



نوع اکوتیپی منداب (*Eruca sativa* L.) در تحمل به شوری کلرید سدیم در مرحله جوانه‌زنی و گیاه کامل

فاطمه شریعتی‌نیا^۱، آرمان آذری^۲، اصغر رحیمی^۳، آزاده جعفری^۱ و شهاب مداح حسینی^{۳*}

^۱ دانشجوی دکتری، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

^۲ استادیار گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

^۳ دانشیار گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که در مناطق خشک دنیا نظیر ایران تولید محصول را محدود می‌نماید. به‌منظور برآورده کردن نیازهای غذایی جمعیت در حال رشد جهان، استفاده از زمین‌های حاشیه‌ای که معمولاً قدرت باروری پایینی دارند و به درجات مختلفی تحت تاثیر تنش‌های عناصر غذایی، شوری و ... هستند، برای تولید محصولات جایگزین بدون کاهش چشم‌گیر در ارزش اقتصادی محصول اصلی، راهکاری عملی به نظر می‌رسد. منداب (*Eruca sativa*) به‌عنوان یکی از گیاهان بسیار کهن بومی خاورمیانه سازگاری بسیار بالایی به شرایط گرم و خشک این منطقه دارد. این گیاه می‌تواند به‌عنوان کود سبز یا گیاه پوششی نقش مهمی در حفاظت خاک در زمین‌های آیش و همچنین، برنامه‌های تناوب داشته باشد. با این حال، دانش‌چندانی در مورد تحمل به شوری منداب در مرحله جوانه‌زنی، مراحل رشدی و گیاه کامل وجود ندارد. این آزمایش با هدف بررسی واکنش شاخص‌های جوانه‌زنی و اجزای عملکرد چند اکوتیپ محلی منداب به شوری و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به شوری به‌منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی احتمالی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در چارچوب دو آزمایش جداگانه انجام شد. در آزمایش اول که در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و با چهار تکرار انجام شد، درصد و سرعت جوانه‌زنی و بینه بذر هفت اکوتیپ محلی گردآوری شده از دو استان کرمان و فارس به نام‌های سیرجان، بردسیر، ریگان، شهداد، آباد، دهمورد و درجوه در شوری‌های شاهد (آب‌مقطر)، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. آزمایش دوم در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل و سه تکرار با همان اکوتیپ‌ها در شرایط نیمه‌مزرعه‌ای درون جعبه‌های سیمانی و در خاکی غیرشور (۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر) انجام شد. در این شرایط گیاهان تا مرحله چهار برگگی با آب شهر آبیاری شدند. سپس اعمال شوری با آب شور برای رسیدن به سطح شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. در هر دو آزمایش، شوری با حل کردن غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم در آب به‌دست آمد. در پایان فصل رشد عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به همراه ارتفاع ساقه و تعداد دانه در خورجین اندازه‌گیری شدند. برخی شاخص‌های تنش، برای اکوتیپ‌ها محاسبه شد و بر اساس تحلیل همبستگی و بای‌پلات نتایج تفسیر شدند.

* مسئول مکاتبه: shahab.mhoseini@vru.ac.ir

یافته‌ها: در همه اکوتیپ‌ها، درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین، بنيه گیاهچه با افزایش شوری از سطح شاهد به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت، اما از این لحاظ بین اکوتیپ‌ها تفاوت قابل توجهی وجود داشت. سرعت جوانه‌زنی و بنيه گیاهچه در اثر تیمارهای شوری بسیار بیشتر از درصد جوانه‌زنی کاهش یافتند. بر اساس روش نمره‌دهی، سیرجان، درجوه و بردسیر به ترتیب به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر، متوسط و ضعیف از نظر تحمل به شوری شناسایی شدند. در آزمایش نیمه‌مزرعه‌ای واکنش اکوتیپ‌ها بسیار متفاوت بود و اکوتیپ شاهد هم در شرایط شاهد و هم در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیک را نشان داد. از نظر مقدار عددی اکوتیپ شاهد و درجوه به ترتیب بیشترین و کمترین مقدارهای STI، GMP، HM و MP را به خود اختصاص دادند. تحلیل بای‌پلات نیز نشان داد که شاهد بیشترین عملکرد دانه و کمترین حساسیت به شوری را دارد.

نتیجه‌گیری: تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین اکوتیپ‌ها از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی و گیاه کامل مشاهده شد. با این حال واکنش اکوتیپ‌ها در این دو مرحله متفاوت بود که نشان می‌دهد سازوکارهای تحمل به شوری در مراحل نمودی مختلف متفاوت است و ممکن است ارتباط نزدیکی با مبداء جغرافیایی - اقلیمی بذر نداشته باشد. بر اساس نتایج به نظر می‌رسد که منداب در گروه گیاهان نیمه متحمل به شوری قرار داشته باشد و از این رو، امکان کشت و کار آن به‌عنوان گیاه فرعی در برخی از خاک‌های شور وجود داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تحمل، جوانه‌زنی، شاخص تنش، عملکرد.

مقدمه

گیاه می‌تواند به‌عنوان کود سبز نقش مهمی در حفاظت خاک در زمین‌های آیش و همچنین، برنامه‌های تناوب داشته باشد (۱۱). روغن دانه منداب در صنایع غذایی، بهداشتی و دارویی برای ساخت پلی‌مرها، صابون، مواد جلادهنده و روغن ماساژ کاربرد دارد (۷). این گیاه رشد سریع، ریشه عمیق و کارآمد و توانایی تحمل شرایط خشکی شدید و سرمای زمستانه را دارد. بدین سبب می‌تواند برای تولید علوفه (۱۸) و همچنین به‌عنوان یک گیاه روغنی جایگزین در مناطق خشک و نیمه خشک در نظر گرفته شود (۳۸). با این حال دانش چندانی در مورد تحمل به شوری آن چه در مرحله جوانه‌زنی و چه در مرحله گیاه کامل وجود ندارد.

شوری می‌تواند بر جوانه زدن بذرها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد، سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و کاهش یون‌های غذایی مورد نیاز مثل کلسیم و پتاسیم تاثیر بگذارد که این

شوری آب و خاک به‌عنوان یکی از جدی‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان و همچنین، عامل کاهش قابل توجه سطح زمین‌های قابل کشاورزی به شمار می‌رود (۳۸). به‌منظور برآورده کردن نیازهای غذایی جمعیت در حال رشد جهان، استفاده از زمین‌های حاشیه‌ای که معمولاً قدرت باروری پایینی دارند و به درجات مختلفی تحت تاثیر تنش‌های عناصر غذایی، شوری و ... هستند، برای تولید محصولات جایگزین مانند برخی گیاهان روغنی فرعی بدون کاهش چشم‌گیر در ارزش اقتصادی محصول اصلی، راهکاری مناسب به نظر می‌رسد (۲۹).

منداب (*Eruca sativa*) به‌عنوان یکی از گیاهان بسیار کهن بومی خاورمیانه سازگاری بسیار بالایی به شرایط گرم و خشک رایج در این منطقه دارد. این

می‌تواند راه‌گشا باشد. کریشنامورتنی و همکاران (۲۰۱۸) از شاخص‌های تنش برای ارزیابی واکنش عملکرد ژنوتیپ‌های گوناگون به شوری و قلیابیت و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر آن‌ها استفاده کردند (۲۴). همچنین، از روش‌های آماری ویژه‌ای مانند تجزیه به مولفه‌های اصلی امکان گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میزان تغییرات عملکرد در اثر تنش استفاده شده است (۴۷، ۴۹). این آزمایش با هدف بررسی واکنش شاخص‌های جوانه‌زنی، و اجزا عملکرد چند اکوتیپ محلی منداب به شوری هم در مرحله جوانه‌زنی و هم در گیاه کامل و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به شوری به‌منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی احتمالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری بر جوانه‌زنی و عملکرد اکوتیپ‌های مختلف منداب این پژوهش به صورت دو آزمایش متوالی انجام شد. در آغاز به‌منظور بررسی وضعیت جوانه‌زنی بذرها در مقادیر مختلف شوری حاصل از کلرید سدیم، آزمایشی با سطوح خفیف تا شدید شوری انجام شد و شاخص‌های اصلی جوانه‌زنی بررسی شدند و در ادامه، اکوتیپ‌ها در یک آزمایش نیمه‌مزرعه‌ای و درون جعبه‌های سیمانی تحت تیمار شوری (کلرید سدیم) قرار گرفتند و برخی شاخص‌های رشدی و عملکرد آن‌ها بررسی شد.

بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی اکوتیپ‌های منداب در سطوح مختلف شوری: این آزمایش در آزمایشگاه واحد ثبت و گواهی بذر و نهال مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان در سال ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب

عوامل فعالیت بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بذر را با ممانعت از تنفس هوازی یا تحریک مراحل کاتابولیکی تغییر می‌دهند (۴۰). ممکن است بذرهایی که در شرایط تنش، جوانه‌زنی مناسبی دارند، در مراحل بعدی رشد، گیاهچه‌هایی با بنیه بهتر و سیستم ریشه‌ای قوی‌تر تولید کنند (۳۳). با این حال، ممکن است مقاومت به شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه، مستقل از مراحل بعدی رشد باشد (۲۳). فلاحی و همکاران (۲۰۱۵) کاهش معنی‌داری در شاخص‌های جوانه‌زنی منداب را حتی در شوری خفیف (۵۰ میلی مولار) کلرید سدیم گزارش کردند (۱۴). در مقابل میسلی و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که شوری تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر درصد جوانه‌زنی منداب را کاهش نداد (۳۰).

در مورد تحمل منداب به شوری در شرایط مزرعه‌ای یا گیاه کامل نیز اطلاعات کافی در دست نیست و از حساس (۴۲) تا نیمه‌متحمل (۳۷) و متحمل (۳۸) طبقه‌بندی شده است. بنابر گزارشی، حد آستانه ۵۰ درصد کاهش عملکرد دانه منداب حدود ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر است که به‌طور قابل توجهی کمتر از دو گونه دیگر از گیاهان خانواده شب‌بو یعنی *Brassica napus* و *Brassica carinata* یعنی حدود ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر است (۴). با این حال، به نظر می‌رسد تنوع درون و بین گونه‌ای قابل توجهی در مورد تحمل به شوری در جنس براسیکا وجود داشته باشد (۴، ۲۶).

از آنجا که ممکن است مقایسه صفات رشدی و اجزای عملکرد به‌منظور ارزیابی جامع واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و غیر تنش کافی نباشد، استفاده از شاخص‌های تحمل یا حساسیت به تنش که اولین بار توسط فرناندز (۱۹۹۲) معرفی شد (۱۶)،

$$GP = \frac{n}{N} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

رابطه ۲:

$$GR = X_1/Y_1 + (X_2 - X_1)/Y_2 + \dots + (X_n - X_{n-1})/Y_n \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$SV = (\text{Shoot length}/\text{Root length}) \times GP$$

در این روابط، n تعداد نهایی بذرهای جوانه زده،

N تعداد کل بذر (۲۵ عدد) در هر ظرف پتری، X_1

تا X_n تعداد بذرهای جوانه زده در شمارش یکم

تا n ام، Y_1 تا Y_n زمان از آغاز کاشت تا شمارش n

ام بر حسب روز، Root length میانگین طول

ریشه چه بر حسب میلی متر و Shoot length میانگین

طول اندام هوایی بر حسب میلی متر می باشند.

به منظور طبقه بندی اکوتیپ ها بر اساس واکنش

کلی آنها به سطوح مختلف شوری، از یک روش

رتبه دهی ۱۰-۱ استفاده شد (۵). در این روش، در هر

سطح شوری، درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و

بنیه گیاهچه بین ۰ تا ۱۰ رتبه ۱ و بین ۹۰ تا ۱۰۰ رتبه

۱۰ گرفتند. دیگر مقادارها بین ۲ تا ۹ رتبه گرفتند.

میانگین هفت رتبه (نمره) برای هفت سطح شوری

به عنوان رتبه آن اکوتیپ برای صفت و مجموع رتبه ها

برای سه صفت به عنوان تحمل نسبی آن اکوتیپ به

شوری در نظر گرفته شد.

ارزیابی واکنش رشد و عملکرد اکوتیپ های منداب

به شوری: این آزمایش به صورت نیمه مزرعه ای در

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان

در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل دو

عاملی و در چهار تکرار انجام شد. عامل های آزمایش

عبارت بودند از شوری خاک که شامل چهار سطح

۱/۸ (شاهد)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر و

اکوتیپ شامل هفت توده محلی منداب ذکر شده در

آزمایش قبل بود. کرت های آزمایش جعبه های سیمانی

ساخته شده درون خاک مزرعه به طول ۱/۵، عرض

طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد.

عامل های مورد بررسی عبارت بودند از شوری در

هفت سطح شامل شاهد (آب مقطر)، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵

و ۱۸ دسی زیمنس بر متر و اکوتیپ در هفت سطح

شامل چهار توده بومی منداب گردآوری شده از استان

کرمان به نام های سیرجان، بردسیر، شهداد و ریگان و

سه توده از استان فارس به نام های ده مورد، آباده و

درجوه. در هر تیمار تعداد ۲۵ بذر ابتدا با

هیپوکلریت سدیم ۳ درصد به مدت ۵ دقیقه

ضد عفونی شده و پس از شستشو با آب مقطر در

ظرف های پتری با قطر ۹ سانتی متر که حاوی

کاغذ واتمن بودند، قرار داده شدند. به هر ظرف

پتری ۱۰ میلی لیتر آب مقطر یا محلول کلرید

سدیم با هدایت الکتریکی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸

دسی زیمنس بر متر، بسته به تیمار افزوده شد و به

ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد منتقل شد.

تعداد بذرهای جوانه زده به صورت روزانه شمرده

شده و در روز دهم (پایان آزمایش) طول ساقه چه و

ریشه چه پنج گیاهچه تصادفی از هر ظرف پتری با

خط کشی با دقت یک میلی متر اندازه گیری شد.

همچنین، وزن خشک اندام هوایی و ریشه تمام

گیاهچه های هر ظرف پتری پس از خشک شدن در

آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸

ساعت، به وسیله ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم

اندازه گیری و یادداشت شد.

با استفاده از تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز

درصد جوانه زنی (GP) از رابطه ۱ (۱۳) و سرعت

جوانه زنی (GR) از رابطه ۲ (۲۷) محاسبه گردید.

همچنین، با استفاده از رابطه ۳ (۲۶) بنیه گیاهچه

(SV) نیز محاسبه شد.

