



تعیین دماهای کاردینال و ارزیابی واکنش جوانه‌زنی بذر پنج اکوتیپ گیاه دارویی بذرالبنج (*Hyoscyamus SPP.*) نسبت به دما و پتانسیل آب

امیررضا اکبرفخرآبادی^۱، رضا توکل افشاری^{۲*}، مجید تولیت ابوالحسنی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

۳. استادیار مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲)

چکیده

بذرالبنج (*Hyoscyamus SPP.*) از تیره سیب‌زمینی و بدلیل وجود آلکالوئیدهایی مانند آتروپین، هیوسيامین و اسکوپولامین بر سیستم عصبی انسان موثر است، از بین گونه‌های یکساله و چند ساله این جنس ۵ تای آنها از گونه‌های بومی مناطق مازندران، زنجان، همدان، دشتی و دیر می‌باشند. این تحقیق با هدف تعیین دماهای کاردینال و ارزیابی واکنش جوانه‌زنی پنج جمعیت بذرالبنج نسبت به دما و پتانسیل آب انجام گرفت. برای این منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و با چهار تکرار صورت پذیرفت. تیمارهای آزمایشی شامل هشت سطح دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و شش سطح پتانسیل آب (صفر، -۰/۲، -۰/۳، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۹ مگاپاسکال) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش پتانسیل آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌ها کاهش یافت. برآورد دماهای کاردینال نشان داد که دمای پایه و دمای سقف پنج اکوتیپ مورد مطالعه یکسان و به ترتیب برابر ۸ و حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین دمای مطلوب این اکوتیپ‌ها در دامنه ۲۵-۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. اکوتیپ دشتی، دامنه دمای مطلوب گسترده‌تری داشت. بنا بر آماره‌های R^2 و RMSE، مدل دندان مانند، واکنش سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مورد مطالعه به دما و پتانسیل آب را به خوبی توصیف می‌کند.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، کمی‌سازی، مدل‌سازی، پتانسیل رطوبتی، بنگ‌دانه

Determination of Cardinal Temperatures and Evaluation of Seed Germination Response of Five Seed ecotypes of (*Hyoscyamus SPP.*) Medicinal Plant to Temperature and Water Potential

A. Akbarfakhrabadi¹, R. Tavakkol Afshari^{2*}, M. Toliat Abolhasani³

1. Master student of seed science and technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

3. Assistant Professor of the National Center for Genetic and Biological Resources of Iran, Karaj

(Received: Jan. 09, 2022 – Accepted: Jan. 22, 2022)

Abstract

The Henbane (*Hyoscyamus SPP.*) belongs to the potato genus and due to the presence of alkaloids such as atropine, hyoscyamine and scopolamine, it affects the human nervous system. Among the annual and perennial species of this genus, five of them are endemic in Iran. The aim of this study was to determine the cardinal temperatures and evaluate the germination response of five seed ecotypes (*Hyoscyamus SPP.*) to water temperature and potential. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. Experimental treatments were run according to eight temperature levels (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40°C) and six water potential levels (0, -0.2, -0.3, -0.4, -0.6 and -0.9 MPa). The results showed that with decreasing water potential, the percentage and germination rate of Ecotypes decreased. Estimation of cardinal temperatures showed that the base temperature and ceiling temperature of the five studied Ecotypes were the same and were equal to 8 and about 40°C, respectively. Furthermore, the optimum temperature of these Ecotypes was recorded in the range of 25-35°C. The Dashty Ecotype had a wider optimum temperature range. According to R^2 and RMSE statistics, the Dent-like model well describes the germination rate response of the studied ecotypes to temperature and water potential.

Keywords: Drought stress, Quantifying, Modeling, Moisture potential, Henbane

* Email: tavakolafshari@um.ac.ir

(Tolyat-Abolhasani *et al.*, 2014). دما مهم ترین متغیر مؤثر بر جوانه‌زنی است (Milbau *et al.*, 2009). دمای یکی از عوامل اولیه مؤثر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی است که مستقیماً با اثر گذاشتن بر آبنوشی بذر و واکنش‌های بیوشیمیایی دخیل در فرآیند جوانه‌زنی، عمل می‌کند. علاوه بر این، اکثر گونه‌ها برای دستیابی به حداکثر جوانه‌زنی به محدوده دمایی مناسب یا حالت دمایی متناوب نیاز دارند (Guo *et al.*, 2020). اثر دما بر روی جوانه‌زنی بذر به صورت دماهای کاردینال توصیف می‌شود. برآورد دمای کاردینال بسیار ضروری است چرا که سرعت نمو بین دمای پایه و بهینه افزایش می‌یابد، بین بهینه و سقف کاهش می‌یابد و بالاتر از دمای سقف و پایین تر از دمای پایه متوقف می‌شود (Kamkar *et al.*, 2011). پاسخ‌های جوانه‌زنی بذر به دما را می‌توان از طریق سه درجه حرارت اصلی مشخص کرد: دمای پایه (Tb) که حداقل دمایی است که فرآیند جوانه‌زنی در آن انجام می‌شود. دمای مطلوب (To) که در آن فرآیند جوانه‌زنی با بالاترین سرعت رخ می‌دهد. و دمای بیشینه (Tm) که بالاتر از آن از آن روند جوانه‌زنی ادامه نمی‌یابد (Windauer *et al.*, 2012). معمولاً یک رابطه خطی مثبت بین سرعت جوانه‌زنی (تعریف شده به عنوان زمان لازم برای جوانه‌زنی بخشی از جمعیت بذر) و دما، تا حداکثر درجه حرارت مطلوب تعریف شده وجود دارد (Kamkar *et al.*, 2011). درصد جوانه‌زنی معمولاً به صورت خطی با دما تا دمای مطلوب افزایش می‌یابد، پس از آن درصد جوانه‌زنی به شدت کاهش می‌یابد (Guo *et al.*, 2020). بیشتر بذرها در دمای ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد جوانه می‌زنند. بذرهای آبنوشی شده ممکن است در دماهای پایین جوانه نزنند، اما در برخی گونه‌ها، استراتیجیکاسیون سرد در دمای صفر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای شکستن خواب مورد نیاز است. دماهای بالا معمولاً خواب بذرهای آبنوشی شده را القا یا حفظ می‌کنند (Heidari *et al.*, 2014). مطالعه‌های زیادی در رابطه با تعیین دمای کاردینال و اثر سطوح تنش خشکی بر

مقدمه

ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک و بارندگی‌هایی با اختلافات در پراکنش مکانی و زمانی می‌باشد. پیامدهای تغییر اقلیم می‌تواند مشکلاتی را برای زراعت در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایجاد کند. تغییر الگوی کشت گیاهان زراعی که نیاز آبی بالایی دارند به سمت کشت گیاهان مقاوم به کم‌آبی می‌تواند در حفظ منابع آبی کمک‌کننده باشد (Khorramdel, 2017). بذرالبنج (*Hyoscyamus*)، یکی از گیاهان دارویی است که برای کشاورزی در شرایط کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران می‌تواند مفید باشد (Rezaei Chiane *et al.*, 2012).

بذرالبنج از تیره سیب‌زمینی و بدلیل وجود تروپان آلکالوئیدهایی مانند آتروپین، هیوسیامین و اسکوپولامین که بر سیستم عصبی موثرند، ارزش زیادی دارد. دارای خواص آرام بخش سیستم عصبی، تسکین پارکینسون، خواب‌آور، آنتی‌اسپاسم، بی‌حس‌کننده و غیره است (Chevalier, 1996). این گیاه در بسیاری از نقاط ایران به صورت خودرو می‌روید. خاتم‌ساز (Khatamsaz, 1998) ۱۳ گونه از آن را در ایران گزارش کردند که از این بین آنها ۷ گونه انحصاری ایران هستند. البته مظفریان (Mozaffatian, 1998) تعداد گونه‌های یکساله و چند ساله این جنس را ۱۸ گونه ذکر کرد که ۵ گونه اندمیک مناطق مازندران، زنجان، همدان، دشتی و دیر استان بوشهر می‌باشند. بذرالبنج در استان‌های تهران، البرز، نواحی شمال ایران، آذربایجان و مناطق غربی ایران، اردبیل، گلستان و بوشهر به صورت خودرو رویش دارد (Tolyat-Abolhasani, 2021).

جوانه‌زنی بذر تحت تاثیر بسیاری از عوامل درونی و محیطی قرار دارد. عوامل محیطی نظیر مقدار و کیفیت نور (نسبت نور قرمز به قرمز دور)، دما، رطوبت قابل دسترس، مواد شیمیایی محیط، تبادلات گازی جنین و پوسته بذر در طی مراحل جوانه‌زنی بسیار اهمیت دارند

باتوجه به اینکه اطلاعات زیادی درباره رفتار جوانه‌زنی بذربالنج در واکنش به عوامل محیطی مانند دما و تنش خشکی در دسترس نیست، هدف از این مطالعه، کمی‌سازی پاسخ سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مختلف بذربالنج به دما و پتانسیل آب و برآورد دمای کاردینال این اکوتیپ‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر دما و سطوح مختلف پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذر پنج اکوتیپ بذربالنج، آزمایشی در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. اکوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل: اکوتیپ‌های مازندرانی و زنجان‌ی گونه (*H. niger*)، اکوتیپ همدانی گونه (*H. arachnoides*) و اکوتیپ دشتی و دیر گونه (*H. muticus*) بودند که از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران تهیه شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار ۲۵ تایی بذر و در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سطوح پتانسیل صفر، $-۰/۲$ ، $-۰/۳$ ، $-۰/۴$ ، $-۰/۶$ و $-۰/۹$ مگاپاسکال تحت شرایط تاریکی و در انکوباتور انجام گرفت.

