

تأثیر شوری و دما بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*)

الهام نوذریپور^۱، رضا توکل افشاری^{۲*}، الیاس سلطانی^۳ و ناصر مجنون حسینی^۴

۱ و ۴. کارشناس ارشد علوم و تکنولوژی بذر و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار، علوم و تکنولوژی بذر، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران پردیس ابوریحان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۱۷)

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر شوری و دما بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرهای بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) آزمایشی در دماهای ۲۰، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۳۰ و ۳۲ درجه سلسیوس و پتانسیل‌های شوری ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۰/۸- مگاپاسکال در آزمایشگاه بذر پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۳ به صورت آزمایش تجزیه مرکب در قالب طرح کامل تصادفی در چند مکان انجام گرفت. در هر سطح دمایی با افزایش غلظت نمک از جوانه‌زنی کاسته شد. حد آستانه تحمل به شوری جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه، ۰/۱۳۲- مگاپاسکال برآورد شد. برای به دست آوردن دماهای مهم (کاردینال) جوانه‌زنی از مدل دوتکه‌ای استفاده شد. دمای کمینه (پایه)، دمای بهینه (مطلوب) و دمای بیشینه (سقف) برای جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه در شرایط نبود تنش شوری به ترتیب ۱۷/۳۰، ۳۰/۹ و ۳۵ درجه سلسیوس به دست آمدند. منحنی واکنش دمای کمینه در مقابل پتانسیل شوری آب روند خطی افزایشی نشان داد و از میزان ۱۷ درجه سلسیوس (شاهد) به حدود ۲۳ درجه سلسیوس (۰/۸- مگاپاسکال) رسید. با افزایش شوری، میزان دمای کمینه، دمای بهینه و شمار ساعت زیستی (بیولوژیک) لازم برای جوانه‌زنی افزایش یافت. بنابر نتایج به دست آمده، گیاه بادرنجبویه در مرحله جوانه‌زنی به تنش شوری حساس است.

واژه‌های کلیدی: آستانه تحمل به شوری، پتانسیل آب، دماهای مهم، سدیم کلرید، مدل دوتکه‌ای.

The effects of salinity and temperature on germination responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.)

Elham Nozarpour¹, Reza Tavakkol Afshari^{2*}, Elias Soltani³ and Naser Majnoun Hosseini⁴

1, 4. Former M.Sc. Student and Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Professor, Department of Crop Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Aboureihan Campus University of Tehran, Pakdasht, Iran
(Received: Dec. 13, 2015 - Accepted: Apr. 5, 2016)

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of salinity and temperature on seed germination characteristics of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) in various temperatures of 20, 23, 25, 27, 30 and 32°C and water potentials of 0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa were used as treatments in Seed Laboratory, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran in 2015. Data were analyzed using combined statistical design. Percentage of germination decreased as salinity increased at each level of temperature. Estimate of threshold point for salinity was -0.132 MPa. Segmented function was evaluated to describe cardinal temperatures. The base, optimum and ceiling temperatures of lemon balm were 17.30, 30.9 and 35°C under optimum conditions of water potential, respectively. Response curve of the base temperature increased linearly from 17°C (control) to about 23°C (-0.8 MPa) by decreasing water potential. The base and optimum temperature and the biological time for germination were increased by increasing salinity. The results showed that *Melissa officinalis* L. is sensitive to salinity in germination stage.

Keywords: Cardinal temperature, salinity tolerance threshold, segmented function, sodium chloride, water potential.

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

Tel: +98 915 182 6209

مقدمه

جوانه‌زنی مرحله بسیار مهمی در چرخه زندگی گیاهان است. تحمل به شوری در فرآیند جوانه‌زنی، برای استقرار گیاهانی که در خاک‌های شور مناطق خشک رشد می‌کنند، امری بحرانی است (Khan & Golzar, 2003). شوری و دما از عامل‌های مهم و تأثیرگذار روی جوانه‌زنی بذر در خاک‌های شور و خشک است. این دو عامل می‌توانند در تعیین مقاومت به شوری در فرآیند جوانه‌زنی با هم در تعامل باشند. اگرچه شوری بالا، سبب کاهش جوانه‌زنی می‌شود اما اثرگذاری سوء شوری در دمای بهینه (مطلوب) شدت کمتری دارد (Ungar, 1995; Khan et al., 2000). نمک (سدیم کلرید)، کلرید منیزیم، کلرید کلسیم و غیره عنصرهای طبیعی موجود در خاک و از مواد مغذی ضروری گیاه هستند. اما هنگامی که غلظت آن‌ها در خاک بیش از حد مجاز شود، روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. بیشترین تأثیر سمیت شوری به دلیل حضور سدیم کلرید در خاک است که هم روی رشد و جوانه‌زنی گیاه اثر می‌گذارد و هم سبب ایجاد پتانسیل اسمزی (Soltani et al., 2006)، اثر سمیت ویژه یون‌ها (Ali et al., 2001) و نیز اختلال در جذب مواد غذایی می‌شود. تنش شوری و اسمزی هر دو از راه تأثیر بر فرآیندهای مختلف سوخت‌وسازی (متابولیکی) مانند نورساخت (فتوسنتز)، ساخت (سنتز) پروتئین، تنفس، جذب نیتروژن و میزان گیا (فیتو)هورمون‌ها، سبب محدودیت در رشد گیاه می‌شوند (Muscolo et al., 2003; Rai & Rai, 2003). پاسخ گونه‌های گیاهی به شوری و تنش اسمزی از لحاظ جوانه‌زنی و رشد متفاوت است. در شرایط طبیعی مزرعه، تنش ممکن است به صورت گذرا باشد. در این حالت موفقیت گیاه به‌طور مستقیم به توانایی‌های آن برای بازیابی پس از دوره تنش بر می‌گردد. قرار گرفتن در معرض شوری بالا ممکن است سبب مرگ بذرهای پیش از جوانه‌زنی شود (Ungar, 1995).