زمان نمونه‌هایی برای ارزیابی مجدد میزان شوری خاک هر کرت از عمق ۳۰ سانتی متری گرفته شد. در طول دوره رشد گیاه، وجین علف‌های هرز در صورت لزوم انجام شد و در زمان رسیدگی بوته‌های دو ردیف وسط کف‌بر شده و عملکرد دانه و بیولوژیک بر حسب گرم بر متر مربع اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

با استفاده از داده‌های عملکرد هر اکوتیپ در شرایط شاهد (Y_p)، عملکرد در شرایط تنش (Y_s)، میانگین عملکرد همه اکوتیپ‌ها در شرایط عادی (\bar{Y}_p) و میانگین عملکرد همه اکوتیپ‌ها در شرایط تنش (\bar{Y}_s)، برخی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش (رابطه‌های ۴ تا ۱۰) به شرح زیر محاسبه شدند: رابطه ۴، شاخص حساسیت به تنش (۱۷):

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}{SI}$$

رابطه ۵، شاخص تحمل (۴۱):

$$TOL = Y_p - Y_s$$

رابطه ۶، شاخص تحمل تنش (۱۶):

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{Y_p^2}$$

رابطه ۷، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (۱۶):

$$GMP = \sqrt{(Y_s \times Y_p)}$$

رابطه ۸، شاخص میانگین بهره‌وری (۴۱):

$$MP = (Y_s + Y_p) / 2$$

رابطه ۹، شاخص پایداری عملکرد (۱۰):

$$YSI = Y_s / Y_p$$

رابطه ۱۰، شاخص میانگین هارمونیک (۲۵):

$$HM = 2(Y_p \times Y_s) / (Y_p + Y_s)$$

تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از رویه ANOVA نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل به صورت مقایسه

۱/۰ و عمق ۰/۵ متر بودند که با خاکی با شوری ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر پر شده و کف آن‌ها با پلاستیک ضخیم پوشانده شده بود (۶). کشت بذرها در هر کرت در شش ردیف با فاصله ردیف ۱ و فاصله روی ردیف ۰/۲۵ متر انجام شد و در تاریخ ۱۰ اسفند انجام شد.

در طی فصل رشد و تا مرحله چهاربرگی (حدود سه هفته)، آبیاری کرت‌ها با آب شهر (هدایت الکتریکی معادل ۶۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) انجام شد. سپس اعمال شوری با آبیاری کرت‌ها با آب شور آغاز شد. بدین منظور میزان کافی نمک کلرید سدیم به آب استخر آبیاری افزوده شد تا هدایت الکتریکی آب به حد ۴ دسی‌زیمنس بر متر رسید. آنگاه کرت‌های تیمار ۴ دسی‌زیمنس بر متر یک بار، ۸ دسی‌زیمنس بر متر دو بار و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سه بار آبیاری شدند (۶). فاصله بین دفعات دوم و سوم آبیاری هر چهار روز بود. پس از تکمیل آبیاری با آب شور، نمونه‌برداری تصادفی از خاک هر کرت از عمق ۳۰ سانتی متری برای ارزیابی درستی میزان شوری اعمال شده انجام شد. در طی فصل رشد دور آبیاری بر حسب ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با استفاده از درصد وزنی آب موجود در نمونه‌های گرفته شده از خاک تنظیم شد. میزان آب مورد نیاز برای هر کرت (جعبه سیمانی) با توجه به ظرفیت زراعی محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی کنترل شد. پس از پایان آبیاری با آب شور، آبیاری کرت‌ها تا زمان رسیدگی با آب شهر انجام شد. در پایان دور آبیاری تا زمان رسیدگی با استفاده از نمونه‌های گرفته شده از عمق ۳۰ سانتی متری خاک هر کرت و محاسبه میزان مورد نیاز برای دستیابی به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد. همچنین، در این

شوری بسیار بیشتر از درصد جوانه‌زنی کاهش یافتند (جدول ۲).

بر اساس نتایج رتبه‌دهی (جدول ۲) سیرجان، بردسیر و درجوه به ترتیب با مجموع رتبه ۲۰/۲، ۷/۵ و ۱۶/۴ به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر، ضعیف و متوسط از نظر تحمل عمومی به شوری شناسایی شدند. با مقایسه دو اکوتیپ سیرجان و درجوه که هر دو از منطقه گرم و خشک اما با خاک‌هایی به ترتیب با درجه شوری بالا و خفیف جمع‌آوری شده بودند، می‌توان دریافت که سیرجان بویژه از نظر سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر در شوری‌های متوسط و بالا بطور قابل توجهی برتر از درجوه است (جدول ۲). این موضوع ممکن است نشان‌دهنده سازگاری ژنتیکی به شوری در مرحله جوانه‌زنی احتمالاً به سبب رشد و پراکنش در منطقه‌ای با خاک شور باشد. به همین ترتیب بذره‌های اکوتیپ بردسیر (منطقه معتدل با خاک شیرین) حساسیت بالایی حتی به شوری‌های متوسط نشان دادند.

سطوح شوری در هر اکوتیپ با استفاده از رویه LSMEANS انجام شد ($p = 0/05$). آزمون همبستگی ساده و تجزیه به مولفه‌های اصلی برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) و مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که در همه اکوتیپ‌ها، درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین، بنیه گیاهچه با افزایش شوری از سطح شاهد به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت، اما از این لحاظ بین اکوتیپ‌ها تفاوت قابل توجهی وجود داشت. به‌جز اکوتیپ‌های بردسیر و آباده، بقیه اکوتیپ‌ها قادر به جوانه‌زنی قابل قبول (بین ۷۹ تا ۹۶ درصد) حتی در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر بودند، اما سرعت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه در اثر تیمارهای

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های منداب در سطوح مختلف شوری.

Table 1- Summarized results of analysis of variance for some germination characteristics and yield components of *Eruca sativa* L. ecotypes under different levels of salinity.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	بنیه بذر Seed vigor	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield
اکوتیپ Ecotype (E)	6	13188.8 **	10385.2 **	60.9 **	758.9 **	5377.9 **
شوری Salinity (S)	3	7801.1 **	1641.5 **	93.3 **	1419.3 **	20647.4 **
S × E	18	375.4 **	347.8 **	3.9 **	39.9 *	802.7 **
خطا Error	84	44.1	50.3	0.28	18.9	153.3
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		9.7	8.4	12.83	23.0	13.7

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ^{ns}: غیر معنی‌دار.

* and **: significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively, ^{ns}: non-significant.

ریشه‌چه بذرهاى منداب در اثر تیمار با ۵۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم گزارش کردند (۱۴). در مقابل، میسلی و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند که شوری تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی منداب ایجاد نکرد (۳۰). با این حال، میانگین زمان جوانه‌زنی به‌طور مستقیم تحت تاثیر شوری قرار گرفت و کاهش یافت. نتایج ما در تطابق با یافته‌های این پژوهش است. همان‌گونه که در جدول ۲ دیده می‌شود سرعت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه بسیار بیشتر از درصد جوانه زنی تحت تاثیر افزایش شوری کاهش یافتند. در نهایت اینکه، در اکوتیپ بردسیر درصد جوانه زنی حتی در شوری ملایم ۳ دسی‌زیمنس بر متر نیز به شدت کاهش یافت. گزارش شده است که شوری ممکن است سبب القای خواب ثانویه در بذرها شود که سبب کاهش جوانه‌زنی و استقرار ضعیف می‌گردد (۲۲). این اثر نیاز به بررسی بیشتر دارد.

جوانه‌زنی یکی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاه است و ممکن است اثر چشمگیری بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (۳۷). هم اثرات سمی و هم اثرات اسمزی نمک‌های خاک در جذب آب، رشد و توسعه جنین و جابجایی مواد غذایی درون بذر اختلال ایجاد کرده و سبب کاهش نرخ جوانه‌زنی و یکنواختی و زنده‌مانی بذر می‌گردند (۸). گزارش شده است که جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه در گیاهان خانواده شب‌بو (۳) و ارزن (۳۱) حساس‌ترین مراحل رشد به تنش شوری هستند، اما این امر ممکن است به‌شدت وابسته به گونه باشد. برای نمونه، بذرهاى *Brassica insularis* قادر به جوانه‌زنی حتی تا شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بودند (۴۳). دانش بسیار کمی در مورد حد تحمل منداب به شوری در مرحله جوانه‌زنی وجود دارد و نتایج پژوهش‌های موجود چندان هم‌خوانی ندارند. فلاحی و همکاران (۲۰۱۵)، کاهش قابل توجهی در درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول

جدول ۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری در اکوتیپ برای درصد جوانه‌زنی (a)، سرعت جوانه‌زنی (b) و بنیه بذر (c) بذرهاى منداب.

