پژوهش‌های بذر ایران/ سال هشتم/ شماره دوم/ ۱۴۰۰/ صفحات: ۶۷-۵۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی و تعیین حد آستانه تحمل به شوری برخی توده‌های شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در مرحله سبز شدن گیاهچه

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

چکیده مبسوط

مقدمه: شنبلیله، یکی از گیاهان دارویی است که به عنوان یک گیاه متحمل به شوری مورد توجه بوده است. این تحقیق، به منظور بررسی اثرات تنش شوری بر ویژگی‌های سبز شدن گیاهچه و تعیین حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش سبز شدن و شاخص تحمل به شوری برخی توده‌های شنبلیله انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: بذرهای پنج توده (اردستانی، اصفهانی، هندی، مشهدی و نی‌ریزی) در هفت سطح شوری (۰/۵، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ dS/m) بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار قرار گرفتند. در این تحقیق، از مدل‌های تجربی (خطی، سیگموئیدی، نمایی و چند جزئی) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش شوری، درصد و سرعت سبز شدن گیاهچه کاهش یافت. در توده‌های اردستانی و اصفهانی، افزایش شوری تا ۳dS/m تاثیری بر درصد سبز شدن گیاهچه نداشت و پس از آن کاهش معنی‌داری پیدا کرد. بیشترین درصد سبز شدن (۹۴/۶۲ درصد) از توده هندی در تیمار شاهد بدست آمد. توده هندی در ۱۸ dS/m نیز بیشترین درصد سبز شدن (۲۵/۸۱ درصد) را داشت. اگرچه بیشترین سرعت سبز شدن گیاهچه (۵/۹۳ عدد در روز) متعلق به توده مشهدی در تیمار شاهد بود، اما تفاوت معنی‌داری با توده‌های هندی، نی‌ریزی و اصفهانی نشان نداد. در توده‌های اردستانی، مشهدی و نی‌ریزی، با افزایش شوری طول گیاهچه به طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی این کاهش در توده اصفهانی بین سطوح شوری ۳ و ۶ dS/m و نیز ۱۲ و ۱۵ dS/m معنی‌دار نبود. در توده هندی، طول گیاهچه در ۳ dS/m با شاهد مشابه بود، ولی شوری‌های بالاتر موجب کاهش معنی‌دار آن گردید. بیشترین شاخص بنیه گیاهچه (۲۰/۴۴) متعلق به توده‌های مشهدی و نی‌ریزی در تیمار شاهد بود و توده اردستانی در ۱۸ dS/m کمترین مقدار (۰/۳۹) را دارا بود. نتایج نشان داد که وزن خشک گیاهچه ابتدا تا سطح شوری ۳ dS/m بدون تغییر بود و سپس با افزایش شوری به تدریج کاهش یافت. در توده‌های هندی و نی‌ریزی، شوری‌های بالاتر از ۶dS/m، وزن خشک گیاهچه را به تدریج کاهش دادند. حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله برای توده‌های اردستانی، اصفهانی، هندی، مشهدی و نی‌ریزی به ترتیب، ۴/۶۹، ۴/۹۰، ۷/۸۳، ۱/۶۹ و ۱/۵۷ dS/m بدست آمد. به این ترتیب، بیشترین حد آستانه تحمل به شوری (۷/۸۳ dS/m) و شیب کاهش درصد سبز شدن (۷/۵۵ درصد) از توده هندی و کمترین مقدار آن از توده نی‌ریزی (به ترتیب ۱/۵۷ dS/m و ۴/۶۳ درصد) حاصل گردید. نتایج مدل‌های غیرخطی نشان داد که بیشترین شوری که در آن گیاهچه‌ها به مقدار ۵۰ درصد جوانه زدند (۱۴/۲۴ dS/m) از توده هندی حاصل گردید.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج، مقایسه شاخص تحمل به شوری توده‌های شنبلیله و نیز ارزیابی مدل‌های تجربی نشان داد که توده هندی در مرحله سبز شدن می‌تواند به عنوان متحمل‌ترین توده به شوری برای بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: بقولات، گیاهچه، مدل خطی، مدل سیگموئیدی

جنبه‌های نوآوری:

۱- مقایسه توده‌های مختلف شنبلیله از نظر تحمل به شوری در مرحله سبز شدن گیاهچه، با استفاده از برخی مدل‌های تجربی انجام شد.

۲- حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش سبز شدن و نیز شاخص تحمل به شوری برای برخی توده‌های شنبلیله ارائه شد.

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

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

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

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

[*] رایانانه نویسنده مسؤل: amiri.h@lu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1400.8.2.6.2

DOI: 10.52547/yujs.8.2.51

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۷)

مقدمه

شنبلیله[1] 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 (حسن‌زاده[2] و همکاران، ۲۰۱۰). شنبلیله دارای آلکالوئیدی بنام تریگونلین است (زرگری[3]، ۱۹۹۲؛ پتروپولس[4]، ۲۰۰۲). تریگونلین خواص دارویی مهمی نظیر ضد سرطان، ضد میگرن، ضدعفونی‌کنندگی، پایین آورنده چربی خون و ضد دیابت را دارا می‌باشد. پزشکان ایرانی و عرب از زمان‌های قدیم از دانه شنبلیله برای مداوای بیماری قند استفاده زیاد بعمل می‌آوردند (مهرآفرین[5] و همکاران، ۲۰۱۱؛ تسی[6] و همکاران، ۲۰۱۶).

شنبلیله از جمله گیاهان مفید دارویی است که از نظر تحمل به تنش شوری مورد توجه بوده است. اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه اثرات تنش شوری روی شنبلیله، اغلب در مرحله جوانه‌زنی و یا مراحل اولیه رشد رویشی بوده و تعداد اندکی از آنها رشد زایشی و عملکرد گیاه را در بر گرفته‌اند. این در حالی است که مرحله سبز شدن که به دنبال مرحله جوانه‌زنی رخ داده و به خروج گیاهچه از خاک منجر می‌گردد، در مطالعات تنش شوری کمتر مورد توجه واقع شده است. دادخواه[7] (۲۰۱۰)، تأثیر تنش اسمزی (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- تأثیر زیادی بر درصد جوانه‌زنی بذر شنبلیله نداشت. یادگاری و برزگر[8] (۲۰۱۰) در بررسی اثر شوری بر جوانه‌زنی چندین گیاه دارویی نشان دادند که شنبلیله بیشترین تحمل را به شوری داشت. در آزمایشی اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه شنبلیله بررسی و نشان داده شد که افزایش شوری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه و طول گیاهچه گردید (رومانی و احتشامی[9]، ۲۰۰۴). زهیر و حسین[10] (۲۰۱۱)، کاهش جوانه‌زنی را در شنبلیله به ۶۲ درصد در شوری ۱۵dS/m گزارش کردند. شرما و ویمالا[11] (۲۰۱۶)، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها را در شنبلیله تحت تنش شوری مطالعه کرده و نشان دادند که تمام بذرها تا شوری ۱۰۰mM NaCl جوانه زده، اما در شوری‌های بالاتر میزان جوانه‌زنی به شدت کاهش یافت، بطوریکه در شوری ۲۰۰mM جوانه‌زنی ۶۰ درصد کاهش پیدا کرد. همچنین، تنش شوری موجب کاهش رشد گیاهچه‌ها و تأخیر جوانه‌زنی گردید. چودهوری[12] و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در مرحله جوانه‌زنی هنگامی که شوری خاک از ۴dS/m بالاتر رفت میزان تلفات گیاهچه‌های شنبلیله به مقدار زیادی کاهش یافت. عبدالمومن و مصباح الادریسی[13] (۲۰۰۹)، اثرات شوری را روی جوانه‌زنی بذر در شنبلیله بررسی کرده و نشان دادند که جوانه‌زنی بذرها تا شوری ۱۴۰mM NaCl تحت تأثیر قرار نگرفته، اما 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[14] (۱۹۷۷) و والندر و تانجی[15] (۲۰۱۱) هنگامی که شوری بین صفر و حد آستانه باشد، عملکرد نسبی برابر ۱۰۰ درصد بوده و هیچگونه کاهش عملکردی دیده نمی‌شود. اما، در شوری‌های بالاتر از حد آستانه عملکرد نسبی با شیب ثابتی به صورت خطی شروع به کاهش می‌کند (رابطه ۱):

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

در این رابطه، Y عملکرد نسبی، EC متوسط شوری عصاره اشباع خاک، l شیب کاهش عملکرد و a_0 حد آستانه تحمل به شوری می‌باشد.