در رابطه با تأثیر تنش شوری روی ویژگی‌های جوانه‌زنی گیاهان دارویی مختلف آزمایش‌های چندی صورت گرفته است. دمای بهینه و آستانه تحمل به شوری برای گیاه دارویی مینای پرکپه ناجور برگ

(*Tanacetum polycephalum subsp.*)

۲۵ درجه سلسیوس و ۱۲- بار گزارش شد (Karevani et al., 2014). در آزمایشی دیگر اثرگذاری شوری روی چهار گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*)، اسفرزه (*Plantago ovata*)، خاکشیر (*Descurainia sophia*) و خرفه (*Potulaca oleracea*) بررسی و مشاهده شد که در محدوده پتانسیل‌های منفی ایجادشده بذرهای خرفه و اسفرزه جوانه‌زنی مطلوبی داشتند. در پتانسیل ۰/۸۱- بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به بذر خرفه بود. در صورتی که جوانه‌زنی بذرهای گشنیز در پتانسیل ۰/۵۹- و ۰/۸۱- مگاپاسکال به شدت کاهش یافت (Dadkhah & Kafi, 2012). با کاهش پتانسیل اسمزی در تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه دارویی گل ختمی (*Althea officinalis L.*) کاهش یافت (Yazdani-Bioki & Rezvani-Moghadam, 2012). در نتایج بررسی دیگر مشاهده شد، با افزایش تنش شوری به‌طور معنی‌داری از سرعت و درصد جوانه‌زنی گیاه دارویی گل سازویی (*Scrophularia striata*) کاسته شد و آستانه کاهش معنی‌دار در جوانه‌زنی ۱۲- بار در تنش شوری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود (Karevani et al., 2013). با افزایش تنش شوری رشد اندام‌های گیاهچه شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa L.*) به‌طور خطی کاهش یافت و در تنش شوری شدید (۱۲- بار) در عمل هیچ ریشه‌چه و ساقه‌چه‌ای تشکیل نشد (Keshavarz-Afshar et al., 2012). میزان ساعت زیستی به ازای هر واحد افزایش پتانسیل شوری آب (مگاپاسکال) حدود ۲۰ ساعت کاهش یافت و در پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال به ۵۱ ساعت رسید (Nozari-Nejad et al., 2013). گرچه کاهش پتانسیل شوری آب روی مؤلفه‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین رشد گیاه تأثیرگذار است، اما گونه‌های مختلف گیاهان در پتانسیل‌های منفی محیط حساسیت‌های متفاوتی در جوانه‌زنی دارند و پتانسیلی که در یک‌گونه بازدارنده جوانه‌زنی می‌شود، ممکن است در گونه‌ای دیگر هیچ تأثیر منفی رو جوانه‌زنی نداشته باشد.

در این رابطه Ψ_s پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)، C غلظت نمک (مولاریته)، I ضریب یدیداسیون (1/8)، R ثابت گازها (0/008314) و T دما بر حسب درجه کلوین (C+273) است. در این آزمایش از آب مقطر برای ایجاد شرایط بدون تنش (شاهد) استفاده شد. برای هر تکرار شمار پنجاه عدد بذر به مدت یک دقیقه با محلول هیپوکلرید سدیم 10 درصد ضدعفونی شد و پس از سه بار شستشو با آب مقطر، به روی یک لایه کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) درون پتری دیش‌ها منتقل شدند. در آغاز بذرها در دمای اتاق خشک و پس از آن کشت شدند. برای تیمارهای شوری میزان ۹ میلی‌لیتر از هر محلول به هر پتری دیش اضافه شد به‌گونه‌ای که بذرها خیس شوند نه اینکه غوطه‌ور شوند. پتری دیش‌ها به ژرمیناتور با دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۲ و ۳۵ درجه سلسیوس و شرایط کامل روشنایی منتقل شدند. شمارش بذرها جوانه‌زده از ۲۴ ساعت پس از کشت تا ۲۱ روز پس از آن در یک ساعت مشخص انجام شد (ISTA, 2009). ملاک جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه دست‌کم ۲ میلی‌متری بود (ISTA, 2009).

برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها از برنامه Germin استفاده شد (Soltani et al., 2013c) که این برنامه D_{10} و D_{20} (یعنی مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ترتیب به ۱۰ و ۲۰ درصد برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه درصد و سرعت جوانه‌زنی را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از راه درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در برابر زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از رابطه ۲ محاسبه شد (Soltani et al., 2013c) و از رابطه ۳ برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما استفاده شد (Soltani, 2007).

$$R_{20}=1/D_{20} \quad (2)$$

$$R_{20} = f(T) R_{max} \quad (3)$$

در این رابطه $f(T)$ تابع دماست که از ۰ در دمای کمینه (پایه) و بیشینه (سقف) تا ۱ در دمای بهینه تغییر می‌کند، R_{max} بیشترین سرعت ذاتی جوانه‌زنی در دمای بهینه است. بنابراین $1/R_{max}$ کمترین ساعت تا جوانه‌زنی را در دمای بهینه نشان می‌دهد. برای

گیاهان دارویی انباره‌های غنی از مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها هستند. گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) از تیره نعناعیان و بومی نواحی مدیترانه است. این‌گونه گیاهی علفی چندساله، ویژگی پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) دارد و ترکیب‌های معطر خاص موجود در اسانس آن در صنایع دارویی، بهداشتی و غذایی کاربرد فراوانی دارد. بادرنجبویه سازگاری به نسبت خوب با شرایط آب و هوایی ایران دارد. خاک‌های شور ایران حدود ۱۵ درصد از کل اراضی کشاورزی را که معادل ۲۴ میلیون هکتار است، تشکیل می‌دهند (Bandani & Abdolzadeh, 2007). با توجه به خشکی و شوری زمین‌های زراعی ایران و همچنین اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف، بررسی در راستای میزان تحمل گیاهان به شوری به‌ویژه در هنگام جوانه‌زنی و افزایش تولید آن‌ها با مدیریت درست و کارآمد اهمیت دارد. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش شوری روی سرعت و درصد جوانه‌زنی بادرنجبویه و همچنین تعیین دمای مهم (کاردینال) آن با استفاده از مدل رگرسیونی دوتکه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه بذر پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی) انجام گرفت. تیمارهای دمایی همزمان و در اسفند ۱۳۹۳ آغاز شدند. جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه در دامنه دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۲ و ۳۵ درجه سلسیوس در ترکیب با سطوح شوری ۰ (شاهد)، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ - مگاپاسکال در سه تکرار، مورد آزمون قرار گرفت. طرح آماری به‌صورت تجزیه مرکب بود که در آن هر دما به‌عنوان یک محیط در نظر گرفته شد. تیمارهای مختلف شوری از راه‌حل کردن مقادیر مشخصی نمک سدیم کلرید در آب مقطر برای ایجاد پتانسیل بر پایه رابطه ارائه‌شده توسط وانت هوف (رابطه ۱) ایجاد شدند (Martinez et al., 2004).

