مقاله پژوهشی

تعیین حد آستانه تحمل به شوری و اثرات استفاده از آب شور بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum*)

محمد حسین بناکار[۱]، حمزه امیری*[۲]، غلامحسن رنجبر[۳] و محمد رضا سرافراز اردکانی[٤]

[۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران و مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، [۲] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم آباد، [۳] مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، [٤] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یزد، یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲٤، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰٤/۲٤)

چکیده

این تحقیق به منظور تعیین حد آستانه تحمل به شوری و ارزیابی اثرات مصرف آب شور بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در سال ۹۷-۱۳۹٦ در گلخانه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. تیمارهای مورد نظر شامل هفت سطح شوری آب (۱۲، ۱۰، ۸، ٦، ٤، ۲، ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) بود که از اختلاط آب شور زیرزمینی (۱٤ دسی زیمنس بر متر) و آب غیر شور حاصل گردید. طرح آماری مورد استفاده به صورت بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بود. بر اساس نتایج حاصله، اعمال شوری موجب کاهش طول نیام، وزن نیام، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه پر در بوته، نسبت دانه پر به پوک، وزن خشک اندام هوایی، وزن کاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب و افزایش درصد دانه پوک گردید. همچنین، شوری میزان تریگونلین و آلکالوئید کل دانه را افزایش داد. بیشترین مقدار این افزایش به ترتیب از اعمال شوری ٦ و ۸ دسی زیمنس بر متر بدست آمد. اگرچه تنش شوری بر اغلب صفات مورد مطالعه اثر بازدارنده داشت، ولی روند این تاثیر بسته به نوع صفت متفاوت بود. بر اساس مدل خطی، حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله ۱/۳۰ دسی زیمنس بر متر و شیب کاهش عملکرد آن ۸/٦٤ درصد برآورد گردید. مطابق با مدل‌های غیر خطی، کاهش ۱۰ و ۲۵ درصدی عملکرد نسبی دانه به ترتیب در شوری عصاره اشباع خاک ۲/٤٦ و ٤/۱۹ دسی زیمنس بر متر اتفاق افتاد. بر اساس نتایج، شوری که در آن عملکرد دانه به اندازه ۵۰ درصد کاهش یافت، در شوری خاک ٦/۵۱ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. بنابراین، بر اساس اعداد حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش عملکرد و شاخص تحمل به شوری (۷/۵٤)، می‌توان شنبلیله را از نظر عملکرد دانه در گروه گیاهان نسبتاً حساس به شوری طبقه‌بندی کرد.

کلمات کلیدی: آلکالوئید، بقولات، تریگونلین، شوروزی، کارآیی مصرف آب، مدل‌های تجربی

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella Foenum-graecum* L.) از گیاهان دارویی است که در طب سنتی ایران و جهان سابقه مصرف دیرینه داشته و خواص درمانی فراوانی برای آن ذکر شده است (حسن زاده و همکاران، ۱۳۸۹). گیاهان جنس *Trigonella* به‌ویژه گونه *T. foenum-graecum* از زمان‌های قدیم برای اهداف مختلف در برخی مناطق به‌ویژه یونان، مصر و آفریقای شمالی مورد کشت قرار گرفته‌اند. از نظر تاریخی، شنبلیله از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی شناخته شده است که در ابتدا به عنوان یک داروی چینی معرفی شد (زرگری، ۱۳۷۱؛

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: amiri.h@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

Amuthaselvi and Ambrose, 2016). مهم‌ترین ماده مؤثره شنبلیله، آلکالوئید تریگونلین است که خواص دارویی مهمی از قبیل ضددرد، ضدسرطان، ضدمیگرن، ضددیابت، صفراآور، ملین، کاهش‌دهنده کلسترول، تری‌گلسرید، چربی و پرفشاری خون، رفع التهاب و بسیاری از اثرات مفید دیگر برای آن گزارش شده است. دانه شنبلیله علاوه بر تریگونلین، دارای ساپوژنین‌ها، روغن‌ها، ترکیبات موسیلاژی، فلاونوئیدها، ترکیبات پروتئینی، املاح معدنی، کربوهیدرات‌ها، استرول‌ها و کومارین است (مهرآفرین و همکاران، ۱۳۹۰؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ زرگری، ۱۳۷۱؛ Amuthaselvi and Ambrose, 2016; Moradikor *et al*., 2013; Petropoulos, 2002; Tsay *et al*., 2016).

تنش شوری کشت و تولید بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی مرسوم را با محدودیت‌هایی مواجه ساخته است. نگاهی گذرا به وضعیت اقلیمی ایران نشان می‌دهد که مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب در قسمت‌های مرکزی ایران پراکنده‌اند و شوری در این مناطق یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود (بناکار و همکاران، ۱۳۹۱). تنش شوری رشد گیاهان را از راه‌های گوناگون تحت تأثیر قرار می‌دهد. ابتدا، حضور نمک در خاک با کاهش پتانسیل آب، ظرفیت جذب آب گیاه را کاهش داده و از این طریق موجب کاهش سرعت رشد می‌گردد. در اغلب موارد، شوری طی یک فرایند دو مرحله‌ای رشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از نظر متابولیکی، شوری موجب آسیب غشا، عدم توازن مواد غذایی، تغییر سطوح تنظیم‌کنندگان رشد و مهار آنزیمی می‌گردد. غلظت‌های بالای نمک می‌تواند اثر مخربی بر متابولیسم گیاه، از بین‌رفتن هومئوستازی سلولی و عدم جفت شدن فرایندهای عمده فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، داشته باشد (Hasanuzzaman *et al*., 2013). گونه‌های گیاهی تفاوت‌های قابل‌توجهی را از نظر تحمل به شوری نشان می‌دهند و بنابراین کاشت گیاهان زراعی متحمل به شوری از دیرباز به‌عنوان یکی از راه‌های بهره‌برداری از اراضی شور مطرح بوده است.

بررسی منابع نشان می‌دهد که شنبلیله از گیاهان دارویی است که از نظر تحمل به شوری مورد توجه بوده و پژوهش‌های متعدد و پراکنده‌ای بر روی آن انجام شده است. در آزمایشی اثر سطوح مختلف شوری (صفر، ٤٠، ٨٠، ١٢٠، ١٦٠ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر رشد و تجمع برخی عناصر در سه توده شنبلیله بررسی و معلوم شد که افزایش شوری موجب کاهش ارتفاع، طول ریشه، تعداد برگ و وزن ریشه و اندام هوایی گردید (ارچنگی و همکاران، ۱۳۹۱). بررسی تغییرات رشد هشت توده بومی شنبلیله در تنش شوری نشان داد که شوری موجب کاهش ارتفاع، تعداد انشعاب، طول و وزن ریشه، اندام هوایی و میوه گردید و توده مشهدی بیشترین ارتفاع بوته را دارا بود (فرهادی و همکاران، ١٣٩٤). مطالعات سطوح مختلف شوری (۰/۲۱، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) روی پارامترهای رشد شنبلیله نشان داد که تمام دانه‌رست‌ها تا شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر زنده بودند، ولی در شوری‌های بالاتر ۸۰ و ٤٠ درصد از دانه‌رست‌ها به ترتیب در شوری‌های ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر زنده ماندند (Zahir and Hussein, 2010).

در بررسی اثرات تنش شوری (صفر، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر برخی گونه‌های شنبلیله، صراحی نوبر و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که شوری موجب کاهش وزن تر و خشک و افزایش قندهای محلول و قندهای احیاکننده گردید. مطالعات Chowdhury و همکاران (٢٠١٤) روی شنبلیله نشان داد که شوری رشد گیاه و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار داد. در مرحله جوانه‌زنی، هنگامی که شوری خاک از ٤ دسی‌زیمنس بر متر بالاتر رفت میزان تلفات دانه‌رست‌های شنبلیله به مقدار زیادی تحت تأثیر قرار گرفت. با این وجود، در مراحل بعدی رشد تا زمان رسیدگی، شنبلیله توانست شوری‌های بالاتر (١٢-٤ دسی‌زیمنس بر متر) را تحمل کند. در زمان رسیدگی، اعمال تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نتوانست تأثیر قابل‌توجهی بر بقا گیاهان داشته باشد. این آزمایش نشان داد که اعمال شوری بالاتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی جوانه‌زنی و مرحله رشد رویشی ممکن است عملکرد محصول را ٤٠-٣٠ درصد کاهش دهد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

در بررسی اثرات تنش شوری (صفر، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر شنبلیله، نوح پیشه و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که شوری در غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و اندام هوایی و ریشه گردید. این محققین گزارش کردند که تحت تنش شوری، کاربرد نانو ذرات روی موجب تخفیف اثرات تنش شوری و بهبود شرایط رشدی گیاهان گردید. اثرات مقادیر مختلف ورمی کمپوست بر عملکرد شنبلیله تحت شرایط شور در آزمایش مزرعه‌ای بررسی و معلوم شد که مصرف ورمی کمپوست عملکرد و اجزای عملکرد را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. این در حالی است که تیمار شوری در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام و تعداد انشعاب گردید (Barahouee and Sabbagh, 2017).

نشان داده شده است که تنش‌های محیطی مسیرهای متابولیسم ثانویه متعددی را راه‌اندازی می‌کنند که منجر به تولید طیف وسیعی از متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شود. به‌طور معمول، پیش‌ماده این مسیرهای بیوسنتزی، فراورده‌های حاصل از متابولیسم اولیه هستند. در میان متابولیت‌های ثانویه، آلکالوئیدها گروه مهمی را تشکیل می‌دهند (Ahmed, *et al.*, 2015). گیاهان دارویی منابعی غنی از متابولیت‌های ثانویه هستند. تولید این متابولیت‌ها، سازوکارهایی را برای مقابله با تنش یا تنظیم آن راه‌اندازی می‌کنند. یکی از این سازوکارها ساخت و انباشته‌سازی اسیدهای آمینه‌ای نظیر پرولین و گلیسین بتائین است. در برخی گیاهان آلکالوئید تریگونلین که نوعی بتائین پریدینی است در سیتوپلاسم سلول تجمع می‌یابد که تصور می‌شود به‌عنوان یک اسمولیت سازگار با متابولیسم سلولی، نقش مهمی در تنظیم اسمزی بازی کند (Tramontano and Jouve, 1997). تحت شرایط خاص، تریگونلین یکی از پیامبرهای ثانویه در سلول‌های گیاهی تحت تنش است که از تنش اکسیداتیو جلوگیری می‌کند (Kuo *et al.*, 2004). تریگونلین (نیکوتینیک اسید بتائین) توسط آنزیم S– آدنوزیل –L متیونین: نیکوتینیک‌اسید –N– متیل ترانسفراز (NNMT) از انتقال گروه متیل S– آدنوزیل متیونین به نیکوتینیک اسید ساخته می‌شود. معلوم شده است که تریگونلین موجب پایداری فعالیت این آنزیم شده، به‌عنوان تنظیم‌کننده چرخه سلولی عمل کرده و به‌عنوان یک اسمولیت سازگار در پاسخ به تنش شوری و کم آبی کار می‌کند (Cho *et al.*, 1999). به‌نظر می‌رسد شنبلیله به‌علت دارابودن آلکالوئید تریگونلین بتواند از طریق تنظیم اسمزی تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی را تحمل نماید.