Table 2- Mean comparison of salinity × ecotype interaction for final germination percentage (a), germination rate (b), and seed vigor (c) of *Eruca sativa* seeds.

اکوتیپ/نمره														
Ecotype/score														
(a)														
شوری (دسی زیمنس بر متر)	E ₁	score	E ₂	score	E ₃	score	E ₄	score	E ₅	score	E ₆	score	E ₇	score
Salinity (dS/m)														
0	98.5 ^a	10	80.0 ^a	9	95.0 ^a	10	98.0 ^a	10	99.0 ^a	10	100.0 ^a	10	97.0 ^{ab}	10
3	97.0 ^a	10	62.0 ^b	7	91.5 ^{ab}	10	99.0 ^a	10	99.0 ^a	10	100.0 ^a	10	98.0 ^a	10
6	95.0 ^a	10	38.0 ^c	4	95.0 ^a	10	99.0 ^a	10	97.0 ^a	10	97.0 ^a	10	92.0 ^{ab}	10
9	95.5 ^a	10	21.0 ^d	3	89.5 ^{ab}	9	100.0 ^a	10	92.5 ^a	10	98.0 ^a	10	90.0 ^{abc}	10
12	93.0 ^a	10	38.0 ^c	4	88.5 ^{ab}	9	98.0 ^a	10	79.0 ^b	8	93.0 ^a	10	87.0 ^{abc}	9
15	86.0 ^a	9	38.0 ^c	4	83.0 ^{ab}	9	95.0 ^{ab}	10	63.0 ^c	7	95.0 ^a	10	84.0 ^{bc}	9
18	89.0 ^a	9	17.0 ^d	2	82.0 ^b	9	86.5 ^b	9	57.0 ^c	6	96.0 ^a	10	79.0 ^c	8

میانگین نمره		9.7		4.7		9.4		9.9		8.7		10.0		9.4	
Score average		9.7		4.7		9.4		9.9		8.7		10.0		9.4	
(b)															
0	47.0 ^a	5	22.3 ^a	3	32.5 ^a	4	43.8 ^a	5	43.5 ^a	5	46.3 ^a	5	39.5 ^a	4	
3	45.5 ^a	5	13.8 ^{a-d}	2	31.7 ^a	4	39.2 ^{ab}	4	39.8 ^{abc}	4	44.3 ^{ab}	5	34.1 ^{ab}	4	
شوری (دسی)															
زمینس (بر متر)															
Salinity (dS/m)															
	E ₁	score	E ₂	score	E ₃	score	E ₄	score	E ₅	score	E ₆	score	E ₇	score	
6	43.1 ^a	5	9.5 ^{bcd}	1	31.1 ^a	4	39.0 ^{ab}	4	39.0 ^{abc}	4	42.5 ^{ab}	5	34.9 ^{ab}	4	
9	41.5 ^a	5	9.1 ^{cd}	1	28.6 ^{ab}	3	38.7 ^{ab}	4	27.2 ^{bc}	3	38.8 ^{ab}	4	31.5 ^{abc}	4	
12	41.5 ^a	5	7.5 ^d	1	28.3 ^{ab}	3	37.6 ^{ab}	4	19.5 ^{cd}	2	29.3 ^{bc}	3	25.1 ^{abc}	3	
15	32.6 ^{ab}	4	5.1 ^d	1	27.0 ^{ab}	3	30.8 ^{ab}	4	12.0 ^d	2	22.8 ^c	3	17.4 ^{cd}	2	
18	24.4 ^b	3	4.4 ^d	1	24.7 ^b	3	27.5 ^b	3	10.1 ^d	2	20.7 ^c	3	17.3 ^{cd}	2	
میانگین نمره		4.6		1.4		3.4		4.0		3.1		4.0		3.3	
Score average		4.6		1.4		3.4		4.0		3.1		4.0		3.3	
(c)															
0	11.5 ^a	10	4.0 ^a	4	5.0 ^a	5	5.6 ^a	6	8.4 ^a	8	8.2 ^a	8	5.9 ^a	6	
3	8.0 ^b	8	2.4 ^b	1	4.1 ^b	4	5.6 ^a	6	6.0 ^b	6	7.3 ^b	7	5.7 ^a	6	
6	7.6 ^b	7	1.4 ^{cd}	1	4.0 ^{bc}	4	5.6 ^a	6	5.9 ^b	6	6.8 ^{bc}	7	4.0 ^b	4	
9	6.8 ^{cd}	6	1.1 ^d	2	3.6 ^{bcd}	4	5.1 ^a	5	4.4 ^c	4	5.9 ^d	6	4.1 ^b	4	
12	4.0 ^{ef}	4	0.8 ^d	1	3.3 ^d	3	2.5 ^b	3	2.6 ^d	3	3.3 ^e	3	2.8 ^c	3	
15	3.6 ^{efg}	3	0.8 ^d	1	3.0 ^d	3	2.3 ^b	2	2.0 ^{de}	2	3.4 ^e	3	2.3 ^{cd}	2	
18	3.1 ^g	3	0.0 ^e	0	2.8 ^d	3	1.9 ^b	2	1.2 ^e	1	2.0 ^f	2	1.7 ^d	1	
میانگین نمره		5.9		1.4		3.7		4.3		4.3		5.1		3.7	
Score average		5.9		1.4		3.7		4.3		4.3		5.1		3.7	
مجموع نمره‌ها		20.2		7.5		16.5		18.2		16.1		19.1		16.4	
Sum of scores		20.2		7.5		16.5		18.2		16.1		19.1		16.4	

در هر بخش (a, b و یا c)، حروف مقایسه میانگین برای مقایسه سطوح شوری داخل هر اکوتیپ است (LSMEANS, p = 0.05). نام اکوتیپ‌ها: E1: سیرجان، E2: بردسیر، E3: ریگان، E4: شهادت، E5: آباد، E6: دهمورد، E7: درجوه.

In each part (a, b or c) values with similar letter(s) in each ecotype are not significantly different (LSMEANS, p = 0.05). Ecotypes: E1: Sirjan, E2: Bardsir, E3: Rigan, E4: Shahdad, E5: Abadeh, E6: Dehmurd, E7: Darjaveh.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ × شوری برای عملکرد دانه (Gy) و عملکرد بیولوژیک (By).

Table 3- Mean comparison for grain yield (Gy) and biological yield (By) of seven *Eruca sativa* L. ecotypes.

اکوتیپ Ecotype	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (dS m ⁻¹)	عملکرد دانه (گرم در متر ^۲) Gy(g m ⁻²)	تغییر نسبت به شاهد [†] (درصد) Change over control (%)	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر ^۲) By(g m ⁻²)	تغییر نسبت به شاهد (درصد) Change over control (%)
سیرجان Sirjan	1.8	24.5 a		74.5 a	
	4	25.0 a	-1.9	71.8 a	3.6
	8	15.1 b	38.4	56.0 a	24.9
بردسیر Bardsir	12	9.4 c	61.7	15.9 b	78.6
	1.8	31.9 a		125.5 a	
	4	26.2 bc	18.1	113.6 a	9.5
ریگان Rigan	8	24.4 c	23.7	88.2 b	29.7
	12	14.3 d	55.2	77.0 b	38.7
	1.8	26.3 a		121.2 a	
شهاد Shahdad	4	22.3 bc	15.0	65.5 c	45.9
	8	15.2 cd	42.3	85.0 b	29.9
	12	13.0 d	50.6	50.5 c	58.3
دهمورد Dehmurd	1.8	50.8 a		171.3 a	
	4	35.3 b	15.0	116.3 b	32.1
	8	24.9 c	42.3	88.3 cd	48.5
آباد Abadeh	12	21.0 c	50.6	80.3 d	53.1
	1.8	19.3 a		128.9 a	
	4	15.5 bc	19.9	115.1 ab	10.7
درجوه Darjaveh	8	11.1 cd	42.4	105.3 b	18.3
	12	6.5 d	66.6	85.3 c	33.8
	1.8	23.5 a		137.5 a	
درجوه Darjaveh	4	19.7 a	16.2	120.5 a	12.4
	8	17.7 a	24.8	94.0 b	31.7
	12	4.9 b	79.4	27.4 c	80.1
درجوه Darjaveh	1.8	21.9 a		117.4 a	
	4	9.6 b	56.5	103.9 a	11.5
	8	8.0 b	63.7	54.2 b	53.9
	12	4.0 b	81.7	36.8 b	68.7

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اکوتیپ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSMEANS, p = 0/05). †: تغییر نسبت به شاهد (۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر).