$$\Psi_s = -CIRT \quad (1)$$

$$f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_o) \quad \text{if } T_o < T < T_c$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

در این رابطه، T دما، T_b دمای کمینه، T_o دمای بهینه، T_c دمای بیشینه بر حسب درجه سلسیوس است. از روش مطلوب سازی تکراری به کمک رویه NLINE در نرم افزار SAS 9.4 برای برآورد فراسنجه های مدل استفاده شد (Soltani, 2007). در روش مطلوب سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه فراسنجه ها، میزان نهایی آن ها با روش کمترین توان های دوم برآورد می شود. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excell (2010) استفاده شد. ساعت زیستی، بیشترین سرعت ذاتی جوانه زنی در دمای بهینه است که بیانگر کوتاه ترین زمان تا جوانه زنی است از رابطه (۷) محاسبه می شود (Soltani, 2007). در این رابطه GO ساعت زیستی و R_{max} بیشترین سرعت ذاتی جوانه زنی (بر ساعت) است.

$$GO = 1/R_{max} \quad (7)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دما، شوری و اثر متقابل آن ها، تأثیر معنی داری (در سطح ۱ درصد) بر سرعت و درصد جوانه زنی، یکنواختی جوانه زنی (GU)، مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵ (D05)، ۱۰ (D10) و ۲۰ (D20) درصد جوانه زنی بادرنجبویه داشتند (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر جوانه زنی بذر بادرنجبویه (GU یکنواختی جوانه زنی، مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵ (D05)، ۱۰ (D10) و ۲۰ (D20) درصد جوانه زنی)

Table 1. Analysis of variance of the effect of salinity on germination of lemon seed (GU, uniformity of germination, time required to achieve 5 (D05), 10 (D10) and 20 (D20) germination percent)

S.O.V	df	Mean Square					
		Germination percent	Germination rate	GU	D05	D10	D20
Temperature (T)	5	8167.82**	0.000263**	2159.71	3612.71**	6998.99**	8090.84**
Rep (T)	12	13.12 ^{ns}	0.00000082 ^{ns}	13.32 ^{ns}	19.97 ^{ns}	39.37 ^{ns}	21.38 ^{ns}
Salinity (S)	4	15841.98**	0.000708**	1469.42	8204.52**	12656.94**	11739.68**
S*T	20	773.09**	0.0000288**	2664.94	8146.51**	13274.05**	15059.13**

** : Significant at 1%, ns: non-significant.

** : معنی دار در سطح احتمال، ۱ درصد ns غیر معنی دار.

درجه سلسیوس کمتر از دمای پایه بادرنجبویه بوده و بنابراین هیچ جوانه زنی در این دماها مشاهده نشد. در واقع بذرها در دماهای کمتر از دمای کمینه و یا بیشتر از دمای بیشینه هیچ جوانه زنی نخواهند داشت (Bradford, 2008).

بررسی تأثیر سطوح تنش شوری بر درصد جوانه زنی، از توابع دوتکه ای به شرح زیر استفاده شد (Sadat-Noori et al., 2015):

$$GP = GP_{max} \quad \text{if } S < St$$

$$GP = GP_{max} - b_{GP} (S - St) \quad \text{if } S \geq St \quad (4)$$

$$GP = GP_{max} \quad \text{if } S < St$$

$$GP = GP_{max} (\exp(-b_{GP}(S - St))) \quad \text{if } S \geq St \quad (5)$$

در این رابطه، GP_{max} بیشترین درصد جوانه زنی، S غلظت نمک، b_{GP} و St به ترتیب فراسنجه های شیب و آستانه تحمل به شوری هستند (Soltani et al., 2013b). بیشترین درصد جوانه زنی، در کمترین سطح شوری رخ می دهد. اگر عاملی باعث مقاومت به شوری شود، میزان GP_{max} تا هنگامی که شوری به حد آستانه تحمل برسد، کاهش نخواهد یافت. هنگامی که شوری افزایش یابد، درصد جوانه زنی با شیب b_{GP} کاهش می یابد ($S > St$). و این شیب، رگرسیون خطی یا نمایی را نشان می دهد. فراسنجه ها با استفاده از روش کمینه مربعات و رگرسیون غیرخطی (NLINE)، (GP) به عنوان محور Y و S به عنوان محور X در نرم افزار SAS به دست آمدند (Sadat-Noori et al., 2015).

تابع دمایی دوتکه ای برای بررسی واکنش جوانه زنی بذرها بادرنجبویه به دما در پتانسیل های مختلف به داده ها برازش داده شد (Soltani et al., 2006; Soltani et al., 2008). رابطه این تابع به صورت زیر است:

$$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b) \quad \text{if } T_b < T \leq T_o \quad (6)$$

با افزایش غلظت نمک در هر سطح دمایی از میزان جوانه زنی کاسته شد. شایان یادآوری است که در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۵ درجه سلسیوس هیچ یک از بذرها در هیچ سطح رطوبتی جوانه نزدند. دماهای ۵، ۱۰ و ۱۵

هرچه دما افزایش می‌یابد و به دمای بهینه نزدیک‌تر می‌شود درصد و سرعت جوانه‌زنی نیز افزایش می‌یابد. نتایج همسانی در این زمینه توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Dadkhah, 2010; Karevani *et al.*, 2014). در نتایج تحقیقی مشاهده شد، درصد جوانه‌زنی بذر مینای پریکیه ناجور برگ (*Heterophyllum polycephalum subsp.*) با افزایش تنش شوری در همه دماها کاهش یافت اما افزایش دما درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد و بالاترین درصد جوانه‌زنی در بذرهای شاهد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به دست آمد و کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به دمای ۵ درجه سلسیوس بود و دمای ۲۵ درجه سلسیوس را به‌عنوان دمای بهینه برای جوانه‌زنی این بذر معرفی کردند (Karevani *et al.*, 2013). در نتایج آزمایشی دیگر مشاهده شد، با افزایش دما از ۵ به ۲۵ درجه سلسیوس درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه در گیاه گل سازویی (*Scrophularia striata*) در همه تیمارهای تنش افزایش یافت (Karevani *et al.*, 2014). نتایج این آزمایش با نتایج Karevani *et al.* (2014) همخوانی دارد. روند تغییر درصد جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه در سطوح مختلف شوری در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین درصد جوانه‌زنی در غلظت پایین شوری، به‌صورت یک خط صاف تا نقطه آستانه تحمل به شوری (St) مشاهده شد. سپس درصد جوانه‌زنی با افزایش غلظت شوری، به‌صورت خطی و با شیب ۱۰/۵۸ کاهش یافت. بر پایه این مدل، آستانه تحمل شوری (St) بذر بادرنجبویه ۰/۱۳۲- مگاپاسکال بود.