در مطالعات تحمل به شوری، مدل‌های مختلف تجربی برای بررسی واکنش گیاهان به شوری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از این مدل‌ها، مدل سه قسمتی خطی پیشنهادی توسط Maas و Hoffman (۱۹۷۷) است، 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. با این وجود، در شوری‌های بالاتر از حد آستانه عملکرد نسبی با شیب ثابتی (l) به‌صورت خطی شروع به کاهش می‌کند (رابطه ۱):

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

مدل غیرخطی واکنش عملکرد گیاهان به شوری توسط Van Genuchten و Hoffman (۱۹۸٤) مطرح و نشان داده شد که با افزایش هر سطح شوری، میزان عملکرد نسبی از همان ابتدا به‌صورت غیرخطی شروع به کاهش کرده و در نقطه EC_{50} مقدار آن به ۵۰٪ کاهش می‌یابد (رابطه ۲). در این رابطه، Y_m عملکرد حداکثر در شرایط غیرشور بوده و p یک ضریب تجربی است که همیشه بالاتر از یک است.

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

در ادامه بررسی واکنش عملکرد گیاهان زراعی به شوری، Steppuhn و همکاران (۲۰۰۵a) با استفاده از رابطه چند جزئی نزولی تغییریافته، رابطه دیگری ارائه کردند که در آن کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری را باز به‌صورت غیرخطی یا سیگموئیدی بود (رابطه ۳). پارامتر s در این رابطه شیب منحنی است که از قدر مطلق مشتق تغییرات عملکرد نسبی به تغییرات شوری محیط (|dY/dEC|) به‌دست می‌آید. همچنین، عبارت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

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 بنابراین داشتن شاخصی برای مقایسه تحمل به شوری گیاهان می‌تواند مفید باشد (Steppuhn *et al*., 2005a; Steppuhn *et al*., 2005b). براساس پارامتر غیرخطی EC_{50} و s، شاخص ST-index به‌عنوان معیاری برای مقایسه تحمل به شوری پیشنهاد شده است (رابطه ٤).

$$ST\text{-}index = EC_{50} + s . EC_{50} \quad \text{(رابطه ٤)}$$

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 است. نظر به اینکه تاکنون حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد دانه شنبلیله مشخص نشده است، این تحقیق با هدف تعیین شاخص تحمل به شوری، حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد با استفاده از مدل‌های تجربی خطی و غیرخطی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور تعیین حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله توده اصفهانی و ارزیابی واکنش آن به تنش شوری با استفاده از مدل‌های تجربی تحت شرایط گلخانه‌ای انجام شد. بذرهای شنبلیله در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۰ و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر پر شده با خاک دارای بافت لومی شن در عمق دو سانتی‌متری در سی‌ام آذرماه ۱۳۹٦ در گلخانه مرکز ملی تحقیقات شوری در یزد کاشت شد. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ درج شده است.

گلدان‌ها پس از پرشدن با خاک به درون گلخانه تحقیقاتی (دمای حداکثر ۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای حداقل ۲۰ درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند. در طول دوره رشد، متوسط دما و رطوبت به‌ترتیب ۲۲/۵°C و ٦۰٪ بود. قبل از کاشت، با توجه به شوری بالای خاک (۱۱/۹۱ دسی‌زیمنس بر متر)، عملیات آبشویی با آب غیرشور (دارای هدایت الکتریکی ۳۷۵ میکروموس بر سانتی‌متر) جهت شستشوی املاح اضافی از منطقه توسعه ریشه و سبزشدن یکنواخت و مناسب بذور، انجام گرفت، به‌طوری‌که شوری عصاره اشباع خاک پس از آبشویی به ۳/۸۱ دسی‌زیمنس بر متر تقلیل یافت. پس از کاشت، آبیاری گلدان‌ها با آب غیرشور تا مرحله پنج برگی انجام و سپس تیمارهای شوری اعمال گردیدند. تیمارهای مورد نظر شامل هفت سطح شوری (۰/۵، ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۰، ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بودند که از طریق اختلاط آب شور زیرزمینی (با هدایت الکتریکی ۱٤ دسی‌زیمنس بر متر) و آب غیرشور تأمین گردید. در جدول ۲ مشخصات تجزیه شیمیایی آب شور مورد استفاده ارائه شده است.

برای تخمین کسر آبشویی از روش ارائه شده توسط Ayers و Westcot (۱۹۸۹) کمک گرفته شد. در این تحقیق، تیمارهای شوری با درنظرگرفتن ۳۰ درصد کسر آبشویی برای شستشوی املاح و جلوگیری از تجمع آن‌ها و متعاقباً افزایش شوری در منطقه توسعه ریشه اعمال گردید. اعمال تیمار شوری به‌صورت تدریجی انجام گرفت تا از ایجاد شوک ناگهانی به گیاهان جلوگیری شود. آبیاری گلدان‌ها با توجه به تغییرات وزن آن‌ها و نیاز آبشویی تا رسیدن به ظرفیت زراعی بود. برای این منظور، ضمن اندازه‌گیری وزن خاک خشک گلدان (٤۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد)، میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحات فشاری (pressure plate apparatus، مدل ۱۵۰۰، ساخت شرکت soil moisture، امریکا)، اندازه‌گیری شد. به‌منظور کنترل شوری خاک و جلوگیری از افزایش شوری در منطقه توسعه ریشه، عملیات آبیاری گلدان‌ها در هنگام نیاز و به مقدار معین انجام شد. قبل از هر آبیاری، برای کنترل دقیق‌تر شوری خاک و اطمینان از تجمع بیش از حد نمک در خاک، میزان شوری خاک با نصب سنسورهای کالیبره شده مخصوص اندازه‌گیری شوری خاک در عمق خاک گلدان توسط دستگاه سنجش شوری خاک (soil salinity

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده قبل از آبشویی

ویژگی	واحد	نماد	مقدار	ویژگی	واحد	نماد	مقدار
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	EC	۱۱/۹۱	نسبت جذب سدیم	–	SAR	۷/۳۷
واکنش خاک	–	pH	۷/٤۸	مواد آلی	درصد	O.M.	۰/۰۲
کربنات	میلی اکی والان در لیتر	CO_3^{-2}	۰/۰۰	کربن آلی	درصد	O.C.	۰/۰۱
بی‌کربنات	میلی اکی والان در لیتر	HCO_3^-	۱/۲۱	نیتروژن کل	درصد	T.N.	۰/۰۰۱
کلر	میلی اکی والان در لیتر	Cl^-	٦۱/۸	فسفر قابل جذب	قسمت در میلیون	P_{av}	٦/٦٤
سولفات	میلی اکی والان در لیتر	SO_4^{2-}	٦٦/٥٤	پتاسیم قابل جذب	قسمت در میلیون	K_{av}	۱٥٥
کلسیم	میلی اکی والان در لیتر	Ca^{2+}	٦۱/۱	شن	درصد	Sand	۸۰/۳٦
منیزیم	میلی اکی والان در لیتر	Mg^{2+}	۲۱/۱۸	سیلت	درصد	Silt	۸/٦٤
سدیم	میلی اکی والان در لیتر	Na^+	٤۷/۳	رس	درصد	Clay	۱۱
پتاسیم محلول	میلی اکی والان در لیتر	K^+	ناچیز	بافت خاک	–	Texture	لومی شن

جدول ۲- تجزیه شیمیایی آب شور مورد استفاده

EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	آنیون (میلی‌الی والان در لیتر)				کاتیون (میلی‌الی والان در لیتر)				نسبت جذب سدیم
		CO^{-2}_3	HCO_3	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
۱٤	۸/۲٦	۰/۹۲	۱/۹۸	۱۸٤/٥	۲۲/۳٦	۲۲/۱۹	٤۲/۸۱	۱٤۱	۰/٤۱	۲٤/۷۳

bridge، مدل ٥٥۰۰، ساخت شرکت soil moisture، امریکا)، تعیین گردید.

حجم و هدایت الکتریکی آب آبیاری و نیز آب زهکش شده در تمام عملیات آبیاری برای هر یک از تیمارها، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه EC متر پرتابل (مدل LF318، ساخت شرکت WTW، آلمان) استفاده شد. در این تحقیق مجموع دفعات آبیاری و کل حجم آب مصرفی در طول آزمایش برای تمام سطوح شوری یکسان نبود، به‌طوری‌که در سطوح پایین شوری گیاهان آب بیشتر و با فاصله کمتری دریافت می‌کردند، اما به‌تدریج با افزایش شوری آب آبیاری، میزان حجم آب مصرفی و دفعات آن کاهش می‌یافت. در پایان آزمایش، از خاک هر یک از تیمارهای شوری نمونه خاک از عمق توسعه ریشه توسط مینی‌اگر مخصوص برای تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک گرفته شد.

با توجه محدودیت حجم خاک گلدان و عدم امکان نمونه‌گیری متعدد از آن در طول فصل رشد، اگر چه نمونه‌گیری از خاک تنها در انتهای فصل رشد انجام گردید، ولی پایش متعدد و منظم میزان شوری خاک قبل از هر آبیاری با استفاده سنسورهای مخصوص دستگاه سنجش شوری خاک و نیز اندازه‌گیری حجم آب زهکشی و هدایت الکتریکی آن بیانگر کنترل مطلوب شوری خاک بود. در جدول ۳، کل حجم آب مصرفی و متوسط شوری عصاره اشباع خاک در عمق توسعه ریشه که گیاه در طول فصل رشد با آن مواجه بوده درج گردیده است.

گیاهان برای مدت شش‌ماه در گلخانه رشد کرده و سپس در آخر خردادماه همزمان با رسیدگی بذرها، جهت اندازه‌گیری‌های مورد نظر برداشت شدند. پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی در داخل پاکت‌های مخصوص قرار گرفته و جهت اندازه‌گیری‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. صفاتی که در این تحقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت شامل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

جدول ۳- هدایت الکتریکی آب آبیاری، حجم آب مصرفی و متوسط شوری عصاره اشباع خاک

ردیف	هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)	کل حجم آب مصرفی (لیتر)	متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر)		
			تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳
۱	۰/۵	۷۵/۰۱	۱/٤٦	۱/۳۷	۱/۳۷
۲	۲	٦۲/۹۹	۳/۵۲	۳/٤۸	۳/۵۷
۳	٤	۵٤/۰۱	۵/٤۰	۵/٤۵	۵/٤۳
٤	٦	٤۷/۸۸	۷/۱۵	٦/۹۷	۷/۳۰
۵	۸	۳۷/۳۸	۹/۳٦	۸/۸۲	۹/۳٦
٦	۱۰	۳۲/۳٤	۱۰/٦۹	۱۰/۷۰	۱۰/٤۱
۷	۱۲	۳۰/۲٤	۱۱/۵۱	۱۱/۵٦	۱۱/٦۲

طول نیام، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه پر در بوته، نسبت دانه پر به پوک، درصد دانه پوک، وزن نیام، وزن کاه، وزن خشک اندام هوایی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب بود. کارآیی مصرف آب از طریق تقسیم وزن خشک اندام هوایی بر مقدار آب آبیاری مصرفی در کل دوره رشد محاسبه شد. در این تحقیق همچنین، مقدار تریگونلین و آلکالوئید کل بذرهای رسیده پس از برداشت در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد.

