نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۳ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۲۶-۲۱۳

مطالعه برخی صفات مرفوفیزیولوژیکی توده‌های بومی سیاهدانه تحت تنش کم‌آبی در شرایط آب و هوایی زنجان

فرشاد برخوری مهنی[۱]، عزیزاله خیری[۲*]، علی سلیمانی[۳]، محسن ثانی خانی[۱]، مسعود ارغوانی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/٤/۱۰
۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
۲-استادیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
۳-دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
*مسئول مکاتبه: Email: kheiry@znu.ac.ir

چکیده

اهداف: این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی ده توده بومی سیاهدانه در شرایط آب‌و هوایی زنجان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در تابستان ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل، دو سطح تنش ۷۰ درصدی و شاهد (بدون تنش) به‌عنوان عامل اصلی و ده توده بومی سیاه‌دانه شامل توده‌های جیرفت، شیراز، همدان، تهران، کرمان، کردستان، هرمزگان، شهرکرد، رشت و اراک به‌عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرارگرفت.

یافته‌ها: سطوح فراهمی آب اثر معنی‌داری بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده داشت. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار تعداد کپسول و عملکرد دانه گردید. وزن هزار دانه نیز در شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بالاترین درصد روغن در تیمار تنش کم‌آبیاری در توده شهر کرد به‌دست آمد همچنین بیشترین عملکرد دانه، تعدادکپسول، متعلق به توده بومی کردستان بود.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی بر اساس نتایج تنش کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه و درصد روغن شد اما درصد اسانس در تنش کم‌آبی افزایش یافت با این حال، ثابت شد که این تغییرات به ژنوتیپ بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، توده بومی، درصد روغن، عملکرد دانه، تعداد کپسول

Study of some Morphophysiological Characteristics in Endemic Population of *Nigella sativa* under Water Deficits Stress in Zanjan Climate Conditions

Farshad Barkhori Mehani[1], Azizollah Kheiry[2*], Ali Soleimani[3], Mohsen Sani Khani[1], Masoud Arghavani[1]

Received: January 11, 2021 Accepted: July 1, 2021
1-MSc. Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.
2-Asisst. Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.
3-Assoce. Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.
*Corresponding Author Email: kheiry@znu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to investigate the effects of drought stress on morphophysiological characteristics of ten native black seed stands in climatic conditions of Zanjan.

Materials and Methods: A split plot experiment based on completely randomized block with three replications was conducted in the field during the summer, 2018. Experimental treatments were Examined through the main factors including 70% stress and control (without stress) levels and sub factors including ten indigenous populations of black seed including Jiroft, Shiraz, Hamedan, Tehran, Kerman, Kordestan, Hormozgan, Shahrekord, Rasht and Arak.

Results: Examination of the traits showed a significant difference between the conditions of non-stress and low water stress, which caused the highest number of lateral branches in the absence of water stress. Drought stress significantly reduced the number of capsules and grain yield. The weight of one thousand grains did not show a significant difference in the conditions of non-stress and low water stress. The highest oil content was obtained in shahrekord under drought stress treatment. Also, the highest seed yield, number of capsules, belonged to Kordestan indigenous landrace.

Conclusion: In general, based on the results of drought stress, it decreased grain yield and oil percentage, but the percentage of essential oil in drought stress increased. However, it was proved that these changes depend on genotype.

Keywords: Drought Stress, Endemic Population, Oil Percentage, Grain Yield, Number of Capsules

مقدمه

سیاه‌دانه (*Nigella Sativa* L.) گیاهی دولپه، علفی، یک‌ساله به ارتفاع ۵۰-۲۰ سانتی‌متر با ریشه راست و ساقه راست و منشعب که متعلق به خانواده‌ی آلاله با نام انگلیسی Black Caraway می‌باشد (زرگری ۱۹۸۹). این گیاه یکی از محصولات مهم دارویی است که دانه‌های روغنی آن دارای خواص دارویی فراوانی می‌باشد (توکلی و همکاران ۲۰۱۷). تنش‌های زنده و غیرزنده همه ساله باعث کاهش شدید عملکرد گیاهان شده که در بین آن‌ها تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. این مساله در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی کافی وجود ندارد یک مشکل جدی است. تنوع ژنتیکی با افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها و سازش آن‌ها به

تغییرات زیست محیطی جدید در تعیین سرنوشت جمعیت گیاهی، حفظ و بقای گونه و اکوسیستم و تأمین رژیم غذایی بشر نقش دارد (شریف مقدسی ۲۰۱۱). دانه‌های روغنی این گیاه به‌عنوان بادشکن، قاعده‌آور، مسهل، شیرافزا، ضدیبوست و تقویت‌کننده‌ی نیروی جنسی در مردان کاربرد دارند (خوش‌بین ۲۰۰۹). توده‌های بومی به‌دلیل سازشی که در طی دورهٔ تکاملی خود در زیستگاه طبیعی‌شان کسب کرده‌اند، دارای ژن‌های مطلوبی نظیر ژن مقاومت به خشکی، شوری و مقاومت به آفات و بیماری‌ها شده‌اند (ردی و همکاران ۲۰۰٤) منابع ژنتیکی بومی متنوع در یک منطقه می‌توانند منبع بسیاری از ژن‌های مفید در جهت اصلاح گیاهان باشند که عمدتا در گیاهان بومی یک منطقه طی قرن‌های متمادی به‌وجود آمده و ذخیره گردیده‌اند (عینی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). جمعیت‌های وحشی جمع‌آوری شده از طبیعت و توده‌های موجود در بانک ژن و باغ‌های گیاهشناسی و ارقام اولیه بومی و نژادهای سرزمینی قدیمی از منابع تنوع ژنتیکی طبیعی می‌باشند (رضایی و همکاران ۲۰۱٦).