[1] *Trigonella foenum-graecum* L.
[2] Hassanzadeh
[3] Zargari
[4] Petropoulos
[5] Mehrafarin
[6] Tsay
[7] Dadkhah
[8] Yadegari and Barzegar
[9] Roumani and Ehteshami
[10] Zahir and Hussain
[11] Sharma and Vimala
[12] Chowdhury
[13] Abdelmoumen and Missbah El Idrissi
[14] Maas and Hoffman
[15] Wallender and Tanji

وانگنوختن و هافمن[1] (۱۹۸۴)، مدل غیرخطی واکنش عملکرد گیاهان به شوری را مطرح کرده و نشان دادند که واکنش گیاهان به شوری به صورت سیگموئیدی می‌باشد. بر اساس این مدل، با افزایش هر سطح شوری، میزان عملکرد نسبی از همان ابتدا به صورت غیرخطی شروع به کاهش کرده و در نقطه EC_{50} مقدار آن به ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (رابطه ۲).

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

در این رابطه، Y_m حداکثر عملکرد در شرایط غیرشور، EC_{50} شوری که در آن عملکرد به اندازه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و p یک ثابت تجربی است.

استفان[2] و همکاران (۲۰۰۵a) با رابطه چند جزئی نزولی تغییر یافته رابطه دیگری را به صورت رابطه ۳ ارائه دادند که کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری را باز به صورت غیر خطی یا سیگموئیدی نشان می‌دهد. در این رابطه، s، شیب معادله است که از تغییرات عملکرد نسبی نسبت به تغییرات شوری محیط حاصل شده و عبارت نمایی ($s. EC_{50}$) میزان برآمدگی و یا فرورفتگی دو طرف منحنی را نسبت به EC_{50} نشان می‌دهد.

$$Y = 1 / [(1+ (EC / EC_{50})^{(s. EC_{50})} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

عوامل مختلفی عملکرد محصولات زراعی را در تنش شوری تحت تأثیر قرار می‌دهند و لذا داشتن شاخصی برای مقایسه تحمل به شوری گیاهان می‌تواند مفید باشد (استفان و همکاران، ۲۰۰۵a؛ استفان و همکاران، ۲۰۰۵b). بر اساس پارامتر غیرخطی EC_{50} و s، شاخص تحمل به شوری[3] به عنوان معیاری برای مقایسه تحمل به شوری پیشنهاد شده است (رابطه ۴).

$$\text{ST-index} = EC_{50} + s. EC_{50} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

با توجه به اینکه مرحله سبز شدن گیاهچه از نظر داشتن درصد سبز مناسب حائز اهمیت است، این تحقیق با هدف ارزیابی اثرات تنش شوری بر خصوصیات مختلف سبز شدن گیاهچه و ارزیابی مدل‌های مختلف تجربی برای مطالعه واکنش توده‌های مختلف شنبلیله به شوری، تعیین حد آستانه تحمل به شوری و انتخاب متحمل‌ترین توده‌ها در مرحله سبز شدن انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

بذرهای پنج توده شنبلیله شامل هندی، اردستانی، اصفهانی، نی‌ریزی و مشهدی (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان در سال ۱۳۹۷) در گلخانه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری مورد مطالعه قرار گرفتند. بذرها پس از ضدعفونی داخل گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد ۱۲×۱۵ سانتی‌متر در عمق ۱/۵ سانتی‌متری در محیط شن قرار گرفتند. به منظور انجام آبشویی مؤثر، گلدان‌ها پس از سوراخ شدن ابتدا با شن درشت و سپس با شن ریز پر شدند. تیمار شوری شامل هفت سطح (dS/m **۰/۵**، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸) بود که از طریق مخلوط کردن آب شرب (با هدایت الکتریکی ۰/۳۷۵ dS/cm) و آب بسیار شور طبیعی (با هدایت الکتریکی حدود ۵۰۰dS/m) حاصل گردید (جدول ۱). عملیات آبیاری گلدان‌ها روزانه با در نظر گرفتن ۳۰ درصد کسر آبشویی برای شستشوی املاح و جلوگیری از تجمع آنها در منطقه ریشه انجام گرفت.

در طول دوره سه هفته‌ای، تعداد گیاهچه‌ها سبز شده بطور روزانه در ساعت ۱۳ شمارش شدند. در این تحقیق شاخص بنیه گیاهچه از حاصلضرب تعداد گیاهچه‌های سبز شده در طول گیاهچه محاسبه شد. طرح آماری مورد استفاده به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار بود. صفاتی که در این تحقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت شامل درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، طول ریشه، طول ساقه، شاخص بنیه گیاهچه، وزن خشک و طول گیاهچه بود.

داده‌های درصد سبز شدن با استفاده از رابطه (۵)

$$Arc \sin \sqrt{x} \quad \text{رابطه (۵)}$$

به صورت زاویه‌ای تبدیل شده و سپس مورد تجزیه قرار گرفت. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه شده و مقایسات میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. در این تحقیق، مدل‌های مختلف تجربی (خطی، سیگموئیدی، نمایی و چند جزئی نزولی تغییر یافته) برای ارزیابی واکنش توده‌های شنبلیله به شوری مورد بررسی قرار گرفت و ضمن ارائه حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش سبز شدن به ازای هر واحد افزایش شوری برآورد گردید. همچنین، با محاسبه

[1] Van Genuchten and Hoffman
[2] Steppuhn
[3] ST-index

شاخص تحمل به تنش شوری، توده‌های برتر متحمل به شوری شنبلیله در مرحله سبز شدن مشخص گردیدند.

نتایج

نتایج نشان داد که اثر اصلی شوری و اثر اصلی توده بر تمام صفات مورد اندازه‌گیری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین، برهم‌کنش شوری و توده نیز برای صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

بر اساس مدل خطی بالاترین مقدار حد آستانه (۷/۸۳ dS/m) متعلق به توده هندی و سپس توده‌های اصفهانی و اردستانی (به ترتیب ۴/۹۰ و ۴/۶۹ dS/m) بود. همچنین، پایین‌ترین مقدار حد آستانه تحمل به شوری از توده‌های مشهدی و نی‌ریزی (به ترتیب ۱/۶۹ و ۱/۵۷ dS/m) به‌دست آمد (جدول ۳).

بر اساس معادلات خطی سه قسمتی ارائه شده در جدول ۳، بالاترین شیب کاهش سبز شدن از توده‌های هندی و اصفهانی (به ترتیب ۷/۵۵ و ۷/۲۵ درصد) و پایین‌ترین مقدار شیب (۴/۶۳ درصد) از توده نی‌ریزی حاصل گردید. سایر مدل‌های ارائه شده در جدول ۳، واکنش به شوری توده‌های مختلف شنبلیله به شوری را به صورت غیرخطی پیش‌بینی می‌کنند.

در مدل‌های غیرخطی با افزایش هر سطح شوری میزان سبز شدن به طور تدریجی از همان ابتدا شروع به کاهش یافتن می‌کند (شکل ۱). مقایسه توده‌های مختلف شنبلیله با یکدیگر نشان داد که بر اساس مدل سیگموئیدی، بیشترین شوری که در آن گیاهچه‌ها به مقدار ۵۰ درصد سبز شدند (EC_{50}) از توده هندی (۱۴/۲۴dS/m) بدست آمد. این شوری برای سایر توده‌های مورد مطالعه کمتر و تقریباً ۱۱ dS/m بود (جدول ۳).

جدول ۱. تجزیه شیمیایی آب بسیار شور مورد استفاده (رقیق شده با آب شرب شهری به نسبت ۱ به ۲۰)

Table 1. Chemical analysis of highly saline water (diluted with tap water of 1:20 ratio)

هدایت الکتریکی EC (dS/cm)	pH	Anions آنیون (meq/lit.)				Cations کاتیون (meq/lit.)				نسبت جذب سدیم SAR	شاخص گرفتگی RSC
		CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+		
25	7.94	0	2.77	223.11	19.5	4.05	29.52	211.3	0.51	51.57	-30.8

جدول ۲. تجزیه واریانس برای میانگین مربعات صفات مختلف اندازه‌گیری شده شنبلیله

Table 2. Analysis of variance for mean squar of different measured traits of fenugreek

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی df	درصد سبز شدن Emergence percentage	سرعت سبز شدن Emergence rate	طول ریشه Root length	طول ساقه Stem length	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigour index	وزن گیاهچه Seedling weight	طول گیاهچه Seedling length
شوری Salinity	6	1795.5**	55.03**	252.99**	42.44**	725.31**	1819.60**	500.26**
توده Ecotype	4	123.37**	2.13**	4.24**	5.60**	21.78**	287.33**	19.45**
شوری×توده Salinity×ecotype	24	15.75**	0.449**	1.128**	0.634**	3.533**	71.369**	1.945**
خطا Error	70	5.134	0.066	0.227	0.093	0.518	0.992	0.380
ضریب تغییرات (٪) Coeficient of variation (%)		11.487	8.794	5.474	7.177	7.912	4.923	4.762

**: معنی‌دار در سطح ۱٪ **: significant at the level of 1%

جدول ۳. معادلات برازش داده شده واکنش توده‌های شنبلیله به شوری در مرحله سبز شدن گیاهچه با استفاده از مدل‌های تجربی

Table 3. Fitted equations for responses of fenugreek to salinity at seedling emergence stage using experimental models