اکوتیپ‌های بذربالنج در ابتدا با هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۱ دقیقه ضدعفونی شدند. سپس بذر اکوتیپ‌های مازندرانی و زنجان‌ی گونه (*H. niger*)، اکوتیپ همدانی گونه (*H. arachnoides*) و همچنین اکوتیپ بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*)، به دلیل عدم جوانه‌زنی بذور در آزمایش جوانه‌زنی اولیه و تایید وجود خواب بذر، ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در محلول جیبرلیک اسید با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر تیمار شدند و پس از شستشو با آب مقطر در پتری دیش‌های ۹ سانتی‌متری دارای یک‌لایه کاغذ صافی مرطوب قرار گرفتند و سپس به ژرمیناتورهایی با

دمای کاردینال بذر ارائه شده است. در بذر (*Haloxylon persicum*)، با کاهش پتانسیل رطوبتی از صفر به $-۱/۵$ مگاپاسکال، دمای پایه بذر از $۵/۴$ به $۶/۵$ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (Soltani, 2011). در گزارشی دمای مطلوب جوانه‌زنی بذر (*Campsis radicans*)، ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Chachalis and Reddy, 2000). در مورد تأثیر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی بر دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر کلزا نشان داده شد که، دمای پایه این بذر بین $۲/۷$ تا $۶/۷$ درجه سانتی‌گراد، و دمای مطلوب بین $۲۰/۶$ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد تغییر کرد (Soltani et al., 2014). رضائی چپانه و همکاران (Rezaei Chiane et al., 2012)، اثر معنادار منفی شدن سطوح پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذربالنج را گزارش کردند. طاهرآبادی و همکاران (Taherabadi et al., 2016)، دمای پایه، دمای بهینه و دمای سقف گیاه بنگک دانه (*Hyoscyamus niger* L) را به ترتیب ۳۱ ، ۴۱ و ۶۶ درجه گزارش کردند.

انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای توصیف روابط بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده شده است. از این میان، سه تابع بتا، دندان مانند و دو تکه‌ای بیشتر مورد استفاده قرار گرفته اند (Akram-ghaderi, 2008). کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2012) از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی‌سازی پاسخ‌های جوانه‌زنی در برابر دما و پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی گیاه دارویی خشخاش استفاده کردند. با توجه به اهمیت روزافزون گیاهان دارویی، تکمیل و گردآوری اطلاعات مربوط به رفتارهای اکوفیزیولوژیکی این گیاهان امری ضروری است (Heidari et al., 2014). اثرات تنش گرما و خشکی بر گیاهان کاملاً مستند است. گرما و خشکی به‌شدت به هم مرتبط‌اند و اثرات مخربی بر رشد و بهره‌وری گیاهان دارند. با این وجود، آزمایش‌هایی که اثرات متقابل تنش گرما و خشکی را بررسی کنند، معمول نیستند (Sehgal et al., 2017).

ساعات بیولوژیک (f_0)، بیانگر زمانی است که حداکثر سرعت جوانه‌زنی در آن زمان مشاهده می‌شود. درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه ۲ (Kamkar *et al.*, 2012) محاسبه شد:

رابطه ۲

$$100 \times \text{تعداد کل بذرها} / \text{تعداد بذره‌های جوانه زده} = \text{MGP}$$

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی نیز از رابطه (۳) استفاده شد:

رابطه ۳

$$R50 = 1/D50$$

که در آن (R50) سرعت جوانه‌زنی و (D50) زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی می‌باشد. همچنین از رابطه ۴ (Kamkar *et al.*, 2012) برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی استفاده شد:

رابطه ۴

$$1/e = f(T)/f_0$$

که $f(T)$ یک تابع دمایی (ضریب ساده‌سازی شده) است که بین صفر در دمای پایه و سقف و ۱ در دما (ها)ی مطلوب و $1/f_0$ حداکثر سرعت جوانه‌زنی در دمای مطلوب برآورد شده از طریق بهینه‌سازی تکراری با استفاده از روش NLIN است. بنابراین، f_0 حداقل تعداد ساعت لازم برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب را نشان می‌دهد (Soltani *et al.*, 2006). همچنین $1/e$ سرعت جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. متغیر مدل دندان‌مانند با استفاده از روش solver در نرم افزار اکسل (۲۰۱۱) محاسبه شد. جذر میانگین مربعات انحراف (RMSE) کمتر رگرسیون و خطای معیار (SE) کمتر متغیرها نشان‌دهنده برآورد مناسب متغیرهای مدل می‌باشد. از (RMSE) برای زمان جوانه‌زنی، ضریب همبستگی (f)، ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیون خطی (a, b) در معادله زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده استفاده شد. بالا

دماهای ثابت مذکور انتقال یافتند. بذر اکوتیپ بوشهر دیر گونه (*H. muticus*) به دلیل فقدان خواب بذر، در محلول جیبرلین قرار نگرفت. سطوح مختلف پتانسیل آب، با استفاده از پودر پلی‌اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ تهیه شد. مقادیر مورد نیاز پلی‌اتیلن گلاکول برای ایجاد پتانسیل‌های آب، بر حسب روش میشل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973) محاسبه شد. برای ایجاد پتانسیل آب صفر مگاپاسکال، از آب مقطر استفاده شد. دماهایی که فاقد جوانه زنی بودند (دمای ۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) تحت سطوح پتانسیل خشکی قرار نگرفتند. شمارش بذره‌های جوانه‌زده بصورت روزانه و به مدت ۱۴ روز انجام شد (Rezaei chiane *et al.*, 2012). بذرهایی که طول ریشه‌چه خروجی آن‌ها حداقل ۲ میلی‌متر بود به عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد (ISTA, 2009). سرعت و زمان جوانه‌زنی برای هر تیمار و هر تکرار به صورت جداگانه و با استفاده از نرم‌افزار GS-2011 محاسبه شد. این نرم‌افزار تابع لجستیک را به داده‌های جوانه‌زنی در برابر زمان برازش داده و با استفاده از درون‌یابی، محاسبات مورد نظر را اجرا می‌کند. برای هر تکرار از تیمارهای دمایی، منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان (ساعت) ترسیم و شاخص D50 (زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی) با استفاده از درون‌یابی محاسبه شد. برای محاسبه دماهای کاردینال، با توجه به نمودار سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌ها، از مدل دندان‌مانند رابطه ۱ (Kamkar *et al.*, 2012) استفاده شد.

رابطه ۱

$$y = ((T - T_b) / (T_{01} - T_b)) / f_0 \quad \text{if} \quad T < T_{01}$$

$$y = ((T_c - T) / (T_c - T_{02})) / f_0 \quad \text{if} \quad T > T_{02}$$

$$y = 1/f_0 \quad \text{if} \quad T \geq T_{01}, T \leq T_{02}$$

که در این معادلات، (T_b) دمای پایه، (T_{01}) دمای بهینه تحتانی و (T_{02}) دمای بهینه فوقانی، (T_c) دمای بیشینه، (a) ضریب ثابت و (T) دمای مورد آزمایش می‌باشد. تعداد

استفاده از نرم افزار سیگماپلات (نسخه ۲۰۱۱) انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی بر اساس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D_{50})، زمان رسیدن به ۱۰ درصد (D_{10})، ۵۰ درصد (D_{50}) و ۹۰ درصد (D_{90}) جوانه‌زنی در دماهایی که جوانه‌زنی مشاهده شد (۱۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد) حاکی از آن بود که اثر دما و اکوتیپ و پتانسیل آب و اثرات متقابل دما و اکوتیپ و پتانسیل آب بر صفات مورد نظر در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱).

بودن ضریب تبیین (R^2) مدل، بیانگر توانایی بالای مدل در توجیه تغییرات سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. ضرایب a و b به ترتیب بیانگر مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ است. مقدار عددی ضرایب a و b به کمک نرم‌افزار SAS محاسبه شد. معنی‌داری a با استفاده از نرم‌افزار SAS و معنی‌داری b از طریق بررسی حدود اطمینان تعیین شد. معنی‌داری ضرایب a و b به ترتیب بیانگر وجود فاصله شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱ و اریب خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ می‌باشد. رسم منحنی‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی و نمودار ۱:۱ با استفاده از نرم افزار اکسل (۲۰۱۳) و رسم نمودارهای سه بعدی نیز با

جدول ۱- تجزیه واریانس پارامترهای جوانه‌زنی اکوتیپ‌های بذرالبنج

Table 1- Analysis of variance of germination parameters of *Hyoscyamus* ecotypes

منابع تغییرات S.O.V	Df	درصد جوانه زنی Germination percentage	D50	R50	D10	D90
پتانسیل potential	5	14042.38**	84520.28**	0.0019**	46229.23**	167267.51**
اکوتیپ Ecotype	4	37566.36**	15421.71**	0.0027**	12559.89**	14314.3**
دما Temperature	5	10703.82**	41518.85**	0.0016**	39004.83**	35365.24**
پتانسیل×اکوتیپ Potential×Ecotype	20	2567.92**	26412.41**	0.000077**	15476.91**	46851.64**
پتانسیل×دما Potential×Temperature	25	2652.81**	39772.01**	0.000103**	25899.6**	51740.08**
اکوتیپ×دما Ecotype×Temperature	20	3915.03**	45939.09**	0.000049**	31851.79**	67328.36**
پتانسیل×اکوتیپ×دما potential×Ecotype×Temperature	100	854.54**	13330.79**	0.000019**	8795.62**	19061.6**
خطا Error	540	59.77	129.41	0.00000089	105.59	289.95
ضریب تغییرات CV	-	14.63	12.71	12.01	15.2	14.41