بزرگ‌ترین چالش پیش روی کشاورزی در دهه‌های اخیر و سال‌های آینده، افزایش تولید محصولات کشاورزی با آب کم‌تر به‌خصوص در کشورهایی با محدودیت منابع آب و زمین می‌باشد (دهقان و همکاران ۲۰۱۵). تنش عبارت است از یک فاکتور زنده و یا غیرزنده که از عمل طبیعی گیاه جلوگیری کرده و باعث کاهش رشد و عملکرد آن می‌شود (حامد ۲۰۰۹). خشک‌سالی یک اصطلاح هواشناسی است که معمولاً به عنوان یک دوره بدون بارندگی قابل توجه تعریف می‌شود و به‌طور کلی زمانی اتفاق می‌افتد که آب موجود در خاک به دلیل تعرق یا تبخیر کاهش می‌یابد (پاتنی و انصاری ۲۰۱۹). خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده ایجاد کننده خسارت در گیاهان و به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور محدودکننده رشد و تولید شناخته شده است (لادلو و همکاران ۱۹۹۰).

تنش خشکی روی فیزیولوژی، مورفولوژی، آناتومی و بسیاری دیگر از فرآیندهای متابولیکی گیاهان موثر می‌باشد و میزان این تاثیر به نوع گیاه، سن گیاه، مرحله نمو گیاه، وضعیت تغذیه‌ای خاک، روش آبیاری و شرایط اقلیمی بستگی دارد (آندرسون و جنسون ۱۹۹۲). خسارت وارده به عملکرد گیاهان ناشی از تنش کم آبی سبب کاهش طول دوره فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (فیشر و ماورر ۱۹۸۷). نتایج تحقیقات موجود حاکی از این است که صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بسیاری از گیاهان از جمله سیاه‌دانه به شدت تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار میگیرد. نوروزپور و رضوانی‌مقدم (۲۰۰٦) 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. کریم و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که بیشترین تغییر مقدار صفات سیاه‌دانه هنگامی رخ داد که بالاترین تعداد آبیاری (ده بار آبیاری در طول فصل رشد) مشاهده گردید. بنایان و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش تعداد کپسول در گیاه سیاهدانه می‌گردد و همچنین آن‌ها کاهش عملکرد دانه را ناشی از کم آبیاری در مرحله پس از ظهور غنچه دانسته‌اند. دوتا و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در گیاه کنجد افزایش دفعات آبیاری به‌طور معنی‌داری تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه، دانه در کپسول و کل ماده خشک گیاهی در متر مربع را افزایش داد. طباطبایی و همکاران (۲۰۱٤) در ارزیابی عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی در اکوتیپ‌های زیره سبز، اعلام کردند تنش خشکی در اوایل دوره زایشی به‌دلیل تأثیر بر تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه سبب کاهش عملکرد دانه شد. کاهش اسانس رازیانه (پوریوسف و همکاران ۲۰۱۲) و انیسون (حیدری و همکاران ۲۰۱۲) طی تنش خشکی

گزارش شده است. از آن‌جا که تحقیقات محدودی در مورد چگونگی واکنش توده‌های بومی سیاهدانه کشور به تنش‌های محیطی و مخصوصاً تنش خشکی صورت پذیرفته و در کل اطلاعات در این زمینه بسیار اندک است هدف اصلی پژوهش حاضر ارزیابی کارکرد توده‌های بومی سیاهدانه کشور تحت شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی و معرفی بهترین توده برای کشت در شرایط آب وهوایی زنجان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان سرد و تابستان ملایم تا نسبتاً گرم است که در عرض شمالی ٤١ درجه و ٣٦ دقیقه و طول شرقی ٢٩ درجه و ٤٨ دقیقه و ارتفاع ١٦٦٣ متر از سطح دریا اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تنش خشکی در دو سطح شامل تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد (بدون تنش) به عنوان عامل اصلی و ده توده سیاه‌دانه شامل توده‌های جیرفت، شیراز، همدان، تهران، کرمان، کردستان، بندرعباس، شهرکرد، رشت و اراک به‌عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرارگرفت. برای تعیین سطوح مختلف تنش کم‌آبی ابتدا همه‌ی ردیف‌های کاشت به یک اندازه آبیاری شدند. ٢٤ ساعت بعد از آبیاری اقدام به نمونه‌بردای خاک از عمق توسعه ریشه (۰-۳۰ سانتی‌متری) گردید. نمونه‌های برداشت شده توزین و جهت تعیین درصد رطوبت، به آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید. پس از مشخص شدن درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک به هنگام اعمال تیمارهای سطوح مختلف تنش مشخص گردید. برای تعیین میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی از رابطه ۱ استفاده شد. به منظور کنترل رطوبت خاک هر روز از عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری و پس از مشخص کردن میزان رطوبت موجود در خاک در صورت نیاز به آبیاری، اقدامات لازم انجام می‌گرفت. برای تیمار تنش کم‌آبی ۷۰ درصد آبیاری ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد.

(رابطه ۱) ۱۰۰× وزن خاک خشک /(وزن خاک خشک – وزن خاک تر)= درصد رطوبت در ظرفیت زراعی

هر کرت آزمایشی به طول پنج متر و عرض سه متر شامل ده ردیف با فاصله‌ی ٤٠ سانتی‌متر و دارای خاکی با بافت لومی رسی بود که بذور با فاصله‌ی ٥ سانتی‌متر به روی ردیف کشت گردید. نهایتا در مرحله ٤ برگی تنک گردیدند به‌طوری‌که فواصل ۲۰ سانتی‌متری بوته‌ها حفظ گردید. وجین و کنترل علف هرز نیز به صورت دستی صورت گرفت. ارزیابی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه در زمان رسیدگی کامل و پس از کسب اطمینان از رشد حداکثری بوته‌ها صورت گرفت. به منظور اندازه‌گیری صفات مرفولوژیکی، از هر کرت سه بوته به صورت تصادفی انتخاب و صفات تعداد کپسول، انشعاب جانبی در هر بوته، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک گیاه شامل میزان فنل و فلاونوئید کل دانه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی دانه، درصد روغن دانه و درصد اسانس دانه صورت گرفت.

جهت محاسبه تعداد کپسول و انشعاب جانبی در هر بوته، کپسول‌های هر بوته شمارش شدند. سپس میانگین کپسول سه بوته به عنوان تعداد کپسول در هررقم معرفی شد. انشعابات فرعی هر بوته نیز در حین شمارش تعداد کپسول محاسبه گردید. جهت شمارش بذر در هر کپسول، تعداد بذرهای هر کپسول مجزا شمارش و میانگین تعداد بذر در هر کپسول به کل کپسول‌ها تعمیم داده شد. وزن هزار دانه نیز محاسبه گردید. همچنین با توجه به تعداد بوته در هکتار و سرشماری تعداد کپسول

در هر بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه میزان عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه و برآورد گردید.

