

کمی سازی خصوصیات جوانه زنی بذر اسفرزه (*Plantago ovata*) تحت تاثیر رژیم های دمایی و تنش خشکی

عباس هاشمی^۱، رضا توکل افشاری^{۲*}، لیلا تبریزی^۳ و شیوا باروتی^۴

۱. دانش آموخته دکتری علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد

۳. استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱)

چکیده

خواص دارویی و تاثیر اسفرزه (*Plantago ovata*) بر مکانیسم های فعالیت بدن در بسیاری از مطالعات گزارش شده است، به طوری که بذر این گیاه در ردیف مفیدترین، موثرترین و بی ضررترین و در عین حال ملایم ترین ملین های گیاهی است. خشکی یکی از عوامل محدود کننده و خطری جدی برای تولید موفقیت آمیز گیاهان زراعی می باشد. در مطالعه ای آزمایشگاهی، به منظور ارزیابی ویژگی های جوانه زنی و سبز شدن اسفرزه در پاسخ به تنش خشکی در دماهای مختلف، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه بذر گروه زراعت دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. تیمارها شامل هفت دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) بودند. در هر دما برای ایجاد تنش خشکی در چهار سطح (صفر، -۴، -۸ و -۱۲ بار) از پلی اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ استفاده شد. اعمال تنش خشکی در دماهای مختلف بر بذرهای اسفرزه نشان داد که بذرها در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین میزان جوانه زنی را داشتند. تحت تاثیر سطوح تنش خشکی در دماهای مختلف پارامترهای جوانه زنی، شامل درصد، سرعت و یکنواختی جوانه زنی، کاهش یافتند و هیچ گونه جوانه زنی در پتانسیل -۱۲ مشاهده نشد. با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی گراد، شرایط مناسب تری از لحاظ دمایی، برای جوانه زنی بذر ایجاد شد و باعث بهبود تحمل به تنش خشکی گردید. طبق مدل دو تکه ای افزایش شدت تنش خشکی باعث شد که حداکثر دمایی که بذر اسفرزه می تواند در آن جوانه زند، از ۳۴ به ۳۰ درجه سانتی گراد کاهش یابد.

واژه های کلیدی: یکنواختی جوانه زنی، دما کاردینال، گیاه دارویی، پتانسیل آب

Quantifying seed germination response of *Plantago ovata* under temperature and drought stress regimes

A. Hashemi¹, R. Tavakol Afshari^{2*}, L. Tabrizi³, Sh. Barooti⁴

1. Ph.D, seed science and technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3. Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

4. Ph.D. student of agriculture, Faculty of Agriculture, Shiraz University

(Received: Oct. 16, 2021 – Accepted: Mar. 12, 2022)

Abstract

In many studies, the medicinal properties and impact of *P. ovata* on mechanisms of human physical activities has been proven. So that one of the most useful, effective and harmless herbal laxative. Drought is one of the limiting factors and a serious danger for the successful production of crops. An experiment was conducted to study germination characteristics of *P. ovata* under water and drought stress conditions at different temperatures. The experiment was conducted at the lab of University of Tehran, Karaj, in 2015. Temperatures regimes included 5, 10, 15, 20, 25, 30, and 35 °C. For each temperature, the treatment for drought and water stress was four potentials (zero, -4, -8 and -12 bar) with PEG. The effects of drought stress on seed germination of *plantago ovata* at different temperatures showed the highest resistance to drought at 20 °C. drought stress at different temperatures reduced germination parameters and in the potential -12 germination stopped. Increased temperatures until the 20 °C, resulted in better conditions for seed germination and improve the drought stress tolerance. According to segment model, increased severity of drought causes the reduction of chilling temperature range from 34 °C to 30 °C in which the seed can germinate.

Key word: Uniformity of germination, Cardinal temperature, Medicinal plant, Water potential

* Email: tavakolafshari@um.ac.ir

مقدمه

تنش خشکی یکی از مشکلات تولید فرآورده‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط دنیا به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک است. واژه خشکی یک اصطلاح هواشناسی است و معمولاً به صورت یک دوره بدون بارندگی کافی تعریف می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007). بیش از ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی به طور دائم در معرض خشکی قرار دارند و ۳۸ درصد جمعیت دنیا، در این مکان‌ها ساکن هستند (Ashraf and Foolad, 2007). اهمیت توجه به تنش‌های غیر زنده با افزایش نیاز غذایی و تقاضا برای زمین‌های قابل کشت و زراعت روز به روز در حال افزایش است. بذرهای که تحت تنش خشکی جوانه می‌زنند با کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه مواجه می‌شوند که این مسئله می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد. در اثر تنش خشکی شدت تنفس در بذر در حال جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. همین‌طور تورژسانس سلولی در ریشه‌چه و ساقه‌چه کم می‌شود که این امر می‌تواند سرعت رشد سلول‌ها و ابعاد آنها را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش آن‌ها شود. مهم‌ترین علت این اختلال را می‌توان به آسیب‌های وارده به غشای واکوئل (تنوپلاست) نسبت داد (Hashemi et al., 2016). همین‌طور در جریان تنش خشکی آنزیم‌های هیدرولیز کننده‌ای چون لیپاز فعال تر شده و ماحصل این امر می‌تواند در صدمه به غشاء سلول‌ها ظاهر شود. بررسی‌ها نشان داده است که بین تحمل به خشکی در طی مرحله جوانه‌زنی و نیز مراحل بعدی رشد ارتباط مثبتی وجود دارد (Ramoliya et al., 2004).

