دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

# ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تأثیر تنش 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- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و دانش‌آموخته دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: 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 تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۰
صفحه: ۱۳۸ تا ۱۵۰

**چکیده**

**کمبود 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 تنش خشکی در مرحله گلدهی (انتهای فصل) آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ 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 تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در تمامی صفات اندازه‌گیری شده به جز تاریخ گلدهی شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه و درصد روغن را به‌ترتیب 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 تنش 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 به‌عنوان اکوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. مقایسه اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه با ترسیم نمودار سه بعدی بر اساس عملکرد در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و هر یک از شاخص‌های تحمل تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) نشان داد که از لحاظ این شاخص‌ها اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، شهرضا و اردستان به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط محسوب می‌شوند.**

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

## مقدمه

سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی دیپلوئید با عدد کروموزومی ۲n=۱۲ از رده دولپه‌ای‌ها، راسته Ranales و تیره آلاله (Rananculaceae) 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 اسیدآمینه ضروری) و کربوهیدرات‌ها شامل مونوساکاریدها به شکل گلوکز، زیلوز، آرابینوز و رامنوز و منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیراشباع است (۲۵). اصلی‌ترین اسید چرب غیراشباع اسید لینولئیک و سپس اسید اولیئک است. ترکیباتی مانند فسفو لیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم نیز در دانه‌ها وجود دارند (۲۴).

دانه گیاه سیاه‌دانه توسط ایرانیان، مصری‌ها و پزشکان یونانی برای درمان سردرد، احتقان بینی، آسم، آلرژی، 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 گزش مار و عقرب کاربرد دارد. این گیاه دارویی، به طور شگفت‌انگیزی در جلوگیری از پیشرفت بسیاری از سرطان‌ها از جمله سرطان خون و سرطان پانکراس مؤثر است (۷). دانشمندان این اثرات ضد سرطانی را به تیموکینون موجود در دانه‌های گیاه نسبت داده‌اند (۱۷). گزارش شده است که تیموکینون باعث تحریک مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی (آپوپتوزیس) در سلول‌های سرطانی 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).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که در بسیاری از مناطق جهان و به ویژه مناطق گرم و خشک موجب محدود شدن عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. تنش خشکی و خشکسالی ۴۰ تا ۶۰ 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 تنش آبی رخ می‌دهد، که این دو شرایط اغلب در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهند (۲۲). تأثیر تنش خشکی بر گیاهان پیچیده بوده و بستگی زیادی به مراحل رشد و نموی آنها دارد. دست‌یابی به ارقامی که قادر به رشد و

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

نمو و تولید محصول بالا در شرایط تنش خشکی باشند بسیار مورد توجه به نژادگران است (۳۳،۱۸).

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، گلدهی و شروع تشکیل دانه در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب برابر با ۷۹، ۶۷/۲ 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 ظهور 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 ارزیابی دو گونه *N. sativa* و *N. damascena* از لحاظ 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 واجد 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 واجد تنش پیشنهاد شده است که هدف اصلی استفاده از این شاخص‌ها شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های گروه A است. شاخص MP (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 کارآیی ندارد. شاخص TOL توسط روزیل و هامبلین (۲۷) پیشنهاد شد و عبارت است از اختلاف عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و واجد 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 نشان‌دهندهٔ تحمل بالاتر آن ژنوتیپ به تنش است. به‌عبارت دیگر هرچه مقدار $Y_s$ به $Y_p$ 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 مثبتی 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 گلدهی، بررسی ارتباط بین صفات مختلف وابسته به تحمل خشکی در این گیاه و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به تنش با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ 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 به‌صورت 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 ۱۴-۸ درجه سانتی‌گراد است. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی-رسی بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است.

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

جدول ۱- آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

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

| بافت خاک | شن (%) | رس (%) | سیلت (%) | پتاسم (ppm) | فسفر (ppm) | نیتروزن (ppm) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی (EC) ($dsm^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لومی رسی | ۲۲ | ۳۲ | ۴۶ | ۱۳۶ | ۷/۰۷ | ۶۰ | ۷/۸۲ | ۰/۶۸۲ |

آزمایش به‌صورت 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، شبستر، 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 بوته‌ها 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 به‌صورت دستی و به‌طور منظم و در همه کرت‌ها یکسان اعمال شد. به‌منظور اندازه‌گیری صفات مورد نظر ده بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و در آزمایشگاه ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش و قطر ساقه اصلی به وسیله کولیس دیجیتالی 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 درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ توزین 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 سطحی 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 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:

درصد روغن = b-c/b-a ×100 (فرمول ۱)

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) (۱۱) (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:

$Y_S$ : عملکرد ژنوتیپ موردنظر در شرایط واجد تنش

$Y_p$ : عملکرد ژنوتیپ موردنظر در شرایط عادی

$\bar{Y}_S$ :متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط واجد تنش

$\bar{Y}_p$ : متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها 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

