نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۱۹۳-۲۱۰
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.17288.2591

بررسی تأثیر شرایط مختلف رطوبتی بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک ریشه و اندام هوایی کنجد (*Sesamum indicum* L.)

میترا رمضانی[۱]، *سید کمال کاظمی‌تبار[۲]، حمید نجفی زرینی[۲] و علی پاکدین پاریزی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۲]گروه به‌نژادی و زیست فناوری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۳]پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: تنش آبی تأثیر زیادی بر عملکرد و کیفیت محصولات زراعی دارد. از سوی دیگر، افزایش جمعیت جهان و تغییرات اقلیمی بر اهمیت این مسأله افزوده است. کنجد (*Sesamum indicum* L.)، یکی از مهم‌ترین دانه روغنی است که در بسیاری از نقاط جهان کشت و تولید می‌شود. مطالعات دقیق و جامع در رابطه با واکنش گیاه کنجد به تنش آبی اندک می‌باشد. در پژوهش حاضر خصوصیات ریخت‌شناسی اندام هوایی و ریشه دو رقم حساس و متحمل کنجد نسبت به تنش آبی در سه سطح آبیاری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش دو رقم داراب ۱ (متحمل) و مغان (حساس) در لوله‌های PVC با ارتفاع ۱۰۰ و قطر ۳۰ سانتی‌متر کشت شدند و پس از استقرار کامل گیاهان، (۳۵ روزگی) تا مرحله رسیدگی، آبیاری در سه سطح ۱۰۰ درصد (شاهد)، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و هر تکرار شامل سه گیاه در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، تعداد کپسول‌ها، تعداد بذر در کپسول، قطر ساقه، طول و قطر کپسول، توده زیستی اندام هوایی، وزن صد دانه و هم‌چنین صفات ریشه‌ای شامل طول، قطر در قسمت زیر طوقه، حجم ریشه، وزن تر و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم برای تمام صفات مرتبط با اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بود. هم‌چنین کاهش آبیاری موجب کم شدن ارتفاع بوته، قطر و طول کپسول، تعداد کپسول، هم‌چنین وزن تر ساقه و وزن تر و خشک ریشه گردید. در رقم داراب ۱ قطر ریشه در آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد و ۲۵ ظرفیت زراعی، کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد و در آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در داراب ۱ حجم ریشه بالاتری نسبت به رقم مغان در تمام سطوح آبیاری مشاهده شد. طول ریشه در رقم داراب ۱ در سطوح آبیاری به‌میزان ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بیش‌ترین مقدار را داشت و در صفت سطح ریشه در آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز، رقم داراب بیش‌ترین مقدار را نشان داد. نتایج نشان داد که رقم داراب ۱ با سازگاری سیستم ریشه‌ای به شرایط تنش آبی قادر به تحمل شرایط کم‌آبی می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: sdklkr@ymail.com

نتیجه‌گیری: در این آزمایش مشخص شد که رقم داراب ۱ که بر اساس نتایج پژوهش قبلی انجام شده در همین راستا و نتایج این آزمایش به‌عنوان رقمی متحمل در برابر تنش آبی ارزیابی شده بود، دارای سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته‌تری نسبت به رقم مغان (که حساس در برابر تنش آبی ارزیابی شد) می‌باشد. بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش، ویژگی‌های مربوط به ریشه کنجد به‌عنوان معیار گزینشی مناسبی در برنامه‌های اصلاحی و به‌نژادی کنجد مطرح می‌شود. هم‌چنین رقم داراب ۱ به‌عنوان رقمی متحمل در برابر کم‌آبی برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی مانند هیبریداسیون جهت بهبود خصوصیات ریشه و توسعه ارقام متحمل نسبت به تنش آبی معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های غیر زیستی، خشکی، سیستم ریشه‌ای، صفات ریخت‌شناسی

مقدمه

تنش آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تأثیر چشم‌گیری بر تولید و کیفیت محصولات زراعی دارد و افزایش جمعیت جهان و تغییرات سراسری اقلیم بر اهمیت این مسأله افزوده است (۱۳). به‌طور مثال حدود ۲۵، ۲۸ و ۹ درصد کاهش محصول به‌ترتیب در آفریقا، آسیا و امریکای لاتین بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ به‌دلیل تنش آبی رخ داده است (۱۳). هم‌چنین ایران در کمربند بیابانی جهان قرار دارد و به‌عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک منظور می‌شود. متوسط بارندگی در کشور در حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان یک سوم متوسط بارندگی در جهان است در حالی‌که ۱/۲ درصد از خشکی‌های جهان را به خود اختصاص داده است (۲۱). افزایش مقاومت در برابر تنش آبی، اقتصادی‌ترین راهکار در راستای حاصلخیزی و کاهش استفاده از آب شیرین در کشاورزی می‌باشد (۲). بنابراین درک بهتر از واکنش گیاه نسبت به تغییرات شرایط اقلیمی به‌ویژه طی تنش آبی در راستای ایجاد راهبردهای جدید مدیریت محصول، ضروری است. قابلیت پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات در پاسخ به دوره‌های تنش آبی در انتخاب محصولات مناسب برای کشت در چنین دوره‌هایی، موجب اطمینان از امنیت غذایی در سطوح محلی و جهانی می‌شود. بسیاری از کشورها جهت حفظ تأمین غذا در آینده، استفاده از ارقام متحمل به تنش آبی گیاهان زراعی را در پیش گرفته‌اند. واکنش بسیاری از محصولات مهم اقتصادی مانند برنج، گندم، سویا، جو و ذرت در برابر تنش آبی به‌میزان گسترده‌ای بررسی شده است در حالی‌که واکنش برخی دیگر از محصولات با اهمیت اقتصادی مانند کنجد نیاز به مطالعات جامع‌تری دارد (۳۸). کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L.، متعلق به خانواده Pedaliacea و یکی از محصولات دانه روغنی مهم از لحاظ اقتصادی است که به‌صورت وسیع در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود (۲۳). در سال ۲۰۱۷ سطح زیر کشت کنجد در دنیا و ایران به‌ترتیب ۹۹۸۳۱٦۵ و ٤۲۰۰۰ هکتار و میزان تولید این محصول زراعی ۵۵۳۱۹٤۸ و ۲۹۰۰۰ تن بود (۱۳). در بیش‌تر کشورهای جهان، کنجد به‌دلیل میزان بالای روغن، پروتئین و آنتی‌اکسیدان‌ها به‌میزان گسترده‌ای در انواع غذاها، داروها و صنعت استفاده می‌شود (۲۳). کنجد نسبت به بسیاری از عوامل محیطی مانند دمای پایین یا بالا، شوری و فلزات سنگین حساس می‌باشد (۵). این گیاه در مراحل مختلف رشد و نمو مثل جوانه‌زنی (۳)، گیاهچه‌ای (۳) و اواخر مراحل رشد و نمو (۳، ٦ و ٤۰) به تنش آبی حساس است. با این‌حال گزارش‌هایی مبنی بر مقاوم بودن کنجد در برابر تنش آبی نیز وجود دارد (١٤). اگرچه پژوهش‌ها

نشان داده است که اثرات تنش آبی و واکنش در برابر تنش آبی با توجه به رقم متفاوت است (۳ و ۸). بهرامی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که واکنش گیاهچه‌های کنجد در برابر تنش آبی و شوری بسته به رقم، متفاوت است (۳). هر چند کنجد به‌عنوان گیاه نسبتاً مقاوم در برابر تنش آبی مطرح است، حاصلخیزی و عملکرد آن تحت‌تأثیر تنش آبی، به‌طور چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند (۱۲).

