



ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه (*Nigella sativa L.*) تحت تأثیر تنفس خشکی در مرحله‌ی گلدهی

حسن سرداری^۱، رسول اصغری زکریا^۲، ناصر زارع^۳، لیلا غفارزاده نمازی^۴ و مینا مقدس‌زاده^۵

^{۱, ۳ و ۵}- دانش آموخته دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی

^۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسؤول): r-asghari@uma.ac.ir

^۴- استادیار گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشگین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۱۱

صفحه: ۱۵۰ تا ۱۳۸

چکیده

كمبود آب از مهمترین عوامل بازدارنده رشد و نمو گیاه و کاهش عملکرد به ویژه در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی گیاهان است. به منظور ارزیابی اکوتیپ‌های سیاهدانه از لحاظ تحمل به تنفس خشکی در مرحله گلدهی (انتهای فصل) آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکوار در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا در سال ۱۳۹۵-۹۶ شد. فاکتور اصلی آزمایش شامل آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی) و عامل فرعی شامل اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنفس خشکی باعث کاهش معنی دار در تمامی صفات اندازه‌گیری شده به جز تاریخ گلدهی شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پیشترین مقدار عملکرد دانه و درصد روغن را به ترتیب اکوتیپ‌های سمیرم و کاظمین دارند. همچنین بیشترین وزن هزار دانه در تیمار آبیاری کامل و در اکوتیپ‌های اردستان و خمینی‌شهر حاصل شد. بر اساس نتایج تجزیه خوش‌های در شرایط تنفس خشکی، اکوتیپ‌های مورد مطالعه در سه گروه مختلف قرار گرفتند که اکوتیپ‌های گروه سوم شامل اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، اردستان و شهرضا از عملکرد و اجزای عملکرد بالاتری برخوردار بودند. بنابراین، اکوتیپ‌های مذکور به عنوان اکوتیپ‌های با عملکرد بالا و متتحمل به تنفس خشکی شناخته شدند. مقایسه اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه با ترسیم نمودار سه بعدی بر اساس عملکرد در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنفس خشکی انتهای فصل (Ys) و هر یک از شاخص‌های تحمل تنفس (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) نشان داد که از لحاظ این شاخص‌ها اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، شهرضا و اردستان به عنوان اکوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط محسوب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوش‌های، تنفس خشکی، شاخص تحمل تنفس، سیاهدانه، عملکرد دانه

مقدمه

سیاهدانه (*Nigella sativa L.*) گیاهی دیپلولئید با عدد کروموزومی $2n=12$ از رده دولپه‌ای‌ها، راسته Ranales و تیره آلاله (Ranunculaceae) است (۱۶). این گیاه که بومی اروپای جنوبی، آفریقای شمالی و آسیا است، از تاریخچه طبی غنی برخوردار است. ۳۰ درصد وزن سیاهدانه را روغن تشکیل می‌دهد. همچنین دانه گیاه حاوی چربی، ویتامین‌ها، مواد معدنی، پروتئین (شامل هشت اسید آمینه ضروری) و کربوهیدرات‌ها شامل مونوساکاریدها به شکل گلوکز، زیلوز، آرابینوز و رامنوز و منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیراشایع است (۲۵). اصلی‌ترین اسید چرب غیراشایع اسید لینولئیک و سپس اسید اولیئیک است. ترکیباتی مانند فسفو لیپیدها، کاروتون، کلیسیم، آهن و پتاسیم نیز در دانه‌ها وجود دارند (۲۶).

دانه گیاه سیاهدانه توسط ایرانیان، مصری‌ها و پزشکان یونانی برای درمان سردرد، اختناق بینی، آسم، آرژی، تقویت سیستم ایمنی، دندان درد، کرم‌های روده و افزایش تولید شیر مورد استفاده قرار گرفته است (۲۸). سیاهدانه در طب سنتی برای درمان انواع مشکلات تنفسی، ناراحتی‌های معده و روده‌ای، نارسایی‌های کلیه و کبد، تقویت دستگاه گردش خون و سیستم ایمنی بدن، حفظ سلامت عمومی بدن و همچنین

برای کاهش درد و عوارض ناشی از گرگش مار و عقرب کاربرد دارد. این گیاه دارویی، به طور شگفت‌انگیزی در جلوگیری از پیشرفت بسیاری از سلطان‌ها از جمله سلطان خون و سلطان پانکراس مؤثر است (۷). دانشمندان این اثرات خد سلطانی را به تیموکینون موجود در دانه‌های گیاه نسبت داده‌اند (۱۷). گزارش شده است که تیموکینون باعث تحریک مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی (آپوپتوزیس) در سلول‌های سلطانی روده بزرگ و کلیه می‌شود. این ماده مؤثره، تنظیم‌کننده‌های چرخه سلولی دخیل در آپوپتوزیس را تحت تأثیر قرار داده و پروتئین‌های ضد آپوپتوزیس را کاهش می‌دهد (۱۷).

تنفس خشکی یکی از مهمترین تنفس‌های محیطی است که در بسیاری از مناطق جهان و به ویژه مناطق گرم و خشک موجب محدود شدن عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. تنفس خشکی و خشکسالی ۶۰ تا ۴۰ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار داده است (۴). زمانی که از دست دادن آب به صورت تعرق بر میزان آب جذب شده از خاک پیشی می‌گیرد (۳) یا وقتی جذب آب به وسیله ریشه مشکل می‌شود تنفس آبی رخ می‌دهد، که این دو شرایط اغلب در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهند (۲۲). تأثیر تنفس خشکی بر گیاهان پیچیده بوده و بستگی زیادی به مراحل رشد و نموی آنها دارد. دست‌یابی به ارقامی که قادر به رشد و

(میانگین عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط مطلوب و تنش) توسط روزیل و هامبلین (۲۷) معرفی گردید. فرناندز (۱۱) بیان داشت که این شاخص قابلیت شناسایی ژنوتیپ‌های گروه B را دارد ولی در تفکیک گروه A از گروه B کارآئی ندارد. شاخص TOL توسط روزیل و هامبلین (۲۷) پیشنهاد شد و عبارت است از اختلاف عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و واحد تنش که مقادیر بالای آن بیانگر حساسیت به تنش است. گزینش بر اساس این شاخص عمدتاً منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه C می‌شود (۱۱). شاخص SSI اولین بار توسط فیشر و مورر (۱۲) ابداع شد. مقادیر پایین‌تر SSI نشان‌دهنده تحمل بالاتر آن ژنوتیپ به تنش است. به عبارت دیگر هرچه مقدار Y_p نزدیک‌تر باشد، تحمل آن ژنوتیپ به تنش خشکی بیشتر است و در نتیجه SSI آن کوچک‌تر خواهد بود. شاخص STI بر اساس شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) بنا نهاده شده است و با آن همبستگی بسیار نزدیک و مشتبی دارد. مقادیر بالای STI بیانگر تحمل یک ژنوتیپ به تنش خشکی است (۱۱). قابلیت شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A توسط این شاخص بیشتر از سایر شاخص‌ها است (۱۱).

با توجه به وجود تنش خشکی آخر فصل در اکثر نقاط خشک و نیمه خشک کشور، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه از لحاظ برخی صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله گله‌ی، بررسی ارتباط بین صفات مختلف وابسته به تحمل خشکی در این گیاه و شناسایی اکوتیپ‌های متتحمل به تنش با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. این منطقه با ۱۴ درجه و ۴۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۱۸ درجه و ۳۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ارتفاع ۱۳۴۲ متری از سطح دریا قرار گرفته است. متوسط بارش سالیانه آن بر اساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی حدود ۳۰۰ میلی‌متر است و بیشتر بارش‌ها به صورت برف در فصل زمستان صورت می‌گیرد. گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد و سردترین ماه‌های سال دی و بهمن می‌باشند. متوسط درجه حرارت در ماه‌های فروردین تا آبان بین ۸-۱۴ درجه سانتی‌گراد است. خاک محل آزمایش دارای بافت لوئی-رسی بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است.

