نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶
http://jopp.gau.ac.ir

ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی در تعدادی از توده‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

الهام مردانلو[۱]، مسعود دهداری*[۲]، اسد معصومی اصل[۳] و امین میرشکاری[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج
[۲]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
[۳]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: سیاه‌دانه یکی از گیاهان دارویی مهم و ارزشمندی است که علاوه بر خود رو بودن این گیاه، به سبب کاربرد فراوان آن در صنایع داروسازی، در نقاط مختلف ایران به میزان فراوانی کشت می‌شود اما عوامل محدودکننده محیطی می‌توانند تأثیر نامطلوبی بر رشد و تولید آن داشته باشند. خشکی یکی از مهمترین بازدارنده‌های تولید گیاهان در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا و ایران است. تولید و پتانسیل سیاه‌دانه نیز تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد. به همین دلیل این مطالعه با هدف بررسی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ده توده سیاه‌دانه به تنش کم‌آبی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۲ در شهرستان آباده واقع در استان فارس در قالب کرک‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی در دو سطح شامل تنش کم‌آبی و عدم تنش کم‌آبی و عامل فرعی ده توده سیاه دانه بودند. تنش کم آبی از مرحله گیاهچه‌ای تا آخر فصل رشد اعمال گردید. صفات مورد مطالعه عبارت بودند از: ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، میزان پرولین، قندهای محلول و میزان پتاسیم آمار توصیفی برای کلیه صفات و شاخص تحمل به تنش برای عملکردهای دانه و روغن محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری برای کلیه صفات معنی‌دار گردید و اثر ژنوتیپ برای صفات تعداد فولیکول در بوته، عملکرد بذر، درصد روغن، میزان پرولین و قندهای محلول غیر معنی‌دار و برای بقیه صفات معنی‌دار بود. برهمکنش آبیاری و ژنوتیپ نیز برای اکثر صفات به‌جزء برای عملکرد دانه، عملکرد روغن و میزان پرولین معنی‌دار بود. در شرایط تنش کم آبی توده اراک از نظر صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد دانه در بوته و میزان پتاسیم، بالاترین مقادیر را داشت. گروه‌بندی توده‌ها براساس نمودار سه بعدی شاخص تحمل به تنش و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که توده اراک در شرایط تنش از نظر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و توده هند از نظر عملکرد روغن نسبت به سایر ارقام برتر بودند. نتایج حاصل از شدت تنش نشان داد که صفات پرولین و تعداد شاخه‌های فرعی با مقدار ۰/۵۹ بیشترین تأثیر را از تنش کم آبی پذیرفتند.

*مسئول مکاتبه: adehdari@yu.ac.ir

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل از این مطالعه تمام ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی اندازه‌گیری شده سیاه دانه تحت تاثیر کم‌آبی قرار گرفتند. تنوع کافی از نظر برخی ویژگی‌های مهم مثل درصد روغن و تحمل به کم‌آبی در بین ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه وجود دارد. از این‌رو می‌توان با توجه به نتایج این مطالعه در مناطقی که احتمال کم‌آبی وجود دارد اقدام به کشت ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبی نمود و در برنامه‌های اصلاحی جهت بهبود تحمل به کم‌آبی از آن‌ها استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی، درصد روغن،شاخص تحمل به تنش، عملکرد.

مقدمه

سیاه‌دانه گیاه دارویی از خانواده Ranunculaceae، جنس *Nigella*، دو لپه، علفی و یکساله است. این جنس در ایران حدود هشت گونه دارد که *Nigella sativa* یکی از این گونه‌هاست و به طور طبیعی در نقاط مختلف ایران رشد و در بعضی نقاط نیزکشت می‌شود (۱۳). دانه‌های این گیاه در طب سنتی ایران استفاده می‌شده و از اسانس آن ماده‌ای به نام نیژلون[1] استخراج می‌شود که می‌تواند اثراتی مانند شیرآوری، ضدنفخ، مسهل و ضدانگل داشته باشد. همچنین گزارش شده که عصاره دانه‌های این گیاه دارای خاصیت ضددیابت، ضدفشار خون، ضدالتهاب، ضدمیکروب و دافع حشرات می‌باشد (۲۵). خواص درمانی سیاه‌دانه به ترکیبات فعالی که به‌طور عمده در روغن ثابت و فرار آن وجود دارد، نسبت داده شده است (۲۱). نیاز آبی سیاه‌دانه به طور متوسط ۷۲۴/۱۱ میلی‌متر در طول فصل رشد گزارش شده است (۱۰). نوروزپور و رضوانی مقدم (۲۰۰۵)، طی تحقیقی در گیاه سیاه‌دانه گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری به طور معنی‌داری از ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه کاسته شد (۱۷). کریم و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که بیشترین مقدار صفات سیاه دانه هنگامی رخ داد که بالاترین تعداد آبیاری (یعنی ده بار آبیاری در طول فصل رشد) بکار رفت (۱۷).

این در حالی است که برخی پژوهشگران تحمل نسبی سیاه دانه نسبت به کم‌آبی گزارش نموده‌اند و اعلام داشتند که بسیاری از صفات تحت تاثیر کم‌آبی قرار نگرفته‌اند (۹). بروز تنش کم‌آبی طی مراحل مختلف رشدی، به‌ویژه در مرحله زایشی، به علت کاهش طول دوره فتوسنتزی و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه و همچنین کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود. بنابراین برای به دست آوردن عملکرد دانه مناسب، تأمین آب مورد نیاز گیاهان به خصوص طی دوره گرده‌افشانی تا مرحله پر شدن دانه ضروری است (۸). در اکثر گیاهان دارویی تا زمانی که آب و در نتیجه عناصر غذایی در دسترس گیاه است، گیاه کربن را ترجیحاً برای رشد اختصاص می‌دهد ولی با کاهش آب آبیاری میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد (۷). شوبرا و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی‌های خود روی گیاه گل همیشه بهار دریافتند که عملکرد دانه، عملکرد روغن، ارتفاع و تعداد گل در گیاه در شرایط تنش کم آبی به شدت کاهش می‌یابد، در حالی‌که درصد روغن در چنین شرایطی افزایش می‌یابد (۲۷). بالا یا پایین بودن عملکرد در ژنوتیپ‌ها را می‌توان با متغیر بودن اجزای عملکرد در آن‌ها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست. ارقامی که بیشترین اختلاف عملکرد بین دو محیط