اندام هوایی و ریشه از جهات مختلفی با هم در ارتباط هستند و تغییر در رشد یکی از آن‌ها منجر به تغییر در دیگری خواهد شد (۱). ریشه‌های طویل‌تر توانایی جذب بالای آب از لایه‌های زیرین خاک را داشته و به‌عنوان شاخصی برای مقاومت به تنش آبی در نظر گرفته می‌شوند. کولکارنی و اسواتی (۲۰۰۹)، طول ریشه را به‌عنوان شاخصی جهت تعیین توانایی گیاهان در جذب آب از لایه‌های زیرین خاک معرفی کردند (۲۵). گزارش‌های مختلف نشان داده که ارقام مقاوم به تنش آبی گندم ریشه‌های بیش‌تری در قسمت‌های عمیق خاک دارند (۲۸). بنابراین آگاهی از سیستم توزیع ریشه و بررسی خصوصیات ریشه شامل طول، حجم، وزن تر و خشک ریشه نقش مهمی در شناسایی و تعیین رقم‌های برتر در شرایط تنش آبی دارد. علی‌رغم ارتباط مستقیم ریشه با خاک شور یا خشک، میزان رشد این اندام تحت‌تأثیر چنین تنش‌هایی به اندازه اندام هوایی کاهش نمی‌یابد (۲۹). به‌طورکلی اندازه، ریخت‌شناسی و ساختار سیستم ریشه‌ای، قابلیت گیاهان در جذب آب و مواد غذایی را تعیین کرده و میزان رشد نسبی اندام هوایی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (٤٢). مطالعات دقیق در رابطه با واکنش گیاه کنجد به تنش آبی اندک بوده و گزارش‌های اندکی در اغلب کشورهای تولیدکننده کنجد از جمله ایران وجود دارد.

بنابراین این پژوهش با هدف بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه در دو رقم حساس و متحمل کنجد نسبت به تنش آبی انجام شد تا در صورت وجود اختلاف بین سیستم ریشه‌ای در ارقام، از خصوصیات ریشه‌ای در به‌نژادی ارقام کنجد استفاده گردد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش: این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ در محوطه گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گردید.

مواد گیاهی: در سال اول (۱۳۹۵) تعداد یازده رقم کنجد از مرکز تحقیقات و اصلاح نهال و بذر کرج تهیه گردید. از آن‌جا که اطلاعات جامع و قابل اطمینانی به تحمل و حساسیت ارقام موجود نسبت به تنش آبی در دسترس نبود، آزمایش جوانه‌زنی در ژرمیناتور در چهار سطح تنش توسط پلی‌اتیلن گلیکول انجام شد و هم‌زمان بررسی عملکرد و خصوصیات زراعی در گلخانه تحت آبیاری شامل سه سطح شاهد، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی انجام شد و با توجه به نتایج مربوط به دو آزمایش انجام شده دو رقم مغان و داراب ۱ به‌ترتیب به‌عنوان ارقام حساس و متحمل برای آزمایش ویژگی‌های مربوط به ساختار ریشه و بررسی بیان برخی از ژن‌های مرتبط با تنش آبی در نظر گرفته شدند.

بذرها قبل از کشت توسط قارچ‌کش بنومیل با نسبت یک در هزار ضدعفونی شدند. برای کشت بذرها از لوله‌های PVC با طول یک متر و قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای خروج آسان ریشه از لوله‌ها، نایلون‌های متناسب با ابعاد لوله‌ها در داخل آن‌ها قرار داده شد و جهت خروج آب اضافی انتهای نایلون‌ها سوراخ‌هایی ایجاد شد. به ارتفاع ۷-۵ سانتی‌متر سنگریزه و ۳۳ کیلوگرم خاک لومی رسی با

pH=۷/۵ و وزن مخصوص ظاهری ۱/۳۵ در هر لوله ریخته شد.

ظرفیت زراعی خاک (بر اساس تفاوت جرم خاک خشک و همان مقدار خاک ٢٤ ساعت بعد از حالت اشباع) محاسبه و سپس با مقادیر دستگاه رطوبت‌سنج TDR[1] (مدل Pro check, decagon devices ساخت کشور آمریکا) مقایسه گردید. از آن‌جا که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین آن‌ها مشاهده نشد، در طول دوره رشد، رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR تعیین شد (۹ و ۳٦).

اعمال تنش آبی: تیمارهای در نظر گرفته شده بر اساس درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی بودند. جهت رسیدن به سطوح مورد نظر تنش آبی، شامل ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، از روش عدم از آبیاری استفاده شد. بدین‌صورت که لوله‌ها بعد از آبیاری و رسیدن مقدار رطوبت خاک به سطح ظرفیت زراعی، دیگر آبیاری نشدند. سپس، میزان رطوبت خاک به‌صورت روزانه اندازه‌گیری‌شد و پس از رسیدن به سطح رطوبتی تیمار مورد نظر، میزان آب لازم برای رسیدن رطوبت خاک لوله به سطح رطوبتی موردنظر از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$V=PZA\,(FC-PWP)/100 \qquad (۱)$$

که در آن، V حجم آب آبیاری، P وزن مخصوص خاک، Z عمق توسعه ریشه، A مساحت واحد آزمایشی و PWP رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دایم تعریف می‌شود (۳۹).

اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی: حدود ۱۲۰ روز بعد از کاشت، پس از رسیدگی کامل بوته‌ها (قهوه‌ای شدن دو سوم کپسول‌ها)، صفات مربوط به اندام هوایی شامل ارتفاع گیاه از سطح خاک تا انتهای بوته تعداد کپسول‌ها و قطر ساقه در ارتفاع ۵ سانتی‌متری از سطح خاک، هم‌چنین طول کپسول و قطر کپسول‌ها در قسمت میانی کپسول توسط کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شدند. توده زیستی اندام هوایی با بریدن بوته‌ها از سطح خاک و توزین آن‌ها به‌دست آمد و پس از خارج کردن نایلون‌ها از داخل لوله‌ها صفات مربوط به ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. طول ریشه از قسمت زیر طوقه تا انتها اندازه‌گیری شده و قطر ریشه در قسمت زیر طوقه توسط کولیس تعیین شد. حجم ریشه از طریق غوطه‌ور ساختن ریشه در آب مقطر در استوانه مدرج به‌دست آمد. به این ترتیب که اختلاف حجم آب اولیه و پس از غوطه‌ور ساختن ریشه، نشان‌دهنده حجم ریشه بود. برای محاسبه وزن خشک ریشه، بعد از اندازه‌گیری وزن تر، ریشه‌ها به‌مدت ٤٨ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. سطح ریشه‌ها با استفاده از روش اتکینسون[2] از رابطه زیر محاسبه شد:

(۲)

۰/۵ (طول ریشه (سانتی‌متر) × ۳/۱٤ × حجم ریشه (سانتی‌مترمکعب) × ۲) = سطح ریشه (سانتی‌متر مربع)

برای محاسبه عملکرد، وزن صد دانه با ترازوی دیجیتالی و تعداد بذر در کپسول به‌صورت شمارش چشمی اندازه‌گیری و ثبت شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری: کشت به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و سه گیاه در هر تکرار انجام گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار SAS و با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

1- Time Domain Reflectory

2- Atkinson

نتایج و بحث

در این آزمایش در شرایط آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، صفات ارتفاع بوته، قطر کپسول و تعداد کپسول در رقم مغان میانگین بالاتری را نشان دادند، بر اساس جدول تجزیه واریانس ۱، اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفات مربوط به اندام هوایی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر کپسول، طول کپسول، تعداد بذر در کپسول، تعداد کپسول، وزن صد دانه و وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

جدول ۱- آنالیز تجزیه واریانس برای صفات مربوط به اندام هوایی دو رقم کنجد مغان و داراب ۱ در سطوح مختلف آبیاری.

Table1. Analysis of variation for traits related to shoot of two sesame cultivars Moghan and Darab 1 at different irrigation levels.

منابع تغییرات Sources of Variations	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Means of square							
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	قطر کپسول Capsule diameter	طول کپسول Capsule length	تعداد بذر در کپسول Seed number per capsule	تعداد کپسول Capsule number	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100 seeds	وزن تر اندام هوایی Fresh weight of stem
آبیاری Irrigation	2	3522.6**	6.15**	2.9**	1.65**	260.72**	769.5**	0.006**	95905.05**
رقم Genotype	1	234.7*	0.1ns	0.02ns	0.0005ns	896.06**	84.5ns	0.001*	13612.5**
آبیاری * رقم Irrigation * Genotype	5	1560.3**	3.01**	1.39**	0.69**	331.26**	265.96**	0.002**	41161.1**
خطا Error	17	40.46	0.44	1.19	3.58	27.34	19.64	0.0001	94.26
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.42	8.01	5.76	7.65	8.92	14.85	4.41	5.23

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

ns, * and ** non-significant, significant at 5 and 1% level, respectively.

بر طبق جدول ۲، رقم مغان بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته را در شرایط بدون تنش (شاهد با میانگین ۱۵۱/۵ سانتی‌متر) نشان داد. در آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز ارتفاع بوته مغان (۱۱۸/۶۷ سانتی‌متر) بیش‌تر بود اما با افزایش شدت تنش، تحت آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی رقم داراب ۱ به‌صورت معنی‌داری ارتفاع بیش‌تری (۱۰۰/۶۷ سانتی‌متر) را نسبت به مغان در همان شرایط آبیاری (۹۲/۶۷ سانتی‌متر) نشان داده و تفاوت معنی‌داری با رقم داراب ۱ تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت. در پاسخ به تنش آبی بین ارقام کنجد تنوع بالایی از نظر تحمل و حساست به آبیاری گزارش شده است (۷). اثر متقابل معنی‌دار بین رقم و آبیاری می‌تواند در گزینش ارقام مناسب جهت کشت در مناطق آب و هوایی مختلف مورد استفاده قرار گیرد. هانگ و همکاران (۱۹۸۵) نیز تنش آبی طی دوره رویشی را عامل اصلی در کاهش عملکرد و ارتفاع گیاه کنجد ارزیابی کردند (۲۲).

همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، در شرایط بدون تنش (شاهد) دو رقم مورد بررسی از

لحاظ صفت قطر ساقه تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. هم‌چنین داراب ۱ در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت در حالی‌که با کاهش میزان آبیاری تا حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، کم‌ترین میزان قطر ساقه در رقم مغان با میانگین ۷/۰٦ میلی‌متر، مشاهده شد. نتایج آزمایش‌های سبیل و همکاران (۲۰۱٤) نیز نشان داد که تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر قطر ساقه‌های ذرت داشت (۳۵).

با توجه به جدول ۲، رقم مغان در تیمار شاهد با میانگین ۸/۵٦ میلی‌متر بیش‌ترین قطر کپسول را داشت و در سایر سطوح آبیاری دو رقم مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. هم‌چنین در رابطه با صفت طول کپسول، دو رقم در هیچ‌یک از سطوح آبیاری اختلاف معنی‌داری نشان ندادند در حالی‌که داش و همکاران (۲) تنوع ژنتیکی بالای را برای قطر و طول کپسول در ارقام مختلف کنجد گزارش کردند (۱۱). اوگبونا و اوکان (۲۰۱۲) نیز اختلاف معنی‌دار بین ارقام مختلف کنجد برای صفات عرض و طول کپسول گزارش کردند (۳۱).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن تر ساقه در رقم داراب ۱ در شاهد با میانگین ۳٦۰ گرم در هر گیاه مشاهده شد. در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی رقم داراب ۱ با میانگین ۱۵۱/٦۷ گرم در هر گیاه بالاترین میزان وزن تر را پس از اعمال تنش آبی نشان داد. هم‌چنین تحت آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی داراب ۱ به‌طور معنی‌داری وزن تر ساقه (۱۲۷ گرم در هر گیاه) بالاتری را نسبت به مغان در همان شرایط آبیاری که دارای کم‌ترین مقدار وزن تر ساقه (٦۸/٦۷ گرم در هر گیاه) بود نشان داد (جدول ۲). اثر متقابل بین رژیم‌های آبیاری و رقم‌های کنجد در رابطه با صفات ارتفاع گیاه و وزن اندام هوایی در پژوهش کاساب و همکاران (۲۰۱۱) معنی‌دار ارزیابی شد به‌طوری‌که بالاترین مقادیر برای صفات ذکر شده در آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و بعد از آن در آبیاری به‌میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد و کم‌ترین مقادیر صفات رشدی در آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد (۲٤).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مربوط به اندام هوایی دو رقم کنجد مغان و داراب ۱ در سطوح مختلف آبیاری.