برای سنجش آلکالوئید کل، ۱۰۰ گرم پودر بذر با متانول توسط دستگاه سوکسله برای مدت ۲٤ ساعت عصاره‌گیری شد. عصاره حاصله پس از صاف‌شدن در دستگاه روتاری قرار گرفت و متانول آن در دمای ٤۵ درجه سانتی‌گراد در خلاء تبخیر گردید. بخش باقیمانده با استفاده از HCl حل شده و ۱ ml آن به قیف دکانتور منتقل و سه بار با ۱۰ ml کلروفرم شستشو داده شد. سپس، ۵ ml محلول برموکرزول سبز (BCG) و ۵ ml بافر فسفات به آن افزوده و ضمن شیکرشدن توسط ٤ ml کلروفرم عصاره‌گیری گردید و در بالن ژوژه توسط کلروفرم به حجم ۱۰ ml رسانده شد. جذب کمپلکس کلروفرمی حاصله با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد غلظت‌های مختلف آتروپین (صفر، ۰/۲، ۰/٤، ۰/٦، ۰/۸، ۱، ۱/۲ mg/l) مورد استفاده قرار گرفت (Shamsa *et al.*, 2008).

برای تعیین مقدار تریگونلین دانه از تلفیقی از روش ارائه‌شده توسط Zheng و Ashihara (۲۰۰٤) و Danesh Talab و همکاران (۲۰۱٤) با اندکی تغییرات استفاده شد. در این روش، مقدار ۳ گرم پودر بذر با استفاده از متانول ۸۰٪ و MgO رفلکس شده و پس از ۳۰ دقیقه انکوباسیون در دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد با دور ٤۰۰۰g سانتریفوژ گردید. پس از جمع‌آوری فاز بالایی و تبخیر متانول آن توسط روتاری، عصاره متانولی حاصله در آب‌مقطر حل شده و پس از فیلتراسیون، جهت تعیین تریگونلین با استفاده از دستگاه HPLC-UV2070 (شرکت Jasco، ژاپن) مورد استفاده قرار گرفت. فاز متحرک شامل متانول ۷۰٪ با سرعت ثابت ml/min ۱ در طول ستون C18 بود. برای تعیین مقدار تریگونلین، غلظت‌های مختلف ۱۰-۵۰mg/l از استاندارد تریگونلین خالص تهیه و مقدار ۲۰µl آن به دستگاه تزریق و کروماتوگرام آن در طول‌موج ۲۷٦ نانومتر در زمان بازداری (T_R) ۵/۸ دقیقه ظاهر شد. با محاسبه سطح زیر منحنی پیک توسط نرم‌افزار BORWIN، مقدار تریگونلین نمونه‌های مختلف تعیین و بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک بذر محاسبه گردید.

طرح آماری مورد استفاده به‌صورت بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. داده‌های جمع‌آوری شده این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد آنالیز آماری قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها پس از اطیمنان از معنی‌داربودن F در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

نتایج

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه نشان داد که از نظر آماری تفاوت بسیار معنی‌داری بین سطوح مختلف شوری وجود داشت و اثر شوری بر تمام صفات اندازه‌گیری شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤).

نتایج نشان داد که اعمال تیمار شوری به‌طورکلی موجب کاهش طول میوه نیام شنبلیله گردید. افزایش شوری تا سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش غیرمعنی‌دار طول نیام به مقدار ۳/۵ درصد گردید. شوری در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر، طول نیام را حدود ۱۱ درصد به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح ٤ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر و نیز سطوح ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر از نظر تأثیر بر طول نیام مشاهده نشد. شوری در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر طول نیام را به اندازه ۱۸/۵۸ درصد نسبت به شاهد کاهش داد که بجز سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر با سایر سطوح شوری معنی‌دار بود. براساس نتایج حاصله بیشترین مقدار کاهش طول نیام نسبت به شاهد (۳٤ درصد) از اعمال بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌دست آمد که این کاهش نسبت به همه سطوح شوری از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱).

تأثیر شوری بر تعداد دانه در نیام در شکل 2A نشان داده شده است. اعمال شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری از نظر تعداد دانه در نیام ایجاد نکرد، اما در سطوح بالاتر، موجب کاهش بیشتر گردید. شوری در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار ٦/۹ درصد در تعداد دانه نسبت به شاهد شد. براساس نتایج، تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری ۲ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر و نیز بین سطوح ٤ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر از نظر تعداد دانه وجود نداشت. همچنین، شوری در سطوح ٦، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر مشابهی بر تعداد دانه در نیام نشان داد. بیشترین مقدار کاهش تعداد دانه در نیام (۲۹/۷۳ درصد نسبت به شاهد) از اعمال بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) حاصل گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری در تعداد نیام در بوته نسبت به تیمار شاهد ایجاد نکرد، ولی در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر تعداد آن را به‌شدت کاهش داد (۳۷/۹ درصد نسبت به شاهد و ۳٤/۸۷ درصد نسبت به سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر). اعمال شوری در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش بیشتر تعداد نیام در بوته گردید (٤۸/۹٤ درصد نسبت به شاهد) که نسبت به سطح شوری پایین‌تر نیز معنی‌دار بود، ولی نسبت به سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نگردید. اگر چه اعمال سطوح پایین شوری (بالاتر از ٤ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش شدیدی در تعداد نیام در بوته ایجاد کرد، ولی با اعمالسطوح بالاتر شوری، تعداد نیام در بوته با شیب به مراتب کمتری کاهش یافت به‌طوری‌که تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح شوری ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از نظر تأثیر بر تعداد نیام در بوته مشاهده نشد (شکل 2B).

تأثیر شوری بر تعداد کل دانه در بوته شنبلیله در شکل 3A نشان داده شده است. علیرغم اینکه شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر تغییر معنی‌داری در تعداد دانه در بوته ایجاد نکرد، ولی در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش شدید تعداد دانه در بوته به میزان ٤۲/۱۳ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. با افزایش سطوح بالاتر شوری، تعداد دانه در بوته کاهش بیشتری پیدا کرد، به‌طوری‌که اعمال شوری در سطوح ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تعداد دانه در بوته را به‌ترتیب به میزان ٥٤/٦۸ و ٦۳/۲٤ درصد کاهش داد. بیشترین مقدار کاهش تعداد دانه در بوته به میزان ۷٥/۸٦ درصد از اعمال بالاترین سطح شوری به‌دست آمد. با این وجود، تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از نظر تعداد دانه در بوته مشاهده نشد.

نتایج نشان داد که تنش شوری ضمن اینکه تعداد کل دانه در بوته را کاهش داد موجب کاهش تعداد دانه پر در بوته نیز گردید. همان‌طور که در شکل 3B نشان داده شده است، شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر تعداد دانه پر در بوته را به‌طور معنی‌داری به میزان ۱۰ درصد نسبت به شاهد کاهش داد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

جدول ٤- تجزیه واریانس برای میانگین مربعات صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده

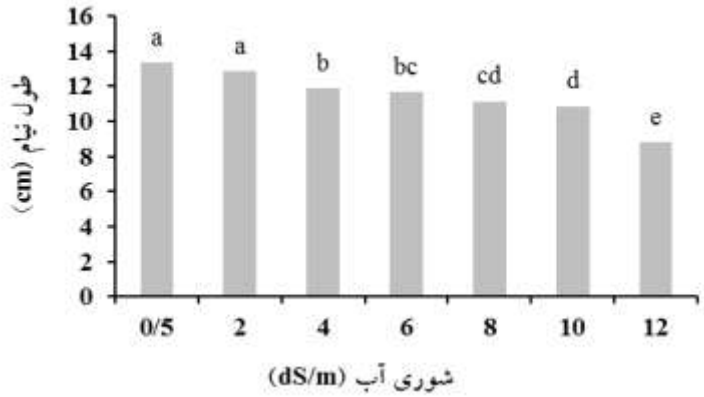
منابع تغییر	درجه آزادی	طول نیام	تعداد دانه در نیام	تعداد نیام در بوته	تعداد دانه در بوته	تعداد دانه پر در بوته	نسبت دانه پر به پوک	درصد دانه پوک	وزن نیام در بوته
تکرار	۲	۰/۰۰۰۲۳^{ns}	۰/۰۸٦۱۹^{ns}	٤/۱۰۰٥*	۱۲۲٦/٥۳*	۹٦۱/۲۳*	۱/۸۰٥٤^{ns}	۸/۱۱۲٤^{ns}	۰/۲۳٤۲*
شوری	۹	٦/٦۱٤**	۹/٦٤٥**	٥۲/۸۷٤**	۲۱٥٤۲/۹۲**	۲۱۸۱٥/۹٥**	٥۱/۸۱۰**	٤۲۱/٥٥**	٤/٤۷٥**
خطا	۱۲	۰/۱۱۹٦	۰/۲۳۷۳	۰/٦٥۷٥	۲۰٦/۱٦۰	۲۰۳/٥۳٤	۰/۷۲۳۸	٤/٥۸۸٤	۰/۰٥۰۹
ضریب تغییرات		۳/۰۰۲	۲/۹۸۹	۸/۸۲۷	۹/۱٥۳	۱۰/٤۳۷	۱۱/۹۸۰	۱۲/٦٥٤	۱۰/٦۷٦

**: معنی‌دار در سطح ۱٪، *: معنی‌دار در سطح ٥٪، ^{ns}: غیرمعنی‌دار

ادامه جدول ٤-

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن کاه در بوته	وزن کل اندام هوایی	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	شاخص برداشت	کارآیی مصرف آب	آلکالوئید کل	تریگونلین
تکرار	۲	۰/۱٤۲٤۷^{ns}	۰/٥۸۰٥٦*	۱/٦۲۹٥*	۰/۱٤۹۳*	۸/٥۹۲۰^{ns}	۰/۰۱۷۱۸*	۳/۹۳٤٤^{ns}	٤٥۱٦/٤۸^{ns}
شوری	۹	۳/٥۱۸٦**	۱۳/۲٦۷**	۲۱/۲۸٥**	۳/۱۳۸**	۱٥۲/۸۰**	۰/۱۰٥۲**	۱۳۹/٤۹۱**	٤٦٤۷٦/٥**
خطا	۱۲	۰/۰٥۸٦	۰/۱۱٥٥	۰/۳۳۳۳	۰/۰۳٥۸	۱۱/٥۱۲	۰/۰۰٤۲	۳/٥٥۰۲	۷٥۹۰/۳۸
ضریب تغییرات		۹/۲٦۷	۸/۰۷۹۳	٤/٦۱٦	۱۱/۸۸۸	۹/٦٦٤	۱۲/۰۸٤	۱۰/٥٦۲	۱۰/٦۱٤