1. Nyzhlun

تنش و بدون تنش را دارا هستند دارای پایداری پایین بوده و عموماً حساس به تنش کم‌آبی هستند و ارقام با اختلاف کم از پایداری بالایی در تولید عملکرد دانه در شرایط تنش برخوردارند(۵). از عکس العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌توان برای دستیابی به ارقامی استفاده کرد که در محیط‌های متفاوت عملکرد با ثبات و رضایت بخشی داشته باشند. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی متفاوت و تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است، شاخص STI[1] تحت عنوان شاخص تحمل به تنش جهت شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است هر چه مقدار STI بالاتر باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش کم آبی است(۵). اکثر مطالعات انجام شده روی سیاه‌دانه تاثیر خشکی بر ویژگی‌های مهم این گیاه را گزارش کرده‌اند، اما مطالعات چندانی در خصوص بررسی تنوع و تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه در دسترس نیست. با توجه به اهمیت تنش کم آبی در ایران و ضرورت استفاده از ارقام متحمل، این پژوهش با به کارگیری ده ژنوتیپ سیاه‌دانه در شرایط تنش کم آبی و نرمال با هدف ارزیابی تحمل به کم‌آبی در آنها طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تحمل به کم‌آبی در ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه و نیز مطالعه تنوع ژنتیکی آن‌ها این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در شهرستان آباده واقع در استان فارس اجرا شد. عرض جغرافیایی محل اجرای آزمایش ۳۰/۴۵ و طول جغرافیایی ۵۱/۵۴ درجه بود. این شهرستان با ارتفاع ۲۰۳۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی ۱۴۰-۱۲۰ میلی‌متر جزء نواحی خشک محسوب می‌گردد. بیشینه دما ۳۷ و کمینه آن ۱۴- تا ۱۲- درجه سلسیوس است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی، در دو سطح تنش و بدون تنش کم آبی و عامل دوم شامل ۱۰ ژنوتیپ سیاه دانه (کرمان، فارس، همدان، کرمانشاه، بوشهر، خوزستان، اراک، مشهد، اصفهان، هند) دریافتی از شرکت پاکان بذر اصفهان و مراکز تحقیقاتی دزفول، همدان و کرمانشاه بودند. ابتدا زمین مورد نظر شخم زده و سپس به وسیله فاروئر، جوی و پشته‌ها ایجاد شدند و در نهایت اقدام به کرت‌بندی گردید. طول هر کرت چهارمتر و عرض آن ۲/۵ متر بود. کشت در اردیبهشت‌ماه صورت پذیرفت.تیمار بدون تنش به‌صورت آبیاری هر هفت روز یکبار و تیمار تنش به‌صورت آبیاری هر ۱۴ روز یکبار (معادل ۱۴۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر) انجام شد. کود فسفات آمونیوم قبل از کاشت و کود اوره در دو نوبت در هنگام کاشت و بعد از تنک کردن بنا به توصیه مدیریت کشاورزی شهرستان به زمین داده شد. پس از استقرار کامل گیاه در مرحله چهار برگی، اعمال تنش کم آبی انجام گرفت.یک‌ماه بعد از اعمال تنش کم آبی و گلدهی کامل بوته‌ها، از هر کرت و از هر بوته، برگ‌های یکسانی انتخاب گردید و نمونه‌گیری در ساعت ۱۳ تا ۱۴ بعد از ظهر صورت پذیرفت. به‌منظور جلوگیری از تغییر میزان پرولین و قندهای محلول، نمونه‌ها در طی انتقال به آزمایشگاه، در ظرف حاوی یخ خشک قرار داده شدند و تا زمان استفاده در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

میزان پرولین، قندهای محلول و میزان پتاسیم به‌ترتیب با روش‌های پاکوئین و لچاژر، ۱۹۷۹ (۲۳)، اریگوئن و همکاران، ۱۹۹۲ (۱۵) و توبینو و رابرتو، ۱۹۹۰(۳۰) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری

1-Stress Tolerance Index (STI)

عملکرد و اجزای عملکرد دانه در مرحله رسیدگی، پس از حذف حاشیه‌ها، از هر کرت ده بوته به‌طور تصادفی انتخاب و سپس ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری درصد و عملکرد روغن دانه از دستگاه سوکسله و روابط مربوطه به شرح ذیل استفاده شد(۱۹):

(۱)

$$\text{درصد روغن دانه} = \frac{\text{وزن نمونه پس از استخراج روغن} - \text{وزن اولیه بذر}}{\text{وزن نمونه اولیه بذر}} \times 100$$

(۲) عملکرد روغن = عملکرد بذر × درصد روغن

شدت تنش (SI) و شاخص تحمل به تنش نیز به کمک فرمول‌های زیر محاسبه شدند(۵):

(۳)

$$SI=1-(\overline{Ys}/\overline{Yp})$$

$\overline{Yp}$ و $\overline{Ys}$ میانگین عملکرد دانه و روغن کلیه ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب برای صفات در شرایط بدون تنش وتنش شاخص تحمل به تنش (STI) نیز با فرمول زیر محاسبه شد(۵):

(۴)

$$STI=(Y_P \times Y_S)/\overline{Yp}^2$$

Y_Pو Ys عملکرد دانه و روغن هر ژنوتیپ به‌ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش بعد از اندازه‌گیری صفات آمار توصیفی محاسبه و تفسیر شدند. ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی صفات مورد بررسی با استفاده از روابط زیر برآورد گردیدند (نقل از ۶)

$$Cv_p=\frac{\sqrt{Vp}}{\mu}\times 100 \quad (۵)$$

$$Cv_g=\frac{\sqrt{Vg}}{\mu}\times 100 \quad (۶)$$

در روابط فوق Cv_p، Cv_g، v_p، v_g و μ به‌ترتیب ضریب تنوع فنوتیپی، ضریب تنوع ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی، واریانس ژنتیکی و میانگین هر صفت می‌باشند.