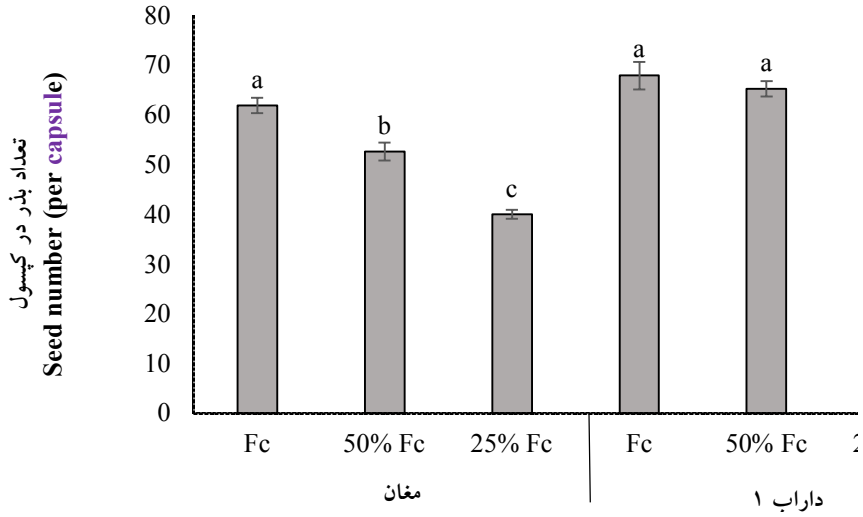
Table 2. Means comparison of morphological traits of shoot of two sesame cultivars and Darab 1 at different levels of irrigation.

مقایسه میانگین‌ها Means comparison						
تیمارها Treatments		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	قطر کپسول (میلی‌متر)	طول کپسول (میلی‌متر)	وزن تر ساقه (گرم در هر گیاه)
رقم Genotype	آبیاری (FC) Irrigation	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Capsule diameter (mm)	Length Capsule (mm)	Fresh weight of stem (gr)
مغان Moghan	%100	151.5^{a}	9.63^{c}	8.56^{a}	3.06^{a}	300.67^{b}
	%50	118.67^{c}	7.06^{d}	7.63^{bc}	2.53^{b}	104.33^{e}
	%25	92.67^{e}	7.56^{cd}	6.56^{d}	1.83^{c}	68.67^{f}
داراب ۱ Darab1	%100	136.5^{e}	9.33^{ab}	7.83^{b}	2.8^{ab}	260^{a}
	%50	104^{d}	8.33^{bc}	7.65^{bc}	2.66^{b}	151.67^{c}
	%25	100.67^{d}	7.95^{cd}	7.06^{cd}	1.96^{c}	127^{d}

ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test.

با توجه به شکل ۱، در سطح بدون تنش (آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) رقم مغان و داراب ۱ تفاوت معنی‌داری را در صفت تعداد دانه در کپسول نشان ندادند در حالی‌که با افزایش سطح تنش و آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در رقم مغان کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داده شد و هم‌چنین در آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کاهش تعداد دانه در کپسول در رقم مغان معنی‌دار بود در حالی‌که در رقم داراب ۱ کاهش چشم‌گیری در هیچ‌یک از سطوح آبیاری ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نگردید. حیدری و همکاران (۲۰۱۱) و گلستانی و پاک‌نیت (۲۰۰۷) نیز کاهش عملکرد دانه و اجزای آن را با افزایش سطوح کم‌آبی در کنجد گزارش کرده بودند (۱۶ و ۲۰). می‌توان نتیجه گرفت یکی از دلایل اصلی که کاهش عملکرد در ارقام حساس به تنش آبی در شرایط کم‌آبی، کاهش تعداد بذر در کپسول می‌باشد. در این پژوهش در رقم مغان، تعداد دانه در کپسول نسبت به تنش آبی بسیار حساس بود. پاسبان اسلام (۲۰۱۱)، گزارش کردند که در شرایط آبیاری کافی و تنش آبی تعداد بذر در کپسول و وزن بذر بیش‌ترین اثر مثبت را بر عملکرد دانه در گیاه گلرنگ داشت (۳۲).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف آبیاری بر صفت تعداد بذر در کپسول.

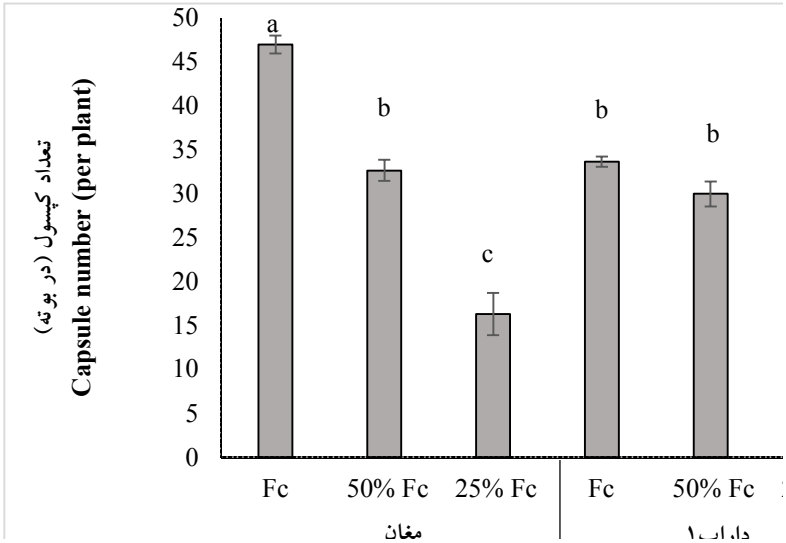
ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 1. Means comparison interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of seed number per capsule.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

با توجه به شکل ۲، رقم مغان در شرایط بدون تنش (شاهد) بیش‌ترین تعداد کپسول را با میانگین ٤٧ عدد در بوته داشت و ارقام مغان و داراب ۱، در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در هر دو رقم مورد بررسی با افزایش سطح تنش، تعداد کپسول کاهش معنی‌داری را نشان داد. نیلانتی و همکاران (۲۰۱۵)، گزارش کردند که تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی کنجد و ارتفاع گیاه دارد. این پژوهشگران نشان دادند که ارقام

حساس کنجد در برابر خشکی کاهش عملکرد داشته و برای تعداد کپسول در بوته کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را در شرایط کم‌آبی ارزیابی نمودند (۳۰). حسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که تعداد کپسول در گیاه کنجد تحت‌تاثیر رقم و رژیم‌های آبیاری تغییر می‌کند (۱۹).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف آبیاری بر صفت تعداد کپسول.

