تعیین آستانه تحمل به شوری توده‌های مختلف شنبلیله (*Trigonella Foenum-graecum* L.) در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های تجربی

محمد حسین بناکار[۱]، حمزه امیری[۲*]، غلامحسن رنجبر[۳] و محمد رضا سرافراز اردکانی[۴]

[۱] ایران، خرم آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی- ایران، یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری

[۲*] ایران، خرم آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی

[۳] ایران، یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری

[۴] ایران، یزد، دانشگاه یزد، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲

چکیده

با توجه به روند رو به افزایش شوری منابع آب و خاک، شناخت گیاهان دارویی متحمل به شوری برای بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور حائز اهمیت می‌باشد. این تحقیق، بمنظور بررسی اثرات تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر شنبلیله و ارزیابی مدل‌های مختلف تجربی برای تعیین حد آستانه تحمل به شوری تحت شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. بدین منظور، بذرهای پنج توده مختلف شامل هندی، اردستانی، اصفهانی، نی‌ریزی و مشهدی، در پتری دیش‌های استریل قرار گرفته و پس از افزودن آب با هدایت الکتریکی مورد نظر (۲۷ dS/m، ۲۴، ۲۱، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، شاهد) در ژرمیناتور قرار گرفتند. طرح آماری مورد استفاده به صورت کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار بود. نتایج نشان داد که افزایش شوری تا سطح ۶ dS/m بر درصد جوانه‌زنی بذور تاثیری نداشت، لیکن با اعمال سطوح شوری بالاتر، درصد جوانه‌زنی به تدریج شروع به کاهش کرد. اعمال شوری ۲۴ و ۲۷ dS/m، درصد جوانه‌زنی بذور را بمنظور ۲۹/۸ و ۸۰/۸۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. بر اساس نتایج حاصله، سرعت جوانه‌زنی بذور با اعمال تنش شوری به تدریج کاهش پیدا کرد. این کاهش برای توده‌های اردستانی و نی‌ریزی تا سطح ۳ dS/m و برای توده‌های اصفهانی، هندی و مشهدی تا سطح ۶ dS/m معنی‌دار نبود. نتایج اثرات سطوح مختلف شوری روی طول دانه‌رست‌های شنبلیله نیز نشان داد که سطوح پایین شوری (۳، ۶ و ۹ dS/m) موجب افزایش طول دانه‌رست (به ترتیب ۱۸/۹۰، ۱۷/۹۶ و ۷/۱۶ درصد) شد درحالی که سطوح بالای آن اثر بازدارندگی داشتند. روند مشابهی از تاثیر شوری بر روی طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر مشاهده شد. بر اساس مدل خطی، متوسط حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله بدون توجه به توده ۲۱/۸۳ dS/m با شیب کاهش ۱۷/۰۹درصد بدست آمد. علیرغم اینکه توده اصفهانی حد آستانه تحمل به شوری پایین‌تری (۲۰/۳۲ dS/m) را دارا بود، دارای کمترین مقدار شیب کاهش (۱۰/۳۷ درصد) نیز بود. نتایج مدل‌های غیر خطی نیز نشان داد که بیشترین شوری که در آن بذور به مقدار ۵۰ درصد جوانه زدند از توده اصفهانی (۲۵/۸۱ dS/m) حاصل گردید. بنابراین، بر اساس نتایج حاصله و نیز شاخص تحمل به شوری (ST-index)، توده اصفهانی می‌تواند به عنوان متحمل‌ترین توده به تنش شوری معرفی گردد.

واژه های کلیدی: بقولات، شورورزی، رشد، گیاهچه، مدل سیگموئیدی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۶۹۶۴۰۹۱۹، پست الکترونیکی: amiri_h_lu@yahoo.com

مقدمه

مناطق خشک و نیمه خشک اغلب در قسمت‌های مرکزی ایران پراکنده‌اند و شوری در این مناطق یکی از مهم‌ترین عواملی است که موجب کاهش تولید اغلب محصولات زراعی گردیده و بسیاری از اراضی کشاورزی را از حیز انتفاع خارج نموده است. کشت و تولید گیاهان دارویی متحمل به شوری، یکی از گزینه‌ها در بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور می‌باشد. طی سال‌های اخیر، گرایش عمومی به طب سنتی و استفاده از داروهای گیاهی به علت اثرات زیان‌بار برخی داروهای شیمیایی بر سلامتی انسان، رو به افزایش بوده است.

شنبلیله (*Trigonella Foenum-graecum* L.) یکی از گیاهان دارویی است که در طب سنتی ایران و جهان سابقه مصرف طولانی داشته و خواص درمانی فراوانی برای آن ذکر شده است (۲). شنبلیله دارای آلکالوئیدی بنام تریگونلین است (۱۷، ۵، ۲). تریگونلین، خواص دارویی مهمی نظیر ضد سرطان، ضد میگرن، ضدعفونی کنندگی، پایین آورنده چربی خون و ضد دیابت را دارا می‌باشد. شنبلیله به علت دارا بودن مواد فسفر و آهن‌دار، هیدرات‌های کربن، مواد ازته، دیاستازها و غیره می‌تواند حالات مرضی ناشی از بی اشتهایی و ضعف و لاغری را از بین ببرد. پزشکان ایرانی و عرب از زمان‌های قدیم از دانه شنبلیله برای مداوای بیماری قند استفاده زیاد می‌نمودند (۲۳، ۸).

شنبلیله یکی از گیاهان دارویی است که پژوهش‌های مختلفی از نظر تحمل به تنش شوری روی آن انجام شده است. دادخواه (۱۳۸۹) تاثیر تنش شوری (۰/۸۱ MPa-، ۰/۵۹-، ۰/۳۷-) و نوع نمک را بر جوانه زنی و رشد گیاهچه چند گیاه دارویی از جمله شنبلیله مطالعه و نشان داد که کاهش پتانسیل آب تا ۰/۵۹ MPa- تاثیر زیادی بر درصد جوانه‌زنی بذر شنبلیله نداشت، اما کاهش بیشتر، جوانه‌زنی را به شدت کاهش داد. یادگاری و برزگر (۹) اثر شوری را بر میزان و سرعت جوانه‌زنی دوازده گیاه دارویی بررسی کرده و نشان دادند که گونه‌های خرفه، قدومه و شنبلیله بیشترین تحمل را به شوری در مرحله جوانه‌زنی داشتند. در آزمایشی اثر تنش شوری حاصل از NaCl (۱/۸ MPa-، ۱/۶-، ۱/۴-، ۱/۲-، ۱-، ۰/۸-،۰/۶-، ۰/۴-، ۰/۲-، ۰) بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه شنبلیله بررسی و نشان داده شد که افزایش تنش شوری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و طول گیاهچه گردید. همچنین گزارش شده است که شنبلیله می‌تواند تنش شوری تا ۱/۲MPa- را در مرحله جوانه‌زنی تحمل کند (۴). زهیر و حسین (۲۷)، کاهش ۶۲ درصدی جوانه زنی شنبلیله را در شوری ۱۵ dS/m ناشی از نمک NaCl گزارش کردند. این محققین چنین نتیجه گرفتند که شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی به شوری نسبتاً متحمل بوده و می‌تواند به عنوان یکی از گیاهان دارویی برای کشت در اراضی شور حاشیه‌ای پیشنهاد گردد. در یک آزمایش، جوانه‌زنی شنبلیله در سطوح مختلف شوری و خشکی (۹-، ۶-، ۳- بار) مطالعه و نشان داده شد که اعمال خشکی ۶- بار و شوری ۳- بار موجب کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی گردید. چنین نتیجه‌گیری شد که شنبلیله تحمل بیشتری به خشکی در مقایسه با تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی دارد (۱۲). شرما و ویمالا (۱۸)، جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست‌ها را در شنبلیله تحت تنش شوری مطالعه کرده و نشان دادند که تمام بذرها تا شوری ۱۰۰mMNaCl جوانه زده، اما در شوری بالاتر میزان جوانه‌زنی به شدت کاهش یافت، بطوری‌که در شوری ۲۰۰mM میزان جوانه‌زنی۶۰ درصد کاهش پیدا کرد. همچنین، تنش شوری موجب کاهش رشد دانه‌رست‌ها و تاخیر جوانه‌زنی گردید. چودهاری و همکاران (۱۱) نشان دادند که در مرحله جوانه‌زنی هنگامی که شوری خاک از ۴ dS/m بالاتر رفت میزان تلفات

دانه‌رست‌های شنبلیله به مقدار زیادی تحت تاثیر قرار گرفت. لیکن، در مراحل بعدی رشد تا زمان رسیدگی توانست شوری بالاتر (۱۲-۴ dS/m) را تحمل کند. در زمان رسیدگی اعمال تنش شوری ۱۲ dS/m نتوانست تاثیر قابل توجهی بر بقا گیاهان داشته باشد. این آزمایش نشان داد که اعمال شوری بالاتر از ۸ dS/m طی جوانه‌زنی و مرحله رشد رویشی ممکن است عملکرد محصول را ۴۰-۳۰ درصد کاهش دهد (۱۱). عبدالمومن و مصباح الادریسی (۱۰)، اثرات شوری را روی جوانه‌زنی بذر در شنبلیله بررسی کرده و نشان دادند که جوانه‌زنی بذرها تا شوری ۱۴۰mM NaCl تحت تاثیر قرار نگرفته لیکن سطوح بالاتر شوری موجب کاهش معنی‌دار میزان جوانه‌زنی گردید.

در مطالعات تحمل به شوری، مدل‌های مختلف تجربی برای بررسی واکنش گیاهان به شوری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بر اساس مدل سه قسمتی خطی پیشنهادی توسط ماس و هافمن (۱۴)؛ ماس (۱۵)، هنگامی که شوری (EC) بین صفر و حد آستانه (a_0) باشد، عملکرد نسبی (Y) برابر ۱۰۰ درصد بوده و هیچ‌گونه کاهش عملکردی دیده نمی‌شود. لیکن، در شوری‌های بالاتر از حد آستانه عملکرد نسبی با شیب ثابتی (l) به صورت خطی شروع به کاهش می‌کند (معادله ۱):

$$Y = 100 - l\,(EC - a_0) \qquad \text{(معادله ۱)}$$

وانگنوختن و هافمن (۲۴)، مدل غیر خطی واکنش عملکرد گیاهان به شوری را مطرح کرده و نشان دادند که واکنش گیاهان به شوری در همه حال بصورت خطی نبوده بلکه به صورت سیگموئیدی می‌باشد. بر اساس این مدل، با افزایش هر سطح شوری، میزان عملکرد نسبی از همان ابتدا به صورت غیر خطی شروع به کاهش کرده و در نقطه EC_{50} مقدار آن به ۵۰٪ کاهش می‌یابد (معادله ۲). در این معادله، Y_m عملکرد حداکثر در شرایط غیر شور بوده و p یک ضریب تجربی است که همیشه بالاتر از یک می‌باشد.

$$Y = Y_m / [(1 + (EC / EC_{50})^p] \qquad \text{(معادله ۲)}$$

استفان و همکاران (۲۰)، با معادله چند جزئی نزولی تغییر یافته معادله دیگری ارائه دادند که کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری را به صورت غیر خطی یا سیگموئیدی نشان می‌دهد (معادله ۳). پارامتر s در این معادله شیب منحنی می‌باشد که از قدر مطلق مشتق تغییرات عملکرد نسبی به تغییرات شوری محیط (|dY/dEC|) به دست می‌آید. همچنین، عبارت نمایی ($s \cdot EC_{50}$) میزان برآمدگی و یا فرورفتگی دو طرف منحنی را نسبت به EC_{50} نشان می‌دهد.

$$Y = 1 / [\,(1 + (EC / EC_{50})^{(s \cdot EC_{50})}] \qquad \text{(معادله ۳)}$$

عوامل مختلفی عملکرد محصولات زراعی را در تنش شوری تحت تاثیر قرار می‌دهند و بنابراین داشتن شاخصی برای مقایسه تحمل به شوری گیاهان می‌تواند مفید باشد (۲۱، ۲۰). بر اساس پارامتر غیر خطی EC_{50} و s، شاخص ST-index به عنوان معیاری برای مقایسه تحمل به شوری پیشنهاد شده است (معادله ۴).

$$\text{ST-index} = EC_{50} + s \cdot EC_{50} \qquad \text{(معادله ۴)}$$

علاوه بر مدل‌های فوق، مدل‌های تجربی دیگری نیز برای بررسی واکنش گیاهان به شوری ارائه شده‌اند. این مدل‌ها، اغلب واکنش گیاهان به شوری را به صورت غیر خطی پیشنهاد می‌کنند. با توجه به روند رو به افزایش شوری منابع آب و خاک، شناخت پتانسیل گیاهان دارویی متحمل به شوری برای بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور حائز اهمیت می‌باشد. این تحقیق بمنظور بررسی اثرات تنش شوری حاصل از آب شور طبیعی بر خصوصیات مختلف جوانه‌زنی بذر و بررسی مدل‌های مختلف تجربی برای مطالعه واکنش گیاه دارویی شنبلیله به شوری در مرحله جوانه‌زنی تحت شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت.