توده Ecotype	مدل Model	رابطه مرجع Reference equation	رابطه برازش داده شده Fitted equation
اردستانی Ardestani	سه قسمتی خطی Three-piece linear[I]	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-6.95*(EC-4.69)$, $r^2=0.943$
	سیگموئیدی Sigmoidal[II]	$Y=Y_m/1+(EC/EC_{50})^p$	$Y=Y_m/1+(EC/11.58)^{4.27}$, $r^2=0.983$
	چند جزئی نزولی تغییر یافته Modified multi-component[III]	$Y=Y_m/1+(\frac{EC}{EC_{50}})^{exp(s\times}$	$Y=Y_m/1+(EC/11.58)^{exp1.452}$, $r^2=0.983$
	عامل نمایی دوگانه Duble expontial factor[IV]	$Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*exp[0.0271(EC)-0.00757(EC)^2]$, $r^2=0.978$
اصفهانی Isfahani	سه قسمتی خطی Three-piece linear[I]	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-7.25*(EC-4.90)$, $r^2=0.917$
	سیگموئیدی Sigmoidal[II]	$Y=Y_m/1+(EC/EC_{50})^p$	$Y=Y_m/1+(EC/11.47)^{4.78}$, $r^2=0.972$
	چند جزئی نزولی تغییر یافته Modified multi-component[III]	$Y=Y_m/1+(\frac{EC}{EC_{50}})^{exp(s\times}$	$Y=Y_m/1+(EC/11.47)^{exp1.564}$, $r^2=0.972$
	عامل نمایی دوگانه Duble expontial factor[IV]	$Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*exp[0.0304(EC)-0.00803(EC)^2]$, $r^2=0.955$
هندی Hendi	سه قسمتی خطی Three-piece linear[I]	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-7.55*(EC-7.83)$, $r^2=0.804$
	سیگموئیدی Sigmoidal[II]	$Y=Y_m/1+(EC/EC_{50})^p$	$Y=Y_m/1+(EC/14.24)^{5.29}$, $r^2=0.936$
	چند جزئی نزولی تغییر یافته Modified multi-component[III]	$Y=Y_m/1+(\frac{EC}{EC_{50}})^{exp(s\times}$	$Y=Y_m/1+(EC/14.24)^{exp1.665}$, $r^2=0.936$
	عامل نمایی دوگانه Duble expontial factor[IV]	$Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*exp[0.0240(EC)-0.00505(EC)^2]$, $r^2=0.887$
مشهدی Mashhadi	سه قسمتی خطی Three-piece linear[I]	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-5.13*(EC-1.69)$, $r^2=0.954$
	سیگموئیدی Sigmoidal[II]	$Y=Y_m/1+(EC/EC_{50})^p$	$Y=Y_m/1+(EC/11.07)^{2.57}$, $r^2=0.926$
	چند جزئی نزولی تغییر یافته Modified multi-component[III]	$Y=Y_m/1+(\frac{EC}{EC_{50}})^{exp(s\times}$	$Y=Y_m/1+(EC/11.07)^{exp0.945}$, $r^2=0.926$
	عامل نمایی دوگانه Duble expontial factor[IV]	$Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*exp[-0.009(EC)-0.00455(EC)^2]$, $r^2=0.948$
نی‌ریزی Neyrizi	سه قسمتی خطی Three-piece linear[I]	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-4.63*(EC-1.57)$, $r^2=0.936$
	سیگموئیدی Sigmoidal[II]	$Y=Y_m/1+(EC/EC_{50})^p$	$Y=Y_m/1+(EC/11.71)^{2.16}$, $r^2=0.931$
	چند جزئی نزولی تغییر یافته Modified multi-component[III]	$Y=Y_m/1+(\frac{EC}{EC_{50}})^{exp(s\times}$	$Y=Y_m/1+(EC/11.71)^{exp0.770}$, $r^2=0.931$
	عامل نمایی دوگانه Duble expontial factor[IV]	$Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*exp[-0.017\ (EC)-0.00329(EC)^2]$, $r^2=0.936$

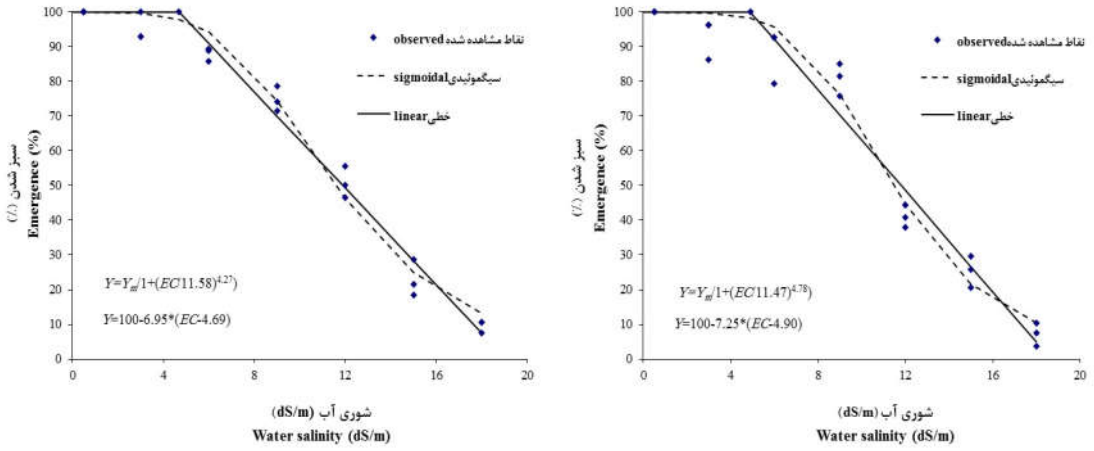
(I: Mass, 1990; II: Van Genuchten and Hoffman, 1984; III: Steppuhn *et al*., 2005; IV: Wang *et al*., 2002)

در این معادلات، Y: عملکرد نسبی، Y_m: حداکثر عملکرد در شرایط غیر شور، a_0 حد آستانه تحمل به شوری، l: شیب کاهش سبز شدن، EC_{50}: حداکثر شوری که در آن عملکرد ۵۰٪ کاهش می‌یابد، p: ثابت تجربی، s: شیب منحنی، a و b: ضرایب ثابت هر معادله می‌باشند.

In these equations, Y: relative yield, Y_m: maximum yield under non-saline conditions, a_0: salt tolerance threshold, I: emergence declivity rate, EC_{50}: maximum salninty at which the yield is decreased by 50 perecent, p: experimental constant, s: slope of the curve, and a an b denote: equation constants.

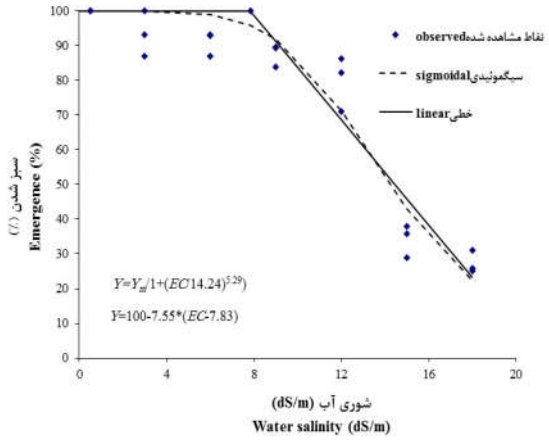
بر اساس مدل سیگموئیدی تغییر یافته (استفان و همکاران، ۲۰۰۵a؛ استفان و همکاران، ۲۰۰۵b)، مقدار EC_{50} توده‌های شنبلیله برابر مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی معمولی (وانگنوختن و هافمن، ۱۹۸۴) بود.

مقایسه مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی با مدل خطی سه قسمتی، نشان داد که مقدار شوری که در آن درصد سبز شدن گیاهچه‌ها به میزان ٪۵۰ کاهش می‌یابد برای تمام توده‌های شنبلیله مورد بررسی مشابه مدل سیگموئیدی بوده و اختلاف اندکی با آن نشان داد (شکل ۱).