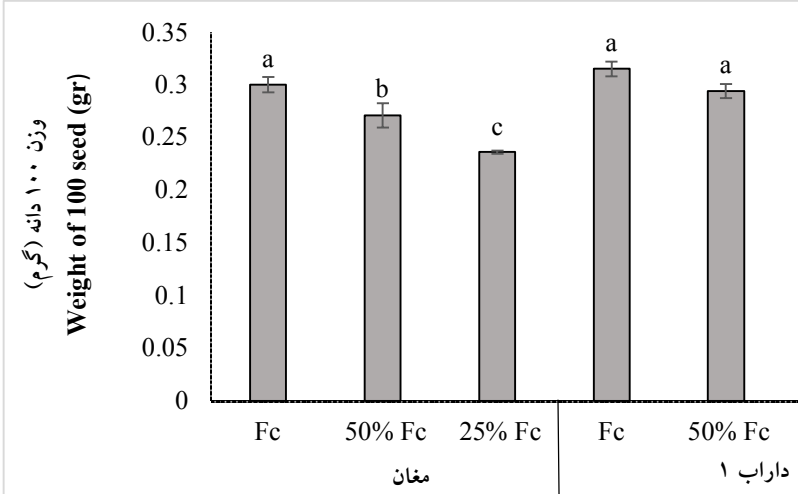
ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 2. Means comparison interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of capsule length.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

در شرایط بدون تنش (شاهد)، دو رقم مورد بررسی اختلاف معنی‌دار را از لحاظ وزن صد دانه نشان ندادند، هم‌چنین رقم داراب ۱ تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۰/۲۹ گرم اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد، در حالی‌که در رقم مغان پس از اعمال تنش به‌وسیله آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، کاهش معنی‌داری در وزن صد دانه ملاحظه شد. در سطح آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی دو رقم اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). گزارش‌های کوان و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد تنش آبی منجر به کاهش چشم‌گیری در عملکرد دانه ارقام کنجد شده که نشان‌دهنده تأثیر تنش آبی بر مرحله بعد از گلدهی می‌باشد (۲٦). نتایج آزمایش‌های یوکان و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان می‌دهد که تغییر میزان آبیاری اثر معنی‌داری بر وزن دانه‌های کنجد داشته و ارقام مختلف تنوع معنی‌داری را در رابطه با عملکرد نشان می‌دهند (٤۱). در شرایط بدون تنش، رقم مغان تعداد کپسول بیش‌تری داشت. با این وجود در شرایط تنش آبی اختلاف معنی‌داری با رقم داراب ۱ نشان نداد. رقم داراب ۱ با تغییر شرایط آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش معنی‌داری در وزن دانه نشان نداد. از طرفی وزن صد دانه در

شرایط تنش آبی با آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مقدار بیش‌تری نسبت به رقم مغان نشان داد. به‌نظر می‌رسد گیاه در انتهای دوره رویشی انرژی بیش‌تری را صرف افزایش وزن دانه کرده است. اما در تنش شدید (آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) مجدداً اختلاف وزن صد دانه بین دو رقم از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف تنش آبیاری بر صفت وزن ۱۰۰ دانه.

ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 3. Means comparison of interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of 100 seed weight.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

بر طبق جدول ۳ اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفات ریخت‌شناسی وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه و سطح ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و هم‌چنین طول و قطر ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. نتایج به‌دست آمده در رابطه با خصوصیات طول، وزن و حجم و قطر ریشه آن را به‌عنوان شاخصی مناسب جهت ارزیابی مقاومت به تنش آبی در کنجد تأیید می‌کند. هال و همکاران نشان دادند که واکنش گیاهان کنجد در برابر کم آبی در مزرعه با کاهش تعداد ساقه/شاخه‌های جانبی، میان‌گره و کاهش سایز برگ‌ها و افزایش توده زیستی ریشه همراه بوده است (۱۷).

جدول ۳- آنالیز تجزیه واریانس برای صفات ریخت‌شناسی مرتبط با ریشه ارقام کنجد مغان و داراب ۱ در سطوح مختلف آبیاری.

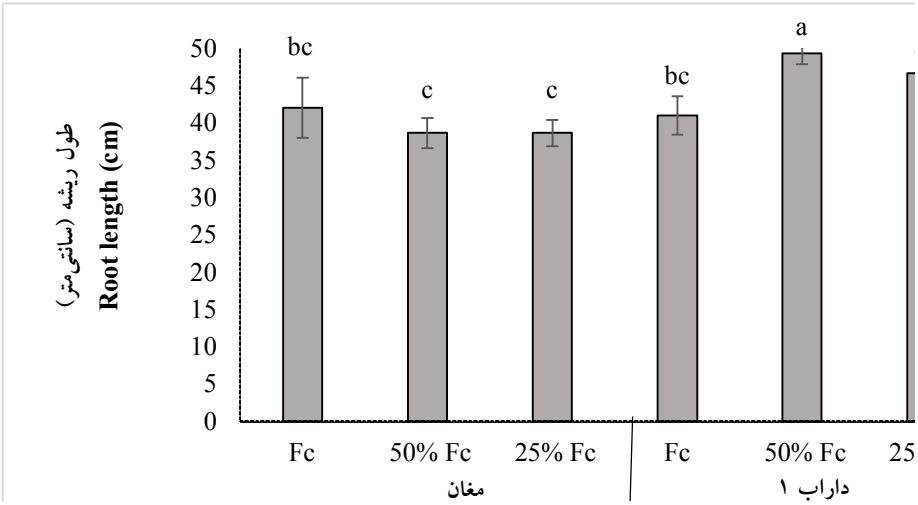
Table 3. Analyze of variance for morphological traits of morphological traits related to the root of the sesame cultivars, Moghan and Darab 1at different levels of irrigation.

میانگین مربعات Means of square							
سطح ریشه Root area	قطر ریشه Root diameter	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Dry weight of root	وزن تر ریشه Fresh weight of root	طول ریشه Root length	درجه آزادی Df	منابع تغییرات Sources of Variations
571.12**	1.04^{ns}	406.8**	213.6**	6610.6**	9.38^{ns}	2	آبیاری Irrigation
6772.74**	4.28**	2964.5**	55.5**	1200.5**	156.05*	1	رقم Genotype
782.59**	1.36*	828.4**	96.76**	2900.6**	57.38*	5	آبیاری * رقم Irrigation * Genotype
170.75	0.42	34.15	0.16	22.05	22.2	17	خطای Error
11.55	7.79	12.02	4.27	9.88	11.02		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** non-significant, significant at 5 and 1% level, respectively.

