تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
۲۲۰-۲۱۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2653.1688

مقاله پژوهشی

کمی سازی اثر تنش شوری و خشکی بر چهارده اکوتیپ گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

رؤیا نظامی‌وند چگینی[1]، فاطمه بناءکاشانی[2*]، ایرج اله‌دادی[3]، الیاس سلطانی[2]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۲. استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳. استاد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۵

چکیده

مرحله جوانه‌زنی گیاهان یکی از مراحل مهم در طول دوره رشد آن‌ها است که اغلب تحت تأثیر تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری و خشکی قرار می‌گیرد. به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری و خشکی بر فاکتورهای جوانه‌زنی بذر چهارده توده‌ی سیاه‌دانه، دو آزمایش مجزا در سال ۱۳۹۷ و در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه تهران به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت پذیرفت. تیمارهای آزمایشی شامل چهارده توده سیاه‌دانه (اشکذر، اراک، اصفهان، اقلید، بجستان، خواف، خمینی‌شهر، رزن، زابل۱، زابل۲، سرایان، سمیرم، گردمیران، همدان)، شش سطح تنش شوری (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) ناشی از غلظت‌های مختلف سدیم‌کلرید و چهار سطح تنش خشکی (صفر، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسگال) ناشی از غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ و در چهار تکرار بودند. نتایج نشان داد که حداکثر درصد جوانه‌زنی در شرایط شوری مربوط به اکوتیپ رزن (۹۹/۵۰ درصد) بود. بیشترین مقدار آستانه تحمل به شوری (X_0) در اکوتیپ سمیرم (۱۳۷/۷ میلی‌مولار) مشاهده شد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به اکوتیپ اراک (۰/۰۱۳ بر ساعت) بود. حداقل ضریب هیدروتایم (θ_H) مربوط به اکوتیپ بجستان (۲۸/۰۴۰ مگاپاسگال ساعت) بود. کمترین مقدار پتانسیل پایه ($\Psi_{b(50)}$) در اکوتیپ اصفهان (۰/۵۶۳- مگاپاسگال) مشاهده شد. با توجه به نتایج این تحقیق در مرحله جوانه‌زنی اکوتیپ‌های بجستان و اصفهان مقاوم‌ترین اکوتیپ‌ها به خشکی و اکوتیپ سمیرم متحمل‌ترین اکوتیپ به شوری بودند.

واژه‌های کلیدی: **آستانه تحمل به خشکی ، آستانه تحمل به شوری، مدل رگرسیونی، هیدروتایم**

مقدمه

جوانه‌زنی عبارت است از خروج ریشه‌چه از بذر که با عمل پاره‌کردن پوسته بذر و تحت تأثیر عوامل محیطی و عوامل داخلی بذر صورت می‌گیرد (Tamartash et al., 2010). تنش‌های محیطی و به‌ویژه تنش شوری و خشکی از عوامل بازدارنده رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شوند (Ghaderi et al., 2006). نظر به اینکه کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است (Khan and Golzar, 2003)، کمبود آب در ایران همواره به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده کشت و پرورش گیاهان زراعی و دارویی مطرح بوده است (Macar et al., 2009).

شوری زیاد خاک ازجمله عوامل محدودکننده عملکرد محصولات در سراسر جهان بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مشکلات بخش کشاورزی به شمار می‌رود (Munns, 2002). شوری سبب هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذور و ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد حاصل می‌شود (Hosseini and Rezvani Moghadam, 2006)، در غلظت‌های بالا مانع از

* نگارنده پاسخگو: فاطمه بناءکاشانی. پست الکترونیک: benakashani@ut.ac.ir

جوانه‌زنی شده و در غلظت‌های پایین‌تر موجب القا خفتگی در بذر می‌شود، همچنین با کاهش پتانسیل اسمزی، جذب آب را کاهش داده و فرآیندهای متابولیکی را تغییر می‌دهد (Mohammadizad et al., 2014). تفاوت در قدرت مقاومت به شوری نه‌تنها در میان جنس‌ها و گونه‌ها بلکه حتی در داخل یک گونه نیز مشاهده می‌شود (Spaniel, 2008). بر اساس میزان تحمل تنش شوری، گیاهان به سه دسته متحمل، متوسط و حساس به شوری تفکیک می‌شوند (Hanslin and Eggen, 2005).

کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب، همراه با از بین رفتن آماس، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد از علائم مخصوص تنش آب است (Kafi and Keshmiri, 2011). تنش خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه اثر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد و ازآنجایی‌که رشد و نمو گیاهان از جوانه‌زنی شروع می‌شود و برای ادامه حیات باید بذور جوانه بزنند تا بتوانند خود را با شرایط محیطی تطبیق دهند و در خاک استقرار یابند و با توجه به این‌که حساس‌ترین مرحله زندگی یک گیاه جوانه‌زنی بذر است، گذراندن موفقیت‌آمیز این دوره نقش مهمی در مراحل دیگر استقرار گیاه خواهد داشت (Song et al., 2008). تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی و تأخیر در ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه از اثرات تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی است (Shakarami et al., 2011). مطالعات متعدد نشان داده است که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور با افزایش شوری کاهش می‌یابد (Soltani et al., 2002). هاجر و همکاران (Hajar et al., 1996) با مطالعه اثر تیمارهای مختلف شوری تا ۳۰۰ میلی‌مول کلرید سدیم بر جوانه‌زنی و شاخص رشد سیاه‌دانه مشاهده کردند که این گیاه تا غلظت ۱۵۰ میلی‌مول کلرید سدیم مقاومت خوبی در جوانه‌زنی داشتند. همچنین قادری‌فر و همکاران (Ghaderi-Far et al., 2012) در تحقیقی با بررسی تأثیر شوری بر جوانه‌زنی شش گیاه دارویی اظهار داشتند درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تنش شوری کاهش می‌یابد که در این میان حساسیت سرعت جوانه‌زنی بیشتر بود، ایشان گیاه سیاه‌دانه را در گروه نیمه‌متحمل به شوری طبقه‌بندی کردند. گواهی و همکاران (Govahi et al., 2006) با بررسی بذور سیاه‌دانه تحت تأثیر تنش شوری و خشکی نشان دادند که با افزایش این دو تنش به‌طور معنی‌داری از سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاسته شد. حسینی و رضوانی مقدم (Hosseini and Rezvani Moghadam, 2006) با آزمایش بذرهای گیاه اسفرزه (Plantago psyllium L.) نتیجه گرفتند با افزایش تنش شوری و خشکی به‌طور معنی‌داری از درصد و سرعت جوانه‌زنی این گیاه کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد که در صورت عبور بذر از مرحله جوانه‌زنی در شرایط تنش، گیاهچه‌های حاصل فرصت بیشتری برای ادامه رشد و توسعه داشته و توانایی بالاتری جهت تحمل و غلبه بر شرایط نامساعد محیطی خواهند یافت. این امر به میزان زیادی به ساختارهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی توده‌های بذری بستگی دارد به‌طوری‌که تفاوت‌های چشم‌گیری در بین توده‌ها ازلحاظ تحمل به تنش‌های محیطی مشاهده می‌شود (Niu et al., 1995).