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

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

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

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه | وزن هزار دانه | تعداد کپسول در بوته | تعداد دانه در کپسول | تعداد شاخه فرعی | ارتفاع بوته |
| تکرار | ۲ | ۶۱/۲۱ | ۰/۰۱۶ | ۰/۳۶ | ۱۱/۰۵ | ۴۵/۰۶ | ۰/۰۶ |
| تنش خشکی | ۱ | ۱۸۹۱/۶۹$^{**}$ | ۰/۷۵$^{*}$ | ۴۲/۸۴$^{**}$ | ۳۰۰/۳۳$^{**}$ | ۵۸۹/۶۹$^{**}$ | ۵۰۴/۶۰$^{**}$ |
| خطای اصلی | ۲ | ۸/۴۰ | ۰/۳۰ | ۰/۹۶ | ۱۰/۸۸ | ۱۰/۸۶ | ۰/۸۰ |
| اکوتیپ | ۹ | ۸۲۴۴/۵۱$^{**}$ | ۰/۲۰$^{**}$ | ۷۷/۷۳$^{**}$ | ۳۰۷/۴۶$^{**}$ | ۱۲۹۳/۶۰$^{**}$ | ۱۷۷۴/۰$^{**}$ |
| تنش خشکی× اکوتیپ | ۹ | ۱۴۰/۶۸$^{ns}$ | ۰/۰۴$^{*}$ | ۱/۱۰$^{ns}$ | ۳۴/۳۰$^{*}$ | ۳۰۷/۹۰$^{ns}$ | ۳۱/۴۱$^{**}$ |
| خطای فرعی | ۳۶ | ۱۰۰/۴۱ | ۰/۰۲ | ۱/۱۵ | ۱۴/۴۷ | ۱۵۸/۶۰ | ۳/۷۱ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۱۰/۳۲ | ۵/۴۹ | ۶/۶۹ | ۸/۹۰ | ۲۴/۶۰ | ۲/۶۹ |

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ادامه‌ی جدول ۲

Table 2. Continued

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تاریخ گلدهی | تاریخ رسیدگی | وزن خشک کپسول | قطر ساقه | شاخص برداشت | وزن خشک بوته | درصد روغن |
| تکرار | ۲ | ۲۰/۲۱ | ۹/۳۱ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۲۲ | ۱۶/۶۸ | ۰/۰۸ | ۶/۱۳ |
| تنش خشکی | ۱ | ۴/۲۶$^{ns}$ | ۱۵۴۰/۲۶$^{**}$ | ۰/۰۱۰۳$^{**}$ | ۴/۳۹$^{**}$ | ۶۵/۳۵$^{**}$ | ۱/۸۲۸$^{**}$ | ۷۸/۲۲$^{*}$ |
| خطای اصلی | ۲ | ۱۲/۳۱ | ۱۱۲/۵۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۳ | ۵/۸۸ | ۰/۲۸ | ۲۹/۱۵ |
| اکوتیپ | ۹ | ۴۰۹/۴۰$^{**}$ | ۱۳۳/۵۶$^{**}$ | ۰/۰۰۰۳$^{**}$ | ۰/۵۱$^{**}$ | ۱۳۲/۲۲$^{**}$ | ۱۴/۰۶$^{**}$ | ۵۹/۸۹$^{**}$ |
| تنش خشکی × اکوتیپ | ۹ | ۹/۳۷$^{ns}$ | ۳۱/۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۲$^{**}$ | ۰/۰۹$^{ns}$ | ۱۱/۴۴$^{ns}$ | ۰/۰۹$^{*}$ | ۱۰/۸۰$^{ns}$ |
| خطای فرعی | ۳۶ | ۲۱/۷۶ | ۱۵/۸۲ | ۰/۰۰۰۰۸ | ۰/۱۲ | ۱۱/۰۳ | ۰/۰۴ | ۱۸/۵۸ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۶/۸۲ | ۳/۳۲ | ۸/۴۴ | ۱۲/۶۸ | ۱۳/۱۹ | ۳/۳۱ | ۱۳/۹۱ |

ns، * و **: به‌ترتیب 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 روغن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری کامل | ۱۲۴/۸۳$^{a}$ | 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 |

**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، خمینی‌شهر و سمیرم بیشترین و اکوتیپ‌های کاظمین، مشهد ۱ و تبریز کمترین تعداد شاخه فرعی را داشتند (جدول ۴). در تحقیقات 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 (۱،۲۳). بیشترین قطر ساقه به اکوتیپ‌های مشهد ۱، کاظمین و تبریز و کمترین قطر ساقه به اکوتیپ‌های مشهد ۲، اصفهان و خمینی‌شهر تعلق داشت (جدول ۴). گزارش شده است که تحت تأثیر تنش 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، خمینی‌شهر و اصفهان مشاهده گردید

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

و زودترین زمان گلدهی مربوط به اکوتیپ‌های شبستر، تبریز و کاظمین بود (جدول ۴). بیشترین تعداد روز برای رسیدن دانه‌ها در اکوتیپ‌های سمیرم، خمینی‌شهر و شهرضا و کمترین تعداد روز برای رسیدن دانه‌ها نیز در اکوتیپ‌های تبریز، شبستر و مشهد ۱ مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بیشترین تعداد کپسول در بوته به اکوتیپ‌های شهرضا، اردستان و اصفهان و کمترین تعداد کپسول در بوته به اکوتیپ‌های 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،۱۳،۲،۱).