**: معنی‌دار در سطح ۱٪، *: معنی‌دار در سطح ٥٪، ^{ns}: غیرمعنی‌دار



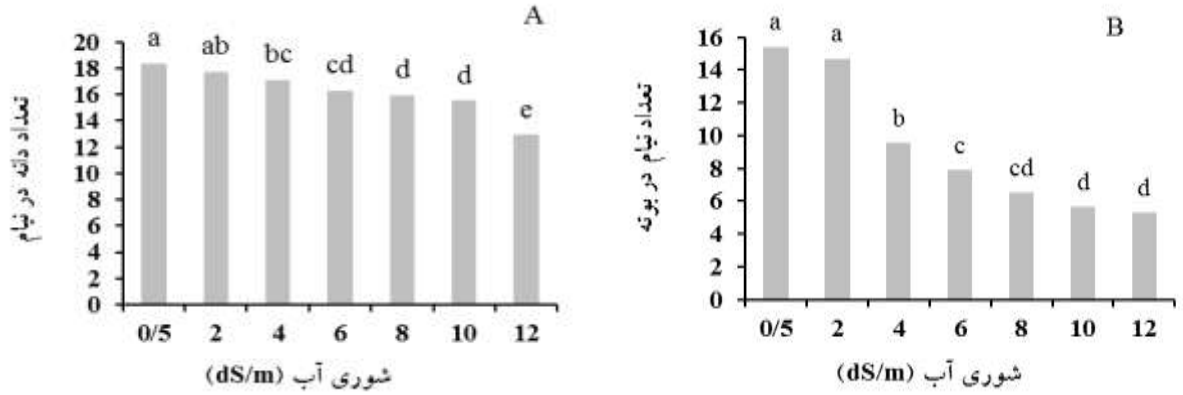
شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف شوری روی طول نیام شنبلیله. مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ٥٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

افزایش شوری موجب کاهش بیشتر گردید، به‌طوری‌که اعمال شوری در سطوح ٤ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر، تعداد دانه پر در بوته را به‌ترتیب به میزان ٤٤/٤٥ و ٥۷/۲۲ درصد کاهش داد. افزایش شوری در سطوح ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب موجب کاهش ٦۷/۳ و ۷۳/۸۸ درصد در تعداد دانه پر در بوته گردید. کمترین مقدار تعداد دانه در بوته از اعمال سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد.

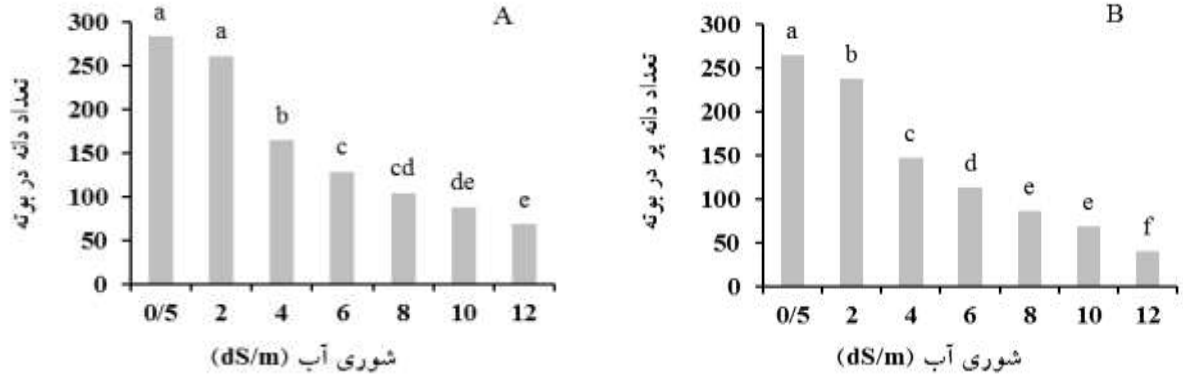
نتایج نشان داد که با افزایش شوری نسبت دانه پر به پوک کاهش یافت. شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت دانه پر به پوک را به میزان ۲٥/۳ درصد کاهش داد. اعمال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف شوری روی تعداد دانه در نیام (A) و تعداد نیام در بوته (B) شنبلیله. مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



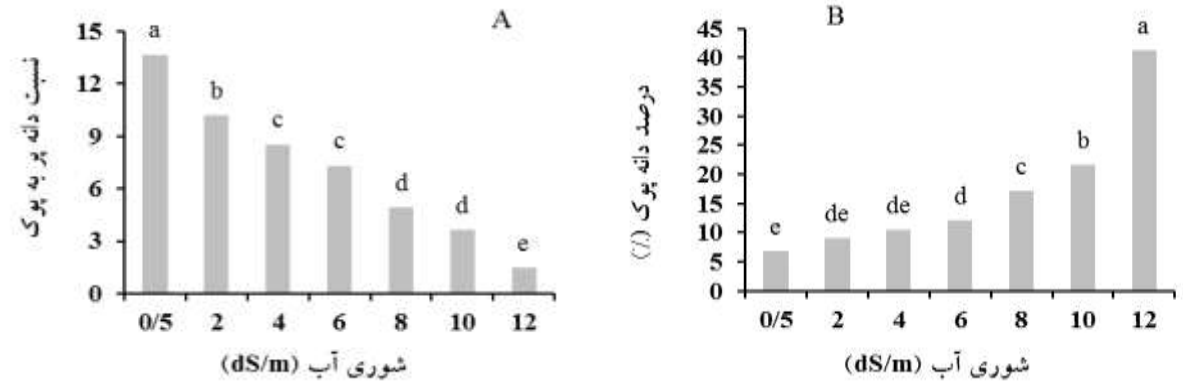
شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف شوری روی تعداد دانه در بوته (A) و تعداد دانه پر در بوته (B) شنبلیله. مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شوری در سطوح ٤ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت دانه پر به پوک را به‌ترتیب به مقدار ۳۷/۵ و ٤٦/٤ درصد نسبت به شاهد کاهش داد، اما تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. با افزایش تنش شوری نسبت دانه پر به پوک کاهش بیشتری پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش این نسبت از اعمال بالاترین سطح شوری حاصل شد (شکل ٤A).

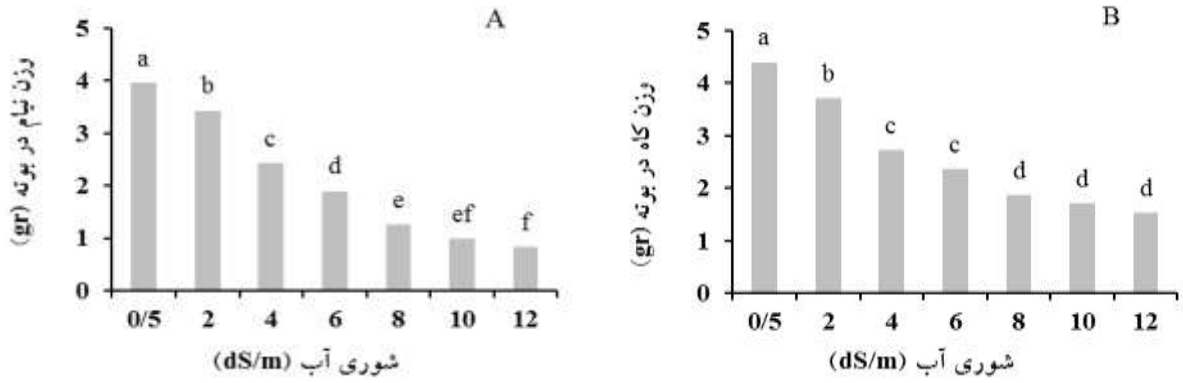
با افزایش شوری درصد دانه‌های پوک افزایش پیدا کرد، ولی این افزایش تا سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار نبود. اعمال شوری در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش درصد دانه پوک به میزان ۷۵ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید، هر چند که این افزایش نسبت به سطوح شوری ۲ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر غیرمعنی‌دار بود. با اعمال سطوح بالاتر شوری، درصد دانه‌های پوک افزایش بیشتری پیدا کرد، به‌طوری‌که شوری در سطوح ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، درصد دانه پوک را به‌ترتیب به میزان ۱٤۹ و ۲۱۵ درصد افزایش داد (شکل ٤B). همچنین، شوری در سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر درصد دانه‌های پوک را تقریباً پنج برابر نسبت به شاهد افزایش داد.

براساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۵A، شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر وزن نیام در بوته را به میزان ۱۳/٤٦ درصد کاهش داد. با افزایش تنش شوری، وزن نیام کاهش بیشتری پیدا کرد، به‌طوری‌که شوری در سطوح ٤ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۳۸/۵۷ و ۵۲/۱ درصد در وزن نیام نسبت به شاهد گردید. براساس نتایج حاصله، اعمال شوری در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]



شکل ٤- تأثیر سطوح مختلف شوری بر نسبت دانه پر به پوک (A) و درصد دانه پوک (B) در شنبلیله. مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ٥٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



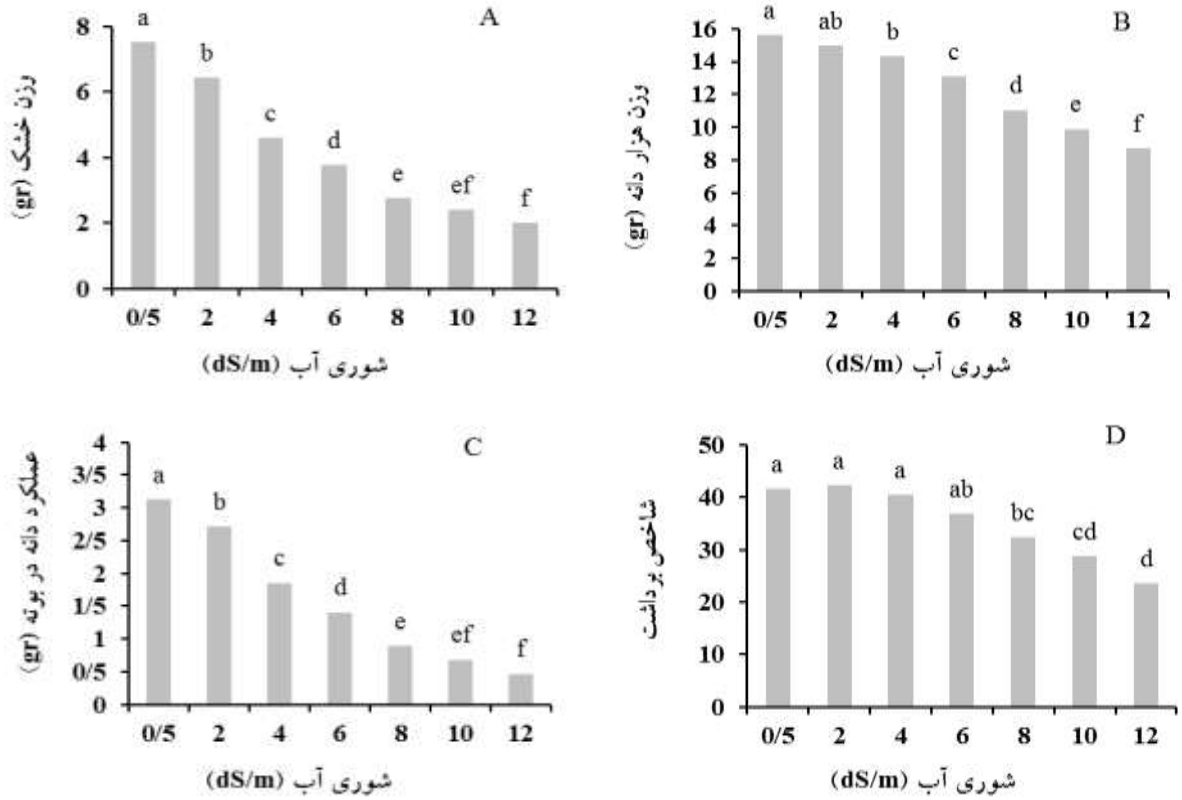
شکل ٥- تأثیر شوری روی وزن نیام (A) و وزن کاه در بوته (B) شنبلیله. مقایسI میانگین با آزمون دانکن در سطح ٥٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