** : معنی داری در سطح ۱ درصد

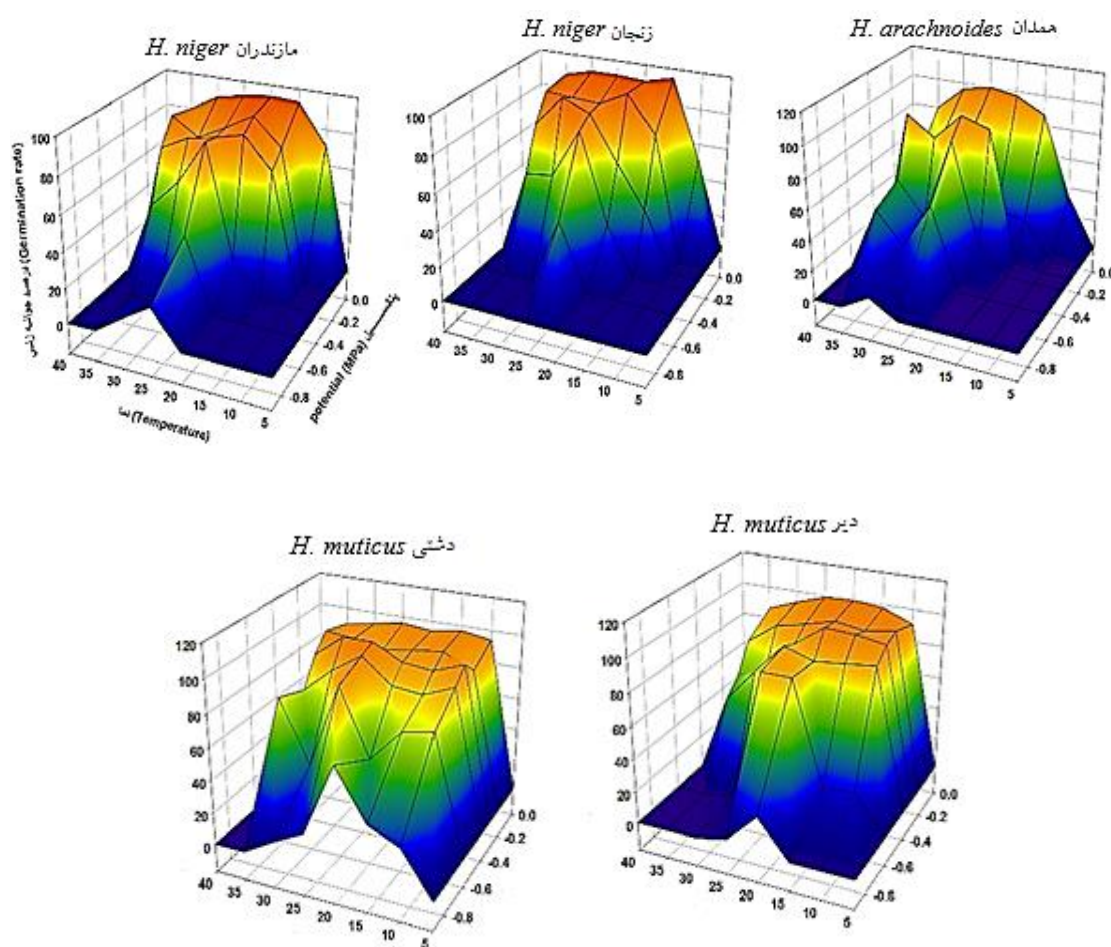
** : Significance at the level of 1%

آزیم‌ها و کاهش سرعت واکنش‌های جوانه‌زنی می‌شود. در دمای پایین، فعالیت متابولیکی به طور نسبی کاهش می‌یابد و واکنش‌های متابولیکی نمی‌توانند در گیاه انجام گیرند. دماهای بالا موجب تخریب پروتئین‌ها و در نهایت از بین رفتن بذر می‌شوند (Khodabakhshi et al., 2016).

با منفی‌تر شدن سطوح پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی نهایی در تمام گونه‌های بذرالبنج مورد مطالعه کاهش یافت و منفی‌تر شدن سطوح پتانسیل آب در دماهای بالا و پایین، سهم بیشتری در کاهش درصد جوانه‌زنی داشت (شکل ۱). درجه حرارت‌های بالا و پایین موجب غیرفعال شدن برخی

تا دمای مطلوب افزایش می‌یابد، پس از آن درصد جوانه‌زنی به شدت کاهش می‌یابد (Guo *et al.*, 2020). اثرات متقابل جمعیت و شرایط جوانه‌زنی (رطوبت و دما) در تحقیقات مختلف گزارش شده است. به عنوان مثال، بذر کاج پروتیا (*Pinus brutia*) در بین جمعیت‌ها از نظر حساسیت به تنش رطوبتی متفاوت است و بذرهای اقاچیا (*Acacia lebbek*) از نظر دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی متفاوت می‌باشند (Zhang *et al.*, 2017).

انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2017)، کاهش معنادار درصد جوانه‌زنی بذر پنیرک، در پی افزایش شدت تنش اسمزی در تمام تیمارهای دمایی را گزارش کردند. همچنین مامدی و همکاران (Mamedi *et al.*, 2017)، گزارش کردند که درصد جوانه‌زنی کینوا با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی در دماهای پایین به شدت کاهش یافت ولی با افزایش دما به ۳۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی دوباره افزایش یافت. درصد جوانه‌زنی معمولاً به صورت خطی با دما



شکل ۱- اثر پتانسیل آب و دما بر روی درصد جوانه‌زنی نهایی بذر اکوتیپ‌های بذرالبنج

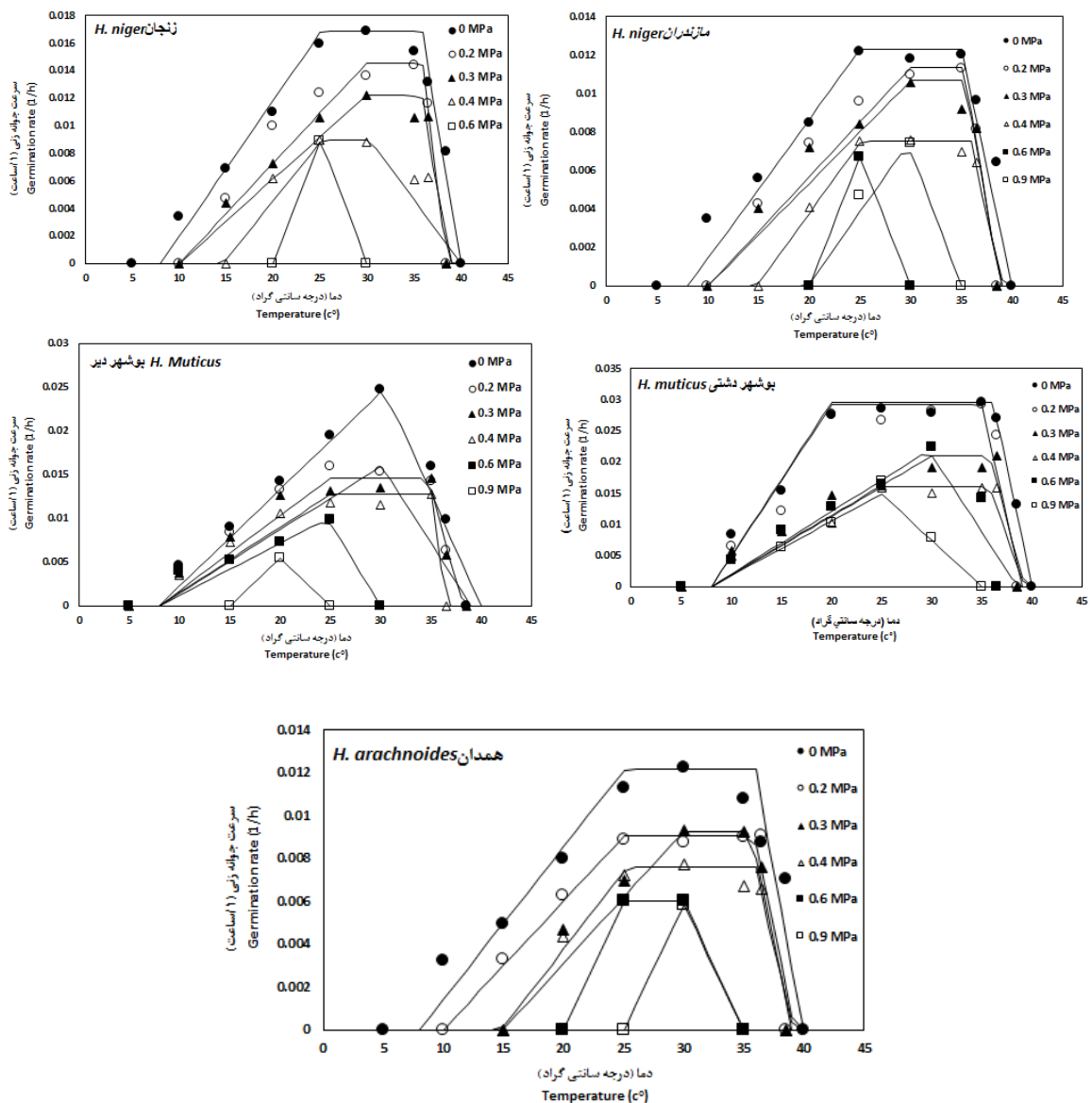
Figure 1- Effect of water potential and temperature on the final germination percentage of *Hyosyamus* ecotypes seeds

حساس‌تری از درصد جوانه‌زنی نسبت به دما می‌باشد. بنابراین سرعت جوانه‌زنی اهمیت بیشتری در استقرار گیاهچه دارد و در تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی

گام نخست در تعیین دماهای کاردینال، محاسبه‌ی سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. هاردگری (Hardegree., 2006)، نشان داد که سرعت جوانه‌زنی، شاخص

این وضعیت به عنوان یک استراتژی انطباقی برای جلوگیری از جوانه‌زنی در محیط تنش‌زا تفسیر می‌شود و در نتیجه استقرار مناسب گیاهچه‌ها را تضمین می‌کند (Singh *et al.*, 1996). در تمام گونه‌های مورد مطالعه بذرالبنج با افزایش سطوح پتانسیل اسمزی، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (شکل ۲).