عمده آثار تنش خشکی بر بذرهای در حال جوانه‌زنی کاهش سرعت جوانه‌زنی است. زمانی که پتانسیل آب کمتر از حد بحرانی باشد، گیاه با تنش کمبود آب مواجه می‌شود که این تنش باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن گیاه چه می‌شود (Hashemi et al., 2020).

گیاهان دارویی در حیطه‌های مختلف پزشکی، صنعت، کشاورزی و غذا کاربردهای بسیاری دارند، به طوری که بسیاری از پزشکان و پژوهشگران برای درمان انواع سرطان‌ها به گیاهان دارویی امیدوار هستند (Delaram, 2011). خواص دارویی و تأثیر اسفرزه بر مکانیسم‌های فعالیت بدن در بسیاری از مطالعات گزارش شده است، به طوری که بذر این گیاه در ردیف مفیدترین، موثرترین و بی‌ضررترین و در عین حال ملایم‌ترین ملین‌های گیاهی است که از قرن‌ها پیش برای لینت مزاج تجویز شده است (Nakamura et al., 2005; Kamboj, 2000; Hashemi et al., 2018). معمولاً تنش خشکی در رابطه با گیاهان استقرار یافته و در حال رشد بررسی می‌شود و اغلب از پدیده‌هایی که در طی جوانه زدن بذر و سبز شدن آن از خاک اتفاق می‌افتد چشم پوشی می‌شود، در حالی که اصولاً این مرحله به کمبود آب کاملاً حساس بوده به نحوی که تنش خشکی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه شده و نتیجه آن استقرار غیر یکنواخت گیاهی و کاهش تولید بالقوه خواهد بود (Almansouri et al., 2001). هدف از این تحقیق ارزیابی پاسخ‌های دما رطوبتی و امکان پیش بینی قدرت سازگاری گیاه اسفرزه تحت شرایط دمایی و رطوبتی مختلف می‌باشد که ممکن است در آینده‌ای نه چندان دور به وقوع بپیوندد. بررسی مقاومت گیاه اسفرزه به تنش خشکی و تعیین دمای بهینه جوانه‌زنی در این تنش‌ها می‌تواند به توسعه کشت و کار این گیاه دارویی در کشور کمک کند.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه اسفرزه نسبت به سطوح مختلف دمایی و تنش خشکی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا در آمد. عامل دما شامل هفت سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) بود که در

$$R_{50} = \frac{1}{D_{50}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در رابطه بالا، D_{50} ، مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، و R_{50} ، سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. تعیین درجه حرارت‌های کاردینال (پایه، مطلوب و حداکثر) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی و درجه حرارت‌های مختلف صورت گرفت، که در آنها درجه حرارت‌های مختلف به عنوان متغیر مستقل (محور x) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور y) در نظر گرفته شدند (Amiri Monfard *et al.*, 2017). با استفاده از تجزیه رگرسیونی رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی نیز تعیین و نمودارهای مربوطه ترسیم شد.

در روش مدل دو تکه ای، برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی ابتدا نمودار مقادیر متوسط سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما ترسیم شد. سپس منطبق بر مدل ارائه شده توسط (Labouriau *et al.*, 1970) و (Biethuizen *et al.*, 1974) دو مدل ۱ و ۲ به طور همزمان به ترتیب برای محدوده دمایی پایه تا دمای بهینه (رابطه ۳) و دمای بهینه تا دمای بیشینه (رابطه ۴) و با استفاده از یک رابطه شرطی برازش داده شد:

$$GR = \frac{1}{t} = \frac{(T - T_b)}{\theta T_1} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$GR = \frac{1}{t} = \frac{(T - T_c)}{\theta T_2} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه‌ها فوق، T ، دمای محیط، T_b ، دمای حداقل، T_c ، دمای بیشینه، θT_1 مجموع زمان حرارتی بین دمای پایه تا دمای بهینه و θT_2 مجموع زمان حرارتی بین دمای بهینه تا بیشینه می‌باشد. دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه شده و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد (Rafiei Sardooi *et al.*, 2019). برای این منظور تغییرات سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما ترسیم شد. آنگاه با برازش رابطه ۳ به دماهای زیر حد بهینه و رابطه ۴ به دماهای بالای