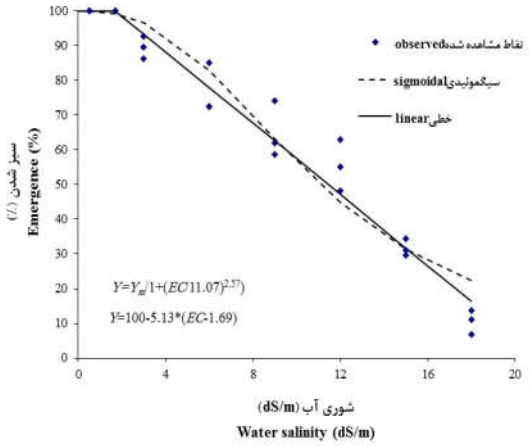


اردستانی
Ardestani

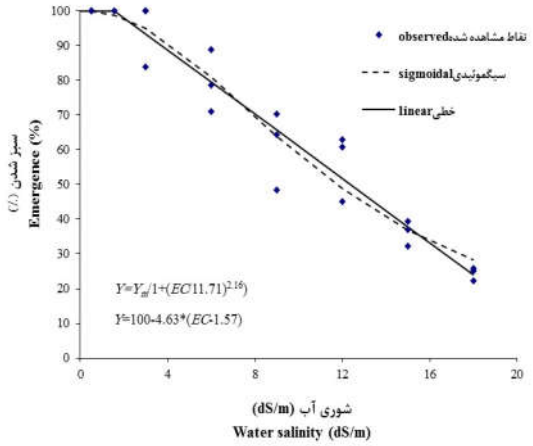
اصفهانی
Isfahani



هندی
Hendi



مشهدی
Mashhadi



نی‌ریزی
Neyrizi

شکل ۱. پاسخ برخی توده‌های شنبلیله به شوری بر اساس مدل خطی و سیگموئیدی در مرحله سبز شدن گیاهچه

Fig. 1. Response of some fenugreek ecotypes to salinity acording to linear and sigmoidal models at seedling emergance stage

در این تحقیق، شاخص تحمل به تنش برای توده‌های مختلف شنبلیله مورد مطالعه، محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۴ درج شده است.

بر اساس داده‌های مندرج در جدول ۴، بیشترین مقدار شاخص تحمل به شوری متعلق به توده هندی (۱۵/۹۰۵) و پس از آن توده‌های اصفهانی (۱۳/۰۳۵) و اردستانی (۱۳/۰۳۲) بود. کمترین مقدار شاخص تحمل به شوری از توده مشهدی (۱۲/۰۱۴) حاصل گردید. شاخص تحمل به شوری برای توده نی‌ریزی معادل ۱۲/۴۹۰ بدست آمد؛ بنابراین، توده‌های شنبلیله هندی، اصفهانی و اردستانی متحمل‌ترین توده‌ها به شوری در مرحله سبز شدن بودند.

جدول ۴. ضرایب رابطه سیگموئیدی و شاخص تحمل به شوری برخی توده‌های شنبلیله

Table 4. Sigmoidal equation coefficients and salt tolerance index of some fenugreek ecotypes

توده Ecotype	EC_{50} (dS/m)	ضریب S S Coefficient	$s*EC_{50}$	P $Exp(s*EC_{50})$	ST-index $EC_{50}+(s*EC_{50})$
اردستانی Ardestani	11.58	0.1254	1.452	4.27	13.032
اصفهانی Isfahani	11.47	0.1364	1.565	4.78	13.035
هندی Hendi	14.24	0.1169	1.665	5.29	15.905
مشهدی Mashhadi	11.07	0.0853	0.944	2.57	12.014
نی‌ریزی Neirizi	11.72	0.0657	0.770	2.16	12.490

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که برهم‌کنش شوری و توده روی صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این بدان معنی است که توده‌های مورد مطالعه در سطوح مختلف شوری رفتار متفاوتی نسبت به یکدیگر داشتند. همچنین، روند تغییرات صفات مورد مطالعه در هر سطح شوری در بین

توده‌های مختلف متفاوت بود. نتایج ارائه شده در جدول ۵، نشان داد بیشترین مقدار درصد سبز شدن (۹۴/۶۲ درصد) از توده هندی در تیمار شاهد بدست آمد. این برتری برای سایر سطوح شوری نیز مشاهده شد، بطوریکه در تمام سطوح شوری مورد مطالعه درصد سبز شدن توده هندی بالاتر از سایر توده‌ها بود.

مقایسه توده‌ها در هر یک از سطوح شوری نشان داد که در شوری ۳ dS/m، همه توده‌های مورد مطالعه درصد سبز شدن مشابهی دارا بودند. در سطوح شوری ۶، ۹ و ۱۲ dS/m، بیشترین درصد سبز شدن متعلق به توده هندی بود که در سطح ۶ dS/m توده‌های اردستانی، اصفهانی و نی‌ریزی و در سطوح ۹ و ۱۲dS/m، توده‌های اردستانی و اصفهانی و نیز توده‌های مشهدی و نی‌ریزی درصد سبز شدن گیاهچه مشابهی را دارا بودند. در شوری ۱۵ dS/m، درصد سبز شدن تنها بین دو توده نی‌ریزی و اردستانی تفاوت معنی‌داری داشت. مقایسه تغییرات درصد سبز شدن توده‌ها در شوری ۱۸ dS/m، نشان داد که بیشترین درصد سبز شدن متعلق به توده‌های هندی (۲۵/۸۱ درصد) و نی‌ریزی (۲۲/۵۸ درصد) بود و در سایر توده‌ها بدون داشتن اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر بطور قابل توجهی پایین‌تر بود (جدول ۵).

در توده‌های اردستانی و اصفهانی، افزایش شوری تا سطح ۳ dS/m تاثیری بر درصد سبز شدن گیاهچه نداشت و پس از آن درصد سبز شدن کاهش معنی‌داری (به ترتیب ۱۲/۱ و ۱۱ درصد) نسبت به شاهد پیدا کرد. این در حالی است که در توده‌های هندی، مشهدی و نی‌ریزی، افزایش شوری تا سطح ۳ dS/m ۳ درصد سبز شدن گیاهچه‌ها را بطور معنی‌داری به ترتیب ۶/۸، ۱۰/۶ و ۵/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد که در توده‌های اردستانی و اصفهانی درصد سبز شدن گیاهچه‌ها در سطوح شوری ۳ و ۶ dS/m مشابه بود. در توده‌های مشهدی و نی‌ریزی درصد سبز شدن گیاهچه‌ها بین سطوح شوری ۳ و ۶dS/m از نظر آماری تفاوت معنی‌داری داشت. با این وجود، در توده هندی درصد سبز شدن گیاهچه‌ها بین سطوح شوری ۳ و ۶ و ۹ dS/m با یکدیگر تفاوتی نشان نداد (جدول ۵).

نتایج نشان داد که این روند متفاوت رفتار توده‌ها در سطوح بالاتر شوری نیز مشاهده شد، بطوری که در توده‌های اصفهانی و هندی، بر خلاف توده‌های اردستانی، مشهدی و نی‌ریزی، بین سطوح شوری ۶ و ۹ dS/m تفاوتی از نظر درصد سبز شدن وجود نداشت. همچنین، درصد سبز شدن در توده‌های هندی و نی‌ریزی بین سطوح شوری ۹ و ۱۲dS/m و نیز بین سطوح ۱۵ و ۱۸ dS/m تفاوت معنی‌داری نداشت. بر اساس نتایج حاصله، کمترین درصد سبز شدن (۶/۴۵ درصد) از توده اصفهانی با اعمال شوری ۱۸ dS/m بدست آمد.

نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که بیشترین سرعت سبز شدن (۵/۹۳ عدد در روز) مربوط به تیمار شاهد و توده مشهدی و کمترین مقدار (۰/۱۶ عدد در روز) از توده اصفهانی با اعمال بالاترین سطح شوری بدست آمد. در توده‌های اردستانی، اصفهانی، هندی و مشهدی، افزایش هر سطح شوری تا ۶ dS/m موجب کاهش معنی‌دار سرعت سبز شدن شد، ولی در توده نی‌ریزی افزایش شوری تا سطح ۳ dS/m نسبت به شاهد غیرمعنی‌دار بود ولی در سطوح بالاتر موجب کاهش معنی‌دار آن گردید.

بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۵، در توده مشهدی با افزایش هر سطح شوری سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها به تدریج کاهش یافت، بطوری که تمام تیمارها از نظر سرعت سبز شدن با یکدیگر تفاوت داشتند. این در حالی است که در توده اصفهانی، سرعت سبز شدن در سطوح ۶ و ۹ dS/m مشابه بود. همچنین، در توده‌های اردستانی و هندی، سرعت سبز شدن بین سطوح ۱۵ و ۱۸ dS/m تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد.

نتایج ارائه شده در جدول ۵ همچنین نشان داد که در تیمار شاهد، سرعت سبز شدن گیاهچه در توده‌های اصفهانی، هندی، مشهدی و نی‌ریزی مشابه و بطور معنی‌داری بالاتر از توده اردستانی بود. در سطح شوری ۳ dS/m بیشترین و کمترین سرعت سبز شدن به ترتیب متعلق به توده‌های نی‌ریزی (۵/۴۷ عدد در روز) و اردستانی (۴/۰۹ عدد در روز) بود. در این سطح شوری، توده‌های اصفهانی، هندی و مشهدی سرعت سبز شدن مشابهی داشتند. در سطح شوری ۶ dS/m، سرعت سبز

شدن گیاهچه در توده‌های اصفهانی، هندی و نی‌ریزی مشابه و بالاتر از سرعت سبز شدن توده‌های اردستانی و مشهدی بود. نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که ادامه افزایش شوری در سطح شوری ۱۲ dS/m موجب کاهش سرعت سبز شدن گردید. بیشترین سرعت سبز شدن گیاهچه در این سطح شوری از توده هندی (۳/۰۸ عدد در روز) و کمترین آن از توده اصفهانی (۱/۱۴ عدد در روز) بدست آمد. همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، با اعمال سطوح شوری بالاتر سرعت سبز شدن کاهش بیشتری پیدا کرد. اگرچه در سطوح شوری ۱۵ و ۱۸ dS/m سرعت سبز شدن کاهش یافت، اما توده‌های هندی و نی‌ریزی بالاترین سرعت سبز شدن گیاهچه نسبت به سایر توده‌ها دارا بودند.