سپس به کمک نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس انجام و مقایسه میانگین‌اثرهای اصلی به روش LSD و برهمکنش‌ها به روش LSmeans صورت پذیرفت. همچنین به کمک نرم افزار SPSS نمودار سه بعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص تحمل به تنش (STI)، عملکرد دانه و روغن در شرایط تنش و بدون تنش ترسیم شد. سپس، ژنوتیپ‌ها براساس قرار گرفتن در چهار ناحیه (نواحی A، B، C و D) معرفی شده توسط فرناندز (۱۹۹۲) گروه‌بندی و تفسیر شدند (۵). هر کدام از این نواحی بسته به مقدار محورها شرایط مناسب برای کشت ژنوتیپ ها را بیان می‌کند. مثلا ناحیه A در صورتی که STI زیاد باشد مناسب کشت برای شرایط نرمال و تنش کم‌آبی است. ژنوتیپی که در ناحیه B قرار گیرد مناسب کشت در شرایط بدون تنش است. ژنوتیپ‌های واقع در ناحیه **C** در هردو شرایط ضعیف عمل می‌کنند و بالاخره ژنوتیپ‌های واقع در ناحیه D مناسب کشت در شرایط تنش می‌باشند.

نتایج و بحث

آمار توصیفی مربوط به صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش و عدم تنش در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس یافته‌ها، در شرایط تنش کم آبی صفات تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع، تعداد ساقه فرعی، عملکرد بذر، عملکرد روغن نسبت به حالت عدم تنش کاهش داشته اما درصد روغن افزایش یافت. این نتایج با نتایج حاج سیدهادی و همکاران (۲۰۱۶) تطابق دارد (۱۱). در حالت تنش صفات فیزیولوژیک قندهای محلول و پرولین نسبت به عدم تنش افزایش یافت اما میزان پتاسیم کاهش یافت. بلوم (۱۹۷۶) نشان داد که پرولین به عنوان یک منبع انرژی کربن و نیتروژن برای دوره بازگشتی بافت‌ها است، پس تحت تنش کم آبی مقدار آن افزایش پیدا می‌کند (۲). کبیری و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش میزان پرولین در سیاه

دانه در اثر تنش خشکی به خاصیت اسمولیتی و آنتی‌اکسیدانتی آن نسبت دادند (۱۶). به‌نظر می‌رسد که کاهش پتاسیم در شرایط تنش کم آبی در ارتباط با کاهش آب خاک است که منجر به کاهش جریان این عنصر و برخی عناصر دیگر از خاک به گیاه می‌شود و بنابراین از جذب آن کاسته می‌شود (۱۴)، ساماراح و همکاران (۲۰۰۴) نیز در گیاه سویا کاهش جذب پتاسیم در اثر تنش کم آبی گزارش کرده‌اند (۲۸). از آنجا که اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به کم آبی دارند، محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد. در شرایط تنش کم آبی، تعداد فولیکول در سیاه‌دانه به دلیل کاهش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۲۲). برخی محققین کاهش در اکثر صفات سیاه‌دانه در اثر تنش کم‌آبی گزارش کردند (۱۸). در حالی که برخی پژوهشگران عدم تاثیر این تنش بر صفات سیاه دانه گزارش نموده‌اند (۹). بیشترین دامنه تغییرات در شرایط تنش و عدم تنش مربوط به تعداد دانه در بوته (۴۱۱/۲۶، ۴۴۲/۷۹) و بیشترین واریانس ژنتیکی مربوط به عملکرد بذر (۴۹۰/۷، ۴۷۰/۷۹) بود. بیشترین ضریب تنوع ژنوتیپی مربوط به پتاسیم در شرایط تنش و عدم تنش (۴۰/۸۳، ۳۰/۹۹) و بیشترین ضریب تنوع فنوتیپی در شرایط تنش مربوط به عملکرد دانه (۱۶/۸۱) و عدم تنش به پرولین (۱۷/۷۳) بود و کمترین ضریب تنوع ژنوتیپی مربوط به تعداد دانه در بوته در شرایط عدم تنش (۰/۴۰) و ارتفاع در شرایط تنش (۰/۷۲) بود. این نتایج با نتایج آنتونو و همکاران (۲۰۰۲) در سیاه دانه مطابقت دارد (۳). محاسبه میزان وراثت‌پذیری عمومی (جدول ۱) نشان داد که در بین صفات فیزیولوژیک قندهای محلول بیشترین وراثت‌پذیری (۹۰/۲) در شرایط تنش و عملکرد روغن کمترین وراثت پذیری (۱۲/۵۰) در شرایط عدم تنش را دارا می‌باشند. در صفات ریخت‌شناسی، صفات تعداد دانه در فولیکول در شرایط عدم تنش (۷۸/۶۲) و وزن هزار دانه (۷۲/۸۷) در شرایط تنش وراثت‌پذیری بالایی داشتند که این خود به دلیل اختلاف کم تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی می‌باشد و یا به‌دلیل تأثیرپذیری پایین نسبت به شرایط محیطی می‌باشد و می‌توانند به‌عنوان صفات قابل قبول برای انتخاب در نظر گرفته شوند (۶). طبق نتیجه‌گیری بنایان و همکاران (۲۰۰۸)، صفت تعداد دانه در فولیکول می‌تواند شاخص مفیدی برای انتخاب سیاه‌دانه در شرایط آبیاری محدود باشد. همچنان که عملکرد دانه، عملکرد و درصد روغن نیز در شرایط تنش، از وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی نسبت به سایر صفات مورد بررسی داشتند (۱).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تنش کم آبی برای کلیه صفات، اثر ژنوتیپ برای اکثر صفات به جزء برای تعداد فولیکول در بوته، عملکرد بذر، درصد روغن، میزان پرولین و قندهای محلول و برهمکنش کم‌آبی و ژنوتیپ نیز برای اکثر صفات به‌جزء برای عملکرد دانه، عملکرد روغن، و میزان پرولین معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین دو سطح آبیاری نشان داد که عملکرد بذر در شرایط تنش کم‌آبی (۱۹۰/۹۲ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شاهد (۴۵۳/۱۹ کیلوگرم در هکتار) کاهش معنی‌داری داشت در حالی که میزان پرولین برگ در شرایط تنش کم‌آبی (۴/۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) افزایش قابل ملاحظه نسبت به شاهد ($۲/۸^{b}$ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) داشت (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین برهمکنش کم‌آبی و ژنوتیپ به روش برش‌دهی (جدول ۳) در تیمار عدم تنش، بیشترین ارتفاع بوته به توده کرمانشاه با میانگین (۴۶/۵۶ سانتی‌متر) و کمترین میزان ارتفاع بوته به توده خوزستان با میانگین (۴۰/۶۶ سانتی‌متر) تعلق داشت که تفاوت معنی‌دار با هم داشتند. در تیمار تنش‌کم‌آبی بیشترین ارتفاع بوته به توده اراک (۳۳/۳۳ سانتی‌متر)