هر یک از دماها به منظور ایجاد تنش خشکی چهار سطح پتانسیل اسمزی (شامل ۰، -۴، -۸، و -۱۲ بار) اعمال شد که طبق دستور العمل میشل و کافمن (۱۹۷۳) با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ ایجاد شد. همچنین برای ایجاد سطح تنش صفر بار (شاهد) در هر آزمایش از آب مقطر استفاده شد. بذرها به روش Top of paper درون ظروف پتری قرار داده شدند و به دمای مورد نظر انتقال یافتند. شمارش بذور جوانه زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش و به طور روزانه انجام گرفته و بذرهاى جوانه زده (دارای طول ریشه‌چه ۲-۱ میلی متر یا بیشتر) ثبت شد (Adam *et al.*, 2007; Brändel and Jensen, 2005). عمل شمارش بذور تا زمان اتمام جوانه‌زنی و یا تا زمانی که جوانه‌زنی به میزان ثابتی می‌رسید، به طور منظم ادامه پیدا کرد (Hashemi *et al.*, 2016). درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور در هر دما محاسبه شد. میانگین زمان جوانه‌زنی بذرها (MGT) با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد.

$$MGT = \frac{\sum (f_x x)}{\sum f_x} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه f_x : تعداد بذرهاى جوانه زده در روز x و x: روز شمارش بذرها می‌باشد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور از برنامه Germin (Soltani and Maddah, 2010) استفاده شد، که با استفاده از این برنامه، D_{10} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد)، D_{50} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D_{90} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) محاسبه شد (Barooti *et al.*, 2018). در این برنامه پارامترهای یاده شده (D_{10} ، D_{50} و D_{90}) برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌شود. برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از رابطه زیر استفاده شد (Saha *et al.*, 2008; Soltani *et al.*, 2002).

حد بهینه، دماهای کاردینال محاسبه شد.

برای تعیین دمای کاردینال با استفاده از مدل چند جمله‌ای درجه ۲ نیز از رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$f = a + bT + cT^2 \quad \text{رابطه ۵}$$

$$T_0 = b + 2cT \quad \text{رابطه ۶}$$

$$T_c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه‌ها ۵، ۶ و ۷، f: سرعت جوانه زنی (بر حسب روز)، T: درجه حرارت (بر حسب سانتی گراد)، T_0 ، T_b و T_c ، به ترتیب دمای پایه، دمای بهینه و دمای بیشینه، همچنین a، b و c ضرایب رگرسیون را نشان می‌دهند. در مدل چند جمله‌ای درجه ۲، درجه حرارت بهینه رابطه (۶) با استفاده از مشتق اول رابطه ۵ محاسبه شد. ریشه‌های رابطه چند جمله‌ای درجه ۲ (رابطه ۷) با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید (Hashemi et al., 2016). به منظور بررسی اثر دماهای مختلف بر درصد و سرعت جوانه زنی از تجزیه واریانس داده‌ها و همچنین جهت برازش مدل با استفاده از روش‌های رگرسیونی، به ترتیب از نرم‌افزارهای SAS 9.2 و Sigmaplot version 12 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دما و پتانسیل رطوبتی و برهمکنش آن‌ها بر همه خصوصیات جوانه زنی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). با بررسی خصوصیات جوانه زنی در دماهای مختلف تحت تنش خشکی، مشخص شد که افزایش شدت تنش باعث کاهش درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و یکنواختی جوانه زنی می‌شود و در واقع شرایط را برای جوانه زنی مناسب مختل می‌کند. هیچ گونه جوانه زنی در تنش خشکی ۱۲- بار، در هیچ یک از دماها مشاهده نشد. در

دمای ۵ درجه سلسیوس با اعمال تنش خشکی ۴- بار، درصد و سرعت جوانه زنی تفاوت معنی داری نداشت، اما با افزایش تنش به ۸- بار درصد جوانه زنی از ۹۳ درصد به ۷۰ درصد کاهش یافت همچنین سرعت جوانه زنی کم شد (جدول ۲). با افزایش دما از ۵ به ۱۰ درجه سلسیوس کلیه خصوصیات جوانه زنی بهبود یافت و تحمل به تنش خشکی در بذرهاى اسفرزه افزایش پیدا کرد، به گونه‌ای که در تنش خشکی ۸- بار ۸۷ درصد جوانه زنی مشاهده شد (جدول ۲). روند بهبود مقاومت به تنش خشکی با افزایش دما در ۱۵ درجه سلسیوس نیز مشاهده شد به گونه‌ای که بالاترین درصد جوانه زنی در تنش خشکی ۸- بار به میزان ۹۶ درصد در این دما بدست آمد، اما با این وجود، سرعت جوانه زنی مانند سایر دماها با افزایش تنش خشکی کاهش یافت که این تأیید کننده این مطلب است که سرعت جوانه زنی شاخص حساس تری نسبت به درصد جوانه زنی است (جدول ۲).