استفاده می‌شود. پس از محاسبه سرعت جوانه‌زنی، به داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف پتانسیل آب، مدل‌های رگرسیون غیر خطی دندان مانند و دو تکه‌ای (برای اکوتیپ دیر) برازش داده شد (شکل ۲). کاهش سرعت جوانه‌زنی به ویژه در شرایط تنش اسمزی ممکن است به این دلیل باشد که بذور ظاهراً در شرایط تنش رطوبتی یک خواب اجباری اسمزی ایجاد می‌کنند.



شکل ۲- سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده (نقاط) و پیش‌بینی شده (خط چین) در دماها و پتانسیل‌های اسمزی مختلف.

Figure 2- Observed (points) and predicted (dashed line) germination rate at different temperatures and osmotic potentials.

رگرسیون غیر خطی دندان مانند برای اکوتیپ‌های مازندارنی و زنجانی گونه (*H. niger*)، گونه (*H. arachnoides*) و اکوتیپ بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*) برآزش داده شد. همچنین از مدل دو تکه‌ای برای اکوتیپ بوشهر دیر گونه‌ی (*H. muticus*) استفاده شد. در نهایت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و دمای سقف)، با استفاده از مدل‌های ذکر شده، برای سطوح مختلف پتانسیل (صفر تا ۰/۹- مگاپاسکال) تعیین شدند (جدول ۲). تعداد ساعات بیولوژیک در دو اکوتیپ مازندارنی و زنجانی گونه (*H. niger*)، با منفی تر شدن پتانسیل تا سطح ۰/۶- مگاپاسکال روند کاهش را نشان داد و در اکوتیپ مازندارنی در سطح ۰/۹- مگاپاسکال مجدداً افزایش یافت (جدول ۲). تنوع درون گونه‌ای در طیف وسیعی از خانواده‌های گیاهی رایج است. الزامات جوانه‌زنی نیز ممکن است متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، گیاهان در یک توزیع شمالی، به‌طور متوسط، در دمای حداقل بالاتر از گیاهان توزیع جنوبی جوانه می‌زنند (Grime et al., 1981). برخی از مطالعات نشان می‌دهند که گونه‌هایی که با دماهای سردتر سازگار شده‌اند، دمای پایه پایین‌تری دارند (Trudgill et al., 2000). با این حال، کاو و همکاران (Cave et al., 2011)، در گزارش خود عکس این رابطه را گزارش کردند. در مطالعه حاضر نیز گونه‌های بذرالبنج با وجود اینکه از مناطق مختلف جمع‌آوری شده بودند دمای پایه یکسانی (۸ درجه سانتی‌گراد) را نشان دادند (جدول ۲). نمونه‌های دیگر از تنوع در نیازهای جوانه‌زنی، حساسیت بذر به رطوبت خاک، نور، دما و مواد شیمیایی خاک است (Baskin and Baskin., 1998). اثر منفی تنش آبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی توسط بسیاری از محققان برای چندین گونه گیاهی گزارش شده است (Mensah et al., 2006؛ Stefano et al., 2006). دمای مطلوب اکوتیپ‌های زنجانی و مازندارنی گونه (*H. niger*) و اکوتیپ همدانی گونه (*H. arachnoides*) در دامنه ۲۵-

رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال نشان داد که پنجره یا دامنه مربوط به حداکثر سرعت جوانه‌زنی در اکوتیپ بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*)، نسبت به بقیه گونه‌های مورد مطالعه گسترده‌تر می‌باشد و در دامنه دمایی وسیع‌تری (۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) حداکثر سرعت جوانه‌زنی را دارد. گونه‌های (*H. niger*) و (*H. arachnoides*)، در دامنه دمایی ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد حداکثر سرعت جوانه‌زنی را داشتند و حداکثر سرعت جوانه‌زنی در اکوتیپ بوشهر دیر گونه (*H. muticus*) فقط در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. حداکثر سرعت جوانه‌زنی مربوط به اکوتیپ‌های بوشهر دشتی و بوشهر دیر گونه (*H. muticus*) بود. همچنین در پتانسیل صفر مگاپاسکال سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ زنجانی گونه (*H. niger*)، نسبت به اکوتیپ مازندارنی بیشتر بود (شکل ۲). با افزایش دما تا دمای مطلوب، فعالیت و کارایی آنزیم‌های جوانه‌زنی بهبود می‌یابد و در نتیجه درصد و سرعت جوانه‌زنی نیز افزایش می‌یابد. همچنین دماهای خیلی کم و خیلی زیاد، باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌ها شده و کاهش سرعت فعالیت آن‌ها را به دنبال دارد و در نتیجه سرعت و درصد جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد. قرار گرفتن بذر به مدت طولانی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب، باعث تخریب پروتئین‌ها و غشاهای سلولی شده و در نتیجه سرعت و درصد جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد. در گندم (Balbaki et al., 1999) و پنبه (Galeshi et al., 2007)، نشان داده شد که درجه حرارت‌های بالا و پایین با تغییر در مقدار هورمون آبسزیک اسید باعث کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شوند.

زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D_{50})، در دماها و پتانسیل‌های اسمزی مختلف با استفاده از نرم‌افزار GS-2011 محاسبه شد. بعد از محاسبه‌ی زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (R_{50})، به داده‌های مربوط به (R_{50}) برای پتانسیل‌های اسمزی مختلف، مدل

در معرض خطر بیابان زایی تبدیل می‌کند. در شرایط پتانسیل آب کم ناشی از تنش‌های اسمزی مانند خشکی یا شوری، برخی از گیاهان می‌توانند به‌طور مؤثر مواد مختلفی را برای تنظیم اسمزی انباشته کنند و در نتیجه جذب و ظرفیت نگهداری آب را افزایش دهند که نقش مهمی در سازگاری گیاهان با کمبود آب ایفا می‌کند (Gu *et al.*, 2016). جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مازندرانی و زنجان‌گونه (*H. niger*) اکوتیپ همدانی گونه (*H. arachnoides*) در دامنه دمایی مطلوب و تحت پتانسیل اسمزی ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال، و سرعت جوانه‌زنی بالا در شرایط تنش، می‌تواند به اثر این سطوح تنشی بر پیش‌اندازی فعالیت‌های دخیل در جوانه‌زنی در این شرایط نسبت به شرایط بدون تنش مرتبط باشد (Ansari *et al.*, 2017). با مقایسه گونه‌های بذرنج به نظر می‌رسد که دو اکوتیپ بوشهر دشتی و بوشهر دیر گونه (*H. muticus*) نسبت به گونه‌های (*H. niger*) و (*H. arachnoides*) نسبت به تنش آبی متحمل‌تر می‌باشند (جدول ۲). این وضعیت منعکس‌کننده توزیع اکولوژیکی خاص هر گونه است.

۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. دمای مطلوب اکوتیپ دشتی گونونوسه (*H. muticus*) در دامنه ۲۰-۳۶ درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب اکوتیپ دیر ۳۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. گسترده بودن دامنه دمایی اکوتیپ دشتی نسبت به بقیه اکوتیپ‌های مورد مطالعه، نشان‌دهنده سازگاری بالای این اکوتیپ و توانایی جوانه‌زنی مطلوب و استقرار مناسب در طیف وسیعی از دماها می‌باشد. همچنین اکوتیپ‌های مورد مطالعه دمای سقف یکسان و برابر ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشان دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که دو اکوتیپ بوشهر دیر و بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*) در پتانسیل‌های اسمزی بالاتر مانند ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال نیز به خوبی جوانه می‌زنند. بنابراین این دو اکوتیپ در هنگام جوانه‌زنی به شرایط تنش خشکی متحمل بوده و در نتیجه قادر به جوانه‌زنی در مناطق خشک بوشهر دیر و بوشهر دشتی می‌باشند. سازگاری این دو اکوتیپ با شرایط خشک‌سالی، آن‌ها را به گونه‌ای بسیار ارزشمند برای استفاده در احیای خاک‌های تخریب‌شده و