گیاهان دارویی، مخزن غنی از مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها می‌باشند (Omidbeigi, 2005). سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. از خانواده آلاله گیاهی است با گل‌های سفید یا آبی کم‌رنگ تا آبی پررنگ دارای دانه‌های سفید شیری‌رنگ که در تماس با هوا سیاه‌رنگ می‌شوند (Goreja, 2003; Salehi surmaghi, 2008). ازجمله خواص دارویی سیاه‌دانه می‌توان به ضدالتهاب، تقویت‌کننده سیستم ایمنی، کاهش دیابت، چربی و فشارخون بالا اشاره کرد (Ali and Blunden, 2003). با توجه به این‌که رشد سیاه‌دانه در ابتدای فصل کند است و از طرفی شوری و خشکی ازجمله عوامل محیطی محدودکننده و مؤثر بر جوانه‌زنی و سایر مراحل رشد گیاه می‌باشند. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه ازنظر تحمل به شوری و خشکی است که می‌تواند در معرفی اکوتیپ‌های مطلوب و متحمل جهت تلاقی و مفید باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری و خشکی بر فاکتورهای جوانه‌زنی بذر چهارده توده‌ی سیاه‌دانه، دو آزمایش مجزا در سال ۱۳۹۷ و در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه تهران به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت پذیرفت. تیمارهای آزمایشی شامل چهارده توده سیاه‌دانه (اشکذر، اراک، اصفهان، اقلید، بجستان، خواف، خمینی‌شهر، رزن، زابل۱، زابل۲، سرایان، سمیرم، گردمیران، همدان)، شش سطح تنش شوری (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) ناشی از غلظت‌های مختلف سدیم‌کلرید و چهار سطح

تنش خشکی (صفر، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسگال) ناشی از غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ و در چهار تکرار بودند. برای ایجاد سطح تنش صفر (تیمار شاهد) در هر دو آزمایش از آب مقطر استفاده شد. برای انجام آزمایش ۵۰ عدد بذر در پتری‌دیش‌های به قطر ۸ سانتی‌متر که حاوی کاغذ صافی بودند قرار داده شدند و برای اعمال سطوح تنش شوری و خشکی میزان هفت میلی‌لیتر از محلول‌های موردنظر به هر ظرف پتری‌دیش اضافه گردیده و سپس ظروف به اتاقک رشد با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. در طول آزمایش بازدید روزانه از بذرها صورت گرفت و معیار بذرهای جوانه‌زده، خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر بود. پایان مرحله جوانه‌زنی، زمانی در نظر گرفته شد که در دو روز متوالی جوانه‌زنی انجام نگرفته باشد. برای محاسبه‌ی درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها از برنامه‌ی Germinv2 استفاده شد (Soltani et al., 2006). میزان جوانه‌زنی (تعداد در ساعت) از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Soltani et al., 2013):

$$R_{50}=1/D_{50} \qquad [۱]$$

در این رابطه، R_{50} و D_{50} به‌ترتیب سرعت و زمان تا پنجاه‌درصد جوانه‌زنی است. برای کمی کردن سرعت‌جوانه‌زنی بذور نسبت به شوری از رابطه ۲ استفاده شد:

$$R50=aX+b \qquad [۲]$$

در این رابطه، ضرایب a و b به‌ترتیب عرض از مبدأ و شیب‌خط هستند و X مقدار شوری (برحسب میلی‌مولار) را نشان می‌دهد. ضریب a مقدار اولیه سرعت جوانه‌زنی را در سطح شوری صفر نشان می‌دهد. ضریب b مقدار کاهش سرعت جوانه‌زنی به‌ازای افزایش هر واحد شوری را نشان می‌دهد. تأثیر سطوح مختلف شوری بر درصد جوانه‌زنی (GP) طبق رابطه (۳) کمی سازی شد (Sadat-Noori et al., 2015):

$$GP = GP_{max} \qquad if\ S<St \qquad [۳]$$
$$GP = GP_{max}-b_{GP}\,(S-St) \qquad if\ S\geq St$$

در این رابطه، GP درصد جوانه‌زنی، GP_{max} حداکثر جوانه‌زنی (درصد)، b_{GP} کاهش درصد جوانه‌زنی با افزایش شوری، St آستانه تحمل به شوری و S، شوری را نشان می‌دهد (Sadat-Noori et al., 2015).

