



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال دوازدهم/ شماره چهارم/ ۱۴۰۴ (۴۰ - ۲۷)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2026.9713



پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای با استفاده از آنالیزهای چند متغیره

فاطمه زاهدی^۱، احسان شهبازی^{۲*}، بهروز شیران^۳، عدنان آیدین^۴، اسد معصومی‌اصل^۵، پوران دخت گلکار^۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش اجزای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه به تنش شوری آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه اصلاح نباتات دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۲ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح شوری ناشی از کلرید سدیم (صفر به عنوان شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و ۲۴ ژنوتیپ سیاه‌دانه (داخلی و خارجی) بود. صفات مورد مطالعه شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه طولی گیاهچه، شاخص بنیه وزنی گیاهچه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن تر ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین سطوح شوری، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش آن‌ها در تمام صفات در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که چهار مولفه اول در مجموع ۸۷ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز ژنوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم کرد. ژنوتیپ‌های G2، G3 و G72 با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات از لحاظ صفات بنیه طولی گیاهچه، بنیه وزنی گیاهچه، وزن خشک ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی برتر بودند بنابراین در گروه ژنوتیپ‌ها متحمل قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های G7، G59، G4، G11، G78 از نظر صفات مورد ارزیابی دارای مقادیر متوسط بودند بنابراین این ژنوتیپ‌ها در گروه ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل به تنش شوری قرار داشتند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌هایی از نظر صفات مورد بررسی ضعیف‌تر بودند بنابراین این گروه شامل ژنوتیپ‌های حساس به شوری هستند مانند ژنوتیپ‌های G1، G9، G45 و G75.

واژه‌های کلیدی: تجزیه چندمتغیره، تنش شوری، تنوع ژنتیکی، شاخص جوانه‌زنی، سیاه‌دانه

- ۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
zahedif85@gmail.com
 - ۲- دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
es.shahbazi@gmail.com
 - ۳- استاد گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
beshiran45@gmail.com
 - ۴- استادیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایگدیر، ترکیه
adnan.aydin@igdir.edu.tr
 - ۵- دانشیار گروه ژنتیک و به‌نژادی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
a.masoumiasl@modares.ac.ir
 - ۶- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران
poorangolkar@gmail.com
- *نویسنده مسئول: eh_shahbazi@sku.ac.ir

مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که در مناطقی با خاک و آب شور، کیفیت و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. گیاهانی که در معرض شوری زیاد قرار می‌گیرند در اثر تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف، منجر به تغییرات متعدد در ساختار و عملکرد غشای سلول می‌شوند (Aziz et al., 2013). تنش شوری با برهم زدن تعادل، در جذب عناصر مورد نیاز گیاه اختلال ایجاد می‌کند و به این ترتیب دسترسی به عناصر غذایی و انتقال آن در گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این به دلیل رقابت یون‌های سدیم و کلر با یون‌های مغذی مانند پتاسیم، کلسیم و نترات است. چنین ناهماهنگی یونی ناشی از فراوانی مستقیم یون‌های سدیم و کلر بر اجزای بیوفیزیکی و یا متابولیکی سیستم گیاهی است (Hakimi et al., 2022). معمولاً بالاترین حساسیت به شوری در چرخه رشد گیاهان در مرحله جوانه‌زنی و در آغاز رشد گیاهچه مشاهده می‌شود. مطالعه اثرات شوری بر سرعت و درصد جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در بسیاری از گیاهان نشان داده است که تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی، آزمون قابل اعتمادی در ارزیابی تحمل به تنش در بسیاری از گونه‌ها است. شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را کم می‌کند (Hakimi et al; 2013; Arzani, 2008). از اثرات تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی می‌توان به کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی، تأخیر در جوانه‌زنی و تأخیر در ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه و حتی توقف کامل در غلظت‌های بالاتر نمک اشاره کرد (Shakarami et al., 2010; Çavusoglu et al., 2011). جوادی و همکاران (Javadi et al., 2014) در بررسی اثر تنش شوری با سطوح (۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰) دسی‌زیمنس بر متر بر جوانه‌زنی چهار گونه دارویی سیاه‌دانه، شاهدانه، شنبلیله و کنگر فرنگی گزارش دادند که تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را در گونه‌های مورد مطالعه کاهش داد. با افزایش سطوح شوری، وزن تر و خشک گیاهچه سیاه‌دانه و شنبلیله و وزن خشک گیاهچه شاهدانه کاهش یافت. صفر نژاد و همکاران (Safarnejad et al., 2007) با بررسی اثر سطوح مختلف شوری شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در مرحله جوانه‌زنی گیاه سیاه‌دانه نشان دادند که با

افزایش شوری درصد جوانه زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین نتایج حکیمی و همکاران (Hakimi et al., 2022) بر روی چهار گونه گیاه دارویی از جمله سیاه‌دانه، اسطوخودوس، زوفا و گل میمونی در دماهای مختلف و با سطوح شوری مختلف شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نشان داد که با افزایش غلظت شوری، تمام ویژگی‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر کاهش یافت. استفاده از گیاهان دارویی، به‌ویژه گیاهانی که فعالیت‌های بیولوژیکی متنوعی دارند، به دلیل ظرفیت آن در در مان مؤثر طیف وسیعی از بیماری‌ها، توجه بسیاری از مردم جهان را به خود جلب کرده است. از جمله این گیاهان سیاه‌دانه می‌باشد. سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. (نام انگلیسی black cumin) گیاه دارویی و معطر از خانواده Ranunculaceae بومی مناطق نیمه خشک مدیترانه است، که بیشتر در مناطق اروپای جنوبی، سوریه، عربستان سعودی، ایران، پاکستان، هند و ترکیه کشت می‌شود (Benakashani et al., 2025). دانه سیاه‌دانه غنی از متابولیت‌های ثانویه به خصوص مونوترپن‌ها (شامل تیموکینون و تری ترپنوئیدها) می‌باشد. از دانه‌ها و روغن آن به طور گسترده‌ای در مکمل‌های غذایی، محصولات دارویی و مواد مغذی استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داده که تشکیل مواد موثره در گیاهان دارویی تحت تاثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Benakashani et al., 2025; Co,skun et al., 2021; Papastyliaou et al., 2018; Kareem et al., 2025). در اصلاح نباتات بررسی تنوع ژنتیکی در گیاهان امکان انتخاب و ایجاد ارقام متحمل به شوری را فراهم می‌نماید. میزان خسارت تنش شوری به ژنوتیپ و مراحل نمو گیاه، شدت و مدت زمان تنش بستگی دارد. ارزیابی و تعیین تنوع ژنتیکی به منظور دستیابی به تنوع اولیه برای افزایش کارایی برنامه‌های اصلاحی ضروری است. ارزیابی تنوع ژنتیکی درون و بین جمعیت‌های گیاهی با استفاده از نشانگرهای مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی صورت می‌گیرد. در برخی موارد نشانگرهای مولکولی در مطالعات تنوع ژنتیکی ترجیح داده می‌شود. اما نشانگرهای مورفولوژیکی به دلیل کم هزینه بودن و