مواد و روشها

این تحقیق به منظور بررسی واکنش توده‌های مختلف

شنبلیله به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. توده‌های مورد بررسی شامل هندی (H)، اردستانی (A)، اصفهانی (E)، نی‌ریزی (N) و مشهدی (M) بودند. بذرهای توده‌های اردستانی و اصفهانی از شرکت پاکان بذر اصفهان و بذر سایر توده‌ها از مناطق تحت کشت شنبلیله جمع‌آوری و تهیه گردیدند. در این تحقیق تعداد ۳۰ عدد بذر یک‌اندازه، سالم و یکنواخت پس از شستشو با محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵٪ و آب مقطر، در داخل پتری دیش‌های نه سانتیمتری حاوی کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار گرفته و به هر پتری دیش مقدار ۵ml آب با هدایت‌های الکتریکی مورد نظر افزوده و درب آنها بسته شد. تیمار شوری شامل ده سطح (۲۷ dS/m، ۲۴، ۲۱، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، شاهد) بود که از طریق مخلوط کردن آب مقطر و آب شور چاه زیرزمینی مزرعه تحقیقات شوری صدوق با هدایت الکتریکی ۱۴ dS/m (جدول ۱) حاصل گردید. سطح شاهد در این تحقیق، آب مقطر با هدایت الکتریکی ۲۰ µS/cm بود. سطوح شوری ۱۵ dS/m و بالاتر از آن، از طریق مخلوط کردن آب مقطر (۲۰ µS/cm) با آب شور ۳۰ dS/m حاصل از تبخیر آب شور ۱۵ dS/m ، بدست آمد. بعد از افزودن آب، پتری دیش‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۰/۲۵°C، رطوبت نسبی ۶۰٪ و دوره نوری ۱۶/۸h قرار گرفتند. در هر روز، تعداد بذرهای جوانه‌زده به مدت دو هفته در ساعت معین شمارش می‌شد.

جدول ۱- تجزیه شیمیایی آب شور مورد استفاده

EC (dS/m)	pH	آنیون (*Meq/litr*)				کاتیون (*Meq/litr*)				SAR
		CO_3^{3-}	HCO_3	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
۱۴	۸/۲۶	۰/۹۲	۱/۹۸	۱۸۴/۵	۲۲/۳۶	۲۲/۱۹	۴۲/۸۱	۱۴۱	۰/۴۱	۲۴/۷۳

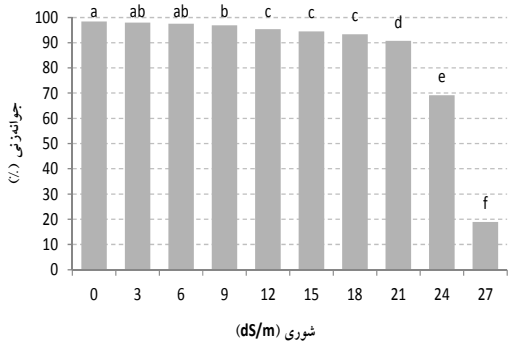
پس از پایان شمارش جوانه‌زنی، میانگین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه برای تعداد ده گیاهچه با خط‌کش میلی‌متری با دقت ۰/۱ اندازه‌گیری شد. طرح آماری مورد استفاده به صورت کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار بود. صفاتی که در این تحقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر و طول دانه‌رست بود. معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه به طول حداقل دو میلیمتر بود و شاخص بنیه بذر از حاصلضرب طول دانه‌رست در درصد جوانه‌زنی بذر بدست آمد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه شده و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام گرفت. در این تحقیق، حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش جوانه‌زنی به ازای هر واحد افزایش شوری برای هر یک از توده‌ها با استفاده از مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۴) برآورد گردید. همچنین، ضمن محاسبه شاخص تحمل به تنش شوری، روند واکنش تحمل به شوری توده‌های مختلف شنبلیله در مدل خطی با سایر مدل‌های غیر خطی تجربی (۲۴، ۲۱، ۲۰) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و توده‌های برتر متحمل به شوری شنبلیله مشخص گردیدند. برای محاسبه شاخص تحمل به شوری (ST-index) با استفاده از معادله غیر خطی تغییر یافته (معادله ۳) با معلوم بودن مقادیر EC_{50} و s، شاخص تحمل به شوری شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی مطابق معادله ۴ محاسبه گردید (۲۱، ۲۰).

نتایج

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه نشان داد که اثر اصلی شوری و اثر اصلی توده بر روی تمام صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

همچنین، اثر متقابل شوری و توده نیز برای صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

نتایج نشان داد که بدون توجه به نوع توده، با افزایش میزان شوری، درصد جوانه‌زنی شروع به کاهش کرد. این کاهش تا سطح شوری ۶ dS/m از نظر آماری معنی‌دار نبود. افزایش شوری در سطح ۹ و ۱۲ dS/m، درصد جوانه‌زنی بذور را بترتیب به مقدار ۱/۵۸و ۳/۱۶ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. مطابق با داده‌های ارئه شده در شکل ۱ الف، درصد جوانه‌زنی در سطوح شوری ۳، ۶ و ۹ dS/m مشابه بود. همچنین، اعمال سطوح شوری بالاتر تا ۱۸ dS/m تاثیر معنی‌داری بر درصد جوانه زنی بذور نسبت به سطح شوری ۱۲ dS/m نداشت، لیکن، شوری در سطح ۲۱ dS/m ، درصدجوانه‌زنی را به مقدار ۷/۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. اعمال شوری در سطح ۲۴ dS/m ، درصد جوانه‌زنی بذور را به مقدار بیشتری کاهش داد (۲۹/۸ درصد نسبت به شاهد). بیشترین مقدار کاهش درصد جوانه‌زنی بذور از اعمال بالاترین سطح شوری حاصل گردید، بطوری‌که درصد جوانه‌زنی بمیزان ۸۰/۸۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۱ الف). بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، صرف نظر از سطح شوری، درصد جوانه‌زنی در بین توده‌های مختلف شنبلیله مورد بررسی متفاوت بود. همانگونه که در شکل ۱ ب نشان داده شده است، بیشترین مقدار درصد جوانه‌زنی بذور شنبلیله (۸۷/۲۲ درصد) متعلق به توده هندی بود که اختلاف معنی‌داری با توده اردستانی نشان نداد. همچنین، بدون توجه به سطح شوری، کمترین مقدار میزان درصد جوانه‌زنی بذور از توده مشهدی (۸۳/۲۲ درصد) بدست آمد، لیکن، درصد جوانه‌زنی آن با توده‌های اصفهانی و نی‌ریزی مشابه بوده و بطور معنی‌داری کمتر از توده‌های اردستانی و هندی بود (شکل ۱ ب).



الف

ب

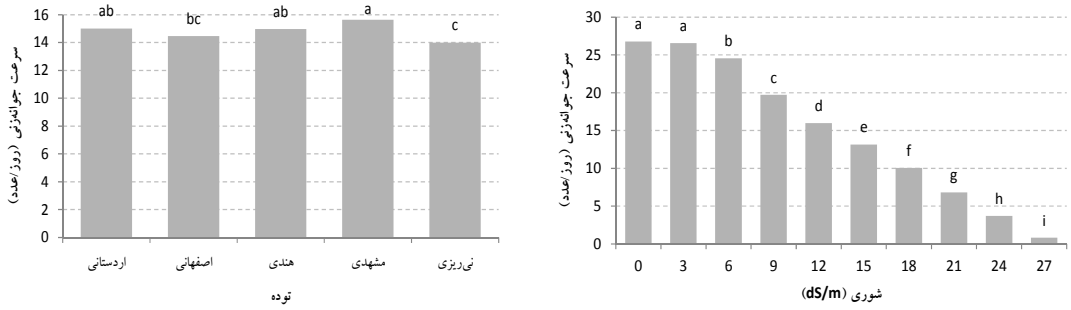
شکل۱- مقایسه اثرات اصلی تنش شوری (الف) و نوع توده (ب) بر درصد جوانه‌زنی بذور شنبلیله

جدول ۲- تجزیه واریانس برای میانگین مربعات صفات مختلف اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	شاخص بنیه بذر	طول دانه‌رست
شوری	۹	۱۸۶۸/۷۲**	۱۳۴۹/۲۵**	۴۳۶۵/۴۰**	۵۰۶۹/۲۶**	۲۱۰۲۳/۳۶**	۱۸۶۵۰/۶۶**
توده	۴	۱۲۴/۹۳**	۱۱/۶۷**	۲۶۹/۹۵**	۵۹۹/۵۶**	۸۶۴/۱۶**	۱۲۵۴/۹۹**
شوری×توده	۳۶	۱۴/۹۷۲**	۴/۵۵۵**	۵۸/۴۶۸**	۲۷/۸۸۷**	۶۸/۱۲۹**	۸۶/۸۶۲**
خطا	۱۰۰	۷/۹۷۰	۱/۹۲۸	۳/۴۸۶	۳/۳۲۱	۶/۵۵۰	۷/۹۳۴
ضریب تغییرات		۸/۵۶۸	۹/۳۷۷	۶/۳۴۹	۴/۸۱۷	۴/۰۵۸	۴/۱۸۹

**: معنی‌دار در سطح ۱٪، ^{ns}: غیرمعنی‌دار

از نظر سرعت جوانه‌زنی، بدون توجه به نوع توده، با افزایش شوری تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز کاهش یافت (شکل ۲ الف). این کاهش تا سطح شوری ۳ dS/m ناچیز و غیرمعنی‌دار بود. همان‌طور که در شکل ۲ الف نشان داده شده است، افزایش شوری در سطح ۶ dS/m موجب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی بمیزان ۸/۳۷ درصد گردید. سرعت جوانه‌زنی بذور در سطوح شوری ۹، ۱۲ و ۱۵ dS/m بترتیب ۱۹/۷۱، ۱۵/۹۸ و ۱۳/۱۴ دانه در روز بود که ضمن داشتن اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بترتیب کاهش ۲۶/۳۷، ۴۰/۳۱ و ۵۰/۹۲ درصدی در سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد ایجاد کردند.