نمود و تولید محصول بالا در شرایط تنش خشکی باشند بسیار مورد توجه به نژادگران است (۱۸، ۳۳). تعدادی از محققین طی پژوهش‌های خود اثر تنش خشکی را بر عملکرد دانه گیاه سیاهدانه مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس نتایج برخی مطالعات (۲۶)، بیشترین عملکرد سیاهدانه در تیمار آبیاری کامل مشاهده شده است و درصد کاهش عملکرد در تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، گله‌ی و شروع تشکیل دانه در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب برابر با ۷۹/۲ و ۴۳/۹ درصد بود که نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنی‌دار قطع آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیکی بر عملکرد گیاه سیاهدانه بوده است. کاهش عملکرد دانه ناشی از کم آبیاری در مرحله پس از ظهر غنچه نیز در سیاهدانه گزارش شده است (۲). گزارش شده است که سیاهدانه می‌تواند فاصله ۲۱ روز دور آبیاری را تحمل کند اما دوره طولانی‌تر از این مدت باعث کاهش تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و عملکرد نهایی دانه می‌شود. همچنین با طولانی‌شدن دور آبیاری، عملکرد دانه، عملکرد کاه و ارتفاع بوته کاهش می‌یابد (۱). افزایش تنش خشکی سبب افزایش سرعت گذر از مرحله رویشی به زایشی می‌شود که این امر کمتر شدن تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول تولیدی در بوته و وزن هزار دانه را به دنبال دارد (۲۳). در تحقیقی دیگر عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که تعداد دانه در کپسول، بیشترین اثر را بر عملکرد دانه در هر دو گونه دارد (۸).

وقوع تنش خشکی بسته به اینکه در چه مرحله یا مراحلی از رشد اتفاق افتد، موجب صدمه به یک یا تعدادی از اجزای عملکرد و در نتیجه صدمه به عملکرد نهایی خواهد شد. میزان تحمل گیاه در برابر تنش خشکی بستگی به حساسیت هر یک از اجزای عملکرد به زمان وقوع و شدت تنش خشکی دارد (۳۰). از آنجائی که عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش ممکن است مستقل از عملکرد آن در شرایط عادی باشد از این رو می‌توان ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد آنها در شرایط عادی و واحد تنش، به چهار گروه: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد نسبی بالا در هر دو شرایط عادی و تنش (گروه A)، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط عادی ولی با عملکرد پایین در شرایط تنش (گروه B)، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در شرایط عادی و عملکرد نسبتاً خوب و پایدار در شرایط تنش (گروه C) و ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط عادی و تنش (گروه D) تقسیم‌بندی کرد (۱۱). شاخص‌های تحمل به تنش متعددی به منظور گزینش ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد آنها در شرایط عادی و واحد تنش پیشنهاد شده است که هدف اصلی استفاده از این شاخص‌ها شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های گروه A است. شاخص MP

جدول ۱- آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

Table 1. Chemical and physical analysis of soil of the experimental site

بافت خاک	لوگر رسی (%)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	پاتام (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (ppm)	pH	اسیدیته (EC dsm ⁻¹)
۰/۶۸۲	۷/۸۲	۶	۷/۰۷	۱۳۶	۴۶	۳۲	۲۲		

بذرهای آسیاب شده را جهت تهیه ماده خشک وزن و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه در داخل آون قرار داده و وزن ماده خشک تعیین شد و در نهایت درصد روغن از فرمول ۱ محاسبه گردید:

$$\text{فرمول ۱: } \frac{b-c}{b-a} \times 100 = \text{درصد روغن}$$

نمونه که در آن a وزن کاغذ صافی بدون نمونه، b وزن کاغذ + نمونه حاوی روغن و c وزن کاغذ + نمونه بدون روغن بودند.

به منظور ارزیابی اکوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به خشکی، از دو شاخص تحمل تنش (STI) (۱) (فرمول ۲) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) (۵) (فرمول ۳) استفاده شد.

شاخص تحمل تنش (STI) (فرمول ۲):

$$STI = \left(\frac{Y_p}{\bar{Y}_p} \right) \left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \right) \left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right) = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2}$$

شاخص پایداری عملکرد (YSI) (فرمول ۳):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

در روابط مذکور:

\bar{Y}_s : عملکرد ژنتیکی مورد نظر در شرایط عادی

\bar{Y}_p : عملکرد ژنتیکی مورد نظر در شرایط عادی

\bar{Y}_s : متوسط عملکرد کلیه ژنتیپ‌ها در شرایط عادی

\bar{Y}_p : متوسط عملکرد کلیه ژنتیپ‌ها در شرایط عادی

پس از حصول اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، داده‌های حاصل با استفاده از نرمافزار SAS(9.1) تجزیه و مقایسه میانگین‌ها بهروش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. ضرایب همبستگی و تجزیه کلاستر اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در هر یک از شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از نرمافزار SPSS 16 انجام شد. نمایش اکوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های STI، YSI و عملکرد در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) به صورت جداگانه در نمودارهای سه بعدی انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) بین اکوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد اختلافات معنی‌داری وجود داشت که این امر نشانگر وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه بود. اثر تنش خشکی بر کلیه صفات مورد بررسی به جز تاریخ گلدهی معنی‌دار شد. اثر متقابل اکوتیپ و تنش

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل آبیاری با دو سطح شاهد (آبیاری کامل) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش خشکی) و عامل فرعی ۱۰ اکوتیپ مختلف سیاهدانه (خمینی‌شهر، سمیرم، مشهد۱، کاظمین، اصفهان، اردستان، تبریز، شیستر، شهرضا و مشهد۲) بود. هر کرت آزمایشی شامل هفت خط کاشت به طول سه متر بود که یک ردیف از هر طرف و نیم متر از بالا و پایین برای اثر حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر انتخاب و پس از سبز شدن بذور، گیاهچه‌ها در طی دو مرحله وجین و فاصله بوطه‌ها روی هر ردیف ۸ سانتی‌متر تنظیم گردید. دور آبیاری بر اساس نیاز ظاهری گیاه، هفت تا ده روز بود که تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی مزرعه به همین صورت ادامه یافت. در تیمار خشکی، آبیاری در مرحله گلدهی قطع شد. عملیات داشت شامل آبیاری، وجین علف‌هرز و سله شکنی به صورت دستی و به طور منظم و در همه کرت‌ها یکسان اعمال شد. بهمنظور اندازه‌گیری صفات مورد نظر ده بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و در آزمایشگاه ارتفاع بوته با استفاده از خطکش و قطر ساقه اصلی به وسیله کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته نیز یادداشت گردید. جهت تعیین وزن خشک اندام هوایی و وزن کپسول خشک، پس از جدا کردن قسمت‌های مذکور از یکدیگر، در پاکت‌های جداگانه گذاشته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ سانتی‌گراد در آون قرار داده شد سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازویی با دقت ۱/۰۰ تو زین و ثبت گردید. وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک نیز تعیین شد. برداشت سیاهدانه جهت محاسبه عملکرد دانه در مرحله رسیدگی دانه‌ها انجام شد. بدین منظور، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از سطح معادل ۱/۵ مترمربع بوته‌ها برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح محاسبه شد. در نهایت شاخص برداشت با استفاده از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید.