و کمتـرین ارتفـاع بوتـه بـه تـوده کرمانشـاه (۳۱/۲ سانتی‌متر) تعلق داشت. از آنجائی که اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارند و محـدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفـاق مـی‌افتـد، هـر گونـه کمبـود آب موجب کاهش بیشتر آماس سلولی، کـاهش تقسـیم و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ مـی‌شـود. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیـاه را می‌توان از روی کاهش ارتفـاع یـا انـدازه کوچـک‌تـر برگ‌ها تشـخیص داد (۲). بـا تـنش کـم آبـی تعـداد شاخه‌های فرعی در سیاه‌دانه کاهش یافـت. در تیمـار عدم تنش کم آبی کمترین میزان این صـفت بـه تـوده کرمانشاه با میانگین ۳۰/۸۱ و بیشترین انشعابات ساقه به توده اراک با میـانگین ۳۳/۰۸ تعلـق دارد. در تیمـار تنش کم آبی کمترین میزان تعداد شاخه‌های فرعی بـه توده کرمانشاه با میانگین ۱۶/۹۳ و بیشترین میزان این صفت به توده کرمان با میانگین ۲۱/۵۳ تعلـق داشـت (جدول ۱). صفت تعداد شاخه‌ای فرعی نقـش مهمـی در تشکیل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در بوتـه و عملکرد دانه دارد. با توجه به اینکه سیاه‌دانه گیـاهی رشد محدود است، بنابراین افزایش تنش کم‌آبی سبب افزایش سرعت گذر گیاه از مرحلـه رشـد رویشـی و رساندن خود به مرحله رشد زایشی می‌شـود کـه ایـن امر باعث کمتر شدن تعداد شاخه‌های فرعـی گیـاه در تنش‌های بالاتر می‌شود (۲۱). در تیمار تنش کـم آبـی کمترین میزان تعداد فولیکـول بـه تـوده کرمانشـاه بـا میـانگین ۱۶/۹۹ و بیشـترین تعـداد فولیکـول بـه تودهکرمان با میانگین ۲۱/۵۶ تعلق داشـت. در تیمـار عدم تنش کم آبی کمترین میـزان تعـداد فولیکـول بـه توده کرمانشاه با میانگین ۳۰/۸۸ و بیشترین میزان این صفت به تودهاراک با میانگین ۳۳/۰۸ تعلق داشت. بـا توجه به اینکه سـیاه‌دانـه گـل انتهـایی داشـته و رشـد محدود است و گل و میوه فقط در انتهای هـر شـاخه تشکیل می‌شود، بنـابراین تعـداد فولیکـول در گیـاه از تعداد شاخه‌های گل‌دهنده تبعیت می‌کند، به‌طوری‌کـه همبستگی مثبتی بین تعداد شاخه‌های فرعـی و تعـداد فولیکول در گیاه دیده شده است (۱۷). در تیمار عـدم تنش کم آبی، کمترین میزان تعداد دانه در فولیکول در توده مشهد با میانگین ۸۸/۹۰ و بیشـترین میـزان ایـن صفت به توده کرمانشـاه بـا میـانگین ۹۵/۶۷ مشـاهده شد. در تیمار تنش کم آبی، کمترین میزان تعـداد دانـه در فولیکول به توده هند با میانگین ۸۳/۷۱ و بیشـترین مقدار این صفت به توده اراک با میانگین ۹۰/۳۴ تعلق داشت. در بسیاری از گیاهان زراعی، وقوع تـنش آبـی به‌ویژه در زمان گلدهی موجب کاهش تعداد گل‌هـای بارور و به دنبـال آن کـاهش تعـداد دانـه و در نتیجـه سبب کاهش عملکرد به میزان زیاد می‌گردد. رضـاپور و همکاران (۲۰۱۱) در سیاه دانه نیز به نتایج مشـابهی دست یافتند(۲۰).

در تیمار عدم تنش کـم آبـی کمتـرین میـزان وزن هزار دانه به توده خوزستان بـا میـانگین ۲/۰۵ گـرم و بیشترین میزان این صفت به توده همـدان بـا میـانگین ۲/۴۷ گرم تعلق داشت. در تیمار تنش کم آبی کمترین میزان وزن هزار دانه به توده همدان بـا میـانگین ۱/۳۷ گرم و بیشترین میزان این صـفت بـه تـوده فـارس بـا میـانگین ۲/۱۵ گـرم تعلـق داشـت. وزن هـزار دانـه نشان‌دهنده وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آنجا که با آغاز گلدهی و مشـخص شـدن تعـداد دانـه در بوتـه، دانـه‌هـا شـروع بـه دریافـت و ذخیـره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌نمایند، می‌بایسـتی بـین وزن هزار دانه هنگامی که گیاه در حال تنش کـم آبـی رطوبتی قرار می‌گیرد، بـا حالـت‌هـای نرمـال تفـاوت وجود داشته باشد، در مواردی که تفاوتی دیده نشـده، گیاه از طریق کاهش تعداد دانه حداقل مواد مورد نیـاز برای دانه‌های تکامـل یافتـه را تـأمین کـرده اسـت. از طرفی به دلیل پایین بودن وزن هزار دانه سیاه‌دانه شاید

اثرات تنش کم آبی نتوانسته است نمایان شود (۲۵). در تیمار عدم تنش کم آبی، کمترین میزان تعداد دانه در بوته به توده فارس با میانگین ۲۸۸۳/۸ و بیشترین میزان این صفت به توده اراک ۳۰۸۴/۲ تعلق داشت. در تیمار تنش کم آبی، کمترین میزان تعداد دانه در بوته به توده هند با میانگین ۱۴۴۵/۶ و بیشترین مقدار این صفت به توده کرمان با میانگین ۱۹۳۸/۵ تعلق داشت. افزایش عملکرد دانه در شرایط مطلوب آبیاری، بیشتر به‌دلیل تأثیر آن بر تولید فولیکول در هر بوته به‌صورت مستقیم و افزایش تعداد دانه در هر بوته به‌صورت غیرمستقیم بوده است (۲۰). نتایج مطالعات لاربی و همکاران (۲۰۰۹) در زیره سیاه (۲۰)، رضاپور و همکاران (۱۳۹۰) در سیاه‌دانه (۲۴) نیز مؤید این است که با افزایش فاصله آبیاری، از عملکرد دانه کاسته می‌شود که با نتیجه این پژوهش مطابقت دارد. در شرایط تنش کم‌آبی عملکرد دانه با تمام صفات به‌جزء با درصد روغن، میزان پتاسیم و میزان پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (نتایج نشان داده نشده است). این روند با اندک تغییراتی در شرایط نرمال هم مشاهده شد. بنابراین کاهش و افزایش در عملکرد به‌دلیل کاهش و افزایش در اجزاء عملکرد به‌خصوص تعداد شاخه‌های فرعی در توده‌های مورد آزمایش بود.

