بر مقاومت به تنش شوری و خشکی در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه شیرتیغک گزارش دادند که مدل لجستیک سه پارمتره به خوبی جوانه‌زنی این گیاه را در هر دو شرایط تنش شوری و خشکی توصیف می‌کند. پرمون^۲ و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی پاسخ جوانه‌زنی گیاه ماریتیغال به دما نشان دادند که مدل‌های سیگموئیدی در مقایسه با دیگر مدل‌های دندان‌های و مدل بتا به خوبی درصد جوانه‌زنی و زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی را بر اساس شاخص AICc برازش می‌کند. با توجه به اهمیت شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی در استقرار گیاهچه‌های گیاه، تأثیرپذیری این شاخص از طریق مدل‌های سیگموئیدی سه پارمتره همچون لجستیک، گامپرتز و سیگموئید (چاوهان^۳ و همکاران، ۲۰۰۶؛ پناهی^۴ و همکاران، ۲۰۱۲) و مدل‌های چندجمله‌ای همچون کوادراتیک و کیوبیک (فلاحی^۵ و همکاران، ۲۰۱۵؛ بیسا^۶ و همکاران، ۲۰۱۷) توسط دیگر محققان نیز تأیید شده است که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

نتایج حاصل از کاهش ۵۰ درصد هرکدام از صفات به ازای افزایش شوری در هر سطح پیری یافته بذر در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که تأثیرپذیری تمام صفات مرتبط با جوانه‌زنی در سطوح مختلف شوری یکسان نبوده و بذرهای با پیری تسریع یافته بالاتر، هم درصد جوانه‌زنی و هم بنیه کمتر در سطوح شوری بالا داشتند. منحنی واکنش درصد جوانه‌زنی نهایی نسبت به سطوح شوری در کلیه سطوح پیری یافته بذر نشان داد که با افزایش شوری از نرخ جوانه‌زنی گیاه چیا کاسته شد و پاسخ جوانه‌زنی گیاه چیا نسبت به تیمارهای مورد بررسی از یک رابطه سیگموئیدی تبعیت می‌کند (شکل ۱). به‌طوری‌که بر اساس مدل سیگموئید کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی در سطوح پیری تسریع یافته صفر و ۷۲ ساعت به ترتیب

در همین راستا نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدل (جدول ۵) نشان داد که به جز در سطح بدون پیری تسریع یافته بذر از بین سه مدل مورد مطالعه بهترین مدل برای نشان دادن پاسخ صفات طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه به افزایش سطوح شوری در تمام سطوح پیری یافته بذر مدل سه پارمتره گامپرتز می‌باشد. در سطح بدون پیری مدل لجستیک ($R^2_{adj}=0/99$ ، $RMSE=0/76$ و $AICc=17/9$) برای صفت طول ریشه‌چه و مدل سیگموئید ($R^2_{adj}=0/99$ ، $RMSE=0/09$ و $AICc=44/5$) برای طول ساقه‌چه بهترین برازش را ارائه می‌دهند. در مورد صفات درصد جوانه‌زنی نهایی و میانگین جوانه‌زنی روزانه نیز در سطوح صفر و ۷۲ ساعت پیری تسریع یافته بذر مدل سیگموئید و در سطوح ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت پیری تسریع یافته بذر، مدل گامپرتز بهترین برازش را در پاسخ به افزایش سطوح شوری ارائه می‌دهند. در صفت شاخص سرعت جوانه‌زنی هم در سطوح صفر، ۴۸ و ۹۶ ساعت پیری تسریع یافته بذر مدل گامپرتز و در سطوح ۲۴ و ۷۲ ساعت پیری تسریع یافته بذر مدل سیگموئید بهترین مدل در پاسخ به افزایش سطوح شوری نشان دادند. برای صفت شاخص جوانه‌زنی نیز به جز در سطح ۷۲ ساعت که مدل سیگموئید ($R^2_{adj}=0/98$ ، $RMSE=2/21$ و $AICc=57/5$) بهترین مدل برآورد گشت در سایر سطوح پیری تسریع یافته بذر مدل گامپرتز برازش مناسب‌تری برای پاسخ به افزایش سطوح شوری در گیاه چیا نشان داد (جدول ۵).

نتایج حاصل از جدول ۴ نیز برای صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر حاکی از آن بود که مدل‌های تجربی مورد استفاده به منظور برازش این صفات از روند چندجمله‌ای (درجه ۲ و ۳) تبعیت می‌کند. هرچند در بین دو مدل مورد استفاده، مدل درجه ۳ برازش مناسب‌تری برای توصیف پاسخ این صفات مربوط به جوانه‌زنی در تمام سطح پیری تسریع یافته بذر و شوری داشت (جدول ۶).

¹ Abin and Eslami

² Parmoon

³ Chauhan

⁴ Panahi

⁵ Fallahi

⁶ Bessa

شد. در این رابطه محققان اظهار داشتند که کیفیت بذر از دو طریق مستقیم (اثر بر رشد) و غیرمستقیم (کاهش تراکم بوته) بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (پوری و همکاران، ۲۰۱۲).