اندازه‌گیری درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسله انجام گرفت. به این ترتیب که مقدار ۲ گرم از بذرهای آسیاب شده را به همراه کاغذ صافی وزن کرده، در داخل قسمت استخراج دستگاه قرار داده و حدود ۲۵۰ سی‌سی حلال N-هگزان به آن اضافه شد. قبل از روشن نمودن دستگاه، شیر آب متصل به آن را باز کرده و سپس اجاق الکتریکی دستگاه روشن گردید. عمل عصاره‌گیری نمونه‌ها به مدت ۴ الی ۵ ساعت ادامه یافت. چرخه تبخیر و میعان طی مدت روشن بودن دستگاه باعث گرفتن چربی کامل نمونه‌ها گشت. بعد از گرفتن چربی، نمونه‌ها خارج و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه در آون قرار داده شدند. نمونه‌ها بعد از خشک شدن دوباره وزن شدند. همچنین مقدار ۲ گرم دیگر از

ذکر شده است. تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار میانگین کلیه صفات مورد ارزیابی به جز تاریخ گلدهی گردید. بیشترین درصد کاهش مربوط به صفت تعداد دانه در کپسول بود.

خشکی بر ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و وزن کپسول معنی‌دار و برای سایر صفات غیرمعنی‌دار به دست آمد (جدول ۲). میانگین صفات مورد مطالعه در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در جدول ۳

جدول ۲- تجزیه واریانس برای صفات مختلف در اکوتیپ‌های سیاهدانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی
Table 2. Analysis of variance for various traits in black cumin ecotypes under complete irrigation and end season drought stress conditions

میانگین مربعات								منبع تغییرات
ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد دانه در کپسول	تعداد کپسول در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درجه آزادی		
۰/۰۶	۴۵/۰۶	۱۱/۰۵	۰/۳۶	۰/۰۱۶	۶۱/۲۱	۲		تکرار
۵۰/۴۶**	۵۸۹/۵۹**	۳۰۰/۳۳**	۴۲/۸۴**	۰/۷۵*	۱۸۹۱/۶۹**	۱		تنش خشکی
۰/۸۰	۱۰/۸۶	۱۰/۸۸	۰/۹۶	۰/۳۰	۸/۴۰	۲		خطای اصلی
۱۷۷۴/۰**	۱۲۹۳/۶۰**	۳۰۷/۴۶**	۷۷/۷۳**	۰/۲۰**	۸۲۴۴/۴۵**	۹		اکوتیپ
۳۱/۴۱**	۳۰۷/۹۰ns	۳۴/۴۰*	۱/۱۰ns	۰/۰۴*	۱۴۰/۶۸ns	۹		تنش خشکی × اکوتیپ
۳/۷۱	۱۵۸/۶۰	۱۴/۴۷	۱/۱۵	۰/۰۲	۱۰۰/۴۱	۳۶		خطای فرعی
۲/۵۹	۲۴/۶۰	۸/۹۰	۶/۶۹	۵/۴۹	۱۰/۱۲			ضریب تغییرات (درصد)

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ادامه‌ی جدول ۲

Table 2. Continued

میانگین مربعات								منبع تغییرات
درصد روند	وزن خشک بوته	شاخص برداشت	قطر ساقه (میلی‌متر)	وزن خشک کپسول	تاریخ رسیدگی	تاریخ گلدهی	درجه آزادی	
۶/۱۳	۰/۰۸	۱۶/۶۸	۰/۲۲	۰/۰۰۶	۹/۳۱	۲۰/۲۱	۲	تکرار
۷۸/۲۲*	۱/۸۲۸**	۶۵/۳۵**	۴/۳۹**	۰/۰۱۰**	۱۵۴۰/۲۶**	۴/۲۶ns	۱	تنش خشکی
۲۹/۱۵	۰/۲۸	۵/۸۸	۰/۱۳	۰/۰۰۱	۱۱/۵۱	۱۲/۳۱	۲	خطای اصلی
۵۹/۸۹**	۱۴/۰۶**	۱۳۲/۲۲**	۰/۵۱**	۰/۰۰۳**	۱۳۳/۵۶**	۴۰/۹۰**	۹	اکوتیپ
۱۰/۸۰ns	۰/۰۹*	۱۱/۴۴ns	۰/۰۹ns	۰/۰۰۰۲**	۳۱/۰۱ns	۹/۳۷ns	۹	تنش خشکی × اکوتیپ
۱۸/۵۸	۰/۰۴	۱۱/۱۰۳	۰/۱۲	۰/۰۰۰۸	۱۵/۸۲	۲۱/۷۶	۳۶	خطای فرعی
۱۳/۹۱	۳/۳۱	۱۳/۱۹	۱۲/۶۸	۸/۴۴	۳/۳۲	۶/۸۲		ضریب تغییرات (درصد)

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۳- تغییر در میانگین صفات مختلف اکوتیپ‌های سیاهدانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی
Table 3. Change in mean of various traits of black cumin ecotypes under complete irrigation and drought stress conditions

شرایط	تاریخ رسیدگی (روز)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	تعداد کپسول در بوته	تعداد شاخه فرعی	قطر ساقه (میلی‌متر)	شاخص برداشت	درصد روند
آبیاری کامل	۱۲۴/۸۷ ^a	۱۰۲/۷۱ ^a	۱۷/۳۸ ^a	۵۰/۸۰ ^a	۲/۹۹ ^a	۲۶/۲۳ ^a	۳۲/۱۲ ^a
تنش خشکی	۱۱۴/۷۰ ^b	۹۱/۴۸ ^b	۱۵/۶۹ ^b	۴۴/۵۳ ^b	۲/۴۵ ^b	۲۴/۱۳ ^b	۲۹/۸۴ ^b
درصد کاهش	۸/۱۳	۱۲/۸۴	۹/۷۲	۱۲/۳۴	۱۸/۰۶	۸/۰۱	۷/۱۰

قبلی روند نزولی تعداد شاخه‌های جانبی سیاهدانه در سطوح تنش خشکی گزارش شده است (۲۱). کاهش تعداد شاخه‌ها در گیاه در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش رطوبت خاک است که موجب کاهش رشد رویشی می‌شود (۱۰، ۲۳). بیشترین قطر ساقه به اکوتیپ‌های مشهد ۱، کاظمین و تبریز و کمرتین قطبی داشت (جدول ۴). گزارش شده است که تحت تأثیر تنش تعلق داشت (۱۵). با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع بوته، قطر ساقه کم آبی، با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (۱۵).

بر اساس نتایج حاصله بیشترین تعداد روز برای گلدهی در اکوتیپ‌های شهرضا، خمینی شهر و اصفهان مشاهده گردید

مقایسه میانگین بین اکوتیپ‌های سیاهدانه میانگین اکوتیپ‌های سیاهدانه از نظر صفات مورد مطالعه در جدول ۴ و شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در مورد کلیه صفات مورد مطالعه به جز ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن خشک بوته، وزن هزار دانه و وزن خشک کپسول اثر متقابل اکوتیپ و تنش خشکی غیرمعنی‌دار بود، مقایسه میانگین برای همه صفات مورد بررسی به جز صفات مذکور در متوسط شرایط تنش و بدون تنش انجام گرفت.

بر اساس نتایج حاصله اکوتیپ‌های اردستان، خمینی شهر و سمیرم بیشترین و اکوتیپ‌های کاظمین، مشهد ۱ و تبریز کمترین تعداد شاخه فرعی را داشتند (جدول ۴). در تحقیقات

کپسول به اکوتبپهای مشهد ۲، تبریز و کاظمین بهترتب با میانگین ۳۸/۵۰، ۴۰/۶۶ و ۴۰/۶۶ تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی اکوتبپهای خمینی شهر، سمیرم و اردستان بهترتب با میانگین ۵۵/۲۳، ۴۸/۱۶ و ۴۶/۳۳ بیشترین و اکوتبپهای مشهد ۲، تبریز و شهرضا بهترتب با میانگین ۳۸/۵۰ و ۳۶/۳۳ کمترین تعداد دانه در کپسول را داشتند (شکل A). مطالعات قبلی روی سیاهدانه به کاهش تعداد دانه در کپسول در اثر تنش خشکی اشاره کردند (۲۹).