در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بهترین شرایط جوانه زنی بذر اسفرزه ایجاد شد به گونه‌ای که بالاترین سرعت جوانه زنی که شاخص بسیار مهمی در امر استقرار گیاهچه می‌باشد در شاهد به دست آمد (جدول ۲). با افزایش دما به ۲۵ درجه سلسیوس تحمل به تنش خشکی در جوانه زنی بذر اسفرزه کاهش یافت به طوری که در پتانسیل ۸- بار درصد جوانه زنی افت شدیدی پیدا کرد و از ۸۶ درصد در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به ۲۸ درصد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس رسید. در دمای ۳۰ درجه سلسیوس هیچ گونه جوانه زنی در شرایط تنش خشکی مشاهده نشد و تنها به میزان ۴۳ درصد جوانه زنی در شاهد بدست آمد که این موضوع افزایش حساسیت جوانه زنی بذر اسفرزه به تنش خشکی را با بالا رفتن دما نشان می‌دهد (جدول ۲). در دمای ۳۵ درجه سلسیوس نیز جوانه زنی در تمامی تیمارها متوقف شد که این موضوع نشان دهنده حساسیت بالای اسفرزه به دمای بالا می‌باشد.

جدول ۱- نتایج میانگین مربعات ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر اسفرزه تحت تیمار تنش خشکی در دماهای مختلف

Table 1- Mean square of Analysis of variance of the effect of temperature and drought on germination characteristics

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	یکنواختی جوانه‌زنی Gu	D90
پتانسیل آب Water potential	3	32631.38**	0.0031**	9251.34**	37359.4**
دما Temperature	6	15072.28**	0.0019**	3397.54**	22521.7**
پتانسیل آب*دما Temperature * Water potential	18	2289.93**	0.0009**	1162.89**	5214.03**
خطا Error	81	24.97	0.000006	73.2	52.64
ضریب تغییرات cv		10.17	20.61	21.92	13.65

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

**- significantly different P= 0.01

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی اسفرزه در سطوح مختلف تنش خشکی و دماهای مختلف جوانه‌زنی

Table 2- Mean comparison of germination characteristics of *plantago ovata* under different levels of drought and different temperature

خشکی Drought	دما Temperature C°	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (R50)	یکنواختی جوانه‌زنی Gu	D90
شاهد control	5	93 ^{ab}	0.0097 ^{hi}	71.05 ^a	148.49 ^b
	10	99 ^a	0.0154 ^{fg}	38.01 ^{de}	89.37 ^d
	15	99 ^a	0.0264 ^d	35.19 ^e	61.96 ^f
	20	98 ^a	0.0688 ^a	35.99 ^e	38.9 ^f
	25	97 ^a	0.0463 ^b	39.91 ^{de}	44.43 ^f
	30	43 ^d	0.0123 ^{gh}	61.1 ^{abc}	113.3 ^e
-4	5	93 ^{ab}	0.0093 ^{hi}	59.21 ^{abc}	139 ^b
	10	96 ^a	0.0128 ^{fgh}	42.19 ^{de}	97.77 ^d
	15	99 ^a	0.0254 ^d	38.84 ^{de}	35.19 ^e
	20	99 ^a	0.0323 ^c	34.22 ^e	46.83 ^f
	25	92 ^{ab}	0.0248 ^d	50.52 ^{cd}	69.61 ^e
	30	0	0	0	0
-8	5	70 ^c	0.0064 ⁱ	45.13 ^{de}	179.9 ^a
	10	87 ^b	0.0092 ^{hi}	58.18 ^{bc}	139.08 ^b
	15	96 ^a	0.0152 ^{fg}	41.79 ^{de}	93.01 ^d
	20	86 ^b	0.0163 ^{fd}	64.21 ^{ab}	98.3 ^d
	25	28 ^e	0.0259 ^d	34.85 ^e	61.8 ^e
	30	0	0	0	0

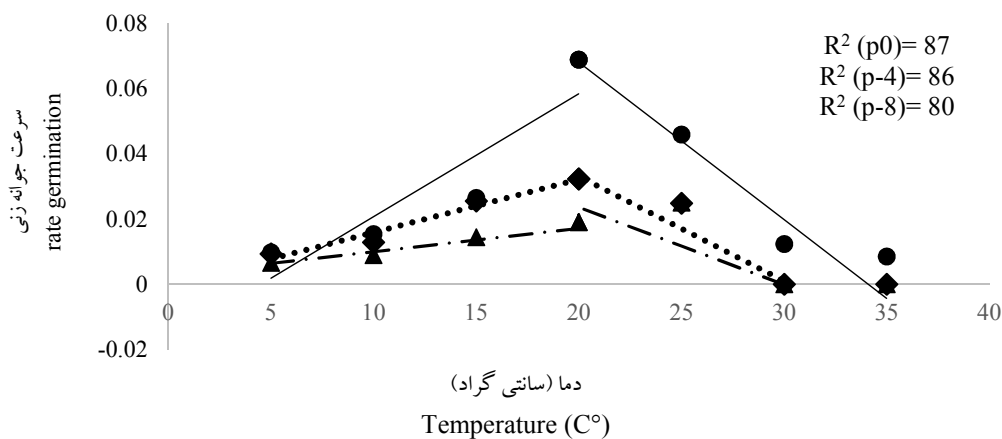
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

Values followed by different letters are significantly different according to Duncan test, P= 0.05

آب سلول‌های در حال رشد، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. در حقیقت تنش خشکی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، تأثیر بر حرکت و انتقال ذخایر بذر در هنگام جوانه‌زنی و یا با تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین جنین، جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (Dodd and Donovan, 1999).

دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر اسفرزه تحت تنش خشکی محاسبه و نمودار دو تکه‌ای و درجه دو برای پتانسیل‌های خشکی مختلف ترسیم شد (شکل‌های ۱ و ۲). در هر دو مدل دو تکه‌ای و درجه دو با افزایش تنش خشکی، دمای پایه کاهش پیدا کرده است (جداول ۳ و ۴)، اما دمای بهینه جوانه‌زنی بذر اسفرزه پاسخ‌های متفاوتی را در تنش‌های خشکی مختلف نشان داد، به گونه‌ای که در پتانسیل خشکی ۴- بار در هر دو مدل کاهش یافت، اما با افزایش شدت تنش خشکی به ۸- بار افزایش پیدا کرد. افزایش شدت تنش خشکی تا ۴- بار باعث کاهش دمای بیشینه جوانه‌زنی بذر اسفرزه شد و این کاهش شدید بود به نحوی که با اعمال تنش خشکی ۴- بار دمای بیشینه جوانه‌زنی بذر اسفرزه حدود ۳/۸ درجه سلسیوس کاهش یافت و به ۳۰/۳ درجه سلسیوس رسید.

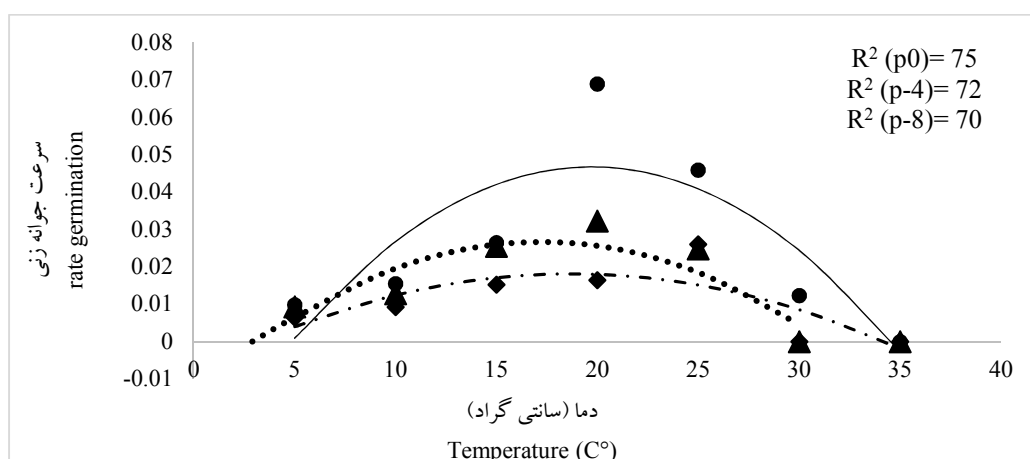
در کل با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که خصوصیات جوانه‌زنی بذر اسفرزه با افزایش دما از ۵ درجه سلسیوس تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، بهبود پیدا می‌کند، اما با افزایش دما به بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد خصوصیات جوانه‌زنی مانند درصد و سرعت افت می‌کند و تحمل به خشکی در بذرهای اسفرزه کاهش می‌یابد که این موضوع نشان دهنده حساسیت اسفرزه به دمای بالا را تأیید می‌کند. نتایج بدست آمده در این پژوهش با گزارش‌های سایر محققان نیز هم خوانی دارد. کاروانی و همکاران (Karevani et al., 2014) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی و شوری در دماهای مختلف، کلیه خصوصیات جوانه‌زنی بذر گل سازویی *Scrophularia striata* شامل درصد جوانه‌زنی کل و نرمال، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و شاخص بینه کاهش یافت و بذور این گونه نیز در همه دماها مقاومت بیشتری در برابر تنش شوری نسبت به خشکی نشان دادند و شاخص‌های جوانه‌زنی در تنش شوری نسبت به تنش خشکی کمتر تحت تأثیر قرار گرفتند. در تعدادی از مطالعات کاهش جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش رطوبت سلول و تأثیر آن بر ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌ها نسبت داده شده است. به طور کلی به دلیل کاهش پتانسیل



شکل ۱- تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر اسفرزه تحت تنش خشکی بر اساس مدل دو تکه‌ای (Segment model $y = a + bx$).

نمادها مقدار مشاهده شده را در پتانسیل‌های ۰ (دایره)، ۴- (لوزی) و ۸- (مثلث) و خطوط مقدار پیش بینی شده را نشان می‌دهد.

Fig. 1- Cardinal temperature changes under drought stress based on segment model. The symbols shows observed germination and the fitted curves shows predict germination.



شکل ۲- تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر اسفرزه تحت تنش خشکی بر اساس مدل درجه دو (Beta model $y = a + bx^2 + cx$). نمادها مقدار مشاهده شده را در پتانسیل‌های ۰ (دایره)، ۴- (لوزی) و ۸- (مثلث) و خطوط مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

Fig. 2- Cardinal temperature changes under drought stress based on beta model. The symbols shows observed germination and the fitted curves shows predict germination.

