

اثر تنش شوری و خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ وحشی (*Carthamus oxycantha*)

سیده فاطمه فخرراد^۱، علی قنبری^۲، مهدی راستگو^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰۲- دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده

کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۳)

چکیده

گلرنگ‌وحشی (*Carthamus oxycantha*)، از جمله علف‌هرز مهم در مزارع زعفران استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. به منظور بررسی اثر تنش شوری و خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی این گونه علف هرز، آزمایش‌هایی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار، در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه تحقیقات علوم علف‌های هرز دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل پتانسیل آب ناشی از کلور سدیم و پلی اتیلن گلیکول (PEG) در هشت سطح (صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال) و دما در شش سطح ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بودند. در هر دو تنش، بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی به ترتیب در دماهای ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۲۵، ۲۰ و در نهایت ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. پتانسیل آب مورد نیاز برای ۵۰ درصد کاهش درصد جوانه‌زنی برای تنش شوری در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب برابر با ۲/۲۶، ۳/۶۴، ۴/۴۳، ۲/۶۳، ۱/۹۴- مگاپاسکال و به طور مشابه برای تنش خشکی برابر با ۱/۶۵، ۱/۶۸، ۱/۹۲، ۱/۴۳- و ۱/۱۲- مگاپاسکال بود. با تغییر پتانسیل آب ناشی از کلور سدیم از صفر تا ۰/۶- مگاپاسکال، دمای بهینه از ۱۹/۹۹ به ۱۷/۴۳ و با تغییر پتانسیل آب ناشی از پلی اتیلن گلیکول از صفر به ۰/۲- مگاپاسکال، دمای بهینه از ۱۹/۹۹ به ۱۷/۹۰ کاهش پیدا کرد. به طور کلی و بر مبنای نتایج این آزمایش، حساسیت گلرنگ وحشی به خشکی بیشتر از شوری بود و پتانسیل گسترش آن در مناطق شور و همچنین مدیریت این علف‌هرز در اراضی شور می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پلی اتیلن گلیکول، سرعت جوانه‌زنی، کلور سدیم.

Effect of salt and drought stress on germination characteristics of wild safflower (*Carthamus oxycanthus*)

Seyyede Fatemeh Fakhr Rad¹, Ali Ghanbari², Mehdi Rastgo³

1, 2, 3. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(Received: November 25, 2018- Accepted: December 4, 2019)

ABSTRACT

Wild safflower (*Carthamus oxycantha*) is an important weed in the Saffron fields of Razavi Khorasan province. To study the effects of salt and drought stress on germination characteristics of this weed species, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. Factors included water potentials based on NaCl and PEG at 8 levels (0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.2 -MPa) and temperature at 6 levels (10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C). In both stresses, the greatest germination percentage and rate were observed at 20, 15, 25, 10 and 30 °C, respectively. The required water potentials for 50% reduction in germination percentage for salt stress at 10, 15, 20, 25 and 30 °C were 2.26, 3.64, 4.43, 2.63 and 1.98 -MPa, respectively, and similarly for drought stress were 1.65, 1.68, 1.92, 1.43, and 0.12 -Mpa, respectively. Changing water potential base on NaCl from 0 to -0.6 MPa, decreased optimum temperature from 19.99 to 17.43 °C. Optimum temperature decreased from 19.99 to 17.90 °C by changing water potential based on PEG from 0 to -0.2 MPa. In general and based on the results of this experiment, wild safflower was more sensitive to drought than salinity, and the potential for its spread in saline areas, as well as the management of this weed in saline lands should be considered.

Keywords: Germination rate, NaCl, poly ethylen glycol (PEG).

* Corresponding author E-mail: m.rastgo@um.ac.ir

مقدمه

ماوراءبنفش و درجه حرارت‌های بالا و پایین است. خسارت تنش‌های کمبود آب، شوری و دما به گیاهان زراعی در مقایسه با سایر تنش‌ها در سطح جهان گسترده تر است به طوری که بر اساس مطالعات انجام شده، از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش‌های زنده (بیماری، آفات و علف‌های هرز) و تنش‌های غیرزنده (خشکی، غرقاب، شوری، گرما و سرما)، تنش خشکی به‌تنهایی عامل ۴۵ درصد از کاهش عملکرد محصول بوده است و به‌طورکلی در میان تنش‌ها، تنش‌های شوری و خشکی بیشتر موردتوجه قرار دارند (Wang et al., 2009). تحقیقات محققان نسبتاً زیادی بیانگر اثرات منفی تنش شوری و خشکی بر جوانه‌زنی گیاهان است (Amara et al., 2013; Rios-Rojas et al., 2014; Zhou et al., 2015).

گلرنگ‌وحشی (*Carthamus oxycantha*) گیاهی یک‌ساله، سه کربنه، از تیره کاسنی (Asteraceae) و از علف‌های هرز مهم مزارع استان خراسان رضوی محسوب می‌شود (Fakhrad et al., 2018). این علف‌هرز اخیراً در مزارع زعفران شهرستان بردسکن (خراسان رضوی) گسترش فراوان پیدا کرده است و با بهره‌برداری از مواد غذایی خاک و تداخل در برداشت زعفران، مشکلات زیادی را به دنبال داشته است. با در نظر داشتن این موارد و با توجه به این‌که این شهرستان دارای آب‌وهوای خشک با بارندگی کم و واجد خاک‌های شور می‌باشد، مطالعه اثرات تنش شوری و خشکی بر جوانه‌زنی این علف‌هرز در مزارع آلوده این شهرستان، در جهت مدیریت کارآمد و بر پایه دانش روز، ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر آن، این اطلاعات می‌تواند در شناخت پتانسیل توسعه این علف‌هرز در سایر مناطق استان خراسان رضوی نیز مؤثر باشد. ازاین‌رو، این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری و خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ‌وحشی

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه، از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان (Windauer et al., 2007) و نخستین مرحله رقابت یک علف‌هرز در یک آشیانه اکولوژیکی است؛ ازاین‌رو، از مهم‌ترین رویدادها برای موفقیت بسیاری از علف‌های هرز محسوب می‌شود (Hakansson, 2002; Leon & Knapp 2004). جوانه‌زنی فرآیند فیزیولوژیک پیچیده‌ای است که با جذب آب توسط بذر شروع می‌شود و با طولیل شدن محور جنینی و خروج ریشه‌چه پایان می‌یابد؛ این فرآیند نتیجه تعامل چندین عامل درونی و بیرونی است (Foley & Fennimore, 1998; Meyer & Pendleton, 2000). از نظر عوامل درونی، جوانه‌زنی احتیاج زیادی به انرژی دارد که به‌وسیله اکسیداسیون مواد غذایی ذخیره‌ای بذر تأمین می‌شود. عوامل بیرونی مؤثر بر جوانه‌زنی شامل عواملی از قبیل دما (Foley, 2008)، نور (Huebner, 2011)، اسیدیته یا pH (Asgarpoor, et al., 2013)، اکسیژن (Shafii, & PriceSource, 2001)، پتانسیل اسمزی (Boyd & Van Acker, 2004)، شوری خاک (Wilson et al., 2005)، عمق دفن بذر (Zhou et al., 2006)، هستند که می‌توانند به تأثیر زیادی بر جوانه‌زنی بذرها داشته باشند و هر سطحی از این عوامل که باعث تفاوت معنی‌دار در سازگاری گیاه شود، تنش محسوب می‌شود.