جهت برآورد محتوای فنل کل بذر بر اساس روش فولین سیوکالتو (هایونی و همکاران ۲۰۰۷) و محتوای فلاونوئید بر اساس روش رنگ سنجی آلومینیوم کلراید انجام شد (چنگ و همکاران ۲۰۰۲). برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذر از روش ارزیابی مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) و رابطه ۲ استفاده شد.

(رابطه ۲) (AC-AS/AC*100) =درصد مهار رادیکال آزاد

میزان جذب برای نمونه شاهد :Ac

میزان جذب نمونه گیاهی :As

جهت تعین درصد روغن، ابتدا ده گرم بذر سیاه‌دانه آسیاب شده و درون کاغذ صافی واتمن ریخته و پس از توزین درون کارتوش در دستگاه سوکسله قرار گرفت. استخراج روغن به روش جانسون و یوریچ (۱۹۵۹) با اندکی تغییر به کمک ۵۰ میلی‌لیتر حلال N-هگزان توسط دستگاه سوکسله به مدت ٤ ساعت و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. سپس کاغذ صافی محتوی نمونه را از درون کارتوش خارج نموده و به مدت ٢٤ ساعت درون آون با دمای ٥٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت کاغذ صافی محتوی نمونه توزین گردید. تفاضل وزن کاغذ صافی محتوی نمونه در ابتدا و انتهای آزمایش معرف درصد روغن بود. به منظور استخراج اسانس گیاه سیاه‌دانه از روش تقطیر با بخار آب دستگاه (کلونجر) استفاده شد مقدار ۳۰ گرم از بذور سیاهدانه پس از توزین، آسیاب و همراه ۲۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر درون بالن کلونجر ریخته و به مدت ۲ساعت اسانس‌گیری شد. پس از تعین درصد اسانس، عملکرد اسانس از حاصل ضرب درصد اسانس و عملکرد دانه محاسبه گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و تحلیل و میانگین داده‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥٪ مقایسه شد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر توده بومی و برهم‌کنش آن با رژیم آبیاری روی انشعابات جانبی در هر بوته، تعداد کپسول، ارتفاع ساقه، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول۱).

در برهم‌کنش تیمارها، بیشترین تعداد انشعاب جانبی با میانگین ٢٤ انشعاب، تعداد کپسول با میانگین ۲۲ کپسول در بوته، ارتفاع ساقه با میانگین ۲۵/۵۰ سانتی‌متر و عملکرد دانه با میانگین ۱۷۸۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار در توده بومی کردستان و عدم تنش آبی مشاهده شد که با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. توده بومی رشت تحت هر دو رژیم آبیاری در بین ده توده بومی حاضر در آزمایش وزن هزار دانه بالاتری (٦/٢٧ گرم در عدم تنش و ٦/٧٧ گرم در تنش کم‌آبیاری) را نشان داد (جدول ۲).

تنش کم‌آبیاری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه (از ۲۷/۳۷ سانتی‌متر در تیمار شاهد به ۲۵/۲۹ سانتی‌متر در کم‌آبیاری رسید) و عملکرد دانه (۱۰۰٦/۹۷ کیلوگرم در هکتار در شاهد و ۷۱۳/۲۸ کیلوگرم در هکتار در کم‌آبیاری) شد. توده بومی کردستان در این بین تعداد انشعابات جانبی (۲۱ انشعاب)، تعداد کپسول (۱۸/۳۱ عدد در بوته)، ارتفاع ساقه (۳۲/۸۳ سانتی‌متر) و عملکرد دانه (۱۵۳٦/۲۱ کیلوگرم در هکتار) بالاتری در مقایسه با سایر توده‌ها را نشان داد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر ده توده بومی مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاهدانه تحت رژیم‌های آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		تعداد انشعابات جانبی	تعداد کپسول	ارتفاع ساقه	عملکرد دانه کیلوگرم در هکتار	وزن هزار دانه گرم در بوته
اثر بلوک	۲	۱/۲۲ ns	۳/۰۵ns	۳/٦۲ ns	٥۷۲۷/۹٤ns	۰/۸٦۱ns
اثر آبیاری	۱	۱۸۳/۷٥*	۲۲۰/٤۲*	٦٤/٤۸**	۱۲۹۳۸٥٤/۲۳**	۰/٦۹۳ ns
خطای کرت اصلی (آبیاری*بلوک)	۲	۱/۹٥ ns	٤/۱۲ns	۰/۳۳ ns	٤۰۹۸/۹٦ns	۰/۱۸۳ns
اثر رقم	۹	٤٥/۸۹**	٤٦/٦۱**	۷۳/۰٤**	۳۸٥٥۷۸/۲۸**	۱/۸۲۳**
اثر آبیاری*رقم	۱۹	۳٦/۲۲**	۳۸/٦۱**	٤۹/٥٤ **	۲۷٥۰۷۲/۱۲**	۱/۲۷۸**
خطای باقیمانده	۳٦	۲/۲۱	۱/۹۹	۱۱/۸٤	۷٤۲٤/۹۸	۰/۳۰۹
ضریب تغییرات (%)	–	۱۰/٤۱	۱۲/۱۱	۱۳/۰۷	۱۰/۰۲	۱۰/٦۳۳

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد.