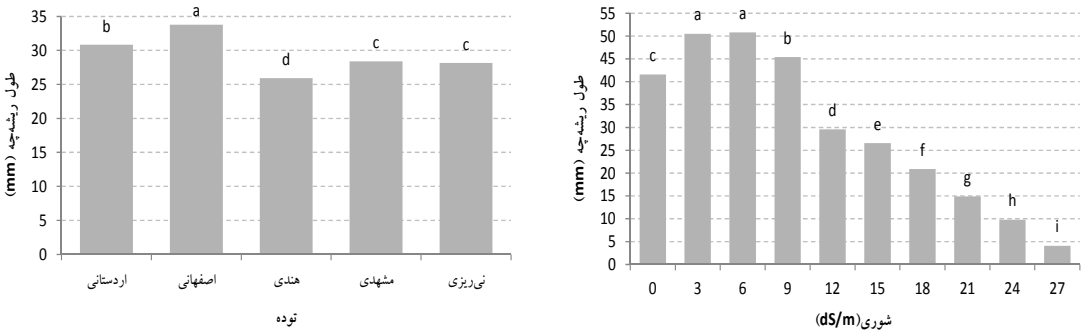
الف ب

شکل۲- مقایسه اثرات اصلی تنش شوری (الف) و نوع توده (ب) بر سرعت جوانه‌زنی بذور شنبلیله

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۲ الف، اعمال سطوح شوری بالاتر ۱۸، ۲۱ و ۲۴ dS/m بترتیب موجب کاهش بیشتر شد که نسبت به یکدیگر و شاهد (بترتیب ۶۲/۵۱، ۷۴/۵۲ و ۸۶/۱۸ درصد) معنی‌دار بود. همچنین، کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی (۰/۸۲ دانه در روز) از اعمال بالاترین سطح شوری حاصل شد. اعمال شوری در این سطح کاهش شدیدی در سرعت جوانه زنی بذور ایجاد کرد (۹۶/۹۴ درصد نسبت به شاهد). بدون توجه به سطح شوری، مقایسه توده‌های مختلف مورد مطالعه از نظر سرعت جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین مقدار سرعت جوانه‌زنی (۱۵/۶۴ دانه در روز) متعلق به توده مشهدی بود که بطور کلی اختلاف آماری معنی‌داری با توده‌های اردستانی و هندی نداشت (شکل ۲ ب). همچنین، سرعت جوانه‌زنی در توده‌های اردستانی، اصفهانی و هندی مشابه بود. کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی از توده نی‌ریزی (۱۳/۹۸ دانه در روز) بدست آمد که در مقایسه با سایر توده‌های مورد مطالعه معنی‌دار بود.

شکل ۳الف، تاثیر شوری بر رشد طولی ریشه‌چه بذرهای جوانه‌زده شنبلیله را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات مندرج در شکل ۳ الف، افزایش شوری در ابتدا طول ریشه‌چه را بطور معنی‌داری افزایش داد لیکن در سطوح بالاتر شوری، طول ریشه‌چه به تدریج شروع به کاهش کرد. در واقع، شوری در سطح ۳ dS/m طول ریشه‌چه را بمیزان ۲۱/۳۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد، این افزایش در سطح ۶ dS/m اندکی بالاتر بود، لیکن اختلاف معنی‌داری نسبت به سطح ۳ dS/m نشان نداد. افزایش شوری در سطح ۹ dS/m اگرچه که موجب کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه نسبت به سطوح ۳ و ۶ dS/m گردید، اما طول ریشه‌چه در این سطح شوری هنوز نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری به اندازه ۹/۰۸ درصد بالاتر بود.

ادامه افزایش شوری در سطوح بالاتر موجب کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه نسبت به سطوح پایین‌تر گردید، بطوریکه شوری در سطوح ۱۲، ۱۵ و ۱۸ dS/m ، طول ریشه‌چه را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد (بترتیب به اندازه ۲۸/۸۶، ۳۶/۱۳ و ۴۹/۷۳ درصد) و سطوح پایین شوری (۳ و ۶ dS/m) کاهش داد. نتایج نشان داد که با اعمال سطوح شوری ۲۱ و ۲۴ dS/m طول ریشه‌چه بترتیب به اندازه ۶۴/۱۱ و ۷۶/۵۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۳ الف).



الف ب

شکل۳- مقایسه اثرات اصلی تنش شوری (الف) و نوع توده (ب) بر طول ریشه‌چه بذور شنبلیله

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، بیشترین مقدار کاهش طول ریشه‌چه به اندازه ۹۰/۱۵ درصد نسبت به شاهد، از اعمال بالاترین سطح شوری (۲۷ dS/m) حاصل گردید. مقایسه توده‌های مختلف شنبلیله نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار طول ریشه‌چه بترتیب متعلق به توده اصفهانی و توده هندی بود. توده اردستانی با ۸/۷۶ درصد کاهش طول ریشه‌چه نسبت به توده اردستانی در رتبه بعدی قرار گرفت. همچنین، توده‌های مشهدی و نی‌ریزی از نظر طول ریشه‌چه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۳ ب).

نتایج این تحقیق نشان داد که بطور کلی واکنش طول ساقه‌چه به شوری روند مشابهی نظیر طول ریشه‌چه را دنبال کرد. همانطور که در شکل ۴ الف نشان داده شده است، شوری در سطح ۳ dS/m طول ساقه‌چه را بمیزان ۱۶/۸۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد، لیکن افزایش بیشتر شوری در سطح ۶ dS/m منجر به کاهش جزئی طول ساقه‌چه نسبت به سطح ۳ dS/m و افزایش معنی‌دار ۱۴/۵۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد گردید. شوری در سطح ۹ dS/m موجب کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه نسبت به سطوح ۳ و ۶ dS/m و افزایش معنی‌دار ۵/۵۹ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. با ادامه افزایش شوری طول ساقه‌چه به تدریج کاهش بیشتری یافت که هم نسبت به سطوح پایین‌تر شوری و هم نسبت به تیمار شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود، بطوریکه اعمال شوری در سطوح ۱۲، ۱۵ و ۱۸ dS/m بترتیب موجب کاهش طول ساقه‌چه به مقدار ۵/۹۵، ۲۴/۰۴، و ۴۲/۲۷ درصد گردید (شکل ۴ الف). این کاهش در سطوح بعدی شوری نیز مشاهده شد و اعمال بالاترین سطح شوری در ۲۷ dS/m موجب کاهش شدید ۸۱/۷۱ درصد در طول ساقه‌چه گردید (شکل ۴ الف).

الف ب

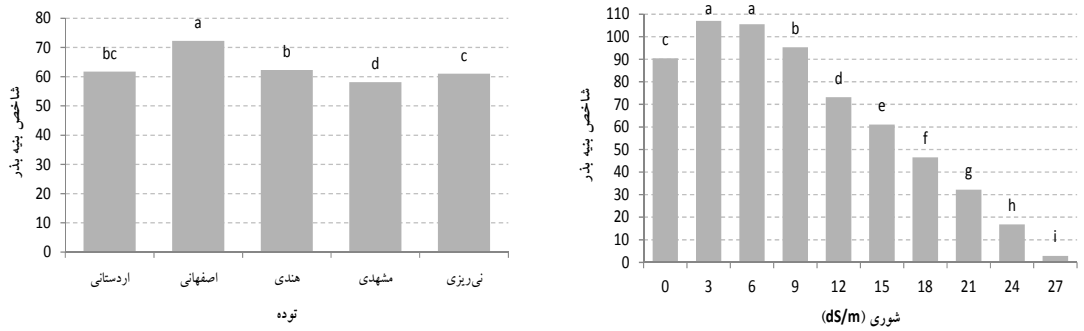
شکل۴- مقایسه اثرات اصلی تنش شوری (الف) و نوع توده (ب) بر طول ساقه‌چه بذور شنبلیله

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق طول ساقه‌چه در بین توده‌های مختلف شنبلیله متفاوت بود. بدون توجه به سطح شوری، بیشترین مقدار طول ساقه‌چه مربوط به توده اصفهانی (۴۴/۸۶ میلیمتر) و سپس توده هندی (۳۸/۶۵ میلیمتر) بود. طول ساقه‌چه در توده نی‌ریزی بطور معنی‌داری کمتر از دو توده فوق بود. کمترین مقدار طول ساقه‌چه از توده‌های اردستانی (۳۳/۶۴ میلیمتر) و مشهدی (۳۴/۳۲ میلیمتر) بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴ ب).

در بررسی واکنش شاخص بنیه بذر در اثر شوری، نتایج نشان داد که شاخص بنیه بذر ابتدا افزایش و سپس در شوری‌های بالاتر کاهش یافت. همانطور که در شکل ۵ الف نشان داده شده است، اعمال شوری در سطح ۳ dS/m شاخص بنیه بذر را ۱۸/۳۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. این افزایش در بنیه بذر در سطوح شوری بالاتر به مراتب کمتر بود، بطوریکه شوری در سطح ۶ dS/m شاخص بنیه بذر را ۱۶/۸۰ درصد و در سطح شوری ۹ dS/m شاخص بنیه بذر را ۵/۴۶ درصد افزایش داد. به این ترتیب، بیشترین شاخص بنیه بذر متعلق به سطح شوری ۳ dS/m بود که تفاوت آماری معنی‌داری با سطح شوری ۶ dS/m نشان نداد. علیرغم اینکه شاخص بنیه بذر در سطح شوری ۹ dS/m بطور معنی‌داری کاهش پیدا کرد، لیکن مقدار آن در مقایسه با شاهد هنوز بالاتر بود.

بر اساس داده‌های ارائه شده در شکل ۵ الف، اعمال سطوح شوری ۱۲، ۱۵ و ۱۸ dS/m ، کاهش آماری قابل توجهی در شاخص بنیه بذر بدون توجه به نوع توده ایجاد کرد که بترتیب معادل ۱۹/۰۳، ۳۲/۴۲ و ۴۸/۵۲ درصد نسبت به شاهد بود. همچنین، افزایش شوری در سطوح ۲۱ و ۲۴ dS/m بترتیب موجب کاهش شدید معنی‌دار ۶۴/۳۶ و ۸۱/۴۲ درصدی در شاخص بنیه بذر گردید و اعمال بالاترین سطح شوری بیشترین کاهش را در شاخص بنیه بذر (۹۶/۸۶ درصد نسبت به شاهد) ایجاد کرد (شکل ۵ الف). مقایسه شاخص بنیه بذر توده‌های مختلف شنبلیله (شکل ۵ ب) نشان داد صرف نظر از شوری، که بالاترین و پایین‌ترین شاخص بنیه بذر بترتیب از توده اصفهانی و مشهدی حاصل گردید. این درحالی است که تفاوت آماری معنی‌داری بین توده‌های اردستانی و هندی و نیز توده‌های نی‌ریزی و اردستانی وجود نداشت (شکل ۵ ب).

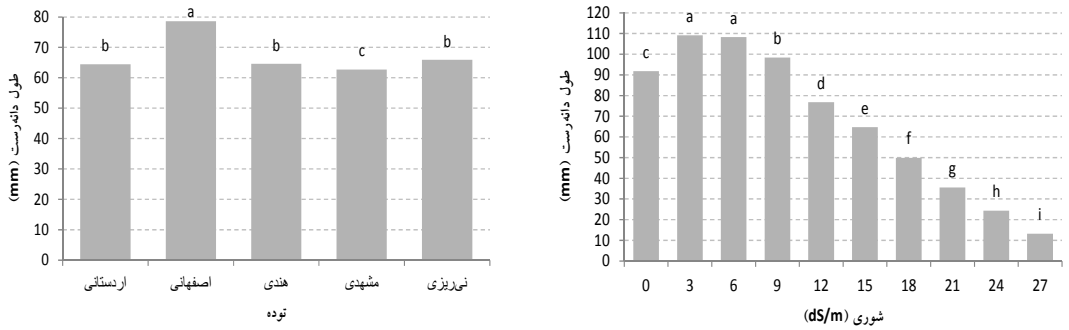
نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بطورکلی افزایش شوری در سطوح ۳، ۶ و ۹ dS/m موجب افزایش طول دانه‌رست نسبت به تیمار شاهد گردید، بدین نحو که بیشترین افزایش طول دانه‌رست (۱۸/۹۰ درصد) متعلق به سطح شوری ۳ dS/m بود.



الف ب

شکل۵- مقایسه اثرات اصلی تنش شوری (الف) و نوع توده (ب) بر شاخص بنیه بذور شنبلیله

افزایش بیشتر شوری طول دانه‌رست را به مقدار کمتری افزایش داد، بطوریکه اعمال شوری ۶ و ۹ dS/m طول دانه‌رست را بترتیب بمیزان ۱۷/۹۴ و ۷/۱۶ درصد افزایش داد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری در سطوح بالاتر (۱۲، ۱۵ و ۱۸ dS/m)، طول دانه‌رست کاهش بیشتری (بترتیب ۱۶/۳۳، ۲۹/۵۲ و ۴۵/۶۵ درصد نسبت شاهد) پیدا کرد بطوریکه بالاترین سطح شوری (۲۷ dS/m)، موجب کاهش شدید طول دانه‌رست (۸۵/۵۴ درصدنسبت به تیمار شاهد) گردید (شکل ۶ الف).