در مرحله جوانه‌زنی بذر، محیط خاک اغلب برای جوانه‌زنی و رشد سریع گیاهچه مناسب نیست و تنش‌های زنده و غیرزنده می‌تواند سرعت جوانه‌زنی و رشد را کاهش دهند یا به‌طورکلی از جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه جلوگیری کند (Ashraf & Foolad, 2005). از جمله تنش‌های غیرزنده‌ای که گیاهان در معرض آن قرار می‌گیرند، عناصر سنگین، نمک موجود در خاک، اشعه

انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر شوری و خشکی بر جوانه‌زنی بذور علف‌هرز گلرنگ وحشی، آزمایش‌هایی در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در آزمایشگاه تحقیقات علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل پتانسیل آب (بر مبنای نمک (کلرور سدیم) و پلی اتیلن گلیکول (PEG)) در هشت سطح صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲- مگاپاسکال و دما در شش سطح ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتیگراد بودند. لازم به ذکر است که انتخاب سطوح دمایی و پتانسیل آب، مبتنی بر روش‌های استاندارد مطالعات مربوط به اکولوژی جوانه‌زنی بذرها انجام شد تا روند کلی پاسخ جوانه‌زنی بذرها گلرنگ وحشی در دامنه گسترده‌ای از دما و پتانسیل آب که در مطالعات مذکور توصیه شده است، حاصل شود و امکان برآزش مدل به آن فراهم شود. بذرها گلرنگ وحشی در مردادماه سال ۱۳۹۴ از مزارع زعفران شهرستان بردسکن، با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۹۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۶۲ متری از سطح دریا، به‌طور تصادفی از هزار بوته گلرنگ وحشی جمع‌آوری شدند و همه بذرها جمع شده باهم مخلوط شدند. سپس برای شکست خواب، بذرها تمیز و خشک شده، به مدت پنج ماه در دمای اتاق و در پاکت‌های کاغذی بعدی نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت‌زمان و برای اطمینان از جوانه‌زنی مطلوب، قوه نامیه بذرها در دمای محیط با تترازیلیوم کلراید مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمون نشان‌دهنده جوانه‌زنی بالای بذرها (بالاتر از ۹۸ درصد) و شکست خواب آن‌ها بود.

به منظور مقایسه راحت‌تر بین اثرات تنش شوری و خشکی در این آزمایش، از واحد یکسان (مگاپاسکال) برای پتانسیل‌های ناشی از هر دو تنش استفاده شد. محلول‌های شوری توسط NaCl و طبق فرمول وانتروف (معادله ۱) تهیه شد (Sohrabi et al., 2013).

$$\Psi_s = -CiRt$$

معادله ۱

که در این فرمول Ψ_s : پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)، C: غلظت کلرور سدیم بر اساس مولاریته، i : ضریب یداسیون (۱/۸)، R: ثابت گازها (۰/۰۸۳۱۴) و t: دما برحسب درجه کلوین است. به منظور بررسی تنش خشکی و تهیه محلول‌ها با پتانسیل اسمزی مختلف نیز از PEG6000 و روش میشل و کافمن (Michel & Kaufmann, 1973) استفاده شد. تعداد ۲۵ بذر بر روی کاغذ صافی در پتری دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر قرار گرفت. هر پتری دیش به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد و پنج میلی‌لیتر آب مقطر یا محلول مورد نظر به هر پتری دیش اضافه شد. جهت جلوگیری از تبخیر شدن آب، پتری دیش‌ها به وسیله پارافیلیم بسته شدند و برای ۱۲ روز در دماهای مورد نظر نگهداری شدند. پس از شروع آزمایش، بذرها جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت یک‌بار شمارش شدند و تا زمانی که جوانه‌زنی به مدت سه روز متوالی ثابت شد، ادامه یافت؛ معیار جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه قابل مشاهده بود (Chauhan & Johnson, 2008). پس از پایان آزمایش، صفاتی مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند.

برای به دست آوردن پتانسیل آب ناشی از نمک و پلی اتیلن گلیکول برای ۵۰ درصد بازدارندگی در جوانه‌زنی، داده‌های مربوط به درصد جوانه‌زنی بذرها در پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از نمک و پلی اتیلن گلیکول در دماهای مختلف، با استفاده از یک مدل لجستیک سه پارامتری (Chauhan et al., 2006) توسط

نتایج و بحث

اثر پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلایکول بر جوانه‌زنی تجمعی

برازش خوب معادله سه پارامتره لجستیک درصد جوانه‌زنی بذره‌های گلرنگ وحشی به غلظت‌های مختلف کلرور سدیم و پلی اتیلن گلایکول نشان داد که هرچند درصد جوانه‌زنی بذره‌های گلرنگ وحشی در تنش شوری و خشکی، متفاوت بود اما الگوی جوانه‌زنی در دماهای متفاوت یکسان بود؛ به طوری که در هر دو تنش، بیشترین درصد جوانه‌زنی، به ترتیب در دماهای ۲۰، ۱۵، ۲۵، ۱۰ و نهایتاً ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۱، جدول ۱). در آزمایش بصیری و همکاران (Bassiri et al., 1975) نیز جوانه‌زنی بذره‌های گلرنگ وحشی در دماهای پنج و ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافتو بالاترین جوانه‌زنی این علف‌هرز در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد، مشاهده شد.