همچنین سهولت استفاده آن در بررسی‌های اولیه مناسب بوده و به عنوان رویکردی عمومی در بررسی تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها می‌تواند استفاده گردد. این ویژگی‌ها به همراه تجزیه و تحلیل روش‌های آماری چند متغیره مانند تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها می‌تواند مناسب باشد (Mousavi et al., 2017). بین ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف سیاه‌دانه از نظر حساسیت به تنش شوری تفاوت وجود دارد. بنابراین بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش شوری می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای کارهای اصلاحی بسیار ارزشمند باشد. هدف از این تحقیق بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه اصلاح نباتات دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۲ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح شوری ناشی از کلرید سدیم (صفر به عنوان شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک طعام) و ۲۴ ژنوتیپ سیاه‌دانه (شامل ژنوتیپ‌های داخلی و خارجی) بود. ژنوتیپ‌ها از بانک ژن موسسه IPK آلمان (Gene Bank Gatersleben - Leibniz-Institut) و مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شدند (جدول ۱). پس از انتخاب بذرهای هم‌اندازه و سالم، بذرهای ابتدا با آب مقطر شستشو داده شدند و سپس به‌منظور ضدعفونی سطحی، به مدت یک دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد قرار گرفتند. بذرهای پس از ضدعفونی، چندین بار با آب مقطر شسته شدند. در هر پتری‌دیش استریل با قطر ۹ سانتی‌متر، ۲۵ بذر بر روی کاغذ صافی و اتمن قرار داده شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر (برای تیمار شاهد) یا محلول شوری مربوطه به هر پتری اضافه شد و درب پتری‌ها با پارافیلیم بسته شد. پتری‌دیش‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ثابت ۲۲ درجه سلسیوس و تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. تعداد بذرهای جوانه‌زده (بذرهایی با طول ریشه‌چه حداقل ۲ میلی‌متر) به‌صورت روزانه و در ساعت معین شمارش و ثبت شد. در روز چهاردهم پس از شروع

آزمایش، ۵ گیاهچه از هر پتری‌دیش به‌طور تصادفی انتخاب شدند. طول ریشه‌چه از یقه تا انتهای ریشه اصلی و طول ساقه‌چه از یقه تا جوانه انتهایی با خط‌کش و بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه محاسبه شد. وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازوی دیجیتال دقیق و بر حسب میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌های تر ریشه‌چه و ساقه‌چه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. صفات مورد مطالعه شامل درصد جوانه‌زنی (GP)، سرعت جوانه‌زنی (GR)، متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT)، ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG)، شاخص بنیه طولی گیاهچه (LVI)، شاخص بنیه وزنی گیاهچه (SVI)، طول ریشه‌چه (RL)، طول ساقه‌چه (SL)، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (RL/SL)، وزن تر ریشه‌چه (RFW)، وزن تر ساقه‌چه (SFW)، وزن خشک ریشه‌چه (RDW)، وزن خشک ساقه‌چه (SDW) و نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه (RDW/SDW) بود.

درصد جوانه‌زنی بر اساس رابطه ۱ (Ikic et al., 2012) محاسبه شد:

$$GP = \left[\frac{n}{N} \right] \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n: درصد نهایی بذرهای جوانه زده و N: تعداد بذرهای کشت شده.

سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ (Verma et al., 2005) محاسبه شد:

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti} \quad \text{رابطه (۲)}$$

GR: سرعت جوانه‌زنی، Ni: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز، Ti: تعداد روزها از ابتدای کاشت تا شمارش نهایی.

میانگین مدت زمان جوانه‌زنی از رابطه ۳ (Ellis and Roberts, 1981) به دست آمد:

$$MGT = \frac{\sum (NiTi)}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

MGT: متوسط زمان جوانه‌زنی، N: تعداد کل بذرهای جوانه‌زده.

ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) که عکس متوسط مدت زمان جوانه‌زنی است از رابطه ۴ (Maguire, 1962) به دست آمد:

$$CVG = \left[\frac{1}{MGT} \right] \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. همچنین به‌منظور بررسی روابط بین صفات و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی آنالیزهای چندمتغیره، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد.

شاخص بنیه طولی گیاهچه (Abdul-Baki and Anderson, 1973):

رابطه (۵) $100 / (\text{طول ساقه‌چه} + \text{طول ریشه‌چه})$
(میلی‌متر) $\times$ درصد جوانه‌زنی = شاخص طولی بنیه گیاهچه
شاخص وزنی بنیه گیاهچه (Abdul-Baki and Anderson, 1973)
رابطه (۶) $100 / (\text{وزن خشک ساقه‌چه} + \text{وزن خشک ریشه‌چه})$ (میلی‌گرم) $\times$ درصد جوانه‌زنی = شاخص وزنی بنیه گیاهچه

جدول ۱- اسامی و منشاء ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه مورد مطالعه در این پژوهش

Table 1. Names and origins of *Nigella Sativa* L. genotypes studied in this research

نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	مبدا	نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	مبدا
Genotypic code	Genotype	origin	Genotypic code	Genotype	origin
G1	Freidun 1	Iran	G53	53	Tajikistan
G2	Chaharmahal	Iran	G55	55	Lebanon
G3	Freidun 2	Iran	G59	59	Syria
G4	Kerman	Iran	G61	61	Tunisia
G5	Isfahan	Iran	G64	64	Algeria
G6	Dehaqan	Iran	G68	68	Uzbekistan
G7	Qazvin	Iran	G72	72	Syria
G8	23750	Iran	G73	73	Uzbekistan
G9	23768	Iran	G75	75	Georgia
G10	Mashhad	Iran	G76	76	Kyrgyzstan
G11	Semirom	Iran	G78	78	Yemen
G45	45	Ethiopia	G81	81	Unknown

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین

در طی آزمایش، به دلیل عدم جوانه‌زنی اغلب ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، این تیمار از تجزیه و تحلیل آماری حذف شد و آنالیز داده‌ها برای سطوح شوری ۰ (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار صورت پذیرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف شوری، ژنوتیپ و اثر متقابل شوری $\times$ ژنوتیپ بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس جدول ۳ با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کلیه صفات مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد کاهش شدیدی را نشان داد. نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها (جدول ۴) نشان داد که ژنوتیپ‌های G2 و G72 دارای بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی بودند که بیانگر تحمل نسبی بالاتر آن‌ها به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی است، همچنین این ژنوتیپ‌ها در