سطوح بالاتر کاهش بیشتری در وزن نیام ایجاد کرد، به‌طوری که بیشترین مقدار کاهش وزن نیام (۷۹/۲۹ درصد نسبت به شاهد) از اعمال بالاترین سطح شوری حاصل گردید. همان‌طور که در شکل 5A نشان داده شده است کاهش وزن نیام ابتدا شدید بوده و سپس با آهنگ ملایم‌تری در سطوح بالای شوری دنبال شد.

براساس نتایج ارائه‌شده در شکل 5B، اعمال شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر وزن کاه را به میزان ۱۸/۳۸ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. شوری در سطوح ٤ و ٦ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب موجب کاهش ۳۷/۹۵ و ٤٦/٤ درصد در وزن کاه نسبت به تیمار شاهد گردید. براساس نتایج حاصله اگر چه شوری در سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش بیشتری در وزن کاه ایجاد کرد، ولی اعمال سطوح شوری بالاتر (۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) تأثیر معنی‌داری بر کاهش وزن کاه نسبت به سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نداشت. در واقع، اگر چه اعمال سطوح شوری پایین (۲ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر) تأثیر منفی شدیدی بر وزن کاه داشت، ولی در سطوح بالای شوری، کاهش وزن کاه با آهنگ به مراتب کندتری دنبال شد، به‌طوری‌که سطوح بالای شوری تأثیر مشابهی بر وزن کاه داشتند.

نتایج نشان داد شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک اندام هوایی را ١٤/٦٢ درصد و در سطح ٤ دسی زیمنس بر متر مقدار آن را به میزان ۳۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. اعمال شوری در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر حدود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]



شکل ٦- تأثیر شوری بر وزن خشک اندام هوایی (A)، وزن هزار دانه (B)، عملکرد دانه (C) و شاخص برداشت (D). مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۵۰ درصد کاهش در وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد ایجاد کرد. اگر چه اعمال سطوح شوری بالاتر، موجب کاهش بیشتر وزن خشک اندام هوایی شد، ولی این کاهش با آهنگ به مرتب کندتری همراه بود، به‌طوری‌که تفاوت آماری معنی‌داری بین سطح شوری ۸ و ۱۰دسی‌زیمنس بر متر و نیز بین ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از نظر تأثیر بر وزن خشک اندام هوایی مشاهده نگردید (شکل ٦A).

نتایج این تحقیق نشان داد که وزن هزار دانه در تیمار شاهد ۱۵/٦۱ گرم بود که اعمال شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر وزن هزار دانه را در شنبلیله به میزان ٤/۲۷ درصد کاهش داد. همان‌طور که در شکل ٦B نشان داده شده است، اعمال شوری در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار ۸/۳۷ درصد در وزن هزار دانه گردید افزایش شوری در سطوح ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، وزن هزار دانه را به‌ترتیب به میزان ۱٦/۲۳ و ۲۹/۲۲ درصد کاهش داد. بیشترین مقدار کاهش وزن هزار دانه به میزان ٤٤/۳ درصد نسبت به تیمار شاهد از اعمال سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد.

نتایج تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد دانه شنبلیله نشان داد که شوری عملکرد دانه را کاهش داد. این کاهش در ابتدا شدید بود، اما در سطح بالای شوری، با شدت کمتری دنبال شد (شکل ٦C). اعمال شوری در سطوح ۲ و ٤ دسی زیمنس بر متر، عملکرد دانه را به‌ترتیب به میزان ۱۳/۳٤ و ٤۰/٥٦ درصد کاهش داد. با ادامه افزایش شوری، عملکرد دانه کاهش بیشتری پیدا کرد، به‌طوری‌که اعمال شوری در سطوح ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ٥٤/۹۸ و ۷۱/٥۳ درصد گردید. همان‌طور که در شکل ٦C نشان داده شده است اعمال شوری در سطوح بالاتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر، موجب کاهش کندتر عملکرد دانه گردید. بیشترین مقدار کاهش عملکرد دانه به میزان ۸٤/۹۸ درصد نسبت به تیمار شاهد از شوری۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

آمد.

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری تا سطح ٦ دسی زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت شنبلیله نداشت، اما پس از آن شاخص برداشت به‌تدریج شروع به کاهش پیدا کرد (شکل ٦D). اعمال شوری در سطح ۸ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش شاخص برداشت به میزان ۲۲/٤ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید که با شاخص برداشت حاصل از سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که اعمال شوری در سطوح ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بدون‌داشتن اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، موجب کاهش شاخص برداشت دانه به‌ترتیب به میزان ۳۰/۷۱ و ٤۳/٤٤ درصد نسبت به تیمار شاهد شد.

نتایج نشان داد که کارآیی مصرف آب شنبلیله در تیمار شاهد ۰/۷۵ گرم بر لیتر بود که افزایش شوری تا سطح ۲ دسی زیمنس بر متر تغییر آماری معنی‌داری در کارآیی مصرف آب شنبلیله ایجاد نکرد. با این وجود، اعمال شوری در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر، کارآیی مصرف آب را به میزان ۱۷/٤٥ درصد کاهش داد (شکل ۷). شوری در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر کارآیی مصرف آب را به میزان ۲۹/٤۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد، ولی این کاهش نسبت به سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر و نیز سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار نبود. اعمال شوری در سطح ۱۰ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش بیشتر کارآیی مصرف آب شد، هر چند که این کاهش با کارآیی مصرف آب در سطح ۸ دسی زیمنس بر متر معنی‌دار نبود. کمترین مقدار کارآیی مصرف آب (۰/۲۸ گرم بر لیتر) از اعمال بالاترین سطح شوری به‌دست آمد که نسبت به شاهد ٤۷ درصد کاهش نشان داد (شکل ۷).

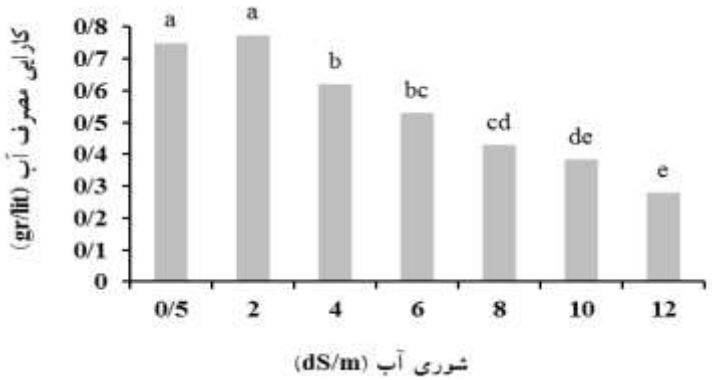
نتایج نشان داد که اعمال شوری در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش معنی‌دار آلکالوئید دانه به میزان ۳۹/۰۳ درصد گردید. شوری در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش بیشتر آلکالوئید دانه شد. با افزایش بیشتر شوری، آلکالوئید دانه افزایش بیشتری پیدا کرد، به‌طوری‌که اعمال شوری در سطوح ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر آلکالوئید دانه به‌ترتیب به میزان ۱۵۲/۵٤ و ۲٤۱/٤۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش شوری در سطوح بالاتر از ۸ دسی زیمنس بر متر، برخلاف انتظار موجب کاهش آلکالوئید دانه گردید، به‌طوری‌که اعمال شوری در سطوح ۱۰ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر، آلکالوئید کل دانه را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۳٦/۲٤ و ۳۳/۱۵ درصد نسبت به شوری ۸ دسی زیمنس بر متر کاهش داد (شکل ۸A). نتایج همچنین نشان داد که سطوح شوری ٦، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر مشابهی بر میزان آلکالوئید کل دانه داشتند. بیشترین مقدار آلکالوئید کل دانه از سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد.

نتایج نشان داد روند تأثیر شوری بر تریگونلین دانه تا اندازه‌ای مشابه تأثیر آن بر تغییر آلکالوئید کل دانه بود. افزایش شوری موجب افزایش میزان تریگونلین دانه شد، اما این افزایش تا سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود. همان طور که در شکل ۸B نشان داده شده است، اعمال شوری در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش معنی‌دار ۲۷/۷۲ درصد تریگونلین دانه نسبت به شاهد شد. با ادامه تنش شوری، میزان تریگونلین دانه برخلاف سطوح قبلی شروع به کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که اعمال شوری در سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر مقدار تریگونلین را به‌طور معنی‌داری به اندازه ۱۸/٤۹ درصد نسبت به سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داد. شوری در سطوح ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۹/٤٤ و ۳۷/۱۹ درصد تریگونلین نسبت به سطح شوری ٦ دسی زیمنس بر متر گردیدند. مقدار تریگونلین دانه حاصل از اعمال سطوح بالای شوری ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر حتی از تیمار شاهد نیز کمتر بود، اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار تریگونلین دانه (۱۰۱٤/۵ µgr/gr) مربوط به سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر بود که با مقدار تریگونلین دانه حاصل از سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری مشابه بود (شکل ۸B).