الف ب

شکل۶- مقایسه اثرات اصلی تنش شوری (الف) و نوع توده (ب) بر طول دانه‌رست بذور شنبلیله

بر اساس نتایج حاصله، توده اصفهانی صرف نظر از سطح شوری، بطورکلی، بیشترین طول دانه‌رست (۷۸/۶۴ میلیمتر) را در مقایسه با سایر توده‌های مورد مطالعه دارا بود. این در حالی است که کمترین مقدار طول دانه‌رست متعلق به توده مشهدی (۶۲/۷۰ میلیمتر) بود. همچنین، توده‌های اردستانی، نی‌ریزی و هندی از نظر طول دانه‌رست بدون داشتن اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، مقادیر مشابهی را دارا بودند (شکل ۶ ب).

در این تحقیق مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی واکنش توده‌های مختلف شنبلیله به شوری برای هر یک از توده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۴)، حد آستانه تحمل به

شوری و شیب کاهش جوانه‌زنی در توده‌های مختلف شنبلیله متفاوت بود. بیشترین مقدار حد آستانه (۲۴/۲۳ dS/m) متعلق به توده هندی و سپس توده‌های اردستانی و نی‌ریزی (بترتیب ۲۲/۳۱ و ۲۲/۱۲ dS/m) بود. همچنین، حد آستانه تحمل به شوری توده‌های اصفهانی و مشهدی بترتیب ۲۰/۳۲ و ۲۰/۱۸ dS/m بود (جدول ۳). بر اساس معادله خطی سه قسمتی ارائه شده در جدول ۳، بالاترین و پایین‌ترین شیب کاهش جوانه‌زنی از توده‌های هندی و اصفهانی (بترتیب ۲۹/۱۷ و ۱۰/۳۷ درصد) حاصل گردید. این شیب برای توده‌های اردستانی، مشهدی و نی‌ریزی بترتیب ۱۷/۷۸، ۱۲/۲۲ و ۱۵/۹۳ درصد بود.

سایر مدل‌های ارائه شده در جدول ۳، واکنش به شوری توده‌های مختلف شنبلیله به شوری را به صورت غیر خطی پیش‌بینی می‌کنند. در مدل‌های غیر خطی با افزایش هر سطح شوری میزان جوانه‌زنی بطور تدریجی از همان ابتدا شروع به کاهش یافتن می‌کند (شکل ۷). بر اساس مدل سیگموئیدی، بیشترین شوری که در آن بذور به مقدار ۵۰درصد جوانه می‌زنند (EC_{50}) از توده اصفهانی (۲۵/۸۱ dS/m) و نی‌ریزی (۲۵/۱۱ dS/m) بدست آمد. این شوری برای سایر توده‌های مورد مطالعه اندکی کمتر و حدود ۲۴ dS/m بود (جدول ۳).

بر اساس مدل سیگموئیدی تغییر یافته (۲۱، ۲۰)، مقدار EC_{50} توده‌های شنبلیله نزدیک به مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی معمولی (۲۴) بود. مقایسه مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی با مدل خطی سه قسمتی، نشان داد که مقدار شوری که در آن درصد جوانه‌زنی بمیزان ۵۰٪ کاهش می‌یابد برای تمام توده‌های شنبلیله مورد بررسی مشابه مدل سیگوئیدی و حدود ۲۵/۹–۲۴/۳ dS/m بود (شکل ۷).

نتایج محاسبه شاخص تحمل به تنش برای توده‌های مختلف شنبلیله مورد مطالعه ارائه شده در جدول ۴ نشان داد که بیشترین مقدار شاخص تحمل به شوری متعلق به توده هندی و پس از آن توده‌های نی‌ریزی و اصفهانی بود. کمترین مقدار شاخص تحمل به شوری از توده مشهدی (۲۵/۹۵) حاصل گردید. شاخص تحمل به شوری برای توده اردستانی ۲۶/۵ بدست آمد. بنابراین، تودهای شنبلیله هندی، نی‌ریزی و اصفهانی متحمل‌ترین توده‌ها به شوری بودند.

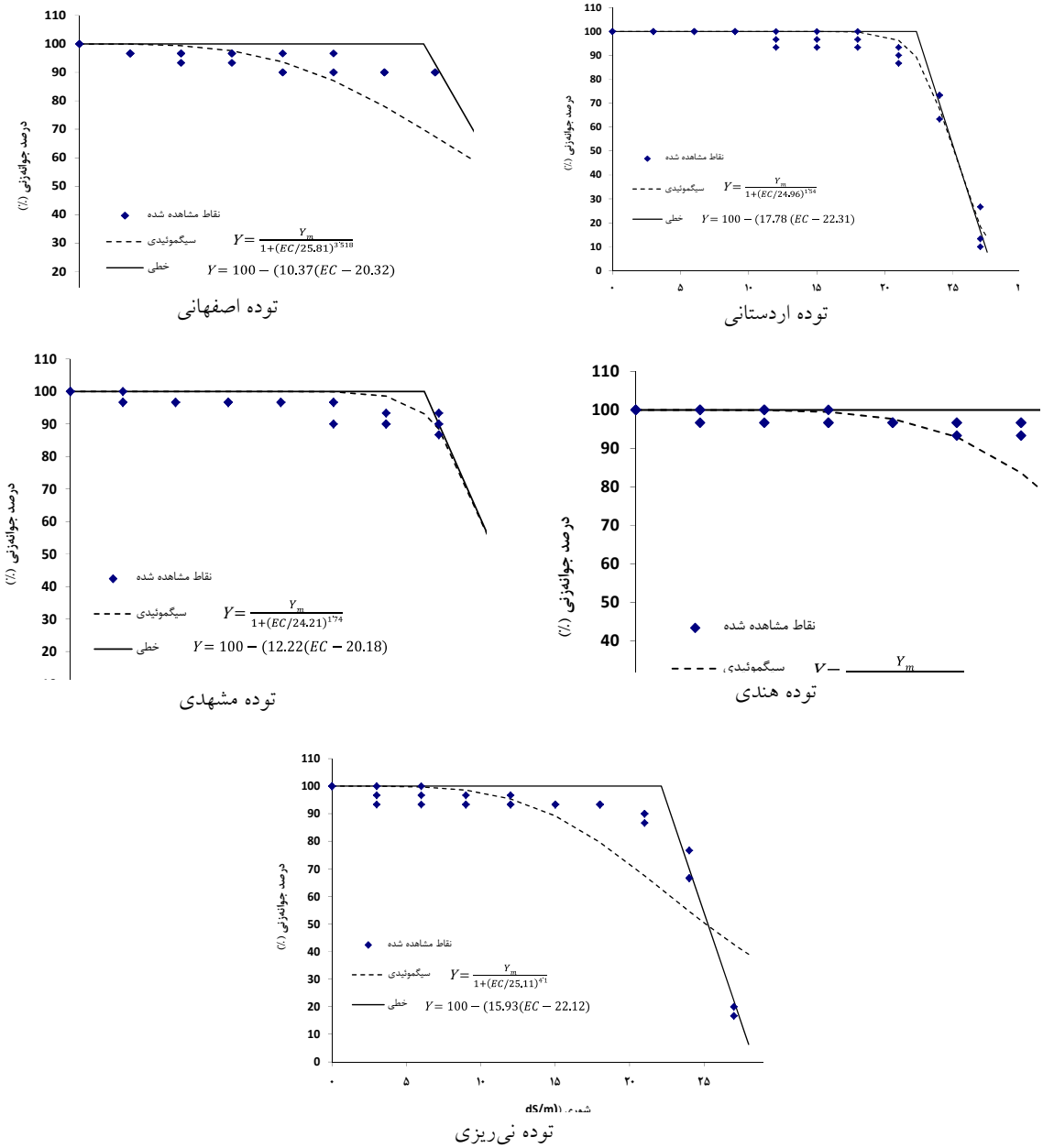
نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر متقابل شوری و توده روی تمام صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این بدان معنی است که توده‌های مختلف در سطوح مختلف شوری رفتار متفاوتی نسبت به یکدیگر داشتند. به عبارت دیگر، روند تغییرات صفات مورد مطالعه در هر سطح شوری در بین ارقام مختلف متفاوت بود. نتایج ارائه شده در جدول ۵، اثرات سطوح مختلف شوری روی صفات مختلف مورد بررسی را برای هر یک از توده‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول نشان داده شده است، افزایش شوری تا ۹ dS/m تاثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذور توده‌های اردستانی و هندی نداشت و پس از آن درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا کرد. این در حالی است که درصد جوانه‌زنی بذور در توده اصفهانی تا ۱۵ dS/m ، در توده مشهدی تا ۳ dS/m و در توده نی‌ریزی تا ۱۲ dS/m مشابه با تیمار شاهد بود (جدول ۵). نتایج ارائه شده در جدول ۵ همچنین نشان داد که در توده اردستانی درصد جوانه‌زنی بذور در سطوح شوری ۱۸–۱۲ dS/m مشابه بود، این در حالی است که درصد جوانه‌زنی در توده‌های اصفهانی، هندی، مشهدی و نی‌ریزی بترتیب در سطوح شوری ۲۱–۶ dS/m ، ۲۱–۹ dS/m ، ۱۵–۳ dS/m و ۱۸–۳ dS/m مشابه یکدیگر بود. از نظر سرعت جوانه‌زنی، اعمال سطوح شوری بالاتر از ۶ dS/m موجب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی در توده‌های اصفهانی، هندی و مشهدی گردید. در توده‌های اردستانی و نی‌ریزی، این کاهش با اعمال سطوح شوری بالاتر از ۳ dS/m ایجاد گردید.

جدول ۳- معادلات برازش داده شده واکنش توده‌های مختلف شنبلیله به شوری با استفاده از مدل‌های تجربی

نام توده	نوع مدل	معادله مرجع	معادله برازش داده شده
اردستانی	مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-17.78*(EC-22.31)$
	مدل سیگموئیدی	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^P}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{24.96}\right)^{1.54}}$
	مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{\exp(s*EC_{50})}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{24.96}\right)^{\exp 0.432}}$
	مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*\exp[0.026(EC)-0.0020(EC)^2]$
اصفهانی	مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-10.37*(EC-20.32)$
	مدل سیگموئیدی	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^P}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{25.81}\right)^{3.52}}$
	مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{\exp(s*EC_{50})}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{25.63}\right)^{\exp 1.256}}$
	مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*\exp[0.015(EC)-0.0015(EC)^2]$
هندی	مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-29.17*(EC-24.23)$
	مدل سیگموئیدی	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^P}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{24.62}\right)^{5.22}}$
	مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{\exp(s*EC_{50})}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{24.02}\right)^{\exp 1.65}}$
	مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*\exp[0.023(EC)-0.0018(EC)^2]$
مشهدی	مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-12.22*(EC-20.18)$
	مدل سیگموئیدی	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^P}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{24.21}\right)^{1.74}}$
	مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{\exp(s*EC_{50})}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{24.21}\right)^{\exp 0.554}}$
	مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*\exp[0.024(EC)-0.0020(EC)^2]$
نی‌ریزی	مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-15.93*(EC-22.12)$
	مدل سیگموئیدی	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^P}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{25.11}\right)^{4.10}}$
	مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{\exp(s*EC_{50})}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{25.10}\right)^{\exp 1.410}}$
	مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*\exp[0.018(EC)-0.0016(EC)^2]$

جدول ۴- ضرایب معادله سیگموئیدی و شاخص تحمل به شوری (ST-index) توده‌های مختلف شنبلیله

نام توده شنبلیله	EC_{50} (dS/m)	ضریب S	$Exp(s*EC_{50})$	شاخص تحمل به شوری ST-index
اردستانی	۲۴/۹۶	۰/۰۱۷۳	۱/۵۴	۲۶/۵۰
اصفهانی	۲۵/۶۳	۰/۰۴۹۰	۳/۵۱	۲۹/۱۵
هندی	۲۴/۰۲	۰/۰۹۴۵	۵/۲۲	۲۹/۲۴
مشهدی	۲۴/۲۱	۰/۰۲۲۹	۱/۷۴	۲۵/۹۵
نی‌ریزی	۲۵/۱۰	۰/۱۰۹۰	۴/۱۰	۲۹/۲۰



شکل ۷- نمودار پاسخ توده‌های مختلف شنبلیله به شوری بر اساس مدل خطی و سیگموئیدی در مرحله جوانه‌زنی