جدول ۲- محاسبه دمای پایه (t_b)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات بیولوژیکی (f_o)، عرض از مبدأ (a) و (b) شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی دندانمانند و دو تکه‌ای برای گونه‌های بذرنج، تحت شرایط تنش اسمزی. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 2 - Calculation of basal temperature (t_b), bottom optimum temperature (T_{o1}), upper optimum temperature (T_{o2}), maximum temperature (T_c), number of biological hours (f_o), width of origin (a) and (b) The slope of the regression line is the actual and predicted germination rate using a toothed and two-piece nonlinear regression model for seed-bearing species under osmotic stress conditions. The numbers in parentheses indicate the standard error

مدل دندانمانند اکوتیپ مازندرانی گونه (<i>H. niger</i>) Dent-like model Mazandaran ecotype of (<i>H. niger</i>) species						
ضرایب parameter	0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
t_b	8	10	10	14.77	20	19.88
T_{o1}	25	29.94	29.95	25.18	24.9	28.3
T_{o2}	35	35.29	35.37	25.71	25.1	30.1
T_c	40	38.76	38.84	39.15	30	35
f_o	81.4	88.09	93.79	132.24	148.8	153.5
a	-0.00145 (0.00095)	-0.00043 (0.00073)	-0.00034 (0.00079)	-0.00042 (0.00057)	1.084 (1.091)	-7.691 (6.15)
b	1.0809 (0.116)	0.957 (0.106)	0.974 (0.124)	1.051 (0.122)	1.00064** (5.137)	0.000913** (0.22)
R^2	0.915	0.910	0.883	0.901	0.998	0.995
RMSE	0.00183	0.00162	0.00164	0.00128	1.433	0.0003
CV%	26.428	31.45	24.47	29.31	21	25.236

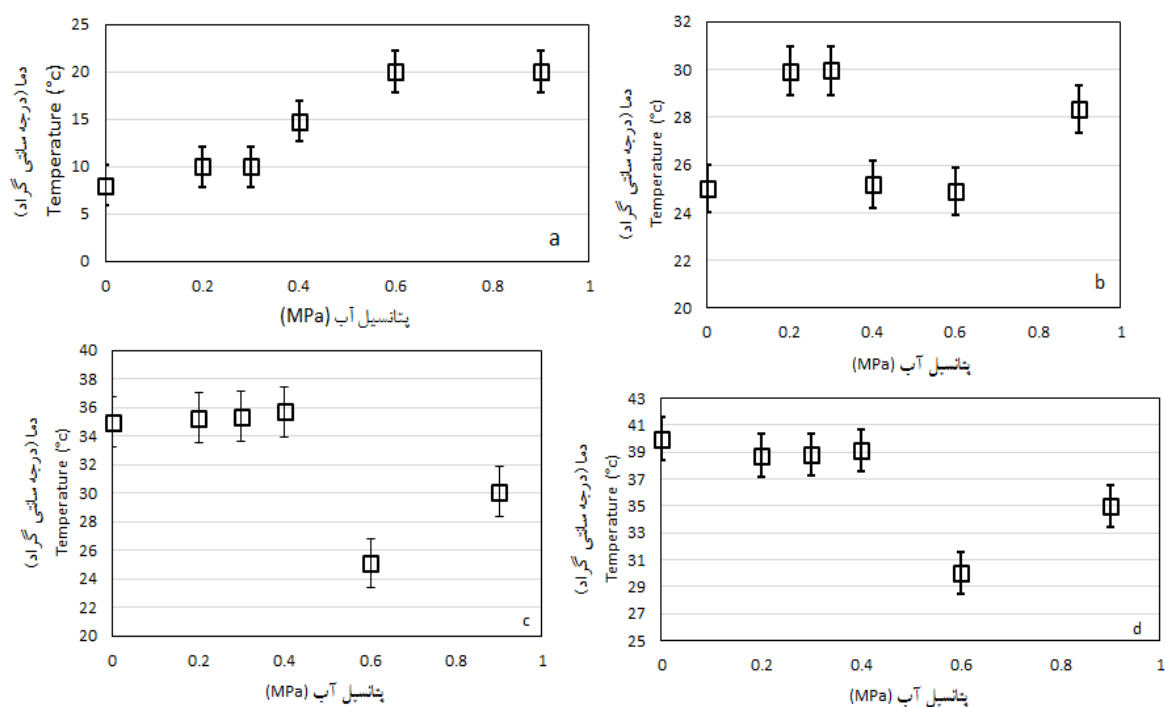
Table 2 Continued

ادامه جدول ۲

مدل دندان مانند اکوتیپ زنجان گونه (<i>H. niger</i>)						
Dent-like model Zanjan ecotype of (<i>H. niger</i>) species						
ضرایب parameter	0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
t_b	8	10	10	14.68	20	-
T_{o1}	25.05	29.89	29.94	25.15	24.9	-
T_{o2}	35.8	35.89	35.57	30.39	25.2	-
T_c	40	38.5	39.02	40	30	-
f_o	59.43	68.91	81.60	111.92	113.25	-
a	-0.00144 0.000106	-0.00077 0.00085	-0.00019 0.000896	-0.00071 0.00076	-2.168 (2.183)	-
b	1.109 (0.097)	0.991 (0.0952)	0.942 (0.119)	0.952 (0.145)	0.997 (0.148)	-
R^2	0.941	0.931	0.885	0.843	1	-
RMSE	0.00195	0.00191	0.00188	0.00188	0	-
CV%	21.59	28.63	33.79	51.75	1.31	-
مدل دندان مانند اکوتیپ همدانی گونه (<i>H. arachnoides</i>)						
Dent-like model Hamedan ecotype of (<i>H. arachnoides</i>) species						
ضرایب parameter	0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
t_b	8	10	14.9	14.77	20	25
T_{o1}	25.07	24.99	29.99	25.2	25	29.9
T_{o2}	35.76	35.82	35.51	35.74	30	30.2
T_c	40	39.35	38.96	39.17	35	35
f_o	82.10	101.37	107.75	131.81	166	171
a	-0.00129 (0.00099)	2.82 (0.00068)	-0.00048 (0.00053)	-0.00042 (0.0006)	9.4 (2.66)	0.00023 (0.0007)
b	1.133 (0.126)	0.93 (0.122)	0.99 (0.098)	1.058 (0.129)	1.0031** (0.00099)	1.001 (0.00089)
R^2	0.909	0.89	0.92	0.893	0.999	1
RMSE	0.0017	0.00142	0.00128	0.00133	1.14	2.65
CV%	26.50	31.44	33.804	40.82	0.953	0.453
مدل دندان مانند اکوتیپ بوشهر دشتی گونه (<i>H. muticus</i>)						
Dent-like model Dashti ecotype of (<i>H. muticus</i>) species						
ضرایب parameter	0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
t_b	8	8	8	8	8	8
T_{o1}	19.99	20	29.98	24.99	29.7	24.31
T_{o2}	36.14	34.19	35.80	35.78	29.5	25.34
T_c	40	39	39.22	39.21	38.52	35
f_o	33.81	34.26	47.57	62.41	64.78	67.12
a	-0.0026 (0.0021)	-0.00051 (0.00188)	-0.00031 (0.00187)	-0.00013 (0.00158)	0.000514 (0.00144)	-1 (0.000363)
b	1.086 (0.103)	0.992 (0.095)	0.934 (0.0141)	0.926 (0.0145)	0.881 (0.102)	0.919 (0.0509)
R^2	0.931	0.931	0.845	0.835	0.897	0.976
RMSE	0.0038	0.00355	0.0036	0.00302	0.00272	0.00107
CV%	21.6	22.99	34.72	34.81	34.43	23.73
مدل دندان مانند اکوتیپ بوشهر دیر گونه (<i>H. muticus</i>)						
Dent-like model Dayyer ecotype of (<i>H. muticus</i>) species						
ضرایب parameter	0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
t_b	8	8	8	8	8	10.76
T_{o1}	29.37	27.15	24.97	25	23.23	23.26
T_{o2}	31.61	32.83	34.68	35	25.5	20.5
T_c	39.27	39	38.21	36.5	30	25
f_o	39.31	58.09	68.58	78.37	97.69	193.12
a	-0.0007 (0.0013)	-0.00047 (0.0013)	-0.00065 (0.00126)	-0.00073 (0.00099)	-0.00038 (0.00061)	-0.00004 (3.53)
b	0.997 (0.099)	0.919 (0.132)	0.98 (0.134)	1.003 (0.126)	0.945 (0.139)	0.702** (0.02)
R^2	0.93	0.86	0.87	0.887	0.85	0.99
RMSE	0.0026	0.0028	0.0024	0.00214	0.0016	0.0006
CV%	26.26	35.89	34.34	37.32	59.95	103.3

اکوتیپ مازندرانی گونه (*H. niger*)، با افزایش پتانسیل آب از صفر تا $-0/9$ - مگاپاسکال، دمای پایه نیز افزایش یافت اما اختلاف معناداری بین سطوح $-0/6$ - و $-0/9$ - مگاپاسکال مشاهده نشد. دمای مطلوب تحتانی با افزایش سطح پتانسیل آب از صفر تا $-0/3$ - مگاپاسکال روند افزایشی و اختلاف معنادار با دمای مطلوب تحتانی محاسبه شده در سطح صفر مگاپاسکال داشت، اما بین سطوح $-0/2$ - و $-0/3$ - مگاپاسکال اختلاف معناداری مشاهده نشد. دمای مطلوب تحتانی با افزایش سطح پتانسیل اسمزی از $-0/3$ - تا $-0/6$ - مگاپاسکال روند کاهشی داشت. دمای مطلوب فوقانی محاسبه شده بین سطوح صفر تا $-0/4$ - مگاسکال اختلاف معناداری نداشت. دمای مطلوب فوقانی در سطح $-0/6$ - مگاسکال کاهش و سپس در سطح $-0/9$ - مگاسکال افزایش یافت. روند تغییرات دمای سقف نیز مشابه تغییرات دمای مطلوب فوقانی بود (شکل ۳).