Means with similar letter(s) in each ecotype are not significantly different (LSMEANS, P = 0.05). †: Change over control (1.8 dS m⁻¹)

شوری‌های ۴ و ۸ به خود اختصاص دادند (میزان کاهش به ترتیب ۳۰ و ۵۰ درصد برای شهاد و ۵۷ و ۶۴ درصد برای درجوه). نتایج مربوط به عملکرد بیولوژیک (جدول ۳) شباهت زیادی با عملکرد دانه داشت، با این تفاوت که به طور کلی میزان کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر افزایش سطح شوری کمتر

عملکرد دانه و بیولوژیک: عملکرد دانه و بیولوژیک اکوتیپ‌های منداب به‌طور متفاوتی تحت تاثیر شوری قرار گرفتند (جدول ۱). در همه سطوح شوری، عملکرد دانه شهاد از همه اکوتیپ‌های دیگر بیشتر بود (جدول ۳)، اما این اکوتیپ و اکوتیپ درجوه بیشترین کاهش عملکرد را نیز در اثر اعمال

از عملکرد دانه بود. برای نمونه عملکرد بیولوژیک اکوتیپ در جوه در اثر شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۱/۵، ۵۳/۹ و ۶۸/۷ درصد کاهش یافت که کمتر از مقدارهای متناظر برای عملکرد دانه یعنی ۵۶/۵، ۶۳/۷ و ۸۱/۷ درصد بود.

با مقایسه نتایج عملکرد دانه و بیولوژیک اکوتیپ‌ها در شوری‌های مختلف (جدول ۳) و شاخص‌های جوانه‌زنی آن‌ها (جدول ۲) می‌توان دریافت که واکنش اکوتیپ‌ها به شوری در مرحله جوانه‌زنی و در شرایط شبه‌مزرعه‌ای بسیار متفاوت بوده است. برای نمونه، در جوه اکوتیپ متوسط از نظر جوانه‌زنی، حساس‌ترین اکوتیپ به شوری در آزمایش نیمه‌مزرعه‌ای از دیدگاه کاهش عملکرد دانه بود. همچنین، اکوتیپ بردسیر که ضعیف‌ترین جوانه‌زنی را در مجموع سطوح شوری داشت، عملکرد دانه بیشتری از سیرجان، اکوتیپ برتر مرحله جوانه‌زنی، در همه سطوح شوری به‌ویژه ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر داشت.

اثرات کاهنده تنش شوری بر عملکرد گیاه می‌تواند به اثر بازدارنده آن بر فتوسنتز (۲)، جذب آب (۳۴) و همچنین تحریک ریزش گل‌ها و میوه‌ها نسبت داده شود (۵۱). ریزش گل و میوه سبب کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود که گزارش شده است. در تنش کوتاه‌مدت در مرحله گلدهی کلزا دلیل اصلی کاهش عملکرد بوده است (۱۹). در مورد تحمل منداب به شوری در مزرعه اطلاعات کافی در دست نیست و از حساس (۴۲) تا نیمه‌متحمل (۳۷) و متحمل (۳۸) طبقه‌بندی شده است. با این حال، به نظر می‌رسد تنوع درون و بین گونه‌ای قابل توجهی از لحاظ سطح تحمل به شوری در بین اعضای خانواده شببو وجود دارد (۲۶). برای نمونه، *B. campestris* و *B. napus* که از نظر ژنتیکی شباهت زیادی با

منداب دارند، به عنوان گونه‌های نیمه‌متحمل به شوری خاک گزارش شده‌اند (۳۷) که این یافته با نتایج ما هم‌خوانی دارد. همیلتون و فونسکا (۲۰۱۰) بیان می‌کنند که منداب احتمالاً به شوری تا سطح ۹ دسی‌زیمنس بر متر متحمل است (۲۱). با این حال اشرف (۱۹۹۴) تنوع درون گونه‌ای قابل توجهی از تحمل به شوری در این گیاه گزارش کرد به گونه‌ای که حد تحمل ۵۰ درصد شوری برای یک رگه متحمل در رشد رویشی حدود ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود (۱).

یکی از معیارهای مناسب برای تحمل به شوری، محاسبه میزان (درصد) کاهش عملکرد نسبت به سطح شاهد است (۳۲). اشرف و سرور (۲۰۰۲) دریافتند که آستانه ۵۰ درصد کاهش عملکرد منداب حدود ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر است (۴). در آزمایش ما عملکرد اکوتیپ‌های بردسیر و سیرجان در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد به ترتیب ۵۵/۲ و ۵۰/۶ درصد کاهش یافت که تقریباً با نتایج اشرف و سرور (۲۰۰۲) هم‌خوانی دارد و از این بابت مانند کلزا در دسته گیاهان نیمه‌متحمل به شوری قرار می‌گیرد (۴۵). اشرف (۱۹۹۴) گزارش کرد که تحمل به شوری در دو جمعیت منداب به شرایط خاک منطقه جمع‌آوری بذرات ارتباط دارد بدین ترتیب که بذرهایی که از منطقه‌ای با خاک شور جمع‌آوری شده بودند نسبت به جمعیتی که از منطقه‌ای با خاک شیرین منشا داشتند، تحمل بیشتری به شوری داشتند (۱). در آزمایش ما اکوتیپ‌هایی با منشاء اقلیم شور (شهاد، سیرجان) تفاوت بسیار بارزی در عملکرد داشتند. همچنین، عملکرد دانه و بیولوژیک اکوتیپ بردسیر (منطقه‌ای با خاک شیرین) در هر سطح شوری از اکوتیپ سیرجان بیشتر بود. این یافته‌ها چندان با نتایج اشرف (۱)

و YSI همبستگی معنی داری با عملکرد در شرایط شاهد (Yp) و تنش (Ys) داشتند و در این میان بالاترین ضرایب همبستگی به MP و STI به ترتیب به میزان ۰/۹۷ و ۰/۹۳ در شرایط شاهد و به HM و GMP به ترتیب با ۰/۹۹ و ۰/۹۸ در شرایط تنش (شوری) تعلق داشت. همچنین در شرایط شوری، SSI همبستگی منفی (۰/۶۹-) با عملکرد (Ys) داشت، اما TOL رابطه معنی داری با عملکرد نداشت. بدین ترتیب به نظر می‌رسد شاخص‌های فوق به جز TOL ارتباط نزدیکی با عملکرد دانه گیاه منداب در شرایط تنش دارند و می‌توان از آن‌ها در گزینش اکوتیپ‌های متحمل بهره برد.