علیرغم اینکه در توده اردستانی افزایش هر سطح شوری بالاتر از ۳ dS/m موجب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی گردید، در توده اصفهانی، سرعت جوانه‌زنی در سطوح شوری ۹ و ۱۲ dS/m تفاوتی با یکدیگر نداشت. این در حالی است که در توده هندی سطوح ۲۱ و ۲۴ dS/m ، در توده مشهدی سطوح ۲۴ و ۲۷ dS/m و در توده نی‌ریزی سطوح ۱۵ و ۱۸ dS/m اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۵). نتایج ارائه شده در جدول ۵ همچنین نشان داد توده‌های مختلف از نظر شاخص بنیه بذر روند متفاوتی را در پاسخ به شوری محیط نشان دادند، بطوریکه در توده‌های اردستانی و هندی بیشترین مقدار این شاخص در شوری ۳ dS/m و در توده‌های اصفهانی و نی‌ریزی در شوری ۶ dS/m مشاهده گردید. در توده مشهدی بیشترین شاخص بنیه بذر متعلق به شوری ۶ dS/m بود که تفاوت معنی‌داری با شوری ۳ dS/m نشان نداد. مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۵، در تمام توده‌های مورد مطالعه با افزایش شوری شاخص بنیه بذر ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اگرچه که در تمام توده‌های مورد مطالعه، اعمال شوری ۱۲ dS/m و بالاتر، موجب کاهش معنی‌دار شاخص بنیه بذر نسبت به شاهد گردید، لیکن، مقدار روند تغییرات این شاخص قبل از سطح ۱۲ dS/m بین توده‌ها متفاوت بود. بطوریکه، در توده اردستانی شاخص بنیه بذر بین سطوح ۳ و ۶ dS/m و همچنین بین سطوح ۶ و ۹ dS/m مشابه بود. این در حالی است که توده‌های اصفهانی و مشهدی تفاوت شاخص بنیه بذر بین سطوح ۳ و ۶dS/m از نظر آماری معنی‌دار نگردید. شاخص بنیه بذر در توده‌های هندی و نی‌ریزی بین سطوح شوری ۳ و ۶ dS/m و نیز بین سطوح شوری ۶ و ۹ dS/m اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

نتایج این تحقیق نشان داد که در تیمار شاهد بیشترین درصد جوانه زنی متعلق به توده اردستانی بود که با توده‌های هندی و مشهدی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. در سطوح شوری ۳ و ۶ dS/m بیشترین درصد جوانه‌زنی از توده‌های اردستانی و هندی حاصل گردید. این در حالی است که در سطح ۹ dS/m ، بیشترین درصد جوانه‌زنی تنها از توده اردستانی حاصل گردید. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی در توده‌هایی مختلف در سطوح شوری ۱۲ و ۱۵ dS/m مشابه بود، بطوریکه بالاترین درصد جوانه‌زنی از توده اردستانی حاصل گردید. در سطح شوری ۱۸ dS/m بیشترین درصد جوانه‌زنی متعلق به توده‌های اردستانی، مشهدی و نی‌ریزی بود (جدول ۶).

بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۶ در سطح شوری ۲۱، درصد جوانه‌زنی توده‌ها تفاوتی با یکدیگر نشان نداد، لیکن در سطح شوری ۲۴ dS/m بیشترین درصد جوانه‌زنی از توده هندی و در سطح شوری ۲۷ dS/m، از توده اصفهانی حاصل گردید که با درصد جوانه‌زنی توده‌های اردستانی، مشهدی و نی‌ریزی مشابه بود. نتایج نشان داد که در تیمار شاهد و سطوح شوری ۳، ۹ و ۱۵ dS/m بیشترین سرعت جوانه‌زنی متعلق به توده‌های مشهدی، هندی و اردستانی بود. در سطح شوری ۶ dS/m بیشترین سرعت جوانه‌زنی از توده‌های هندی و مشهدی حاصل گردید. بر اساس داده‌های مندرج در جدول ۶، سرعت جوانه‌زنی در سطوح شوری ۱۲ و ۲۷–۱۸ dS/m مشابه بوده و اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند.

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین مقدار شاخص بنیه بذر در تیمار شاهد از توده اصفهانی حاصل گردید (جدول ۶).

جدول ۵- میانگین صفات مختلف مورد مطالعه در سطوح مختلف شوری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ †

توده	شوری (dS/m)	جوانه‌زنی (٪)	سرعت جوانه‌زنی (روز/عدد)	طول ریشه‌چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	شاخص بنیه بذر	طول دانه‌رست (mm)
اردستانی	شاهد	۱۰۰a	۲۷/۴۰a	۴۵/۰۷b	۴۸/۲۵b	۹۳/۳۲c	۹۳/۳۲c
اردستانی	۳	۱۰۰a	۲۷/۷۲a	۴۸/۷۶a	۵۲/۴۲a	۱۰۱/۱۷a	۱۰۱/۱۷a
اردستانی	۶	۱۰۰a	۲۴/۱۱b	۵۰/۵۶a	۴۷/۵۰b	۹۸/۰۶ab	۹۸/۰۶ab
اردستانی	۹	۱۰۰a	۲۱/۰۰c	۴۸/۱۷a	۴۶/۷۷b	۹۴/۹۴bc	۹۴/۹۴bc
اردستانی	۱۲	۹۶/۶۷b	۱۶/۰۰d	۳۴/۷۸c	۴۳/۴۷c	۷۵/۶۸d	۷۸/۲۵d
اردستانی	۱۵	۹۶/۶۷b	۱۳/۱۱e	۳۱/۲۴d	۳۳/۳۹d	۶۲/۵۰e	۶۴/۶۳e
اردستانی	۱۸	۹۶/۶۷b	۱۰/۲۹f	۲۲/۹۹e	۲۵/۳۴e	۴۶/۶۷f	۴۸/۳۳f
اردستانی	۲۱	۹۰/۰۰c	۶/۱۲g	۱۲/۷۳f	۱۷/۲۹f	۲۷/۰۴g	۳۰/۰۲g
اردستانی	۲۴	۷۰/۰۰d	۳/۴۹h	۸/۹۲g	۱۳/۲۱g	۱۵/۴۹h	۲۲/۱۳h
اردستانی	۲۷	۱۶/۶۷e	۰/۷۲i	۵/۰۰h	۸/۷۲h	۲/۵۱i	۱۳/۷۲i
اصفهانی	شاهد	۹۶/۶۷a	۲۴/۴۰a	۴۹/۷۷b	۵۶/۱۱c	۱۰۲/۳۵b	۱۰۵/۸۸b
اصفهانی	۳	۹۶/۶۷a	۲۳/۷۱a	۵۲/۵۱b	۷۱/۴۲a	۱۱۹/۷۹a	۱۲۳/۹۲a
اصفهانی	۶	۹۵/۵۶ab	۲۲/۹۴a	۵۷/۵۸a	۶۹/۷۹a	۱۲۱/۶۹a	۱۲۷/۳۸a
اصفهانی	۹	۹۵/۵۶ab	۱۸/۲۸b	۴۰/۸۳c	۶۲/۰۸b	۹۸/۳۲b	۱۰۲/۹۲b
اصفهانی	۱۲	۹۲/۲۲ab	۱۶/۵۶b	۳۷/۸۹c	۵۵/۱۹c	۸۵/۸۲c	۹۳/۰۸c
اصفهانی	۱۵	۹۲/۲۲ab	۱۳/۹۹c	۳۴/۵۰d	۴۶/۱۵d	۷۴/۲۹d	۸۰/۶۵d
اصفهانی	۱۸	۹۰/۰۰b	۱۱/۱۹d	۲۶/۸۹e	۳۳/۸۳e	۵۴/۶۵e	۶۰/۷۲e
اصفهانی	۲۱	۹۰/۰۰b	۸/۲۲e	۱۹/۸۵f	۲۴/۴۶f	۳۹/۸۸f	۴۴/۳۱f
اصفهانی	۲۴	۶۷/۷۸c	۴/۱۱f	۱۲/۸۰g	۱۷/۶۷g	۲۰/۷۳g	۳۰/۴۷g
اصفهانی	۲۷	۲۷/۷۸d	۱/۲۰g	۵/۱۹h	۱۱/۸۶h	۴/۷۵h	۱۷/۰۶h
هندی	شاهد	۹۸/۸۹a	۲۷/۰۵a	۴۰/۷۸b	۵۱/۵۱d	۹۱/۲۲c	۹۲/۲۸c
هندی	۳	۹۸/۸۹a	۲۷/۴۴a	۵۱/۸۰a	۶۲/۵۳a	۱۱۳/۰۴a	۱۱۴/۳۳a
هندی	۶	۹۸/۸۹a	۲۶/۰۴a	۳۸/۶۴b	۵۹/۵۳b	۹۷/۰۸b	۹۸/۱۸b
هندی	۹	۹۷/۷۸ab	۲۰/۳۳b	۳۴/۶۴c	۵۵/۷۵c	۸۸/۴۰c	۹۰/۳۹c
هندی	۱۲	۹۶/۶۷b	۱۵/۲۰c	۲۷/۵۸d	۴۹/۹۲d	۷۴/۹۲d	۷۷/۵۰d
هندی	۱۵	۹۵/۵۶b	۱۲/۸۴d	۲۵/۲۸d	۳۸/۷۹e	۶۱/۲۱e	۶۴/۰۸e
هندی	۱۸	۹۵/۵۶b	۹/۴۶e	۱۷/۶۳e	۲۸/۱۵f	۴۳/۷۷f	۴۵/۷۷f
هندی	۲۱	۹۴/۴۴b	۶/۴۳f	۱۲/۴۳f	۲۲/۶۳g	۳۳/۱۲g	۳۵/۰۶g
هندی	۲۴	۸۴/۴۴c	۴/۴۲f	۹/۰۰g	۱۳/۸۶h	۱۹/۳۸h	۲۲/۸۶h
هندی	۲۷	۱۱/۱۱d	۰/۴۶g	۱/۳۳h	۳/۸۹i	۰/۸۷i	۵/۲۲i

†: مقایسات میانگین برای صفات مختلف در هر یک از توده‌ها بطور جداگانه انجام شده است.

جدول ۵- ادامه

توده	شوری (dS/m)	جوانه‌زنی (٪)	سرعت جوانه‌زنی (روز/عدد)	طول ریشه‌چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	شاخص بنیه بذر	طول دانه‌رست (mm)
مشهدی	شاهد	۹۸/۸۹a	۲۸/۸۸a	۳۲/۷۸c	۴۵/۸۵cd	۷۷/۷۴c	۷۸/۶۳c
مشهدی	۳	۹۷/۷۸ab	۲۸/۵۰a	۵۱/۹۱ab	۵۱/۱۲ab	۱۰۰/۶۸a	۱۰۳/۰۳a
مشهدی	۶	۹۶/۶۷b	۲۷/۵۰a	۵۴/۸۴a	۵۲/۶۶a	۱۰۳/۹۲a	۱۰۷/۵۰a
مشهدی	۹	۹۶/۶۷b	۲۱/۳۳b	۴۹/۸۱b	۴۸/۲۷bc	۹۴/۸۰b	۹۸/۰۷b
مشهدی	۱۲	۹۶/۶۷b	۱۶/۷۸c	۲۴/۲۵d	۴۳/۵۰d	۶۵/۴۹d	۶۷/۷۵d
مشهدی	۱۵	۹۴/۴۴bc	۱۴/۰۸d	۲۱/۴۴de	۳۲/۸۶e	۵۱/۲۶e	۵۴/۳۱e
مشهدی	۱۸	۹۱/۱۱c	۹/۴۶e	۱۸/۵۱ef	۲۶/۷۸f	۴۱/۲۸f	۴۵/۲۹f
مشهدی	۲۱	۹۰/۰۰c	۶/۶۴f	۱۵/۸۹f	۱۷/۷۹g	۳۰/۳۱g	۳۳/۶۸g
مشهدی	۲۴	۵۳/۳۳d	۲/۵۶g	۱۰/۰۳g	۱۴/۳۳h	۱۳/۱۲h	۲۴/۳۶h
مشهدی	۲۷	۱۶/۶۷e	۰/۶۴g	۴/۳۱h	۱۰/۰۸i	۲/۴۵i	۱۴/۳۹i
نی‌ریزی	شاهد	۹۷/۷۷a	۲۶/۱۲a	۳۹/۵۹c	۴۹/۵۴b	۸۷/۱۳c	۸۹/۱۳c
نی‌ریزی	۳	۹۶/۶۷ab	۲۵/۴۴a	۴۷/۴۳b	۵۶/۱۶a	۱۰۰/۱۲b	۱۰۳/۵۹b
نی‌ریزی	۶	۹۶/۶۷b	۲۲/۰۷b	۵۲/۱۴a	۵۸/۴۴a	۱۰۶/۹۱a	۱۱۰/۵۹a
نی‌ریزی	۹	۹۴/۴۴b	۱۷/۶۱c	۵۳/۴۲a	۵۲/۴۴b	۹۹/۹۶b	۱۰۵/۸۵b
نی‌ریزی	۱۲	۹۴/۴۴b	۱۵/۳۶d	۲۳/۴۵d	۴۴/۲۱c	۶۳/۹۲d	۶۷/۶۷d
نی‌ریزی	۱۵	۹۳/۳۳bc	۱۱/۶۸e	۲۰/۳۸e	۳۹/۶۷d	۵۶/۰۴e	۶۰/۰۴e
نی‌ریزی	۱۸	۹۳/۳۳c	۹/۷۸e	۱۸/۵۴e	۳۰/۹۷e	۴۶/۲۱f	۴۹/۵۱f
نی‌ریزی	۲۱	۸۸/۸۹c	۶/۷۰f	۱۳/۷۶f	۲۰/۷۵f	۳۰/۶۵g	۳۴/۵۱g
نی‌ریزی	۲۴	۷۰/۰۰d	۳/۹۴g	۸/۱۳g	۱۳/۴۹g	۱۵/۲۴h	۲۱/۶۲h
نی‌ریزی	۲۷	۲۲/۲۲e	۱/۰۹h	۴/۶۴h	۱۱/۳۸g	۳/۶۱i	۱۶/۰۲i