در شرایط عدم تنش کم آبی، کمترین میزان درصد روغن به توده بوشهر با میانگین ۲۰/۱۸ و بیشترین میزان این صفت به توده خوزستان با میانگین ۲۷/۲۴ تعلق داشت. در تیمار تنش کم آبی، کمترین میزان درصد روغن به توده اصفهان با میانگین ۲۶/۹۵ و بیشترین میزان این صفت به توده بوشهر با میانگین ۳۳/۵۶ تعلق دارد. طبق گزارش مکاوی (۲۰۱۲) تنش کم آبی قبل و بعد از گلدهی تأثیر نامطلوبی بر صفات سیاه‌دانه دارد. تنش بعد از گلدهی باعث افزایش درصد روغن، ارتفاع و وزن هزار دانه نسبت به قبل از گلدهی می‌شود، اما هر دو حالت نسبت به شرایط بدون تنش کم آبی کاهش در این صفات را نشان داد، که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد (۴). در تیمار عدم تنش کم آبی کمترین میزان قندهای محلول به توده کرمانشاه با میانگین ۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ و بیشترین میزان این صفت به توده بوشهر با میانگین ۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ، تعلق داشت. در تیمار تنش کم آبی کمترین میزان قندهای محلول به توده بوشهر با میانگین ۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و بیشترین مقدار این صفت به توده اراک با میانگین ۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ تعلق دارد. نتایج بدست آمده از پژوهش قربانلی و همکاران (۲۰۱۱)، حکایت از آن دارد که مقدار پرولین، قندهای محلول و آنزیم‌ها تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاه سیاه‌دانه افزایش می‌یابد (۱۱). همچنین این روند افزاینده در مقدار قندهای محلول همسو با پرولین است. بنابراین نقش ترکیب‌های قندی تنظیم اسمزی سلول می‌باشد (۲۹). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که در تیمار عدم تنش کم آبی کمترین میزان عنصر پتاسیم به توده کرمانشاه با میانگین ۸/۳۲ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و بیشترین میزان این صفت به توده هند با میانگین ۹/۷۸ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) تعلق دارد. در تیمار تنش کم آبی، کمترین میزان پتاسیم به توده کرمانشاه با میانگین ۷/۰۶ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و بیشترین مقدار این صفت به توده اراک با میانگین ۸/۹۴ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) تعلق دارد. کاهش پتاسیم در این شرایط در ارتباط با کاهش آب خاک است که منجر به کاهش جریان این عنصر به همراه برخی دیگر از عناصر از خاک به گیاه شده و جذب آن‌ها کاسته شده است (۱۴).

جدول ۱: میانگین، دامنه‌تغییرات، واریانس ژنتیکی، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی، وراثت‌پذیری عمومی صفات مورد بررسیسیاه‌دانه در شرایط تنش کم آبی و عدم تنش

Table 1. Average, range, genetic, phenotypic coefficients of variation (CV)and heritabilityfor traits of black cumin under stress and non-stress conditions.

صفات Traits		وراثت پذیری Heritability		ضریب تنوع فنوتیپی Phenotypic CV		ضریب تنوع ژنوتیپی Genetic CV		واریانس ژنتیکی Genetic Variance		دامنه تغییرات Range		میانگین Average	
		عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress
Number of follicle	تعداد فولیکول	32.05	18.09	3.20	3.28	0.12	0.08	1.08	1.60	2.15	4.13	25.58	15.13
Number of seed per follicle	تعداد دانه درفولیکول	93.13	87.85	11.31	10.06	4.51	1.54	2.28	1.41	2.57	2.39	78.62	34.82
plant Number of seed per	تعداد دانه در بوته	2984.6	1589.8	442.79	411.26	149.59	244.8	0.40	3.17	2.36	5.27	33.26	36.26
Thousand seed weight (g)	وزن هزار دانه (گرم)	2.25	1.85	0.86	1.39	0.01	0.04	4.84	11.22	7.06	13.15	46.98	72.87
Plant height (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	44.20	32.30	10.60	3.20	4.67	0.43	4.89	0.72	5.99	2.03	66.65	12.68
Number of sub branch	تعداد ساقه فرعی	32.30	18.04	3.20	3.29	0.12	0.08	1.08	1.61	2.15	4.14	25.58	15.13
Grain Yield (kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	453.10	190.92	257.34	170.02	470.79	490.70	4.78	11.60	8.02	14.53	35.60	63.70
Seed oil (%)	روغن (درصد)	24.75	29.92	14.33	10.18	1.95	3.52	5.65	6.27	9.03	7.40	39.19	71.88
Oil yield (kg/ha)	عملکردروغن (کیلوگرم در هکتار)	112.36	57.16	88.91	42.41	20.06	62.38	3.98	13.81	11.27	16.81	12.50	67.51
Soluble sugar (mg/g)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم)	50.20	71.80	0.56	0.62	17.20	25.50	8.26	7.03	17.73	17.00	67.96	90.20
Proline (mg/g)	پرولین (میلی‌گرم برگرم)	2.80[b]	4.60[a]	1.38	2.41	0.01	0.30	3.57	11.90	6.82	9.57	28.45	15.06
Potassium (mg/g)	پتاسیم (میلی‌گرم برگرم)	9.24	7.95	4.06	2.13	8.20	10.54	30.99	40.83	4.79	5.44	41.70	56.20

جدول ۲: میانگین مربعات صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد توده‌های بومی سیاه‌دانه

Table 2. Mean squares of morpho-physiological traits, yield and yield components of black cumin landraces