کوتاه‌ترین زمان جوانه زدند، در حالی که ژنوتیپ‌های G1 و G9 کمترین مقدار درصد و سرعت جوانه‌زنی و طولانی‌ترین مدت زمان جوانه‌زنی را نشان دادند (با توجه به تعداد زیاد جداول برهم‌کنش تنش شوری و ژنوتیپ‌ها از ذکر آن خودداری شد). به‌طور کلی، ژنوتیپ‌هایی که دارای متوسط زمان جوانه‌زنی کمتری بودند، از ضریب سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بودند و بالعکس. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که ژنوتیپ‌های G59 و G8 بیشترین طول ریشه‌چه را داشتند. در حالی که ژنوتیپ‌های G81، G6 و G9 کمترین طول ریشه‌چه را نشان دادند. از نظر طول ساقه‌چه، ژنوتیپ‌های G4، G72، G2 و G5 بیشترین مقادیر را نشان دادند، در حالی که ژنوتیپ‌های G75، G9، G1 و G6 کمترین مقدار این صفت را داشتند. بر اساس جدول ۴ ژنوتیپ‌های G45 و G59 بالاترین نسبت RL/SL را نشان دادند. در حالی که ژنوتیپ G7 کمترین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه را داشت. بررسی اثر اصلی ژنوتیپ‌ها (جدول ۴) برای وزن تر ریشه‌چه نشان

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تنش شوری بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه

Table 2. Analysis of variance related to the effects of salinity stress on seed germination and seedling characteristics of *Nigella Sativa* L. genotypes

منابع تغییرات Sources of variance	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی Mean germination time	ضریب سرعت جوانه‌زنی germination rate coefficient	طول ریشه‌چه root length	طول ساقه‌چه shoot length	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Ratio of root to shoot length	وزن تر ریشه‌چه fresh weight root	وزن تر ساقه‌چه fresh weight shoot	وزن خشک ریشه‌چه dry weight root	وزن خشک ساقه‌چه dry weight shoot	نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه ratio of root to shoot dry weight	شاخص بنیه طولی seedling Length vigor index	شاخص بنیه وزنی seedling weight vigor index
تنش شوری Salinity stress	3	62629.04**	192.53**	259.90**	0.0703**	62319**	344.16**	103.52**	763.81**	1367.58**	3.41**	6.48**	2.45**	85249.60**	20.62**
ژنوتیپ Genotype	23	2854.25**	11.01**	13.87**	0.0053**	404.74**	34.45**	0.405**	5.92**	49.54**	0.039**	0.171**	0.088**	1014.37**	0.580**
ژنوتیپ × شوری Genotype × Stress	69	259.62**	0.42**	1.01**	0.0004**	130.53**	4.97**	0.576**	2.07**	11.80**	0.006**	0.039**	0.049**	172.74**	0.054**
خطا Error	288	24.09	0.11	0.28	0.00014	14.93	1.50	0.12	0.430	1.57	0.0016	0.0033	0.0035	20.88	0.0073
ضریب تغییرات (cv%)	-	7.58	13.10	6.77	8.79	13.40	11.62	14.61	16.87	17.01	13.95	9.34	12.69	14.54	12.46

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ را نشان می‌دهد.

** Significant at %1 of probability level

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه

Table 3. Mean comparison of Salinity Stress on Seed and Seedling Germination Characteristics of *Nigella Sativa* L. Genotypes

شاخص بنیه	شاخص بنیه	نسبت وزن	وزن خشک	وزن خشک	وزن تر	وزن تر	نسبت طول	طول	طول	ضریب سرعت	میانگین مدت	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	غلظت کلرید سدیم (میلی مولار)
وزنی	طول	خشک ریشه‌چه	ساقه‌چه	ریشه‌چه	ساقه‌چه	ریشه‌چه	ریشه‌چه به ساقه‌چه	ریشه‌چه	ساقه‌چه	جوانه‌زنی	زمان جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	Germination rate	Germination percentage
seedling weight vigor index	seedling Length vigor index	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	Ratio of root to shoot length	shoot length	root length	germination rate coefficient	Mean germination time	Germination rate	Germination rate	Germination percentage
1.10 a	68.77 a	0.692 a	0.859 a	0.510 a	10.80 a	6.74 a	3.81 a	16.17 a	61.83 a	0.161 a	6.37 d	3.97 a	87.70 a	0
1.02 b	41.33 b	0.456 b	0.747 b	0.38 b	9.18 b	5.79 b	2.39 b	14.75 b	35.30 b	0.151 b	6.77 c	3.48 b	81.58 b	50
0.499 c	12.86 c	0.316 c	0.624 c	0.184 c	7.43 c	2.11 c	1.82 c	7.84 c	13.50 c	0.125 c	8.14 b	2.02 c	57.91 c	100
0.124 d	2.68 d	0.408 d	0.261 d	0.095 d	2.10 d	0.89 d	1.44 d	3.40 d	4.72 d	0.101 d	10.02 a	0.862 d	31.58 d	150
0.0244	1.29	0.0169	0.0165	0.0117	0.35	0.186	0.098	0.348	1.098	0.0034	0.150	0.096	1.39	LSD

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

The means with at least one common letter using LSD test at the 5% probability level are not significantly different in each column.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری

Table 4. Mean comparison of genotypes on seed and seedling germination characteristics of *Nigella sativa* L. genotypes under salinity stress conditions

ژنوتیپ	ژنوتیپ	نسبت وزن	وزن خشک	وزن خشک	وزن تر	وزن تر	نسبت طول	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	ضریب سرعت	میانگین مدت	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	ژنوتیپ
Genotype	Genotype	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	Ratio of root to shoot length	shoot length	root length	germination rate coefficient	Mean germination time	Germination rate	Germination percentage	Genotype
seedling weight vigor index	seedling Length vigor index	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	به ساقه‌چه	Ratio of root to shoot length	shoot length	root length	germination rate coefficient	Mean germination time	Germination rate	Germination percentage	Genotype
0.489 kl	21.54 lmn	0.501 bcd	0.548 jkl	0.251 ghi	6.52 i-m	3.61 g-l	2.26 efg	8.83 ghi	23.72 jkl	0.113 m	9.12 a	1.56 m	47.75 j	G1
1.76 a	43.51 a	0.486 de	0.793 ab	0.384 b	10.64 a	5.01 a	2.40 b-f	33.59 bc	12.21 ab	0.163 b	6.54 k	4.07 b	86.75 a	G2
0.93 b	39.65 cd	0.439 gh	0.741 cd	0.334 c	8.89 cd	4.52 bcd	2.37 c-g	11.86 ab	32.03 c-f	0.146 de	6.96 ij	3.37 c	81.5 b	G3
0.7 fg	33.32 fg	0.441 fgh	0.753 bc	0.328 cd	8.96 bc	4.34 b-e	2.24 efg	12.60 a	33.08bcd	0.131ghi	7.85 ef	2.18 hi	55.75 h	G4
0.878 bc	43.79 a	0.449efg	0.641 gh	0.302 def	8.07 def	3.95 e-h	2.56 a-d	11.51 bcd	34.1 bc	0.156 bc	6.69 kj	3.90 b	88.25 a	G5
0.529 h-k	20.64 n	0.481 def	0.585 ij	0.227 fg	5.80 lmn	3.81 f-i	2.31efg	8.75 ghi	21.88 lm	0.125 ij	8.28 d	2 ijk	53 hi	G6