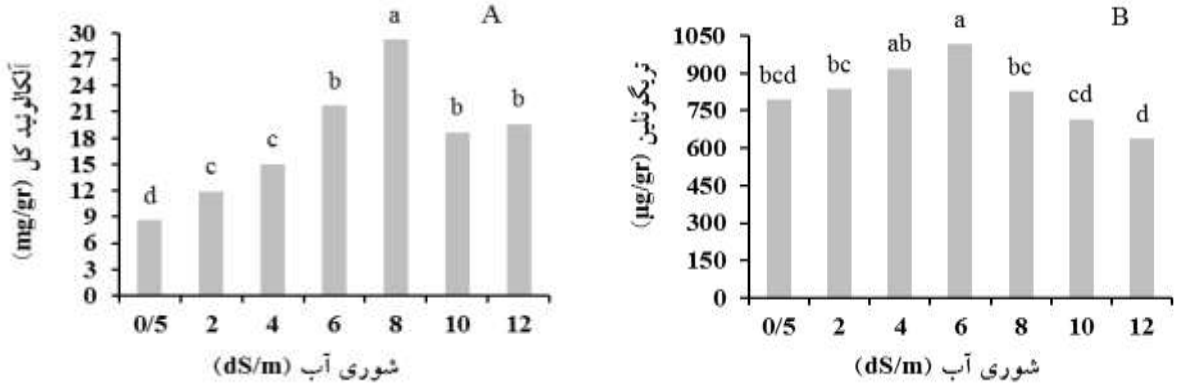
در این تحقیق از مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی تحمل به شوری شنبلیله استفاده شد. برای این منظور از صفت عملکرد دانه برای بررسی واکنش تحمل به شوری استفاده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]



شکل ۷- تأثیر سطوح مختلف شوری بر کارآیی مصرف آب شنبلیله. مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



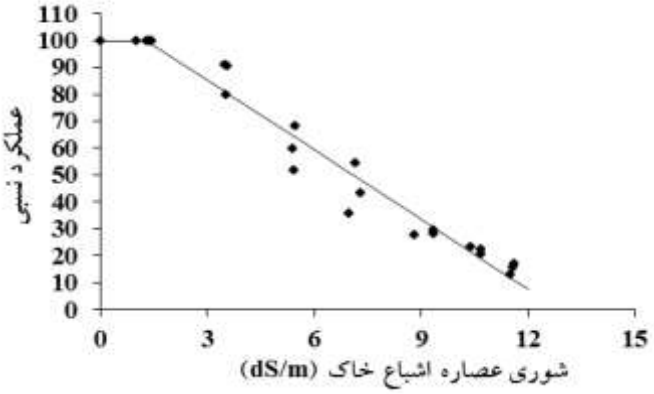
شکل ۸- تأثیر سطوح مختلف شوری بر تغییرات آلکالوئید کل (A) و تریگونلین (B) دانه شنبلیله. مقایسI میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ بوده و میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۵- روابط برازش داده‌شده برای واکنش شنبلیله به شوری با استفاده از مدل‌های تجربی

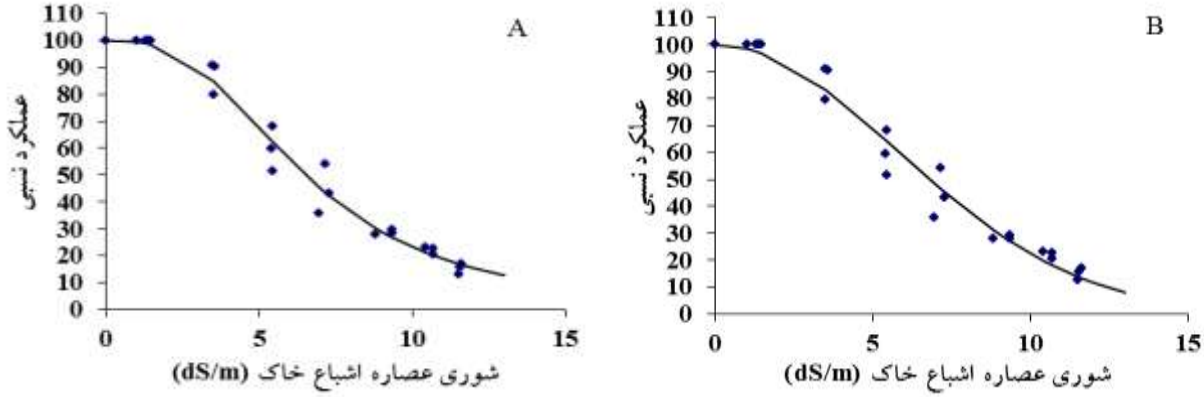
نوع مدل	رابطه مرجع	رابطه برازش داده شده	مرجع
مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-l*(EC-a_0)$	$Y=100-1.30*(EC-8.64)$	Maas and Hoffman, 1977
مدل سیگموئیدی	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{P}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{6.51}\right)^{2.79}}$	Van Genuchten and Hoffman, 1984
مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{EC_{50}}\right)^{\exp(s*EC_{50})}}$	$Y=\frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC}{6.51}\right)^{\exp 1.027}}$	Steppuhn, Van Genuchten and Grieve, 2005a
مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	$Y=100*\exp[-0.00022(EC)-0.0149(EC)^2]$	Wang *et al*., 2002

مطابق با مدل خطی ارائه‌شده توسط Maas و Hoffman (۱۹۷۷) و روابط مندرج در جدول ۵، مقدار حد آستانه (a_0) و شیب کاهش عملکرد (l) براساس مدل خطی به‌ترتیب برابر ۱/۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و ۸/٦٤ درصد برآورد گردید. این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]



شکل ۹- تغییرات عملکرد نسبی دانه به شوری عصاره اشباع خاک مطابق با مدل خطی



شکل ۱۰- پیش‌بینی عملکرد نسبی دانه مطابق با مدل‌های غیرخطی. سیگموئیدی (A)، نمایی (B)

بدان معنی است که مطابق با مدل خطی میزان عملکرد نسبی دانه شنبلیله تا ۱/۳۰ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۱۰۰ درصد بوده، اما در شوری‌های بالاتر از آن به‌تدریج عملکرد دانه شروع به کاهش پیدا می‌کند، به‌طوری‌که مقدار کاهش عملکرد دانه معادل ۸/٦٤ درصد به‌ازای هر واحد افزایش شوری خاک است. بر این اساس، مطابق با مدل خطی، کاهش عملکرد نسبی دانه به میزان ۱۰ درصد در شوری عصاره اشباع خاک ۲/٤٦ دسی‌زیمنس بر متر و کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب در شوری خاک ٤/۱۹ و ۷/۰۹ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق می‌افتد. همچنین، عملکرد نسبی دانه در شوری خاک ۱۲/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر به صفر خواهد رسید.

سایر مدل‌های ارائه‌شده در جدول ۵، واکنش شنبلیله به شوری را به‌صورت غیرخطی پیش‌بینی می‌کنند. بر این اساس در مدل‌های غیرخطی همراه با افزایش هر سطح شوری، میزان عملکرد دانه به‌صورت تدریجی از همان ابتدا به‌طور سیگموئیدی و یا نمایی شروع به کاهش یافتن می‌کند (شکل ۹). براساس مدل غیرخطی ارائه‌شده توسط Van Genuchten و Hoffman (۱۹۸٤)، کاهش ۱۰ و ۲۵ درصدی در عملکرد نسبی دانه به‌ترتیب در شوری عصاره اشباع خاک ۲/۹٦ و ٤/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر رخ می‌دهد. همچنین، مقدار شوری که در آن عملکرد نسبی دانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC_{50}) معادل ٦/۵۱ دسی‌زیمنس بر متر است (جدول ۵ و شکل ۱۰).

براساس نتایج، در شکل دیگری از مدل سیگوئیدی که در آن منحنی واکنش به شوری را به‌صورت نمایی پیش‌بینی شده است (Wang *et al.*, 2002)، افزایش شوری خاک در ۲/٦۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش عملکرد نسبی دانه به میزان ۱۰درصد شد. همچنین، شوری خاک در ٤/۳۸ و ٦/۸۱ دسی-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

زیمنس بر متر منجر به کاهش عملکرد نسبی دانه به ترتیب به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد خواهد گردید (جدول ۵ و شکل ۱۰). براساس رابطه چند جزئی نزولی تغییریافته که شکل دیگری از مدل سیگموئیدی می‌باشد، کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری را به‌صورت غیرخطی نشان می‌دهد. در این رابطه، پارامتر s شیب منحنی می‌باشد که از قدر مطلق مشتق تغییرات عملکرد نسبی به تغییرات شوری محیط (|dY/dEC|) به‌دست می‌آید. در این رابطه، عبارت نمایی ($s . EC_{50}$) میزان برآمدگی و یا فرورفتگی دو طرف منحنی را نسبت به EC_{50} نشان می‌دهد. براساس پارامتر غیرخطی EC_{50} و s، شاخص تحمل به شوری (ST-index) به‌عنوان معیاری برای مقایسه تحمل به شوری پیشنهاد شده است. در این تحقیق، مقدارEC_{50} و ضریب s به‌ترتیب ٦/٥١ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۱۵۸ به‌دست آمد. با قراردادن این اعداد در رابطه (٤)، شاخص تحمل به شوری (ST-index) برای شنبلیله ۷/٥٤ محاسبه گردید.

بحث

معمولاً حساس‌ترین پاسخ به شوری کاهش رشد است که این کاهش در ارتفاع گیاه و عملکرد زیستی منعکس می‌شود. کاهش ارتفاع گیاه به‌علت کاهش رشد طولی سلول‌هاست. تنش شوری در ابتدا رشد سلول‌های گیاهی را از طریق اثر بر روی فشار تورژسانس سلول تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش فشار تورژسانس در اثر شوری مهم‌ترین عامل بازدارندگی رشد گیاهان تحت شرایط شور شناخته شده است (Mirmohammadi Meybodi and Qreyazi, 2002; Volkmar *et al.*, 1997). سازوکارهایی که شوری رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد به مقیاس زمانی‌که گیاه در معرض شوری قرار گرفته است بستگی دارد. شوری طی یک فرایند دو مرحله‌ای باعث کاهش رشد می‌گردد (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷). در اولین مرحله، شوری ظرفیت جذب آب توسط گیاه را از طریق پایین بردن پتانسیل آب خاک کاهش داده و بنابراین موجب کاهش رشد شده که می‌تواند تا هفته‌ها به طول بیانجامد. به‌دنبال آن در دومین مرحله آسیب واقعی نمک اتفاق می‌افتد. در این مرحله، نمک جذب‌شده از خاک نمی‌تواند در بخش‌های مختلف توزیع شود. این غلظت‌های بالای نمک می‌تواند تا سرحد مرگ در درون بافت‌های گیاهی تجمع‌یافته و درنهایت به مرگ آن‌ها منجر گردد (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). بنابراین، تنش شوری با سه مؤلفه کمبود آب، سمیت یونی و عدم تعادل عناصر غذایی رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (Hagemeyer, 1997).