مطالعات نشان داده است که مرحله تعییر دوره رویشی به زایشی مرحله حساس به کمبود آب است (۶).

وزن هزار دانه نشان دهنده میزان تجمع ماده خشک در دانهها است که با توجه به شرایط آب و هوایی و طول دوره رشد گیاه، متفاوت بوده و کاهش آن باعث کاهش عملکرد محصول خواهد شد. در شرایط آبیاری کامل اکوتبپهای اردستان، خمینی شهر و سمیرم بهترتب با ۲/۷۵، ۲/۵۶ و ۲/۵۱ گرم بیشترین و اکوتبپهای مشهد ۲، مشهد ۱، ۲/۳۷ و ۲/۳۷ گرم کمترین وزن هزار دانه را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن هزار دانه به اکوتبپهای خمینی شهر، اصفهان و شهرضا بهترتب با ۲/۳۷، ۲/۱۰ و ۲/۲۷ گرم و کمترین وزن هزار دانه به اکوتبپهای مشهد ۱، شبستر و کاظمین بهترتب با ۲/۰۷ و ۲/۲۰ گرم تعلق داشت (شکل ۱B). رضوان بیدختی و همکاران (۲۶) گزارش کردند که وزن هزار دانه گیاه سیاهدانه تحت تأثیر تیمارهای کم آبیاری کاهش می‌یابد. طول دوره فتوستنتزی در گیاه سیاهدانه در تیمارهای کم آبیاری کاهش یافته و مواد فتوستنتزی کمتری از برگ‌ها به سمت دانه‌ها منتقل می‌شود که در نهایت منجر به کاهش وزن هزار دانه در شرایط کم آبیاری می‌شود (۲۹، ۳۳). در شرایط آبیاری کامل اکوتبپهای سمیرم، خمینی شهر، اصفهان و اردستان بهترتب با ارتفاع بوته ۸۹/۶۶، ۹۰/۶۷ و ۸۹/۶۶ سانتی‌متر، پابلندترین و اکوتبپهای مشهد ۲، شبستر و تبریز بهترتب با ۵۲ و ۵۶ سانتی‌متر پاکوتاهترین اکوتبپها بودند. در شرایط تنش خشکی اکوتبپهای اردستان، خمینی شهر و سمیرم بهترتب با ارتفاع بوته ۸۶/۳۰، ۸۸/۳۰ و ۸۶/۳۰ سانتی‌متر، پابلندترین و اکوتبپهای مشهد ۲، شبستر و تبریز بهترتب با ۴۴/۳۳، ۵۱ و ۵۱ سانتی‌متر پاکوتاهترین اکوتبپها بودند (شکل ۱C). اکبرنیا و همکاران (۱) نیز طی مطالعات خود روی سیاهدانه به کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی اشاره کردند. کاهش میزان رشد در شرایط تنش خشکی، یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد ساختساره، به سمت مولکول‌های نگهداری کننده در برابر تنش هدایت می‌کند (۲۰). در اثر کمبود آب حجم سلول، تقسیم سلولی، دیواره‌سازی سلول، اندازه کلی گیاه و وزن تر و خشک گیاه به عنوان ملاک‌های کلی رشد اغلب کاهش می‌یابند. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به خصوص در ساقه و برگ‌ها است. رشد سلول حساس‌ترین فرآیندی است که به‌وسیله تنش کم‌آبی تحت

و زودترین زمان گلدهی مربوط به اکوتبپهای شبستر، تبریز و کاظمین بود (جدول ۴). بیشترین تعداد روز برای رسیدن دانه‌ها در اکوتبپهای سمیرم، خمینی شهر و شهرضا و کمترین تعداد روز برای رسیدن دانه‌ها نیز در اکوتبپهای تبریز، شبستر و مشهد ۱ مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بیشترین تعداد کپسول در بوته به اکوتبپهای شهرضا، اردستان و اصفهان و کمترین تعداد کپسول در بوته به اکوتبپهای مشهد ۲، شبستر و مشهد ۱ تعلق داشت (جدول ۴). کاهش تعداد کپسول در بوته در سیاهدانه طی تنش خشکی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (۲۳، ۲۱).

اکوتبپهای سمیرم، اردستان و خمینی شهر بیشترین و اکوتبپهای مشهد ۲، مشهد ۱ و شبستر کمترین میزان عملکرد را داشتند (جدول ۴). کاهش عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی از طریق سه سازوکار کلی کاهش جذب تشتعش فعال فتوستنتزی، کاهش کارآبی مصرف نور و کاهش در تبادل CO_2 به ازای واحد نور جذب شده قابل بیان است (۳۳). تنش خشکی موجب کاهش محتوای آب برگ گیاه می‌شود، در نتیجه سلول‌ها چروکیده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد و در نهایت رشد رویشی گیاه نیز در اثر کمبود آب کاهش یافته و عملکرد نیز متعاقب آن کاهش می‌یابد (۳۱). کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در مطالعات قبلی روی سیاهدانه گزارش شده است (۲۶، ۱۴، ۱۳، ۲۱).

شاخص برداشت بیانگر نسبت مواد فتوستنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک است. این شاخص یکی از معیارهای مورد استفاده در برآورد کارآبی توزیع یا انتقال مواد ساخته شده به دانه یا محصول اقتصادی در گیاه است. در پژوهش حاضر، اکوتبپهای سمیرم، اردستان و خمینی شهر بیشترین و اکوتبپهای مشهد ۲، مشهد ۱ و شبستر کمترین میزان شاخص برداشت را داشتند (جدول ۴). قمرنیا و همکاران (۱۳) نیز به کاهش شاخص برداشت در سیاهدانه تحت تأثیر تنش خشکی اشاره کردند.

کاهش عملکرد در تیمارهای تحت تنش آب، ناشی از افت وزن خشک بخش‌های رویشی به واسطه افزایش رقابت برای جذب آب است.

اکوتبپهای کاظمین، تبریز و شبستر بیشترین و اکوتبپهای مشهد ۲، سمیرم و خمینی شهر کمترین درصد روغن را داشتند (جدول ۴). بر اساس نتایج مطالعات قمرنیا و همکاران (۱۴) تنش خشکی موجب کاهش غیرمعنی دار درصد روغن سیاهدانه شد. برخی از گزارش‌ها نشان می‌دهد که اگر شدت تنش زیاد نباشد، درصد روغن تحت تأثیر تنش خشکی و عوامل محیطی قرار نمی‌گیرد. از جمله دلایلی که برای تغییرات اندک درصد روغن در شرایط تیمار خشکی می‌توان گفت این است که درصد روغن نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن آن است، چون در شرایط اعمال تنش، کل وزن دانه نیز کاهش می‌یابد، با وجود کاهش میزان روغن دانه، ممکن است درصد روغن دانه تغییر زیادی نداشته باشد (۰۰).