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

The means with at least one common letter using LSD test at the 5% probability level are not significantly different in each column.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری

Continued table 4- Mean comparison of Genotypes on Seed and Seedling Germination Characteristics of *Nigella Sativa* L. Genotypes under Salinity Stress Conditions.

ژنوتیپ Genotype	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی Mean germination time	ضریب سرعت جوانه‌زنی germination rate coefficient	طول ریشه‌چه shoot length	طول ساقه‌چه root length	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Ratio of root to shoot length	وزن تر ریشه‌چه fresh weight root	وزن تر ساقه‌چه fresh weight shoot	وزن خشک ریشه‌چه dry weight root	وزن خشک ساقه‌چه dry weight shoot	نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه ratio of root to shoot dry weight	شاخص بنیه طولی seedling length vigor index	شاخص بنیه وزنی seedling weight vigor index
G7	54.25 h	1.91 jkl	8.24 d	0.123 i-l	26.24 ij	11.74 bc	1.97 h	3.16 lm	4.62 op	0.291 ef	0.502mno	0.533 bc	26.15 j	0.504 jk
G8	76.75 c	3.49 c	6.61 jk	0.158 b	36.94 a	11.77 abc	2.60 abc	3.45 i-l	7.59e-h	0.313 cde	0.696 ef	0.435 gh	43.28 ab	0.866 c
G9	50 ij	1.69 lm	8.8 ab	0.116 kl	22.1 lm	8.26 hi	2.25 efg	3.52 h-l	5.77 mn	0.222 i	0.45 p	0.52 bcd	20.70 mn	0.427 m
G10	59.5 g	2.22 hi	8.30 d	0.124 ijk	23.38klm	9.06 ghi	2.39 b-f	3.67 g-j	7.30 f-i	0.254 gh	0.614 hi	0.414 ghi	23.82 j-m	0.586 h
G11	54 h	2.32 gh	7.26 hi	0.142 def	35.61 ab	12.10 ab	2.42 b-f	4.06 efg	10.09 a	0.296 ef	0.727 cde	0.394 ij	34.16 ef	0.646 g
G45	54 h	1.79 klm	8.92 ab	0.115 lm	28.03ghi	9.10 gh	2.68 a	4.78 ab	6.43 i-m	0.247 hi	0.489 nop	0.542 b	26.95 ij	0.514 ijk
G53	66.5 ef	2.91 d	7.12 hi	0.149 cd	32.31cde	11.22 cde	2.45 a-e	3.64 g-k	7.61 e-h	0.304 def	0.667 fg	0.437 gh	32.72 fg	0.691 fg
G55	47.25 j	1.63 m	8.98 ab	0.116klm	27.26 hi	10.57 ef	2.20 fgh	3.22 j-m	5.37 no	0.276 fg	0.523lmn	0.495 cd	24.23 jkl	0.471 klm
G59	64 f	2.62 ef	7.69 fg	0.138 fg	36.97 a	11.88 abc	2.63 ab	4.33 b-e	9.79 ab	0.29 ef	0.668 fg	0.402 hij	40.25 bcd	0.724 ef
G61	53 hi	1.93 jk	8.67 bc	0.12 j-m	25.76ijk	8.99 ghi	2.42 b-f	4.34 b-e	6.02 k-n	0.287 ef	0.565 jk	0.512 bcd	24.78 jk	0.559 hij
G64	74.25 c	2.48 fg	8.39 cd	0.122 jkl	24.41 jkl	9.06 ghi	2.39 b-f	4.63 abc	6.99 g-j	0.277 fg	0.71 de	0.371 j	29.40 hi	0.824 cd
G68	69.75 de	2.72 de	7.73 fg	0.135fgh	30.33efg	10.78 def	2.36c-g	3.48 i-l	6.80 h-k	0.307 cde	0.541klm	0.537 b	34.15 ef	0.671 fg
G72	90 a	4.53 a	5.94 l	0.181 a	29.60 fgh	12.07 abc	2.14 gh	4.14 def	10.50 a	0.329 cd	0.809 a	0.408 g-j	40.28 bc	1.07 a
G73	77 c	3.50 c	6.62 jk	0.158 b	30.85def	11.66 bc	2.26 efg	4.31 cde	7.72 efg	0.336 c	0.621 hi	0.49 de	37.82 cd	0.822 cd
G75	55.75 h	2.14 hij	8.21 de	0.127 hij	22.61 lm	8.21 i	2.28 efg	2.84 m	4.43 p	0.189 j	0.463op	0.408 hij	22.94 k-n	0.43 lm
G76	67.25 def	2.33 gh	8.39 cd	0.123 i-l	27.85 ghi	10.17f	2.43 b-f	2.80 m	6.65 i-l	0.422 a	0.583 ij	0.724 a	30.92 gh	0.799 de
G78	70.5 d	2.75 de	7.38 gh	0.14 ef	32.62 cde	11.42 b-e	2.44 a-f	4.38 b-e	8.32 cde	0.304def	0.698 ef	0.413 hi	37.1 de	0.801 d
G81	56 h	1.92 jkl	9.06 a	0.116 lm	20.84 m	9.12 g	2.34 d-g	3.21klm	6.18 j-n	0.243 hi	0.572 jk	0.412 ghi	21.7 k-n	0.569 hi

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

The means with at least one common letter using LSD test at the 5% probability level are not significantly different in each column

داد که ژنوتیپ G2 بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های G76 و G75 کمترین مقدار وزن تر ریشه‌چه را نشان دادند. این نتایج بیانگر تفاوت ژنتیکی ژنوتیپ‌ها از نظر توانایی حفظ ریشه‌چه در شرایط شوری است. در خصوص وزن تر ساقه‌چه، ژنوتیپ‌های G2، G72 و G11 بیشترین مقدار، در حالی که ژنوتیپ‌های G75 و G7 کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند. مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ‌ها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های G2 و G76 بود. در حالی که ژنوتیپ‌های G75 و G9 کمترین مقدار این صفت را نشان دادند. از نظر وزن خشک ساقه‌چه را نشان دادند، در حالی که ژنوتیپ‌های G9 و G75 کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند. نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های G76 و G45 بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های G11 و G64 پایین‌ترین مقدار را نشان دادند که بیانگر تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر الگوی تخصیص ماده خشک بین اندام‌های زیرزمینی و هوایی در شرایط تنش شوری است. براساس تحلیل اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها (جدول ۴)، بیشترین بنیه طولی مربوط به ژنوتیپ‌های G5، G2، G72، G8 و G59 بود، در حالی که ژنوتیپ‌های G6، G9 و G1 کمترین بنیه طولی را نشان دادند. در مورد شاخص بنیه وزنی، بیشترین مقدار در ژنوتیپ‌های G2 و G72 بود، و ژنوتیپ‌های G9 و G75 کمترین بنیه وزنی را نشان دادند.