اغلب تولید ماده خشک برای مشخص ساختن واکنش گیاه به شوری بکار می‌رود. از آنجا که محتوای آبی گیاه در شرایط تنش متفاوت است، تولید ماده خشک به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی اثرات شوری در گیاه بکار می‌رود (Hagemeyer, 1997). کاهش عملکرد زیستی یا ماده خشک در اثر تنش شوری ناشی از کاهش جذب آب، کاهش تعرق، کاهش سطح برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و فراورده‌های فتوسنتزی است (Hagemeyer, 1997). همچنین، بنا به اعتقاد Tester و Davenport (۲۰۰۳)، ساخت پروتئین و آنزیم مستلزم وجود غلظت‌های بالایی از پتاسیم است، اما، در تنش شوری حضور مقادیر بالای یون‌های سدیم به‌جای پتاسیم موجب اختلال در الگوی پروتئین‌سازی و رشد شده که یکی از آسیب‌های مهم تنش شوری در گیاهان است (Tester and Davenport, 2003).

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری در مجموع موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک نیام، تعداد نیام و طول نیام گردید. این کاهش با افزایش شوری شدت بیشتری یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار کاهش در از اعمال بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) حاصل گردید. این نتایج با نتایج ارائه‌شده توسط ناصری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. این محققین گزارش کردند که در شنبلیله با افزایش شوری وزن خشک اندام هوایی و میوه نیام کاهش پیدا کرد. بنا به گزارش ارچنگی و همکاران (۱۳۹۱) با افزایش شوری وزن خشک اندام هوایی شنبلیله به‌تدریج کاهش پیدا کرد، به‌طوری که بیشترین مقدار کاهش در غلظت ۱٦۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (تقریباً معادل ١٦ دسی‌زیمنس بر متر) آب آبیاری حاصل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

گردید. در تأیید نتایج فوق، فرهادی و همکاران (۱۳۹٤) نیز گزارش کردند که با افزایش شوری وزن خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک میوه نیام و تعداد میوه در بوته کاهش یافت. نتایج مشابهی از تأثیر منفی شوری بر وزن میوه نیام شنبلیله توسط آرویی و همکاران (۱۳۹۳) منتشر شد. گزارش شده است که اعمال تنش شوری ۱۰ گرم در لیتر حاصل از منبع NaCl موجب کاهش شدید تعداد میوه در بوته به مقدار ۹۷/۵ درصد و تعداد بذر در میوه به مقدار ۹۰ درصد گردید. این کاهش به عدم توازن یونی، کاهش سطح برگ، تجمع املاح، کاهش فعالیت فتوسنتزی و متعاقباً کاهش تولید فراورده‌های مورد نیاز جهت رشد و تشکیل میوه و دانه نسبت داده شد (Soughir *et al.*, 2013).

شوری می‌تواند بسیاری از فرایندهای مربوط به رشد زایشی که مرتبط با عملکرد دانه است را مختل نموده و به نمو گیاه صدمه وارد سازد. تنش شوری از طریق کاهش قدرت زنده‌ماندن دانه گرده و کاهش قدرت جوانه‌زنی آن، باروری و پرشدن دانه را تحت تNثیر قرار داده و به کاهش عملکرد دانه منجر می‌شود (Mirmohammadi Meybodi and Qreyazi, 2002). در گندم یکی از علل کاهش عملکرد دانه، عقیم‌شدن قسمت انتهایی سنبله گزارش شده است. علاوه بر این، عامل دیگری که باعث کاهش عملکرد می‌گردد، تأثیری است که شوری بر اجزای عملکرد گذاشته و منجر به کاهش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌شود (رنجبر و بناکار، ۱۳۹۲). در جو، اثرات منفی شوری بر عملکرد دانه، وزن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله‌های عقیم و وزن هزار دانه گزارش شده است (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۹). گزارش شده است که در کلزا کاهش تعداد غلاف در بوته ممکن است ناشی از هورمون اسید آبسزیک باشد، زیرا بالا بودن این هورمون می‌تواند موجب مرگ دانه‌های گرده شده و بنابراین تعداد گل‌های لقاح‌یافته و درنهایت تعداد غلاف را کاهش دهد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۵). نشان داده شده است که تنش شوری در بادام زمینی موجب کاهش وزن خشک نیام شده است. همچنین، در برنج آبیاری با آب شور، کاهش تعداد دانه‌های گرده زنده را به‌دنبال داشته که به کاهش تعداد سنبله‌های بارور و کاهش عملکرد دانه منجر شده است (Hagemeyer, 1997). این نتایج با نتایج تحقیق حاضر که نشان داد در شنبلیله تنش شوری موجب کاهش تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه تعداد دانه‌های پر، عملکرد دانه و افزایش درصد دانه‌های پوک گردید، همخوانی و مطابقت دارد.

از طرف دیگر، نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال تنش شوری در مجموع موجب کاهش کارآیی مصرف آب گردید. در حقیقت، اعمال شوری در سطح پایین (۲ دسی‌زیمنس بر متر) کارآیی مصرف آب را به‌طور جزئی و غیرمعنی‌دار افزایش داد، ولی در سطوح بالاتر موجب کاهش معنی‌دار آن گردید. گزارش شده است که تنش شوری در سطوح پایین و متوسط به‌علت تأثیر روی بسته‌شدن روزنه‌ها و به‌دنبال آن کاهش تعرق موجب بهبود کارآیی مصرف آب می‌گردد، اما در شوری‌های بالا کارآیی مصرف آب را کاهش می‌دهد. با این‌حال، نشان داده شده است که درگلرنگ و یونجه شوری موجب کاهش کارآیی مصرف آب می‌گردد (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰). علت افزایش کارآیی مصرف آب در شوری‌های پایین، مصرف آب کمتر است، ولی در شوری‌های بالا مقدار عملکرد بیولوژیک بیشتر از مقدار آب مصرفی کاهش یافته و بنابراین کارآیی مصرف آب به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰).

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری در مجموع موجب افزایش تریگونلین و آلکالوئید کل بذر گردید، به‌طوری‌که با افزایش شوری مقدار آلکالوئید کل و تریگونلین افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار آلکالوئید و تریگونلین به‌ترتیب در سطح شوری ۸ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد و سپس با اعمال سطوح بالاتر شوری، به‌تدریج شروع به کاهش پیدا کرد. گفته می‌شود تنش‌های محیطی نظیر شوری مسیرهای تولید متابولیت‌های ثانویه را در گیاه القا می‌کنند. در میان متابولیت‌های ثانویه، آلکالوئیدها گروه مهمی را تشکیل می‌دهند. تولید این متابولیت‌ها، سازوکارهایی را برای مقابله با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

تنش یا تنظیم آن راه‌اندازی می‌کنند (Ahmed *et al.*, 2015). پیش‌ماده مسیرهای بیوسنتزی متابولیسم ثانویه فراورده‌های حاصل از متابولیسم اولیه هستند. نشان داده شده است که سطوح بالای شوری اثر مخربی بر متابولیسم گیاه داشته و موجب از بین‌رفتن هومئوستازی سلولی و عدم جفت‌شدن فرایندهای عمده فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌گردد. درنتیجه، فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و با کاهش فعالیت فتوسنتزی متعاقباً فراورده‌های فتوسنتزی مورد نیاز برای رشدونمو کاهش خواهد یافت (Hasanuzzaman *et al.*, 2013; Soughir *et al.*, 2013). گزارش شده است که در سویا و یونجه نیز غلظت تریگونلین برگ طی تنش شوری افزایش پیدا کرد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Cho *et al.*, 1999; Tramontano and Jouve, 1997). تریگونلین، برعکس گلیسین بتائین، در شرایط غیرتنش نیز در غلظت‌های بالا در برخی گیاهان تجمع می‌یابد. تصور می‌شود تریگونلین به‌عنوان یک اسمولیت سازگار در پاسخ به تنش شوری عمل کرده و احتمالاً در تنظیم اسمزی القاشده با NaCl، به‌ویژه چنانچه در بافت‌ها یا اندامک‌های خاصی انباشته شود، مشارکت داشته باشد. این تجمع هدفمند اسمولیت، مکانیسم حفاظتی مؤثری را به نمایش می‌گذارد که اجازه می‌دهد اندامک‌های سلولی در شرایط تنش زنده بمانند. از طرف دیگر، از آنجا که بیوسنتز تریگونلین مخزن S-آدنوزیل متیونین را کاهش می‌دهد، به‌عنوان کاهنده واکنش متیلاسیونی عمل کرده و بدین وسیله واکنش متیلاسیون DNA القاشده در اثر تنش اکسیداتیو را محدود می‌سازد (Cho *et al.*, 1999).

در این تحقیق از شاخص تحمل به شوری برای ارزیابی واکنش شنبلیله به شوری استفاده شد. شاخص تحمل به شوری معیار قابل اندازه‌گیری برای گیاهانی است که بتوانند EC_{50} بالای محیط را تحمل کنند. در محاسبه این شاخص از آزمایشاتی که Maas و Hoffman (۱۹۷۷) انجام دادند بهره گرفته شده است (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷). در بررسی شاخص تحمل به شوری گیاهان زراعی مختلف، Steppuhn و همکاران (۲۰۰۵a,b) با استفاده از روابط ریاضی، کاربردهای عملی این شاخص را برای بیش از صد گونه و رقم از گیاهان زراعی مختلف محاسبه و جمع‌آوری نمودند. آن‌ها شاخص تحمل به شوری برای یونجه، ذرت، نیشکر، گندم، برنج، سویا، آفتابگردان و سورگوم را به‌ترتیب ۹/۴۳، ٦/٥٦، ۱۰/٦۸، ۱٤، ۸/۰۸، ۹/۳٤، ۱٥/٤٦ و ۱۱/۸۹ گزارش کردند. همچنین، مقادیر متناظر EC_{50} برای گونه‌های زراعی فوق به‌ترتیب ۸/٤۹، ٥/٥٤، ۹/۸۰، ۱۲/٦۳، ٦/۸۳، ۷/۱٦، ۱٤/۳۷ و ۹/٥۷ دسی‌زیمنس بر متر بود.