بر اساس شکل ٤ حداکثر طول ریشه در رقم داراب ۱ با آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (٤۹/۳۳ سانتی‌متر) و رقم داراب ۱ با آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (٤٦/٦۷ سانتی‌متر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند و بیش‌تر از سایر تیمارها بودند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با کاهش آبیاری طول ریشه در رقم داراب ۱ افزایش یافت. نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می دهد که که ریشه گیاهان در شرایط تنش آبی تمایل به توسعه ریشه و داشتن ریشه‌های بیش‌تر در لایه‌های عمیق خاک دارد (۸). کایم خان و همکاران (۲۰۰۲)، طی آزمایش‌هایی که روی ریشه ارقام مختلف گندم انجام دادند، نتیجه‌گیری کردند که رقم‌های مقاوم به تنش آبی به‌میزان معنی‌داری ریشه‌های بیش‌تر و طویل‌تری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس دارند (۳۳). ظاهراً آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط)، موجب تحریک ریشه گیاه شده و گیاه برای دسترسی به آب در صدد افزایش طول ریشه می‌باشد. از طرفی با افزایش میزان تنش و آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی طول ریشه کاهش یافته و مواد بیش‌تری در جهت افزایش حجم ریشه به‌کار گرفته می‌شوند.



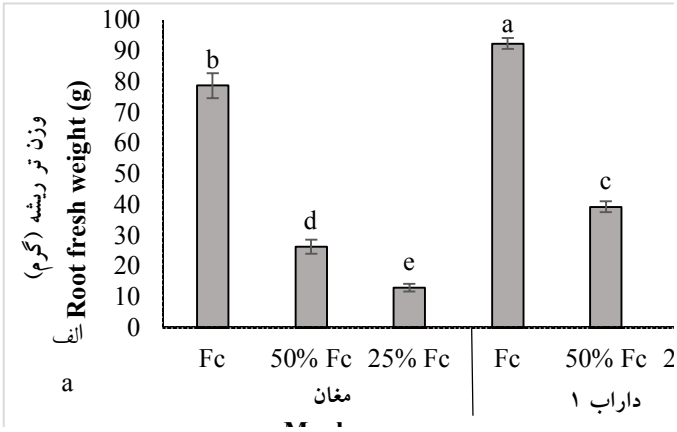
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف تنش آبیاری بر صفت طول ریشه.

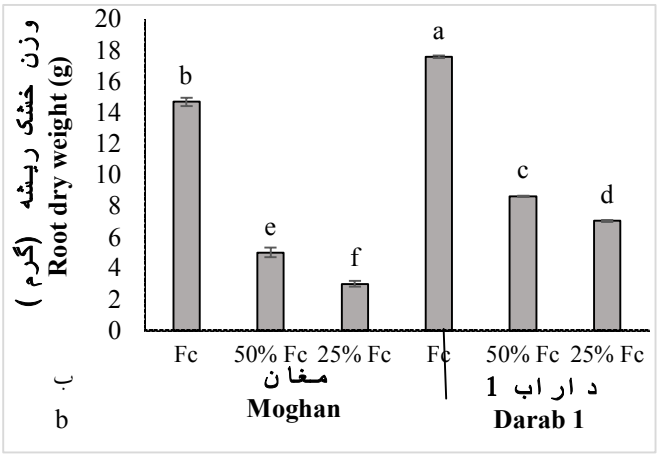
ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 4. Means comparison of interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of root length.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه متعلق به رقم داراب ۱ در تیمار شاهد با میانگین ۹۲/۳۳ گرم در هر گیاه بود و کم‌ترین مقدار مربوط به رقم مغان در سطح آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۱۳ گرم در هر گیاه بود (شکل ۵- الف). رقم داراب ۱ تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۹/۳۳ گرم در هر گیاه) و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (۳۵/۳۳ گرم در هر گیاه) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در صفت وزن تر ریشه نشان نداد و بالاتر از رقم مغان در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۲٦/۳۳ گرم در هر گیاه) و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۵- الف). چان چانگ و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که ریشه‌های کنجد نسبت به تنش آبی حساس بوده و جهت توسعه کامل ریشه به رطوبت نزدیک به صد در صد نیاز دارند (۱۰). شون و همکاران (۱۹۸۳) نیز گزارش کردند که تنش آبی اثری بر توسعه سامانه‌ای ریشه‌ای گیاه جو ندارد (۳۷). هم‌چنین مطابق با شکل (۵- ب) بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به رقم داراب ۱ در شرایط بدون تنش (شاهد) با میانگین ۱۷/٦۰ گرم در هر گیاه و کم‌ترین وزن خشک ریشه متعلق به رقم مغان تحت آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۳/۰۲ گرم در هر گیاه می‌باشد. افزایش تنش آبی کاهش معنی‌داری را در هر دو رقم مورد بررسی ایجاد کرد اما این کاهش در رقم داراب ۱ کم‌تر بوده و در هر دو سطح آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۸/٦۳ گرم در هر گیاه) و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (۷/۰۷ گرم در هر گیاه) به‌طور معنی‌داری وزن خشک ریشه بالاتری را نسبت به مغان (به‌ترتیب ۵/۰۳ و ۳/۰۲ گرم در هر گیاه) نشان داد. در آزمایش رایس (۱۹۷۹)، تحت تنش آبی در سورگوم میزان توسعه ریشه کاهش یافت (۳٤).





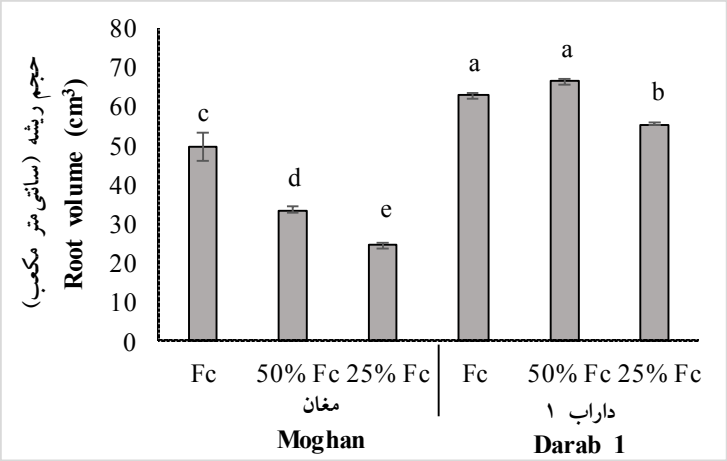
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف تنش بر صفت وزن تر (الف) و خشک (ب) ریشه.

ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 5. Means comparison of interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of root dry (b) and fresh (a) weight.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

مطابق با شکل ٦ بیش‌ترین حجم ریشه در رقم داراب ۱ در شرایط بدون تنش (شاهد) و رقم داراب ۱ تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. در حالی‌که در رقم مغان با افزایش تنش تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۳/۳۳ سانتی‌مترمکعب) کاهش معنی‌داری در حجم ریشه مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین میزان حجم ریشه در رقم مغان با آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۲٤/۳۳ سانتی‌مترمکعب نشان داده شد. بررسی‌های انجام شده توسط مانسک و همکاران (۲۰۰٤)، نشان داد که ارقام مقاوم به تنش آبی مانند اغلب گندم‌های نان نیمه پا کوتاه به‌میزان معنی‌داری ریشه‌های بیش‌تری را نسبت به ارقام حساس در برابر تنش آبی دارند (۲۸). به‌نظر می‌رسد گیاه با افزایش یا حفظ میزان حجم و هم‌چنین قطر ریشه در شرایط تنش آبی موجب افزایش سطح ریشه و در نتیجه جذب آب بیش‌تر از محیط اطراف ریشه در قسمت‌های سطحی می‌شود.