کاهش کیفیت بذر از طریق پیری تسریع یافته منجر به برخی تغییرات در ساختار مولکولی اسیدهای نوکلئیک، کاهش فعالیت برخی آنزیم‌های کلیدی در جوانه‌زنی، افزایش فعالیت برخی از آنزیم‌های هیدرولیز کننده، افزایش نشت غشاء و کاهش تنفس می‌شود که در نتیجه این تغییرات، بنیه بذر کاهش یافته و منجر به کاهش دیگر صفات مرتبط با جوانه‌زنی همچون درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌گردد که نتیجه این امر کاهش توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط تنش‌زا، افزایش احتمال توسعه گیاهچه‌های غیرطبیعی، کاهش درصد استقرار بوته در مزرعه و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد (طهماسبی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین اگر شدت پیری زیاد باشد ممکن است هیچ بذری جوانه نزنند.

فتحی^۲ و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی بذرهای پیری تسریع یافته گیاهان پنیرک، سوروف و قیاق تحت تنش شوری اظهار داشتند که با افزایش شدت تنش از صفر به ۱۲ دسی‌زیمنس تمام صفات مورد مطالعه اعم از سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، درصد و شاخص سبز شدن، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه و وزن خشک گیاهچه کاهش یافت. همچنین آن‌ها بیان داشتند که پیری تسریع یافته بذر اثرات تنش شوری بر کاهش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه گیاهان پنیرک، سوروف و قیاق را افزایش می‌دهد.

در غلظت‌های ۱۷۱/۱ و ۷۶/۹ میلی‌مولار و بر اساس مدل گامپرتز کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی در سطوح پیری تسریع یافته ۲۴ و ۴۸ ساعت به ترتیب در غلظت‌های ۱۶۳/۸ و ۱۲۹/۶ میلی‌مولار بود. در مورد بنیه بذر نیز برآزش مدل چندجمله‌ای درجه ۳ نشان داد که با افزایش سطوح شوری در تمام سطوح پیری یافته بذر قدرت سبز شدن گیاهچه چیا کاهش می‌یابد که شیب کاهش در سطوح کمتر پیری یافته بذر شدیدتر بود.

اختلاف میان حداکثر و حداقل صفات بین سطوح شوری در تیمار شاهد بیشترین و در پیری تسریع یافته ۹۶ ساعت کمترین مقدار بود که نشان می‌دهد در شرایط شور تأثیر پیری تسریع یافته بذر بر قدرت سبز شدن گیاهچه نسبت به تیمار شاهد بیشتر است (شکل ۱). نتایج بدست آمده نشان داد که بذرهای چیا که تا ۷۲ ساعت پیر شده بودند، قادرند تا ۲۰۰ میلی‌مولار غلظت نمک را تحمل کنند و با افزایش سطح پیری تسریع یافته به ۹۶ ساعت میزان تحمل آن‌ها به افزایش سطح شوری کاسته شد و بذرها دچار آسیب شدید شدند.

تأثیر توام تنش شوری و پیری تسریع یافته بذر از طریق برهم زدن سازوکارهای مرتبط با جوانه‌زنی و کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در این فرآیند موجب کاهش استقرار گیاه در مزرعه خواهد شد. در این خصوص محققان اظهار داشتند که تنش‌های محیطی می‌توانند از طریق کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بر سبزشدن تأثیر منفی بگذارند و بذرهای با قدرت بذر بالا می‌توانند کارکرد بهتری در سبزشدن تحت تأثیر تنش‌های محیطی داشته باشند؛ به عبارت دیگر با افزایش شدت تنش، بذرهایی با قدرت بالاتر بهتر سبز می‌شوند و کاهش کمتری در درصد و سرعت سبزشدن از خود نشان می‌دهند (پوری و همکاران، ۲۰۱۲؛ پناهی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین کشت بذرهای پیری یافته در خاک‌های شور منجر به حداقل جوانه‌زنی، کاهش تراکم گیاه در واحد سطح و در نهایت کاهش عملکرد خواهد شد چرا که تراکم بوته مطلوب در واحد سطح یکی از اجزای اصلی عملکرد در اکثر گیاهان می‌باشد و کاهش نرخ جوانه‌زنی منجر به کاهش تراکم بوته خواهد