در شرایط آبیاری کامل بیشترین تعداد دانه در کپسول به اکوتبپهای خمینی شهر، سمیرم و اصفهان بهترتب با میانگین ۵۷/۸۳، ۵۰/۵۰ و ۴۵/۸۳ کمترین تعداد دانه در

(شکل ۱D). در شرایط آبیاری کامل اکوتبهای اردستان، اصفهان و خمینی شهر بهترتب با ۰/۱۲۶ و ۰/۱۲۸ و ۰/۱۲۹ اندام محدود گرم بیشترین و اکوتبهای مشهد ۲، کاظمین و شبستر بهترتب با ۰/۰۹۶ و ۰/۱۱۲ و ۰/۱۰۴ گرم کمترین وزن خشک کپسول را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن خشک کپسول به اکوتبهای مشهد ۱، اردستان و سمیرم بهترتب با ۰/۱۱۰ و ۰/۱۱۰ و ۰/۱۰۸ گرم و کمترین وزن خشک کپسول به اکوتبهای مشهد ۲، تبریز و شهرضا بهترتب با ۰/۰۹۲ و ۰/۰۹۱ و ۰/۰۸۱ گرم تعلق داشت (شکل ۱E). کاهش عملکرد در تیمارهای تحت تنش آب، ناشی از افت وزن خشک بخش‌های رویشی به واسطه افزایش رفاقت برای جذب آب است.

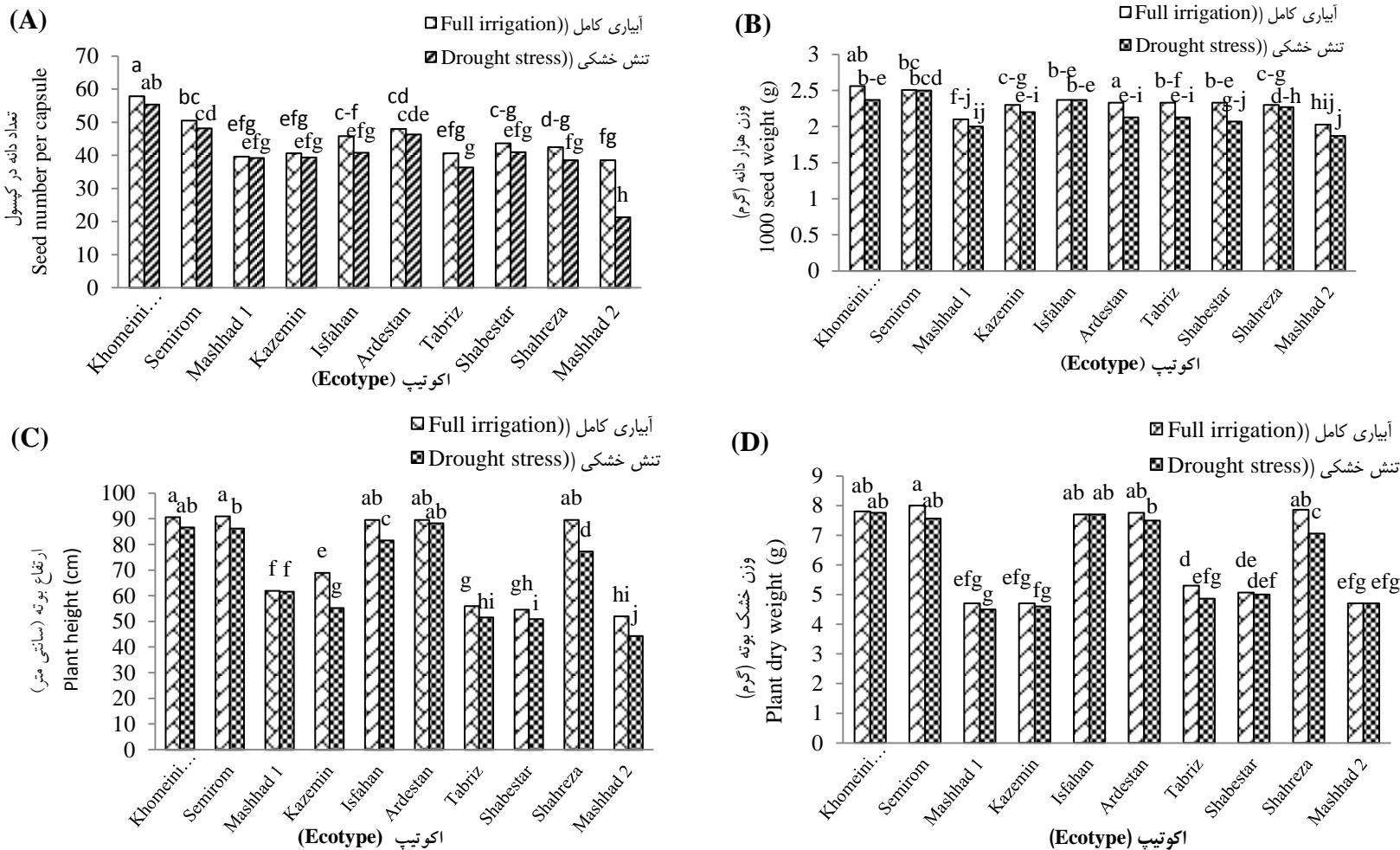
تأثیر قرار می‌گیرد. با کاهش رشد سلول اندازه اندام محدود می‌شود به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع بوته‌ها تشخیص داد. کاهش انتقال مجدد مواد و کاهش اندازه گیاه در شرایط تنش گزارش شده است (۱۹).

در شرایط آبیاری کامل اکوتبهای سمیرم، شهرضا و خمینی شهر بهترتب با ۰/۷۸۶ و ۰/۷۸۰ و ۰/۷۸۰ گرم بیشترین و اکوتبهای کاظمین، مشهد ۱ و مشهد ۲ با وزن خشک ۰/۷۰ گرم کمترین وزن خشک بوته را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن خشک بوته به اکوتبهای خمینی شهر، اصفهان و اردستان بهترتب با ۰/۷۶ و ۰/۷۵ و ۰/۷۵ گرم و کمترین وزن خشک بوته به اکوتبهای مشهد ۱، کاظمین و مشهد ۲ بهترتب با ۰/۴۵۰ و ۰/۴۶۰ و ۰/۴۷۰ گرم تعلق داشت.

جدول ۴- میانگین صفات مورد ارزیابی در اکوتبهای سیاهدانه در متوسط شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی
Table 4. Mean of studied traits in black cumin ecotypes in the average complete irrigation and drought stress conditions