پارامتر X_{50} نشان‌دهنده پتانسیل آب بر مبنای کلرور سدیم و یا پلی اتیلن گلایکول است که باعث ۵۰ درصد بازدارندگی جوانه‌زنی می‌شود؛ این مقدار برای تنش شوری در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر با ۲/۲۶، ۳/۶۴، ۴/۴۳، ۴/۶۳ و ۲/۶۳- و ۱/۹۴- مگاپاسکال و برای تنش خشکی برابر با ۱/۶۵، ۱/۶۸، ۱/۹۲، ۱/۴۳۰ و ۰/۱۲- مگاپاسکال برآورد شد (جدول ۱) که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر جوانه‌زنی گلرنگ وحشی به خشکی ناشی از کاربرد PEG در مقایسه با شوری بود. این ویژگی می‌تواند با استفاده از مولکول‌های PEG در ارتباط باشد چراکه به نظر می‌رسد در محلول‌های غلیظ ناشی از پلی اتیلن گلایکول، علاوه بر اثرات منفی ناشی از افزایش پتانسیل آب محلول، به دلیل لزجت یا ویسکوزیته بالای محلول، انحلال اکسیژن با سختی بیشتری صورت می‌گیرد و در

نرم‌افزار SigmaPlot 12.5 برازش داده شدند (معادله ۲).

$$G (\%) = G_{\max} / (1 + (x/x_{50})^{G_{\text{rate}}}) \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادله، G : درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از نمک و پلی اتیلن گلایکول (x)، G_{\max} : حداکثر درصد جوانه‌زنی، x_{50} : پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم و یا پلی اتیلن گلایکول لازم جهت ۵۰ درصد بازدارندگی در جوانه‌زنی و G_{rate} : شیب مدل یا شاخصی از سرعت جوانه‌زنی است. اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی بذرها با استفاده از معادله ۳ انجام شد (Sohrabi et al., 2013).

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{Si}{Di} \quad \text{معادله ۳}$$

که در این معادله، R : سرعت جوانه‌زنی برحسب تعداد بذر جوانه‌زده در روز، Si : تعداد بذر جوانه‌زده در روز i ام و Di : تعداد روز تا شمارش i ام می‌باشد. تعیین درجه حرارت‌های کاردینال (کمینه، بهینه و بیشینه) با استفاده از مدل خطوط متقاطع (ISL)^۱ (معادله ۴) بین سرعت جوانه‌زنی و درجه حرارت‌های مختلف صورت گرفت.

معادله ۴ $f = \text{if}(T < T_0, \text{region1}(T), \text{region2}(T))$

$\text{region1}(T) = b \times (T - T_b)$, $\text{region2}(T) = c \times (T_m - T)$

معادله سیگموئیدی سه پارامتره (معادله ۵) به داده‌های جوانه‌زنی تجمعی در پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلایکول برازش داده شد.

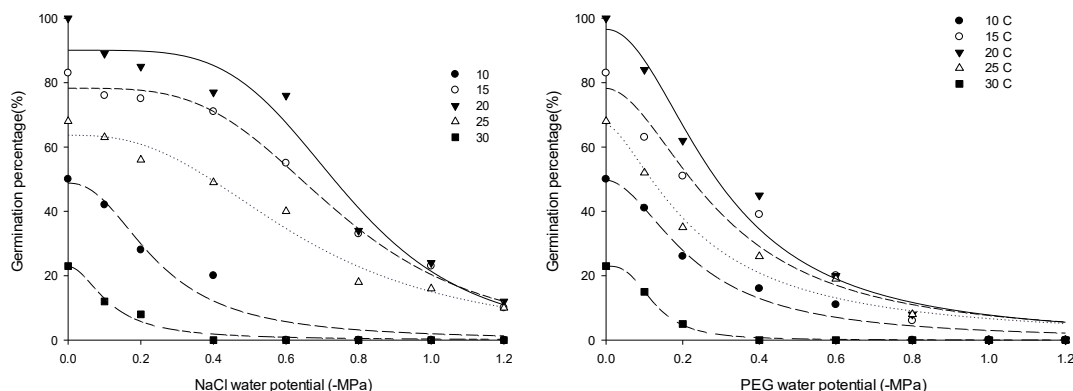
$$Y = \frac{a}{1 + \exp\left(\frac{-(T - X_0)}{b}\right)} \quad \text{معادله ۵}$$

در این معادله، Y : جوانه‌زنی تجمعی در زمان T ، a : حداکثر جوانه‌زنی، X_0 : زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b : شیب نمودار می‌باشد. قبل از آنالیز آماری، داده‌های آزمایش بر اساس تبدیل جذری $(\sqrt{x} + 0.5)$ نرمال شدند.

^۱ Intersected-lines model

پشمکی ژاپنی (*Bromus japonicus*)، با کاهش پتانسیل آب ناشی از پلی اتیلن گلایکول از صفر به $-1/1$ ، درصد جوانه‌زنی این گیاه از 100 درصد به هفت درصد رسید. در این آزمایش، غلظت لازم برای 50 درصد بازدارندگی جوانه‌زنی ناشی از تنش خشکی و شوری، به ترتیب 0.77 مگاپاسکال و 2.02 میلی مولار بود؛ با توجه به نتایج آزمایش محققان، گیاه علف پشمکی ژاپنی گیاهی مقاوم به شوری بود.

نتیجه جوانه‌زنی دچار اختلال می‌شود (Fakhrad et al., 2018). در سایر گیاهان خانواده کاسنی، مقدار این پارامتر (X_{50}) متفاوت است؛ به‌عنوان مثال، این مقدار در گیاه مستور خوابیده (*Eclipta prostrate*) برابر با 194 میلی مولار (Chauhan & Johnson, 2008) و در گیاه شیر تیغی (*Sonchus oleraceus*) برابر با $89/6$ میلی مولار (Chauhan et al., 2006) گزارش شده است. در آزمایش لی و همکاران (Li et al., 2015) روی علف



شکل ۱- اثر پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلایکول بر جوانه زنی بذور گلرنگ وحشی در دماهای مختلف بر اساس مدل لجستیک سه پارامتره. پارامترها در جدول ۱ ارایه شده است.

Fig 1. Effect of different water potential based on NaCl and PEG on germination percentage of wild safflower seeds in different temperatures based on three paramters logistic model. Parametrs representd in Table 1.