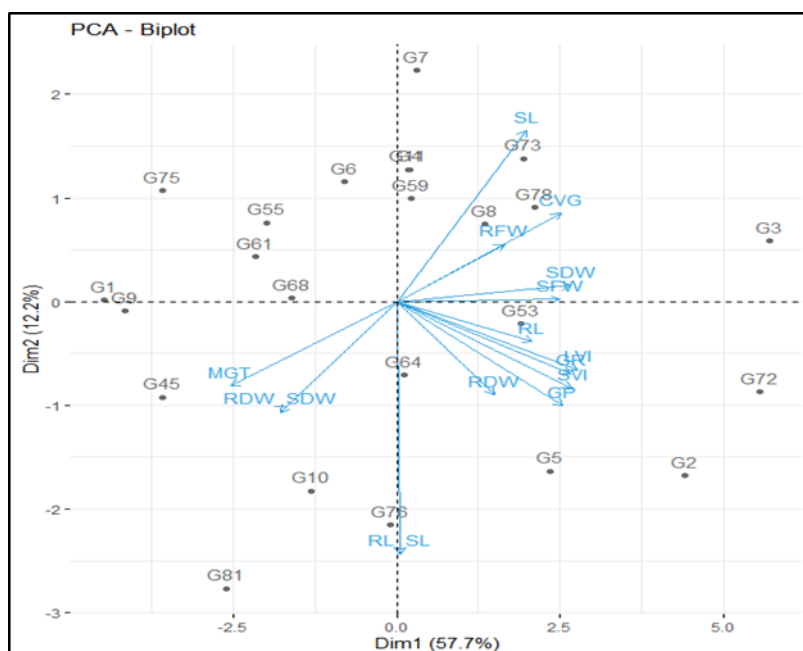
تجزیه به مولفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که چهار مولفه اول دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک بوده و در مجموع ۸۷ درصد از تغییرات کل صفات مورد بررسی را توجیه کردند (جدول ۵). در مولفه اول با سهم ۵۷ درصد، صفات بنیه طولی و وزنی گیاهچه، وزن خشک ساقه‌چه، درصد، سرعت و ضریب سرعت جوانه‌زنی ضریب مثبت و بالایی داشتند ولی صفت متوسط زمان جوانه‌زنی دارای ضریب منفی (۰/۳۰۱-) بود بنابراین ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای این مولفه ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های دارای مقادیر کم این مولفه حساس به تنش شوری هستند که با نتایج موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2017) که مولفه اول را متحمل به شوری نامیدند مطابقت داشت. در مولفه دوم صفات طول ساقه‌چه با ضریب ۰/۴۲۵+ و

نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه با ضریب ۰/۶۲۷-، بیشترین سهم را داشتند که این مولفه ۱۲/۲۲ درصد از تغییرات را توجیه کرد. مولفه سوم ۱۰/۳۹ درصد از تغییرات را توجیه نمود در این مولفه وزن تر و خشک ریشه‌چه سهم بیشتری دارند در حالیکه در مولفه چهارم طول ریشه‌چه از اهمیت بالایی برخوردار است (جدول ۶). در مطالعه زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2012) با استفاده از تجزیه به عامل‌ها ۳ فاکتور اساسی را شناسایی کردند که در مجموع ۹۴/۱۲ از واریانس کل داده‌ها در سیاه‌دانه را توجیه نمود. محمدی و همکاران (Mohamadi et al., 2023) برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف برنج با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی تعداد چهار مولفه اصلی را گزارش کردند که در مجموع ۷۷/۲۷ درصد تغییرات را توجیه کردند. با توجه به زاویه بین بردارها صفات طول ساقه‌چه، ضریب سرعت جوانه‌زنی و وزن تر ریشه‌چه همبستگی مثبت و بالایی دارند و این صفات همبستگی منفی و شدیدی با صفات متوسط زمان جوانه‌زنی و نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه دارند. صفات وزن تر و خشک ساقه‌چه همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر نشان دادند. همچنین بین صفات طول ریشه‌چه، درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه و بنیه وزنی و طولی گیاهچه نیز در شرایط تنش شوری همبستگی مثبت وجود دارد. با توجه به همبستگی مثبت بین متوسط سرعت جوانه‌زنی با نسبت وزن خشک ریشه‌چه به وزن خشک ساقه‌چه و همبستگی منفی این صفات با صفات مرتبط با ساقه‌چه می‌توان نتیجه گرفت که اثر سوء تنش شوری روی صفات رشدی ساقه‌چه بیشتر است یا به عبارت دیگر ژنوتیپ‌ها توانسته‌اند جوانه بزنند ولی رشد ساقه‌چه آن‌ها بسیار تحت تاثیر شوری قرار گرفت (شکل ۲). پراکندگی ژنوتیپ‌ها در محیط شور بر اساس دو مولفه اول نشان داد که ژنوتیپ‌های G3، G72، G2 و G5 دارای مقادیر بالای مولفه اول هستند بنابراین این ژنوتیپ‌ها دارای تحمل بیشتری به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی دارند و از طرفی ژنوتیپ‌های G1، G9 و G75 و G45 دارای مقادیر پایین مولفه اول هستند بنابراین ژنوتیپ‌های حساس هستند. ژنوتیپ‌های G53، G73، G78، G8 و G64 دارای مقادیر متوسط مولفه اول و مقادیر تقریباً بالای مولفه دوم هستند بنابراین این ژنوتیپ‌ها دارای حساسیت متوسط به تنش شوری هستند (شکل ۱).

جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری
 Table 5. Results of principal component analysis of studied traits in *Nigella sativa* L. genotypes under salinity stress

صفات Traits	مؤلفه اول Component 1	مؤلفه دوم Component 2	مؤلفه سوم Component 3	مؤلفه چهارم Component 4
Germination percentage درصد جوانه‌زنی	0.302	-0.258	-0.251	0.179
Germination rate سرعت جوانه‌زنی	0.316	-0.178	-0.251	0.173
Mean germination time میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	-0.301	-0.209	0.202	0.069
germination rate coefficient ضریب سرعت جوانه‌زنی	0.298	0.219	-0.208	-0.065
Shoot length طول ریشه‌چه	0.235	-0.098	0.284	-0.542
Root length طول ساقه‌چه	0.235	0.425	0.276	-0.117
ratio of root to shoot length نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	0.006	-0.627	0.048	-0.542
fresh weight root وزن تر ریشه‌چه	0.195	0.142	0.469	0.061
fresh weight shoot وزن تر ساقه‌چه	0.297	0.006	0.224	0.028
dry weight root وزن خشک ریشه‌چه	0.178	-0.231	0.487	0.323
dry weight shoot وزن خشک ساقه‌چه	0.316	0.041	0.096	-0.014
ratio of root to shoot dry weight نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه	-0.211	-0.273	0.297	0.388
seedling Length vigor index بنيه طولی گیاهچه	0.329	-0.168	-0.123	0.087
seedling weight vigor index بنيه وزنی گیاهچه	0.318	-0.215	-0.095	0.237
Eigen value مقادیر ویژه	8.07	1.71	1.45	1.01
(%) Variance واریانس توجیه شده	57.67	12.22	10.39	7.27
(%) Cumulative variance واریانس تجمعی	57.67	69.89	80.28	87.55



شکل ۱- نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه در شرایط شوری براساس مؤلفه‌های اول و دوم
 Figure 1. Biplot of rice genotypes under salinity conditions based on the first and second

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی سیاه‌دانه بر اساس فاصله اقلیدوسی و روش وارد (Ward) نشان داد که ژنوتیپ‌ها را می‌توان در ۳ گروه طبقه‌بندی کرد (آبی، سبز و قرمز). شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف حاکی از تفاوت معنی‌دار برای اکثر صفات می‌باشد (جدول ۶). اگر چه برای صفات نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه بین گروه‌ها اختلاف معنی‌داری نبود لذا این صفات در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها اهمیت بالایی نداشتند و احتمالاً بخاطر این است که ژنوتیپ‌های در یک گروه از لحاظ این صفات پاسخ متفاوتی داشتند و به همین علت بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ولی سایر صفات بخصوص صفات مرتبط با ساقه‌چه بین گروه‌ها اختلاف معنی‌داری بود به همین خاطر آن صفات باعث تفکیک بین ژنوتیپ‌ها شدند. نتایج تجزیه چند متغیره، پیلای، هتلینگ، ویلیکس و روی حاکی از تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای می‌باشد که نشان دهنده گروه‌بندی درست ژنوتیپ‌ها می‌باشد (جداول ۶ و ۷). با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای (شکل ۲) گروه دوم (سبز) شامل ژنوتیپ‌های G2، G3 و G72 بود که متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به شوری محسوب می‌شوند و از

لحاظ صفات مورد ارزیابی برتر بودند و کمتر تحت تاثیر شوری قرار گرفتند. گروه سوم (قرمز) شامل ژنوتیپ‌هایی بود که از نظر صفات مورد بررسی ضعیف‌تر بودند بنابراین این گروه شامل ژنوتیپ‌های حساس به شوری هستند مانند ژنوتیپ‌های G1، G9، G45 و G75. گروه اول (آبی) مانند ژنوتیپ‌های G78، G11، G4، G59، G7 از نظر صفات مورد ارزیابی بینابین بودند و می‌توان جزء ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل به شوری نامگذاری کرد. نتایج تجزیه خوشه‌ای با نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی مطابقت داشت. بنابراین با نتایج این دو روش می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به شوری را شناسایی کرد و در برنامه‌های اصلاحی به کار برد. سلطانی و خداحرم‌پور (Soltani and Khodarahmpour, 2016) بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های یونجه مورد مطالعه را به سه گروه متحمل، نیمه‌متحمل و حساس تقسیم‌بندی کردند. فروزان‌فر و همکاران (Foroozanfar et al., 2014) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در برنج را بر اساس نتایج تجزیه کلاستر به دو گروه تقسیم کردند که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های متحمل و گروه دوم شامل ژنوتیپ‌هایی بود که از نظر بیشتر صفات در حد پایینی قرار داشته و نسبتاً حساس به شوری بودند.

جدول ۶- تجزیه واریانس و میانگین (میانگین $\pm$ خطای استاندارد) گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط تنش شوری

Table 6. Analysis of variance and mean (mean $\pm$ standard error) of groups resulting from cluster analysis under salinity stress

Traits	M.S.(B)	M.S.(W)	Groups		
			Group1	Group2	Group3
GP	1981.7**	100.7	34 $\pm$ 4.37	61.67 $\pm$ 3.93	21.18 $\pm$ 1.67
GR	2.28**	0.08	0.97 $\pm$ 0.13	1.86 $\pm$ 0.1	0.49 $\pm$ 0.05
MGT	11.20**	0.37	9.26 $\pm$ 0.2	8.75 $\pm$ 0.23	11.06 $\pm$ 0.19
CVG	0.001**	0.00004	0.109 $\pm$ 0.002	0.115 $\pm$ 0.003	0.091 $\pm$ 0.002
RL	3.8*	0.85	5.09 $\pm$ 0.22	5.63 $\pm$ 0.19	4.14 $\pm$ 0.35
SL	2.73**	0.43	3.75 $\pm$ 0.22	4.11 $\pm$ 0.2	2.9 $\pm$ 0.21
RL/SL	0.01	0.1	1.41 $\pm$ 0.06	1.42 $\pm$ 0.06	1.48 $\pm$ 0.14
RFW	0.32*	0.07	0.97 $\pm$ 0.04	1.23 $\pm$ 0.15	0.75 $\pm$ 0.11
SFW	5.81**	0.30	2.22 $\pm$ 0.13	3.76 $\pm$ 0.5	1.56 $\pm$ 0.18
RDW	0.002	0.0007	0.092 $\pm$ 0.006	0.129 $\pm$ 0.014	0.09 $\pm$ 0.01
SDW	0.08**	0.003	0.297 $\pm$ 0.014	0.425 $\pm$ 0.019	0.184 $\pm$ 0.019
RDW/SDW	0.13**	0.01	0.313 $\pm$ 0.013	0.309 $\pm$ 0.045	0.522 $\pm$ 0.048
LVI	24.03**	0.71	2.98 $\pm$ 0.35	5.96 $\pm$ 0.29	1.52 $\pm$ 0.18
SVI	0.94**	0.002	0.13 $\pm$ 0.02	0.34 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.01