¹ Tahmasbi

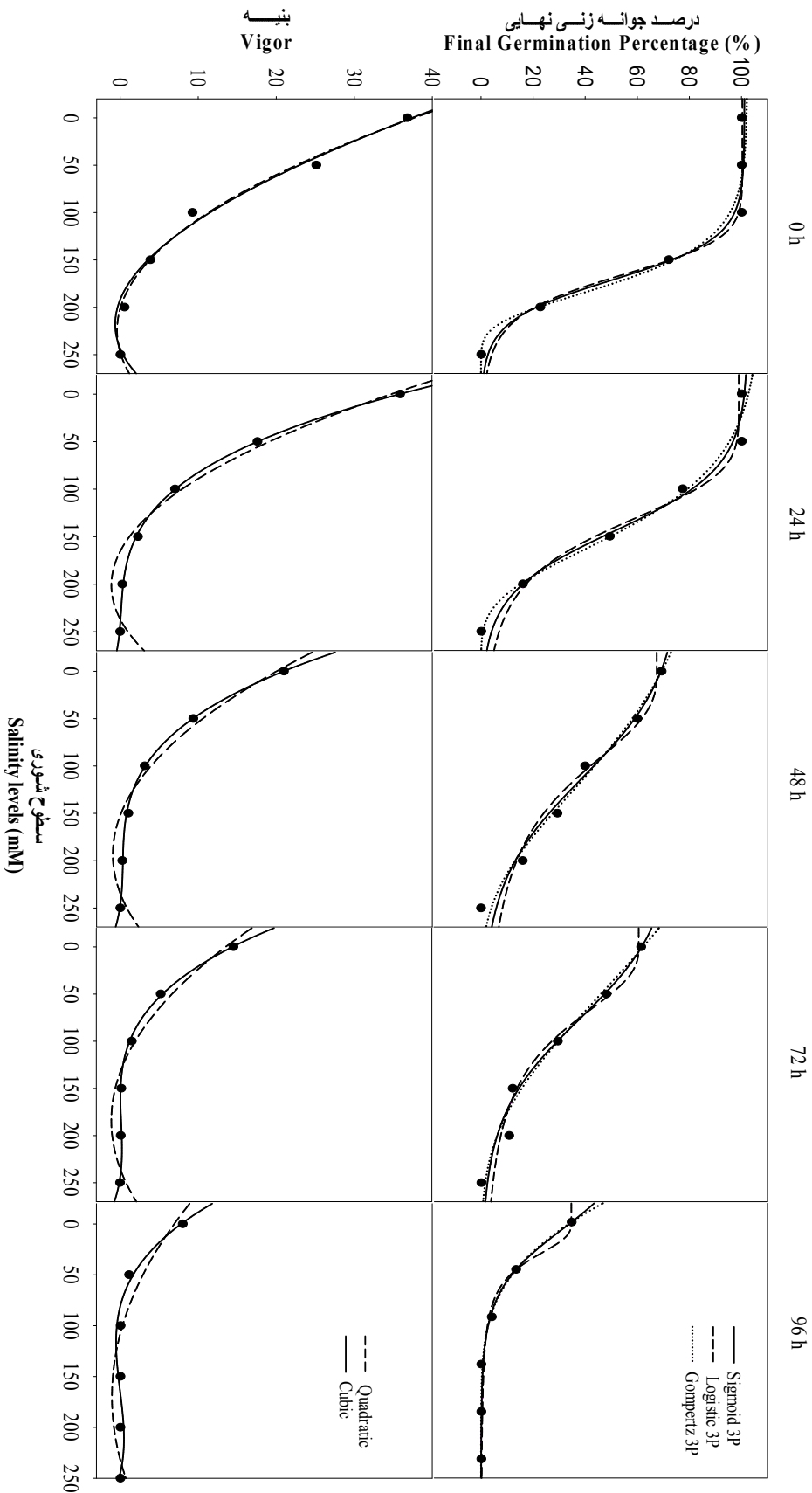
² Fatahi

جدول ۳. پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های سیگموئیدی (الگیتیک، گامپرتز و سیگموئیدی) در پاسخ به سطوح شوری در هر سطح تبری تسریع یافته بذر گیاه چیا