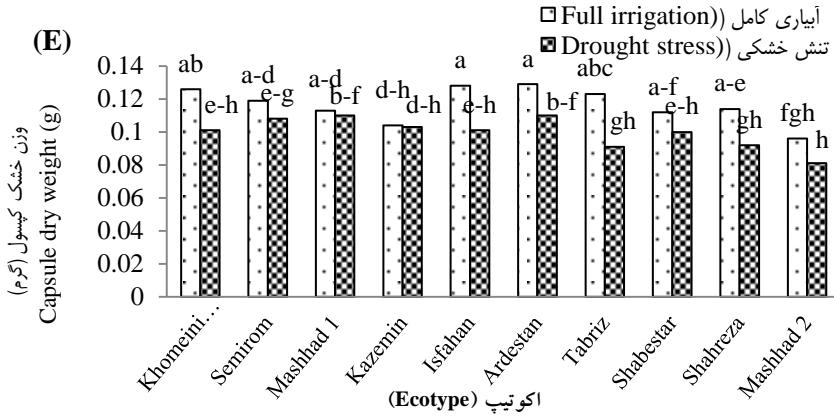
اکوتب	تاریخ رسیدگی (میلی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	شاخه برداشت	تعداد کپسول در بوته	تعداد شاخه فرعی	درصد رون
خمینی شهر	۱۲۳/۸۳ ^a	۲/۴۶ ^c	۱۳۳/۲۵ ^a	۲۸/۱۹ ^{ab}	۱۵/۹۷ ^c	۵۸/۲۳ ^a	۲۸/۵۳ ^{cd}
سمیرم	۱۲۴/۶۶ ^a	۲/۵۳ ^{bc}	۱۴۱/۹۵ ^a	۳۰/۴۷ ^a	۱۹/۱۳ ^b	۵۷/۵۰ ^a	۲۷/۱۷ ^d
مشهد ۱	۱۱۵/۶۶ ^b	۳/۲۶ ^a	۶۳/۱۱ ^c	۲۳/۱۴ ^c	۱۳/۰۱ ^e	۳۵/۱۷ ^c	۳۲/۶۷ ^{abcd}
کاظمین	۱۱۶/۰ ^b	۲/۰۰ ^a	۷۱/۷۳ ^c	۲۵/۸۱ ^{bc}	۱۲/۴۴ ^{de}	۳۱/۳۰ ^c	۳۵/۰ ^a
اصفهان	۱۲۲/۱۶ ^a	۲/۴۳ ^c	۱۱۸/۱۸ ^b	۲۵/۵۷ ^{bc}	۱۹/۲۶ ^b	۵۳/۳۳ ^b	۲۸/۸۴ ^{cd}
اردستان	۱۲۲/۳۳ ^a	۲/۸۴ ^{abc}	۱۳۸/۳۱ ^a	۳۰/۱۴ ^a	۱۹/۵۷ ^b	۶۱/۱۶ ^a	۲۹/۴۸ ^{bcd}
تبریز	۱۱۲/۸ ^b	۲/۹۳ ^{ab}	۷۳/۹ ^c	۲۲/۲۳ ^{bc}	۱۴/۳۶ ^d	۳۸/۱۷ ^c	۳۴/۵ ^{ab}
شیستر	۱۱۳/۲۳ ^b	۲/۸۵ ^{abc}	۷۱/۰۶ ^c	۲۳/۵۲ ^c	۱۳/۷۷ ^e	۴۷/۰۰ ^b	۳۴/۱۰ ^{abc}
شهرضا	۱۲۳/۸۳ ^a	۲/۵۴ ^{bc}	۱۲۰/۱۷ ^b	۲۶/۸۴ ^{abc}	۲۱/۵۸ ^a	۵۲/۸۳ ^b	۳۱/۹۲ ^{abcd}
مشهد ۲	۱۲۳/۰ ^a	۲/۳۹ ^c	۳۹/۲۰ ^d	۱۳/۹۵ ^d	۱۲/۳۹ ^f	۴۱/۸۳ ^c	۲۷/۰ ^d

حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است.



شکل ۱- میانگین اکوئیپهای مختلف سیاهانه از لحاظ (A) تعداد دانه در کپسول، (B) وزن هزار دانه، (C) ارتفاع بوته، (D) وزن خشک بوته، و وزن خشک کپسول (E) در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در زمان گلدهی

Figure 1. Means of different black cumin ecotypes under normal and drought stress at flowering stage for (A) number of grains per follicle, (B) 1000-grain yield, (C) plant height (D), plant dry weight, and (E) capsule dry weight



ادامه شکل ۱- میانگین اکوتبهای مختلف سیاهدانه از لحاظ (A) تعداد دانه در کپسول، (B) وزن هزار دانه، (C) ارتفاع بوته، (D) وزن خشک بوته، و وزن خشک کپسول (E) در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در زمان گلدهی

Continued Figure 1. Means of different black cumin ecotypes under normal and drought stress at flowering stage for (A) number of grains per follicle, (B) 1000-grain yield, (C) plant height (D), plant dry weight, and (E) capsule dry weight

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در اکوتبهای سیاهدانه در شرایط آبیاری کامل (اعداد زیر قطر) و تنش خشکی (اعداد روی قطر)

Table 5. Correlation coefficients among the studied traits in black cumin ecotypes in the full irrigation condition (below the diagonal) and under drought stress condition (on the diagonal)

صفات مورد ارزیابی	ارداق بوته (۱)	تعداد شاخه فرعی	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	تعداد شاخه	ارداق بوته	درصد روغن	تاریخ گلدهی	وزن خشک کپسول	شاخن برداشت	عملکرد دانه	وزن خشک بوته	وزن خشک	وزن هزار دانه	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه	تاریخ رسیدگی	درصد روغن	قطر ساقه
ارداق بوته (۱)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تعداد شاخه فرعی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تعداد دانه در کپسول	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
وزن خشک بوته	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
وزن خشک	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
وزن هزار دانه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تعداد دانه در کپسول	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
وزن هزار دانه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تاریخ رسیدگی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
درصد روغن	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
قطر ساقه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*	۰/۰۰	۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
**	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

تجزیه خوشهای اکوتیپ‌ها در شرایط تنفس خشکی نیز، اکوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه مختلف قرار داد (شکل ۲). گروه اول شامل اکوتیپ‌های مشهد ۱، کاظمین، تبریز و شبستر، گروه دوم شامل تنها اکوتیپ مشهد ۲ و گروه سوم نیز شامل اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، اردستان و شهرضا بود. گروه سوم از عملکرد و اجزای عملکرد بالاتری نسبت به گروه اول و دوم برخوردار بود. فراوانی و همکاران (۸) نیز با استفاده از تجزیه خوشهایی، توده‌های سیاهدانه را بر حسب شباهت بیشتر به ۷ گروه مختلف تقسیم نمودند که این گروه‌ها اختلافات چشمگیری با یکدیگر بهویژه برای صفت میزان عملکرد داشتند.

مقایسه اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه بر اساس شاخص‌های تحمل تنفس

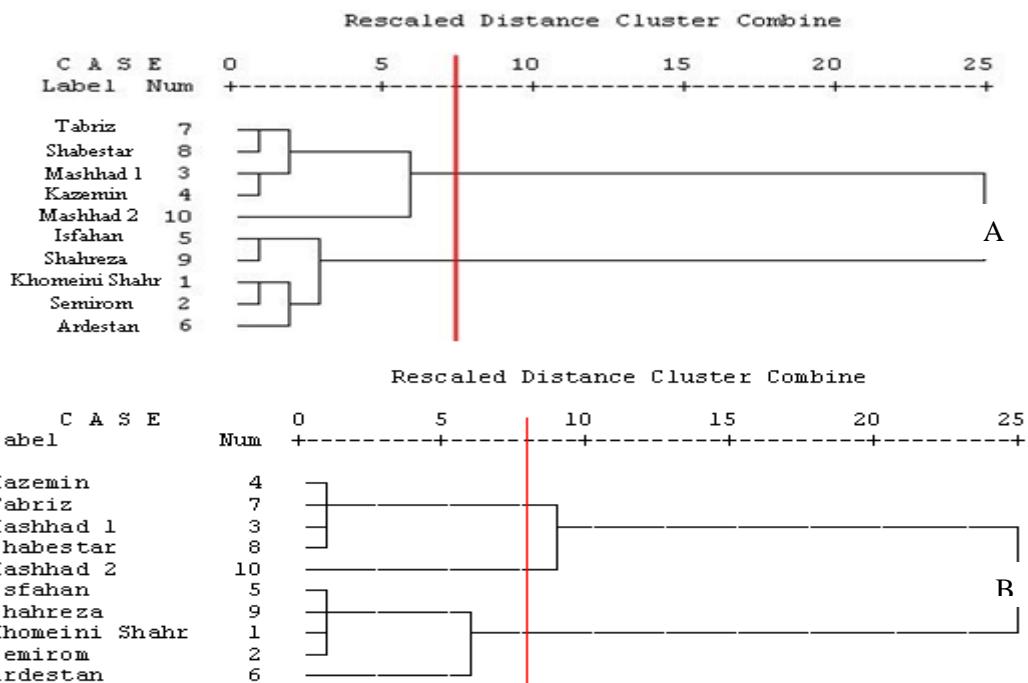
مقایسه اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه با ترسیم نمودار سه بعدی بر اساس شاخص تحمل تنفس (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) و عملکرد در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنفس خشکی انتهایی فصل (Ys) (شکل ۳) نشان داد که از لحاظ این شاخص‌ها اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، شهرضا و اردستان به عنوان اکوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط محسوب می‌شوند. اکوتیپ‌های مشهد ۱، کاظمین، تبریز و شبستر، همچنین اکوتیپ مشهد ۲ به عنوان اکوتیپ‌های حساس به تنفس خشکی شناسایی گردید. در این تحقیق اکوتیپ اردستان اگرچه افت عملکرد بیشتری نیز نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشت، اما به علت داشتن پتانسیل بالای عملکرد، این اکوتیپ نیز در بین اکوتیپ‌های برتر جای گرفت. با این حال اکوتیپ مشهد ۲ به علت دارا بودن عملکرد کمتر در هر دو شرایط به عنوان اکوتیپ با عملکرد پایین شناسایی گردید. گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشهای با نتایج حاصل از نمودارهای سه بعدی هم‌خوانی بالایی نشان داد.