جدول ۳- تغییرات دماهای کاردینال تحت تنش خشکی بر اساس مدل دو تکه‌ای

Table 3- Changes of cardinal temperature under drought stress based on segment model

پتانسیل آب Water potential	دمای پایه Base Temperature C°	دمای بهینه optimum Temperature C°	دمای بیشینه chilling Temperature C°
0	4.5	21.1	34.1
-4	1.24	20.19	30.33
-8	1	22.08	29.94

جدول ۴- تغییرات دماهای کاردینال تحت تنش خشکی بر اساس مدل درجه دو

Table 4- Changes of cardinal temperature under drought stress based on beta model

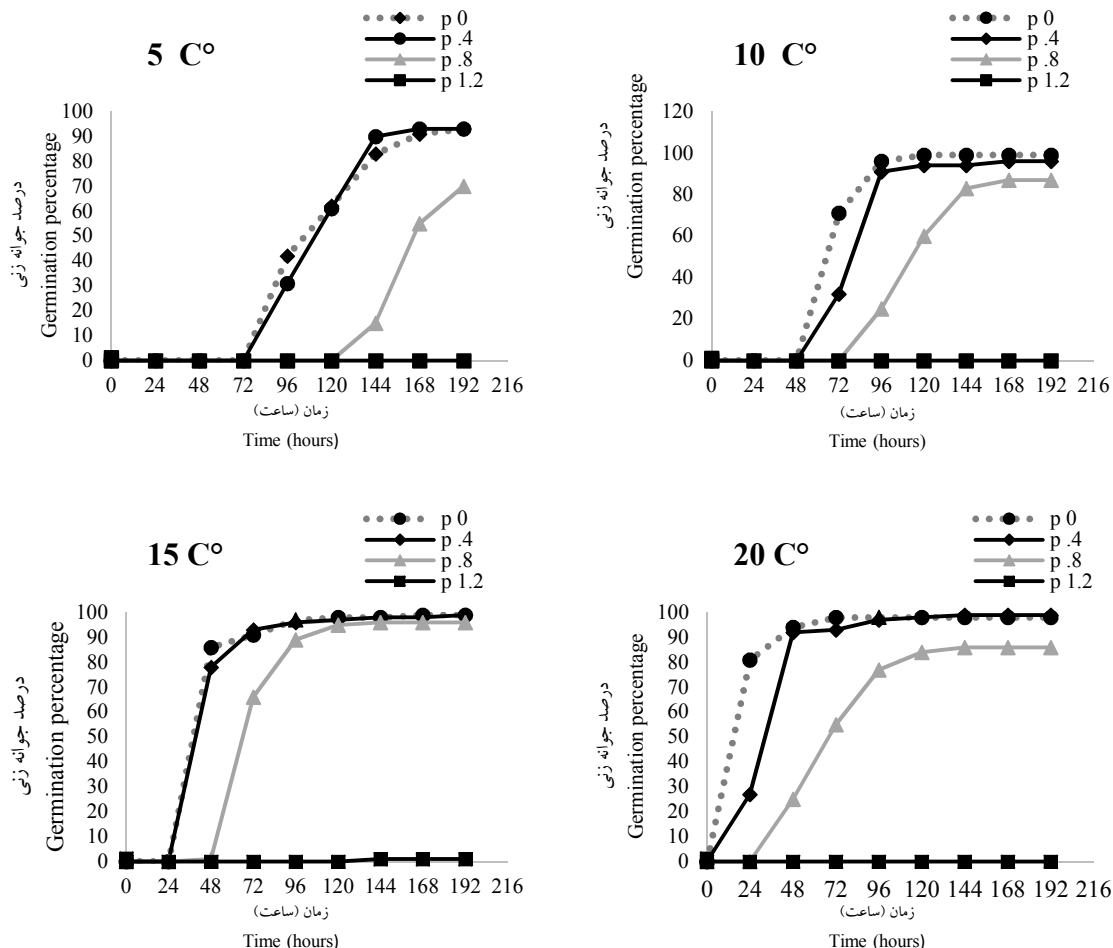
پتانسیل آب Water potential	دمای پایه Base Temperature C°	دمای بهینه optimum Temperature C°	دمای بیشینه chilling Temperature C°
0	4.5	21.1	34.1
-4	3.19	17.23	31.26
-8	3.15	18.7	34.25

هیچگونه جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل ۳). در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیز همانند دمای ۵ درجه سانتی‌گراد حالت بدون تنش شرایط بهتری را از نظر شروع سریع‌تر جوانه‌زنی داشت. همچنین در این دما وضعیت سرعت جوانه‌زنی در تنش ۸- بار نسبت به دمای ۵ درجه سلسیوس بهتر بود به گونه‌ای که در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و تنش ۸- بار بعد