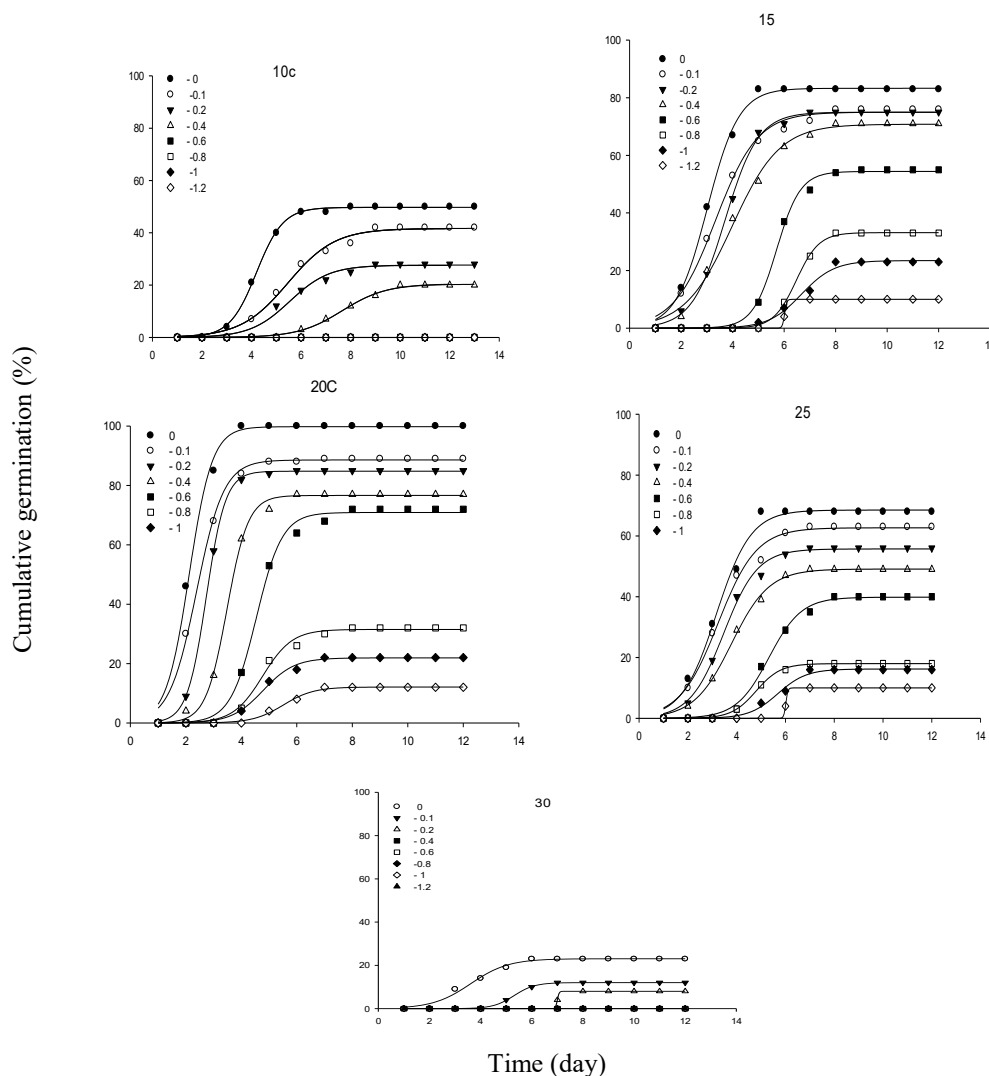
جدول ۱- پارامترهای حاصل از برازش مدل لجستیک سه پارامتره به رابطه پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلایکول و درصد جوانه زنی بذور گلرنگ وحشی در دماهای مختلف

Table 1. Parameters estimated from fitting the three paramters logistic model to relationship between germination of wild safflower seeds at different water potential based on NaCl and PEG at different temperatures

	Temperature(°C)	G_{max}	G_{rate}	X_{50}	P value	R^2
NaCl	10	48.78	2.26	0.24	0.0003	0.96
	15	78.28	3.64	0.75	0.0001	0.92
	20	90.07	4.43	0.76	0.0003	0.95
	25	63.80	2.63	0.64	0.0001	0.96
	30	22.82	1.94	0.11	0.0001	0.97
PEG	10	49.94	1.65	0.24	0.0009	0.96
	15	80.40	1.68	0.28	0.002	0.95
	20	97.24	1.92	0.29	0.0007	0.97
	25	67.47	1.43	0.23	0.0011	0.96
	30	22.92	0.12	0.12	<0.0001	0.99

در هر سطح دمایی، با افزایش پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم و پلی‌اتیلن گلیکول، جوانه‌زنی کاهش یافت به طوری که در تنش خشکی و غلظت منفی یک مگاپاسکال و در تمام دماهای آزمایش، جوانه‌زنی صفر بود (شکل ۳) و در پتانسیل اسمزی ۱/۲- مگاپاسکال ناشی از کلرور سدیم، جوانه‌زنی فقط در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد (به ترتیب ۱۰ و ۱۲ درصد؛ شکل ۲، شکل ۳).

تأثیر تنش‌ها در کاهش درصد جوانه‌زنی در مطالعات مختلف گزارش شده است (Amara et al., 2013; Rios-Rojas et al., 2014; sevik & cetin, 2014; Zhou et al., 2015) که این تأثیر منفی را می‌توان به تغییر آنزیم‌ها و هورمون‌های درون بذر و همچنین کاهش هیدراته شدن بذر در شرایط تنش نسبت داد که این عمل در نهایت منجر به کاهش و یا مهار فرایند-هایی می‌شود که به خروج ریشه‌چه می‌انجامد (Bialecka & Kepczynski, 2010).