اکوتیپ‌های سمیرم، اردستان و خمینی‌شهر بیشترین و اکوتیپ‌های 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 تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش کارآیی مصرف نور و کاهش در تبادل $CO_2$ به ازای واحد نور جذب شده قابل بیان است (۳۲). 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،۲،۱). شاخص برداشت بیانگر نسبت مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک است. این شاخص یکی از معیارهای مورد استفاده در برآورد کارآیی توزیع یا انتقال مواد ساخته شده به دانه یا محصول اقتصادی در گیاه است. در پژوهش حاضر، اکوتیپ‌های سمیرم، اردستان و خمینی‌شهر بیشترین و اکوتیپ‌های 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 کرده‌اند.

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

اکوتیپ‌های کاظمین، تبریز و شبستر بیشترین و اکوتیپ‌های مشهد ۲، سمیرم و خمینی‌شهر کمترین درصد روغن را داشتند (جدول ۴). بر اساس نتایج مطالعات قمرنیا و همکاران (۱۴) تنش خشکی موجب کاهش غیرمعنی‌دار 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 (۱۰).

در شرایط آبیاری کامل بیشترین تعداد دانه در کپسول به اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم و اصفهان به‌ترتیب با میانگین ۵۷/۸۳، ۵۰/۵۰ و ۴۵/۸۳ و کمترین تعداد دانه در کپسول به اکوتیپ‌های مشهد ۲، تبریز و کاظمین به‌ترتیب با میانگین ۳۸/۵۰، ۴۰/۶۶ و ۴۰/۶۶ تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم و اردستان به‌ترتیب با میانگین ۵۵/۳۳، ۴۸/۱۶ و ۴۶/۳۳ بیشترین و اکوتیپ‌های مشهد ۲، تبریز و شهرضا به‌ترتیب با میانگین ۲۱/۳۳، ۳۶/۳۳ و ۳۸/۵۰ کمترین تعداد دانه در کپسول را داشتند (شکل A ۱). مطالعات قبلی روی سیاه‌دانه به کاهش تعداد دانه در کپسول در اثر تنش خشکی اشاره کرده‌اند (۲۹). مطالعات نشان داده است که مرحله تغییر دوره رویشی به زایشی مرحله حساس به کمبود آب است (۶).

وزن هزار دانه نشان‌دهنده 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 اکوتیپ‌های اردستان، خمینی‌شهر و سمیرم به‌ترتیب با ۲/۷۵، ۲/۵۶ و ۲/۵۱ گرم بیشترین و اکوتیپ‌های مشهد ۲، مشهد ۱، کاظمین و شهرضا به‌ترتیب با ۲/۰۳، ۲/۱۰، ۲/۳۷ و ۲/۳۷ گرم کمترین وزن هزار دانه را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن هزار دانه به اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، اصفهان و شهرضا به‌ترتیب با ۲/۳۷، ۲/۳۷ و ۲/۲۷ گرم و کمترین وزن هزار دانه به اکوتیپ‌های مشهد۱، شبستر و کاظمین به‌ترتیب با ۲، ۲/۰۷ و ۲/۲۰ گرم تعلق داشت (شکل 1B). رضوان بیدختی و همکاران (۲۶) گزارش کردند که وزن هزار دانه گیاه سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای کم آبیاری کاهش می‌یابد. طول دوره فتوسنتزی در گیاه سیاه‌دانه در تیمارهای کم آبیاری کاهش یافته و مواد فتوسنتزی کمتری از برگ‌ها به سمت دانه‌ها منتقل می‌شود که در نهایت منجر به کاهش وزن هزار دانه در شرایط کم آبیاری می‌شود (۲۹،۲۳،۱). در شرایط آبیاری کامل اکوتیپ‌های سمیرم، خمینی‌شهر، اصفهان و اردستان به‌ترتیب با ارتفاع بوته ۹۱، ۹۰/۶۷، ۸۹/۶۶ و ۸۹/۶۶ سانتی‌متر، پابلندترین و اکوتیپ‌های مشهد ۲، شبستر و تبریز به‌ترتیب با ۵۲، ۵۴/۶۶ و ۵۶ سانتی‌متر پاکوتاه‌ترین اکوتیپ‌ها بودند. در شرایط تنش خشکی اکوتیپ‌های اردستان، خمینی‌شهر و سمیرم به‌ترتیب با ارتفاع بوته ۸۸/۳۰، ۸۶/۷۰ و ۸۶/۳۰ سانتی‌متر، پابلندترین و اکوتیپ‌های مشهد ۲، شبستر و تبریز به‌ترتیب با ۴۴/۳۳، ۵۱ و ۵۱/۶۰ سانتی‌متر پاکوتاه‌ترین اکوتیپ‌ها بودند (شکل 1C). 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 شاخساره، 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 توسعهٔ سلول به خصوص در ساقه و برگ‌ها است. رشد سلول حساس‌ترین فرآیندی است که به‌وسیله تنش کم‌آبی تحت