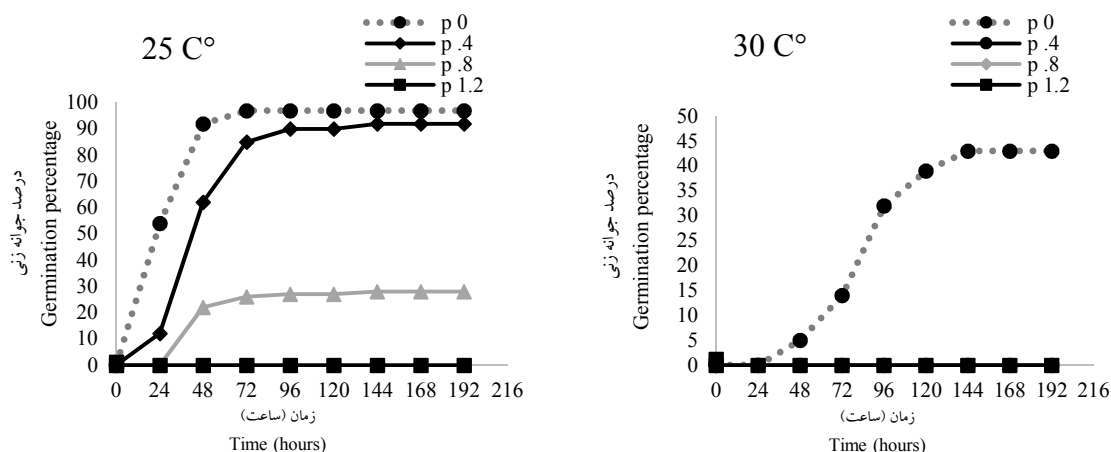
در شکل ۳ میزان جوانه‌زنی تجمعی (درصد) اسفرزه در شرایط اعمال خشکی‌های مختلف، در دماهای متفاوت نشان داده شده است. در دمای ۵ درجه سلسیوس سرعت جوانه‌زنی در حالت بدون تنش سریع‌تر بود و با اعمال تنش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی نهایی کاهش پیدا کرده است. همچنین با افزایش شدت تنش به ۱۲- بار دیگر

انجام شد. در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل ۴- بار بعد از ۲۴ ساعت تنها حدود ۲۵ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد و افزایش تنش به ۸- بار مانع از جوانه‌زنی بذر اسفرزه در ۲۴ ساعت اولیه شد. با افزایش دما به ۲۵ درجه سلسیوس حساسیت به تنش خشکی زیاد شد به نحوی که در پتانسیل خشکی ۸- بار جوانه‌زنی نهایی تنها به حدود ۲۵ درصد رسید، در حالی در همین دما و حالت بدون تنش درصد جوانه‌زنی نهایی حدود ۹۵ درصد بود. در دمای ۳۰ درجه سلسیوس نیز فقط در حالت بدون تنش ۴۳ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد و در تنش خشکی بذرهای اسفرزه نتوانستند در این دما جوانه بزنند.

از ۹۶ ساعت جوانه‌زنی شروع شد، در حالی که در دمای ۵ درجه سلسیوس و تنش ۸- شروع جوانه‌زنی بعد از گذشت ۱۴۴ ساعت انجام شد. با افزایش دما به ۱۵ درجه سلسیوس با وجود اینکه وضعیت سرعت جوانه‌زنی همانند دماهای پایین بود و در حالت بدون تنش سریع تر بود، اما درصد جوانه‌زنی نهایی به جز پتانسیل ۱۲- که به هیچ عنوان جوانه‌زنی رخ نداد، در سایر تنش‌ها مشابه حالت بدون تنش بود و این موضوع نشان دهنده بهبود تحمل به تنش خشکی با افزایش دما است. سریع ترین شروع جوانه‌زنی مربوط به دمای ۲۰ درجه سلسیوس بود که در حالت بدون تنش بعد از گذشت ۲۴ ساعت حدود ۸۰ درصد جوانه‌زنی در بذرهای اسفرزه



شکل ۳- میزان جوانه‌زنی تجمعی (درصد) اسفرزه در شرایط اعمال سطوح مختلف تنش خشکی در دماهای متفاوت. نمادها مقدار مشاهده شده را در پتانسیل‌های ۰ (دایره)، ۴- (لوزی)، ۸- (مثلث) و ۱۲- (مربع) خطوط مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.
 Fig. 3- Cumulative germination percentage of *plantago ovata* under different levels of Drought and different temperature.
 The symbols show observed germination and the fitted curves shows predict germination.



ادامه شکل ۳

Fig. 3- Continued

می‌گردد و تحمل به تنش خشکی آن بهبود می‌یابد، که در نهایت باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود، اما تأثیر محسوسی در درصد جوانه‌زنی نهایی بذر اسفرزه ندارد و این موضوع حاکی از آن است که سرعت جوانه‌زنی بذر اسفرزه که در بحث استقرار اهمیت بیشتری نسبت به درصد جوانه‌زنی دارد، شاخص حساس تری نسبت به درصد جوانه‌زنی نهایی می‌باشد و با افزایش دما تا ۲۰ درجه سلسیوس روندی صعودی و پس از آن روندی نزولی را طی می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج مشخص شد که کلیه خصوصیات جوانه‌زنی بذر اسفرزه تحت تنش خشکی کاهش یافتند. دماهای کاردینال تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت و در کل پنجره دمایی جوانه‌زنی بذر اسفرزه (محدوده‌ای از دما که بذر می‌تواند در آن جوانه بزند) تحت تنش خشکی محدود شد. چنین به نظر می‌رسد که با افزایش دما، شرایط بهینه‌تری از لحاظ دمایی، برای جوانه‌زنی بذر اسفرزه ایجاد