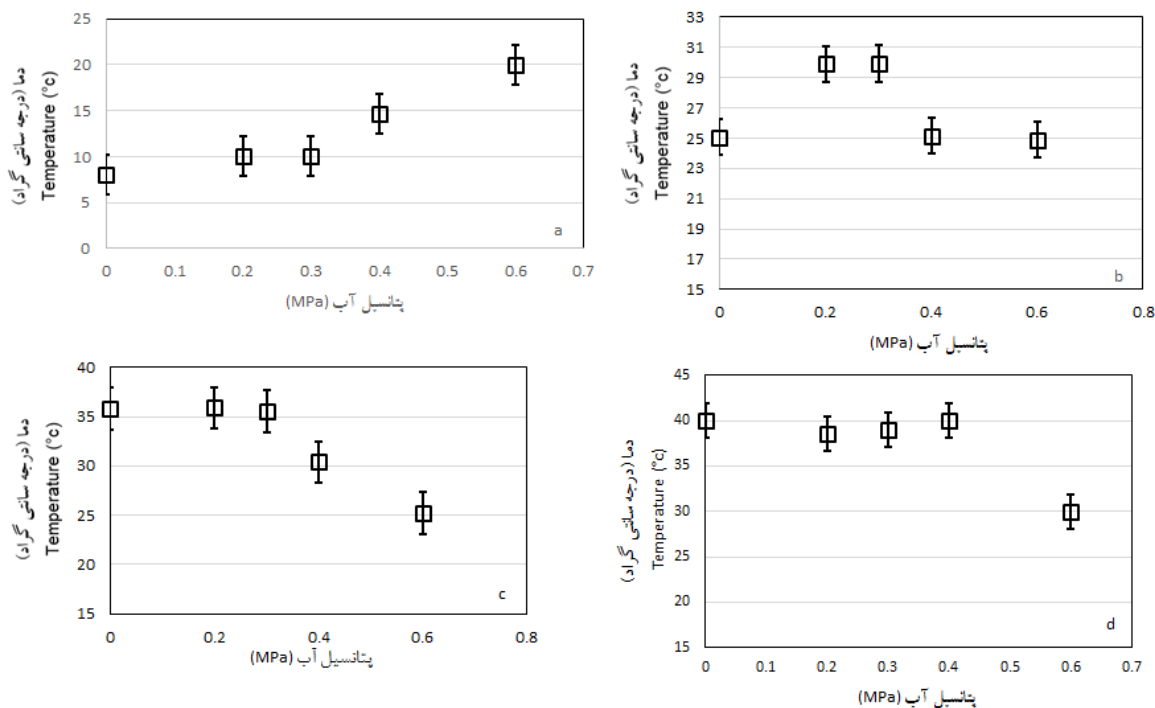
جوانه‌زنی گونه‌های (*H. niger*) و (*H. arachnoides*)، در سطوح $-0/6$ - و $-0/9$ - مگاپاسکال، به صورت تک دمایی و فقط در دماهای مطلوب مشاهده شد. این امر ممکن است به اثر متقابل دماهای مطلوب و سطوح تنشی، بر پیش‌اندازی و تحریک فعالیت‌های آنزیمی و هورمونی دخیل در فرآیندهای جوانه‌زنی مرتبط باشد (Ansari et al., 2017). با کاهش پتانسیل آب، تعداد ساعات بیولوژیک (fo) در تمامی اکوتیپ‌ها، افزایش یافت. پنجره دمایی تمام اکوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش، با کاهش پتانسیل آب، محدودتر شد که این محدودیت در اکوتیپ‌های دشتی و دیر گونه (*H. muticus*) کم‌تر بود و در نتیجه این دو اکوتیپ سازگاری بیشتری در شرایط تنش خشکی داشتند. بررسی اثر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی بر دماهای کاردینال جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که، در



شکل ۳- روند تغییرات دمای پایه (a)، دمای مطلوب تحتانی (b)، دمای مطلوب فوقانی (c) و دمای سقف (d) بدست آمده توسط مدل دندان مانند تحت پتانسیل آب برای بذر اکوتیپ مازندرانی گونه (*H. niger*)

Figure 3- Trend of changes in basal temperature (a), optimum lower temperature (b), optimum upper temperature (c) and ceiling temperature (d) obtained by the Dent-like model under water potential for seeds of Mazandaran ecotype species (*H. niger*)

مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف نیز تحت سطوح پتانسیل خشکی روند کاهشی را نشان دادند (شکل ۴).



شکل ۴- روند تغییرات دمای پایه (a)، دمای مطلوب تحتانی (b)، دمای مطلوب فوقانی (c) و دمای سقف (d) بدست آمده توسط مدل دندان مانند تحت پتانسیل آب برای بذر اکوتیپ زنجانی گونه (*H. niger*)

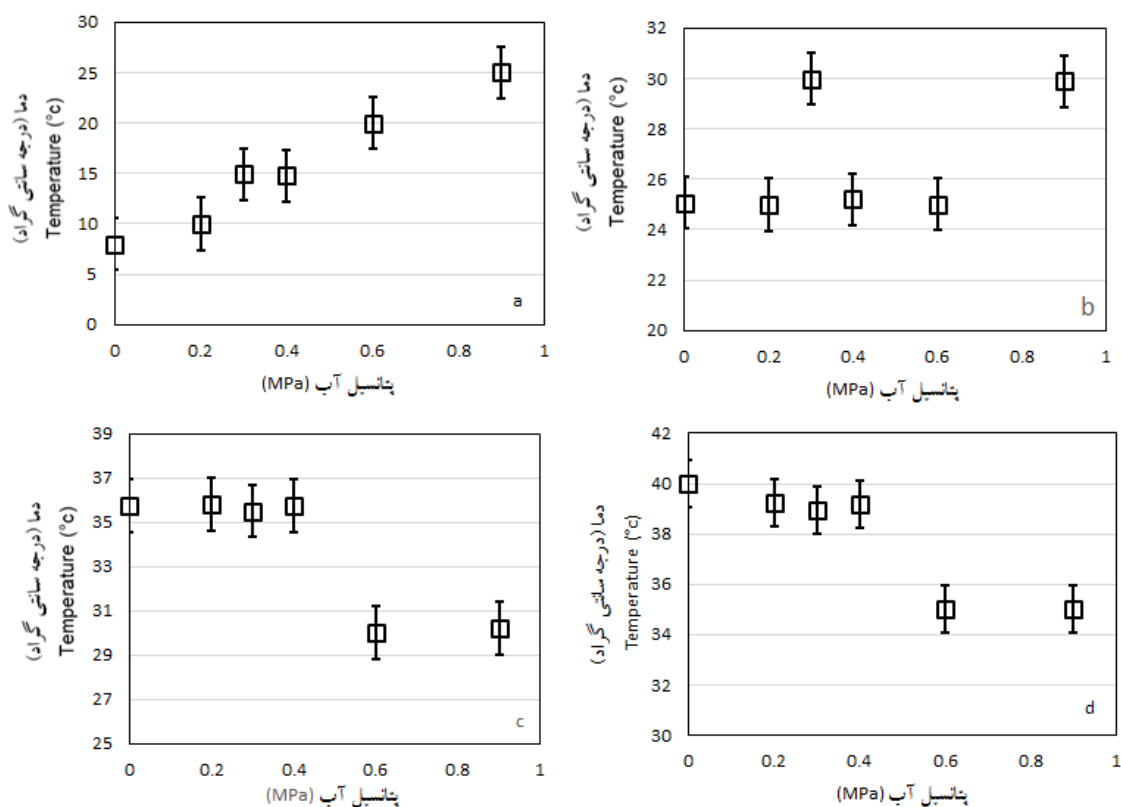
Figure 4 - Trend of changes in basal temperature (a), optimum lower temperature (b), optimum upper temperature (c) and ceiling temperature (d) obtained by the Dent-like model under water potential for seeds of Mazandaran ecotype species (*H. niger*)

نشده. روند تغییرات دمای سقف تحت تأثیر سطوح پتانسیل آب، نیز مشابه دمای مطلوب فوقانی بود (شکل ۵). در اکوتیپ بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*)، دمای پایه تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار نگرفت. دمای مطلوب تحتانی از سطح صفر تا ۰/۳- مگاپاسکال دارای روند افزایش بود اما اختلاف معناداری بین سطوح صفر ۰/۲- مگاپاسکال مشاهده نشد. در سطح ۰/۴- مگاپاسکال دمای مطلوب تحتانی کاهش و در سطح ۰/۶- افزایش و سپس دوباره در سطح ۰/۹- مگاپاسکال کاهش یافت. دمای مطلوب فوقانی با افزایش سطوح پتانسیل از صفر تا ۰/۴-

در اکوتیپ همدانی گونه (*H. arachnoides*)، دمای پایه با افزایش سطوح پتانسیل دارای روند افزایشی بود اما اختلاف معناداری بین دمای پایه محاسبه شده بین سطوح صفر تا ۰/۴- مگاپاسکال مشاهده نشد. دمای مطلوب تحتانی بین سطوح صفر تا ۰/۶- مگاپاسکال اختلاف معنادار نداشت اما در سطح ۰/۳- مگاپاسکال با افزایش دمای مطلوب تحتانی اختلاف معنادار با سطح صفر مگاپاسکال مشاهده شد. دمای مطلوب فوقانی با افزایش سطح پتانسیل اسمزی از صفر تا ۰/۴- مگاپاسکال دارای روند ثابت بود و اختلاف معناداری بین این سطوح مشاهده

در اکوتیپ دیر گونه (*H. niger*) دماهای مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و دمای سقف، تحت سطوح پتانسیل خشکی روند کاهشی را نشان دادند اما دمای پایه تا پتانسیل $-0/6$ مگاپاسکال دارای روند ثابت و سپس روند کاهشی را نشان داد (شکل ۷).