نتایج نشان داد که با افزایش شوری، طول گیاهچه (ریشه+ساقه) به تدریج کاهش یافت که روند تغییرات آن در ریشه و ساقه تقریباً مشابه بود. علیرغم اینکه در توده‌های اردستانی، مشهدی و نی‌ریزی، با افزایش هر سطح شوری طول گیاهچه به طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی این کاهش در توده اصفهانی بین سطوح شوری ۳ و ۶ dS/m و نیز بین سطوح ۱۲ و ۱۵ dS/m تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در توده هندی، طول گیاهچه در سطح شوری ۳ dS/m با شاهد مشابه بود، ولی اعمال سطوح شوری بالاتر از ۳ dS/m موجب کاهش معنی‌دار آن گردید (جدول ۵).

بر اساس نتایج حاصله، توده مشهدی در تیمار شاهد بیشترین طول گیاهچه (۲۲/۳۹ سانتی‌متر) و توده اردستانی در تیمار ۱۸ dS/m کمترین مقدار (۴/۶ سانتی‌متر) را دارا بود. در سطوح شوری ۶ و ۹ dS/m، توده‌های اصفهانی و سپس هندی بیشترین و توده اردستانی کمترین طول گیاهچه را دارا بودند. در شوری ۱۲ dS/m، توده‌های هندی و نی‌ریزی با دارا بودن ۱۰/۲۳ و ۱۰/۵۴ سانتی‌متر بیشترین و توده اردستانی کمترین (۷/۶۹ سانتی‌متر) طول گیاهچه را داشتند. در شوری ۱۵ dS/m توده‌های هندی، اصفهانی و نی‌ریزی طول گیاهچه مشابهی را دارا بودند، اما در شوری ۱۸dS/m، بیشترین طول گیاهچه متعلق به توده اصفهانی بود (جدول ۵).

داده‌های ارائه شده در جدول ۵ نشان داد در توده‌های اردستانی و هندی، اعمال شوری تا سطح ۳ dS/m تاثیری بر طول ساقه نداشت، این در حالی است که در سایر توده‌های مورد مطالعه طول ساقه در این سطح شوری بطور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، در توده‌های اردستانی، اصفهانی، هندی و مشهدی، طول ساقه در سطوح شوری ۳ و ۶ dS/m مشابه بود.

بر اساس نتایج حاصله، اعمال سطوح شوری بالاتر کاهش بیشتری در طول ساقه ایجاد کرد که روند این کاهش در توده‌های مختلف متفاوت بود. در توده اردستانی، بین سطوح شوری ۶ و ۹ dS/m و نیز ۹ و ۱۵ dS/m، تفاوت معنی‌داری از نظر طول ساقه مشاهده نشد و اعمال شوری در سطح ۱۸dS/m طول ساقه را ۷۳/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. همچنین، طول ساقه در توده‌های اصفهانی، هندی و مشهدی در سطوح شوری ۶ و ۹ dS/m مشابه بود. نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که سطوح شوری ۱۲ و ۱۵ dS/m تأثیر یکسانی بر طول ساقه توده‌های مشهدی و نی‌ریزی داشتند. در توده اصفهانی، اگرچه با افزایش شوری طول ساقه کاهش پیدا کرد، ولی این کاهش بین سطوح شوری ۱۲، ۱۵ و ۱۸ dS/m، معنی‌دار نبود.

مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۵، اعمال شوری موجب کاهش شاخص بنیه گیاهچه گردید. بیشترین مقدار شاخص بنیه گیاهچه (۲۰/۴۴) متعلق به توده‌های مشهدی و نی‌ریزی در تیمار شاهد بود و توده اردستانی در تیمار شوری ۱۸ dS/m کمترین مقدار (۰/۳۹) را دارا بود. افزایش هر سطح شوری شاخص بنیه گیاهچه را کاهش داد، اما روند این کاهش در توده اردستانی متفاوت با سایر توده‌ها بود. بطور کلی در توده اردستانی اگرچه با افزایش شوری شاخص بنیه گیاهچه به تدریج کاهش یافت، ولی این کاهش در سطوح شوری ۱۵ و ۱۸ dS/m معنی‌دار نبود.

مقایسه توده‌ها در هر سطح شوری نشان داد که در تیمار شاهد توده‌های مشهدی، نی‌ریزی و هندی بیشترین (به ترتیب ۲۰/۴۴، ۱۹/۷۳ و ۱۹/۴۸) و توده اردستانی کمترین (۱۶/۴۷) شاخص بنیه گیاهچه را دارا بودند. در سطح شوری ۳ dS/m، بیشترین شاخص بنیه

گیاهچه متعلق به توده هندی بود. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۵ این برتری برای سایر سطوح شوری بالاتر حفظ شد، هر چند که در برخی سطوح شوری تفاوت آماری معنی‌داری با برخی توده‌ها نشان نداد. در بالاترین سطح شوری (۱۸ dS/m) تمام توده‌ها از نظر شاخص بنیه گیاهچه مقادیر مشابهی را دارا بودند.

مقایسه تغییرات وزن خشک گیاهچه در توده‌های مختلف نشان داد که روند تغییرات آن بین توده‌ها متفاوت بود. در توده‌های نی‌ریزی و هندی، روند مشابهی وجود داشت که در آن وزن خشک گیاهچه ابتدا تا سطح شوری ۳ dS/m بدون تغییر بوده و سپس با افزایش شوری به تدریج بطور معنی‌داری کاهش یافت. در توده اردستانی، سطوح شوری ۶ و ۹ dS/m و نیز ۱۲ و ۱۵dS/m وزن گیاهچه مشابهی دارا بودند و اعمال بالاترین سطح شوری وزن گیاهچه را ۸۲/۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. در توده اصفهانی، وزن خشک گیاهچه بین سطوح شوری ۹ و ۱۲ dS/m از نظر آماری بدون تغییر بود و اعمال شوری در سطوح ۱۵ و ۱۸dS/m وزن خشک گیاهچه را به ترتیب ۷۴/۸ و ۸۵/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۵).

بر اساس نتایج حاصله در توده‌های هندی و نی‌ریزی، با اعمال سطوح شوری بالاتر از ۶ dS/m، وزن خشک گیاهچه به تدریج کاهش یافت، بطوری که اعمال بالاترین سطح شوری (۱۸ dS/m)، مقدار آن را به ترتیب ۸۲/۱ و ۸۳/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان داد در توده مشهدی، تغییرات وزن خشک گیاهچه در سطوح شوری ۹، ۱۲ و ۱۵ dS/m از نظر آماری معنی‌دار نگردید و شوری تنها در سطح ۱۸ dS/m موجب کاهش معنی‌دار آن (۸۵/۴ درصد نسبت به شاهد) گردید.

مقایسه توده‌های مختلف در هر سطح شوری نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک گیاهچه در تیمار شاهد به ترتیب متعلق به توده مشهدی (۴۹/۴ میلی‌گرم) و اردستانی (۲۵/۲۷ میلی‌گرم) بود، ولی در سطح شوری ۳ dS/m، توده اصفهانی بیشترین مقدار را داشت. بیشترین مقدار وزن خشک گیاهچه در شوری ۶ dS/m، متعلق به توده‌های اصفهانی و مشهدی بود. با ادامه افزایش شوری در سطوح ۹، ۱۲ و ۱۵ dS/m، بالاترین وزن خشک گیاهچه از توده نی‌ریزی و کمترین مقدار از توده اردستانی حاصل شد. بر اساس نتایج حاصله، اعمال بالاترین سطح شوری (۱۸ dS/m) موجب کاهش وزن خشک گیاهچه شد. بیشترین مقدار وزن خشک گیاهچه در این سطح شوری از توده‌های اصفهانی، هندی و مشهدی بدست آمد (جدول ۵).

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری در مجموع ویژگی‌های سبز شدن گیاهچه را تحت تأثیر قرار داد و موجب کاهش آنها شد، هرچند که روند متفاوتی از تأثیر شوری نظر توده‌های مختلف وجود داشت.