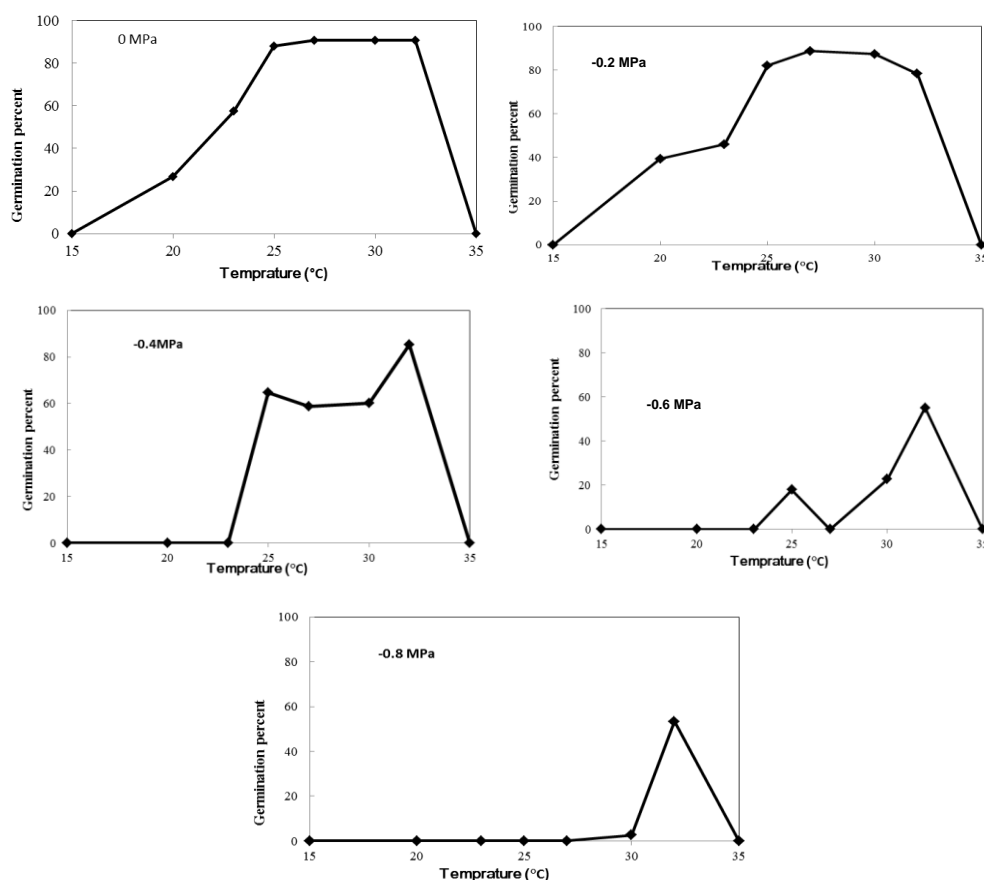
بذر برای جوانه‌زنی به یک آستانه پتانسیل رطوبتی نیاز دارد تا فرآیندهای سوخت‌وسازی در آن فعال شوند. در پتانسیل‌های بالای اسمزی این میزان آب تأمین نمی‌شود و در نتیجه بذر قادر به جوانه‌زنی نخواهد بود. در واقع تنش شوری سبب افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب آب توسط بذر می‌شود و افزون بر این از راه اثرگذاری سمی یون‌های سدیم و کلر، جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حقیقت افزایش تنش شوری سبب افزایش جذب یون‌های سدیم و کلر می‌شود. جذب بیش از حد این یون‌ها

(2002). در دماهای ۲۰ و ۲۳ درجه سلسیوس و همچنین در دمای ۲۷ درجه سلسیوس، به ترتیب هیچ جوانه‌زنی در سطوح شوری بالای ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال مشاهده نشد، درحالی‌که در دماهای ۳۰ و ۳۲ درجه سلسیوس تا غلظت ۰/۸- مگاپاسکال جوانه‌زنی مشاهده شد و درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۲/۶۶ و ۵۸ بود و در این دو سطح دمایی، سطوح شوری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و همچنین با شاهد داشتند (شکل ۱). غلظت‌های نمک ۰/۲- تا ۰/۸- مگاپاسکال در دمای ۳۲ درجه سلسیوس سبب تحریک جوانه‌زنی نسبت به دیگر دماها شد و درصد جوانه‌زنی در این سطوح تنش شوری با شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. در تیمار شاهد (بدون تنش)، بالاترین درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۷، ۳۰ و ۳۲ درجه سلسیوس با میزان ثابت ۹۰ درصد مشاهده شد. تیمارهای بالای غلظت نمک در دماهای ۲۰ و ۲۳ درجه سلسیوس باعث افت شدید جوانه‌زنی شد به‌طوری‌که در غلظت بالای ۰/۲- مگاپاسکال به ۰ درصد جوانه‌زنی رسید (شکل ۱). در تیمارهای شاهد (بدون تنش) با افزایش دما تا ۲۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی افزایش و سپس تا دمای ۳۲ درجه سلسیوس به‌صورت ثابت باقی ماند و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی به ۰ رسید. بالاترین درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال شوری به ترتیب با ۸۵/۳۳، ۶۶ و ۵۸ درصد در دمای ۳۲ درجه سلسیوس به دست آمد. در تنش شوری ۰/۸- مگاپاسکال هیچ‌گونه جوانه‌زنی در دماهای ۲۰ تا ۲۷ درجه سلسیوس صورت نگرفت و تنها در دماهای بالا (۳۰ و ۳۲) درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۲/۶ و ۵۳/۳ مشاهده شد (شکل ۱).