صفات	تبرری	الگیتیک			گامپرتز			سیگموئیدی		
		Ageing (hour)	a (CV%)	b (CV%)	X ₀ (CV%)	a (CV%)	b (CV%)	X ₀ (CV%)	a (CV%)	b (CV%)
طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	24	29.37(3.56)	2.74(10.15)	71.66(5.54)	62.88(78.48)	-111.30(63.48)	33.02(278.90)	35.08(16.38)	-37.15(25.30)	62.95(26.90)
Root length (mm)	48	28.45(3.71)	1867.0(12.43)	51.94(8.41)	311620.0(1043.0)	-730.80(104.0)	-1630.0(154.20)	294.80(247.90)	-68.80(14.43)	-153.80(136.40)
	72	23.53(3.92)	1.97(12.13)	57.74(7.95)	1416.0(159.80)	-375.20(33.49)	-529.10(61.05)	63.50(34.41)	-61.61(10.05)	-32.49(111.80)
	96	18.42(4.61)	1.99(16.30)	49.68(10.14)	5416.0(545.70)	-429.60(85.51)	-746.40(140.60)	67.23(95.39)	-56.72(18.53)	-55.23(151.80)
		17.50(0.40)	4.17(4.09)	44.86(0.66)	32.71(0.07)	-54.30(0.07)	25.48(0.16)	19.54(0.54)	-18.0(1.45)	38.70(0.87)
طول ساقچه (میلی‌متر)	0	7.49(3.39)	1.89(12.60)	46.57(8.28)	126284.7(936.30)	-678.0(89.44)	-1543.0(131.60)	485.10(1298.0)	-63.98(11.24)	-265.80(328.0)
Shoot length (mm)	24	7.34(6.80)	1.92(25.67)	46.09(16.61)	11824.8(1638.0)	-519.6(202.1)	-1039.1(312.8)	55.32(437.0)	-59.05(35.83)	-110.9(302.4)
	48	6.59(2.43)	2.22(11.66)	41.25(6.18)	26986.9(443.5)	-471.6(49.04)	-999.1(74.19)	31.84(66.34)	-46.08(8.96)	-61.82(70.92)
	72	6.36(1.26)	3.41(7.67)	46.64(1.84)	13.41(1.52)	-67.30(1.28)	19.79(5.57)	7.65(2.35)	-23.28(4.13)	37.24(4.30)
	96	6.70(0.01)	11.59(9.96)	46.82(0.65)	8.19(2.51)	-26.29(5.60)	42.20(2.20)	6.70(0.06)	-6.21(10.14)	45.27(1.07)
درصد جوانه‌زنی نهایی	0	100.30(1.66)	8.05(8.85)	169.3(1.44)	102.20(2.25)	-31.93(10.98)	186.20(1.40)	101.2(1.63)	-21.88(8.28)	171.1(1.34)
FGP (%)	24	98.99(4.54)	4.59(19.21)	142.6(5.20)	107.7(4.35)	-53.88(12.99)	163.8(2.73)	102.40(3.79)	-33.17(13.46)	144.3(3.75)
	48	67.62(8.09)	2.69(26.97)	120.6(12.32)	93.10(21.42)	-105.50(29.95)	129.60(21.56)	78.20(14.60)	-55.20(15.16)	112.3(20.27)
	72	60.51(5.99)	2.51(17.51)	92.1(9.80)	121.4(52.36)	-133.80(44.71)	53.84(139.50)	75.24(16.35)	-50.94(21.63)	76.96(28.39)
	96	34.65(2.58)	2.69(14.55)	42.26(5.61)	403.40(81.89)	-153.40(16.73)	-137.80(63.73)	62.17(22.94)	-32.90(12.99)	7.59(209.4)
میانگین جوانه‌زنی روزانه	0	3.58(1.65)	8.05(8.80)	169.3(1.43)	3.65(2.25)	-31.93(10.98)	186.2(1.40)	3.61(1.62)	-21.8(8.25)	171.1(1.36)
MDG (% of seeds per day)	24	3.53(4.53)	4.59(19.18)	142.6(5.19)	3.84(4.34)	-53.88(12.98)	163.8(2.73)	3.66(3.78)	-33.17(13.43)	144.3(3.74)
	48	2.41(8.07)	2.68(26.90)	120.5(12.29)	3.32(21.37)	-105.5(29.86)	129.5(21.52)	2.79(14.57)	-55.22(25.09)	112.2(20.22)
	72	2.16(5.98)	2.51(17.47)	92.09(9.79)	4.35(52.54)	-134.1(44.76)	53.44(141.3)	2.69(16.38)	-51.02(21.61)	76.85(28.50)
	96	1.24(2.53)	2.68(14.21)	42.23(5.52)	14.85(80.76)	-155.0(26.09)	-141.1(61.66)	2.23(22.57)	-33.04(12.62)	7.14(219.2)
شاخص سرعت جوانه‌زنی	0	14.34(3.53)	6.18(18.89)	154.2(3.43)	15.25(1.11)	-43.56(4.10)	171.2(0.71)	14.73(2.20)	-27.45(9.74)	154.3(1.99)
GRI (%/day)	24	12.17(3.64)	4.03(14.13)	124.5(4.46)	13.97(5.34)	-61.41(12.62)	143.3(3.57)	12.86(2.91)	-35.27(8.60)	124.8(3.13)
	48	5.78(7.84)	2.21(22.53)	96.61(13.63)	13.54(84.46)	-170.6(62.01)	30.40(480.4)	8.0(33.92)	-65.39(32.62)	65.54(79.85)
	72	6.36(4.15)	2.25(11.52)	73.84(7.27)	23.22(71.21)	-176.6(38.50)	-43.78(257.8)	9.23(16.50)	-53.07(14.28)	43.61(46.48)
	96	2.80(3.82)	2.39(19.90)	40.86(9.49)	280.1(436.0)	-265.3(82.51)	-405.2(144.4)	7.98(84.81)	-39.93(22.54)	-24.55(233.5)
شاخص جوانه‌زنی	0	136.53(3.15)	6.67(16.82)	162.5(2.92)	143.70(0.73)	-42.01(2.91)	180.0(0.46)	139.6(2.10)	-26.93(9.62)	162.9(1.87)
GI	24	114.2(5.75)	4.09(22.86)	138.6(6.95)	128.7(4.28)	-62.42(10.90)	159.5(2.75)	120.2(5.11)	-37.53(15.71)	139.1(5.33)
	48	66.96(8.25)	2.31(24.73)	105.1(13.88)	122.6(56.18)	-144.7(52.14)	76.76(116.2)	86.02(27.01)	-63.16(31.9)	83.59(50.98)
	72	71.71(4.75)	2.47(13.54)	86.79(7.86)	155.8(50.83)	-137.9(40.15)	39.16(186.8)	90.87(14.25)	-50.37(17.69)	70.16(26.33)
	96	38.31(3.48)	2.45(18.65)	40.98(8.50)	2226.0(311.7)	-235.5(65.90)	-330.2(120.5)	96.88(63.63)	-38.21(20.10)	-16.22(266.1)

جدول ۴. پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های چندجمله‌ای (درجه ۲ و ۳) در پاسخ به سطوح شوری در هر سطح پیری تسریع یافته بذر گیاه چیا
Table 4. Model parameter from fitted polynomial models (Quadratic and Cubic) on seed germination of Chia under accelerated aging and salinity stresses