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively

جدول ۷- مقایسه بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از آزمون‌های چند متغیره برای ۲۴ ژنوتیپ

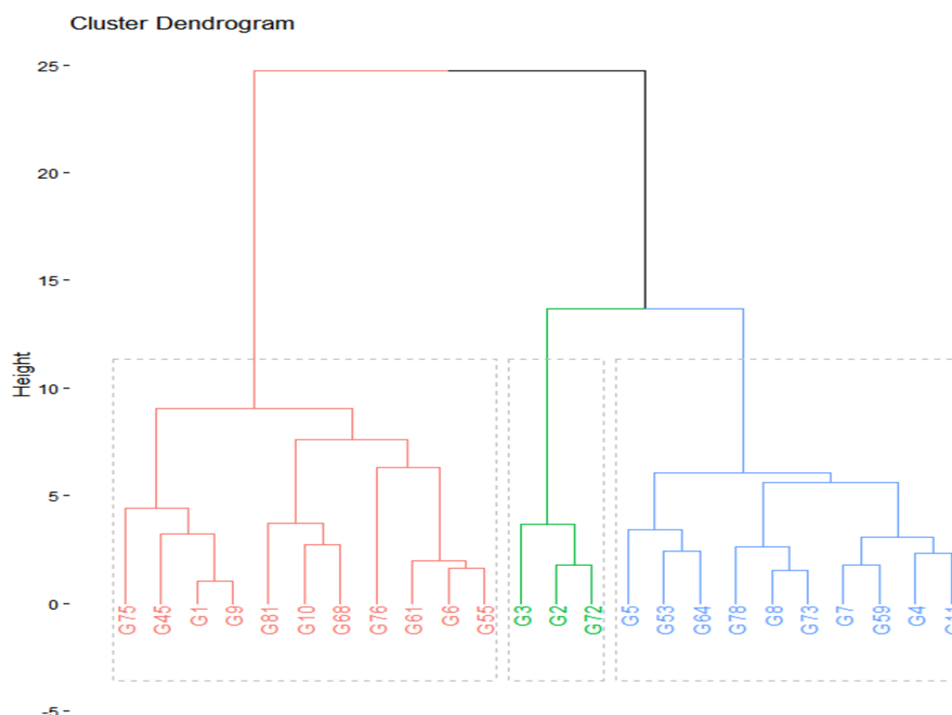
سیاهدانه بر اساس صفات مرتبط با جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری

Table 7. Comparison between groups resulting from cluster analysis using multivariate tests for 24 *Nigella sativa* L. genotypes based on germination-related traits under salinity stress

Test	Df	Statistic Value	F
Pillai's trace	2	1.81	6.15**
Wilks's lamda	2	0.005	7.67**
Hotelling-Lawley trace	2	37.34	9.33**
Roy's largest root	2	32.05	20.60**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ را نشان می‌دهد.

** Significant at 1% of probability level.



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای برای ۲۴ ژنوتیپ سیاهدانه بر اساس صفات مختلف در شرایط تنش شوری

Figure 2. Cluster analysis for 24 *Nigella sativa* L. genotypes based on different traits under salt stress conditions

نتیجه‌گیری

در این مطالعه ۲۴ ژنوتیپ مورد بررسی در سه گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های G7, G59, G4, G11, G78 در گروه اول قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها در نمودار بای پلات در مکانی با مولفه اول متوسط و مولفه دوم بالا قرار گرفتند که با توجه به نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی از لحاظ صفات مولفه اول (بنیه طولی و وزنی گیاهچه، وزن خشک ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت و ضریب سرعت جوانه‌زنی مثبت و بالا و متوسط زمان جوانه‌زنی منفی و کم) دارای مقادیر متوسط و مقادیر تقریباً بالای مولفه دوم

(طول ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه) هستند بنابراین این ژنوتیپ‌ها را می‌توان جزء ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل به شوری نامگذاری کرد. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های G2, G3 و G72 بود که با توجه به نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای پلات دارای مقادیر بالای مولفه اول هستند و از لحاظ صفات مورد ارزیابی برتر بودند بنابراین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به شوری محسوب می‌شوند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های هستند که با توجه به نتایج تجزیه به مولفه‌ها و بای پلات دارای درصد و سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه،

وزن تر و خشک گیاهچه و شاخص بنیه طولی و وزنی پایینی هستند مانند ژنوتیپ‌های G1، G9، G45 و G75. بنابراین این گروه ژنوتیپ‌های حساس به شوری هستند. بنابراین با نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به شوری را شناسایی کرد و بر اساس نتایج این مطالعه از ژنوتیپ‌های گروه دوم جهت تحمل به شوری در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مراتب سپاس خود را از دانشگاه شهرکرد جهت حمایت از این پژوهش اعلام می‌دارند

منابع

- Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. Crop science, 13(6), 630-633. (**Journal**)
- Arzani, A. 2008. Improving Salinity Tolerance in Crop Plants: A Biotechnological View. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 44, 373-383. (**Journal**)
- Aziz, E.E., Hussein, M.S., Wahba, H.E., and Razin, A.M. 2013. Essential oil constituents of *Dracocephalum moldavica* L. grown under salt Stress and different sources of soil amendment. Middle-East Journal of Scientific Research, 16(5):706-713. (**Journal**)
- Bayat, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M.E. and Mohammadi, GH. 2016. Evaluation of the feasibility of a standard seed germination test in vitro to predict emergence and establishment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings in the field. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 5(1): 27-38. (In Persian) (**Journal**)
- Benakashani, F., Tavakoli, H., & Soltani, E. 2025. Living mulches as a strategy for weed control and improved *Nigella sativa* L. production in salt-affected soils. OCL, 32, 25. (**Journal**)
- Bijeh Keshavarzi, M. H. 2012. Studying the effects of different levels of salinity which caused by NaCl on early growth and germination of *Lactuca Sativa* L. seedling. Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 8(1): 203-208. (**Journal**)
- Çavusoglu, K., and Kabar, K. 2010. Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. EurAsian Journal of BioSciences, 4. (**Journal**)
- Coşkun, Ö., Çağlar, A.F., Çakır, B., and Gülseren, I. 2021. Influence of Maillard reaction conditions and solvent extraction on the surface activity and foaming characteristics of black cumin protein concentrates. Journal of Food Science and Technology. 58(11): 4323–4332. (**Journal**)
- Dadashi Chavan, D., Abbasi, A. and Ahmadi Lak, A. 2021. Evaluation of salinity tolerance in 43 lentil genotypes along with the people variety. Iranian Journal of Field Crop Science. 52(3): 67-87. (In Persian) (**Journal**)
- Datta, J. K., Nag, S., Banerjee, A., and Mondai, N. K. 2009. Impact of salt stress on five varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 13(3): 93-97. (**Journal**)
- Ellis, R. H. and E. H. Roberts. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9(2): 373-409. (**Journal**)
- Foroozanfar, M., Naghavi, M. R., Peyghambari, A., Jafari, A. A., and Kamalabadi, S. N. 2014. Evaluation of Medicago truncatula ecotypes for resistance to salinity. 22(1): 43-54. (In Persian) (**Journal**)
- Hakimi, Y., Fatahi, R., Shokrpour, M., and Naghavi, M. R. 2022. Investigation of Germination Characteristics of Four Medicinal Plants Seed (Lavender, Hyssop, Black cumin and Scrophularia) Under Interaction Between Salinity Stress and Temperature Levels. Journal of Genetic Resources, 8(1), 35-45. doi: 10.22080/jgr.2021.21801.1262. (**Journal**)
- Ikic, I., M. Maric evic, S. Tomasovic, J. Gunjaca, Z. S. Atovic, and H. S. Arcevic. 2012. The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. Euphytica. 188: 25-34. (**Journal**)