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود، با افزایش دما به ۳۰ درجه سلسیوس درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه نیز در همه تیمارهای تنش شوری افزایش می‌یابد و بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد (شکل‌های ۱ و ۳). جوانه‌زنی بذر به پتانسیل آب وابسته است و این تنش هنگامی که دما نزدیک دمای بهینه باشد، کمتر می‌شود (Metwally *et al.*, 2003). دمای بهینه برای جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه ۳۰ درجه سلسیوس است بنابراین

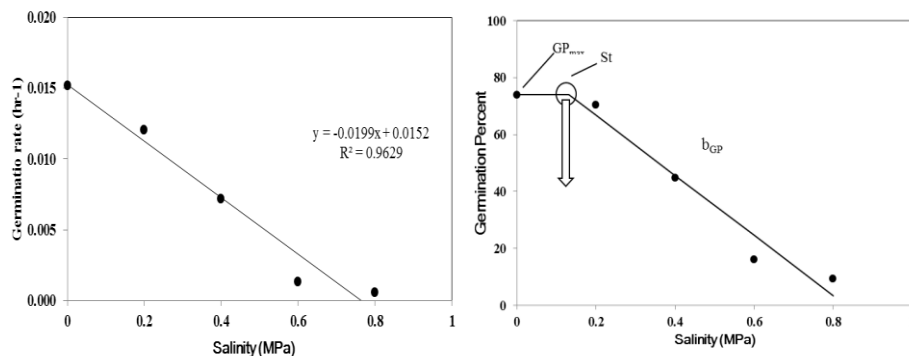
شرایط بدون تنش مشاهده شد و میزان آن با افزایش شوری به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۲). بیشترین (۰/۰۱۵ بر ساعت) و کمترین (۰/۰۰۰۶ بر ساعت) سرعت جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به پتانسیل شاهد و ۰/۸- مگاپاسکال سدیم کلرید بود. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها در محیط شور، به احتمال ناشی از افزایش فشار اسمزی و در نهایت کاهش سرعت جذب آب توسط بذر و همچنین افزایش سمیت ویژه یون‌های سدیم و کلر بر فرآیندهای بیوشیمیایی مرحله‌های زیست‌سوزی (کاتابولیک) و زیست‌سازی (آنابولیک) جوانه‌زنی به علت غلظت بالای نمک باشد (Falahi et al., 2009; Maguire, 1962). سدیم کلرید به‌طور مستقیم روی رشد جنین تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شود (Poljakoff-mayber et al., 1994; Chadha & Rajender, 1995).

سبب ایجاد سمیت ویژه یونی (Nabizadeh, 2002) و اختلال در سوخت‌وساز دیگر عنصرهای غذایی مانند رقابت سدیم با پتاسیم و یون کلر با نیترات می‌شود و این امر موجب اختلال در جذب عنصرهای غذایی نیترات و پتاسیم می‌شود. این امر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر منفی گذاشته و می‌تواند منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی شود (Gorham, 1996). در گیاه مریم‌گلی کبیر (*Salvia sclarea*) با افزایش سطح شوری، درصد جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد و در شوری معادل ۳۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به ۰ رسید (Falahi et al., 2009). در گل سازویی با افزایش تنش شوری به‌طور معنی‌داری از درصد جوانه‌زنی کاسته شد و آستانه کاهش معنی‌دار در جوانه‌زنی پتانسیل ۱۲- بار بود (Karevani et al., 2014). نتایج این آزمایش نشان داد که جوانه‌زنی بذرها در بادرنجیویه به تنش شوری حساس است. بالاترین سرعت جوانه‌زنی در



شکل ۱. تأثیر دما بر درصد جوانه‌زنی بادرنجیویه در سطوح مختلف شوری

Figure 1. The effect of temperature on germination of lemon balm seed in different levels of salinity



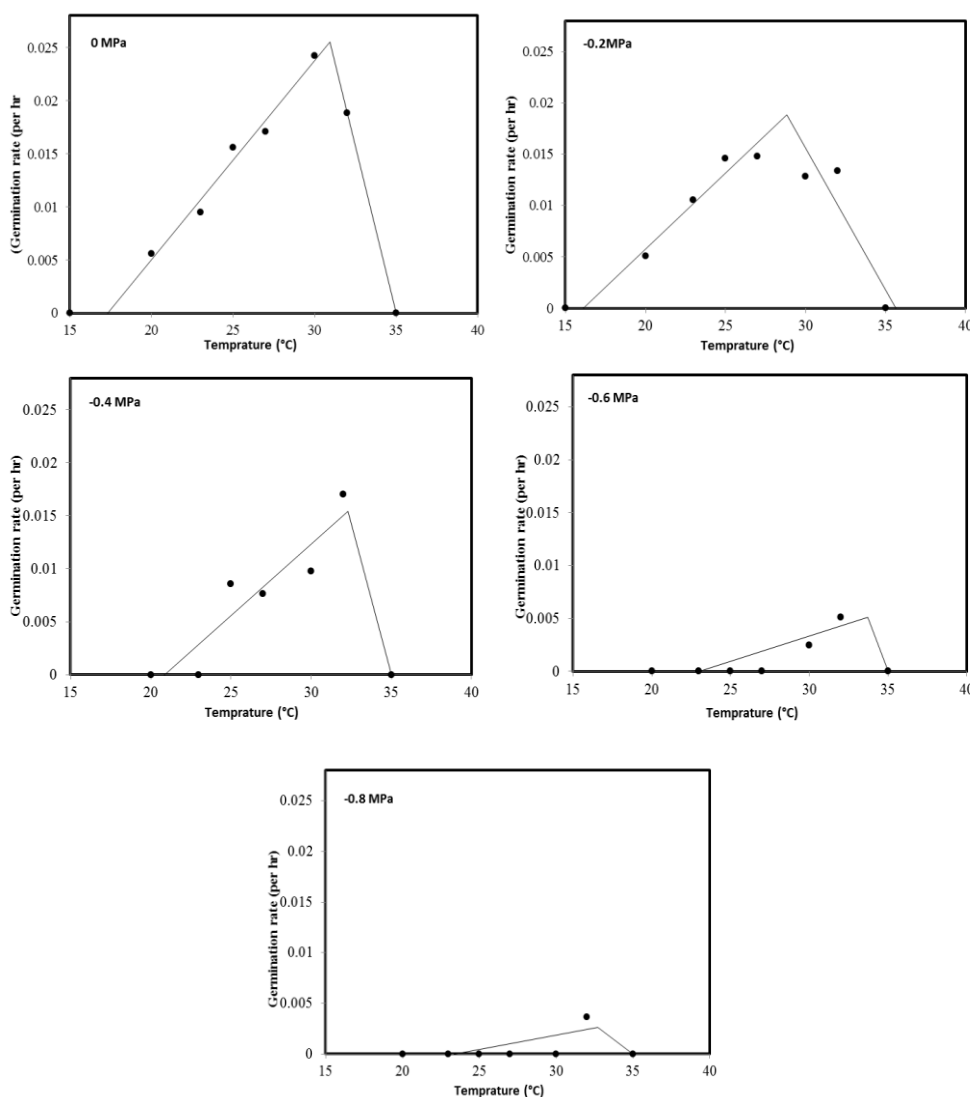
شکل ۲. روند تغییرپذیری درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه در تیمارهای مختلف شوری (میانگین همه تیمارهای دمایی)
Figure 2. The changes in germination percentage and germination rate of lemon balm seed in different salinity levels (average of all temperature treatment)