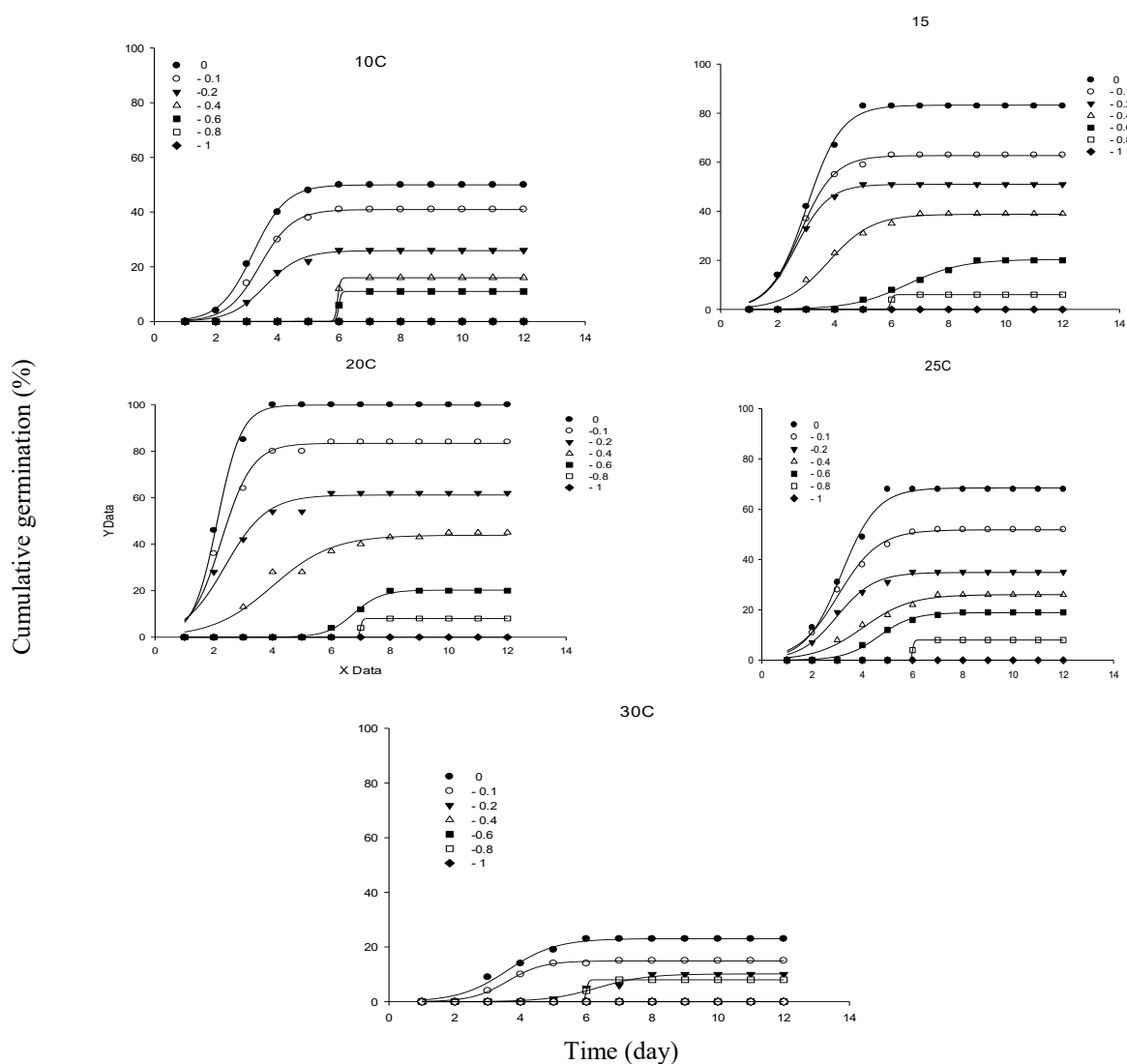


شکل ۲- جوانه زنی تجمعی بذور گلرنگ وحشی در سطوح مختلف پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم به در دماهای مختلف، بر اساس مدل سیگموئیدی سه پارامتری. پارامترها در جدول ۲ ارائه شده است.

Fig 2. Cumulative germination of wild safflower seeds at different water potential based on NaCl, in different temperatures, according three parameters sigmoidal model. Parameters representd in Table 2.

آزمایش وانگ و همکاران (Wang et al., 2016) بر روی گیاه *Polypogon fugax* بیشترین جوانه‌زنی (۵۸ درصد) در پتانسیل صفر مگاپاسکال مشاهده شد و در پتانسیل ۰/۴ تا ۰/۸ مگاپاسکال هیچ بذری جوانه نزد.

بیشترین درصد جوانه‌زنی هر دو تنش و در تمام دما-های مورد بررسی در آزمایش، در پتانسیل صفر مگاپاسکال (شاهد) و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (۱۰۰ درصد جوانه‌زنی در هر دو تنش؛ شکل ۲، ۳) و با افزایش پتانسیل در هر دو تنش، جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). در



شکل ۳- جوانه زنی تجمعی بذور گلرنگ وحشی در سطوح مختلف پتانسیل آب ناشی از پلی اتیلن گلیکول به در دماهای مختلف، بر اساس مدل سیگموئیدی سه پارامتری. پارامترها در جدول ۲ ارائه شده است.

Fig 3. Cumulative germination of wild safflower seeds at different water potential based on PEG, in different temperatures, according three parameters sigmoidal model. Parameters representd in Table 2.

2015) در آویشن (*Thymus serpyllum*) و لطفی فر و همکاران (Lotfifar et al., 2014) در خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) نیز مشاهده شده است. به‌طور کلی، در منحنی‌هایی که نقطه جوانه‌زنی در آن‌ها زودتر شروع شد و نقطه حداکثر جوانه‌زنی نیز در آن‌ها بیشتر بود، فاصله زمانی کم‌تری بین نقطه شروع و نقطه حداکثر جوانه‌زنی وجود داشت. با افزایش پتانسیل آب، هم در تنش شوری و هم در تنش خشکی، جوانه‌زنی تنها در دماهای مطلوب ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تنش شوری و در پتانسیل‌های بالاتر از $-۰/۴$ - مگاپاسکال، به علت اثرات منفی‌تر افزایش همزمان دما و شوری بر روی جوانه‌زنی تجمعی گلرنگ‌وحشی، جوانه‌زنی مشاهده نشد. ریجیلی و همکاران (Rejili et al., 2009) نیز در آزمایش‌های خود به افزایش اثرات منفی‌تر افزایش همزمان دما و شوری بر روی گیاه یونجه پاکلاغی (*Lotus creticus*) اشاره کردند.

اثر پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلیکول بر دماهای کاردینال

برازش داده‌های مربوط به سرعت در دماها و پتانسیل‌های مختلف توسط مدل خطوط متقاطع نشان داد که با افزایش دما از ۱۰ به ۲۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و بعد از ۲۰ درجه و با رفتن به سمت ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت؛ لازم به ذکر است که با توجه به حساسیت گیاه گلرنگ‌وحشی به خشکی در سطوح پتانسیل کم‌تر از $-۰/۲$ - مگاپاسکال خشکی و $-۰/۶$ - مگاپاسکال شوری، برازش داده‌ها توسط نمودار خطوط متقاطع مقدور نبود (شکل ۴).