صفات	پیری (ساعت)	درجه ۲				درجه ۳			
		a (CV%)	b (CV%)	Y ₀ (CV%)	Y ₀ (CV%)	a (CV%)	b (CV%)	c (CV%)	Y ₀ (CV%)
متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (روز) MGT (day)	0	0.03(47.80)	-0.00014(39.11)	1.90(40.19)	-0.0179(56.17)	0.00038(26.06)	-0.0000014(18.78)	2.42(10.70)	
	24	0.023(50.46)	-0.00013(33.93)	2.99(20.90)	-0.0103(175.5)	0.00023(76.52)	-0.00000098(48.12)	3.36(13.86)	
	48	0.032(44.34)	-0.00017(30.98)	3.64(21.04)	-0.015(72.94)	0.00034(32.16)	-0.0000014(20.86)	4.16(6.89)	
	72	0.027(67.01)	-0.00014(49.17)	2.84(33.80)	-0.024(114.4)	0.00042(65.93)	-0.0000015(48.67)	3.40(21.18)	
	96	-0.024(72.52)	0.00022(301.5)	4.18(22.08)	0.028(82.17)	-0.00055(42.07)	0.0000015(39.84)	3.61(16.63)	
	0	0.000548(241.9)	-0.0000077(65.65)	0.403(17.49)	-0.00268(96.0)	0.000276(92.68)	-0.0000009(71.26)	0.438(15.12)	
سرعت جوانه‌زنی (بر روز) GR (1/day)	24	0.00157(91.95)	-0.0000095(58.05)	0.267(28.74)	-0.00299(53.98)	0.000404(39.72)	-0.0000013(31.64)	0.317(13.10)	
	48	0.0011(109.7)	-0.00000703(65.45)	0.218(29.18)	-0.0022(84.62)	0.00029(64.09)	-0.00000098(51.06)	0.255(19.36)	
	72	0.00137(74.99)	-0.0000092(42.57)	0.279(19.54)	-0.0019(52.56)	0.00027(37.57)	-0.00000096(27.54)	0.315(8.31)	
	96	-0.00059(431.9)	-0.0000036(269.8)	0.317(42.58)	0.0046(119.4)	-0.000061(90.58)	0.0000015(94.82)	0.260(55.21)	
	0	0.055(239.6)	-0.00078(65.54)	40.31(17.56)	-0.269(95.65)	0.00278(92.19)	-0.0000095(70.90)	43.87(15.13)	
	24	0.157(91.84)	-0.00096(58.0)	26.72(28.84)	-0.299(54.31)	0.00404(39.94)	-0.000133(31.79)	31.72(13.19)	
ضریب سرعت جوانه‌زنی (/) CVG (%)	48	0.109(109.9)	-0.000706(65.55)	21.83(29.35)	-0.228(84.42)	0.00299(63.97)	-0.00000986(50.99)	25.53(19.43)	
	72	0.137(74.90)	-0.000929(42.57)	27.90(19.64)	-0.194(52.55)	0.00270(37.53)	-0.0000097(27.51)	31.54(8.34)	
	96	-0.0594(428.8)	-0.000361(270.6)	31.77(42.66)	0.467(119.6)	-0.00613(90.63)	0.0000154(94.86)	26.0(55.34)	
	0	-0.339(9.88)	0.000756(17.02)	37.66(4.73)	-0.314(28.47)	0.00048(183.2)	0.0000072(324.2)	37.39(6.16)	
	24	-0.356(8.05)	0.000887(12.43)	34.76(4.39)	-0.455(1.56)	0.00197(3.58)	-0.00000289(6.41)	35.85(0.51)	
	48	-0.217(11.09)	0.00056(16.47)	20.04(6.38)	-0.299(2.13)	0.0014(4.33)	-0.0000024(6.9)	20.95(0.78)	
بنیه بذر Vigor	72	-0.159(14.64)	0.00043(20.67)	13.58(9.14)	-0.239(4.51)	0.0013(8.22)	-0.0000023(12.13)	14.45(1.92)	
	96	-0.094(26.77)	0.000276(34.89)	6.92(19.31)	-0.175(13.88)	0.00116(20.71)	-0.00000237(26.74)	7.81(8.01)	



شکل ۱. درصد جوانه زنی نهایی و بنیه بذر گیاه چیا در پاسخ به سطوح شوری در هر سطح پیری تسریع یافته بذر. محورهای افقی سطوح شوری و محورهای عمودی درصد جوانه زنی نهایی و بنیه بذر می باشد.

Fig. 1. Seed germination and vigor of Chia seed in response to salinity and accelerated aging stresses.

جدول ۵. آماره‌های برآورد شده از برازش مدل‌های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرتز و سیگموئید) در پاسخ به سطوح پیری تسریع یافته بذر گیاه چیا.

Table 5. Model parameter from fitted sigmoid models (logistic, Gompertz and Sigmoid) on seed germination of Chia under the accelerated aging condition