شاخص‌های تحمل اولین بار توسط فرناندز (۱۹۹۲) برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی معرفی شدند (۱۶) اما به تدریج به‌طور گسترده‌ای در دیگر انواع تنش‌های غیرزنده مانند غرقابی (۴۷)، شوری (۲۸)، شوری و قلیائیت (۲۴) و گرما (۳۶) به کار رفته‌اند. شرفی و همکاران (۲۰۱۴) تنش شوری را دو سطح ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفتند و شاخص‌های تنش را برای هر یک از آن دو حساب کردند (۴۶). تفاوت‌هایی از نظر توجیه یا کاربرد بین آن‌ها وجود دارد. در حالی که STI احتمالاً ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط را شناسایی می‌کند (۱۵، ۱۶، ۴۴)، میانگین هندسی بازدهی (GMP) اغلب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد نسبی در هر دو محیط را برمی‌گزیند، زیرا شدت تنش خشکی می‌تواند بین سال‌ها متفاوت باشد (۳۹). همچنین، گزارش شده GMP و MPI برخلاف SSI و TOL وراثت‌پذیری بالایی از خود نشان می‌دهند و گزینش بر اساس آن‌ها رگه‌هایی را انتخاب می‌کند که در هر دو شرایط (آبیاری کامل و محدود) عملکرد قابل قبولی دارند (۱۲).

هم‌خوانی ندارد. بنابر نظر برخی پژوهشگران تحمل به تنش صفتی بسیار پیچیده و چند ژنی با قابلیت توارث بسیار پایین است (۹). از این‌رو، بعید به نظر می‌رسد ارتباط نزدیک و مشخصی تنها با یک شاخص اقلیمی داشته باشد.

بخشی از تناقض‌ها بین نتایج آزمایش‌های گوناگون می‌تواند به سبب شرایط متفاوت آزمایش‌ها و روش کاربرد تنش شوری باشد. در آب‌کشت، آنیون‌ها یا کاتیون‌ها به سبب نبود تثبیت یا آب‌شویی به آسانی جذب شده و احتمالاً مقدار بالایی از عناصر در گیاه تجمع می‌یابند. بدین ترتیب ممکن است اثرات شوری مشخص‌تر یا شدیدتر از کشت مزرعه‌ای باشد. اورلیچ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که کاربرد حتی ۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به صورت آب‌کشت سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک منداب سالادی شد (۵۰).

شاخص‌های تنش: به‌منظور ارزیابی بهتر واکنش عملکرد اکوتیپ‌ها به شوری، برخی از مهم‌ترین شاخص‌های تنش شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، میانگین بازدهی (MP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) محاسبه شدند. از نظر مقدار عددی اکوتیپ شاهد و درجوه به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدارهای STI، GMP، HM و MP را به‌خود اختصاص دادند. همچنین، شاهد بالاترین مقدار TOL و در مقابل اکوتیپ‌های درجوه و آبداد بیشترین SSI را نشان دادند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). همچنین، همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه در سطح شاهد (Yp) و سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان سطح تنش (Yp) محاسبه شد (جدول ۴). بر این اساس، همه شاخص‌های محاسبه شده به‌جز SSI

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده عملکرد دانه در شرایط شاهد (Yp) و در شرایط شور (Ys)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین هندسی بازدهی (GMP)، میانگین بازدهی (MP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل (TOL) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) هفت اکوتیپ منداب.

Table 4- Simple correlation coefficients of grain yield in normal (Yp) and saline (Ys) condition, stress tolerance index (STI), stress susceptibility index (SSI), geometric mean productivity (GMP), mean productivity (MP), harmonic mean (HM), tolerance index (TOL), and yield stability index (YSI) in seven *Eruca sativa* ecotypes.

	Yp	Ys	SSI	STI	GMP	MP	HM	TOL
Ys	0.751**	.						
SSI	-0.075 ^{ns}	-0.694**	-					
STI	0.926**	0.905**	-0.344 ^{ns}	.				
GMP	0.906**	0.957**	-0.478*	0.969**	.			
MP	0.969**	0.892**	-0.313 ^{ns}	0.976**	0.982**	.		
HM	0.842**	0.986**	-0.585**	0.947**	0.991**	0.948**	.	
TOL	0.850**	0.291 ^{ns}	0.445*	0.620**	0.549**	0.693**	0.434*	.
YSI	0.075 ^{ns}	0.694**	-1**	0.345 ^{ns}	0.479*	0.313 ^{ns}	0.585**	-0.444*

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ^{ns}: غیر معنی دار.

* and **: significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively, ^{ns}: non-significant.

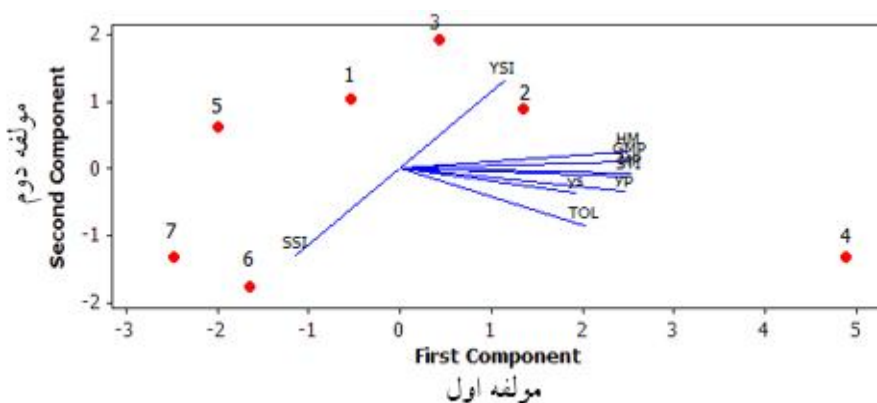
بیشتر ژنوتیپ به خشکی بیشتر است. گزارش شده است که YSI همبستگی بالا با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط بدون تنش دارد و بدین ترتیب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش را انتخاب می‌کند (۴۸). در آزمایش ما شاخص پایداری عملکرد تنها با عملکرد در شرایط تنش همبستگی داشت که از این لحاظ با نتایج سینگ و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد (۴۷). کریشنامورتی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که این شاخص‌ها در قلیابیت متوسط و بالا و همچنین، شوری بالا علاوه بر عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی خوبی با برخی صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع و طول سنبله نیز دارند (۲۴).

تحلیل بای پلات: برای تکمیل نتایج آزمون همبستگی و جمع‌بندی نتایج شاخص‌های تنش، تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد و نتایج به صورت نمودار بای پلات بر اساس دو مولفه اول و دوم رسم شد (شکل ۱). مؤلفه اول در مجموع دو شرایط بدون

از سوی دیگر ژنوتیپ‌هایی که SSI و TOL کوچک‌تری داشته باشند، معمولاً تحمل به خشکی بیشتری دارند. این ژنوتیپ‌ها معمولاً در شرایط غیر تنش عملکرد پایین و در شرایط تنش عملکرد به نسبت بالایی دارند. میزان کمتر شاخص SSI نشان‌گر تفاوت کمتر بین عملکرد شاهد و تنش و پایداری بیشتر عملکرد است و گزارش شده است که همبستگی منفی با عملکرد در حالت تنش دارد (۲۰). با این حال طاهری‌پورفرد و همکاران (۲۰۱۵) در ارزیابی ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در شرایط خشکی آخر فصل دریافتند که Ys همبستگی معنی‌داری با SSI و TOL نداشت (۴۹). پزشک‌پور و همکاران (۳۵) بر اساس شاخص SSI ژنوتیپی از نخود را که مقاومت بیشتر به خشکی و گرمای آخر فصل داشت گزینش کردند. در آزمایش ما SSI با Ys همبستگی منفی داشت که از این لحاظ شبیه نتایج قلی‌پوری و همکاران (۲۰۰۹) است (۲۰). شاخص پایداری عملکرد (YSI) معیاری از تغییر عملکرد در اثر بروز تنش است و مقدارهای کوچک آن نشان‌گر تحمل

نزدیک به جنس براسیکا که متحمل به شوری بوده اند (۴۶) و لاین‌های نخود برای تحمل به خشکی آخر فصل (۴۴) استفاده شده است. گزارش شده است که تحلیل بای پلات بر اساس سه شاخص STI، GMP و MP به سود ژنوتیپ‌های متحمل و بر اساس SSI و TOL به سود ژنوتیپ‌های حساس به شوری برنج خواهد بود (۲۸). همچنین، تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای پلات شاخص‌های STI، MP، GMP، HM و YSI ژنوتیپ‌هایی از جو که عملکرد مناسب در هم شرایط تنش و هم بدون تنش داشتند را مشخص کرد (۴۹). پورش و همکاران (۲۰۰۶) در تحلیل بای پلات برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به گرمای لوبیا دریافتند که مولفه اول ۸۰/۴ درصد از تغییرات را توجیه کرد و همبستگی مثبتی با STI، MP، GMP و عملکرد و همبستگی منفی با TOL و SSI داشت. مولفه دوم ۱۹/۶ درصد از تغییرات را توجیه کرد و همبستگی منفی با TOL و SSI داشت (۳۶).