مگاپاسکال دارای روند ثابت بود و با افزایش سطح پتانسیل از $0/4$ مگاپاسکال کاهش یافت. اختلاف معناداری بین دمای سقف محاسبه شده بین سطوح صفر تا $-0/6$ مگاپاسکال مشاهده نشد. اما دمای سقف در سطح $-0/9$ مگاپاسکال کاهش و با دمای سقف برآورد شده در سطح $-0/6$ مگاپاسکال دارای اختلاف معنادار بود (شکل ۶).



شکل ۵- روند تغییرات دمای پایه (a)، دمای مطلوب تحتانی (b)، دمای مطلوب فوقانی (c) و دمای سقف (d) بدست آمده توسط مدل دندان مانند

تحت پتانسیل آب برای بذر اکوتیپ همدانی گونه (*H. arachnoides*)

Figure 5 - Trend of changes in basal temperature (a), optimum lower temperature (b), optimum upper temperature (c) and ceiling temperature (d) obtained by the Dent-like model under water potential for seeds of Hamedan ecotype species (*H. arachnoides*)

یافت. با منفی‌تر شدن پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش کاهش یافت. تعداد ساعات بیولوژیک (fo) نیز با منفی‌تر شدن سطوح پتانسیل آب، کاهش یافت. دمای پایه و دمای سقف اکوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش، یکسان و به ترتیب برابر ۸ و حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

نتیجه‌گیری

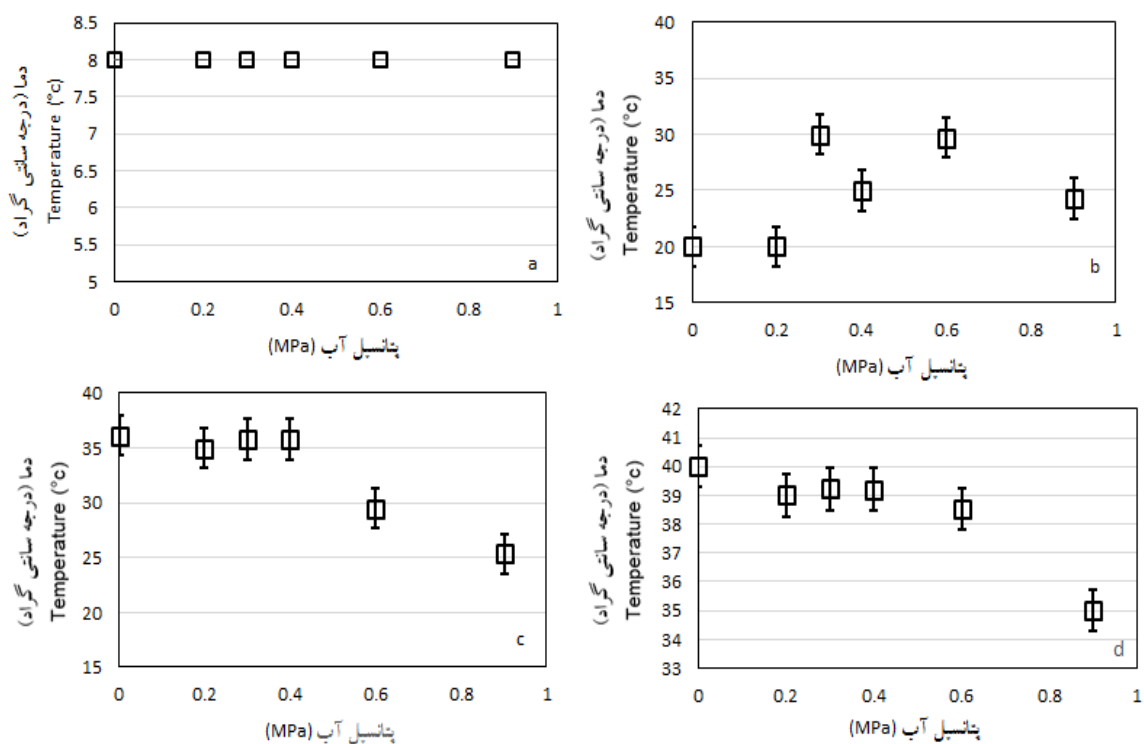
براساس نتایج این پژوهش، دما و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مورد مطالعه بذرالبنج اثر معنادار داشتند. سرعت جوانه‌زنی تمام اکوتیپ‌ها، با افزایش دما تا دمای مطلوب افزایش و پس از آن کاهش

RMSE و R^2 مدل دندان مانند واکنش سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌های بذربنچ نسبت به دما و پتانسیل آب را به خوبی توصیف می‌کند.

سپاسگزاری

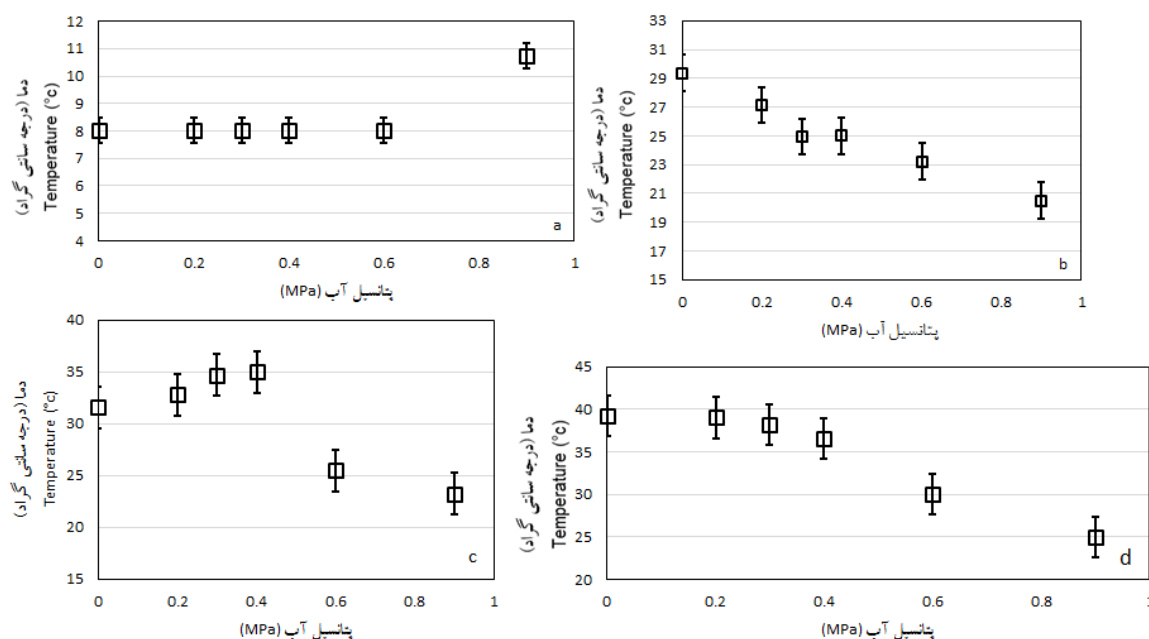
در نهایت از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران بابت در اختیار گذاشتن اکوتیپ‌های مورد نیاز بذربنچ و از دانشگاه فردوسی مشهد جهت تامین مالی طرح پژوهشی به شماره ۳/۴۹۸۹۲ قدردانی و تشکر می‌شود.

دمای مطلوب اکوتیپ دشتی نسبت به بقیه اکوتیپ‌های مورد مطالعه، گسترده تر بود و در دامنه ۲۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. دو اکوتیپ بوشهر دیر و بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*)، در پتانسیل‌های اسمزی بالاتر مانند ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال نیز به خوبی جوانه می‌زنند. بنابراین این دو اکوتیپ در هنگام جوانه‌زنی به شرایط تنش خشکی متحمل بوده و در نتیجه قادر به جوانه‌زنی در مناطق خشک دیر و دشتی می‌باشند. سازگاری این دو اکوتیپ با شرایط خشک‌سالی، آن‌ها را به گونه‌ای بسیار ارزشمند برای استفاده در احیای خاک‌های تخریب شده و در معرض خطر بیابان‌زایی، تبدیل می‌کند. با توجه به مقادیر



شکل ۶- روند تغییرات دمای پایه (a)، دمای مطلوب تحتانی (b)، دمای مطلوب فوقانی (c) و دمای سقف (d) بدست آمده توسط مدل دندان مانند تحت پتانسیل آب برای بذر اکوتیپ بوشهر دشتی گونه (*H. muticus*)

Figure 6- Trend of changes in basal temperature (a), optimum lower temperature (b), optimum upper temperature (c) and ceiling temperature (d) obtained by the Dent-like model under water potential for seeds of Dashty ecotype (*H. muticus*).