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

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 اکوتیپ‌های سمیرم، شهرضا و خمینی‌شهر به‌ترتیب با ۸، ۷/۸۶ و ۷/۸۰ گرم بیشترین و اکوتیپ‌های کاظمین، مشهد ۱ و مشهد ۲ با وزن خشک ۴/۷۰ گرم کمترین وزن خشک بوته را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن خشک بوته به اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، اصفهان و اردستان به‌ترتیب با ۷۶ /۷، ۷/۷۰ و ۷/۵۰ گرم و کمترین وزن خشک بوته به اکوتیپ‌های مشهد۱، کاظمین و مشهد ۲ به‌ترتیب با ۴/۵۰، ۴/۶۰ و ۴/۷۰ گرم تعلق داشت (شکل 1D). در شرایط آبیاری کامل اکوتیپ‌های اردستان، اصفهان و خمینی‌شهر به‌ترتیب با ۰/۱۲۹، ۰/۱۲۸ و ۰/۱۲۶ گرم بیشترین و اکوتیپ‌های مشهد ۲، کاظمین و شبستر به‌ترتیب با ۰/۰۹۶، ۰/۱۰۴ و ۰/۱۱۲ گرم کمترین وزن خشک کپسول را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن خشک کپسول به اکوتیپ‌های مشهد ۱، اردستان و سمیرم به‌ترتیب با ۰/۱۱۰، ۰/۱۱۰ و ۰/۱۰۸ گرم و کمترین وزن خشک کپسول به اکوتیپ‌های مشهد۲، تبریز و شهرضا به‌ترتیب با ۰/۰۸۱، ۰/۰۹۱ و ۰/۰۹۲ گرم تعلق داشت (شکل 1E). کاهش عملکرد در تیمارهای تحت تنش آب، ناشی از افت وزن خشک بخش‌های رویشی به واسطه افزایش رقابت برای جذب آب است.

جدول ۴- میانگین صفات مورد ارزیابی در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه در متوسط شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی

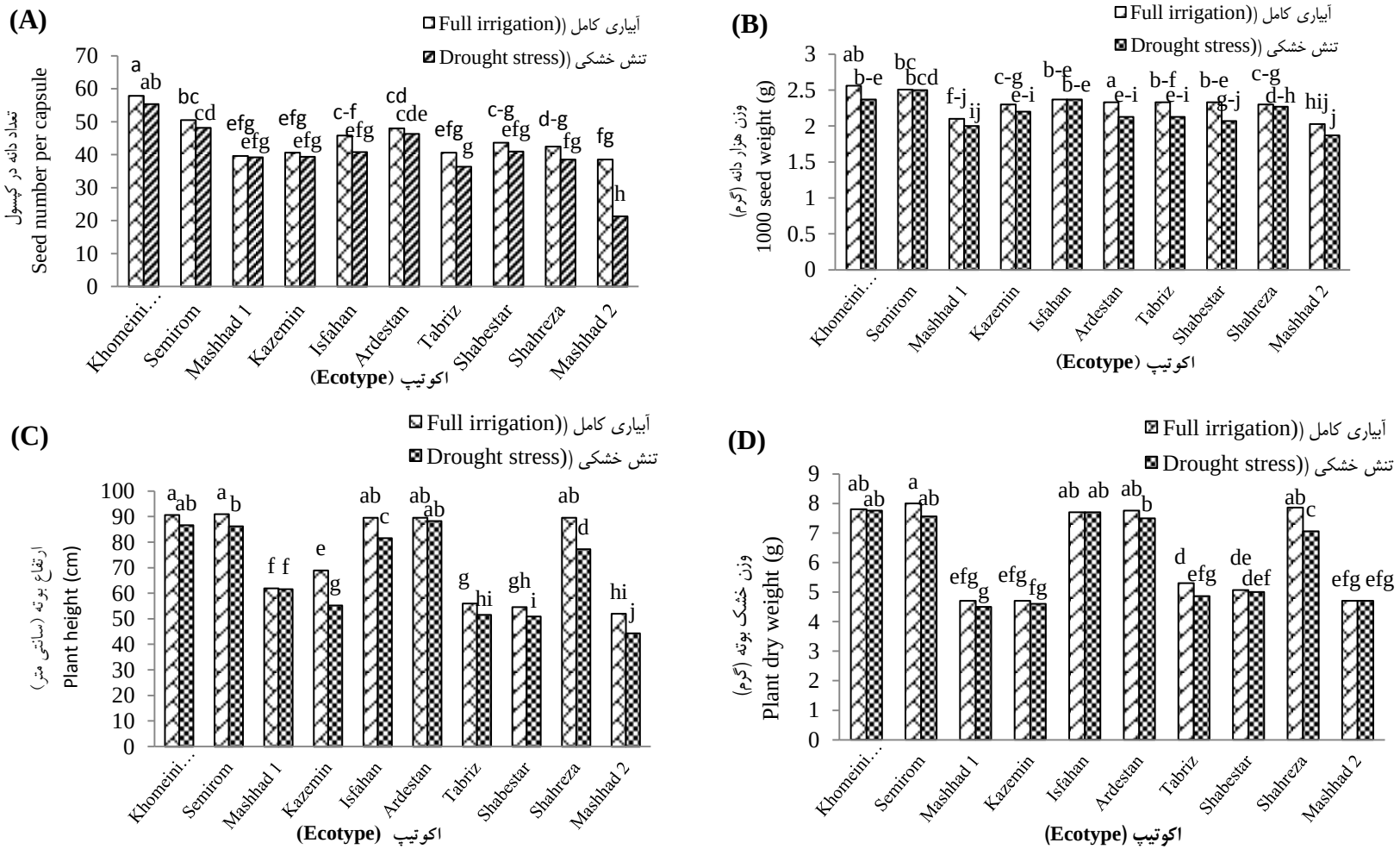
Table 4. Mean of studied traits in black cumin ecotypes in the average complete irrigation and drought stress conditions