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد فولیکول Number of follicle	تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub branch	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	تعداد دانه در فولیکول Number of seed per follicle	وزن هزار دانه Thousand seed weight	عملکرد بذر Seed yield	درصد روغن Seed oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	پرولین Proline	کل قندهای محلول Total soluble sugar	پتاسیم Potassium
تکرار Replication	2	0.004^{ns}	13.066^{ns}	0.767^{ns}	17.205^{ns}	80.365^{ns}	0.188^{ns}	4332.889**	6.155^{ns}	594.351**	0.122^{ns}	0.053**	589.390^{ns}
آبیاری Irrigation	1	2093.322**	144.150*	2768.555**	418.915**	95.276**	2.485**	1031739.416**	399.827**	45695.990**	45.411**	7.043**	248234.900**
خطای اصلی Main error	2	1.078	9.800	0.162	2.281	23.608	0.078	18.614	5.9556	0.860	0.2524	0.0007	1720.190
ژنوتیپ Genotype (G)	9	9.922*	^{ns}33.853	**3.956	15.066*	26.345*	0.099*	626.377^{ns}	10.133^{ns}	160.612^{ns}	0.360^{ns}	0.013^{ns}	4758.820*
برهمکنش G× I	9	12.416**	61.843*	*2.757	15.431*	38.371*	0.154**	4239.432^{ns}	19.574**	597.935*	0.345^{ns}	0.017*	2310.010*
خطای فرعی Sub-error	36	4.075	25.174	1.115	6.168	62.140	0.044	2403.026	6.627	255.605	2.907	0.008	1940.620
ضریب تغییرات Coefficient of variation		5.27	7.64	4.18	2.74	5.14	10.25	15.22	9.41	18.89	14.18	14.27	5.12
شدت تنش کم‌آبی Water deficient Stress intensity		0.26	0.43	0.59	0.56	0.46	0.18	0.57	0.20	0.49	0.59	0.42	0.18

*و **و ns به‌ترتیب معنی داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشند.

*,** and ns significant (at P≤ 0.05, and P≤ 0.01) and non-significant, respectively

جدول ۳: مقایسه میانگین توده‌های سیاه‌دانه برای صفات مورد ارزیابی در هر سطح آبیاری

Table 3. Mean comparison of black cumin landraces for evaluated traits at eachirrigation level

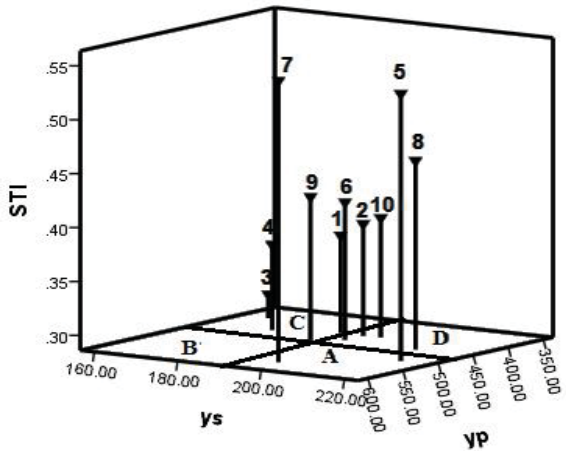
دور آبیاری Irrigation	ژنوتیپ Genotype		شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index(STI)	ارتفاع بوته Plant height	تعداد فولیکول Number of follicle	تعداد دانه در فولیکول Number of seed per follicle	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub branch	وزن هزاردانه(گرم) 1000 seed weight(g)	درصد روغن Seed oil (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم) Potassium (mg/g)	کل قندهای محلول (میلی‌گرم برگرم) Total Soluble sugar(mg/g)
تنش کم‌آبی Water stress	Kerman	کرمان	0.53	31.83^{ab}	21.56^{a}	89.95^{a}	1938.5^{a}	21.53^{a}	1.91^{cde}	28.59^{bcd}	7.31^{c}	73.5^{a}
	Bushehr	بوشهر	0.46	32.66^{ab}	18.61^{bc}	87.71^{ab}	1631.0^{bcd}	18.58^{bc}	1.80^{cde}	33.56^{a}	7.50^{abc}	65.0^{a}
	Arak	اراک	0.41	33.33^{a}	19.32^{b}	90.34^{a}	1745.5^{ab}	19.32^{b}	2.06^{bcd}	30.11^{abc}	8.94^{abc}	77.0^{a}
	Fars	فارس	0.38	32.66^{ab}	18.68^{bc}	86.22^{ab}	1610.8^{bcd}	18.68^{bc}	2.15^{abc}	30.35^{abc}	7.50^{abc}	71.0^{a}
	Hamadan	همدان	0.42	32.46^{ab}	18.77^{bc}	88.69^{ab}	1665.9^{bc}	18.67^{bc}	1.37^{f}	29.60^{abc}	7.51^{bc}	67.0^{a}
	Kermanshah	کرمانشاه	0.37	31.20^{b}	16.99^{c}	89.50^{a}	1522.7^{cd}	16.93^{c}	2.13^{abc}	27.52^{cdef}	7.06^{c}	75.0^{a}
	Isfahan	اصفهان	0.55	31.60^{ab}	17.81^{bc}	85.53^{ab}	1522.9^{cd}	17.74^{bc}	1.77^{de}	26.95^{cdef}	7.50^{abc}	75.4^{a}
	India	هند	0.31	32.26^{ab}	17.28^{c}	83.71^{b}	1445.6^{d}	17.28^{c}	1.88^{cde}	32.29^{ab}	8.42^{ab}	73.0^{a}
	Mashhad	مشهد	0.39	33.10^{a}	18.22^{bc}	88.37^{ab}	1612.6^{bcd}	18.18^{bc}	1.58^{ef}	28.05^{bcde}	8.87^{a}	67.0^{a}
	Khuzestan	خوزستان	0.40	32.30^{ab}	17.66^{b}	88.42^{ab}	1564.3^{bcd}	17.50^{bc}	1.76^{de}	32.23^{ab}	8.87^{a}	75.0^{a}
عدم تنش Non-stress	Kerman	کرمان	0.53	41.66^{c}	31.51^{abc}	93.01^{a}	3029.0^{a}	31.47^{abc}	2.40^{ab}	26.90^{cdef}	9.01^{ab}	56.0^{ab}
	Bushehr	بوشهر	0.46	41.00^{c}	32.38^{abc}	93.77^{a}	3037.0^{a}	32.38^{abc}	2.08^{bcd}	20.18^{g}	8.56^{b}	61.0^{a}
	Arak	اراک	0.41	43.96^{bc}	33.08^{a}	93.21^{a}	3084.2^{a}	33.08^{a}	2.13^{abc}	23.76^{fg}	9.78^{ab}	57.0^{ab}
	Fars	فارس	0.38	43.83^{bc}	32.41^{abc}	88.92^{b}	2883.8^{a}	32.41^{abc}	2.15^{abc}	24.27^{efg}	9.74^{ab}	44.0^{abc}
	Hamadan	همدان	0.42	46.50^{ab}	32.19^{abc}	94.85^{a}	3055.4^{a}	32.19^{abc}	2.47^{a}	26.75^{cdef}	9.53^{ab}	52.0^{ab}
	Kermanshah	کرمانشاه	0.37	48.66^{a}	30.88^{c}	95.67^{a}	2954.7^{a}	30.81^{c}	2.30^{ab}	26.94^{cdef}	8.32^{b}	29.0^{c}
	Isfahan	اصفهان	0.55	45.00^{abc}	31.25^{bc}	93.72^{a}	2929.1^{a}	31.18^{bc}	2.39^{ab}	23.42^{fg}	9.27^{ab}	51.0^{ab}
	India	هند	0.31	43.50^{bc}	31.95^{abc}	95.48^{a}	3050.8^{a}	31.88^{abc}	2.40^{ab}	24.58^{def}	9.70^{a}	53.0^{ab}
	Mashhad	مشهد	0.39	46.56^{ab}	32.85^{ab}	88.90^{b}	2921.3^{a}	32.85^{ab}	2.12^{abcd}	23.52^{fg}	9.03^{ab}	44.0^{bc}
	Khuzestan	خوزستان	0.40	40.66^{c}	32.01^{abc}	93.73^{a}	3000.6^{a}	32.01^{abc}	2.05^{bcd}	27.24^{cdef}	9.23^{ab}	55.0^{ab}