†: مقایسات میانگین برای صفات مختلف در هر یک از توده‌ها بطور جداگانه انجام شده است.

شاخص بنیه بذر توده اخیر در سطوح مختلف شوری بجز سطح ۹ dS/m بیشترین مقدار بود. همچنین، شاخص بنیه بذر در سطح شوری ۲۷ dS/m در تمام توده‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد. بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۶ روند مشابهی از پاسخ توده‌های شنبلیله به شوری از نظر طول دانه‌رست حاصل گردید، بطوریکه توده اصفهانی ضمن دارا بودن بالاترین بنیه بذر، بیشترین طول دانه‌رست را نیز دارا بود.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق توده‌های مختلف شنبلیله از نظر تحمل به شوری مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شوری در مجموع تاثیر معنی‌داری روی صفات مختلف اندازه‌گیری شده در مرحله جوانه‌زنی داشت. بر اساس نتایج حاصله افزایش شوری تا سطح ۶ dS/m بر درصد جوانه‌زنی بذور تاثیری نداشت، لیکن به تدریج با اعمال سطوح شوری بالاتر، درصد جوانه‌زنی به تدریج شروع به کاهش کرد، بطوریکه اعمال شوری ۹ و ۱۲ dS/m ، درصد جوانه‌زنی بذور را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد.

جدول ۶- میانگین صفات مختلف مورد مطالعه در سطوح مختلف شوری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪

توده	شوری (dS/m)	جوانه‌زنی (٪)	سرعت جوانه‌زنی (روز/عدد)	طول ریشه‌چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	شاخص بنیه بذر	طول دانه‌رست (mm)
شاهد	اردستانی	۱۰۰a	۲۷/۴۰ab	۴۵/۰۷b	۴۸/۲۵cd	۹۳/۳۲b	۹۳/۳۲b
شاهد	اصفهانی	۹۶/۶۷ab	۲۴/۴۰c	۴۹/۷۷a	۵۶/۱۱a	۱۰۲/۳۵a	۱۰۵/۸۸a
شاهد	هندی	۹۸/۸۹ab	۲۷/۰۵ ab	۴۰/۷۸c	۵۱/۵۱b	۹۱/۲۲bc	۹۲/۲۸b
شاهد	مشهدی	۹۸/۸۹ab	۲۸/۸۸ a	۳۲/۷۸d	۴۵/۸۵d	۷۷/۷۴d	۷۸/۶۳c
شاهد	نی‌ریزی	۹۷/۷۷ bc	۲۶/۱۲ bc	۳۹/۵۹c	۴۹/۵۴bc	۸۷/۱۳c	۸۹/۱۳b
۳	اردستانی	۱۰۰a	۲۷/۷۲a	۴۸/۷۶b	۵۲/۴۲d	۱۰۱/۱۷c	۱۰۱/۱۷c
۳	اصفهانی	۹۶/۶۷c	۲۳/۷۱c	۵۲/۵۱a	۷۱/۴۲a	۱۱۹/۷۹a	۱۲۳/۹۲a
۳	هندی	۹۸/۸۹ab	۲۷/۴۴ab	۵۱/۸۰a	۶۲/۵۳b	۱۱۳/۰۴b	۱۱۴/۳۳b
۳	مشهدی	۹۷/۷۸bc	۲۸/۵۰a	۵۱/۹۱a	۵۱/۱۲d	۱۰۰/۶۸c	۱۰۳/۰۳c
۳	نی‌ریزی	۹۶/۶۷bc	۲۵/۴۴bc	۴۷/۴۳b	۵۶/۱۶c	۱۰۰/۱۲c	۱۰۳/۵۹c
۶	اردستانی	۱۰۰a	۲۴/۱۱bc	۵۰/۵۶c	۴۷/۵۰d	۹۸/۰۶c	۹۸/۰۶c
۶	اصفهانی	۹۵/۵۶c	۲۲/۹۴c	۵۷/۵۸a	۶۹/۷۹a	۱۲۱/۶۹a	۱۲۷/۳۸a
۶	هندی	۹۸/۸۹ab	۲۶/۰۴ab	۳۸/۶۴d	۵۹/۵۳b	۹۷/۰۸c	۹۸/۱۸c
۶	مشهدی	۹۶/۶۷c	۲۷/۵۰a	۵۴/۸۴ab	۵۲/۶۶c	۱۰۳/۹۲b	۱۰۷/۵۰b
۶	نی‌ریزی	۹۶/۶۷bc	۲۲/۰۷c	۵۲/۱۴bc	۵۸/۴۴b	۱۰۶/۹۱b	۱۱۰/۵۹b
۹	اردستانی	۱۰۰a	۲۱/۰۰a	۴۸/۱۷b	۴۶/۷۷d	۹۴/۹۴c	۹۴/۹۴bc
۹	اصفهانی	۹۵/۵۶b	۱۸/۲۸bc	۴۰/۸۳c	۶۲/۰۸a	۹۸/۳۲b	۱۰۲/۹۲a
۹	هندی	۹۷/۷۸b	۲۰/۳۳ab	۳۴/۶۴d	۵۵/۷۵b	۸۸/۴۰d	۹۰/۳۹c
۹	مشهدی	۹۶/۶۷b	۲۱/۳۳a	۴۹/۸۱b	۴۸/۲۷d	۹۴/۸۰c	۹۸/۰۷b
۹	نی‌ریزی	۹۴/۴۴b	۱۷/۶۱c	۵۳/۴۲a	۵۲/۴۴c	۹۹/۹۶a	۱۰۵/۸۵a
۱۲	اردستانی	۹۶/۶۷a	۱۶/۰۰a	۳۴/۷۸b	۴۳/۴۷c	۷۵/۶۸b	۷۸/۲۵b
۱۲	اصفهانی	۹۲/۲۲b	۱۶/۵۶a	۳۷/۸۹a	۵۵/۱۹a	۸۵/۸۲a	۹۳/۰۸a
۱۲	هندی	۹۶/۶۷ab	۱۵/۲۰a	۲۷/۵۸c	۴۹/۹۲b	۷۴/۹۲b	۷۷/۵۰b
۱۲	مشهدی	۹۶/۶۷ab	۱۶/۷۸a	۲۴/۲۵d	۴۳/۵۰c	۶۵/۴۹c	۶۷/۷۵c
۱۲	نی‌ریزی	۹۴/۴۴ab	۱۵/۳۶a	۲۳/۴۵d	۴۴/۲۱c	۶۳/۹۲c	۶۷/۶۷c

†: مقایسات میانگین برای صفات مختلف در هر سطح شوری بطور جداگانه انجام شده است.

این کاهش در ابتدا با شیب ملایم همراه بود، لیکن سطوح شوری بالا کاهش شدیدی بر درصد جوانه‌زنی بذور ایجاد کرد، بطوریکه اعمال شوری ۲۴ dS/m ، درصد جوانه‌زنی بذور را به مقدار ۲۹/۸ درصد و شوری ۲۷ dS/m بمیزان ۸۰/۸۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. در تایید نتایج فوق، شرما و ویمالا (۱۸)، نشان دادند که تمام بذرهای

شنبلیله تا شوری ۱۰۰mM NaCl (تقریبا معادل ۱۰ dS/m) جوانه زده اما در شوری‌های بالاتر میزان جوانه‌زنی به شدت کاهش یافت، بطوریکه در شوری ۲۰۰mM میزان جوانه زنی۶۰درصد کاهش پیدا کرد.

جدول ۶- ادامه

توده	شوری (dS/m)	جوانه‌زنی (٪)	سرعت جوانه‌زنی (روز/عدد)	طول ریشه‌چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	شاخص بنیه بذر	طول دانه‌رست (mm)
۱۵	اردستانی	۹۶/۶۷a	۱۳/۱۱ab	۳۱/۲۴b	۳۳/۳۹c	۶۲/۵۰b	۶۴/۶۳b
۱۵	اصفهانی	۹۲/۲۲b	۱۳/۹۹a	۳۴/۵۰a	۴۶/۱۵a	۷۴/۲۹a	۸۰/۶۵a
۱۵	هندی	۹۵/۵۶ab	۱۲/۸۴ab	۲۵/۲۸c	۳۸/۷۹b	۶۱/۲۱b	۶۴/۰۸bc
۱۵	مشهدی	۹۴/۴۴ab	۱۴/۰۸a	۲۱/۴۴d	۳۲/۸۶c	۵۱/۲۶d	۵۴/۳۱d
۱۵	نی‌ریزی	۹۳/۳۳ab	۱۱/۶۸b	۲۰/۳۸d	۳۹/۶۷b	۵۶/۰۴c	۶۰/۰۴c
۱۸	اردستانی	۹۶/۶۷a	۱۰/۲۹a	۲۲/۹۹b	۲۵/۳۴c	۴۶/۶۷b	۴۸/۳۳b
۱۸	اصفهانی	۹۰/۰۰b	۱۱/۱۹a	۲۶/۸۹a	۳۳/۸۳a	۵۴/۶۵a	۶۰/۷۲a
۱۸	هندی	۹۵/۵۶ab	۹/۴۶a	۱۷/۶۳c	۲۸/۱۵bc	۴۳/۷۷bc	۴۵/۷۷b
۱۸	مشهدی	۹۱/۱۱b	۹/۴۶a	۱۸/۵۱c	۲۶/۷۸c	۴۱/۲۸c	۴۵/۲۹b
۱۸	نی‌ریزی	۹۳/۳۳ab	۹/۷۸a	۱۸/۵۴c	۳۰/۹۷ab	۴۶/۲۱b	۴۹/۵۱b
۲۱	اردستانی	۹۰/۰۰a	۶/۱۲a	۱۲/۷۳c	۱۷/۲۹c	۲۷/۰۴c	۳۰/۰۲c
۲۱	اصفهانی	۹۰/۰۰a	۸/۲۲a	۱۹/۸۵a	۲۴/۴۶a	۳۹/۸۸a	۴۴/۳۱a
۲۱	هندی	۹۴/۴۴a	۶/۴۳a	۱۲/۴۳c	۲۲/۶۳ab	۳۳/۱۲b	۳۵/۰۶b
۲۱	مشهدی	۹۰/۰۰a	۶/۶۴a	۱۵/۸۹b	۱۷/۷۹c	۳۰/۳۱bc	۳۳/۶۸bc
۲۱	نی‌ریزی	۸۸/۸۹a	۶/۷۰a	۱۳/۷۶bc	۲۰/۷۵b	۳۰/۶۵bc	۳۴/۵۱bc
۲۴	اردستانی	۷۰/۰۰b	۳/۴۹a	۸/۹۲b	۱۳/۲۱b	۱۵/۴۹bc	۲۲/۱۳b
۲۴	اصفهانی	۶۷/۷۸b	۴/۱۱a	۱۲/۸۰a	۱۷/۶۷a	۲۰/۷۳a	۳۰/۴۷a
۲۴	هندی	۸۴/۴۴a	۴/۴۲a	۹/۰۰b	۱۳/۸۶b	۱۹/۳۸ab	۲۲/۸۶b
۲۴	مشهدی	۵۳/۳۳c	۲/۵۶a	۱۰/۰۳ab	۱۴/۳۳b	۱۳/۱۲c	۲۴/۳۶b
۲۴	نی‌ریزی	۷۰/۰۰b	۳/۹۴a	۸/۱۳b	۱۳/۴۹b	۱۵/۲۴bc	۲۱/۶۲b
۲۷	اردستانی	۱۶/۶۷ab	۰/۷۲a	۵/۰۰a	۸/۷۲b	۲/۵۱a	۱۳/۷۲a
۲۷	اصفهانی	۲۷/۷۸a	۱/۲۰a	۵/۱۹a	۱۱/۸۶a	۴/۷۵a	۱۷/۰۶a
۲۷	هندی	۱۱/۱۱b	۰/۴۶a	۱/۳۳b	۳/۸۹c	۰/۸۷a	۵/۲۲b
۲۷	مشهدی	۱۶/۶۷ab	۰/۶۴a	۴/۳۱ab	۱۰/۰۸ab	۲/۴۵a	۱۴/۳۹a
۲۷	نی‌ریزی	۲۲/۲۲ab	۱/۰۹a	۴/۶۴a	۱۱/۳۸ab	۳/۶۱a	۱۶/۰۲a