مقایسه پارامترهای محاسبه‌شده شاخص تحمل به شوری و EC_{50} شنبلیله (به‌ترتیب ۷/٥٤، ٦/٥۱ دسی‌زیمنس بر متر) با مقادیر ارائه‌شده برای گونه‌های زراعی فوق می‌تواند تخمینی از تحمل به شوری شنبلیله به‌دست دهد. بر این اساس، اعداد شاخص تحمل به شوری و EC_{50} شنبلیله نزدیک به ذرت و برنج بوده و بنابراین احتمالاً از ذرت متحمل‌تر و از برنج حساس‌تر است. با این وجود، مطابق با مدل خطی ارائه‌شده توسط Maas و Hoffman (۱۹۷۷) که در آن گروه‌بندی گیاهان از نظر تحمل به شوری براساس اعداد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد است، می‌توان شنبلیله را در یکی از این گروه‌ها طبقه‌بندی کرد. با توجه به نتایج این تحقیق، بر اساس مدل خطی Maas و Hoffman (۱۹۷۷) حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله براساس عملکرد دانه معادل ۱/۳۰ دسی‌زیمنس بر متر با شیب کاهش عملکرد ۸/٦٤ درصد بود. با مکان‌یابی این اعداد در نمودار واکنش تغییرات عملکرد گیاهان به شوری (Ayers and Westcot, 1989)، شنبلیله را می‌توان از نظر عملکرد دانه در گروه گیاهان نسبتاً حساس (moderately sensitive) به شوری طبقه‌بندی نمود (شکل ۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه شنبلیله داشت. تنش شوری، طول نیام، وزن نیام، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه پر در بوته، نسبت دانه پر به پوک، وزن خشک اندام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

هوایی، وزن کاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب را کاهش و در مقابل، درصد دانه پوک، میزان تریگونلین و آلکالوئید کل دانه را افزایش داد. بیشترین مقدار تریگونلین و آلکالوئید کل به‌ترتیب از اعمال سطوح شوری ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. اگر چه تنش شوری بر اغلب صفات مورد مطالعه اثر بازدارنده داشت، ولی روند این تأثیر بسته به نوع صفت متفاوت بود. در این تحقیق، از مدل‌های مختلف تجربی برای تعیین حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش عملکرد دانه، مقدار شوری که در آن عملکرد به اندازه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC_{50}) و نیز شاخص تحمل به شوری استفاده شد. مطابق با مدل خطی، حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله ۱/۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش عملکرد آن ۸/٦٤ درصد برآورد گردید. این در حالی است که مطابق با مدل‌های غیرخطی، کاهش ۱۰ و ۲۵ درصدی در عملکرد نسبی دانه به‌ترتیب در شوری عصاره اشباع خاک ۲/٤٦ و ٤/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد. براساس نتایج این تحقیق، مقدار شوری که در آن عملکرد نسبی دانه به میزان ۵۰ درصد کاهش یافت (EC_{50}) در شوری خاک ٦/۵۱ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید. در این تحقیق، شاخص تحمل به شوری شنبلیله ۷/۵٤ محاسبه شد. بنابراین، براساس اعداد حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش عملکرد و شاخص تحمل به شوری، می‌توان شنبلیله را از نظر عملکرد دانه در گروه گیاهان نسبتاً حساس به شوری طبقه‌بندی کرد.

منابع

ارچنگی، آ.، خدامباشی، م. و محمدخانی، ع. (۱۳۹۱) تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*) تحت شرایط کشت هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۰: ٤۰-۳۳.

آرویی، ح.، ناصری، م.، نعمتی، س. ح. و کافی، م. (۱۳۹۳) تأثیر سیلیس در کاهش اثرات تنش شوری در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.). مجله پژوهش و سازندگی، نشریه زراعت ۱۰٤: ۱۷۲-۱٦۵.

بناکار، م. ح.، رنجبر، غ. ح. و سلطانی، و. (۱۳۹۱) واکنش فیزیولوژیکی برخی گیاهان شورپسند علوفه‌ای تحت شرایط شور. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۵: ٦۵-۵۵.

حسن‌زاده، 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 ۳٤: ۱۳-۱.

حیدری شریف آباد، ح. (۱۳۸۰) گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور. تهران.

رنجبر، غ. ح. و بناکار، م. ح. (۱۳۹۲) اثر تاریخ کاشت و تنش شوری روی عملکرد دانه عقیمی سنبله گندم رقم بم. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ٦: ۱۲۱-۱۱۱.

رنجبر، غ. ح. و آناقلی، ا. (۱۳۹۷) مفاهیم تنش شوری و واکنش گیاه. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

زرگری، ع. (۱۳۷۱) گیاهان دارویی. جلد ۱، انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

شهیدی، ر.، کامکار، ب.، لطیفی، ن. و گالشی، س. (۱۳۸۹) اثر سطوح مختلف شوری و زمان تیمار روی عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو بدون پوشه (*Hordeum vulgare* L.). مجله تولید گیاهان زراعی ۳: ٦۳-٤۹.

صراحی نوبر، م.، نیکنام، و. و مرادی، ب. (۱۳۸۹) اثر تنش شوری برمحتوای پروتئین، رنگیزه‌ها، قندها و ترکیبات فنلی در کشت بافت چند گونه از شنبلیله‌های ایران. مجله علوم دانشگاه تهران ۲: ۵۹-۵۳.

فرهادی، ح.، عزیزی، م. و نعمتی، س. ح. (۱۳۹٤) بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان پرولین هشت توده بومی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۲: ٤۱۹-٤۱۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

مهرآفرین، ع.، قوامی، ن.، نقدی بادی، ح. ع. و قادری، ا. (۱۳۹۰) آلکالوئید تریگونلین، یک متابولیت دارویی ارزشمند گیاهی. فصلنامه گیاهان دارویی ۸: ۲۹-۱۲.

ناصری، م.، آرویی، ا.، کافی، م. و نعمتی، ح. (۱۳۹۵) اثرات آب شور روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی شنبلیله در کشت هیدروپونیک. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی ۳۰: ۷۱-۶۵.

نوح پیشه، ز.، امیری، ح.، غلامی، ا. و فرهادی، س. (۱۳۹۹) بررسی کاربرد نانو ذرات اکسید روی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم شنبلیله (*Trigonella-foenum graecum* L.) تحت تنش شوری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۹: ۴۳۸-۴۲۳.

Ahmed, I. M., Bibi, N., Nadira, U. A., Zhang, G. P. and Wu, F. (2015) Tolerance to combined stress of drought and salinity in barley. In: Combined Stresses in Plants. Physiological, molecular and biochemical aspects. (ed. Mahalingam, R.) Pp. 93-121. Springer Publications. Oklahoma State University. New York.

Amuthaselvi, G. and Ambrose, D. C. P. (2016) Fenugreek. CABI Press. India.

Ayers R. S. and Westcot D. W. (1989) Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. FAO Press. Italy.

Barahouee, M. and Sabbagh, E. (2017) Influence of vermicompost and salt stress on some characteristics of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). International Journal of Agricultural Biosciences 6: 60-63.

Cho, Y., Lightfoot, D. A. and Wood, A. J. (1999) Trigonelline concentrations in salt stressed leaves of cultivated *Glycine max*. Journal of Phytochemistry 52: 1235-1238.

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 12: 18-23.

Danesh Talab, S., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H. and Khalighi-Sigaroodi, F. (2014) Changes in growth and trigonelline/mucilage production of fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.) under plant growth regulators application. Journal of Medicinal Plants 13: 15-25.

Hagemeyer, J. (1997) Salt. In: Plant Ecophysiology. (ed. Prasad, M. N. V.) Wiley and Sons, Inc. New York.

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. (eds. Ahmad, P., Azooz, M. M. and Prasad, M. N. V.) Pp. 25-87. Springer. New York.

Kuo, Y. H., Rozan, P., Lambein, F., Frias, J. and Vidal-Valverde, C. (2004) Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. Journal of Food Chemistry 86: 537-545.

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

Mirmohammadi Meybodi, S. A. M. and Qreyazi, B. (2002) Physiological Aspects and Breeding for Salinity Stress in Plants. Isfahan University of Technology Press. Isfahan.

Moradikor, N., Didarshetaban, M. B. and Saeid Pour, H. R. (2013) Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1: 922-931.

Petropoulos, G. A. (2002) Fenugreek, the Genus Trigonella. Taylor and Francis Inc. London and New York.

Shamsa, F., Monsef, H. R., Ghamoshi, R. and Verdian-rizi, M. R. (2008) Spectrophotometric determination of total alkaloids in some Iranian medicinal plants. Thai Journal of Pharmaceutical Sciences 32: 17-20.

Soughir, M., Elouaer, M. A. and Hannachi, C. (2013) The effect of NaCl priming on emergence, growth and yield of fenugreek under saline conditions. Journal of Cercetari Agronomice in Moldova 154: 73-83.

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. Journal of Crop Science 45: 209-220.

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

Tester, M. and Davenport, R. (2003) Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annuls of Botany 91: 503-527.

Tramontano, W. A. and Jouve, D. (1997) Tregonelline accumulation in salt-stressed legumes and the role of other osmoregulators as cell cycle control agents. Journal of Phytochemistry 44: 1037-1040.

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 Press. Taiwan.

Van Genuchten, M. Th. and Hoffman, G. J. (1984) Analyzing crop salt tolerance data. In: Soil Salinity under Irrigation-Process and Management. (eds. Shainberg, I. and Shalhevet, J.) Pp. 285-271. Springer-Verlag, NewYork.

Volkmar, K. M., Hu, Y. and Steppuhn, H. (1997) Physiological responses of plants to salinity: A review. Canadian Journal of plant Science 78: 19-27.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

Wang, D., Poss, J. A., Donovan, T. J., Shannon, M. C. and Lesch, S. M. (2002) Biophysical properties and biomass production of elephant grass under saline conditions. Journal of Arid Environments 52: 447-456.

Zahir, M. and Hussain, F. (2010) Vegetative growth performance of five medicinal plants under NaCl salt stress. Pakistan Journal of Botany 42: 303-316.

Zheng, X. Q. and Ashihara, H. (2004) Distribution, biosynthesis and function of purine and pyridine alkaloids in *Coffea arabica* seedlings. Journal of Plant Science 166: 807-813.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]

Determination of salt tolerance threshold and effects of using saline water on grain yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*)

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

[1]Department of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorram Abad, Iran
[2]Faculty member of National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran
[3]Department of Agronomy, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran
[4]Department of Biology, Faculty of Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
(Received: 14/03/2020, Accepted: 17/04/2020)

Abstract

This research was conducted to determine the salt tolerance threshold and to evaluate the effects of utilizing saline water on grain yield and yield components under greenhouse conditions located in National Salinity Research Center during 2017-18. Treatments included seven levels of irrigation salinity (0.5, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 dS/m) obtained by mixing saline groundwater (14 dS/m) as well as freshwater resources. The statistical design was arranged as a complete randomized block design with three replications. Based on the results, salinity treatment reduced pod length, pod weight, number of seeds per pod, number of pods per plant, number of filled seeds per plant, filled to unfilled seeds ratio, shoot dry weight, straw weight, thousand-seed weight, grain yield, harvest index, and water use efficiency but increased percentage of unfilled seeds. Salt stress increased the amount of seed trigonelline and total alkaloid, as well. The highest value was taken from salinity treatment at the levels of 6 and 8 dS/m, respectively. Although salinity stress harmed most studied traits, the trend of this effect varied depending on the trait. Based on the linear model, the fenugreek salt tolerance threshold and the slope of yield reduction were 1.30 dS/m and 8.64 percent, respectively. According to non-linear models, a reduction of 10 and 25 percent in relative grain yield occurred at 2.46 and 4.19 dS/m, respectively. According to the results, the salinity at which the relative grain yield decreased by 50% percent was observed at soil salinity of 6.51 dS/m. Therefore, based on both the salinity tolerance threshold, the slope of yield reduction, and the salinity tolerance index (7.54), fenugreeks can be classified into the group of moderately sensitive to salinity plants.

Keywords: Alkaloid, Experimental models, Haloculture, Legumes, Trigonelline, Water Use

Corresponding author, Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.13.2]