همبستگی بین صفات

تجزیه همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در شرایط آبیاری کامل نشان داد که عملکرد دانه با صفاتی نظیر ارتفاع (۰/۹۴)، تعداد شاخه فرعی (۰/۶۸)، تعداد دانه در کپسول (۰/۸۰)، وزن هزار دانه (۰/۸۸)، وزن خشک بوته (۰/۹۵)، شاخص برداشت (۰/۸۹)، وزن خشک کپسول (۰/۸۰)، تاریخ گلدهی (۰/۶۸)، تاریخ رسیدگی (۰/۷۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۵). این همبستگی‌ها نشان داد که افزایش عملکرد می‌تواند تحت تأثیر افزایش اجزای عملکرد در این گیاه باشد. همبستگی بین صفات در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی نیز نشان داد که عملکرد دانه با صفاتی نظیر ارتفاع بوته (۰/۹۴)، تعداد شاخه (۰/۶۸)، تعداد کپسول در بوته (۰/۸۸)، وزن هزار دانه (۰/۸۸)، وزن خشک بوته (۰/۹۵) و شاخص برداشت (۰/۸۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با بقیه صفات ارتباط معنی‌داری نداشت (جدول ۵). بر اساس ضرایب همبستگی، اجزای مهم عملکرد دانه در سیاهدانه حائز اهمیت هستند، بنابراین با بهبود اجزایی عملکرد، امکان افزایش عملکرد دانه وجود دارد که با نتایج مطالعات قبلی (۲۶، ۹، ۸، ۱) همخوانی دارد.

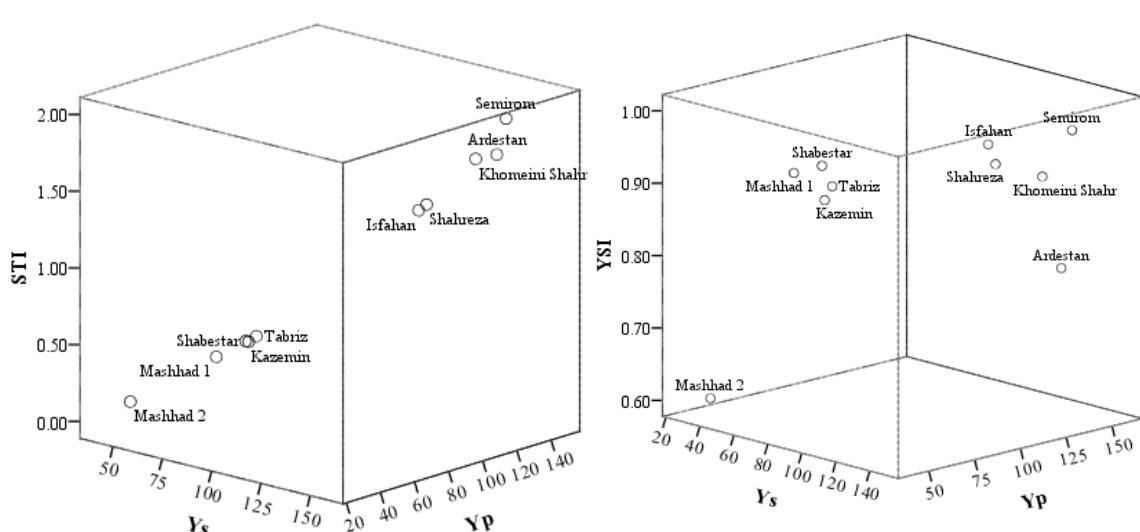
تجزیه خوشهای

به منظور گروه‌بندی اکوتیپ‌ها از تجزیه خوشهای به روشن Ward استفاده گردید. در شرایط آبیاری کامل اکوتیپ‌ها بر اساس تجزیه تابع تشخیص در دو گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۲). گروه اول شامل اکوتیپ‌های کاظمین، تبریز، مشهد ۱، شبستر و مشهد ۲ بود. اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، (شهرضا)، سمیرم، اردستان و اصفهان نیز در گروه دوم جای گرفتند. گروه اول دارای کمترین میانگین برای عملکرد و اجزایی عملکرد بود در صورتی که گروه دوم بیشترین میزان را از لحاظ این صفات به خود اختصاص داد. در شرایط آبیاری کامل، میانگین رونگ در گروه اول (۳۴/۰/۸) از گروه دوم (۳۰/۱/۶) به نسبت بیشتر بود.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای اکوتبهای مختلف سیاه‌دانه بر اساس صفات مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل (A) و تنش خشکی در مرحله گلدهی (B) به روش ward

Figure 2. Dendrogram of different black cumin ecotypes based on the studied traits in full irrigation condition (A) and drought stress at flowering stage using ward's method



شکل ۳- نمودار سه بعدی اکوتبهای مختلف سیاه‌دانه بر اساس شاخص تحمل تنش (STI) (سمت چپ)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) (سمت راست) و عملکرد در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی انتهایی فصل (Ys)

Figure 3. Three-dimensional graph of different ecotypes of black cumin based on stress tolerance index (STI) (left), yield stability index (YSI) (right) and yield under full irrigation (Yp) and end-season drought stress (Ys) conditions

اکوتیپ‌ها گردید در حالی که برخی دیگر از اکوتیپ‌ها تحمل بالایی در برابر تنش از خود نشان دادند که این امر حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه می‌باشد. به طوری که بر اساس نتایج آنالیز خوش‌های در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های تحمل تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI)، اکوتیپ‌های خمینی شهر، سمیرم، اصفهان، اردستان و شهرضا نسبت به اکوتیپ‌های دیگر از نظر عملکرد و اجزای عملکرد بالاتر بودند. بنابراین، این اکوتیپ‌ها به عنوان اکوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر اگر چه سطوح آبیاری بر صفات زراعی و عملکرد سیاهدانه تأثیر دارد، ولی میزان تأثیر آن بر هر یک از این صفات متفاوت می‌باشد. تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار میانگین کلیه صفات مورد ارزیابی به جز تاریخ گلدهی و درصد روغن گردید. بیشترین درصد کاهش مربوط به صفات تعداد دانه در کبسول و کمترین کاهش مربوط به تعداد روز تا گلدهی بود. بیشترین و کمترین تعداد روز تا رسیدگی دانه‌ها بهتر ترتیب در اکوتیپ‌های سمیرم و تبریز مشاهده گردید. از طرفی بر اساس نتایج مطالعه حاضر، تنش خشکی موجب کاهش عملکرد در بین برخی از