- Javadi, H., Thiqe El-Islami, M.J. and Mousavi, S.GH. 2014. Studying the effect of salinity on germination and early seedling growth of four medicinal plant species. Iranian Agricultural Research. 12(1): 53-64. (In Persian) (**Journal**)
- Kabiri, R. and Naghizadeh, M. 2015. Investigating the effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of black seed (*Nigella sativa* L.) seedlings under salt stress conditions. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 4(1): 61-72. (In Persian) (**Journal**)
- Kareem, N. J., Mohammed, B., Aziz, T., and Hussein, N. 2025. Response of black seed (*Nigella sativa* L.) varieties to seed priming with zinc on germination and seedling parameters. Journal of Medicinal and Industrial Plants, 3(2), 53-70. (**Journal**)
- Maguire, J. D. 1962. Seed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop science. 2: 176-177. (**Journal**)
- Mohamadi, S.F., Babaeian Jelodar, N., Bagheri, N., Nematzadeh, Gh. and Hashemipetroudi, S.H. 2023. Studying the effect of salinity stress on some morphological and physiological traits in rice genotypes at the seedling stage under hydroponic conditions. Plant process and function. 59(13): 343-363. (In Persian) (**Journal**)
- Mousavi, k., Khodarahmpour, Z. and Gilani, A. 2017. Grouping of rice genotypes on germination and seedling growth under salinity stress conditions. 4(1): 89-100. (In Persian) (**Journal**)
- Papastylianou, P., Bakogianni, N. N., Travlos, I., and Roussis, I. 2018. Sensitivity of seed germination to salt stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 46(1), 202-205. (**Journal**)
- Safarnejad, A., Sadr, S.V.A. and Hamidi, H. 2007. Effect of salinity stress on morphological characters of *Nigella sativa*. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 15(1): 75-84. (In Persian) (**Journal**)
- Salamati, M.S. and Zeinali, H. 2013. Evaluation of genetic diversity of some *Nigella sativa* L. genotypes using Agro-morphological characteristics. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 29(1): 201-214. (In Persian) (**Journal**)
- Shakarami, B., Dianati-Tilaki, Gh., Tabari, M., and Behtari, B. 2011. The effect of priming treatments on salinity tolerance of *Festuca arundinacea* L. Schreb and *Festuca ovina* L. during seeds germination and early growth stages. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 18(2), 318-328. (**Journal**)
- Soltani, A. and Khodarahmpour, Z. 2016. Evaluation of alfalfa genotypes for salt stress tolerance through multivariate statistical methods. Bi-Quarterly Journal of Plant Production. 6(1): 57-68. (In Persian) (**Journal**)
- Tavousi, M., Anafcheh, Z. and Mahdavi Majd, J. 2020. The effect of different salinity levels on germination indices of 20 new quinoa genotypes. Environmental Stresses in Agricultural Sciences. 14(3): 837-847. (In Persian) (**Journal**)
- Verma, S. K., G. C. Bjpai, S. K. Tewari, and J. Singh. 2005. Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. Legume Res. 28(2): 143-145. (**Journal**)



Response of different Black Cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes to salinity stress at germination and seedling stages using multivariate analyses

Fatemeh Zahedi¹, Ehsan Shahbazi^{2*}, Behrouz Shiran³, Adnan Aydin⁴, Asad Masoumiasl⁵, Pourandokht Golkar⁶

Received: February 13, 2026

Accepted: April 22, 2026

Abstract

In order to evaluate the response of germination components of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) genotypes to salinity stress, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with four replications in the Plant Breeding Laboratory of Shahrekord University in 2023. The experimental factors included five levels of sodium chloride salinity (0, 50, 100, 150, and 200 mM) and 24 genotypes. The measured traits included germination percentage, germination rate, germination rate coefficient, mean germination time, root length, shoot length, Ratio of root to shoot length, root fresh weight, shoot fresh weight, root dry weight, shoot dry weight, ratio of dry weight of root to shoot, seedling Length vigor index and seedling weight vigor index. The results of Analysis of variance (ANOVA) showed that the effect of genotype, salinity stress and their interaction were highly significant difference for all studied traits ($p < 0.01$). The results of principal components analysis (PCA) of the genotypes showed that the first four component accounted for 87% of the total variation. The cluster analysis using the wards method were able to classify lentil genotypes into two main groups. According to the results of cluster analysis and biplot, the genotypes G3, G2 and G72 were superior in terms of Length vigor index, seedling weight vigor index, shoot dry weight, germination percentage, germination rate and germination rate coefficient. Therefore, they were included in the group of the most tolerant genotypes. Genotypes G78, G11, G4, G59, G7 had average values in terms of the evaluated traits. Therefore, these genotypes are in the group of semi-tolerant genotypes to salt stress. Therefore, this group includes salt-sensitive genotypes such as G1, G9, G45, and G75.

Keywords: Genetic diversity; Germination index; Multivariate analyses; *Nigella sativa* L.; Salinity stress

How to cite this article

Zahedi, F., Shahbazi, E., Shiran, B., Aydin, A., Masoumiasl, A. and Golkar, P. 2026. Response of different *Nigella sativa* L. genotypes to salinity stress at germination and seedling stages using multivariate analyses. Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(4): 27-40. (In Persian)(Journal)
DOI: 10.22124/jms.2026.9713

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. zahedif85@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. es.shahbazi@gmail.com
3. Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. beshiran45@gmail.com
4. Assistant Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Iğdir University, Iğdir, Turkey. adnan.aydin@igdir.edu.tr
5. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. a.masoumiasl@modares.ac.ir
6. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. poorangolkar@gmail.com

*Corresponding author: eh_shahbazi@sku.ac.ir