برای نشان دادن واکنش جوانه‌زنی به تنش خشکی از مدل هیدروتایم (رابطه ۴) استفاده شد (Bradford, 1990; Bradford and Still, 2004).

$$\theta_H = (\psi - \psi_{b\,(g)})\, t_g \qquad [۴]$$

که در این رابطه، θ_H ثابت هیدروتایم (مگاپاسگال ساعت)، ψ پتانسیل آب بستر بذر (مگاپاسگال)، ψ_b پتانسیل آب پایه (مگاپاسگال)، g درصدهای مختلف جوانه‌زنی و t_g زمان خروج ریشه‌چه برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. با فرض اینکه ψ_b در یک توده بذری از توزیع نرمال پیروی می‌کند، پارامترهای مدل هیدروتایم با آنالیز پروبیت تکرار شده طبق رابطه (۵) تخمین زده شد تا بهترین برازش حاصل شود (Dahal and Bradford, 1990; Bradford and Still, 2004):

$$Probit_{\,(g)}= [\psi-(\theta_H/tg) - \psi_{\,b(50)}] \,/\, \sigma_{\psi b} \qquad [۵]$$

در رابطه (۵)، $\Psi_{b(50)}$ پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (مگاپاسگال) و $\sigma_{b\psi}$ انحراف معیار توزیع مقادیر پتانسیل پایه برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی ($\Psi_{b(g)}$) در جمعیت بذرها است که این ضریب بیانگر یکنواختی جوانه‌زنی است. تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از برنامه آماری SAS 9.1 صورت گرفت و برای رسم نمودارها از برنامه Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

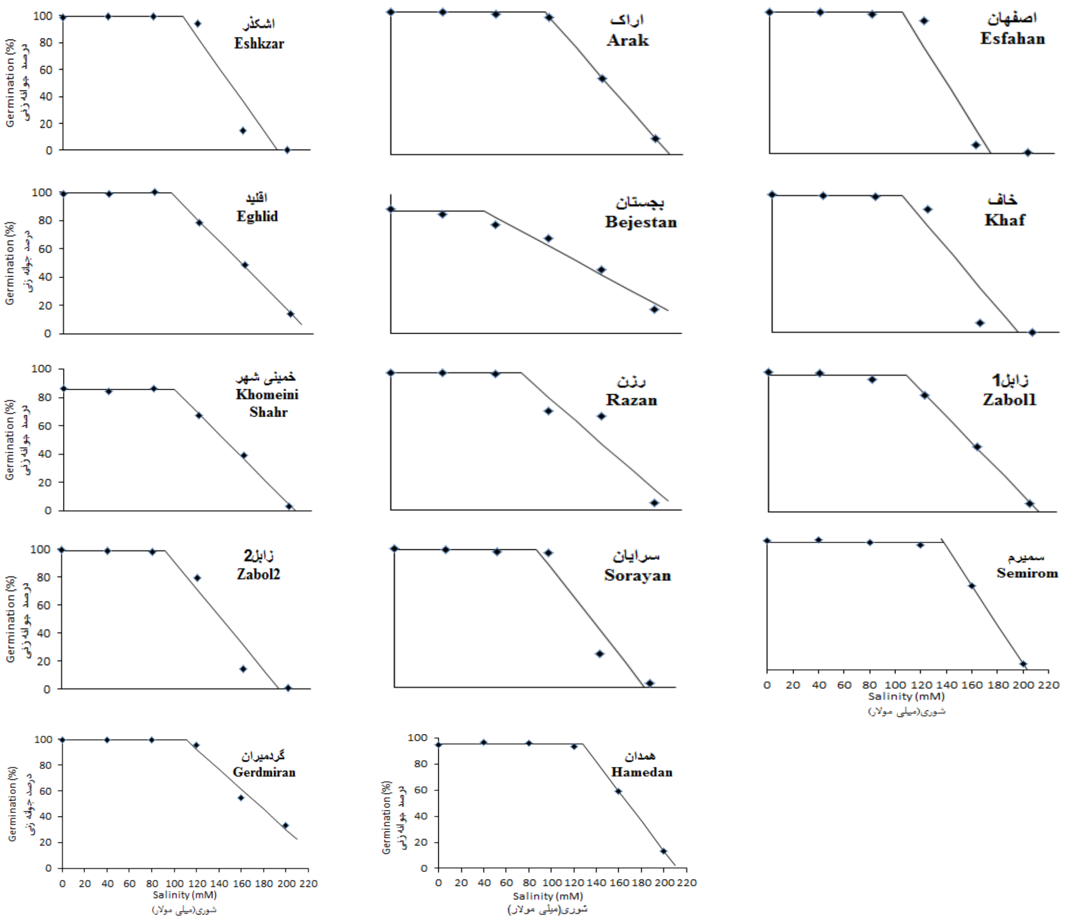
آزمایش شوری

پارامترهای مدل برای توصیف روابط بین جوانه‌زنی و افزایش شوری برای اکوتیپ‌های مختلف نشان داده شده است (جدول ۱ و شکل ۱). بیشترین Y_{max} (درصد جوانه‌زنی) در اکوتیپ‌های رزن، اراک و اشکذر (به‌ترتیب ۹۹/۵، ۹۹/۳۳ و ۹۹/۱۶ درصد) و کمترین مقدار آن در اکوتیپ خمینی‌شهر (۸۵/۸۳ درصد) مشاهده شد. بیشترین X_0 (آستانه تحمل به شوری) مربوط به اکوتیپ سمیرم (۱۳۷/۷) و کمترین آن مربوط به اکوتیپ بجستان (۷۱/۵۵ میلی‌مولار) بود. هر چه X_0 بیشتر باشد تحمل به شوری بالاتر است (Sadat-Noori et al., 2015). درنتیجه اکوتیپ سمیرم قادر بوده است که حداکثر درصد جوانه‌زنی خود را در میزان شوری بالاتر، حفظ کند بنابراین تحمل به شوری بالاتری نسبت به اکوتیپ‌های دیگر از خود نشان دهد. شیب کاهش درصد جوانه‌زنی (b) بین اکوتیپ‌ها مختلف بود. بیشترین مقدار آن در اکوتیپ سمیرم (۱/۴۸) و کمترین آن در اکوتیپ اراک (۰/۰۶) درصد بر میلی‌مولار مشاهده شد. هر چه ضریب b کوچک‌تر باشد با افزایش شوری، درصد جوانه‌زنی با آهنگ کندتری کاهش می‌یابد (جدول و شکل ۱).

جدول ۱. تخمین پارامترهای جوانه‌زنی مدل شوری اکوتیپ‌های سیاه‌دانه در دامنه‌ای از تنش شوری.Ymax حداکثر درصد جوانه‌زنی، X0 آستانه تحمل به شوری، ضریب b شیب کاهش درصد جوانه‌زنی و R2 ضریب تبیین.