درهر ستون برای هر سطح تنش کم‌آبی حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

Means with same letter in each column and each irrigation level are not significant at 5% probability level

گروه‌بندی ارقام مورد مطالعه در شرایط تنش کم آبی با استفاده از نمودار سه بعدی: پراکنش ژنوتیپ‌ها در نمودار سه بعدی بر اساس Y_P، Y_S و sti برای صفت عملکرد دانه و عملکرد روغن به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. برای صفت عملکرد دانه ژنوتیپ‌های اراک و هند و برای صفت عملکرد روغن ژنوتیپ‌های هند در ناحیه A قرار گرفته است که نشان‌دهنده تحمل بالا به تنش کم‌آبی و به‌ترتیب دارای عملکرد دانه و روغن بیشتر در شرایط تنش کم‌آبی و عدم تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشند. برای صفت عملکرد روغن ژنوتیپ‌های اراک، مشهد، بوشهر در ناحیه B قرار گرفتند، این ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش نسبت به تنش کم‌آبی عملکرد روغن بیشتری داشتند، بنابراین استفاده از این ارقام در مناطقی که با تنش کم آبی مواجه‌اند، توصیه نمی‌شود. عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های کرمانشاه، همدان و فارس در ناحیه C قرار گرفتند که در هر دو شرایط تنش کم آبی و عدم تنش تظاهر یکسانی از نظر این صفات داشتند، لذا این ارقام در هیچکدام از شرایط توصیه نمی‌شوند. عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های مشهد، کرمان، خوزستان و اصفهان و عملکرد روغن ژنوتیپ‌های خوزستان و کرمان در منطقه D قرار گرفتند که حاکی از آن است این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم آبی عملکرد دانه و روغن بیشتری دارند ولی در شرایط عدم تنش عملکرد دانه و روغن کمتری دارند، بنابراین مقاوم به تنش کم آبی‌اند. استفاده از این ژنوتیپ‌ها در مناطقی که با تنش کم آبی مواجه هستند، توصیه می‌شود. فرناندز (۱۹۹۲)، در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا در دو محیط تنش کم آبی و بدون تنش، ژنوتیپ‌هایی که در دو محیط تظاهر یکسانی از خود نشان می‌دهند را گروه A نام‌گذاری کرد. وی بیان داشت که مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ارقام گروه A شاخص تحمل به تنش (STI) است (۹). استفاده از این نمودارها توسط صابری و همکاران (۲۰۱۳) در جو مورد تأیید قرار گرفته است (۲۶).

نتایج این مطالعه نشان داد که تنوع ژنتیکی در بین توده‌های سیاه‌دانه از نظر تحمل به کم‌آبی وجود دارد. کم‌آبی صفات مهم سیاه‌دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در بین صفات مورد بررسی تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در بوته و میزان پرولین بیشتر از سایر صفات تحت تاثیر کم‌آبی قرار گرفته‌اند. با توجه به این اصل که صفاتی که بیشتر تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرند را می‌توان به‌عنوان معیار انتخاب بکار برد بنابراین با مطالعه بیشتر بر روی این صفات شاید بتوان معیار تحمل به کم‌آبی در سیاه‌دانه معرفی کرد. بعلاوه تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های سیاه دانه از نظر درصد روغن نوید اصلاح برای افزایش مقدار این صفت را می‌دهد. از ژنوتیپ‌های معرفی شده (توده‌های متحمل اراک و هند به ترتیب برای عملکرد دانه و درصد روغن و توده‌های حساس مثل کرمانشاه، همدان و فارس) در این پژوهش می‌توان در برنامه‌های اصلاحی برای تحمل به کم‌آبی در سیاه‌دانه استفاده کرد.



شکل ۱: گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه با استفاده از نمودار سه بعدی Ys,Yp و STI

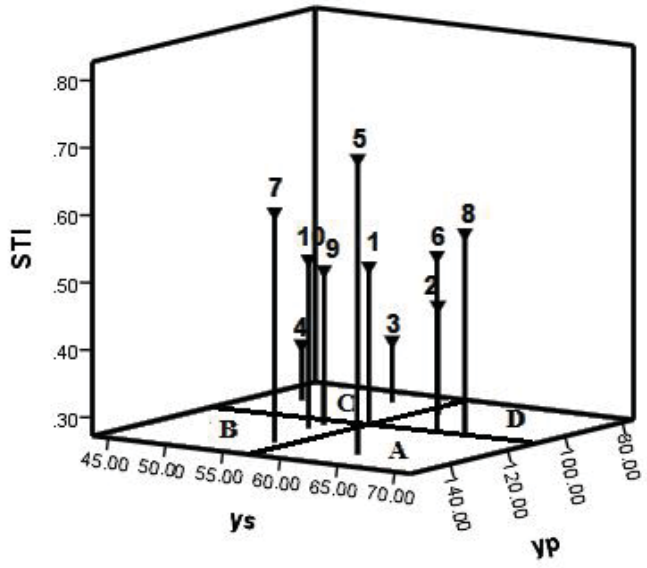
Figure 1. Black cumin genotype grouping using the 3-D plotusing among STI, Ypand Ys.