†: مقایسات میانگین برای صفات مختلف در هر سطح شوری بطور جداگانه انجام شده است.

همچنین، فرهادی و عزیزی (۷)، گزارش کردند که در شنبلیله اعمال شوری ۱۸۰mM NaCl (تقریبا معادل ۱۸ dS/m) جوانه‌زنی بذور را بمیزان ۱۱/۸درصد کاهش داد. به علاوه، عبدالمومن و مصباح الادریسی (۱۰)، اثرات شوری روی جوانه‌زنی بذر در شنبلیله را بررسی و نشان دادند که جوانه‌زنی بذرها تا شوری ۱۴۰mM NaCl (تقریبا ۱۴ dS/m) تحت تاثیر قرار نگرفت، لیکن اعمال سطوح بالاتر شوری موجب کاهش معنی‌دار میزان جوانه‌زنی گردید. قربان‌پور و همکاران (۱۲) نیز گزارش کردند که در شنبلیله اعمال تنش شوری ۳- بار ناشی از NaCl (تقریبا معادل ۸/۳ dS/m) باعث کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی گردید که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. علاوه بر این، بر اساس نتایج حاضر سرعت جوانه‌زنی بذور با اعمال تنش شوری به تدریج کاهش پیدا کرد. این کاهش برای توده‌های اردستانی و نی‌ریزی تا سطح ۳ dS/m و برای توده‌های اصفهانی، هندی و مشهدی تا سطح ۶ dS/m معنی‌دار نبود. اعمال سطوح بالاتر شوری کاهش بیشتری در سرعت جوانه‌زنی ایجاد کرد، لیکن روند این کاهش بسته به سطح شوری در توده‌های مختلف، متفاوت بود. دادخواه (۳) در بررسی واکنش جوانه‌زنی چندین گیاه دارویی از جمله شنبلیله گزارش کرد که سرعت جوانه‌زنی به شدت تحت تاثیر پتانسیل منفی محیط جوانه‌زنی قرار گرفت به‌گونه‌ای که در پتانسیل‌های ۰/۵۹- و ۰/۸۱MPa- (تقریبا معادل ۱۶ و ۲۲/۵ dS/m) سرعت جوانه‌زنی کاهش بیشتری پیدا کرد. شرما و ویمالا (۱۸) در بررسی اثرات نمک روی جوانه‌زنی بذور شنبلیله نشان دادند که همراه با افزایش غلظت نمک، کاهش تدریجی در سرعت و شاخص جوانه‌زنی مشاهده گردید. این مشاهدات با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. گفته می‌شود جوانه‌زنی مهمترین مرحله رشدی گیاه است و تنش شوری می‌تواند مقدار و سرعت آن را محدود سازد. عقیده بر این است که اثرات مضر نمک روی جوانه‌زنی بذر ناشی از اثرات سمی تجمع برخی یون‌ها باشد که در غلظت‌های بالا موجب کاهش پتانسیل آب در محیط، کاهش جذب آب توسط بذرهای در حال جوانه‌زنی و نهایتا کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود. برخی محققین معتقدند که اثر محدودکننده شوری روی جوانه‌زنی ناشی از جزء اسمزی املاح محلول است، در حالی که برخی دیگر بر این باورند که اثرات سمیت نمک نقش اصلی را در کاهش جوانه‌زنی بذرها بر عهده دارد (۱۸). معلوم شده است که غلظت‌های بالای نمک هموئستازی اسمزی و یونی را برهم زده و موجب کاهش قابلیت دسترسی به آب برای بذر و کاهش جوانه‌زنی و به تاخیر انداختن آن می‌گردند (۲۲).

نتایج بررسی اثرات سطوح مختلف شوری روی طول دانه‌رست‌های شنبلیله نشان داد که سطوح پایین شوری اثر تحریکی و سطوح بالای آن اثر بازدارندگی داشتند. اگرچه سطح تحریکی نمک روی طول دانه‌رست‌ها بسته به نوع توده متغیر بود، اما در مجموع اعمال شوری در سطوح پایین ۳، ۶ و ۹ dS/m موجب افزایش طول دانه‌رست بترتیب بمیزان ۱۸/۹۰، ۱۷/۹۶ و ۷/۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. افزایش شوری در سطوح بالاتر تاثیر بازدارندگی بر روی طول دانه‌رست نشان داد. روند مشابهی از تاثیر شوری بر روی طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر مشاهده شد، بطوریکه دانه‌رست‌های تیمار شده با سطوح پایین شوری (۳ و ۶ dS/m) بدون داشتن اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر، دارای طول بیشتر و شاخص بنیه بذر بالاتری نسبت به دانه‌رست‌های حاصل از سایر تیمارها بودند. گزارش شده است که تنش شوری از طریق تغییر سطوح هورمون‌های گیاهی رشد گیاه را کاهش می‌دهد. رشد طولی ریشه و اندام هوایی از جمله مهمترین شاخص‌هایی است که تحت تاثیر نمک قرار می‌گیرند (۱۸). تنش شوری با ایجاد محدودیت در جذب آب و نیز سمیت یونی بر فرایندهای متابولیکی و رشد گیاه تاثیر

می‌گذارد (۶). پاسخ گیاهان به تنش شوری متفاوت بوده و به میزان سمیت یونی، تغییرات پتانسیل اسمزی، مدت زمان تنش و نوع گونه گیاهی بستگی دارد. خسارت ناشی از تنش شوری در گیاهان حاصل از تنش اسمزی بوده و منجر به کاهش میزان آب سلول، سمیت یونی و اختلال در جذب عناصر غذایی می‌شود (۱). گفته می‌شود رشد سلول‌ها و طویل‌شدگی آنها قبل از هر چیز ارتباط تنگاتنگی با فشار تورگر دارد و این فشار در اثر شوری کاهش می‌یابد. کاهش تورگر سلول ناشی از اثرات اسمزی نمک بوده که جذب آب به داخل سلول‌های گیاهی را مختل ساخته و متعاقب آن به کاهش رشد منجر می‌شود. به اعتقاد محققین، کاهش فشار تورگر مهمترین عامل کاهش رشد گیاهان تحت شرایط شور بشمار می‌رود. کاهش فشار تورگر روی تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها در گیاهان حساس به شوری اثر گذاشته و در نتیجه رشد سلول ممانعت می‌شود. معذلک، اثر شوری روی کاهش فشار تورگر سلول نمی‌تواند عامل کاهش رشد در دراز مدت تلقی گردد. معمولا سرعت طویل شدن سلول توسط پارامترهایی از قبیل قابلیت اتساع دیواره و فشار تورگر کنترل می‌گردد (۲۵). صرف نظر از اثرات اسمزی، نمک اثرات سمیت نیز بر روی سلول‌های گیاهی دارد. در حقیقت، کاهش رشد گیاهان در محیط‌های شور یک پاسخ دو مرحله‌ای است. در مرحلهٔ اول، رشد گیاه به علت پایین بودن پتانسیل آب کاهش می‌یابد و در واقع یک اثر اسنزی یا تنش آبی است. به دنبال آن در مرحلهٔ دوم آسیب واقعی نمک اتفاق می‌افتد. در این مرحله، نمک جذب شده نمی‌تواند در بخش‌های مختلف توزیع شود و بنابراین، در تا سر حد مرگ در داخل سلول انباشته می‌گردد (۱۶). بسیاری از گزارشات نشان می‌دهند که رشد داته‌رست‌ها در شنبلیله در اثر اعمال شوری کاهش می‌یابد. این کاهش تا سطح ۶۰mM NaCl (تقریبا معادل ۶ dS/m) معنی‌دار نبوده ولی اعمال سطوح بالاتر شوری موجب کاهش بیشتر آن می‌گردد (۱۹، ۶). درحالی که نتایج تحقیق حاضر در اعمال سطوح بالای شوری (بالاتر از سطح شوری ۹ dS/m) بر رشد دانه‌رست‌های شنبلیله با نتایج سایر محققان حمایت می‌شود، معذالک، با نتایج اعمال سطوح پایین شوری که بیانگر اثر تحریکی نمک در سطوح پایین شوری است در تضاد می‌باشد. اگرچه که منابع متعددی به اثر تحریکی نمک در سطوح پایین شوری اشاره دارند، لیکن، این اثر اساسا مربوط به گیاهان شورپسندی است که ذاتا به شوری متحمل بوده و مکانیسم‌های فیزیولوژیک موثر برای رشد و بقا در شرایط شور را دارا هستند (۱۳). در این تحقیق، علت اثر تحریکی نمک در شوری‌های پایین (۳ dS/m) در مقایسه با تیمار شاهد، به خالص بودن آب مورد استفاده در تیمار شاهد بر می‌گردد. هدایت الکتریکی آب مورد استفاده در تیمار شاهد برابر ۲ µS/cm بود که تقریبا عاری از املاح است. در مقابل، آب شور مورد استفاده در سایر تیمارها مخلوطی از املاح مختلف است که برخی از آنها نظیر Ca^{2+}، Mg^{2+} و K^{+} جزء عناصر ضروری رشد گیاه می‌باشند. در شوری‌های پایین عامل محدودکننده رشد، کمبود عناصر ضروری لازم برای رشد دانه‌رست می‌باشد، در حالی که در شوری‌های بالا عامل محدودکننده، تنش شوری بوده که با ایجات اثرات اسمزی و سمیت یونی رشد دانه‌رست را مختل می‌سازد. در تایید نتایج تحقیق حاضر در خصوص اثر تحریکی سطوح پایین شوری، رومانی و احتشامی (۴)، گزارش کردند که در شنبلیله اعمال تنش شوری ۰/۲MPa- (تقریبا معادل ۵/۶ dS/m)، رشد دانه‌رست‌ها را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. این در حالی است که اعمال سطوح بالاتر شوری موجب کاهش رشد دانه‌رست‌های شنبلیله گردید. زهیر احمد و اجمل خان (۲۶)، به افزایش رشد و وزن تر گیاهان جنس شعران، ترتیزک و اسپند در سطوح پایین شوری اشاره کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نتایج برازش مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی تحمل به شوری توده‌های مختلف شنبلیله نشان داد که تحمل به شوری شنبلیه بین توده‌های مختلف متفاوت بود. بر اساس

مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۴)، متوسط حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله بدون توجه به توده dS/m ۲۱/۸۳ با شیب کاهش ۱۷/۰۹درصد بدست آمد. در حالی که بیشترین حد آستانه تحمل به شوری از توده هندی (dS/m ۲۴/۲۳) و کمترین آن از توده مشهدی (dS/m ۲۰/۱۸) حاصل گردید، بیشترین مقدار شیب کاهش درصد جوانه‌زنی نیز از توده هندی (۲۹/۱۷ درصد) بدست آمد و توده اصفهانی علیرغم اینکه حد آستانه تحمل به شوری پایین‌تری (dS/m ۲۰/۳۲) دارا بود، کمترین مقدار شیب کاهش (۱۰/۳۷ درصد) را از آن خود کرد. پایین بودن شیب کاهش مزیت مهمی است و سبب می‌شود در مواجهه با شوری‌های بالاتر از حد آستانه، کاهش رشد با آهنگ به مراتب خفیف‌تری دنبال گردد. این امر موجب می‌شود کاهش ۵۰ درصد عملکرد برای توده‌هایی که شیب کاهشی ملایم‌تری دارند در سطوح شوری‌های بالاتر اتفاق افتد. در تایید این موضوع، برازش نتایج مدل‌های غیر خطی نیز نشان داد که بیشترین شوری که در آن بذور به مقدار ۵۰ درصد جوانه می‌زنند (EC_{50}) از توده اصفهانی (۲۵/۸۱ dS/m) حاصل گردید. این نتیجه‌گیری با نتایج اندازه‌گیری طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر که در آن بیشترین مقدار طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر نیز از توده اصفهانی حاصل گردید مطابقت دارد.