| اکوتیپ | | تاریخ رسیدگی | قطر ساقه (میلی‌متر) | عملکرد دانه (گرم در مترمربع) | شاخص برداشت | تعداد کپسول در بوته | تعداد شاخه فرعی | درصد روغن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خمینی‌شهر | Khomeini Shahr | ۱۲۳/۸۳$^{a}$ | ۲/۴۶$^{c}$ | ۱۳۳/۳۵$^{a}$ | ۲۸/۱۹$^{ab}$ | ۱۵/۹۲$^{c}$ | ۵۸/۳۳$^{a}$ | ۲۸/۵۳$^{cd}$ |
| سمیرم | Semirom | ۱۲۴/۶۶$^{a}$ | ۲/۵۳$^{bc}$ | ۱۴۱/۹۵$^{a}$ | ۳۰/۴۲$^{a}$ | ۱۹/۱۳$^{b}$ | ۵۷/۵۰$^{a}$ | ۲۷/۱۷$^{d}$ |
| مشهد۱ | Mashhad 1 | ۱۱۵/۶۶$^{b}$ | ۳/۲۶$^{a}$ | ۶۳/۱۱$^{c}$ | ۲۳/۱۴c | ۱۳/۰۱$^{e}$ | ۳۵/۱۷$^{c}$ | ۳۲/۶۷$^{abcd}$ |
| کاظمین | Kazemin | ۱۱۶/۰۰$^{b}$ | ۳/۰۰$^{a}$ | ۷۱/۷۳$^{c}$ | ۲۵/۸۱$^{bc}$ | ۱۳/۴۲$^{de}$ | ۳۱/۳۰$^{c}$ | ۳۵/۵۰$^{a}$ |
| اصفهان | Isfahan | ۱۲۲/۱۶$^{a}$ | ۲/۴۳$^{c}$ | ۱۱۸/۱۸$^{b}$ | ۲۵/۵۷$^{bc}$ | ۱۹/۲۶$^{b}$ | ۵۳/۳۳$^{b}$ | ۲۸/۸۴$^{cd}$ |
| اردستان | Ardestan | ۱۲۲/۳۳$^{a}$ | ۲/۸۴$^{abc}$ | ۱۳۸/۳۱$^{a}$ | ۳۰/۱۴a | ۱۹/۵۷$^{b}$ | ۶۱/۱۶$^{a}$ | ۲۹/۴۸$^{bcd}$ |
| تبریز | Tabriz | ۱۱۲/۸۳$^{b}$ | ۲/۹۳$^{ab}$ | ۷۳/۹$^{c}$ | ۲۴/۲۳$^{bc}$ | ۱۴/۳۶$^{d}$ | ۳۸/۱۷$^{c}$ | ۳۴/۵۶$^{ab}$ |
| شبستر | Shabestar | ۱۱۳/۳۳$^{b}$ | ۲/۸۶$^{abc}$ | ۷۱/۰۶$^{c}$ | ۲۳/۵۲$^{c}$ | ۱۳/۷۷$^{e}$ | ۴۷/۰۰$^{b}$ | ۳۴/۱۰$^{abc}$ |
| شهرضا | Shahreza | ۱۲۳/۸۳$^{a}$ | ۲/۵۴$^{bc}$ | ۱۲۰/۱۷$^{b}$ | ۲۶/۸۴$^{abc}$ | ۲۱/۶۹$^{a}$ | ۵۲/۸۳$^{b}$ | ۳۱/۹۲$^{abcd}$ |
| مشهد۲ | Mashhad 2 | ۱۲۳/۰۰$^{a}$ | ۲/۳۹$^{c}$ | ۳۹/۲۰$^{d}$ | ۱۳/۹۵$^{d}$ | ۱۲/۳۹$^{f}$ | ۴۱/۸۳c | ۲۷/۰۳$^{d}$ |