دراین تحقیق تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه فرعی شد که کاهش تعداد شاخه فرعی در شرایط کم آبی را شاید بتوان به عنوان یک مکانیسم سازگاری با شرایط کم آبی برای گیاه سیاهدانه در نظر گرفت، که گیاه از طریق آن تلاش می‌کند تا آب را برای مراحل بحرانی‌تر نمو نظیر مرحله گلدهی حفظ نماید (احمدیان و همکاران ۲۰۱۱). همچنین وقوع تنش خشکی، سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش توسعه رویشی در گیاه شده، در نتیجه آن، تعداد شاخه فرعی در گیاه کاهش می‌یابد (رحمانی و همکاران ۲۰۰۸). کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش فشار تورژسانس، درنتیجه کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول می‌باشد (کابوسلی و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب در تنش خشکی، کاهش مواد فتوسنتزی به ساقه را موجب می‌شود که این موضوع به قد کوتاهی گیاه می‌انجامد (کوچکی و نصیری محلاتی ۲۰۰۲). نوروزپور و رضوانی مقدم (۲۰۰٦) قبلاً کاهش معنی‌داری از اثر تنش خشکی بر ارتفاع سیاهدانه را گزارش کردند. نتایج بررسی اکرنا و همکاران (۲۰۱۲) اثر معنی‌دار تنش خشکی بر ارتفاع بوته ریحان را به اثبات رساند. در مطالعه‌ای، تعداد شاخه فرعی در گیاه دارویی گل بابونه تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافت (رزمجو و همکاران ۲۰۰۸). محققان کاهش تعداد انشعابات گیاه سیاهدانه تحت تأثیر تنش خشکی را عامل اصلی کاهش تعداد کپسول در بوته بیان نمودند (نوروزپور و رضوانی مقدم ۲۰۰۹). بررسی واکنش سیاهدانه به تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی با اثر منفی بر تعداد کپسول در بوته سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه این گیاه دارویی شد (رضایی چیانه و پیرزاد ۲۰۱٤). در شرایط تنش خشکی، کاهش تعداد کپسول در بوته سبب افت عملکرد دانه سیاهدانه می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (نوروزپور و رضوانی مقدم ۲۰۰۹). همچنین در تحقیقات حیدری و جهان تیغی روی سیاهدانه (۲۰۱٤) تنش خشکی با اثر منفی بر تعداد کپسول باعث کاهش این صفت شد. تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول تعیین کننده قدرت مخزن در سیاهدانه و اجزای اصلی عملکرد دانه هستند و تحقیقات نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی که فتوسنتز گیاه کاهش می یابد مواد پرورده کافی برای حفظ کپسول در بوته در دسترس نیست و این امر توجیه کننده کاهش تعداد کپسول در بوته است. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد دانه سیاهدانه مانند تعداد کپسول در بوته شد (رضایی چیانه و پیرزاد ۲۰۱٤) کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در گیاه

سیاهدانه (اوزر و همکاران ۲۰۲۰ بوش و همکاران ۲۰۲۰) و گیاه عدس (صالح‌پور و همکاران ۲۰۰۹) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد، تنش خشکی موجب کوتاه شدن طول دوره رشد، دوره موثر پرشدن دانه و نیز کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌شود و در نتیجه باعث افت وزن هزار دانه می‌گردد. کاهش رطوبت در مرحله گلدهی منجر به عقیم شدن و ریزش گل‌ها و عدم تکامل بذرها و در مرحله غلاف‌دهی و پر کردن دانه باعث چروکیده شدن دانه‌ها و در نهایت کاهش وزن دانه می‌شود. همچنین به‌دلیل اینکه، سیاهدانه گیاهی رشد محدود است، بنابراین افزایش تنش خشکی سبب افزایش گذر از مرحله رویشی به مرحله زایشی می‌شود، که این امر کمتر شدن وزن هزار دانه را به‌همراه خواهد داشت (مظفری و همکاران ۲۰۰۰).

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر ده توده بومی مختلف بر تعداد کپسول، تعداد دانه، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در گیاه سیاهدانه تحت رژیم‌های آبیاری

تیمار	تعداد انشعابات جانبی	تعداد کپسول عدد در بوته	ارتفاع ساقه (Cm)	عملکرد دانه ($Kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه (g)
برهمکنش رژیم آبیاری و توده بومی					
عدم تنش آبی× جیرفت	۱۹/٦۷^{b}	۱۷/٦۷^{b}	۲۷/۰۰^{bcdef}	۱۲۱٦/۵۰^{bc}	۵/۳۳^{bcdef}
عدم تنش آبی× کرمان	۱۲/۳۳^{ghi}	۱۰/۳۳^{efg}	۲۵/۱۷^{def}	۷٦۷/۲۱^{ghij}	۵/۸۵^{abcd}
عدم تنش آبی× تهران	۱۳/۰۰^{fgh}	۱۰/۰۰^{efgh}	۳۲/۱۷^{ab}	۸۵۹/۳۰^{efgh}	۵/۸۲^{abcd}
عدم تنش آبی× شیراز	۱۷/۳۳^{bcd}	۱٤/٦۷^{c}	۲٦/۵۰^{cdef}	۹٤۱/۰۷^{ef}	٤/۵۷^{fg}
عدم تنش آبی× هرمزگان	۱٦/٦۷^{cde}	۱٤/۳۳^{cd}	۳۱/۱۷^{abc}	۸۲۷/۷۵^{fgh}	٤/۳۲^{g}
عدم تنش آبی× کردستان	۲٤/۰۰^{a}	۲۲/۰۰^{a}	۳۵/۵۰^{a}	۱۷۸۰/۷۵^{a}	٦/۰۰^{abc}
عدم تنش آبی× شهرکرد	۱۳/۳۳^{fgh}	۱۰/٦۷^{efg}	۲۱/٦۷^{fg}	۸۲۲/٤۲^{fghi}	۵/۰۵^{cdefg}
عدم تنش آبی× اراک	۱۵/۰۰^{def}	۱۲/۳۳^{cde}	۲٤/۸۳^{def}	۷۹۳/۱۰^{ghij}	٤/۸٦^{efg}
عدم تنش آبی× رشت	۱٤/٦۷^{efg}	۱۲/۰۰^{def}	۲٤/۰۰^{efg}	۱۰۸۲/۲۵^{cd}	٦/۲۷^{ab}
عدم تنش آبی× همدان	۱٤/۳۳^{efg}	۱۱/٦۷^{ef}	۲۵/٦۷^{def}	۹۷۹/۳۵^{de}	۵/۲۸^{cdef}
تنش کم‌آبیاری× جیرفت	۱۳/۰۰^{fgh}	۱۰/٦۷^{efg}	۲٤/۳۳^{ef}	٦۷۸/۲۳^{jk}	۵/۰٤^{defg}
تنش کم‌آبیاری× کرمان	۱۰/۰۰^{ij}	۷/٦۷^{hi}	۲۲/۲۷^{fg}	٤۵٤/٦۷^{l}	٤/۵۷^{fg}
تنش کم‌آبیاری× تهران	۱۱/٦۷h^{ij}	۸/۳۳^{ghi}	۲۳/۵۰^{efg}	۵۸۵/۸۸^{kl}	۵/۱۲^{cdefg}
تنش کم‌آبیاری× شیراز	۹/٦۷^{j}	۷/۰۰^{i}	۲۳/۵۰^{efg}	۵۹۱/۰٦^{kl}	٤/۸۰^{efg}
تنش کم‌آبیاری× هرمزگان	۱۳/۳۳^{fgh}	۱۰/۳۳^{efg}	۳۱/۱۷^{abc}	٦۷٤/۷۹^{jk}	٤/٤۸^{fg}
تنش کم‌آبیاری× کردستان	۱۸/۰۰^{bc}	۱٤/٦۷^{c}	۳۰/۱۷^{abcd}	۱۲۷۱/٦۷^{b}	٤/۵٤^{fg}
تنش کم‌آبیاری× شهرکرد	۱٤/۰۰^{fgh}	۱۰/٦۷^{efg}	۲٦/۸۳^{bcdef}	۸۸٤/۷۲^{efg}	۵/۱٤^{cdefg}
تنش کم‌آبیاری× اراک	۱۳/۰۰^{fgh}	۱۰/۰۰^{efgh}	۲٤/۰۰^{efg}	٦۸۵/۰۸^{ijk}	۵/٦۱^{bcde}
تنش کم‌آبیاری× رشت	۱۲/۳۳^{ghi}	۹/٦۷^{fgh}	۱۸/۸۳^{g}	۷٤۳/۵۸^{hij}	٦/۷۷^{a}
تنش کم‌آبیاری× همدان	۱۰/۳۳^{ij}	۸/۳۳^{ghi}	۲۸/۳۳^{bcde}	۵٦۳/۰۸^{kl}	۵/۱۳^{cdefg}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با آزمون LSD با یک‌دیگر ندارند