دمای کمینه در برابر شوری روند خطی افزایشی نشان داد، به طوری که از میزان ۱۷ درجه سلسیوس در پتانسیل ۰ مگاپاسکال به حدود ۲۳ درجه سلسیوس در پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال رسید. دیگر دماهای مهم جوانه‌زنی (دمای بهینه و دمای بیشینه) تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفتند و تا حدودی از روند ثابتی پیروی کردند، به طوری که دمای بهینه بین ۲۸ تا ۳۲ و دمای بیشینه، ۳۵ درجه سلسیوس برآورد شد (شکل ۴). شمار ساعت زیستی تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت به طوری که با منفی‌تر شدن پتانسیل آب شمار ساعت زیستی برای جوانه‌زنی افزایش یافت و با کاهش هر واحد پتانسیل آب (مگاپاسکال) شمار ساعت زیستی برای جوانه‌زنی در پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال حدود ۳۷۸ ساعت افزایش یافت.

کاهش ویژگی‌های جوانه‌زنی مورد بررسی در این آزمایش را می‌توان به کاهش میزان و سرعت جذب آب و همچنین تأثیر منفی پتانسیل‌های اسمزی منفی ناشی از نمک و سمیت یون‌ها بر فرآیندهای آبکافت (هیدرولیز) آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذر و در نتیجه مختل شدن ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد آبکافت‌شده نسبت داد (Rai & Rai, 2003). سازوکار تحمل تنش شوری در گیاهان تنظیم اسمزی است و یکی از راه‌های تنظیم اسمزی ساخت مواد آلی مانند سوربیتول، پرولین و گلیسین در بافت‌هاست. گیاه برای ساخت این مواد انرژی مصرف می‌کند بنابراین انرژی مصرفی برای تنظیم اسمزی باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی در گیاه می‌شود (Penuelas et al., 1997).

برای بررسی تغییر سرعت جوانه‌زنی در برابر زمان در پتانسیل‌های مختلف شوری از تابع دو تکه‌ای استفاده شد (شکل ۳). بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به میزان ۰/۲۵ در ساعت به دست آمد. با این وجود در سطوح شوری بالای ۰/۴- مگاپاسکال بیشترین سرعت جوانه‌زنی نسبت به دیگر تیمارهای دمایی در دمای ۳۲ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل ۳). در بازه دمایی ۲۰-۳۲ درجه سلسیوس، با افزایش غلظت شوری، سرعت جوانه‌زنی روند کاهشی داشت (شکل ۳). در سطوح ۰ و ۰/۲- مگاپاسکال افزایش دما تا ۳۰ درجه سلسیوس منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی شد و سپس روند کاهشی نشان داد. در صورتی که در غلظت‌های دیگر نمک، روند افزایشی تا دمای ۳۲ درجه سلسیوس مشاهده شد و پس از آن با افزایش غلظت نمک از سرعت جوانه‌زنی کاسته شد (شکل ۳).

دماهای مهم تعیین‌شده توسط مدل دندان مانند و شمار ساعت زیستی برای جوانه‌زنی بادرنجبویه تحت تأثیر تنش شوری در جدول ۲ نشان داده شده است. بنابر نتایج دمای کمینه، دمای بهینه و دمای بیشینه برای جوانه‌زنی بادرنجبویه در پتانسیل ۰ آب به ترتیب برابر ۱۷/۳۰، ۳۰/۹ و ۳۵ درجه سلسیوس بود. شمار ساعت زیستی برای جوانه‌زنی بادرنجبویه نیز در پتانسیل‌های مختلف آب بین ۳۹ تا ۳۷۸ ساعت بود (شکل ۴؛ جدول ۲). اثر شوری بر دمای کمینه، دمای بهینه، دمای بیشینه و شمار ساعت زیستی برآوردشده با مدل دو تکه‌ای در شکل ۴ ارائه شده است. منحنی واکنش



شکل ۳. روند تغییرپذیری سرعت جوانه‌زنی (شمار در ساعت) در برابر دما در پتانسیل‌های مختلف شوری (مگاپاسکال)
 Figure 3. The changes of germination rate (number of hours) versus temperatures in salinity levels (MPa).