تنش و تنش شوری ۷۲ درصد از تغییرات را توجیه کرد و همبستگی مثبتی با STI، MP، GMP و عملکرد (شاهد و تنش) داشت. مولفه دوم ۲۳ درصد تغییرات بین صفات را توجیه کرد و همبستگی بالایی با TOL، SSI و YSI داشت و شاخص حساسیت به تنش است (جدول ۶). بر این اساس، اکوتیپ شه‌داد (شماره ۴ در شکل ۱) با قرار گرفتن در ناحیه پایین سمت راست بالاترین عملکرد در هر دو شرایط و کمترین حساسیت را به تنش شوری نشان داد. در مقابل اکوتیپ‌های شماره ۶ و ۷ (آباده و درجوه) با قرار گرفتن در ناحیه پایین سمت چپ کمترین عملکرد در هر دو شرایط و بیشترین حساسیت را به شوری نشان دادند. در نهایت، اکوتیپ‌های سیرجان و دهمورد (به ترتیب شماره ۱ و ۵) نه واجد تحمل نسبی به شوری بودند و نه در هیچ یک از دو شرایط شاهد و تنش عملکرد بالایی داشتند. از تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شناسایی ژنوتیپ‌ها و گونه‌های



شکل ۱- نمایش بای پلات هفت اکوتیپ منداب (در شکل نقطه‌ها با شماره ۱ تا ۷) و هشت شاخص تنش بر اساس دو مولفه اصلی در دو شرایط شاهد و تنش شوری.

Figure 1- Biplot diagram of seven *Eruca sativa* ecotypes and eight stress indices for two principle components under normal and saline conditions.

جدول ۶- مقادارهای مربوط به بردارها و درصد مقادارهای ویژه بین هر یک از مولفه‌ها و هشت شاخص تنش محاسبه شده برای عملکرد دانه هفت اکوتیپ منداب در شرایط شاهد و تنش شوری.

Table 6- Proportion variation and Eigen vectors values for each of the components and eight indices for grain yield of seven *Eruca sativa* ecotypes under both normal and saline condition.

درصد واریانس Proportion variation	Yp	Ys	SSI	STI	GMP	MP	HM	TOL	YSI
71.0	0.38	0.30	-0.18	0.39	0.39	0.39	0.39	0.31	0.18
23.0	-0.17	-0.18	-0.62	-0.06	0.05	-0.04	0.12	-0.40	0.62

تحمل به شوری را در مرحله جوانه‌زنی نشان داده بود، چه در شرایط شاهد و چه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمترین عملکرد دانه و بیولوژیک را داشت. در مقابل اکوتیپ شه‌داد عملکرد دانه و بیولوژیک بسیار بالایی نشان داد و بر اساس شاخص‌های تحمل تنش و تحلیل بای‌پلات برترین اکوتیپ بود. بدین ترتیب به نظر می‌رسد سازوکارهای تحمل به شوری منداب در مرحله جوانه‌زنی و در شرایط گیاه کامل تفاوت دارند و امکان‌گزینش اکوتیپ‌های مطلوب منداب برای هر شرایط اقلیمی خاص وجود دارد.

منابع

1. Ashraf, M. 1994. Organic substances responsible for salt tolerance in *Eruca sativa*. Biol. Planta. 36: 2. 255-259.
2. Ashraf, M., and Mc Neilly, T. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. Critic. Rev. Plant. Sci. 23: 2. 157-174.
3. Ashraf, M., and Noor, R. 1993. Growth and pattern of ion uptake in *Eruca sativa* Mill under salt stress. Angewandte Bot. 67: 2. 17-21.
4. Ashraf, M.Y., and Sarwar, G. 2002. Salt tolerance potential in some members of *Brassicaceae* physiological studies on water relations and mineral contents. P: 237-245, In: R. Ahmad and K.A. Malik (eds), Prospects for saline agriculture. Springer Netherlands.

نتیجه‌گیری کلی

هفت اکوتیپ مورد بررسی در این پژوهش که از نقاط جغرافیایی مختلفی از استان کرمان و فارس جمع‌آوری شده بودند، در آزمایش جوانه‌زنی تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر سرعت و درصد جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه نشان دادند. در حالی که اکوتیپ سیرجان تحمل نسبی به شوری‌های مختلف نشان داد، اکوتیپ بردسیر حتی به شوری‌های ملایم تا متوسط هم حساسیت شدیدی نشان داد و ضعیف‌ترین اکوتیپ از میان هفت اکوتیپ مورد مطالعه بود. با این حال واکنش اکوتیپ‌ها به شوری در شرایط نیمه مزرعه‌ای بسیار متفاوت بود. اکوتیپ درجوه که حد متوسطی از

5. Aktas, H., Abak, K., and Cakmak, I. 2006. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. Sci. Hort. 110: 3. 260-266.
6. Azari, A., Modares Sanavi, S., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A., and Alizadeh, B. 2012. Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica napus* and *B. rapa*). Iran. J. Crop. Sci. 14: 2. 121-135. (In Persian)
7. Barbieri, G., Bottino, A., Di Stasio, E., Vallone, S., and Maggio, A. 2011. Proline and light as quality enhancers of rocket (*Eruca sativa* Mill) grown under saline conditions. Sci. Horti. 128: 4. 393-400.