صفات فیزیولوژیکی

برهم‌کنش رژیم آبیاری و توده بومی بر محتوای فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بذر، درصد اسانس و روغن بذر در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

اثر رژیم آبیاری بر محتوای فلاونوئید بذر در سطح یک درصد و توده بومی بر محتوای فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بذر، درصد روغن و اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۳ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۲۶-۲۱۳

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر ده توده بومی مختلف بر محتوای فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، درصد اسانس و روغن بذور در گیاه سیاهدانه تحت رژیم‌های آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		محتوای فنل بذر	محتوای فلاونوئید بذر	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بذر	درصد اسانس	درصد روغن
اثر بلوک	۲	۸/٦٥^{ns}	٤/۸۲*	٦/۱٤^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}	٦/٤۹٦*
اثر آبیاری	۱	٥۲۹/۸٥^{ns}	۳۱٥/۸۳*	٥۷۸/۷۷*	۰/۷۲۹**	٦۲۱/٤٦۰**
خطای کرت اصلی (آبیاری*بلوک)	۲	۳۱/۷۷^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۹/۹۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۱۹۰^{ns}
اثر رقم	۹	۱۷٥٦/۳۱**	۱۰۹/۸٤**	۸۹/۲۳**	۰/۳۲۷**	٥۱/۰۱۸**
اثر آبیاری*رقم	۱۹	۱۱٥٥/۸۰**	۱۲/٤٤**	۹٥/۲۷**	۰/۲۱۲**	۷٥/۱۰۷**
خطای باقیمانده	۳٦	٥۹/۹۳	۱/۸۰	٤/٦٥	۰/۰۰۸	۲/۱۸۱
ضریب تغییرات (%)	-	٦/۹۸	٦/۱۱	۸/٦٦	۱۳/۲٤	٥/۸٤۸

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد.

در شرایط عدم تنش آبی در توده بومی کرمان بیش‌ترین مقدار فنل در بذر (۱٥۰/٥۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش کم‌آبیاری× رشت نشان نداد ولی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ٤). نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری در توده بومی نشان داد که بالاترین میزان فلاونوئید بذر با میانگین ۳۰/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به توده بومی کرمان در تیمار تنش خشکی بود و کم‌ترین میزان نیز با میانگین ۱۲/۰٥ میلی-گرم بر گرم وزن تر مربوط به توده بومی تهران و در شرایط عدم تنش خشکی بود (جدول ٤).

بالاترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در توده بومی رشت و در شرایط تنش کم‌آبیاری با میانگین ۳٥/۳۷ درصد مشاهده شد که با همگی تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد و کمترین میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی در تیمار عدم تنش آبی× شهرکرد با میانگین ۱۲/۲۱ مشاهده شد که با همگی تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد. به‌طورکلی در پژوهش حاضر شرایط تنش کم‌آبیاری محتوای فنل و فلاونوئید بذر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بذور بیشتری در توده‌های بومی را نسبت به شرایط عدم تنش آبی موجب شد (جدول ٤). بیش‌ترین درصد اسانس در تیمار تنش کم‌آبیاری× توده کرمان (میانگین ۱/۱۸ درصد) مشاهده شد. کم‌ترین درصد اسانس در شرایط عدم تنش و در توده بومی کردستان با میانگین ۰/۱۹۷ درصد مشاهده شد (جدول ٤). رژیم آبیاری سبب افزایش درصد روغن شد. بالاترین درصد روغن در توده بومی شهرکرد (با میانگین۲۸/۸٥ درصد) به‌دست آمد. در شرایط رژیم کم‌آبیاری توده‌های بومی شهرکرد، کردستان و همدان درصد روغن مشابهی را نشان دادند. کم‌ترین درصد روغن نیز در توده‌های بومی اراک و رشت با اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها مشاهده شد (جدول ٤). در تنش خشکی به جز توده شیراز در بقیه توده‌ها افزایش میزان درصد اسانس را شاهد بودیم.

افزایش محتوای فلاونوئید در گیاهان تحت تنش خشکی به علت کاهش حمل و نقل قندهای محلول و در نتیجه، تجمع کربوهیدرات‌های محلول، نسبت داده می‌شود (ابراهیم و جعفر ۲۰۱۲). به‌علاوه این افزایش می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت فنیل‌آلانین‌آمونیاک‌لیاز در گیاهان تحت تنش خشکی باشد (اوه و همکاران ۲۰۰۹).