حساسیت به نمک به طور قابل ملاحظه‌ای در طی نمو گیاه تغییر می‌کند. از نظر تحمل به شوری، در گیاهان سه مرحله نموی مشخص (جوانه‌زنی، رشد رویشی، رشد زایشی) وجود دارد (هاگمیر[1]، ۱۹۹۷). بسیاری از شواهد بیانگر این هستند که در گیاهان زراعی مرحله رشد رویشی حساس به نمک است. با این وجود، برخی از گیاهان دیگر ممکن است در مرحله جوانه‌زنی حساس و در مرحله بعدی متحمل به شوری باشند. سازوکار این امر ناشناخته است و تصور بر این است که این امر می‌تواند به تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی نسبت داده شود (هاگمیر، ۱۹۹۷). در شرایط شور، مرحله سبز شدن گیاه مرحله‌ای بحرانی محسوب می‌گردد. به دلیل اینکه آب توسط نیروی اسمزی در محلول خاک قرار دارد، غلظت بالای نمک می‌تواند در جذب آب توسط بذر و فرآیند جوانه‌زنی اختلال ایجاد کرده و در نتیجه درصد سبزشدن را کاهش دهد (رنجبر و قدیری[2]، ۲۰۱۷).

[1] Hagemeyer
[2] Ranjbar and Ghadiri

جدول ۵. برهمکنش شوری و توده بر صفات مورد مطالعه شنبلیله در مرحله سبز شدن گیاهچه بر اساس آزمون دانکن در سطح ٪۵

Table 5. Interaction of the effect of salinity and ecotype on the studied traits of fenugreek at seedling emergence satage based on the duncan test p<0.05.

شوری Salinity (dS/m)	توده Ecotype	درصد سبز شدن Emergence percentage	سرعت سبز شدن Emergence rate (n/day)	طول ریشه Root length (cm)	طول ساقه Stem length (cm)	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigour index	وزن گیاهچه Seedling weight (mg)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
0.5	Ardestani	89.25cd	4.66c	13.92abc	4.54jk	16.47cd	25.27h	18.46ef
	Isfahani	88.17cd	5.58ab	13.86bc	7.24ab	18.62b	44.80b	21.11b
	Hendi	94.62a	5.79ab	14.07abc	6.51cd	19.48ab	31.33ef	20.58bc
	Mashhadi	91.40bc	5.93a	14.68a	7.71a	20.44a	49.40a	22.39a
	Neyrizi	92.47ab	5.68ab	14.53ab	6.79bc	19.73ab	31.67ef	21.33b
3	Ardestani	84.95def	4.09de	12.33d	4.79ij	14.54ef	20.45i	17.11gh
	Isfahani	83.87def	4.71c	12.77d	5.91efg	15.68de	37.42c	18.69ef
	Hendi	88.17cde	4.81c	13.63c	6.14de	17.43c	30.07f	19.77cd
	Mashhadi	81.72efg	4.42cd	13.84bc	5.54fgh	15.83d	24.87h	19.37de
	Neyrizi	87.09cde	5.47b	12.75d	5.95ef	16.28cd	30.85ef	18.70ef
6	Ardestani	78.42fghi	3.44ghi	9.30g	3.94lmn	10.38gh	16.34jkl	13.24jk
	Isfahani	78.49fgh	4.02def	12.5d	5.42gh	14.14f	33.40d	18.00fg
	Hendi	86.02cde	4.12de	11.21e	5.78efg	14.61ef	27.69g	16.99h
	Mashhadi	69.89ij	3.32hi	10.28f	5.45gh	11.01gh	32.42de	15.73i
	Neyrizi	73.12hij	4.13de	10.43ef	5.21hi	11.44g	27.38g	15.65i
9	Ardestani	66.67jk	2.58kl	8.11h	3.82mno	7.96i	17.77j	11.93l
	Isfahani	72.04hij	3.80efg	9.13g	5.05hi	10.23h	17.20jk	14.19j
	Hendi	82.80defg	3.63fgh	8.14h	5.15hi	10.99gh	19.70i	13.29jk
	Mashhadi	59.14kl	2.86jk	8.03h	4.33jkl	7.34i	12.51mn	12.36kl
	Neyrizi	55.91lm	2.75jk	8.20h	4.26klm	6.97i	24.74h	12.46kl
12	Ardestani	45.16mn	1.87n	5.09jk	2.60st	3.47kl	7.71p	7.69op
	Isfahani	36.56no	1.14op	5.77j	3.10pqr	3.24kl	16.03kl	8.87n
	Hendi	75.27ghij	3.08ij	6.64i	3.58nop	7.68i	13.37m	10.23m
	Mashhadi	50.54lm	1.90mn	5.54j	2.73rst	4.18k	12.01mn	8.27no
	Neyrizi	51.61lm	2.29lm	7.10i	3.44opq	5.45j	19.43i	10.54m
15	Ardestani	20.43qr	0.56rst	3.63mn	2.53t	1.27no	7.04pq	6.17qr
	Isfahani	22.58pq	0.70qr	5.27jk	3.03qrs	1.88mn	11.27no	8.30no
	Hendi	32.26opq	0.99opq	5.60j	2.73rst	2.69lm	10.37o	8.33no
	Mashhadi	29.03opq	0.98opq	4.53kl	2.48t	2.03mn	11.50no	7.02pq
	Neyrizi	33.33op	1.16o	5.19jk	3.13pqr	2.77lm	15.10l	8.32no
18	Ardestani	8.60rs	0.27st	3.33n	1.27v	0.39o	4.45s	4.60s
	Isfahani	6.45s	0.16t	4.23lm	2.73rst	0.45o	6.50pqr	6.97pq
	Hendi	25.81opq	0.73pqr	3.53mn	1.97u	1.42no	5.60qrs	5.50rs
	Mashhadi	9.68rs	0.25t	3.45n	1.95u	0.53o	7.20pq	5.40rs
	Neyrizi	22.58pq	0.67qrs	3.78lmn	1.88u	1.28no	5.13rs	5.67r

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان باشند، دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵ درصد نیستند.

In each column, means with at least a same letter are not significantly different from each other at p<0.05.

بررسی منابع مختلف نشان داد که در شنبلیله، واکنش به شوری در مرحله سبز شدن کمتر مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات انجام شده در زمینه شوری اغلب در مرحله جوانه‌زنی بوده و تعداد کمی مراحل رشد رویشی و به ندرت رشد زایشی و عملکرد دانه را مورد مطالعه قرار داده‌اند (دادخواه، ۲۰۱۰؛ عبدالمومن و مصباح الادریسی، ۲۰۰۹؛ زهیر و حسین، ۲۰۱۱).

گزارش شده است که برخی گیاهان در زمان جوانه‌زنی نسبت به زمان سبز شدن و استقرار بوته،

به شوری متحمل‌تر می‌باشند (رنجبر[1] و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال تنش شوری سرعت جوانه‌زنی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌تواند ظهور کلئوپتیل در سطح خاک را به تأخیر بیاندازد. تأخیر در سبز شدن گیاهچه به ویژه زمانی که با سله شدید خاک همراه باشد؛ می‌تواند به کاهش تعداد گیاهچه‌های سبز شده منجر گردد. از طرف دیگر به دلیل اینکه تبخیر معمولاً از سطح خاک و لایه‌هایی از خاک که بذر در آن قرار دارد بیشتر از عمق‌های پایین خاک می‌باشد، گیاهچه‌های جوان در معرض تنش شوری بالاتری قرار گرفته، در نتیجه مرگ و میر بوته‌ها افزایش می‌یابد (رنجبر و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج مشابهی از تأثیر منفی شوری بر درصد سبز شدن بذور کوشیا گزارش شد که در آن اعمال شوری ۱۰ و ۲۰dS/m درصد سبز شدن بذور کوشیا را به ترتیب به میزان ۳۵ و ۶۷ درصد کاهش داد (نظامی[2] و همکاران، ۲۰۰۸). این نتایج با نتایج تحقیق حاضر که نشان داد افزایش هر سطح شوری میزان درصد سبز شدن گیاهچه‌ها را به تدریج در تمام توده‌ها کاهش داد، همخوانی دارد. شرما و ویمالا (۲۰۱۶) نشان دادند که تمام بذرهای شنبلیله تا شوری ۱۰۰mM NaCl (تقریباً معادل ۱۰dS/m) جوانه زده اما در شوری‌های بالاتر میزان جوانه‌زنی به شدت کاهش یافت، بطوریکه در شوری ۲۰۰mM میزان جوانه‌زنی ۶۰ درصد کاهش پیدا کرد. همچنین، فرهادی و عزیزی[3] (۲۰۱۶)، گزارش کردند که در شنبلیله اعمال شوری ۱۸۰mM NaCl (تقریباً معادل ۱۸ dS/m) جوانه‌زنی بذرها را به میزان ۱۱/۸ درصد کاهش داد. به علاوه، عبدالمومن و مصباح الادریسی (۲۰۰۹)، اثرات شوری روی جوانه‌زنی بذر در شنبلیله را بررسی و نشان دادند که جوانه‌زنی بذرها تا شوری ۱۴۰mM NaCl (تقریباً ۱۴ dS/m) تحت تأثیر قرار نگرفت، اما اعمال سطوح بالاتر شوری موجب کاهش معنی‌دار میزان جوانه‌زنی گردید. قربانپور[4] و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که در شنبلیله اعمال تنش شوری ۳- بار ناشی از NaCl (تقریباً معادل ۸/۳ dS/m) باعث کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی گردید. علاوه بر این، بر اساس این تحقیق سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها 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. در تأیید نتایج فوق، قربانی و پورفرید[5] (۲۰۰۸) گزارش کردند که در گندم اعمال تنش شوری سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها را بطور معنی‌داری کاهش داد. اگرچه اطلاعاتی در خصوص سرعت سبز شدن گیاهچه‌های شنبلیله تحت تنش شوری یافت نگردید، ولی دادخواه (۲۰۱۰) در بررسی واکنش جوانه‌زنی چندین گیاه دارویی از جمله شنبلیله گزارش کرد که سرعت جوانه‌زنی به شدت تحت تأثیر پتانسیل منفی محیط جوانه‌زنی قرار گرفت. به‌گونه‌ای که در پتانسیل‌های ۰/۵۹- و ۰/۸۱MPa- (تقریباً معادل ۱۶ و ۲۲/۵ dS/m) سرعت جوانه‌زنی کاهش بیشتری پیدا کرد. در تأیید نتایج این تحقیق، گزارش شده است که شوری موجب تأخیر سبز شدن بذر کوشیا و در نتیجه افزایش زمان رسیدن به ٪۵۰ سبز شدگی گردید (رنجبر و غدیری، ۲۰۱۷) شرما و ویمالا (۲۰۱۶)، در بررسی اثرات نمک روی جوانه‌زنی بذرهای شنبلیله نشان دادند که همراه با افزایش غلظت نمک، کاهش تدریجی در سرعت و شاخص جوانه‌زنی مشاهده گردید که این مشاهدات با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. همچنین، بررسی سرعت و درصد جوانه‌زنی با سرعت و درصد سبز شدن بذر گیاه بادرشبویه نشان که مرحله سبز شدن در مقایسه با مرحله جوانه‌زنی به شوری حساس‌تر است (دوازده‌امامی[6] و همکاران، ۲۰۱۰).