Table 1. Estimate of germination parameters of salinity model for black caraway in a range of salinity. Ymax; Maximum germination percentage, X0; Salinity tolerance threshold, b; reducing slope for the response of germination percentage to salinity, R^2; Coefficients of determination.

Ecotype	اکوتیپ	Y_{max}	X_0	b	R^2	Ecotype	اکوتیپ	Y_{max}	X_0	b	R^2
Eshkzar	اشکذر	99.16	106.4	1.16	0.91	Razan	رزن	99.5	98.9	0.83	0.74
Arak	اراک	99.33	116.9	0.06	0.87	Zabol1	زابل ۱	97.66	105.5	0.96	0.93
Esfahan	اصفهان	97.83	103.2	1.14	0.90	Zabol2	زابل ۲	98.5	91.54	0.98	0.91
Eghlid	اقلید	99	95.5	0.80	0.89	Sorayan	سرایان	97.33	111	1.15	0.94
Bejestan	بجستان	87.5	71.55	0.51	0.78	Semirom	سمیرم	97.62	137.7	1.48	0.97
Khaf	خواف	97.33	100.3	1.1	0.91	Gerdmiran	گردمیران	99	111.2	0.77	0.87
Khomeini Shahr	خمینی‌شهر	85.83	98.12	0.8	0.96	Hamedan	همدان	95.25	128.1	1.13	0.91

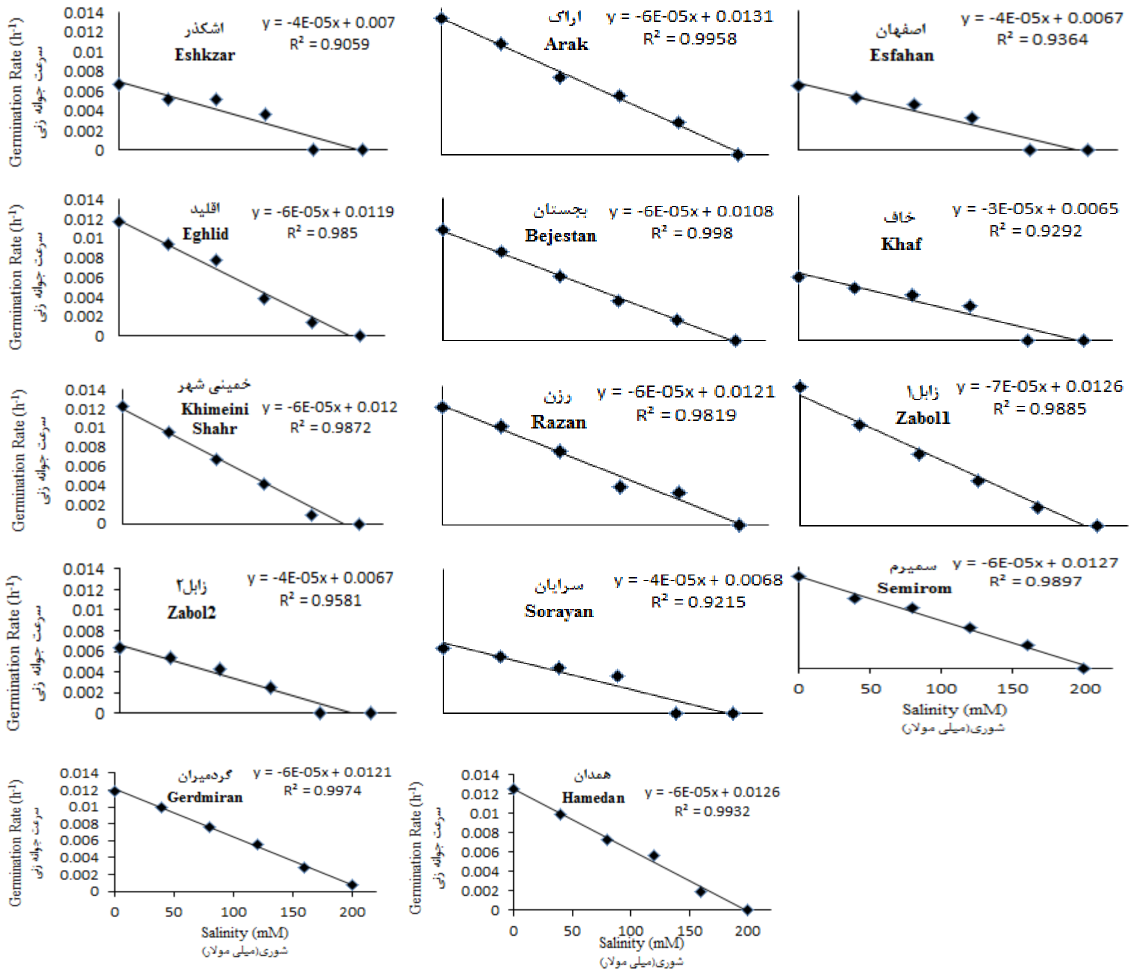


شکل ۱. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در طول زمان توسط مدل شوری برای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه.

Fig. 1. Regression model used to describe the response of cumulative germination percentage of black caraway to salinity difference levels

سرعت جوانه‌زنی

با توجه به شکل ۲ بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تمام سطوح شوری مربوط به اکوتیپ اراک (شوری صفر ۰/۰۱۳ بر ساعت، شوری ۴۰، ۰/۰۱۰ بر ساعت، شوری ۸۰، ۰/۰۰۷ بر ساعت، شوری ۱۲۰، ۰/۰۰۵ بر ساعت، شوری ۱۶۰، ۰/۰۰۳ بر ساعت و شوری ۲۰۰، صفر بر ساعت) و کمترین مربوط به اکوتیپ خواف (شوری صفر ۰/۰۰۶۵ بر ساعت، شوری ۴۰، ۰/۰۰۵۰ بر ساعت، شوری ۸۰، ۰/۰۰۴۳ بر ساعت، شوری ۱۲۰، ۰/۰۰۳۲ بر ساعت، شوری ۱۶۰، صفر بر ساعت و شوری ۲۰۰ صفر بر ساعت) بود. درنتیجه، با افزایش شوری سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت که این کاهش برای اکوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. بالاترین مقدار b در اکوتیپ خواف (۰/۰۰۰۰۵-) و کمترین در اکوتیپ زابل ۱ (۰/۰۰۰۰۰۰۰۵) بر ساعت میلی‌مولار مشاهده شد. هر چه مقدار b (بر ساعت میلی‌مولار) کمتر باشد، شیب‌خط کمتر و کاهش سرعت با افزایش شوری با آهنگ کندتری صورت می‌گیرد.