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۳ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۲۶-۲۱۳

جدول ۴- مقایسات میانگین اثر ده توده بومی مختلف بر محتوای فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، درصد اسانس و روغن بذور در گیاه سیاهدانه تحت رژیم‌های آبیاری

تیمار	محتوای فنل بذر ($mg.g\ FW^{-1}$)	محتوای فلاونوئید بذر ($mg.g\ FW^{-1}$)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بذر (٪)	درصد اسانس (٪)	درصد روغن (٪)
برهمکنش رژیم آبیاری و توده بومی					
عدم تنش آبی× جیرفت	۱۰۶/۱۷^{ef}	۲۳/۲۰$^{b-e}$	۲۵/۴۵^{de}	۰/۷۲۶^{def}	۲۴/۵۳^{de}
عدم تنش آبی× کرمان	۱۵۰/۵۰^{a}	۲۸/۷۹^{a}	۲۶/۳۲^{cd}	۰/۶۶۱^{efg}	۲۱/۶۳^{f}
عدم تنش آبی× تهران	۷۸/۱۷^{i}	۱۲/۰۵^{k}	۱۸/۳۶^{hi}	۰/۵۹۳^{fg}	۲۳/۸۳^{def}
عدم تنش آبی× شیراز	۸۲/۳۳^{hi}	۲۱/۲۶^{def}	۱۷/۲۹^{i}	۰/۵۳۹^{ghi}	۲۷/۷۳^{bc}
عدم تنش آبی× هرمزگان	۱۱۱/۸۳^{def}	۱۴/۵۵^{j}	۲۱/۸۲^{efgh}	۰/۴۴۰^{hi}	۲۴/۶۰^{de}
عدم تنش آبی× کردستان	۱۱۴/۰۰^{de}	۱۶/۰۸^{ij}	۲۱/۲۷^{fgh}	۰/۱۹۷^{j}	۲۳/۵۰^{ef}
عدم تنش آبی× شهرکرد	۱۱۶/۵۰^{cde}	۱۸/۵۰^{gh}	۱۲/۲۱^{j}	۱/۰۵۲^{ab}	۲۶/۰۷^{cd}
عدم تنش آبی× اراک	۹۲/۵۰^{gh}	۱۷/۵۷^{hi}	۲۳/۲۹^{def}	۰/۴۰۲^{i}	۱۲/۱۷^{g}
عدم تنش آبی× رشت	۱۱۵/۱۷^{de}	۲۴/۲۱^{bc}	۲۲/۲۲^{efg}	۰/۴۱۳^{i}	۱۳/۵۰^{g}
عدم تنش آبی× همدان	۱۱۲/۶۷^{def}	۲۰/۷۸^{efg}	۲۹/۵۶^{bc}	۰/۵۶۴^{gh}	۲۲/۷۷^{ef}
تنش کم‌آبیاری× جیرفت	۱۱۹/۰۰^{cd}	۲۴/۲۲^{bc}	۳۰/۳۲^{b}	۰/۹۱۴^{bc}	۲۶/۲۰^{cd}
تنش کم‌آبیاری× کرمان	۱۲۸/۸۳^{bc}	۳۰/۳۷^{a}	۳۰/۴۴^{b}	۱/۱۸۰^{a}	۲۷/۲۰^{c}
تنش کم‌آبیاری× تهران	۱۰۱/۳۳^{fg}	۱۸/۷۰^{gh}	۳۰/۱۱^{b}	۰/۸۴۷^{cd}	۲۷/۶۳^{bc}
تنش کم‌آبیاری× شیراز	۸۸/۸۳^{hi}	۲۳/۳۵^{bcd}	۳۰/۵۴^{b}	۰/۴۴۶^{hi}	۲۷/۴۰^{bc}
تنش کم‌آبیاری× هرمزگان	۱۲۲/۲۳^{cd}	۲۳/۵۸^{bcd}	۱۹/۴۹^{ghi}	۰/۷۵۰^{de}	۲۸/۰۳^{bc}
تنش کم‌آبیاری× کردستان	۱۱۳/۵۰^{def}	۲۲/۵۱^{cde}	۲۴/۷۶^{def}	۰/۴۲۵^{hi}	۳۱/۴۰^{a}
تنش کم‌آبیاری× شهرکرد	۷۹/۸۳^{i}	۲۵/۴۶^{b}	۲۳/۰۸^{defg}	۱/۱۴۹^{a}	۳۱/۶۳^{a}
تنش کم‌آبیاری× اراک	۱۱۱/۶۷^{def}	۱۹/۲۰^{fgh}	۲۶/۱۸^{cd}	۰/۷۱۰^{def}	۲۷/۸۰^{bc}
تنش کم‌آبیاری× رشت	۱۳۹/۲۰^{ab}	۳۰/۹۱^{a}	۳۵/۳۷^{a}	۰/۵۳۸^{ghi}	۲۷/۵۳^{bc}
تنش کم‌آبیاری× همدان	۱۳۴/۸۳^{b}	۲۴/۵۷^{bc}	۲۹/۶۲^{bc}	۰/۸۳۳^{cd}	۲۹/۸۷^{ab}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با آزمون LSD با یکدیگر ندارند

طبق تحقیقات پتروپولوس و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات فنلی مولکول‌هایی هستند که به عنوان مکانیسمی در برابر تنش خشکی عمل می‌کنند و تا حدی انرژی گیاه را برای رشد کاهش می‌دهند. بنابراین با این‌که افزایش مقدار این ترکیبات در تنش خشکی برای گیاه هزینه بر است و از رشد آن می‌کاهد، ولی‌به‌عنوان سدی دفاعی در برابر تنش‌های محیطی می‌تواند به گیاه کمک کند. در تعریف دیگر، ترکیبات فنلی متابولیت‌های غنی از کربن و به‌عنوان گروه بزرگی ازمتابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که جزء آنتی‌اکسیدان‌ها محسوب شده و در شرایط تنش‌های غیر زیستی در جاروب کردن رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارند (دایکو و همکاران ۲۰۰۵). افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بذر می‌تواند مرتبط با افزایش فلاونوئیدها در بذور توده‌های بومی مختلف در پژوهش حاضر باشد چرا که تعدادی از فلاونوئیدها سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شوند عالی‌نیان و همکاران (۲۰۱۶) برای افزایش محتوای فنلی و فلاونوئیدی گیاه سیاهدانه رژیم کم‌آبیاری را توصیه کرده است. بر اساس گزارش زرین‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹) بیش‌ترین متابولیت‌های ثانویه مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها در تنش ۶۰ درصدی در گیاه همیشه‌بهار به‌دست آمد.