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

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

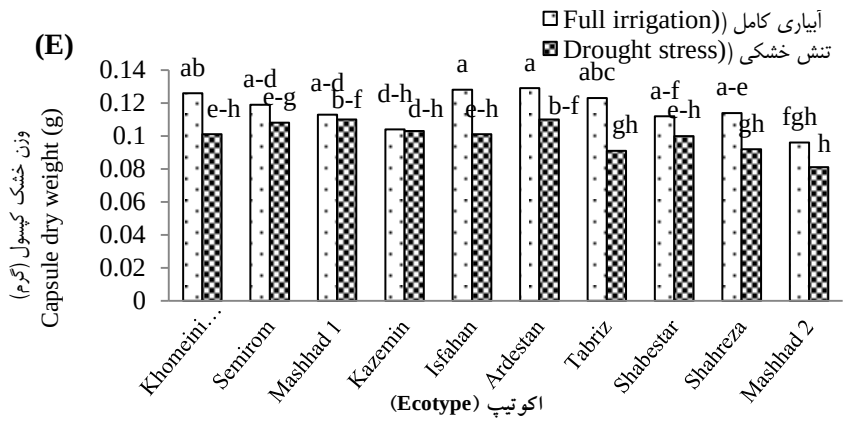



شکل ۱- میانگین اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه از لحاظ (A) تعداد دانه در کپسول، (B) وزن هزار دانه، (C) ارتفاع بوته، (D) وزن خشک بوته، و وزن خشک کپسول (E) در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در زمان گلدهی

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

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]




ادامه شکل ۱- میانگین اکوتیپ‌های 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 اکوتیپ‌های 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 | ارتفاع بوته | تعداد شاخه فرعی | تعداد دانه در کپسول | تعداد کپسول در بوته | وزن هزار دانه | وزن خشک بوته | عملکرد دانه | شاخص برداشت | وزن خشک کپسول | تاریخ گلدهی | تاریخ (رسیدگی) | درصد روغن | قطر ساقه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع بوته (۱) | ۱/۰۰ | ۰/۹۵** | ۰/۷۷** | ۰/۸۰** | ۰/۸۳** | ۰/۹۴** | ۰/۹۶** | ۰/۸۲** | ۰/۵۰ | ۰/۵۸ | ۰/۴۱ | -۰/۵۸ | -۰/۲۴ |
| تعداد شاخه فرعی | ۰/۴۵ | ۱/۰۰ | ۰/۶۰ | ۰/۸۹** | ۰/۸۰** | ۰/۹۷** | ۰/۹۴** | ۰/۷۰* | ۰/۳۴ | ۰/۷۲* | ۰/۵۵ | -۰/۶۴* | -۰/۴۵ |
| تعداد دانه در کپسول | ۰/۷۲* | ۰/۵۷ | ۱/۰۰ | ۰/۴۱ | ۰/۷۸** | ۰/۶۶* | ۰/۷۷** | ۰/۹۰** | ۰/۵۸ | ۰/۰۸ | -۰/۰۶ | -۰/۲۶ | ۰/۰۱ |
| تعداد کپسول در بوته | ۰/۹۰** | ۰/۴۷ | ۰/۴۵ | ۱/۰۰ | ۰/۷۳* | ۰/۸۵** | ۰/۸۵** | ۰/۶۶* | ۰/۰۸ | ۰/۶۳ | ۰/۵۱ | -۰/۳۲ | -۰/۴۵ |
| وزن هزار دانه | ۰/۷۱* | ۰/۷۲* | ۰/۷۸** | ۰/۶۳ | ۱/۰۰ | ۰/۸۳** | ۰/۹۲** | ۰/۹۲** | ۰/۳۳ | ۰/۴۲ | ۰/۳۳ | -۰/۴ | -۰/۴۱ |
| وزن خشک بوته | ۰/۹۵** | ۰/۶۳ | ۰/۷۵* | ۰/۹۰** | ۰/۷۴* | ۱/۰۰ | ۰/۹۶** | ۰/۷۴* | ۰/۲۶ | ۰/۷۳* | ۰/۵۸ | -۰/۶۷* | -۰/۵۳ |
| عملکرد دانه | ۰/۹۴** | ۰/۶۸* | ۰/۸۰** | ۰/۸۸** | ۰/۸۸** | ۰/۹۵** | ۱/۰۰ | ۰/۸۹** | ۰/۳۷ | ۰/۵۸ | ۰/۴۵ | -۰/۵۴ | -۰/۴۲ |
| شاخص برداشت | ۰/۸۰** | ۰/۴۸ | ۰/۷۴* | ۰/۷۲* | ۰/۹۲** | ۰/۷۴* | ۰/۸۹** | ۱/۰۰ | ۰/۴۳ | ۰/۲۱ | ۰/۱۲ | -۰/۲۴ | -۰/۱۵ |
| وزن خشک کپسول | ۰/۶۷* | ۰/۶۵ | ۰/۷۶* | ۰/۵۹ | ۰/۸۲** | ۰/۷۸** | ۰/۸۰** | ۰/۶۹* | ۱/۰۰ | -۰/۱۶ | -۰/۲۵ | -۰/۱۷ | ۰/۴۵ |
| تاریخ گلدهی | ۰/۷۴* | ۰/۵۴ | ۰/۵۶ | ۰/۶۲ | ۰/۳۸ | ۰/۸۰** | ۰/۶۸* | ۰/۳۲ | ۰/۴۸ | ۱/۰۰ | ۰/۹۶** | -۰/۷۸** | -۰/۶۹ |
| تاریخ رسیدگی | ۰/۸۳** | ۰/۵۸ | ۰/۶۲ | ۰/۶۷* | ۰/۵۹ | ۰/۷۸** | ۰/۷۹** | ۰/۵۸ | ۰/۴۸ | ۰/۸۹** | ۱/۰۰ | -۰/۷۲* | -۰/۷۰* |
| درصد روغن | -۰/۳۶ | -۰/۴۰ | -۰/۳۳ | -۰/۲۶ | -۰/۰۷ | -۰/۴۸ | -۰/۳۴ | ۰/۰۱ | -۰/۳۲ | -۰/۷۸** | -۰/۶۱ | ۱/۰۰ | ۰/۵۷ |
| قطر ساقه | -۰/۴۶ | -۰/۳۳ | -۰/۴۴ | -۰/۳۰ | -۰/۰۷ | -۰/۵۷ | -۰/۳۷ | ۰/۰۴ | -۰/۳۸ | -۰/۸۸** | -۰/۶۲ | ۰/۸۵** | ۱/۰۰ |