شکل ۲. روند تغییرات سرعت جوانه‌زنی در شوری‌های مختلف توسط مدل شوری برای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه.

Fig. 2. Regression model used to describe the response of germination percentage of black caraway to salinity difference levels

در مورد اثرات منفی غلظت نمک بر جوانه‌زنی گزارش‌های متعددی وجود دارد (Amirjani, 2010; Sevengor et al., 2011). مدل رگرسیونی که در این پژوهش برای توصیف واکنش جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مختلف ارائه شد به‌خوبی توانست اختلافات بین اکوتیپ‌ها را نشان دهد. این مدل برای اولین بار روی گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) مورداستفاده قرار گرفت (Sadat-Noori et al., 2015). سادات‌نوری و همکاران در این آزمایش نشان دادند

با افزایش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و گونه‌های مختلف، پاسخ جوانه‌زنی متفاوتی داشتند که تا حدودی به تفاوت‌های ژنتیکی آن‌ها وابسته بود. ایشان بیشترین سرعت جوانه‌زنی در شرایط بدون تنش را ۰/۰۱۷۱ (بر ساعت) و کمترین سرعت جوانه‌زنی را ۰/۰۰۹۲ (بر ساعت) تخمین زدند و بیشترین مقدار b را ۰/۰۰۵۶- (بر ساعت میلی‌مولار) و کمترین مقدار آن را ۰/۰۰۸۶- (بر ساعت میلی-مولار) برآورد کردند. تقی‌ذوقی و همکاران (Taghi-Zoghi et al., 2018) نیز در آزمایشی موفق به تخمین این پارامترها برای گیاه کلزا (*Brassica napus*) شدند، نتایج آزمایش حاضر همسو با این آزمایش‌ها بود. با افزایش سطح تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت ولی تیمارهای مختلف واکنش‌های متفاوتی نشان دادند. الهی‌فرد و درخشان (Elahi-Fard and Drakhshan, 2016) در آزمایشی بر دو گونه علف هرز کنجد شیطان (*Cleome viscose* L.) و طحله (*Corchorus olitorius* L.) بیان داشتند که با افزایش غلظت نمک درصد جوانه‌زنی کاهش یافت و حداکثر درصد جوانه‌زنی برای *C. olitorius* ۹۴/۹۶ درصد و برای *C. viscose* ۸۸/۳۳ درصد برآورد گردید. خاک‌هایی با شوری کمتر از ۴۰ میلی‌مولار دارای شوری کم، خاک‌هایی با شوری بین ۴۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار دارای شوری متوسط و خاک‌هایی با شوری بیش از ۱۰۰ میلی‌مولار جزء اراضی با شوری بالا طبقه‌بندی می‌شوند (Tanji and Kielen, 2002). طبق نتایج به‌دست‌آمده در مرحله جوانه‌زنی اکوتیپ سمیرم نسبت به سایر اکوتیپ‌ها از مقاومت بالایی برخوردار بود.