درصد اسانس و درصد روغن

همان طور که گفته شد عموما تشکیل و تجمع متابولیت‌های ثانویه ازجمله اسانس تحت شرایط تنش خشکی جهت مبارزه با شرایط تنش و تولید بیشترمتابولیت‌ها در این شرایط جهت جلوگیری از اکسیداسیون تمایل به افزایش دارد (بنایان و همکاران ۲۰۰۸). گرچه تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی از جمله اسانس و روغن معمولاً وابسته به ژنوتیپ است، ولی بیوسنتز آن‌ها تحت تاثیر عوامل محیطی قرار گرفته و تغییر می‌کند (یزدانی و همکاران ۲۰۰۲). در این پژوهش با اعمال تنش خشکی محتوای اسانس سیاهدانه افزایش یافت که با نتایج حیدری و همکاران (۲۰۱۱) روی گیاه سیاهدانه، اصلانی و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه مریم گلی هم‌خوانی دارد. دانشیان و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند، در شرایط تنش خشکی با کوچک شدن اندازه دانه، روغن و پروتئین حجم بیشتری از فضای دانه را اشغال می‌کنند که این مسئله عامل اصلی افزایش درصد روغن دانه تحت تنش خشکی است. ولی از طرفی درصد روغن دانه در اثر اعمال تیمارهای مختلف آبیاری به دو دلیل با تغییرات جزئی همراه است: اول اینکه مقدار روغن دانه صفت کمی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و بنابراین احتمال صدمه به تمامی ژن‌های کنترل‌کننده این صفت بسیار کم است دوم این‌که درصد روغن، نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن دانه است که شامل پوست و فیبر نیز می‌شود. در شرایط اعمال تنش کل وزن دانه نیز کاهش می‌یابد و موجب می‌شود که درصد روغن دانه تغییر زیادی نداشته باشد (موسوی‌فر و همکاران ۲۰۰۹) گزارش‌هایی مبنی بر افزایش درصد روغن دانه تحت تاثیر تنش خشکی در گیاهان همیشه‌بهار (شوبهار و همکاران ۲۰۰٤)، خارمقدس (آقائی میبدی وهمکاران ۲۰۱٦) و کلزا (شاهسواری ۲۰۱۹) مشاهده شده است که بانتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی بر اساس نتایج، تنش کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه و درصد روغن شد اما درصد اسانس در تنش کم‌آبی افزایش یافت با این حال، ثابت شد که این تغییرات به ژنوتیپ بستگی دارد. توده بومی شهرکرد بهترین توده برای تولید روغن و اسانس شناخته شد. بیش‌ترین درصد اسانس در تیمار تنش کم‌آبیاری× کرمان، تنش کم‌آبیاری× شهرکرد و عدم تنش آبی× شهرکرد مشاهده شد. در نتایج به‌دست آمده افزایش معنی‌داری در میزان فلاونوئید و ظرفیت

آنتی‌اکسیدانی بذرهای گیاه سیاهدانه تحت دو رژیم آبیاری اعمال شده مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل ژنوتیپ و رژیم آبیاری بر روی صفات اندازه‌گیری شده ممکن است به‌عنوان راهنمای انتخاب رژیم‌های آبیاری مناسب و ژنوتیپ‌ها برای تولید متابولیت‌های مطلوب استفاده شود همچنین با توجه به منابع اخیر، اگر رژیم‌های آبیاری مناسب به‌کار گرفته شوند و گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی انتخاب شوند علی‌رغم کاهش احتمالی عملکرد آن‌ها در اثر کمبود آب، ممکن است سود اقتصادی بالاتری داشته باشند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری‌ها و مساعدت مسئولین محترم مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های گروه باغبانی دانشگاه زنجان در کشت و آنالیز توده‌های بومی سیاهدانه تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Aghaei Meybodi A, Shokrpour M and Azizian A. 2016. The effect of drought stress and plant density on the oil of the holy thistle medicinal plant (*Cnicus benedictus* L). The second international and the fifth notional conference of Medicinal Herbs and Stable Agriculture. Tehran, Iran.

Ahmadiyan A, Ghanbari A, Siyahsar B. 2011. The effect of drought stress and consumption of organic and mineral fertilizers and their residues on yield and yield components of *chamomilla Matricaria* L. Journal of Agricultural Ecology, 3(3): 383-395 (In Persian).

Alinian S, Razmjoo J, and Zeinali H. 2016. Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced in cumin (*Cuminum cyminum* L.) accessions under different irrigation regimes. Industrial Crops and Products, 81, 49-55.

Andersen MN, and Jensen R. 1992. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barly: Nutrient relation tissue water content and morphological developmet. Soil Science. 42: 45-56

Aslani Z, Hassani A, Abdollahi Mandoulakani B, Barin M and Maleki R. 2019. Effects of Inoculation with Plant Growth-Promoting Microorganisms on Herb Yield and Some Physiological and Phytochemical Parameters of Sage *(Salvia officinalis*) under Drought Stress Conditions. Proceedings of 11th Congress of Horticultural Sciences. Urmia, Iran. Pp.1-5

Bannayan MN, Najafi M, Azizi L, Tabrizi and Rastgoo M. 2008. Yield and seed quality of plantago ovata and Nigella sativa under different irrigation treatments. Indian Crop Production, 27: 11-16. (In Persian).

Bosh Z, Danesh SA, Ghobadinia M, and Saeedi K. 2020. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on some physiological traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress .Journal of Plant Ecophysiology (Arsanjan branch), 12(40): 239-249.

Cabuslay GS. Ito O, and Alejar AA. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science, 163(4): 815-827.

Chang CC. Yang MH. Wen HM, and Chern, JC. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of food and drug analysis, 10(3): 178-182.

Daneshian J, Hadi H and Jonoubi P. 2009. Study of quantitative and quality characteristics of soybean genotypes in deficit irrigation conditions. Iranian Journal of Crop Sciences. 11(4):393-409. (In Persian).

Dehghan H, Alizadeh, A Esmaeili, Kand Nemati, S H. 2015. Growth of root, yield and parameters of yield in tomato under drought stress, Journal of Water Research in Agriculture. 29(2): 169-179. (In Persian).