در آزمایش لطفی فر (Lotfifar et al., 2014) سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) از دمای پنج تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت

اثر پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلیکول بر جوانه‌زنی تجمعی

صرف‌نظر از آگاهی از تعداد نهایی بذرهای جوانه‌زده گلرنگ‌وحشی در تیمارهای مختلف، دانستن درصد جوانه‌زنی تجمعی، در درک بهتر اثر دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذرها و هم‌چنین در روند سرعت تغییرات در جوانه‌زنی نسبت به زمان مؤثر است. بدین منظور، معادله سیگموئیدی سه پارامتره به داده‌های جوانه‌زنی تجمعی به تفکیک دما برازش داده شد. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود، صرف‌نظر از پتانسیل آب، روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در دماهای مختلف کاملاً متفاوت بود و بسته به دماهای مختلف، نقطه شروع جوانه‌زنی و هم‌چنین جوانه‌زنی نهایی متفاوت بود. کاهش پتانسیل آب ناشی از پلی اتیلن گلیکول و کلرور سدیم طعام، علاوه بر جابجایی منحنی‌های مربوط به دماهای مختلف به سمت زمان‌های بیشتر (تأخیر در آغاز جوانه‌زنی)، منجر به کاهش سطح حداکثر جوانه‌زنی شد به‌طوری‌که با کاهش پتانسیل آب، مقادیر x_0 که نشان دهنده زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی بود افزایش یافت (جدول ۲، جدول ۳). به‌جز دماهای ۱۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد که حداکثر جوانه‌زنی کم‌تری داشتند و هم نقطه آغاز جوانه‌زنی در آن‌ها دیرتر شروع شده بود، در بقیه دماها واکنش مطلوبی نسبت به دما نشان داده شد. کازرونی منفرد و همکاران (Kazerooni Monfared et al., 2012) نشان دادند که در کاهوی وحشی (*Lactuca serriola*) کاهش پتانسیل آب در تمام دماهای آزمایش، منجر به تأخیر در جوانه‌زنی این گیاه شد و این تأخیر در دماهای ۱۰ تا ۲۵ درجه و پتانسیل‌های صفر تا $-۰/۲$ - مگاپاسکال از سایر دماها و پتانسیل‌ها کم‌تر بود. هم‌چنین تأخیر در شروع جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب در مطالعات داداچ و همکاران (Dadach et al.,)

جدول ۲- پارامترهای تخمینی حاصل از برازش مدل سیگموئیدی به رابطه جوانه زنی بذور گلرنگ وحشی و دما در سطوح مختلف پتانسیل آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلاکول

Table 2. Parameters estimated from fitting the sigmoidal model to relationship between germination of wild safflower seeds and temperature at different water potentials based on NaCl and PEG

Temperature(°C)	NaCl or PEG	Water potential (-Mpa)	a	b	X ₀	R ²
10	NaCl	0	49.72	0.53	4.20	0.99
		0.1	41.69	0.95	5.47	0.99
		0.2	27.65	0.79	5.54	0.98
		0.4	20.33	0.88	7.65	0.99
		0.6	-	-	-	-
		0.8	-	-	-	-
		1	-	-	-	-
10	PEG	0	49.97	0.54	3.20	0.99
		0.1	40.91	0.53	3.42	0.99
		0.2	25.89	0.57	3.59	0.99
		0.4	16.00	0.04	5.95	1
		0.6	11.00	0.03	5.90	1
		0.8	-	-	-	-
		1	-	-	-	-
15	NaCl	0	83.29	0.61	3.01	0.99
		0.1	74.98	0.81	3.33	0.99
		0.2	74.98	0.64	3.70	0.99
		0.4	70.81	0.92	3.98	0.99
		0.6	54.42	0.46	5.70	0.99
		0.8	33.16	0.44	6.47	0.99
		1	23.61	0.63	6.66	0.99
15	PEG	0	83.29	0.61	3.01	0.99
		0.1	62.73	0.59	2.79	0.99
		0.2	51.04	0.57	2.63	0.99
		0.4	38.79	0.76	3.78	0.99
		0.6	20.39	0.95	6.55	0.99
		0.8	6.00	0.04	5.97	1
		1	-	-	-	-
20	NaCl	0	99.81	0.41	2.11	0.99
		0.1	88.60	0.49	2.38	0.99
		0.2	84.82	0.34	2.73	0.99
		0.4	70.91	0.46	4.53	0.99
		0.6	75.85	0.44	4.40	0.99
		0.8	31.50	0.53	4.76	0.99
		1	21.91	0.56	4.52	0.99
20	PEG	0	99.81	0.41	2.11	0.99
		0.1	83.35	0.52	2.55	0.98
		0.2	61.14	0.70	2.38	0.96
		0.4	43.83	1.02	3.99	0.97
		0.6	20.23	0.47	6.76	0.99
		0.8	8.00	0.03	7.00	1
		1	-	-	-	-
25	NaCl	0	68.51	0.70	3.16	0.99
		0.1	51.84	0.80	3.04	0.99
		0.2	34.87	0.73	2.99	0.99
		0.4	26.05	0.93	4.03	0.98
		0.6	18.88	0.67	4.65	0.99
		0.8	8.00	0.03	6.00	1
		1	-	-	-	-
25	PEG	0	68.51	0.70	3.16	0.99
		0.1	51.84	0.80	3.04	0.99
		0.2	34.87	0.73	2.99	0.99
		0.4	26.05	0.93	4.03	0.98
		0.6	18.88	0.67	4.65	0.99
		0.8	8.00	0.03	6.00	1
		1	-	-	-	-
30	NaCl	0	23.04	0.73	3.61	0.99
		0.1	18.08	0.58	4.83	0.98
		0.2	8.00	0.03	7.00	0.99
		0.4	-	-	-	-
		0.6	-	-	-	-
		0.8	-	-	-	-
		1	-	-	-	-
30	PEG	0	23.04	0.73	3.61	0.98
		0.1	14.89	0.53	3.59	0.99
		0.2	10.14	0.74	6.33	0.98
		0.4	8.00	0.03	6.00	1
		0.6	-	-	-	-
		0.8	-	-	-	-
		1	-	-	-	-

a: حداکثر جوانه‌زنی، b: سرعت جوانه‌زنی نسبی، X₀: دهنده زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، R²: ضریب تبیین، -: اندازه‌گیری نشده

a: Maximum cumulative germination, b: proportional to the rate of germination, X₀: time to 50% maximum cumulative germination, R²: Coefficient of determination, -: was not measurable

باعث بهبود جوانه‌زنی می‌شود. سایر محققان نیز در آزمایشات خود به افزایش مقدار دمای پایه جوانه‌زنی با افزایش میزان تنش اشاره کرده‌اند (Wang *et al.*, 2005; Mobli *et al.*, 2018).

در هر دو تنش، با کاهش پتانسیل آب، دمای بهینه کاهش پیدا کرد به طوری که در تنش شوری، با تغییر پتانسیل آب از صفر تا $-0/6$ مگاپاسکال، دمای بهینه از $19/99$ به $17/43$ کاهش یافت و در تنش خشکی نیز با تغییر پتانسیل آب از صفر به $-0/2$ مگاپاسکال، دمای بهینه از $19/99$ به $17/90$ کاهش پیدا کرد (شکل ۴، جدول ۳).