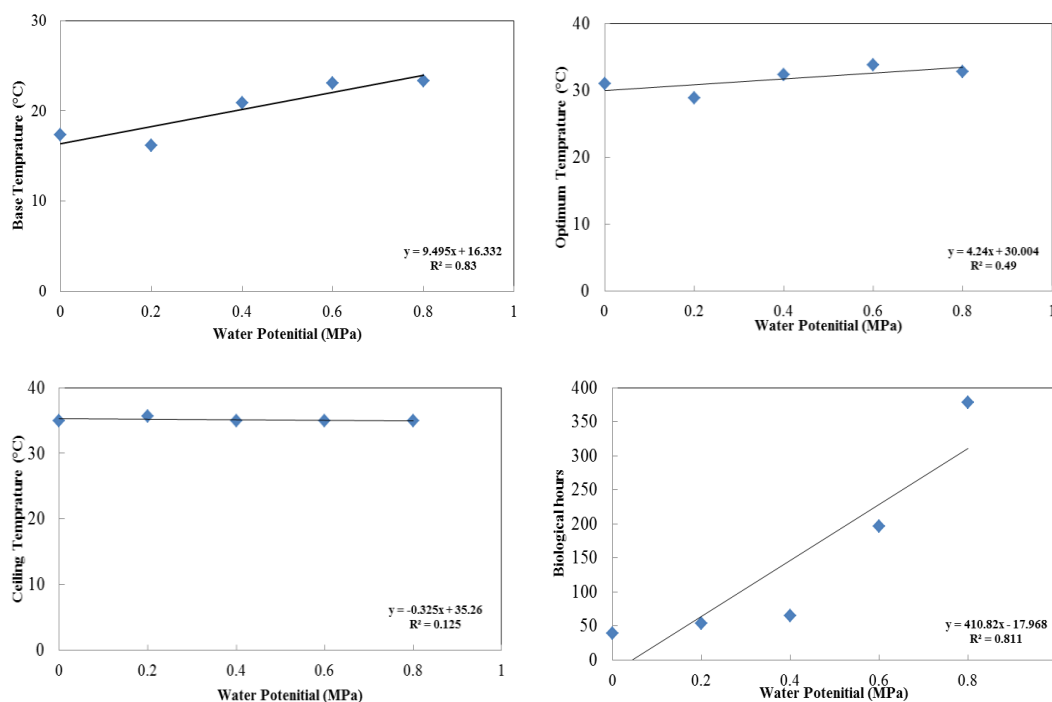
به پاسخ گونه‌های گیاهی به شوری از لحاظ جوانه‌زنی و رشد متفاوت است و این به دلیل چندین تعامل فیزیولوژیکی و فراسنجه‌های بیوشیمیایی است.

شوری از راه تأثیر بر فرآیندهای مختلف سوخت‌وسازی مانند نورساخت، ساخت پروتئین، تنفس، جذب نیتروژن و حجم گیاهورمون‌ها، سبب محدودیت رشد گیاه می‌شود (Rai & Rai, 2003;)

جدول ۲. برآورد فراسنجه‌های دماهای کمینه (T_b)، بهینه (T_o)، بیشینه (T_c) و شمار ساعت زیستی (GO) در پتانسیل‌های مختلف آب ناشی از نمک کلرید سدیم با استفاده از مدل دوتکه‌ای و ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)

Table 2. Estimated parameters of the base (T_b), optimum (T_o), ceiling (T_c) temperatures and biological hours (GO) at different water potentials (NaCl) using the segmented function and coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE)

Water potential (MPa)	T_b	T_o	T_c	GO	R^2	RMSE
0	17.30	30.94	35	39.21	0.98	0.00113
-0.2	16.13	28.82	35.6	53.19	0.80	0.00223
-0.4	20.84	32.28	35	64.93	0.85	0.00228
-0.6	23.04	33.74	35	195.69	0.61	0.00122
-0.8	23.34	32.72	35	378.78	0.42	0.00087



شکل ۴. اثر سطوح مختلف شوری بر دمای کمینه، دمای بهینه، دمای بیشینه و شمار ساعت زیستی بادرنجبویه
Figure 4. The effect of salinity on base, optimum and ceiling temperatures and biological hours of lemon balm

مگاپاسکال) از ۷۴ درصد به ۱۰ درصد کاهش یافت که این کاهش نشان‌دهنده حساسیت بذر بادرنجبویه به تنش شوری است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از روش مدل رگرسیونی غیرخطی تابع دوتکه‌ای دماهای مهم برای جوانه‌زنی بادرنجبویه پیش‌بینی شدند. دمای کمینه، دمای بهینه و دمای بیشینه برای جوانه‌زنی بادرنجبویه در شرایط نبود تنش به ترتیب ۱۷/۳۰، ۳۰/۹ و ۳۵ درجه سلسیوس به دست آمدند. در تیمارهای بالای شوری، دمای بهینه افزایش یافت و به ۳۲ درجه سلسیوس رسید. نتایج نشان داد که دماهای مهم تحت تأثیر پتانسیل شوری آب تغییر معنی‌داری نداشتند. از سوی دیگر ساعت زیستی مورد نیاز برای جوانه‌زنی نیز به‌طور خطی با منفی‌تر شدن پتانسیل شوری آب افزایش یافت، یعنی بذرها در شرایط تنش شوری در مدت‌زمان طولانی‌تری جوانه خواهند زد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که بذر بادرنجبویه برای جوانه‌زنی نیاز به دماهای بالا دارد و با افزایش دما تأثیر منفی شوری تا حدودی

در بررسی واکنش جوانه‌زنی به دما در پنبه (*Gossypium hirsutum*) گزارش شد که دمای کمینه، بهینه و بیشینه برای این بذر به ترتیب ۹/۴، ۳۷/۹ و ۴۸/۳ درجه سلسیوس بود (Akram-Ghaderi *et al.*, 2008). میزان ساعت زیستی بذر گندم (*Triticum aestivum* L. به ازای هر واحد افزایش پتانسیل آب (مگاپاسکال) حدود ۲۰ ساعت کاهش یافت و در پتانسیل ۰/۸ - مگاپاسکال به ۵۱ ساعت رسید (Nozari-Nejad *et al.*, 2013). دمای پایه تحت تأثیر پتانسیل شوری آب قرار می‌گیرد و با کاهش پتانسیل شوری آب افزایش می‌یابد (Kebreab & Murdoch, 1999). دمای کمینه برای بذرها ماش (*Vigna radiata*) با کاهش پتانسیل شوری آب، افزایش یافت (Fyfield & Gregory, 1989). افزایش دمای کمینه باعث می‌شود که بذر جوانه‌زنی خود را دیرتر آغاز کند و در رقابت با علف‌های هرز ضعیف‌تر باشد. در شرایط تنش شوری، کاهش درصد جوانه‌زنی، بیانگر تأثیر منفی محدودیت جذب آب توسط بذر برای آغاز فرآیندهای سوخت‌وسازی جوانه‌زنی است (Kebreab & Murdoch, 2000). درصد جوانه‌زنی بذر بادرنجبویه با کاهش پتانسیل شوری آب (۰ تا ۰/۸ -

جبران می‌شود و جوانه‌زنی به‌خوبی صورت می‌گیرد. تنش شوری سبب کاهش جوانه‌زنی بذرها با شوری با درنجه‌بویه شد، ولی این بذرها تا حدودی تحمل به شوری را در جوانه‌زنی نشان داد. بنابراین احتمال جوانه‌زنی بخش کمی از بذرها در خاک‌های با شوری متوسط وجود دارد.