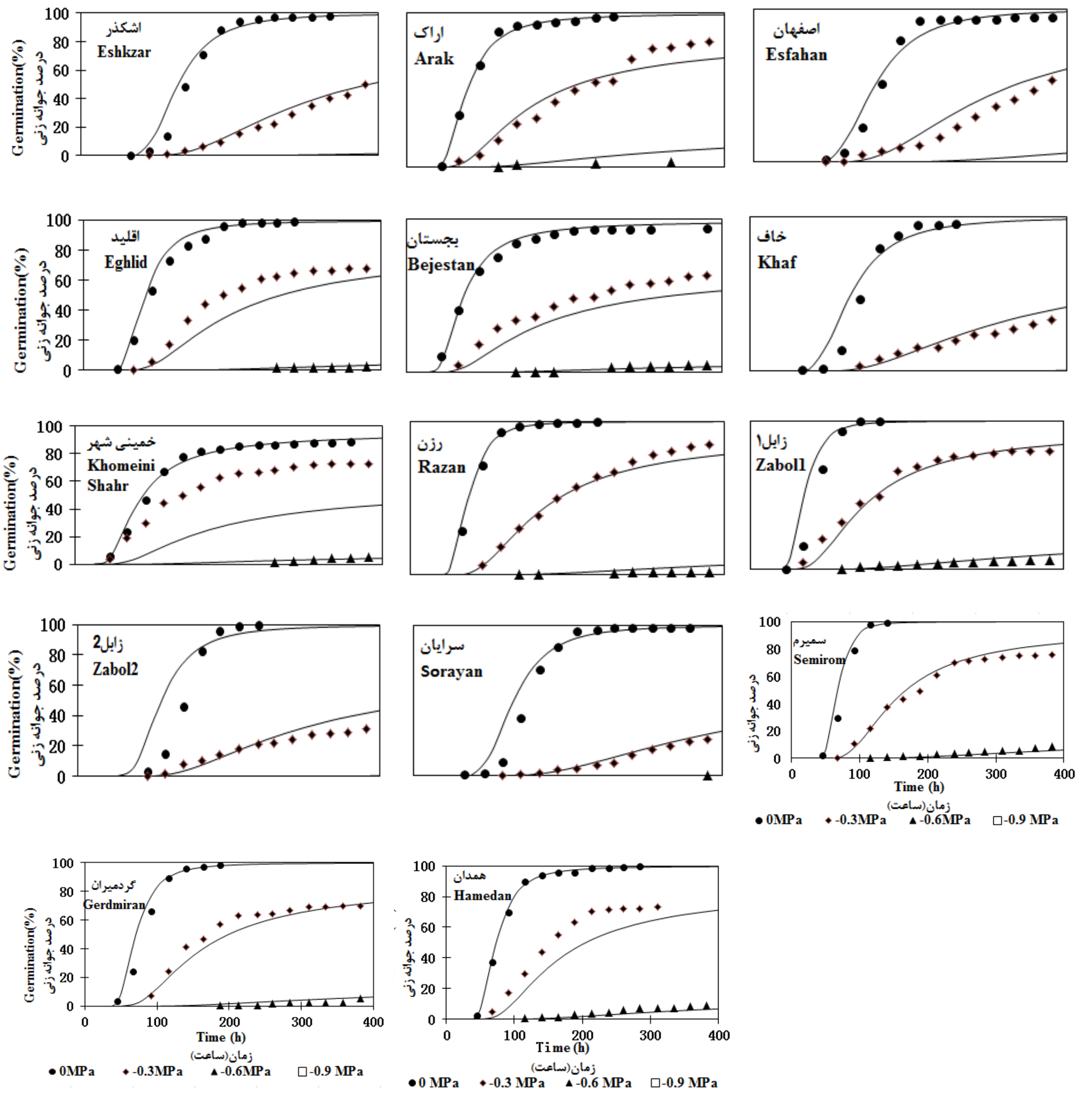
آزمایش خشکی

پارامترهای مدل برای توصیف روابط بین جوانه‌زنی و کاهش پتانسیل آب برای اکوتیپ‌های مختلف نشان داده شده است (جدول ۲ و شکل ۳). مقادیر R^2 از ۰/۸۲ (زابل۲) تا ۰/۹۸ (رزن و همدان) با میانگین ۰/۹۴ تغییر داشت که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل برای تمام اکوتیپ‌ها است. بیشترین θ_H (ضریب هیدروتایم) مربوط به اکوتیپ اصفهان (۸۷/۲۶۶ مگاپاسگال ساعت) و کمترین آن مربوط به اکوتیپ بجستان (۲۸/۰۴۰ مگاپاسگال ساعت) بود. پایین‌تر بودن ضریب هیدروتایم حاکی از سرعت بیشتر و مدت‌زمان کوتاه‌تر برای جوانه‌زنی است (Cardoso and Bianconi, 2013)؛ یعنی هرچقدر مقدار ضریب هیدروتایم کمتر باشد توده بذری قدرت بالاتری خواهد داشت. بیشترین پتانسیل آب پایه $\Psi_{b(50)}$ در اکوتیپ خمینی‌شهر (۰/۳۴۰- مگاپاسگال) و کمترین در اکوتیپ اصفهان (۰/۵۶۳- مگاپاسگال) مشاهده شد. هرچه مقدار این شاخص منفی‌تر باشد میزان تحمل به تنش خشکی بیشتر خواهد بود (Bradford and Still, 2004). ازنظر یکنواختی جوانه‌زنی ($\sigma_{\psi b}$) بیشترین مقدار مربوط به اکوتیپ خمینی‌شهر (۰/۱۹۵) و کمترین مربوط به اکوتیپ سرایان (۰/۱۰۲) مشاهده شد. هرچه $\sigma_{\psi b}$ کوچک‌تر باشد، یکنواختی جوانه‌زنی بیشتر است (جدول۲). با توجه به شکل ۳ با افزایش خشکی، درصد جوانه‌زنی در تمامی اکوتیپ‌ها کاهش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در تمامی اکوتیپ‌ها در پتانسیل صفر (شاهد) و در اکوتیپ سمیرم و زابل۱ (۱۰۰ درصد) و کمترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل ۰/۹- مگاپاسگال (صفر درصد در تمام اکوتیپ‌ها) مشاهده شد. (شکل۳).

جدول۲. تخمین پارامترهای مدل هیدروتایم که جوانه‌زنی تیمارهای مختلف پوشش بذر را در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب نشان می‌دهد. θ_H ضریب هیدروتایم، $\psi_{b(50)}$ پتانسیل آب پایه، $\sigma_{\psi b}$ یکنواختی جوانه‌زنی و R^2ضریب تبیین.

Table 2. Estimate of parameters of hydrotime model for germination of black caraway at a range of water potentials. θ_H is the hydrotime constant (MPa h); $\psi_{b(50)}$ is the fifty percent germination base water potential (MPa); $\sigma_{\psi b}$ is standard deviation of base water potential distribution in the population; R^2; Coefficients of determination.

Ecotype	اکوتیپ	θ_H	$\varphi_{b(50)}$	$\sigma_{\psi b}$	R^2	Ecotype	اکوتیپ	θ_H	$\varphi_{b(50)}$	$\sigma_{\psi b}$	R^2
Eshkzar	اشکذر	53.99	-0.452	0.134	0.95	**Razan**	رزن	36.82	-0.494	0.130	0.98
Arak	اراک	37.53	-0.490	0.177	0.96	**Zabol1**	زابل۱	35.76	-0.523	0.133	0.94
Esfahan	اصفهان	87.26	-0.563	0.163	0.93	**Zabol2**	زابل۲	42.69	-0.386	0.120	0.82
Eghlid	اقلید	36.32	-0.437	0.141	0.97	**Sorayan**	سرایان	47.28	-0.363	0.102	0.94
Bejestan	بجستان	28.04	-0.383	0.183	0.97	**Semirom**	سمیرم	34.30	-0.506	0.117	0.97
Khaf	خواف	51.36	-0.400	0.129	0.92	**Gerdmiran**	گردمیران	33.14	-0.466	0.142	0.97
Khomeini Shahr	خمینی‌شهر	30.03	-0.340	0.195	0.91	**Hamedan**	همدان	34.34	-0.467	0.146	0.98



شکل۳. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در طول زمان توسط مدل هیدروتایم برای سطوح مختلف خشکی در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه. نقاط داده‌های مشاهده‌شده و خطوط مدل هیدروتایم را نشان می‌دهد.