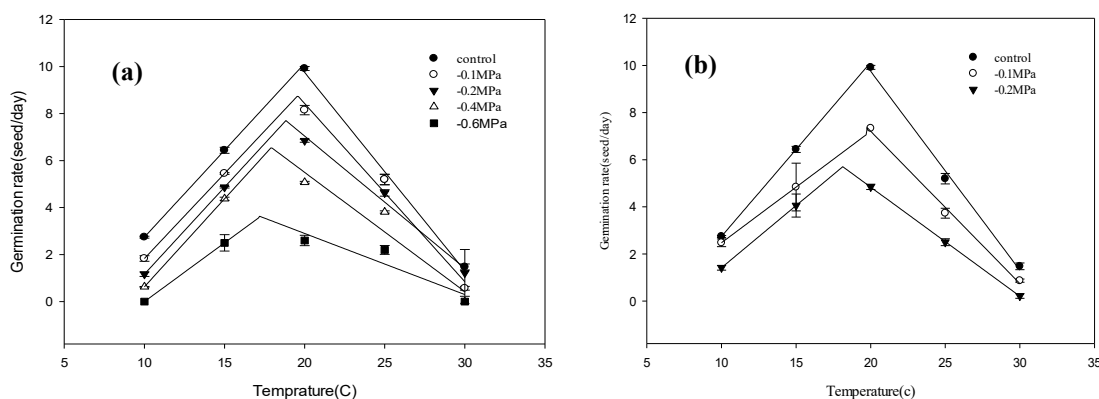
اما بعد از 20 درجه سانتی‌گراد، افزایش دما، اثر منفی بر سرعت جوانه‌زنی داشت. پارامترهای به دست آمده از نمودارهای خطوط متقاطع (جدول ۳) در هر دو تنش نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، میزان دمای پایه افزایش یافت. با تغییر سطوح پتانسیل از صفر تا $-0/6$ مگاپاسکال شوری، دمای پایه از $6/27$ به 10 و در تنش خشکی با تغییر پتانسیل از صفر تا $-0/2$ مگاپاسکال خشکی از $6/27$ تا $7/32$ افزایش پیدا کرد؛ به عبارتی افت دما و کاهش پتانسیل آب، همزمان ویسکوزیته آب را بالا بردند و سبب شدند که جذب آب توسط بذر با سختی بیشتری صورت گیرد. این موضوع نشان می‌دهد که در صورت کاهش پتانسیل آب، گرم‌تر شدن هوا

جدول ۳-: مقادیر درجه حرارت کاردینال بذرهای گلرنگ وحشی و نیز برخی از پارامترهای دیگر حاصل از برازش مدل خطوط متقاطع

به رابطه سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ وحشی و دما، در پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از کلرور سدیم و پلی اتیلن گلیکول

Table 3. Cardinal temperature and also some other parameters from the fitting ISL model to relationship between germination rate of *C. oxyantha* seeds and temperature at different water potential based on NaCl and PEG

a	water potential -MPa	Base temperature	Optimum temperature	Maximum temperature	R ²	P value
NaCl	0	6.27	19.99	31.54	0.99	<0.001
	0.1	7.46	19.40	31.11	0.99	<0.001
	0.2	8.42	18.90	31.50	0.99	<0.001
	0.4	9.15	17.90	30.83	0.94	<0.001
	0.6	10.10	17.43	31.15	0.94	<0.001
PEG	0	6.27	19.99	31.54	0.99	<0.0001
	0.1	4.76	19.80	31.14	0.99	<0.001
	0.2	7.32	17.90	30.44	0.99	<0.0001



شکل ۴- برازش مدل خطوط متقاطع به رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ وحشی در پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از کلرور سدیم (الف) و پلی اتیلن گلیکول (ب)

Fig 4. Fitting intersected-lines model to relationship between temperature and germination rate of wild safflower seeds at different water potential based NaCl (a) and on PEG (b)

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این آزمایش نشان داد که گلرنگ وحشی، علف‌هرزی حساس به خشکی و گیاهی بسیار مقاوم به شوری در مرحله جوانه‌زنی می‌باشد اما مقاومت گیاهان از جمله گلرنگ وحشی در مراحل مختلف رشد متفاوت است و پس از گذراندن مرحله جوانه‌زنی ممکن است این گیاه به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری مقاوم باشد. در عین حال و بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش، پتانسیل گسترش این علف‌هرز به مناطق شور و هم‌چنین مدیریت این علف‌هرز در مزارع خراسان رضوی که اصولاً دارای خاک‌های شور می‌باشند باید مورد توجه قرار گیرد.

کاهش دمای بهینه با افزایش سطح تنش، نشان‌دهنده این موضوع است که با افزایش تنش، سطح تحمل گیاه برای دماهای بالا کاهش می‌یابد و بسته به میزان تنش، حداکثر جوانه‌زنی در دماهای کم‌تری صورت می‌گیرد. در آزمایش مبلی و همکاران (Mobli *et al.*, 2018)، برآورد دماهای کاردینال در پتانسیل‌های مختلف خشکی توسط معادله درجه دو نشان داد که با تغییر پتانسیل آب از صفر تا $-۰/۸$ مگاپاسکال، دمای بهینه جوانه‌زنی گیاه *Alyssum linifolium* از $۱۹/۱$ به $۱۷/۷$ کاهش پیدا کرد. مسگران و همکاران (Mesgaran *et al.*, 2017) نیز بیان داشتند که دمای بهینه جوانه‌زنی گیاهان با کاهش پتانسیل آب کاهش پیدا می‌کند