در این تحقیق، شاخص تحمل به تنش برای توده‌های مختلف شنبلیله محاسبه گردید. بیشترین مقدار شاخص تحمل به شوری متعلق به توده هندی و پس از آن توده‌های نی‌ریزی و اصفهانی بود. کمترین مقدار شاخص تحمل به شوری از توده مشهدی (۲۵/۹۵) حاصل گردید. شاخص تحمل به شوری برای توده اردستانی ۲۶/۵ بدست آمد. بنابراین، توده‌های شنبلیله هندی، نی‌ریزی و اصفهانی متحمل‌ترین توده‌ها به شوری بودند. از نظر شاخص تحمل به شوری (ST-index)، توده اصفهانی همراه با توده‌های هندی و نی‌ریزی با اختلاف اندک جزء توده‌های برتر متحمل به شوری بودند.

نتایج این تحقیق نشان داد که شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی به تنش شوری متحمل است بطوری که بذرهای شنبلیله می‌توانند تا شوری dS/m ۲۱/۸۳ بدون هیچگونه کاهش قابل توجهی در درصدجوانه‌زنی، جوانه بزنند. اگرچه براساس نتایج این تحقیق بیشترین حد آستانه تحمل به شوری (dS/m ۲۴/۲۳) از توده هندی حاصل گردید، لیکن، با در نظر گرفتن سایر صفات به ویژه شاخص بنیه بذر و طول دانه‌رست از طرفی و شاخص تحمل به شوری (ST-index) توده‌های مختلف از طرف دیگر، می‌توان توده اصفهانی را به عنوان متحمل‌ترین توده به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی برای کاشت در عرصه‌های شور بمنظور بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور پیشنهاد کرد. اما، با توجه به اینکه تحمل به شوری گیاهان در مراحل مختلف رشد ممکن است متفاوت باشد، ضرورت دارد قبل از انتقال نتایج به سطح مزرعه، آزمایشات تکمیلی بیشتر، برای بررسی تحمل به شوری آن در مراحل بعد از جوانه‌زنی انجام گیرد.

منابع

۱- امیری، ح. و قاسمی رمضان آباد، ز.، ۱۳۹۷. بررسی اثر تنش شوری بر ترکیب‌های شیمیایی اسانس گیاه مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad). پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). جلد ۳۱. شماره ۲. ۵۱۵-۵۰۵

۲- حسن زاده، ا.، رضازاده، ش.، ع.، شمسا، س.، ف.، دولت آبادی، ر. و زرین قلم، ر.، ۱۳۸۹. مروری بر خواص درمانی و فیتوشیمیایی شنبلیله (Fenugreek). فصلنامه گیاهان دارویی. سال نهم. دوره دوم. شماره ۳۴. ۱۳-۱.

۳- دادخواه، ع.، ر.، ۱۳۸۹. مطالعه اثر تنش شوری و نوع نمک بر جوانه زنی و رشد گیاهچه چهار گیاه دارویی شنبلیله، کنجد، شاهدانه و زنیان. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۲۶. شماره ۳. ۳۶۹-۳۵۸.

۴- رومانی، ا. و احتشامی، س. م. ر.، ۱۳۹۳. اثر سطوح مختلف تنش شوری بر جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*). پژوهش های بذر ایران. سال اول. شماره ۱. ۴۵-۳۳.

۵- زرگری، ع.، ۱۳۷۱. گیاهان دارویی. جلد اول. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران. ۹۴۶ صفحه.

۶- عزیزی، ف.، امیری، ح. و اسماعیلی، ا.، ۱۳۹۸. اثر ملاتونین بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی لوبیا رقم صدری (*Phaseolus vulgaris* cv. Sadri) تحت تنش شوری. پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). جلد ۳۲. شماره ۳. ۷۱۱-۶۹۸.

۷- فرهادی،ح. و عزیزی، م ، ۱۳۹۵. اثر پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی چهار توده بومی شنبلیله در شرایط تنش شوری (*Trigonella foenum-graecum* L.). پژوهش های تولید گیاهی. جلد بیست و سوم، شماره ۳. ۱۹-۱.

۸- مهرآفرین، ع.، قوامی، ن.، نقدی بادی، ح. ع. و قادری، ا.، ۱۳۹۰. آلکالوئید تریگونلین، یک متابولیت دارویی ارزشمند گیاهی. فصلنامه گیاهان دارویی. سال ۱۱. دوره اول. شماره ۸. ۲۹-۱۲.

۹- یادگاری، م. و برزگر، ر.، ۱۳۸۹. بررسی میزان و سرعت جوانه زنی دوازده گیاه دارویی تحت تیمارهای شوری. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

10- Abdelmoumen, H. and Missbah El Idrissi, M., 2009. Germination, growth and nodulation of *Trigonella foenum graecum* (Fenu Greek) under salt stress. African Journal of Biotechnology. 8 (11): 2489-2496.

11- Chowdhury, M.M.U., Bhowal, S.K., Farhad, I.S.M., Choudhury, A.K. and Khan, A.S.M.M.R., 2014. Productivity of Fenugreek Varieties (*Trigonella foenum-graecum* L.) in the Coastal Saline Areas of Noakhali. The Agriculturists Journal. 12(2): 18-23.

12- Ghorbanpour, A., Mami, Y., Ashournezhad, M., Abri, F. and Amani, M., 2011. Effect of salinity and drought stress on germination of fenugreek. African Journal of Agricultural Research. 6(24): 5529-5532.

13- Hagemeyer, J.,1997 .Salt. In: Prasad, M. N. V. Plant Ecophysiology. Wiley and Sons, Inc. New York. 173-206.

14- Maas, E.V. and Hoffman G.L., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of Irrigation and Drainage. Div. ASCE. 103: 115-134.

15- Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji, K.K. Agricultural salinity assessment and management. ASCE Publication. 619 PP.

16- Munns, R., 1993. Physiological Processes limiting plant growth in saline soils. Some dogmas hypotheses. Journal of Plant Cell and Environment. 16: 24-45.

17- Petropoulos, G.A. 2002. Fenugreek, the genus Trigonella. London and New York. 214 pages.

18- Sharma, Sh. And Vimala, Y. 2016. Effect of Salt Stress on Germination and Growth of *T. foenum graecum* Seedlings. International Journal of Advanced Research. 4 (3): 40-45.

19- Sindhu, S.N., Prathika G., Sindhuja U., Akshaya, S. and Abhilasha, V.G. 2017. Evaluation of abiotic stress induced physiological and biochemical changes in *Trigonella Foenum-Graecum*. IOSR Journal of Biotechnology and Biochemistry. 3 (1): 89-97.

20- Steppuhn, H., Van Genuchten, M.Th. and Grieve, C.M., 2005a. Root-zone salinity: I: selecting and product-yield index and response functions for crop tolerance. Crop Science, 45: 209-220.

21- Steppuhn, H., Van Genuchten, M.Th. and Grieve, C.M., 2005b. Root-zone salinity: II: Indices for tolerance in agricultural crops. Crop Science, 45: 221-232.

22- Tester M and R Davenport, 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annual Journal of Botany, 91: 503–550.

23- Tsay, H.-S., Shyur, L.-F., Agrawal, D.C., Wu, Y.-C. and Wang, S.-Y., 2016. Medicinal plants - recent advances in research and development. Springer. Taiwan. 504 pages.

24- Van Genuchten, M.Th. and Hoffman, G.J., 1984. Analyzing crop salt tolerance data. P: 285-271, In: Shainberg, I. and Shalhevet, J. (eds.), Soil salinity under irrigation- process and management, Springer-Verlag, NewYork, NY.

25- Volkmar, K. M., Hu, Y. & Steppuhn, H., 1997. Physiological responses of plants to salinity: A review. Canadian Journal of Plant Science, 78: 19-27.

26- Zaheer Ahmed, M., and Ajmal Khan, M., 2010. Tolerance and recovery responses of playa

halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. Journal of Flora, 205(11): 764-771.

27- Zahir, M. and Hussain, F., 2011. Effect of NaCl salinity on the germination and seedling growth of some medicinal plants. Pakistan Journal of Botany. 42(2): 889-897.

Determination of salt tolerance threshold of different fenugreek (*Trigonella Foenum-graecum* L.) ecotypes at germination stage using experimental models

Banakar M.H.[1], Amiri H.[2*], Ranjbar G.H.[3] and Sarafraz Ardakani, M.R.[4]

[1] Dept. of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan Uiversity, Khorramabad, Iran- National Salinity Research Center, Research, Education and Extension Organization, Yazd, I.R. of Iran

[2] Dept. of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan Uiversity, Khorramabad, I.R. of Iran

[3] National Salinity Research Center, Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran

[4] Dept. of Biology, Faculty of Sciences, Yazd Uiversity, Yazd, I.R. of Iran

Abstract

Due to increasing the salinity of soil and water resources, understanding salt tolerant medicinal plants is important for utilizing saline soil and water resources. This research was conducted to investigate the effects of salt stress on seed germination characteristics of fenugreek and evaluate different experimental models for determination of salt tolerance threshold under laboratory conditions. For this purpose, seeds of five different ecotypes, including hendi, Ardestani, Isfahani, Neyrizi and Mashhadi, were placed in sterile petri dishes and then after adding of water with electrical conductivity of control, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 and 27 dS/m were transferred in a germinator. The statistical design was completely randomized in the form of factorial experiment with three replications. Results showed that increasing in salinity up to 6 dS/m had no effect on germination percentage, however, at higher salinity levels, the germination percentage was gradually decreased. Salinity at 24 and 27 dS/m reduced seed germination percentage by 29.8% and 80.81%, respectively. Based to the results, seed germination rate gradually decreased with increasing in salinity stress. This reduction was not significant for Ardestani and Neyrizi up to 3 dS/m and for Isfahani, Hendi and Mashhadi up to 6 dS/m. Results of the effects of different salinity levels on fenugreek seedling length showed that low salinity levels (3, 6 and 9 dS/m) increased seedling length (18.90, 17.96 and 7.16%, respectively) whereas their high levels had an inhibitory effect. A same trend was observed for the effect of salinity on root length, shoot length and seed vigor index. According to the linear model, regardless the ecotype, the mean salt tolerance threshold of fenugreek was obtained 21.83 dS/m, with a reduction slope of 17.09%. Although Isfahani ecotype had a lower salt tolerance threshold (20.32 dS/m), it had the lowest reduction slope (10.37%), as well. Results of nonlinear models also showed that the highest salinity in which seeds were germinated by 50% (25.81 dS/m), was obtained from Isfahani ecotype. Therefore, based on these results and the salt tolerance index (ST-index), Isfahani ecotype can be introduced as the most tolerant one to salinity stress.

Key words: haloculture, growth, legumes, seedling, sigmoid model