Fig. 3. Trend of cumulative germination percentage of black caraway in drought difference levels estimated by Hydrotime model. Symbols indicate interpolations of observed germination data and lines cumulative germination percentage predicted by the hydrotime model

آزمایش‌های متعددی وجود دارد که در آن‌ها از مدل هیدروتایم استفاده شده است (Huarte, 2006; Windaure et al., 2007; Daws et al., 2008). با کمک مدل هیدروتایم می‌توان تحمل به خشکی، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی را تخمین زد (Bradford and Still, 2004). از مدل هیدروتایم برای تعیین تأثیر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی و خفتگی بذر نیز استفاده می‌شود (Soltani et al., 2013). در پژوهشی سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2017) اظهار داشتند بین پتانسیل آب پایه و درصد و سرعت سبز شدن گیاهچه همبستگی وجود دارد و هرچقدر این مقدار منفی‌تر باشد درصد و سرعت سبز شدن گیاهچه تحت تنش‌های محیطی بیشتر خواهد بود. ایشان همچنین بیان داشتند بین ضریب هیدروتایم و تغییرات رشد گیاهچه همبستگی منفی وجود دارد. در گزارش مشابهی فرهی‌نیا و همکاران (Farahinia et al., 2017) با بررسی ۲۰ اکوتیپ کلزا مشاهده کردند که بین اکوتیپ‌ها ازلحاظ جوانه‌زنی تفاوت

وجود دارد. ایشان در این پژوهش کمترین ضریب هیدروتایم (θ_H) را مربوط به اکوتیپ مرودشت (۶/۸ مگاپاسگال ساعت) و بیشترین آن را مربوط به اکوتیپ اردبیل (۲۴/۳ مگاپاسگال ساعت) تخمین زدند، همچنین میانگین پتانسیل آب پایه ($\Psi_{b(50)}$) را ۰/۲۱- مگاپاسگال و میانگین یکنواختی جوانه‌زنی ($\sigma\psi b$) را ۰/۱۸ گزارش کردند. عالیمقام و قادری‌فر (Alimagham and Ghaderi-Far, 2014) به کمک مدل هیدروتایم، ضریب هیدروتایم را برای گیاه شاه‌افسر، چاودار و گندم به‌ترتیب (۱۲/۲۵، ۶۸/۹۶ و ۶۱/۷ مگاپاسگال ساعت) تخمین زدند که نشان می‌دهد سرعت جوانه‌زنی در گیاه شاه-افسر نسبت به دو گیاه چاودار و گندم بیشتر بود. بیشترین پتانسیل آب پایه برای این گیاهان به‌ترتیب ۰/۴۷-، ۱/۸۶- و ۱/۸۵- مگاپاسگال بود که نشان می‌دهد مقاومت به خشکی چاودار و گندم نسبت به شاه‌افسر بیشتر بود، ایشان اظهار داشتند که مقایسه ضریب $\Psi_{b(50)}$ حاصل از مدل هیدروتایم می‌تواند به‌خوبی در شناسایی گونه‌های حساس و مقاوم به خشکی کاربرد داشته باشد و همچنین یکنواختی جوانه‌زنی را به‌ترتیب ۰/۲۸، ۱/۰۷ و ۰/۴۰ تخمین زدند که به‌این‌ترتیب یکنواختی جوانه‌زنی شاه‌افسر و گندم بیشتر از چاودار بود. تنش خشکی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، حرکت و انتقال ذخایر بذر و یا با تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین جنین جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Perez et al., 2009). نتایج حاصل از این آزمایش نیز نشان داد که تنش خشکی اثر بازدارنده بر درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که تنش شوری و خشکی موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود، این کاهش در اکوتیپ‌های مختلف متفاوت است. مدل هیدروتایم و رگرسیون شوری توانایی بالایی در تفکیک اکوتیپ‌ها ازنظر مؤلفه‌های جوانه‌زنی داشتند. به علت کم بودن میزان ضریب هیدروتایم در اکوتیپ بجستان و منفی‌تر بودن پتانسیل پایه در اکوتیپ اصفهان، این اکوتیپ‌ها جهت کشت در شرایط خشکی قابل توصیه هستند. در شرایط تنش شوری نیز اکوتیپ سمیرم به علت بالاتر بودن مقدار آستانه تحمل به شوری نسبت به تیمارهای دیگر برتری داشت. از آنجایی‌که جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برای استقرار اولیه گیاهان تحت شرایط شور مهم است، انتخاب این اکوتیپ با جوانه‌زنی سریع و یکنواخت در شرایط شور می‌تواند به استقرار اولیه گیاهچه‌های آن کمک نماید.

منابع

Ali, B.H., Blunden, G., 2003. Pharmacological and toxicological properties of *Nigella sativa* L. Phytotherapy Research. 17, 299-305.

Amirjani, M.R., 2010. Effect of NaCl on Some Physiological Parameters of Rice. European Journal of Biological Research. 3, 6-16.

Alimagham, S.M., Ghaderi-Far, F., 2014. Hydrotime model: Introduction and application of this model in seed researches. Environmental Stresses in Crop Sciences. 7, 41-52. [In Persian with English summary].

Bradford, K.J., 1990. A water relations analysis of seed germination rates. Plant Physiology. 94, 840-849.

Bradford, K.J., Still, D.W., 2004. Application of hydrotime analysis in seed testing. Seed Science and Technology. 26, 74-85.

Cardoso, V.J.M., Bianconi, A., 2013. Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. Biological Science. 35, 255-261.

Dahal, P., Bradford, K.J., 1990. Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. Journal of Experimental Botany. 41, 1441-1453.

Daws, M.I., Crabtree, L.M., Dalling, J.W., Mullins, C.E., Burslem, D.F.R.P., 2008. Germination responses to water potential in neotropical pioneers suggest large-seeded species take more risks. Annals of Botany. 102, 945-951.

Elahi-Fard, E., Derakhshan, A., 2016. Quantifying the effect of osmotic and salt stress on germination of Egyption spinach (*Corchorus olitorius* L.) and spiderflower (*Cleome viscosa* L.). Seed Science and Research. 3, 95-105.

Farahinia, P., Sadat-noori, S.A., Mortazavian, M.M., Soltani, E., Foghi, B., 2017. Hydrotime model analysis of *Trachyspermum ammi* L. Sprague seed germination. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 5, 88-91.

Goreja, W.G., 2003. Black Seed Nature's Miracle Remedy. New York, NY7 Amazing Herbs Press.