منابع

1. Akbarinia, A., M. Khosravifard, E. Sharifi Ashoorabadi and P. Babakhanlou. 2005. Effect of irrigation intervals on yield and agronomic characteristics of black cumin (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 21(1): 65-73 (In Persian).
2. Bannayan, M., F. Najafi, M. Azizi, L. Tabrizi and M. Rastgoo. 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products, 27(1): 11-16.
3. Beemarao Sankar, C.A., J. Paramasivam Manivannan, A. Kishore Kumar, R. Samasundaram and R. Panneerselvam. 2007. Drought induced biochemical modification and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. Acta Botanica Croatica, 66(1): 43-56.
4. Bohnert, H.J. and R.A. Bressan. 2001. Abiotic stresses, plant reactions, and new approaches towards understanding stress tolerance. Crop Science, 6: 81-100.
5. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24(5): 933-937.
6. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crop Research, 89(1): 1-16.
7. Chehl, N., G. Chipitsyna, Q. Gong and C. Yeo. 2009. Anti-inflammatory effects of *Nigella sativa* extract, thymoquinone, in pancreatic cancer cells. International Hepato-Pancreato-biliary Association Journal, 11(5): 373-381.
8. De Antuono, L.F., A. Moretti and A.F.S. Lovato. 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena*. Industrial Crops and Products, 15(1): 59-69.
9. Faravani, M., A.R. Razavi and M. Farsi. 2006. Study of variation in some agronomic and anatomic characters of *Nigella sativa* landraces in Khorasan. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22(3): 193-197 (In Persian).
10. Farrokhinia, M., M. Roshdi, B. Pasban Eslam and S. Rezadoost. 2009. Study of effects drought stress on the yield and som of the vegetative characters in safflower. Journal of Research in Crop Science, 2(5): 1-11 (In Persian).
11. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo C.G. (Ed.). Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress. Publication, Tainan, Taiwan.
12. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars I. Grain yield responses. Crop and Pasture Science, 29(5): 897-912.
13. Gharnaria, H., H. Khosravy and S. Sepehri. 2010. Yield and water use efficiency of (*Nigella sativa* L.) under different irrigation treatments in a semi-arid region in the west of Iran. Journal of Medicinal Plants Research, 4(16): 1612-1616 (In Persian).
14. Haj Seyed Hadi, M.R., M.T. Darzi and G. Riazi. 2016. Black cumin (*Nigella sativa* L.) yield affected by irrigation and plant growth promoting bacteria. Journal of Medicinal Plants and By-products, 5(2): 125-133 (In Persian).
15. Hassani, A. 2006. Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 22(3): 256-261 (In Persian).
16. Iqbal, M.S., A. Ghafoor, F.M. Abbasi, A.S. Qureshi and H. Ahmad. 2011. Study of nutritional characteristics, mineral nutrients and agro-biodiversity in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes from Pakistan. African Journal of Biotechnology, 10(66): 14757-14766.
17. Ismail, M.Y.M. 2009. Therapeutic role of prophetic medicine habbat el baraka (*Nigella sativa* L.)-A review. World Applied Sciences Journal, 7(9): 1203-1208.

18. Jaleel, C.A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal Agriculture Biology, 11(1): 100-105.
19. Kafy, M. and M. Rostami. 2009. Yield characteristics and oil content of three safflower. Iranian Journal of Field Crops Research, 5(1): 121-132 (In Persian).
20. Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum sp.*). International Agrophysics, 20(4): 289-296.
21. Leport, L., N.C. Turner, R.J. French, D. Tennant, B.D. Thomson and K.H.M. Siddique. 1998. Water relation, gas exchange, and growth of cool-season grain legumes in a Mediterranean-type environment. European Journal of Agronomy, 9(4): 295-303.
22. Monivannan, P., C. Abdul Jaleel, B. Sankal, A. Kishore Kumar, R. Sornasundaram, G.M.A. Lakshmanan and K. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modification and proline metabolism in (*Helianthus annus L.*) as induced by drought stress. Colloids and Surfaces, 59(2): 141-149.
23. Mozzafari, F., S. Ghorbanli, M. Babai and A. Farzami. 2000. The effect of water stress on the seed oil of *Nigella sativa* L. Journal of Essential Oil Research, 12(1): 36-38.
24. Nickavar, B., F. Mojab, K. Javidnia and M.A. Amoli. 2003. Chemical composition of the fixed and volatile oils of (*Nigella sativa* L.) from Iran. Zeitschrift für Naturforschung C. A Journal of Biosciences, 58(9-10): 629-631.
25. Omar, A., S. Ghosheh, A. Abdulghani, A. Houdi and P.A. Crookscor. 1999. High performance liquid chromatographic analysis of the pharmacologically active quinones and related compounds in the oil of the black seed (*Nigella sativa*). Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 19(5): 757-762.
26. Rezvan Beidokhti, S., S. Sanjani, A. Dashtban and I. Hesam Arefy. 2012. Evaluation of yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) under different plant density and limited irrigation condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(2): 382-391 (In Persian).
27. Rosielle, A.A. and J. Hanbilin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21(6): 943-946.
28. Salehi, I. and M.H. Surmaghi. 2008. *Nigella Sativa*. Herbal Medicine and Herbal Therapy, Donyay Taghziah press, 76(2): 216 -229 (In Persian).
29. Shahattary, F.S. and C. Mansourifar. 2017. The effect of drought stress on morphological and physiological traits and essence percentage of medicinal plant, *Nigella sativa*. Bioscience Biotechnology Research Commnlications, 1: 298-305.
30. Soleimani A, M. Valizadeh, R. Darvishzadeh, S. Aharizad and H. Alipour. 2017. Evaluation of yield and yield component of spring barely genotypes under late season drought stress. Journal of Crop Breeding, 9(23): 105-116 (In Persian).
31. Taiz, J. and E. Zeiger. 2001. Plant Physiology. 3rd ed. Sunderland, Sinauer Associates. 379 pp.
32. Vafabakhsh, J., M., Nasiri Mahlati A.R. Kocheki and M. Azizi 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 7(1): 297-304 (In Persian).
33. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Drought stress effect on physiological parameter and amino acids accumulations in canola. Journal of Crop Breeding, 8 (18):191-203 (In Persian).

Evaluation of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress Conditions at Flowering Stage

Hassan Sardari¹, Rasool Asghari Zakaria², Nasser Zare³, Lila Ghafarzadeh Namazi⁴ and Mina Moghaddaszadeh⁵

1, 3 and 5- Graduated M.Sc. Student, Associate Professor and Graduated PhD. Student of Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili

2- Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran,
(Corresponding author: r-asghari@uma.ac.ir)

4- Assistant Professor, Meshkin Shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: December 2, 2019

Accepted: February 29, 2020

Abstract

Water deficiency causes crop yield loss, especially in flowering and pollination stage. This investigation was conducted out as a field experiment in Agriculture Faculty of University of Mohaghegh Ardabili in 2018, to evaluate drought tolerance of ecotypes at flowering stage. All plots were arranged in split plots based on a randomized complete block design with three replications. The main factor of experiment included two irrigation levels (full irrigation and irrigation until flowering stage) and sub-factor consisted of 10 different ecotypes of black cumin. Analysis of variance showed that the effect of drought stress on all studied traits except flowering date was significant. Drought stress significantly reduced the mean of all traits except flowering date and oil percentage. Comparison of mean data showed that the highest grain yield and oil content were observed in Semiroom and Kazemain ecotypes, respectively. Also, the highest 1000-grain weight was obtained and in Ardestan and Khomeini Shahr ecotypes at full irrigation. Based on the results of cluster analysis under drought stress condition, the studied ecotypes were divided into three groups. Ecotypes of third group including Khomeini Shahr, Semiroom, Isfahan, Ardestan and Shahreza had higher yield and yield components than ecotypes in other groups. Therefore, these ecotypes were identified as high yielding and drought tolerant. Also, three-dimensional plots based on stress tolerance index (STI), yield stability index (YSI), yield under full irrigation (Yp) and end-season drought stress (Ys) showed that the ecotypes of Khomeini Shahr, Semiroom, Isfahan, Shahreza and Ardestan are considered as superior ecotypes in both conditions.

Keywords: Cluster analysis, Drought stress, Stress tolerance index, Black cumin, Seed yield