شکل ۷- روند تغییرات دمای پایه (a)، دمای مطلوب تحتانی (b)، دمای مطلوب فوقانی (c) و دمای سقف (d) بدست آمده توسط مدل دندان مانند تحت پتانسیل آب برای بذر اکوتیپ بوشهر دیر گونه (*H. muticus*)

Figure 7- Trend of changes in basal temperature (a), optimum lower temperature (b), optimum upper temperature (c) and ceiling temperature (d) obtained by the Dent-like model under water potential for seeds of Dayyer ecotype (*H. muticus*).

Reference

منابع

- Ghaderifar, F. 2008.** The study of seed quality development, germination, longevity and deterioration in some medicinal plants: medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo*. Convar.var. *styriaca*), cumin blank (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). Ph.D. dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan Univ. of Agric. Sci. and Nat. Resources. Iran. (In Persian, with English Abstract)
- Ansari, O., J. Gharekhlou, F. Ghaderifar, and B. Kamkar. 2017.** Application of hydro time model for quantification of *Malva sylvestris* L. germination response to water potential. *Environ. Stresses in Agric. Sci.* 10(1): 67-77. Doi: 10.22077/escs.2017.532. (In Persian)
- Balbaki, R. Z., R. A. Zurayk, M. M. Blek, and S. N. Tahouk. 1999.** Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Sci. Technol.* 27:291-302.
- Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 1998.** *Seeds: Ecology, Biogeography and Evaluation of Dormancy and Germination.* Academic Press, San Diego, California, U.S.
- Cave, L., C. J. Birch, and G. L. Ha. 2011.** Cardinal Temperatures and Thermal Time for Seed Germination of *Brunonia australis* (*Goodeniaceae*) and *Calandrinia* sp. (*Portulacaceae*). *Am. Soc. Hortic. Sci.* 46(5):753-758. Doi:10.21273/HORTSCI.46.5.753.
- Chachalis, D., and K.N. Reddy. 2000.** Factors affecting *Campsis radicans* seed germination and seedling emergence. *Weed Sci.* 48:212-216. Doi: 10.1614/0043-1745(2000) 048[0212: FACRS] 2.0.CO;2.
- Chevalier, A. 1996.** *The Encyclopedia of Medicinal Plants.* Doring Kindersley, London, England.
- Galeshi, S., F. Salim, A. Soltani, and J. Rezaei. 2007.** Evaluation of drought tolerance in forty cotton ecotypes at germination stage. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources.*, Spec. Issue on Agric. and Plant Breeding. 13(2):25-27. (In Persian)

- Grime, J. P., G. Mason, A. V. Curtis, J. Rodman, and S. R. Band. 1981.** A comparative study of germination characteristics in a local flora. *J. Ecol.* 69: 1017–1059. Doi:10.2307/2259651.
- Gu, M., N. Li, T. Shao, X. Long, M. Brestic, H. Shao, and J. Li. 2016.** Accumulation capacity of ions in cabbage (*Brassica oleracea* L.) supplied with sea water. *Plant Soil Environ.* 62: 314–320. DOI: 10.17221/771/2015-PSE
- Guo, C., Y. Shen, and f. Shi. 2020.** Effect of Temperature, Light, and Storage Time on the Seed Germination of *Pinus bungeana* Zucc. ex Endl.: The Role of Seed-Covering Layers and Abscisic Acid Changes. *Forests.* 11(3):300. Doi:10.3390/f11030300.
- Hardegree, S.P. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulationspecific regression. *Ann. Bot.* 97: 1115–1125. Doi:10.1093/aob/mcl071.
- Heidari, Z., B. Kamkar, and J. Sinaki. 2014.** Influence of temperature on seed germination response of fennel. *Adv. in Plants and Agric. Res.* 1(5):207–213. Doi: 10.15406/apar.2014.01.00032.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2009.** Int. Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland.
- Kamkar, B., and A. Mahdavi damghani. 2012.** Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using nonlinear regression models. *Ind. Crops and Products.* 35: 192-198. Doi: 10.1016/j.indcrop.2011.06.033.
- Khatamsaz, M. 1998.** Flora of Iran (*Solanaceae.*) Forest and Rangelands Research Institute Publication, Tehran, Iran. (In Persian)
- Khorramdel, S. 2017.** The need to develop the planting of medicinal plants and strategies to deal with dehydration. 2nd Natl. Conf. Dryland Med. Plants of Iran. 11 July 2017. Urmia, Iran. (In Persian)
- Khodabakhsi, A., B. Kamkar, and N. Khalili. 2016.** Quantification of the germination response of (*Satureja hortensis* L.) to temperature and water potential using nonlinear regression models. *J. Crop Improv.* 17(1): 229-240. Doi:10.22059/jci.2015.54801. (In Persian)
- Mamedi, A., R. Tavakolafshari, and S. Niazali. 2017.** Quantification of quinoa germination reaction under different temperature regimes and drought stress. *Iranian Crop Sci.* 2017. 48(3): 615-623. Doi: 10.22059/IJFCS.2017.128439.653907. (In Persian)
- Mensah, J. K., B. O. Obadoni, P. G. Eruotor, and F. Onome-Irieguna. 2006.** Simulated flooding and drought effects on germination, growth, and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). *African J. of Biotechnol.* 5(13): 1249-1253. Doi: 10.5897/AJB06.139.
- Michel, B. E., and M. R. Kaufmann. 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51, 914–916. Doi:10.1104/pp.51.5.914.
- Milbau, A., B. Jessen Graae, A. Shevtsova, and I. Nijs. 2009.** Effects of a warmer climate on seed germination in the subarctic. *Ann. Bot.* 104: 287-296. Doi: 10.1093/aob/mcp117.
- Mozaffarian, V. 1998.** A dictionary of Iranian plant names: Latin, English, Persian, Farhang Mo'aser, Tehran, Iran. (In Persian)
- Rezaei Chiane, E., A. Valizadegan, M. Tajbakhsh, F. Razavi, B. Hosseini, and M. Javan. 2012.** Effects of drought stress induced by polyethylene glycol on germination characteristics of henbane (*Hyoscyamus niger* L.). 12th Iranian Crop Sci. Congr. 4-6 Sept. Karaj, Iran. (In Persian)
- Sehgal, A., K. Sita, J. Kumar, S. Kumar, S. Singh, K. H. M. Siddique, and H. Nayyar. 2017.** Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic Function of Lentil (*Lens culinaris Medikus*) Ecotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Frontiers in Plant Sci.* 8: 1776. Doi: 10.3389/fpls.2017.01776.
- Singh, P., P. Bhaglal, and S. S. Bhullar. 1996.** Differential levels of wheat germ agglutinin (WGA) in germinating embryos of different wheat cultivars in response to osmotic stress. *Plant Physiol. Biochem.* 34: 547-552.
- Soltani, A., M. J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz, and R. Sarparast. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. Meteorol.* 138: 156-167. Doi: 10.1016/j.agrformet.2006.04.004.

- Soltani, E., M. Oveisi, A. Soltani, S. Galeshi, F. Ghaderifar, and E. Zeinali. 2014.** Affected by temperature and water Seed germination modeling of volunteer canola as potential: hydrothermal time model. *J. of Weed Res.* 1131, 6(1): 23-38. (In Persian)
- Soltani, A. 2011.** Seed germination response of *Haloxylon persicum* (Chenopodiaceae) to different hydrothermal conditions and sand burial depths. *Caspian J. of Environ. Sci.* 9: 211-221. (In Persian)
- Stefanello, R., D. Camacho Garcia, N- D. Menezes, F. M. Briao Muniz, and C. Fernanda Wrasse. 2006.** The effect of light, temperature and hydric stress on the physiologic potentiality of fennel seeds. *Revista Brasileira de Sementes.* 28(2): 135-141.
- Taherabadi, S., M. Goldani, S. Taherabadi, and F. Fazeli-Kakhki. 2016.** Determination of Cardinal Temperatures in the Seeds of Henbane, Aconite and Hemp. *Iranian J. of Plant Protection Res.* 29 (1): 16-22. Doi: 10.22067/JPP.V29I1.22196. (In Persian)
- Tolyat-Abolhasani, M. 2021.** Evaluation of genetic diversity of populations of some species of (*Hyoscyamus* spp.) And its morphophysiological and phytochemical study under drought stress conditions. *Rep. of Jihad Univ. Medicinal Plants Res. Inst.* 22. (In Persian)
- Tolyat-Abolhasani, M., R. Tavakolafshari, M. Jahansoz, F. Nadjafi, and H-A. Naghdiabadi. 2014.** Determination of cardinal germination temperatures of two Ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *Daenensis*. *Seed Sci. Technol.* 42:28-35. Doi: 10.15258/sst.2014.42.1.03. (In Persian)
- Trudgill, D.L., G.R. Squire, and K. Thompson. 2000.** A thermal time basis for comparing the germination requirements of some British herbaceous plants. *New Phytol.* 145 107 114. Doi:10.1046/j.1469-8137.2000.00554. x.
- Windauer, L. J., D. Martinez, D. W. Rapoport, and A. R. Benech. 2012.** Germination responses to temperature and water potential in *Jatropha curcas* seeds: a hydrotime model explain the difference between dormancy expression and dormancy induction at different incubation temperatures. *Ann. Bot.* 109: 265–273. Doi: 10.1093/aob/mcr242.
- Zhang, R., J. M. Baskin, C. C. Baskin, Q. Mo, L. Chen, X. Hu, and Y. Wang. 2017.** Effect of population, collection year, after-ripening and incubation condition on seed germination of *Stipa bungeana*. *Nature, Sci. Rep.* 7: 13893. Doi:10.1038/s41598-017-14267-2.