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

[1] Ranjbar
[2] Nezami
[3] Farhadi and Azizi
[4] Ghorbanpour
[5] Ghorbani and Porfarid
[6] Davazdahemami

در حال جوانه‌زنی و در نهایت کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (هسنوزمن[1] و همکاران، ۲۰۱۳).

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 (شرما و ویمالا، ۲۰۱۶). 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 تأخیر انداختن آن می‌گردند (تستر و داونپورت[2]، ۲۰۰۳).

نتایج بررسی اثرات سطوح مختلف شوری روی طول گیاهچه‌های شنبلیله نشان داد که تنش شوری در مجموع موجب کاهش طول و وزن خشک گیاهچه گردید. با افزایش شوری طول و وزن گیاهچه تحت تأثیر بازدارندگی بیشتری قرار گرفت. در تأیید نتایج فوق، 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 تأثیر نمک قرار می‌گیرند (شرما و ویمالا، ۲۰۱۶).

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. کاهش فشار تورگر روی تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها در گیاهان حساس به شوری اثر گذاشته و در نتیجه رشد سلول ممانعت می‌شود. با این وجود، اثر شوری روی کاهش فشار تورگر سلول نمی‌تواند عامل کاهش رشد در دراز مدت تلقی گردد. معمولاً سرعت طویل شدن سلول توسط پارامترهایی از قبیل قابلیت اتصاع دیواره و فشار تورگر کنترل می‌گردد (ولکمر و استفان[3]، ۱۹۹۷).

صرف نظر از اثرات اسمزی، نمک اثرات سمیت نیز روی سلول‌های گیاهی دارد. در حقیقت، کاهش رشد گیاهان در محیط‌های شور یک پاسخ دو مرحله‌ای است. در مرحله اول، رشد گیاه به علت پایین بودن پتانسیل آب کاهش می‌یابد 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 تا حد مرگ در داخل سلول انباشته می‌گردد (مونز[4]، ۱۹۹۳). نتایج برخی گزارش‌ها نشان می‌دهند که که رشد گیاهچه در شنبلیله در اثر اعمال شوری کاهش می‌یابد. این کاهش تا سطح ۶۰mM NaCl (تقریباً معادل ۶dS/m) معنی‌دار نبوده ولی اعمال سطوح بالاتر شوری موجب کاهش بیشتر آن می‌گردد (فرهادی و عزیزی، ۲۰۱۶؛ سیندو[5] و همکاران، ۲۰۱۷).

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 (۱۹۷۷)، متوسط حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله برای توده‌های اردستانی، اصفهانی، هندی، مشهدی و نی‌ریزی به ترتیب، ۴/۶۹ dS/m، ۴/۹۰، ۷/۸۳، ۱/۶۹ و ۱/۵۷ بدست آمد. به این ترتیب، بیشترین مقدار حد آستانه تحمل به شوری از توده هندی (۷/۸۳dS/m) و کمترین مقدار آن از توده نی‌ریزی (۱/۵۷dS/m) حاصل گردید. همچنین، بیشترین مقدار شیب کاهش درصد سبز شدن نیز از توده هندی (۷/۵۵ درصد) و کمترین مقدار شیب کاهش (۴/۶۳ درصد) از توده نی‌ریزی بدست آمد. پایین بودن شیب کاهش سبز شدن نظیر آنچه در مورد توده‌های نی‌ریزی و مشهدی اتفاق افتاد مزیت مهمی به شمار می‌رود و سبب می‌شود در گیاه 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 تأیید این موضوع، برازش نتایج مدل‌های غیر خطی نیز نشان داد که بیشترین شوری که

[1] Hasanuzzaman
[2] Tester and Davenport
[3] Volkmar and Steppuhn
[4] Munns
[5] Sindhu

در آن گیاهچه‌ها به مقدار ۵۰٪ جوانه می‌زنند (EC_{50}) برای توده‌های نی‌ریزی و مشهدی بسیار نزدیک با مقادیر EC_{50} ارائه شده برای توده‌های اصفهانی و اردستانی بود.

در این تحقیق از شاخص تحمل به شوری برای ارزیابی واکنش شنبلیله به شوری استفاده شد. استفان و همکاران (۲۰۰۵) کاربردهای عملی این شاخص را برای بیش از صد گونه و رقم از گیاهان زراعی محاسبه و جمع‌آوری نمودند. آن‌ها شاخص تحمل به شوری را برای یونجه، ذرت، نیشکر، گندم، برنج، سویا، آفتابگردان و سورگوم به‌ترتیب ۹/۴۳، ۶/۵۶، ۱۰/۶۸، ۱۴، ۸/۰۸، ۹/۳۴، ۱۵/۴۶ و ۱۱/۸۹ گزارش کردند. همچنین، مقادیر متناظر EC_{50} برای گونه‌های فوق به ترتیب ۸/۴۹، ۵/۵۴، ۹/۸۰، ۱۲/۶۳، ۶/۸۳، ۷/۱۶، ۱۴/۳۷ و dS/m ۹/۵۷ بود. مقایسه این اعداد با پارامترهای محاسبه شده شاخص تحمل به شوری و EC_{50} توده‌های شنبلیله نشان داد که اعداد شاخص تحمل به شوری و EC_{50} توده هندی (به ترتیب ۱۵/۹۱ و ۱۴/۲۴dS/m) خیلی نزدیک به آفتابگردان بوده و بنابراین، احتمالاً متحمل‌تر از آن می‌باشد. با این وجود، سایر توده‌ها تحمل پایین‌تری داشتند. مقایسه مقادیر متناظر EC_{50} و شاخص تحمل به شوری توده‌های اردستانی و اصفهانی نشان داد که تحمل به شوری این توده‌ها اندکی بیشتر از سورگوم می‌باشد. همچنین، تحمل به شوری توده‌های مشهدی و نی‌ریزی در مرحله سبز شدن نیز نزدیک به سورگوم به‌دست آمد.

مطابق با مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷) که در آن گیاهان از نظر تحمل به شوری بر اساس حد آستانه و شیب کاهش عملکرد گروه‌بندی شده‌اند، می‌توان شنبلیله را در گروه گیاهان نسبتاً متحمل به شوری در مرحله سبز شدن طبقه‌بندی کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در مرحله سبز شدن گیاهچه، واکنش شنبلیله به شوری بین توده‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در بین توده‌های مورد بررسی، توده هندی بیشترین مقدار درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن و شاخص بنیه گیاهچه را دارا است؛ بنابراین، بر اساس داده‌های شاخص تحمل به شوری و مدل‌های مختلف تجربی برازش داده شده خطی و غیرخطی، توده هندی شنبلیله می‌تواند به عنوان متحمل‌ترین توده به تنش شوری در مرحله سبز شدن گیاهچه به منظور کشت در اراضی شور به منظور بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور معرفی گردد.