REFERENCES

1. Akram-Ghaderi, F., Soltani, E., Soltani, A. & Miri, A. A. (2008). Effect of priming on response of germination to temperature in cotton. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15, 44-51. (in Farsi)
2. Ali, H., Tucher, T. C., Thompson, T. L. & Salim, M. (2001). Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition on the growth and nitrogen utilization of barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 223-228.
3. Bandani, M. & Abdolzadeh, A. (2007). Effects of silicon nutrition on salinity tolerance of *Puccinellia distans* (jacq.) parl. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14, 111-119. (in Farsi)
4. Bradford, K. J. (2002). Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260.
5. Chadha, K. & Rajender, G. (1995). *Advances in horticulture medicinal and aromatic plants*. Malhotra Publishing House.
6. Dadkhah, A. & Kafi, M. (2012). The effect of salinity stress on germination and seedling growth of Coriander, *Plantago Psyllium*, *Sisymbrium irio* and *Portulaca oleracea* seeds. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10, 25-32. (in Farsi)
7. Dadkhah, A. (2010). Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(3), 358-369. (in Farsi)
8. Dorri, M. A., Kamkar, B., Aghdasi, M. & Komshi-Kamar, E. (2014). Determine the best model to evaluate the germination characteristics and cardinal temperatures of milk thistle. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 3, 189-200. (in Farsi)
9. Falahi, J., Ebadi, M. T. & Ghorbani, R. (2009). The effect of salinity stress on germination of *Salvia sclarea*. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 1, 57-67.
10. Fyfield, T. P. & Gregory, P. J. (1989). Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. *Journal of Experimental Botany*, 40, 667-674.
11. Gorham, J. (1996). *Mechanisms of salt tolerance of halophyte*. In: R. C. Allah, C. V. Nalcolm & A. Amdy. (Eds), *Halophytes ecologic agriculture*. (pp. 30-53.) Marcel Dekker.
12. ISTA. (2009). *International rules for seed testing*. International Seed Testing Association (ISTA). Edition 2009.
13. Karevani, B., Tavakkol-Afshari, R. & Majnoun-Hosseini, N. (2013). Germination of *Tanacetum polycephalum* subsp. *Heterophyllum* seeds at drought and salinity stress and different temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 2, 161-171. (in Farsi)
14. Karevani, B., Tavakkol-Afshari, R., Majnoun-Hosseini, N. & Mosavi, S. A. (2014). Germination of *Scrophularia striata* seeds at drought and salinity stress and different temperatures. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 275-265. (in Farsi)
15. Kebreab, E. & Murdoch, A. J. (1999). Modelling the effect of water stress and temperature on germination rate of *Orobanche aegyptiaca* seeds. *Journal of Experimental Botany*, 50, 655-664.
16. Kebreab, E. & Murdoch, A. J. (2000). The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanche aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research*, 10, 127-133.
17. Keshavarz Afshar, R., Keykhah, M., Chaei-Chi, M. & Ansari Jovini, M. (2012). Germination and seedling growth of *Brassica rapa* L. seeds at different drought and salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(4), 661-671. (in Farsi)
18. Khan, M. A. & Gulzar, S. (2003). Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *Journal of Arid Environments*, 53, 387-394.
19. Khan, M. A., Gul, B. & Weber, D. J. (2000). Germination responses of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. *Journal of Arid Environments*, 45, 207-214.
20. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
21. Martinez, J. P., Lutts, S., Schank, A., Bajji, M. & Kinet, J. M. (2004). Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. *Plant Physiology*, 161, 1041-1051.

22. Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. & Dietz, K. J. (2003). Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Physiology and Biochemistry of Plant*, 132, 272-281.
23. Muscolo, A., Panuccio, M. R. & Sidari, M. (2003). Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum Hochst*). *Plant Science*, 164, 1103-1110.
24. Nabizadeh, M. R. (2002). *The effect of salinity on growth and yield of cumin*. M.A. thesis. Mashhad Ferdowsi University. Mashhad. (in Farsi)
25. Nozari-nejad, M., Zeinali, E., Soltani, A., Soltani, E. & Kamkar, B. (2013). Quantify wheat germination rate response to temperature and water potential. *Electronic Journal of Crop Production*, 6, 117-135. (in Farsi)
26. Penuelas, J., Isla, R., Filella, I. & Araus, J. L. (1997). Visible and near-infrared reflectance assessment of salinity effects on barley. *Crop Science*, 37, 198-202.
27. Poljakoff-mayber, A., Somers, G. F., Werker, E. & Gallagher, J. I. (1994). Seeds of *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae), their structure, germination and salt tolerance. *American Journal of Botany*, 81, 54-59.
28. Rai, A. K. & Rai, V. (2003). Effect of NaCl on growth, nitrate uptake and reduction and nitrogenase activity of *Azolla pinnata-Anabaena azollae*. *Plant Science*, 164, 61-69.
29. Sadat-Noori, S. A., Ramshini, H. A., Soltani, E., Sadati, S. & Foghi, B. (2015). A new index to evaluate salinity tolerance at the germination stage based on the parameters of non-linear regressions: *Trachyspermum copticum* as case study. *Seed Science and Technology*, 43, 145-155.
30. Soltani, A. (2007). *Application of SAS in statistical analysis*. (2nd ed.). Jahad Daneshgahi Mashhad. (in Farsi)
31. Soltani, A., Gholipoor, M. & Zeinali, E. (2006). Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 55, 195-200.
32. Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B. & Akram-Ghaderi, F. (2008). Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology*, 2, 32-36.
33. Soltani, E., Soltani, A. & Oveisi, M. (2013c). Modeling the effect of deterioration on germination of wheat in drought stress: Germin program optimization to predict the emergence model. *Agricultural Crop Management*, 15, 147-160. (in Farsi)
34. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F. & Zeinali, E. (2013a). Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *Journal of Plant Production*, 20, 19-34. (in Farsi)
35. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F. and Zeinali, E. (2013b). Seed bank modelling of volunteer oil seed rape: from seeds fate in the soil to seedling emergence. *Planta Daninha*, 31, 267-279.
36. Ungar, I. A. (1995). *Seed germination and seed-bank ecology of halophytes*. In: J. Kigel & G. Galili (Eds), *Seed Development and Germination*. (pp. 599-629.) Marcel Dekker.
37. Yazdani-Bioki, R. & Rezvani-Moghadam, P. (2012). Germination of *Althea officinalis* L. seeds at drought and salinity stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10, 1-10. (in Farsi)