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

**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)، تعداد کپسول در بوته (۰/۸۸)، 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 اجزای عملکرد، امکان افزایش عملکرد دانه وجود دارد که با نتایج مطالعات قبلی (۱،۸،۹،۲۶) همخوانی دارد.

**تجزیه خوشه‌ای**

به منظور گروه‌بندی اکوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای به روش 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 اجزای عملکرد بود در صورتی که گروه دوم بیشترین میزان را از لحاظ این صفات به خود اختصاص داد. در شرایط آبیاری کامل، میانگین روغن در گروه اول (۳۴/۰۸ درصد) از گروه دوم (۳۰/۱۶ درصد) به نسبت بیشتر بود.

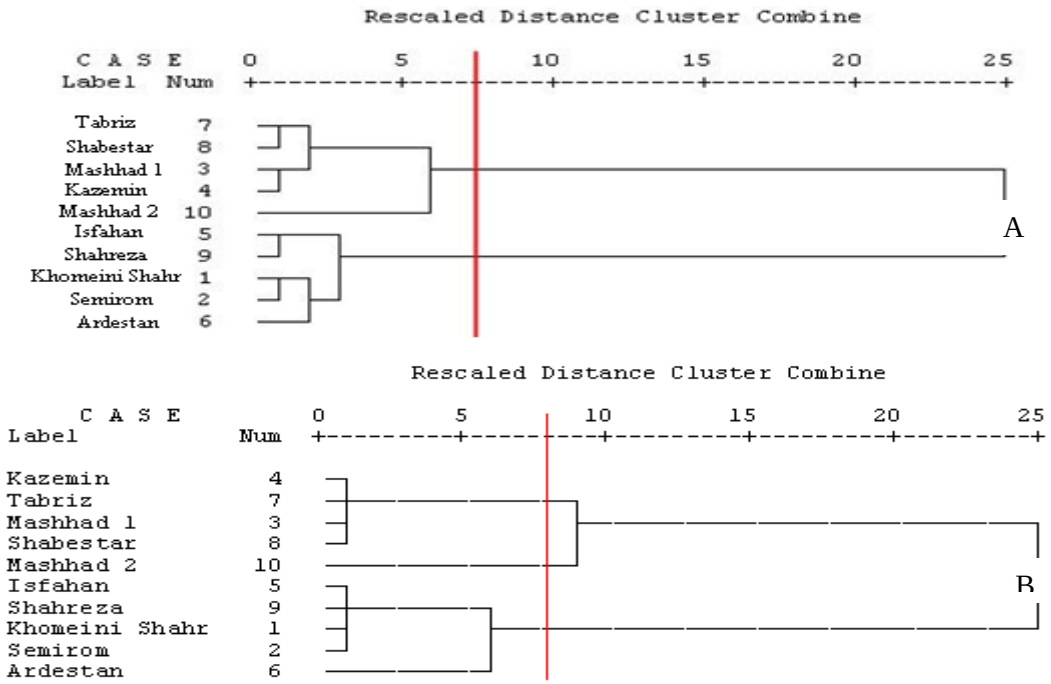
تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نیز، اکوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه مختلف قرار داد (شکل ۲). گروه اول شامل اکوتیپ‌های مشهد ۱، کاظمین، تبریز و شبستر، گروه دوم شامل تنها اکوتیپ مشهد ۲ و گروه سوم نیز شامل اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، اردستان و شهرضا بود. گروه سوم از عملکرد و اجزای عملکرد بالاتری نسبت به گروه اول و دوم برخوردار بود. فراوانی و همکاران (۸) نیز با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، 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 تنش**