منابع

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

Chowdhury, M.M.U., Bhowal, S.K., Farhad, I.S.M., Choudhury, A.K. and Khan, A.S. 2014. Productivity of fenugreek varieties (*Trigonella foenum-graecum* L.) in the coastal saline areas of Noakhali. The Agriculturists Journal, 12(2): 18-23. https://doi.org/10.3329/agric.v12i2.21726

Dadkhah, A. 2010. Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. Iranian Medicinal and Aromatic Plants, 26(3): 358-369. [In Persian with English Summary].

Davazdahemami, S., Jahansooz, M.R., Mazaheri, D. and Sefidkon, F. 2010. Effects of irrigation water salinity on germination, emergence, biological yield, essence quality and quantity of Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.). Plant Production Technology, 10(1): 25-33. [In Persian with English Summary.[

Farhadi, H. and Azizi, M. 2016. Effects of seed pretreatment with salicylic acid on germination of four fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L) landraces under salinity stress. Plant Production Research, 23(3). 1-19. [In Persian with English summary].

Ghorbani, M.H. and Porfarid, A. 2008. The effect of salinity and sowing depth on wheat seed emergence. Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(5): 1-8. [In Persian with English Summary].

Ghorbanpour, A., Mami, Y., Ashournezhad, M., Abri, F. and Amani, M. 2011. Effect of salinity and drought stress on germination of fenugreek. African Agricultural Research, 6: 5529-5532. https://doi.org/10.5897/AJAR10.861

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

Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ecophysiology and responses of plants under salt stress. Ahmad, P., Azooz, M.M. and Prasad, M.N.V. Springer. New York. 25-87. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4_2

Hassanzadeh, E., Rezazadeh, S.A., Shamsa, S.F., Dolatabadi, R., and Zarringhalam, J. 2010. Review on phytochemistry and therapeutic properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.). Journal of Medicinal Plants, 9(34): 1-18. [In Persian with English Summary].

Maas, E.V. and Hoffman G.L. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Irrigation and Drainage Division, ASCE 103:115-134. https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001137

Mehrafarin, A., Qavami, N. Naqdibadi, H.A. and Qaderi, A. 2011. Alkaloid trigonline, a valuable herbal drug metabolite. Journal of Medicinal Plants, 11(8): 12-29. [In Persian with English Summary].

Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils, some dogmas hypotheses. Plant Cell and Environment, 16(1): 15-24. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x

Nezami, A., Nabati, J., Kafi, M. and Mohseni, M. 2008. Evaluation of salinity tolerance at emergence and seedling stages of Kochia (*Kochia scoparia* (L.) Schrad) under control environment. Environmental Stresses in Crop Science, 1(1): 69-77. [In Persian with English Summary].

Petropoulos, G.A. 2002. Fenugreek, the genus Trigonella. London Steppuhn and New York. 214P. https://doi.org/10.1201/9780203217474

Ranjbar, G.H. and Ghadiri, H. 2017. Quantification of seedling emergence of Kochia *(Kochia indica*) as affected by temperature, salinity and seeding depth. Iranian Journal of Seed Research, 3(2): 41-55. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.29252/yujs.3.2.41

Ranjbar, G.H., Pirasteh Anosheh, H, Emam, Y. and Hossein Zadeh, S.H. 2013. Effect of salinity on different growth stage of wheat, CV. Roshan. Iranian Journal of Seed Research, 5(1): 23-31. [In Persian with English Summary].

Roumani, A. and Ehteshami, S.M.R. 2014. Effect of different levels of salinity stress on seed germination and early growth of fenugreek (*Trigonella foenum- graceum* L.) seedling. Iranian Journal of Seed Research, 1(1): 33-45. [In Persian with English Summary].

Sharma, SH. and Vimala, Y. 2016. Effect of salt stress on germination and growth of *T. foenum graecum* seedlings. International Advanced Research, 4(3): 40-45.

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 Biotechnology and Biochemistry, 3(1): 89-97. https://doi.org/10.9790/264X-03018997

Steppuhn, H., Van Genuchten, M.T. and Grieve, C.M. 2005a. Root-zone salinity: I: Selecting and product-yield index and response functions for crop tolerance. Crop Science, 45(1): 209-220. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0209

Steppuhn, H., Van Genuchten, M.T. and Grieve, C.M. 2005b. Root-zone salinity: II: Indices for tolerance in agricultural crops. Crop Science, 45(1): 221-232. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0221

Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na+ tolerance and Na+ transport in higher plants. Annals of Botany, 91(5): 503-527. https://doi.org/10.1093/aob/mcg058

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. 504p. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1085-9

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

Volkmar, K.M., Hu, Y. and Steppuhn, H. 1997. Physiological responses of plants to salinity: A review. Canadian Plant Science, 78(1): 19-27. https://doi.org/10.4141/P97-020

Wallender, W.W. and Tanji, K.K. 2011. Agricultural salinity assessment and management (No. Ed. 2). American Society of Civil Engineers (ASCE). 619p. https://doi.org/10.1061/9780784411698

Yadegari, M. and Barzegar, R. 2010. Investigating the amount and rate of germination of twelve medicinal plants under salinity treatments. 11th Iranian Crop Science Congress. Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, 24-26 July, 3810-3813. [In Persian with English Summary].

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.

Zargari, A. 1992. Medicinal plants. Vol. 1. Tehran University Press, Iran. 1-5. [In Persian].

Iranian Journal of Seed Research, 2022, 8(2): 51-67

Research Article

Evaluation and Determination of the Salt Tolerance Threshold of Some Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) Ecotypes at Seedling emergence Stage

Mohammad Hossein Banakar [1], Hamzeh Amiri [2, *], Gholam Hassan Ranjbar [3], Mohammad Reza Sarafraz Ardakani [4]

Extended Abstract

Introduction: Fenugreek, is a medicinal plant that has been considered as a salt tolerant crop. This research was conducted to investigate the effects of salt stress on seedling emergence characteristics and determination of the salt tolerance threshold, declivity of emergence and salt tolerance index of some fenugreek ecotypes.

Material and Methods: Seeds of five ecotypes (Ardestani, Isfahani, hendi, Mashhadi, Neyrizi) were subjected to seven levels of salinity (0.5, 3, 6, 9, 12, 15 and 18 dS/m) in a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. In this research, experimental models (linear, sigmoidal, exponential and multi-component) were used.

Results: Results showed that increasing levels of salinity decreased seedling emergence percentage and rate. In Ardestani and Isfahani ecotypes, increase of salinity up to 3 dS/m had no effect on seedling emergence percentage and thereafter, decreased it, significantly. The maximum seedling emergence percentage (94.62%) belonged to Hendi in control treatment. Hendi ecotype had also the highest emergence percentage (25.81%) at 18 dS/m. Although the highest seedling emergence rate (5.93 per day) belonged to Mashhadi ecotype in control treatment, it didn't show any significant difference to Hendi, Neyrizi and Isfahani ecotypes. In Ardestani, Mashhadi and Neyrizi ecotypes, seedling length decreased significantly with increasing salinity, but this decrease was not significant in Isfahani ecotype between salinities of 3 and 6 dS/m and also 12 and 15 dS/m. In Hendi ecotype, seedling length at 3 dS/m was similar to control, but higher salinities caused a significant reduction. The maximum value of seedling vigor index (20.44) belonged to Mashhadi and Neyrizi ecotypes in control treatment and Ardestani ecotype had the lowest one (0.39) at 18 dS/m. Results showed that seedling dry weight was first unchanged up to salinity level of 3 dS/m and then gradually decreased with increasing salinity. In Hendi and Neyrizi ecotypes, applying salinities higher than 6 dS/m, gradually decreased seedling dry weight. The salt tolerance threshold of fenugreek for Ardestani, Isfahani, Hindi, Mashhadi and Neyrizi ecotypes was 4.69, 4.90, 7.83, 1.69 and 1.57 dS/m, respectively. Thus, the highest salt tolerance threshold (7.83 dS/m) and the declivity of emergence percentage (7.55%) was obtained from Hendi ecotype and the lowest one from Neyrizi ecotype (1.57 and 4.63 dS/m, respectively). Results of nonlinear models showed that the highest salinity in which 50 percent of seedlings emerged was obtained in Hendi ecotype (14.24 dS/m).

Conclusion: Based on the results, comparing the salt tolerance index of fenugreek ecotypes and also evaluating of some experimental models showed that Hendi ecotype may be introduced as the most tolerant ecotype to salinity stress at the emergence stage to exploit saline soil and water resources.

Keywords: ***Legumes, Linear model, Seedling, Sigmoidal model***

Highlights:

1- Different fenugreek ecotypes in terms of salinity tolerance at seedling emergence stage were compared using some experimental models.
2- The salt tolerance threshold, declivity of emergence and also salt tolerance index was reported for some fenugreek ecotypes.

[1] PhD Student, Department of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorram Abad, Iran and faculty member, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran
[2] Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorram Abad, Iran
[3] Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

* Corresponding author, E-mail: amiri.h@lu.ac.ir

(Received: 07.18.2020; Accepted: 11.27.2020)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1400.8.2.6.2

DOI: 10.52547/yujs.8.2.51