Yp و Ys به‌ترتیب میانگین عملکرد دانه برای کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش کم آبی و تنش کم آبی می‌باشند (برحسب گرم).

Y_p and Ys are mean grain yield under non stress and stress conditions (g)

اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها طبق جدول ۳ هستند.

Numbers show genotypes as Table 3.



شکل ۲: گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه با استفاده از نمودار سه بعدی ,**Ys ,Yp وSTI**

Figure 1. Black cumin genotype grouping using the 3-D plot among STI, $Y_p$and Y_s.

Ypو Ysبه‌ترتیب میانگین عملکرد روغن برای کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش کم آبی و تنش کم آبی می‌باشند (برحسب گرم).

Y_p and Ys are mean oil yield under non stress and stress conditions (g)

اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها طبق جدول ۳ هستند.

Numbers show genotypes as Table 3.

منابع

1. Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M. 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Ind. Crops Prod.27: 11-16.
2. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Aust. J. Agric. Res. 56: 1159–1168.
3. Antuono, D., Moretti, L.F. and Lovato, A.F.S. 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena*. Ind. Crop. Prod. 15: 59-69.
4. El-Mekawy, M.A.M. 2012. Growth and yield of *Nigella sativa* L. plant influenced by sowing date and irrigation treatments. Am. Eu. J. Agric. Environ. Sci. 12(4): 499-505.
5. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. PP. 257-270. In: C.G. Kuo (Ed.), Adaptation of food crops to temperature and water stress, AVRDC, Shanhua, Taiwan.
6. Faravani, M., Razavi, A.R. and Farsi, M. 2006. Study of variation in some agronomic and anatomic characters of *Nigella sativa* L. landraces in Khorasan. Iran J. Med. Aromatic Plants. 22 (3): 193-197. (In Persian)
7. Gershenzon, J. 1984. Changes in levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. P 273-320. In: B.N. Timmermann, C. Steelink, F.A. Loewus (eds.), Phytochemical adaptations to stress, Springer, London.
8. Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. and Dagustu, N. 2004. Responses of safflower (*Helianthus annus*L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Res. 87: 167-178.
9. Ghamarnia, H., Khosravy, H. and Sepehri, S. 2010. Yield and water use efficiency of (*Nigella sativa* L.)under different irrigation treatments in a semi-aridregion in the west of Iran. J. Med. Plants Res.4 (16): 1612-1616.
10. Ghamarnia, H., Miri, E., Jafarizadeh, M. and Ghobadi, M. 2013. Determination of *Nigella sativa* L. water requirement by lysimetric method in an arid and semi-arid climate. J. Irrig. Sci. Eng. 35(4): 75-82. (In Persian).
11. Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G.R., SalimiElizei, S. and Hedayati, M. 2011. Effect of water deficit and its interaction with ascorbate on proline, soluble sugars, catalase and glutathione peroxidase amounts in *Nigella sativa* L. Iran J. Med. Aromatic Plants. 26(4): 466- 476. (In Persian)
12. Haj SeyedHadi, M.R., Darzi, M.T. and Riazi, G. 2016. Black cumin (*Nigella sativa* L.) yield affected by irrigation and plant growth promoting bacteria. J. Med. Plants and By-prod. 2: 125-133.
13. Heidari, M. and Jahantighi, H. 2014. Evaluate effect of water stress and different amounts of nitro gen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Iran J. Agric. Res. 11(4): 640- 647.
14. Heidari, M. and Rezapor, A.R. 2011. Effect of water stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll and nutrient status of black cumin (*Nigella Sativa* L.). J. Crop Prod. Process. 1(1): 81-91. (In Persian)
15. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa *(Medicago sativa*) plants. Physiol. Plantarum. 84: 55-60
16. Kabiri, R., Nasibi, F. and Farahbakhsh, H. 2013. Study of some oxidative parameters induced by drought stress in *Nigella sativa* under hydroponic culture. J. Plant Process Fun. 2(3): 11-19. (In Persian)
17. Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasibi, F. 2014. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. Iran J. Med. Aromatic Plants. 30(4): 600-609. (In Persian)

18.Karim, M., Himel, R.M., Ferdush, J. and Zakaria, M. 2017. Effect of irrigation levels on yield performance of black cumin. Int. J. Environ. Agri. Biotech. 2(2): 959-966.
19.Kyari, M.Z. 2008. Extraction and characterization of seed oils. Int. Agrophysics. 22: 139-142.
20.Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Brahim, M. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carumcarvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. Ind. Crops Prod. 30: 372-379.
21.Mozzafari, F., Ghorbanli, S., Babai, M. and Farzami, A. 2000. The effect of water stress on the seed oil of *Nigella sativa* L. J. Essential Oil Res. 12: 36-38.
22.Norozpoor, G. and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*). Iran J. Agric. Res. 3(2): 305-315. (In Persian)
23.Paquine, R. and Lechasseur, P. 1979. Observation surune method dosage la libredans les de plantes. Can. J. Bot. 57: 1851-1854.
24.Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M. and Ramrodi, M. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iran J. Med. Aromatic Plants. 27 (3): 384-396. (In Persian)
25.RezaeiChiyaneh, E. and Pirzad, A. 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of Black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Iran J Agric Res. 12(3): 427-437. (In Persian)
26.Saberi, M.H., Nikkhah, H.R., Tajalli, H. and Arazmjo, E. 2013. Effects of terminal season drought stress on yield and choosing best tolerance indices in promising lines of Barley. Agronomy J. (Pajouhesh and Sazandegi). 107: 124-132. (In Persian)
27.Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L. and Munjal, R. 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. Biol. Plant. 48(3): 445-448.
28.Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S. 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seed in response to drought stress. J. Plant Nutr. 27(5): 815-835.
29.Solomon, A. and Beer, S. 1994. Effect of NaCl on the carboxylating activity of rubisco and absence of prolinerelated compatible solutes Plant. Physiol. Plantarum. 108: 1387-1394.
30.Tubino, M. and Roberto, O.T.G. 1990. Determination of calcium, phosphorus and potassium in leaf tissues by extraction with ethanol-water solvent. J. Analytical Letter. 23(12): 2339-2349.