صفات	پیری (ساعت)	لجستیک			گامپرتز			سیگموئید		
		Ageing (hour)	RMSE	R ² _{Adj}	AICc	RMSE	R ² _{Adj}	AICc	RMSE	R ² _{Adj}
طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Root length (mm)	0	0.759	0.992	44.46	1.568	0.965	53.30	1.236	0.978	50.51
	24	0.747	0.990	44.51	0.452	0.996	37.86	0.456	0.996	38.01
	48	0.651	0.989	42.89	0.251	0.998	30.41	0.304	0.998	33.10
	72	0.601	0.985	41.90	0.351	0.995	35.01	0.379	0.994	36.04
	96	0.108	0.999	12.13	0.087	0.999	-43.62	0.078	0.999	-1.47
طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	0	0.179	0.992	27.39	0.099	0.998	19.13	0.091	0.998	17.93
	24	0.352	0.969	35.51	0.254	0.984	31.45	0.265	0.983	31.93
	48	0.114	0.996	21.88	0.060	0.999	10.52	0.065	0.999	12.22
	72	0.063	0.999	13.54	0.030	0.999	-15.39	0.036	0.999	3.76
	96	0.090	0.999	-41.54	0.035	0.999	-41.48	0.063	0.999	-41.48
درصد جوانه‌زنی نهایی FGP (%)	0	1.966	0.996	56.06	2.200	0.995	57.42	1.798	0.996	54.98
	24	4.37	0.979	65.72	2.36	0.994	58.27	2.85	0.991	60.54
	48	4.312	0.945	65.56	2.716	0.978	59.97	3.300	0.968	62.32
	72	2.643	0.975	59.69	2.615	0.976	59.51	2.344	0.980	58.19
	96	0.641	0.995	42.49	0.354	0.999	33.12	0.430	0.998	36.69
میانگین جوانه‌زنی روزانه MDG (% of seeds per day)	0	0.067	0.996	16.01	0.078	0.995	17.44	0.064	0.996	14.94
	24	0.156	0.979	25.71	0.084	0.994	18.27	0.101	0.991	20.52
	48	0.153	0.946	25.55	0.096	0.978	19.95	0.117	0.968	22.30
	72	0.094	0.975	19.68	0.093	0.976	19.52	0.083	0.981	18.20
	96	0.022	0.996	2.26	0.012	0.999	-7.23	0.015	0.998	-3.62
شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI (%/day)	0	0.544	0.985	40.70	0.120	0.999	22.22	0.291	0.996	33.13
	24	0.403	0.988	37.10	0.256	0.995	31.58	0.221	0.996	29.82
	48	0.330	0.954	34.69	0.306	0.960	33.78	0.314	0.958	34.09
	72	0.188	0.988	27.97	0.165	0.991	26.29	0.143	0.993	24.55
	96	0.075	0.990	16.99	0.051	0.996	11.56	0.559	0.995	12.84
شاخص جوانه‌زنی GI	0	4.826	0.987	66.90	0.818	0.999	45.07	2.816	0.995	60.38
	24	6.168	0.967	69.85	2.192	0.996	57.36	3.873	0.987	64.23
	48	4.090	0.947	64.91	3.534	0.961	63.14	3.727	0.956	63.78
	72	2.458	0.985	58.82	2.607	0.983	59.46	2.214	0.988	57.50
	96	0.947	0.992	47.29	0.616	0.997	41.21	0.686	0.996	42.82

جدول ۶. آماره‌های برآورد شده از برازش مدل‌های چندجمله‌ای (درجه ۲ و ۳) در پاسخ به سطوح پیری تسریع یافته بذر گیاه چیا.

Table 6. Model parameter from fitted polynomial models (Quadratic and Cubic) on seed germination of Chia under the accelerated aging condition

صفات	پیری	درجه ۲			درجه ۳		
		Ageing (hour)	RMSE	R ² _{Adj}	AICc	RMSE	R ² _{Adj}
متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (روز) MGT (day)	0	0.596	0.553	41.79	0.153	0.956	-12.53
	24	0.488	0.760	39.39	0.275	0.886	-5.51
	48	0.598	0.777	41.83	0.169	0.973	-11.32
	72	0.750	0.491	44.55	0.425	0.754	-0.26
	96	0.721	0.713	44.06	0.354	0.896	-2.47
سرعت جوانه‌زنی (بر روز) GR (1/day)	0	0.055	0.741	13.20	0.039	0.804	-28.90
	24	0.060	0.502	14.23	0.024	0.875	-34.51
	48	0.050	0.460	11.98	0.029	0.722	-32.44
	72	0.042	0.741	10.12	0.015	0.949	-40.04
	96	0.105	0.335	21.01	0.085	0.359	-16.63
ضریب سرعت جوانه‌زنی CVG (%)	0	5.522	0.741	68.50	3.912	0.805	26.36
	24	6.011	0.503	69.52	2.468	0.875	20.83
	48	4.998	0.459	67.31	2.924	0.722	22.87
	72	4.275	0.741	65.43	1.552	0.949	15.26
	96	10.575	0.336	76.30	8.480	0.360	35.65
بینه بذر Vigor	0	1.398	0.983	51.96	1.366	0.975	13.68
	24	1.201	0.986	50.10	0.205	0.999	-16.74
	48	1.002	0.970	47.98	0.148	0.999	-17.98
	72	0.971	0.943	47.61	0.186	0.997	-11.71
	96	1.043	0.788	48.50	0.374	0.960	-1.97

نتیجه‌گیری

بذرهای زوال یافته گیاه چیا آستانه تحمل پایین‌تری نسبت به تنش شوری داشته و به نظر می‌رسد استفاده از بذرهای با کیفیت و کنترل شرایط انبارداری این گیاه از لحاظ رطوبت و دما می‌تواند راهکار مناسبی جهت استفاده از بذرهای سالم و با کیفیت در جهت توسعه کشت این گیاه در اراضی شور کشور باشد.