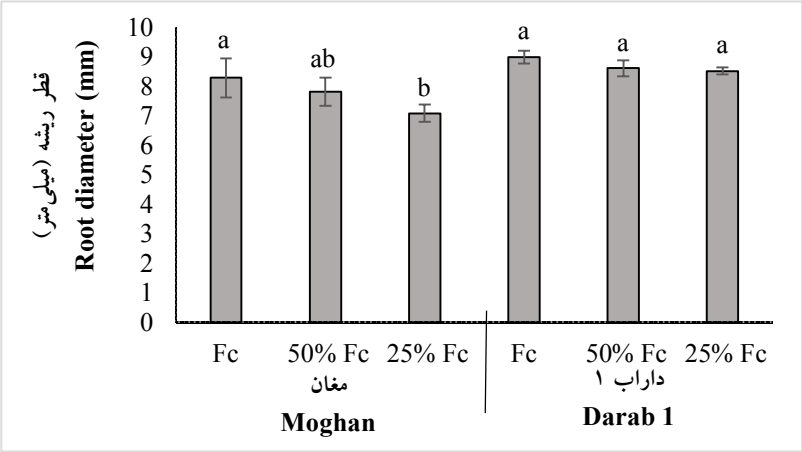
شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف تنش آبیاری بر صفت حجم ریشه.

ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 6. Means comparison of interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of root volume.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای اثر متقابل صفت قطر ریشه (شکل ۷) نشان داد که قطر ریشه در رقم داراب ۱ تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۸/٦۷ میلی‌متر در هر گیاه) و آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (۸/۵۳ میلی‌متر در هر گیاه) با شاهد (۹ میلی‌متر در هر گیاه) اختلاف معنی‌داری نداشت. در حالی‌که در رقم مغان تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۷/۸۳ میلی‌متر در هر گیاه) قطر ریشه کاهش یافت و در رقم مغان با آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (۷/۱۰ میلی‌متر در هر گیاه) کم‌ترین قطر ریشه مشاهده گردید که با مغان در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. فیتر و همکاران (۲۰۰۲)، گزارش کردند که قطر ریشه با تنظیم طول ریشه و افزایش سطح ریشه و افزایش جذب آب در شرایط تنش آبی موجب افزایش تحمل گیاه کائوچو در شرایط تنش آبی خواهد شد (۱۵).



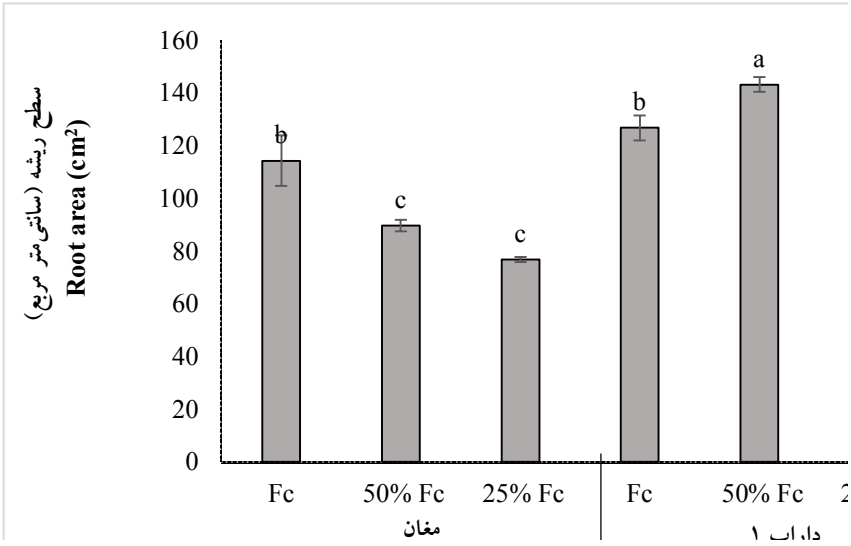
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف تنش آبیاری بر صفت قطر ریشه.

ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 7. Means comparison of interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of root diameter.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

همان‌طور که در شکل ۸ نشان می دهد اثر متقابل رقم داراب ۱ در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۱٤۳/۳۰ سانتی‌مترمربع بیش‌ترین مقدار سطح ریشه را داشت در حالی‌که رقم مغان با آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند به‌ترتیب با میانگین‌های ۸۹/۸٦ و ۷٦/۸٦ سانتی‌متر مربع کم‌ترین میزان سطح ریشه را نشان دادند. بنجامین و نیلسن (۲۰۰٦)، با بررسی تأثیر تنش آبی بر توزیع ریشه سویا و نخود، گزارش کردند که نخود دشتی بیش‌ترین سطح ریشه را در شرایط بدون تنش (شاهد) نسبت به شرایط تنش آبی داشت (٤). گیاهان با ریشه‌های توسعه‌یافته و عمیق، می‌توانند آب را از حجم بیش‌تری از خاک جذب کرده و در تحمل تنش آبی موفق‌ترند (۱۸). بنابر اظهار نظر لیو و لی (۲۰۰۵)، ریشه به‌عنوان معیار تشخیص مهمی جهت مقاومت به تنش آبی در غلات و یکی از صفات مهم در اغلب برنامه‌های اصلاحی است (۲۷).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام داراب ۱ و مغان و سطوح مختلف تنش آبیاری بر صفت سطح ریشه.

ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط بار بیانگر خطای استاندارد میانگین است.

Fig. 8. Means comparison of interaction effect of genotypes Darab 1 and Moghan and different levels of irrigation on trait of root area.

Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% of probability level on the base of LSD Test. Error bars showing the standard error of means.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که خصوصیات ریشه شامل طول، وزن، حجم، قطر و سطح ریشه در رقم حساس در برابر تنش آبی (مغان)، کاهش یافته در حالی‌که در رقم متحمل در برابر تنش آبی کاهش چشمگیری در آن‌ها مشاهده نمی‌شود و به‌نظر می‌رسد حفظ خصوصیات ریشه در شرایط کم‌آبی به حفظ عملکرد و کم کردن اثرات منفی تنش آبی در اندام هوایی رقم داراب ۱ کمک می‌کند. در این پژوهش، ریشه به‌عنوان معیاری مناسب در گزینش ارقام مطلوب جهت کشت در شرایط کم‌آبی و استفاده در برنامه‌های به‌نژادی ارزیابی می‌گردد. سیستم ریشه‌ای قوی‌تر در شرایط تنش آبی به جذب آب بیش‌تر از اعماق خاک کمک نموده و منجر به حفظ عملکرد مطلوب در شرایط کم‌آبی خواهد شد. رقم داراب ۱ با دارا بودن صفات ریخت‌شناسی ریشه‌ای برتر در شرایط کم‌آبی، منجر به بهبود جذب آب در شرایط تنش آبی و در نتیجه عملکرد بالاتر گیاه می‌شود. نتایج ارائه شده در این آزمایش نیازمند توسعه بیش‌تر در مدل‌سازی الگوی ریشه‌زایی بوده و باید توسط آزمایش‌های مزرعه‌ای تأیید شوند.