Reference

منابع

- Adam, N., D. Dierig, T. Coffelt, M. Wintermeyer, B. Mackey, and G. Wall. 2007. Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. *Ind. Crops Prod.* 25(1): 24-33.
- Almansouri, M., J-M. Kinet, and S. Lutts. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil.* 231(2):243-254.
- Amiri Monfared, V., A. Hashemi, A. Mamedi, and R. Tavakkol Afshari. 2017. Evaluation of germination characteristics and determination of cardinal temperatures of poppy (*Papaver somniferum*) seed. *Seed Sci. Technol.* 6(2): 229-239. (In Persian)
- Ashraf, M., and M. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59(2): 206-216.
- Barooti, S., R. Tavakkol Afshari, N.M. Hoseini, and A. Hashemi. 2018. Evaluation of germination and determination of cardinal temperatures of *Cannabis sativa* by using regression models. *Seed Sci. Technol.* 7(1): 127-136. (In Persian)

- Bierhuizen, J. F., and W. A. Wagenvoort. 1974.** Some aspects of seed germination in vegetables. I. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. *Sci. Hortic.* 2: 213-219.
- Brändel, Markus, and K. Jensen. 2005.** Effect of temperature on dormancy and germination of *Eupatorium L.* achenes. *Seed Sci. Res.* 15: 143-151.
- Delaram, M. 2011.** The effect of *Echinophora-platyloba* on primary dysmenorrhea. *J. Kermanshah Univ. Med. Sci.* 15(3): 42-47.
- Dodd, Geraldine L., and L. A. Donovan. 1999.** Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *Am. J. Bot.* 86(8): 1146-1153.
- Hashemi, A., F. Sharifzadeh, R. Maali Amiri, and R. Tavakkol Afshari. 2020.** Evaluation of Germination of Safflower Seed (*Carthamus tinctorius L.*) Faraman Cultivar, Under Water Deficite Stress and Determination of Cardinal Germination Temperatures. *Seed Sci. Technol.* 9(3): 73-83. (In Persian)
- Hashemi, A., R. Tavakkol Afshari, and L. Tabrizi. 2016.** The evaluation of germination parameters and cardinal temperatures of *Plantago ovata*. *J. Field Crops Sci.* 47(1): 1-7. (In Persian)
- Hashemi, A., R. Tavakkol Afshari, L. Tabrizi, and S. Barooti. 2016.** Effects of salinity on seed germination indices of blond plantain (*Plantago ovata*) at different temperatures. *J. Field Crops Sci.* 47(2): 233-242. (In Persian)
- Hashemi, A., R. Tavakkol Afshari, L. Tabrizi, and S. Barooti. 2018.** The modeling of *Plantago ovata* seed viability under various storage conditions. *Seed Sci. Technol.* 7(2): 95-104. (In Persian)
- Hashemi, A., S. Barooti, and R. Tavakkol Afshari. 2016.** Determine the cardinal temperatures of seed germination in *Chrysanthemum maximum Ramond.* *Seed Sci. Technol.* 5(2): 77-84. (In Persian)
- Kamboj, V. 2000.** Herbal medicine. *Current Sci. Bangalore.* 78(1): 35-38.
- Labouriau, L. G. 1970.** On the physiology of seed germination in *Vicia graminea Sm.* 1. *Anais Acad. Bras. Cienc.* 42(2): 235-62.
- Nakamura, Y., N. Yoshikawa, I. Hiroki, K. Sato, K. Ohtsuki, C. Chang, B.L Upham, and J. E. Trosko. 2005.** β -Sitosterol From Psyllium Seed Husk (*Plantago ovata Forsk*) Restores Gap Junctional Intercellular Communication in Ha-ras Transfected Rat Liver Cells. *Nutr. Cancer.* 51(2): 218-225.
- Rafiei Sardooi, E., A. Hashemi, H. Eskandari Damaneh, H. Khosravi, and S. Barkhori. 2019.** Assessment of Seed Germination of *Moringa peregrina* under Drought and Salinity Stress and its Cardinal Germination Temperatures in Laboratory Environment. *Desert Ecosyst. Eng. J.* 2(1): 21-30. (In Persian)
- Ramoliya, P., H. Patel, and A. Pandey. 2004.** Effect of salinization of soil on growth and macro-and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Salvadora persica* (Salvadoraceae). *For. Ecol. Manage.* 202(1): 181-193.
- Saha, P., S. Raychaudhuri, D. Mishra, A. Chakraborty, and Sudarshan, V. 2008.** Role of trace elements in somatic embryogenesis – A PIXE study. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 266: 918-920
- Soltani, A., and V. Maddah. 2010.** Simple, applied programs for education and research in agronomy. Shahid Beheshti University Press, Tehran, Iran. (In Persian)
- Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali, and N, Latifi. 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60. (In Persian)