مقایسه اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه با ترسیم نمودار سه بعدی بر اساس شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) و عملکرد در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) (شکل ۳) نشان داد که از لحاظ این شاخص‌ها اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، سمیرم، اصفهان، شهرضا و اردستان به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط محسوب می‌شوند. اکوتیپ‌های مشهد ۱، کاظمین، تبریز و شبستر، همچنین اکوتیپ مشهد ۲ به‌عنوان اکوتیپ‌های حساس به تنش 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 به‌علت دارا بودن عملکرد کمتر در هر دو شرایط به‌عنوان اکوتیپ با عملکرد پایین شناسایی گردید. گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای با نتایج حاصل از نمودارهای سه بعدی هم‌خوانی بالایی نشان داد.

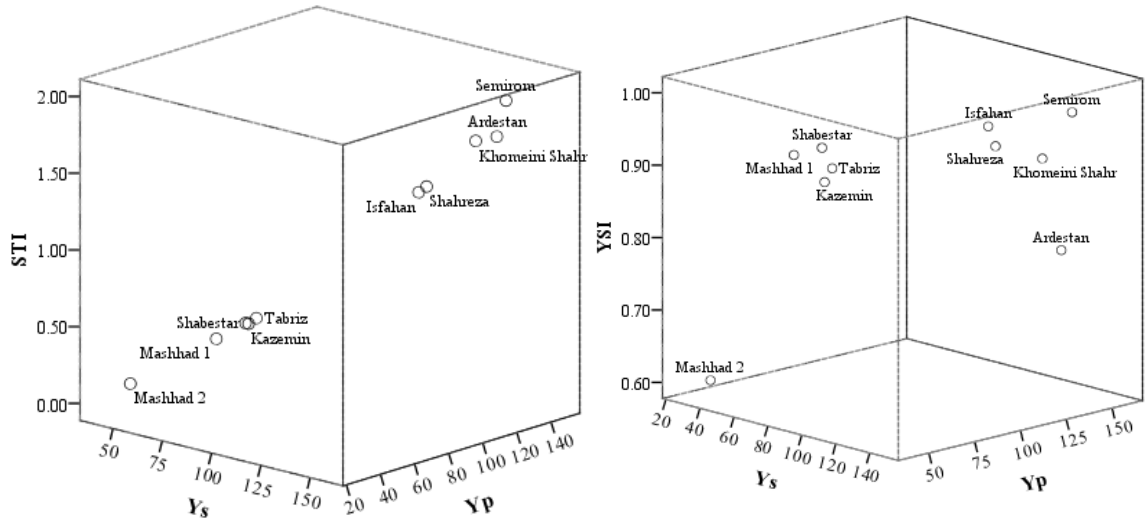
[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]




شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های 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 اکوتیپ‌های 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 انتهای 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

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

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 کپسول و کمترین کاهش مربوط به تعداد روز تا گلدهی بود. بیشترین و کمترین تعداد روز تا رسیدگی دانه‌ها به‌ترتیب در اکوتیپ‌های سمیرم و تبریز مشاهده گردید. از طرفی بر اساس نتایج مطالعه حاضر، تنش خشکی موجب کاهش عملکرد در بین برخی از 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)، اکوتیپ های 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 باعملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

## منابع


1. Akbarinia, A., M. Khosravifard, E. Sharifi Ashoorabadi and P. Babakhanlou. 2005. Effect of irrigaton 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. Ghamarnia, 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.


[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

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 Commnications, 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).

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]

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

**Hassan Sardari[1], Rasool Asghari Zakaria[2], Nasser Zare[3], Lila Ghafarzadeh Namazi[4] and Mina Moghaddaszadeh[5]**

1, 3 and 5- Graduted M.Sc. Student, Associate Professor and Graduted 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
Recived: 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 Semirom 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, Semirom, 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, Semirom, Isfahan, Shahreza and Ardestan are considered as superior ecotypes in both conditions.

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

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jcb.12.34.138 ]