8. Baskin, J., and Baskin, C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci Res.* 14: 1. 1-16.
9. Blum, A. 2011. Drought resistance- is it really a complex trait. *Func. Plant. Biol.* 38: 10. 753-757.
10. Bouslama, M., and Schapaugh, W. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop. Sci.* 24: 5. 933-937.
11. Doležalová, I., Duchoslav, M., and Dušek, K. 2013. Biology and yield of rocket (*Eruca sativa* Mill.) under field conditions of the Czech Republic (Central Europe). *Notulae Botanicae Horti. Agro. Cluj-Napoca.* 41: 2. 530-537.
12. El-Hendawy, S., Hassan, W., Al-Suhaibani, N., and Schmidhalter, U. 2017. Spectral assessment of drought tolerance indices and grain yield in advanced spring wheat lines grown under full and limited water irrigation. *Agric. Water Manage.* 182: 3. 1-12.
13. Ellis, R., and Roberts, E. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. P: 605-635, In: D. Butterworth (eds), *Seed production*, University of Nottingham, London.
14. Fallahi, H., Fadaeian, G., Gholami, M., Daneshkhan, O., Hosseini, F., Aghavani-Shajari, M., and Samadzadeh, A. 2015. Germination response of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and arugula (*Eruca sativa* L.) to osmotic and salinity stresses. *Plant Breed. Seed. Sci.* 71: 4. 97-108.
15. Farshadfar, A., and Javadinia, J. 2011. Evaluation of chickpea (*cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed Plant Improve. J.* 27: 4. 517-537. (in Persian)
16. Fernandez, G. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. P: 257-270, In: *International Symposium on Adaptation of Vegetable and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Taiwan.
17. Fischer, R., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 5. 897-912.
18. Garg, G. and Sharma, V. 2014. *Eruca sativa* (L.): botanical description, crop improvement, and medicinal properties. *J. Herb. Spice. Medicin. Plants.* 20: 2. 171-182.
19. Ghobadi, M., Bakhshandeh, M., Fathi, G., Gharineh, M., Alami-Said, K., Naderi, A., and Ghobadi, M. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.): effect on yield, yield components, seed oil and protein contents. *J. Agron.* 5: 2. 336-342.
20. Gholipouri, A., Sedghi, M., Sharifi, R., and Nazari, N. 2009. Evaluation of drought tolerance indices and their relationship with grain yield in wheat cultivars. *Rec. Res. Sci. Tech.* 1: 4. 195-198.
21. Hamilton, J.M., and Fonseca, J.M. 2010. Effect of saline irrigation water on antioxidants in three hydroponically grown leafy vegetables: *Diplotaxis tenuifolia*, *Eruca sativa*, and *Lepidium sativum*. *Hortsci.* 45: 4. 546-552.
22. Khan, M.A., and Gul, B. 2006. Halophyte seed germination. P: 11-30, In D.J. Webber (eds), *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*. Springer. Netherlands.
23. Khan, M.A., and Weber, D.J. 2006. *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*. Springer, Netherlands, Pp: 153-167.
24. Krishnamurthy, S.L., Gautam, R.K., Sharma, P.C., and Sharma, D.K. 2016. Effect of different salt stresses on agromorphological traits and utilization of salt stress indices for reproductive stage salt tolerance in rice. *Field Crop. Res.* 190: 1. 26-33.
25. Kristin, A.S., Senra, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallego, P.R., Wassimi, N., and Kelley, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop. Sci.* 37: 1. 43-50.
26. Kumar, G., Purty, R.S., Sharma, M.P., Singla-Pareek, S.L., and Pareek, A. 2009. Physiological responses among *Brassica* species under salinity stress show strong correlation with transcript abundance for SOS pathway-related

- genes. *J. Plant. Physiol.* 166: 5. 507-520.
27. Maguire, J.D. 1962. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop. Sci.* 2: 2. 176-177.
 28. Mansouri, I., Najafi Zarini, H., Babeian Jelodar, N., and Pakdin, A. 2019. Evaluation of Salt tolerance in some canola (*Brassica napus* L.) genotypes under normal and salt stress conditions. *J. Crop. Breed.* 11: 30. 23-36.
 29. Matthees, H.L., Thom, M.D., Gesch, R.W., and Forcella, F. 2018. Salinity tolerance of germinating alternative oilseeds. *Ind Crop. Prod.* 113: 3. 358-367.
 30. Miceli, A., Moncada, A., and D'Anna, F. 2003. Effect of water salinity on seeds-germination of *Ocimum basilicum* L., *Eruca sativa* L. and *Petroselinum hortense* Hoffm. *Acta. Hort.* 609: 4.365-370.
 31. Monti, A., Venturi, P., and Elbersen, H. 2001. Evaluation of the establishment of lowland and upland switchgrass (*Panicum virgatum* L.) varieties under different tillage and seedbed conditions in northern Italy. *Soil. Till. Res.* 63: 2. 75-83.
 32. Negrão, S., Schmöckel, S., and Tester, M. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Ann. Bot.* 119: 1. 1-11.
 33. Opoku, G., Davies, F., Zetina, E., and Gamble, E. 1996. Relationship between seed vigour and yield of white beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Var. Seed.* 9: 119-125.
 34. Orsini, F., Maggio, A., Mickelbart, M.V., D'Urzo, M.P., Bressan, R.A., Inan, G., Yun, D.J., Serra, S., Jeong, J.C., Oh, D.H., Bohnert, H.J., Consiglio, F., and Li, X. 2010. A comparative study of salt tolerance parameters in 11 wild relatives of *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.* 61: 13. 3787-3798.
 35. Pezeshkpour, P., Nazari, S., Mohamadi, F., and Sepahvand, L. 2006. Study of some quantitative traits of Kabul pea genotypes under terminal drought stress in Khoramabad. *Proceeding of the 9th Congress of Crop Science and Plant Breeding.*
 36. Porch, T.G. 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *J. Agron. Crop. Sci.* 192: 5. 390-394.
 37. Puppala, N., Fowler, J.L., Poindexter, L., and Bhardwaj, H.L. 1999. Evaluation of salinity tolerance of canola germination. P: 251-253, In: J. Janick (eds), *Perspectives on new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA.
 38. Purty, R.S., Kumar, G., Singla-Pareek, S.L., and Pareek, A. 2008. Towards salinity tolerance in *Brassica*: an overview. *Physiol. Mol. Biol. Plant.* 14: 1. 39-49.
 39. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euph.* 99: 2. 127-136.
 40. Rehman, S., Harris, P., and Bourne, W. 1998. Effects of pre-sowing treatment with calcium salts, potassium salts, or water on germination and salt tolerance of Acacia seeds. *J. Plant. Nut.* 21: 2. 277-285.
 41. Rosielle, A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-Stress environment. *Crop. Sci.* 21: 6. 943-946.
 42. Salama, F., Khodary, S., and Heikal, M. 1981. Effect of soil salinity and IAA on growth, photosynthetic pigments, and mineral composition of tomato and rocket plants. *Phyton.* 21: 2. 177-188.
 43. Santo, A., Mattana, E., Frigau, L., Marzo Pastor, A., Picher Morelló, M.C., and Bacchetta, G. 2017. Effects of NaCl stress on seed germination and seedling development of *Brassica insularis* Moris (Brassicaceae). *Plant. Biol.* 19: 3. 368-376.
 44. Seyedi, J., Nabipour, A., and Vazan, S. 2012. Defining selection indices for drought tolerance in chickpea under terminal drought stresses. *J. Crop. Breed.* 5: 11. 98-113. (in Persian)
 45. Shahbazi, M., Kiani, A.R., and Raeisi, S. 2011. Determination of salinity tolerance threshold in two rapeseed

- (*Brassica napus* L.) cultivars. Iran. J. Crop. Sci. 13: 1. 18-31. (In Persian)
46. Sharafi, Y., Majidi, M.M., Mirkhani, M., and Rahnama, M. 2014. Biplot analysis for assessing morphological variation and drought tolerance in seven species of Brassica. J. Plant. Process. Func. 3: 7. 13-26. (In Persian)
47. Singh, G., Kumar, P., Gupta, V., Tyagi, B.S., Singh, C., Sharma, A.K., and Singh, G.P. 2018. Multivariate approach to identify and characterize bread wheat (*Triticum aestivum*) germplasm for waterlogging tolerance in India. Field. Crop. Res. 221: 2. 81-89.
48. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field. Crop. Res. 98: 3. 222- 229.
49. Taheripoorfard, Z., Izadi Darbandi, A., Ghazvini, H., Ebrahimi, M., and Mortazavian, S.M. 2015. Study of terminal drought tolerance in promising barley genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. J. Appl. Crop. Breed. 1: 1. 39-55. (in Persian)
50. Urlić, B., Dumičić, G., Romić, M., and Ban, S. G. 2017. The effect of N and NaCl on growth, yield, and nitrate content of salad rocket (*Eruca sativa* Mill.). J. Plant Nut. 40: 18. 2611-2618.
51. Vadez, V., Rashmi, M., Sindhu, K., Muralidharan, M., Pushpavalli, R., Turner, N.C., Krishnamurthy, L., Gaur, P.M., and Colmer, T.D. 2012. Large number of flowers and tertiary branches, and higher reproductive success increase yields under salt stress in chickpea. Eur J. Agron. 41: 42-51.