منابع

- Amara, I., Capellades, M.D. Ludevid, M. and Goday, A. 2013. Enhanced water stress tolerance of transgenic maize plants over-expressing LEA Rab28 gene. *J. Plant Physiol.* 170: 864-873.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2005. Pre sowing seed treatment – A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Adv. Agron.* 88:223-265.
- Asgarpour, R., Mijani, S. and Ghorbani, R. 2013. Effect of temperature on germination rate of two passion grasses (*Salsola kali* L.) based on regression models, *J. Plant Prot.*, 7: 476-483. (In Persian with English abstract).
- Bassiri, A. and Sionit N. 1975. Emergence and seedling growth of a cultivated and a wild strain of safflower under various amounts of simulated rainfall. *Physiol. Plant.* 4: 226-229.
- Bassiri, A., Rouhani, I. and Ghorashy, S.R. 1975. Effect of temperature and scarification on germination and emergence of wild safflower, *Carthamus oxyacantha*. *Agric. Sci.* 84: 239-243.
- Biaeccka, B. and Kepczynski, J. 2010. Germination, a-, b-amylase and total dehydrogenase activities of *Amaranthus caudatus* seeds under water stress in the presence of ethephon or gibberellin A3. *Acta Biol. Cracov. Bot.* 52: 7-12.
- Boyd, N. and Van Acker, R. 2004. Seed germination of common weed species as affected by oxygen concentration, light, and osmotic potential. *Weed Sci.* 52: 589-596
- Chauhan, B., Gill, G. and Preston, C. 2006. Influence of tillage system on vertical distribution, seedling recruitment and persistence of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) seed bank. *Weed Sci.* 54: 669-676.
- Chauhan, B.S., Gill, G. and Preston, C. 2006. Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. *Weed Sci.* 54: 854-860.
- Chauhan, B.S. and Johnson, E. 2008a. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of eclipta (*Eclipta prostrata*) in a tropical environment. *Weed Sci.* 56: 383-388.
- Chauhan, B.S. and Johnson, D.E. 2008b. Seed germination and seedling emergence of giant sensitive plant (*Mimosa invisa*). *Weed Sci.* 56: 244-248.
- Dadach M., Mehdadi, Z. and Latreche, A. 2015. Effect of water Stress on seed germination of *Thymus serpyllum* L. from Tessala mount. *J. Plant Sci.* 10 (4): 151-158.
- Dadkhah, A.R. and Griffiths, H. 2006. The effect of salinity on growth, inorganic ions and dry matter partitioning in sugar beet cultivars. *J. Agri. Sci. Technol.* 8: 199-210.
- Fakhrad, F. Ghanbari, A. and Rastgoo, M. 2018. Investigation some ecophysiological aspects of *Carthamus oxyacantha*. PhD Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.

- Foley, M.E. 2008. Temperature and moisture status affect after ripening of leafy spurge (*Euphorbia esula*) seeds. *Weed Sci.* 56: 237–243.
- Foley, M.E. and Fennimore, S.A. 1998. Genetic basis for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 8: 173-179.
- Hakansson, I., Myrbeck, A. and Ararso, E. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil Til. Res.* 64: 23–40.
- Huebner, C.D. 2011. Seed mass, viability, and germination of Japanese stiltgrass (*Microstegium vimineum*) under variable light and moisture conditions. *Invasive Plant Sci. Manag.* 4: 274–283.
- Leon, R.G. and Knapp, A.D. 2004. Effect of temperature on the germination of common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*), giant foxtail (*Setaria faberi*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci.* 52: 67-73.
- Kazerooni Monfared, E., Rezvani Moghaddam, P. and Nassiri Mahallati, M. 2012. Modeling the effects of water stress and temperature on germination of *Lactuca serriola* L. seeds. *Int. Res. J. Basic Appl. Sci.* 3: 1957-1965
- Li, Q., Tan, J.N. Li, W., Yuan, G.H., Du, L., and Ma, S. 2015. Effects of environmental factors on seed germination and emergence of Japanese brome (*Bromus japonicus*). *Weed Sci.* 63: 641-646.
- Lotfifar, O., Allahdadi, I., Zand, E. and Akbari, G.A. 2014. Germination responses of wild mustard (*Sinapis arvensis*) to interaction effect of water potential and temperature. *Int. J. Biosci.* 4(6): 37-44.
- Mesgaran, M.B., Onofri, A. Mashhadi, H.R. and Cousens, R.D. 2017. Water availability shifts the optimal temperatures for seed germination: a modeling approach. *Ecol. Model.* 351: 87–95.
- Meyer, S.E. and Pendleton, R.L. 2000. Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia ridentata* (Rosaceae). *Ann. Bot.* 85: 521-529.
- Michel, B.E and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51: 914-916.
- Mobli, A., Ghanbari, A. and Rastgoo, M. 2018. Determination of cardinal temperatures of flax-leaf alyssum (*Alyssum linifolium*) in response to salinity, pH, and drought stress. *Weed sci.* 4: 470-476.
- Rejili, M., Vadel, A.M., Guetet, A., Mahdhi, M., Lachiheb, B., Ferchichi, A. Mars, M. 2009. Influence of temperature and salinity on the germination of *Lotus creticus* L. from the arid land of Tunisia. *African J. Ecol.* 48: 329–337.
- Rios-rojas L., Tapia, F. and Gurovich, L.A. 2014. Electrophysiological assessment of water stress in fruit-bearing woody plants. *J. Plant Physiol.* 171:799-806.
- Sevik, H. and Cetin, M. 2014. Effects of Water Stress on seed germination for select and escape plants. *Pol. J. Environ. Studies*, 24(2): 689-693.
- Shafii, B. and PriceSource, W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *J. Agri. Bio. Envi. Stat.* 6: 356–366.
- Sohrabi kertabad, S., Ghanbari, A., Rashed mohassel, M.H., Nassiri mahalati, M. and Gherekhloo, J. 2013. Effect of desiccation and salinity stress on seed germination and initial plant growth of *Cucumis melo*. *Plan. Danin.* 31: 833-841.
- Wang, L., zhang, D.Y., huang, Z.Y. and Tian, C.Y. 2009. Factors Influencing seed germination of *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae), a halophytic desert shrub of Xinjiang, China. *Seed Sci. Technol.* 37: 281-290.
- Wang, L., Jin, S., Wu, L., Zhou, X., Liu, X. and Bai, L. 2016. Influence of environmental factors on seed germination and emergence of Asia minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Technol.* 30(2): 533-538.
- Wang, L., Zhang, D.Y., Huang, Z.Y. and Tian, C.Y. 2009. Factors influencing seed germination of *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae), a halophytic desert shrub of Xinjiang, China. *Seed Sci. Technol.* 37:281-290.
- Wang, R., Bai, Y. and Tanino, K. 2005. Germination of winter fat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.) seeds at reduced water potentials: testing assumptions of hydrothermal time model. *Environ. Exp. Bot.* 53:49–63.
- Wilson, D.G., Burton, M.G. Spears, J.F. and York, A.C. 2006. Doveweed (*Murdannia nudiflora*) germination and emergence as affected by temperature and seed burial depth. *Weed Sci.* 54: 1000–1003.
- Windauer, L., Altuna, A. and Benech-Arnold, R. 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Inds. Crop. Prod.* 25: 70-74.
- Zhou, J., Deckard, E. and Ahrens, W.H. 2005. Factor affecting germination of hairy nightshade (*Solanum sarrachoides*) seeds. *Weed Sci.* 53: 41-45.
- Zhou, S., Han, Y., Chen, X., Kong, W. and Wang, W. 2015. The involvement of expansions in response to water stress during leaf development in wheat. *J. Plant Physiol.* 183: 64-74.