Dicko A, Mantel C, Kouriba B, Sagara I, Thera M A, Doumbia S, and Doumbo O K. 2005. Season, fever prevalence and pyrogenic threshold for malaria disease definition in an endemic area of Mali. Tropical Medicine & International Health, 10(6): 550-556.

Dutta D, Jana PK, Bandyopadhyay P, and Maity D. 2000. Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation. Indian Journal of Agronomy, 45(3): 613-616.

Ekrena S, Sonmez C, Ozcakal E, Kurttas YSK, Bayram E and Gurgulu H. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). Agricultural Water Management, 109: 155– 161.

Eynizadeh P, Dehghani H and Khodadadi M. 2019. Multi-purpose selection of some coriander cultivars (*Coriandrum sativum* L.) native to Iran for simultaneous improvement of traits in different moisture regimes. Journal of Environmental Stress in Crop Sciences, 12(1): 223-237. (In Persian).

Fischer RA and Maurer R. 1987. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.

Hamed BA. 2009. Effect of incorporation of data palm seeds with soil on the growth if parsley plant growing under drought stress. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 5(6): 733-739.

Hayouni EA, Abedrabba M, Bouix M, Hamdi M. 2007. The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of *Tunisian Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts, Food Chemistry, 105(3):1126-1134.

Heidari M and Jahantighi H. 2014. Evaluate effect of water stress and different amounts of nitrogen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 11(4): 640-647. (In Persian)

Heidari M Galavi M and Hassani M. 2011. Effect of sulfur and iron fertilizer on yield, yield components and nutrient uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. African journal of biotechnology, 10(44): 8816-8822.

Heidari N, Pouryousef M, Tavakoli A and Saba, J. 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28: 121-130. (In Persian).

Ibrahim MH and Jaafar HZ. 2012. Primary, secondary metabolites, H2O2, malondialdehyde and photosynthetic responses of *Orthosiphon stimaneus* Benth. to different irradiance levels. Molecules, 17(2), 1159-1176.

Johnson CM and Ulrich A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Bulletin of the California Agricultural Experiment Station. 766: 52-78.

Karim M, Himel RM, Ferdush J and Zakaria M. 2017. Effect of irrigation levels on yield performance of black cumin. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 2(2), 238754.

Khoshbin S. 2009. One hundred miracle plants. Publication of new world. (In Persian).

Koocheki A. and Nassiri Mahallati M. 1995. Relationship between water and soil in Crops. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 560p. (In Persian).

Ludlow MM and Much RC. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water- limited environ on mentis. Advances in Agronomy, 43: 107-153

Moosavifar BE, Behdani MA, Alahmadi MJ and Bojd MH. 2009. The effect of irrigation disruption in different reproductive growth stages on yield, yield components and oil content in three spring safflower cultivars. Journal of Agroecology, 1(1): 41-51.

Mozzafari F, Ghorbanli S, Babai M and Farzami A. 2000. The effect of water stress on the seed oil of (*Nigella sativa* L.). Journal of Essential Oil Research, 12: 36-38.

Noorooz poor G, and Rezvani Moghadam P. 2009. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of Black Cumin (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Field Crops Research, 3(2): 305-315. (In Persian).

Noruzpoor Gh and Rwzvanimoghaddam P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa*), Journal of Pajouhesh & Sazandegi, 73: 133-138. (In Persian).

Oh MM, Trick HN and Rajashekar CB. 2009. Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. Journal of plant physiology, 166(2), 180-191.

Ozer H, Coban F, Sahin U and Ors S. 2020. Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to deficit irrigation in a semi-arid region: Growth, yield, quality, and water productivity. Industrial Crops and Products, 144, 112048.

Patni B and Ansari S. 2019. Role of Exogenous Application of Salicylic Acid on Medicinal Plants under Drought Stress: A Review. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 15(4).

Petropoulos S, Daferera A, Polissiou D and Passam H C. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115(4): 393-397.

Pouryousef M, Tavakoli A, Maleki M and Barkhordari K. 2012. Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). In: National Congress on Medicinal Plants, 16- 17 May, Kish Island, pp. 315.

Rahmani N, Valadabadi SA, Daneshian J and Bigdeli M. 2008. The Effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of calendula officinalis. Iranian Journal of Medical and Aromatic, 24(1): 101-108. (In Persian)

Razmjoo K, Heydarizadeh P, and Sabzalian M R. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of Matricaria chamomilla. International Journal of Agriculture and Biology, 10(4): 451-454.

Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekanadan MV. 2004. Drught-induced responses of photosynthesis and Antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161: 1189-1202.

Rezaei Chiyaneh 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. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(3): 427-437. (In Persian).

Salehpour M, Ebadi A, Izadi M and Jamaati-e-Somarin S. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Sciences, 3(1): 103-109.

Shahsavari N. 2019. Effects of zeolite and zinc on quality of canola (*Brassica napus* L.) under late season drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(9): 1117-1122.

Sharif Moghaddasi M. 2011. Nigella sativa traditional usages (Black seed). Advances in Environmental Biology, 5(1): 5-1. (In Persian).

Shubhra K, Dayal J, Goswami C L and Munjal R. 2004. Effects of water-deficit on oil of Calendula aerial parts.Journal of Biologia Plantarum, 48(3): 445-8.

Tabatabai S, Mohammadinejad Gh and Yosefi Kh. 2014. Performance appraisal and drought tolerance indicators in Cuminum cyminum ecotypes. Journal of Water Research in Agriculture. 28(1): 163-170. (In Persian).

Tavakkoli A, Mahdian V, Razavi BM and Hosseinzadeh H. 2017. Review on clinical trials of black seed (*Nigella sativa*) and its active constituent, thymoquinone. Journal of Pharmacopuncture, 20(3), 179.

Yazdani D, Jamshidi H, and Mojab F. 2002. Compare of essential oil yield and menthol existent in Peppermint (*Mentha piperita* L.) planted in different origin of Iran. Journal of Medicinal Plants of Medicinal Plant Institute of Jahad Dedicinal plants. Publication of Tehran University. (In Persian).

Zarrinabadi IG, Razmjoo J, Mashhadi AA and Boroomand A. 2019. Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. Industrial Crops and Products, 139, 111488.