Govahi, M., Safari, Gh., Shajie, A., 2006. Effect of drought stress and salinity on seed germination buck wheat herb. Proceedings of the Ninth Congress of Crop Science. 598. [In Persian with English abstract].

Ghaderi, Sh., Ghorbani, J., Gholami, P., Karimzadeh, A., Salarian, F., 2011. Effect of Salt and Drought Stresseson Germination Indices of Vicia Villosa L. Journal of Agroecology. 3, 121-130. [In Persian with English abstract].

Ghaderi-Far, F., Akbarpour, W., Khavari, F., Ehteshamnia, A., 2012. Determination of salinity tolerance threshold in six medicinal plants. Journal of Plant Production Research. 18, 15-24. [In Persian with English summary].

Hajar, A.S., Zidan, M.A., Al-zahrani, H.S., 1996. Effect of salinity stress on the germination, growth and physiological activities of *Nigella sativa* L. Arab Gulf Journal of Scientific Research. 14, 445- 454.

Hanslin, H.M., Eggen, T., 2005. Salinity tolerance during germination of seashore halophytes and salttolerant grass cultivars. Seed Science Research. 15, 43-50.

Hosseini, H., Rezvani Moghadam, P., 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovate* L.). Field Crop Research. 4, 15-23.

Huarte, R., 2006. Hydrotime analysis of the effect of fluctuating temperatures on seed germination in several non-cultivated species. Seed Science and Technology. 34, 533-547

Khan, M., Gulzar, S., 2003. Germination responses of Sporobolus ioclados: A saline desert grass. Journal of Arid Environments. 55, 453-464.

Kafi, M., Keshmiri, E. 2011. Study of yield and yield components of Iranian landrace and Indian RZ19 cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought and salinity stress. Journal of Horticulture Science. 25(3), 327-334. (In Persian with English abstract.(

Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment. 25, 659-671.

Macar, T.K., Turan, O., Ekmekci, Y., 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. Gazi University Journal of Science. 22, 5-14.

Mohammadizad, H.A., Mirzakhani, G., Ghafari, M., Samavatipour, P., Araghi, S.M., Fatehi, M.F., 2014. Effect of NaCl stress on seed germination indices and early seedling growth of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) an important medicinal plant. Agricultural Science Development. 3, 161-166.

Niu, X., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., Pardo, J.M., 1995. Ion homeostasis in NaCl stress. Environment Plant Physiology. 109, 735- 742.

Omidbeigi, R., 2005. Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Razavi Press, p. 300-333. [In Persian].

Perez, J.G., Robles, J.M., Tovar, J.C., Botia, P., 2009. Response to drought and salt stress of lemons fino under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. Scientia Horticulturae. 122, 83-90.

Sadat-Noori, S.A., Ramshini, H., Soltani, E., Sadati, S., Foghi, B., 2015. A new index to evaluate salinity tolerance at the germinationstage based on the parameters of non-linear regressions: *Trachyspermum copticum* as case study. Seed Science and Technology. 43, 145-155.

Salehi Surmaghi MH. *Nigella Sativa*. In: Herbal Medicine and Herbal Therapy, Vol. 2. Donyay Taghziah press. Tehran, Iran. 2008, pp: 216-219.

Sevengor, S., Yasar, F., Kusvuran, S., Ellialtioglu, S., 2011. The effect of salt stress on growth chorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. African Journal of Agricultural Research. 6, 4920-4924.

Shakarami, B., Dianati-Tilaki, Gh., Tabari, M., Behtari, B., 2011. The effect of priming treatments on salinity tolerance of *Festuca arundinacea* L. Schreb and *Festuca ovina* L. during seeds germination and early growth stages. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research.

18(2), 318-328. [In Persian with English summary].

Song, J., Fan, H., Zhao, Y., Jia, Y., Du, Y., Wang, B., 2008. Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte Suaeda salsa in an inertial zone and on saline inland. Aquatic Botany. 88, 331-337.

Spaniel, S., Marhold, K., Hodalova, I., Lihova, J., 2008. Diploid and tetraploid cytotypes of *Centaurea stoebe* (Asteraceae) in central Europe: Morphological differentiation and cytotype distribution patterns. Folia Geobotanica. 43, 131-158.

Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Latifi, N., 2002. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. Seed Science and Technology. 29, 653- 662.

Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousedi-Daz, M., Sarparast, R., 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology. 138, 156–167.

Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., GhaderiFar, F., Zeinali, E., 2013. Seed bank modelling of volunteer oil seed rape: from seeds fate in the soil to seedling emergence. Planta Daninha. 31, 267-279.

Soltani, E., Soltani, A., Oveisi, M., 2013. Modelling seed aging effect on wheat seedling emergence in drought stress: optimizing germin program to predict emergence pattern. Journal of Crop Improvement. 15, 147-160.

Sadat-Noori, S.A., Ramshini, H., Soltani, E., Sadati, S., Foghi, B., 2015. A new index to evaluate salinity tolerance at the germinationstage based on the parameters of non-linear regressions: *Trachyspermum copticum* as case study. Seed Science and Technology. 43, 145-155.

Soltani, E., Adeli, R., Akbari, GH.A. Ramshini, H., 2017. Application of hydrotime model to predict early vigour of rapeseed (*Brassica napus* L.) under abiotic stresses. Acta Physiolgiae Plantarum, 39: 252.

Tanji, K.K., Kielen, N.C., 2002. Agricultural Drainge Water Management in Arid and Semi-arid Areas. Fao Irrigation and Drainage, Paper 61, Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 202p.

Tamartash, R., Shokrian, F., Kargar, M., 2010. Effects of salinity and drought stress on *Trifolium alexanderium* L. seed germination properties. Rangeland 4, 288-297. [In Persian with English abstract].

Taghi-Zoghi, Sh., Soltani, E., Alahdadi, I., Sadeghi, R., 2018. The effect of different Seed coating treatments seed germination of canola under drought and salinity stresses, using modeling approach. Crops Improvement. 3, 577-593. [In Persian with English abstract].

Windaure, L., Altuna, A., Benech-Arnold, R., 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. Industrial Crops and Products. 25, 70-74.