به‌طورکلی و با توجه به نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌ها، آستانه تحمل به تنش شوری بر اساس درصد جوانه‌زنی نهایی در شرایط صفر، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت تیمار پیری تسریع یافته به‌ترتیب ۱۰۰، ۵۰، ۵۰ و ۵۰ میلی‌مولار (کاهش معنی‌دار صفت درصد جوانه‌زنی نسبت به شرایط بدون تنش شوری) بدست آمد؛ بنابراین این‌گونه استنباط می‌شود که

منابع

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigour determination of soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6): 630-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Abin, A. and Eslami, S.V. 2009. Influence of maternal environment on salinity and drought tolerance of annual sow thistle (*Sonchus oleraceus* L.) at germination and emergence stage. *Weed Research Journal*, 1(2): 1-12. [In Persian with English Summary].
- Almansouri, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231(2): 243-254. <https://doi.org/10.1023/A:1010378409663>
- Basra, S.M.A., Ahmad, N., Khan, M.M., Iqbal, N. and Cheema, M.A. 2003. Assessment of cottonseed deterioration during accelerated ageing. *Seed Science and Technology*, 31(3): 531-540. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.02>
- Bessa, M.C., Lacerda, C.F., Amorim, A.V., Bezerra, A.M.E. and Lima, A.D. 2017. Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian semi-arid. *Revista Ciência Agrônômica*, 48(1): 157-165. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170018>
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram Quam-and Stimulation of 13. Widholm. M. dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(2487): 254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chauhan, B.S., Gill, G. and Preston, C. 2006. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Oriental mustard (*Sisymbrium orientale*). *Weed Science*, 54(6): 1025-1031. <https://doi.org/10.1614/WS-06-092.1> ; <https://doi.org/10.1614/WS-06-087R.1>
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2001. Principles of Seed Science and Technology. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 18-25. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4>
- Dehghan, A., Bannayan Awal, M., Khajehossaini, 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 Summary].
- Dell Aquila, A. and Di Turi, M. 1996. The germination response to heat and salt stress in evaluating vigour loss in aged wheat seeds. *Seed Science and Technology*, 24: 309-319.
- Delouche, J.C. and Baskin, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*, 1: 427-452.
- Eisvand, H. and Farajollahi, Z. 2017. Study of seed storability and seed physiological quality of two ecotypes of sage (*Salvia officinalis*) using AA test. *Journal of Plant Production Research*. 24(2): 147-151. [In Persian with English Summary].

- Ellis, R.A. and Roberts, E.H. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9: 373-409.
- Esechie H. 1994. Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172(3): 194-199. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1994.tb00166.x>
- Fallahi, H.R., Mohammadi, M., Aghhavani-Shajari, M. and Ranjbar, F. 2015. Determination of germination cardinal temperatures in two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars using non-linear regression models. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4): 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.004>
- Fatahi, G., Hesami, E. and Ardalan, N. 2015. Investigation of salinity and moisture on the germination of weed seeds mallow, barnyard grass and johnson grass in terms of deterioration of seeds. *Journal of Weed Ecology*, 3(2): 63-79. [In Persian with English Summary].
- Ghasemi Golazani, K., Mazloumi-Oskoe, R., Rahimzadeh-Khoeh, F. and Alizadeh, B. 2007. Changes in seed vigor of *Phaseolus vulgaris* at different stages of maturity under limited irrigation conditions. *Agricultural Science*, 17(3): 91-99. [In Persian with English Summary].
- Guiotto, E.N., Ixtaina, V.Y., Tomás, M.C.M. and Nolasco, S.M. 2013. Moisture-dependent engineering properties of chia (*Salvia hispánica* L.) seeds. In: *Food Industry*. Chapter 17. INTECH Publication, 381-397.
- Hadian, J., Kohzadi, B., Asadi, M., Shafie Zargar, A.R. and Ghorbanpour, M. 2019. Evaluation of Growth, Yield Characteristics and Oil Components of Two Chia (*Salvia hispanica* L.) Varieties in Different Planting Dates. *Journal of Medicinal Plants*, 2: 59-72. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.29252/jmp.2.70.59>
- Hajivand Ghassemabadi, F., Eisvand, H. and Akbarpour, O.A. 2018. Evaluation of salinity tolerance of different clover species at germination and seedling stages. *Plant Physiology*, 8(3): 2469-2477.
- Iglesias-Puig, E. and Haros, M. 2013. Evaluation of performance of dough and bread incorporating chia (*Salvia hispanica* L.). *European Food Research and Technology*, 237(6): 865-874. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2067-x>
- ISTA. 2012. International rules for seed testing, edition 2012. Did you mean: International Seed Testing Association Bassersdorf, Switzerland.
- Jame, Y.W. and Cutforth, H.W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3-4): 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.012>
- Khajeh-Hosseini, M., Powell, A.A. and Bingham, I.J. 2003. The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soybean seeds. *Seed Science and Technology*, 31(3): 715-725. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.20>
- Kibinza, S., Vinel, D., Côme, D., Bailly, C. and Corbineau, F. 2006. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. *Physiologia Plantarum*, 128(3): 496-506. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00771.x>
- Kucera, M. and Turner, R. 1973. Changes in activity of proteases during embryogenesis of *Anagasta kuehniella* (insecta). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 44(2): 577-585. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(73\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(73)90031-X)
- Leal, C.C.P., Torres, S.B., de Lima Dantas, N.B., Aquino, G.S.M. and Alves, T.R.C. 2020. Water stress on germination and vigor of 'Mofumbo' (*Combretum leprosum* Mart.) seeds at different temperatures. *Revista Ciência Agronômica*, 51(1): 1-7. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200013>

- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2(2): 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Matthews, S. and Khajeh Hosseini, M. 2006. Mean germination time as an indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Science and Technology*, 34: 339-347. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.2.09>
- Mohssen Nasab, F., Sharafi Zadeh, M. and Siadat, A. 2010. Study the effect of aging acceleration test on germination and seedling growth of wheat cultivars in controlled conditions (in Vitro). *Crop Physiology Journal*, 2(7): 59-71. [In Persian with English Summary].
- Panahi, M., Akbari, G.A. Roustakhiz, J. and Golbashi, M. 2012. Response of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) to salinity stress via germination and early seedling growth. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 1(2): 211-222. [In Persian with English Summary].
- Parmoon, G., Moosavi, S.A., Akbari, H. and Ebadi, A. 2015. Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop Journal*, 3(2): 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.11.003>
- Parmoon, G., Moosavi, S.A., and Siadat, S.A. 2019. Performance of Iranian okra ecotypes under various accelerated aging conditions. *Horticultural Plant Journal*, 5(1): 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.09.001>
- Poori, K., Akbari, F. and Ghaderi-Far, F. 2012. Response of deteriorated cotton seed to salinity stress at germination and seedling growth stages. *Journal of Plant Production*, 19(2): 53-68. [In Persian with English Summary].
- Rehman, S., Harris, P.J.C. and Bourne, W.F. 1999. Effect of artificial ageing on the germination, ion leakage and salinity tolerance of *Acacia tortilis* and *A. coriacea* seeds. *Seed Science and Technology*, 27(1): 141-149.
- SAS Institute. 2012. SAS/OR 9.3 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS Institute.
- Scheer, J.F. 2011. *The Magic of Chia: Revival of an Ancient Wonder Food*. North Atlantic Books. 13-21.
- Scott, S.J., Jones, R.A. and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24: 1192-1198. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>
- Setayesh Mehr, Z. and Esmaeilzadeh Bahabadi, S. 2013. Effect of salt stress on some physiological and biochemical characteristics in *Coriandrum sativum* L. *Journal of Plant Production*, 20(3): 111-128. [In Persian with English Summary].
- Seyedi, A., Parsa Motlagh, B. and Yazdani-Biouki, R. 2019. Introduction of Chia (*Salvia hispanica* L.) as a valuable crop plant and medicinal plant. *Iranian Medicinal Plants Technology*, 2(1): 63-72. [In Persian with English Summary].
- Soltani, A. 2007. *Application of SAS in statistical analysis*. Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Press (2th ed.). 182p. (In Persian).
- Tahmasbi, B., Ghaderi-Far, F., Sadeghipour, H.R. and Galeshi, S. 2015. Enhanced accumulation of fatty acids and lipid hydroperoxides during ageing of sunflower seeds. *Journal of Plant Process and Function (Iranian Society of Plant Physiology)*, 4: 73-83. [In Persian with English Summary].

Research Article

Investigation of Seed Germination Responses of Aged Chia (*Salvia hispanica*) Seeds to Different Levels of Salinity Stresses by Three Models

Amin Haghghi¹, Yazdan Izadi², Miad Haji Mahmoudi¹, Seyed Amir Moosavi^{3,*}

Extended Abstract

Introduction: Seed germination and seedling emergence depend on the genetics of plant species and are also influenced by environmental factors. Genetics and nutritional status of the maternal plant, maturity stage at a time of harvest, and environmental factors such as temperature, salinity, drought, and soil fertility influence seed germination. Seed vigor as the main parameter of seed quality decreases due to accelerated aging and storage. The objective of this study was to evaluate the response of accelerated aged Chia seed to different levels of salinity stress.

Material and Methods: Two-way factorial experiment with experimental factors including five levels of seed accelerated aging durations (0, 24, 48, 72, 96 h) and six levels of salinity stress (0, 50, 100, 150, 200, and 250 mM) was arranged based on a complete randomized block design with three replications. The experiment was conducted at seed technology laboratory of Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, in 2019.

Results: Results of analysis of variance revealed that the effect of seed accelerating aging, salinity stress, and interaction effects of both factors on all measured germination traits were significant ($p < 0.01$). The best pattern of seed germination was evaluated using three-parameter sigmoid models (logistic, Gompertz, and sigmoidal) and two polynomial models (quadratic and cubic), then the performance of all models was compared using (R^2_{adj}), root square of the mean (RMSE) and corrected Akaike index (AICc). Results showed that at accelerated aging duration, models' performance to describe Chia seed germination response varied at different levels of salinity stress. At no aging and 72h of accelerated aging treatments, the sigmoidal model exhibited the best fit on final seed germination, whereas for the other levels of accelerated aging, Gompertz exhibited the best fit. Based on the output of the sigmoidal model, for no aging and 72 hours of accelerated aging, 50% of seed germination was declined at 171.7 and 76.9 mM, respectively, and based on the results of the Gompertz model, after 24 and 48 h of accelerated aging, seed germination declined to 50% at 163.8 and 129.6 mM. Results obtained from fitting polynomial models on seed germination showed that the cubic model provides reasonable descriptions for studied traits such as seed vigor.

Conclusion: Chia seed germination was sensitive to salinity and accelerated aging treatments. At no aging condition, Chia seeds tolerate salinity stress up to 200 mM and were able to germinate. By increasing aging durations, seed germination declined dramatically at all salinity levels and after 96 hours of aging, there was no seed germination at 150 mM.

Keywords: Accelerated aging, Nonlinear regression models, Osmotic stress, Seed vigor.

Highlights:

- 1- The best nonlinear model to study accelerated Chia seed response to salinity stress was selected using the model selection criterion.
- 2- Chia seed germination threshold to salinity stress was determined for not- aged and aged seeds.

¹ Former Master student of Seed Science and Technology Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

² Ph.D. Candidate Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³ Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

* Corresponding author, E-mail: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