منابع

1. Alizadeh, A. 2009. Water, soil and plant relation. 9th edition, Astane Godse Razavi Press, 484p. (In Persian)
2. Alqudah, A.M., Samarah, N.H. and Mullen, R.E. 2011. Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality. Springer Sci. Pp: 193-213.
3. Bahrami, H., Razmjoo, J. and Jafari, A.O. 2012. Effect of drought stress on germination and seedling growth of Sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). Int. J. Agric. Sci. 2: 423-428. (In Persian)
4. Benjamin, J.G. and Nielsen, D.C. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Res. 97: 248-253.
5. Bor, M., Seckin, B., Ozgur, R., Yilmaz, O., Ozdemir, F. and Turkan, I. 2009. Comparative effects drought, salt, heavy metal and heat stresses on gamma-aminobutryric acid levels of Sesame (*Sesamum indicum* L.). Acta Physiol. Plant. 31: 655-659.
6. Bouremia, S., Eyletters, M., Diouf, M., Diop, T.A. and Damme, P.V. 2011. Sensitivity of seed germination and seedling radicle growth to drought stress in sesame, *Sesamum indicum* L. Res. J. Environ. Sci. 5: 6. 557-564.
7. Boureima, S., Oukarroum, A., Diouf, M., Cisse, N. and Damme, P.V. 2012. Screening for drought tolerance in mutant germplasm of sesame (*Sesamum indicum*) probing by chlorophyll a fluorescence. Environ. Exp. Bot. 81: 37-43.
8. Cai, G., Vanderborght, J., Covreur, V., Mboh, C.M. and Vereecken, H. 2017. Parameterization of root water uptake models considering dynamic root distributions and water uptake compensation. Vad. Zone J. 17: 1. 1-21.
9. Cassel, D.K. 1992. Time domain reflectometer version 2.1. N. C. State Univ., Raleigh.
10. Chung Chun, H., Amar Margaux, A., Romain Michel Gloaguen, R.M., Tseng, Y.Ch., Sanghun, L., Jung, K.Y., Choi, Y.D. and Rowland, D. 2018. Morphological and fractal characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) roots from various soil moisture contents. Korean J. Soil Sci. Fert. 51: 3. 274-288.
11. Dash, M., Imran, M., Kabi, M., Baisakh, B. and Lenka, D. 2018. Assessment of genetic variability for capsule shattering characters in Indian sesame. Elec. J. Plant Breed. 9: 2. 490-501.
12. Dossa, K., Yehouessi, J.W., Likeng-Li-Ngue, B., Diouf, D., Liao, B., Zhang, X., Cisse, N. and Bell, J.M. 2017. Comprehensive screening of some west and central African sesame genotypes for drought resistance probing by agro-morphological, physiological, biochemical and seed quality traits. Agronomy. 83: 7. 1-18.
13. FAO. 2015. The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition. Rome. http://www.fao.org/faostat/en/
14. Fazeli, F., Ghorbanli, M. and Niknam, V. 2007. Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two Sesame cultivars. Biol. Plant. 51: 98-103.
15. Fitter, A. 2002. Characteristics and functions of root systems. In Plant Roots: The Hidden Half, 3rd ed, New York, NY, USA, Pp: 15-32.
16. Golestani, M. and Pakniat, H. 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. J. Sci. Tech. Agric. Nat. Res. 41: 141-149.
17. Hall, M.H., Sheaffer, C.C. and Heichel, G.H. 1988. Partitioning and mobilization of phytoassimilates in alfalfa subjected to water deficit. Crop Sci. 28: 6. 964-969.
18. Hamlyn, G.L. 1996. Plantsand microclimate. Cambridge University Press, Pp: 1-262.
19. Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan, e-Kivi, M.Sh., Jamaati-e-Somarin, Sh., Saeidi, M. and Gholipouri, A. 2009. Investigation of water stress on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan. Reg. Res. J. Environ. Sci. 3: 2. 239-244. (In Persian)

20.Heidari, M., Galavi, M. and Hassani, M. 2011. Effects of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. Afr. J. Biotech. 10: 44. 8816-8822.
21.Hemmat, A. and Eskandari, I. 2006. Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwestern Iran. J. Soil Till. Res. 86: 99-109.
22.Hong, Y., Yu, J.M. and Chai, K.C. 1985. Effect of drought stress on major upland crops. Research Report of the Rural Development Administration. Crop, Koera-Republic (C.F. Computer Res). Int. Agric. Cent. Inform. Serv. 27: 148-155.
23.Janick, J. and Whipkey, A. 2002. Resources. In: Trends in New Crops and New Uses. ASHS Press, edition, Alexandria, Pp: 153-156.
24.Kassab, O.M., Mehanna, H.M. and Aboelill, A. 2011. Drought impact on growth and yield of some sesame varieties. J. Appl. Sci. Res. 8: 8. 4544-4551.
25.Kulkarni, M. and Swati, P. 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. Sci. Hort. 120: 159-166.
26.Kwan, K.S., Park, S.H. and Jenks, M.A. 2007. Changes in leaf cuticular waxes of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants exposed to water deficit. J. Plant Physiol. 164: 1134-1143.
27.Liu, H.S. and Li, F.M. 2005. Photosynthesis, root respiration and grain yield of spring wheat in response to surface soil drying. Plant Growth Regul. 45: 2. 149-154.
28.Manske, G.G.B., Ortiz-Monasterio, J.I. and Vlek, P.L.G. 2004. Techniques for measuring genetic diversity in roots. Cimmyt. 56: 208-218.
29.Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Ann. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
30.Nilanthi, D., Alawathugoda, C.J. and Ranawake, A.L. 2015. Effects of water stress on yield and some yield components of three selected oil crops; Groundnut (*Arachis hypogea* L.), Sunflower (*Helianthus annus* L.) and Sesame (*Sesamum indicum* L.). Int. J. Sci. Res. 5: 2. 2250-3153.
31.Ogbonna, P.E. and Ukaan, S.I. 2012. Yield evaluation of 13 sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions in the derived savannah agro-ecology of south-eastern Nigeria. Afr. J. Agric. Res. 7: 43. 5772-5778.
32.Pasban Eslam, B. 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. J. Agric. Sci. Tech. 13: 327-338.
33.Qayyumkhan, M., Anwar, S. and Llyaskhan, M. 2002. Genetic variability for seedling traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) under moisture stress conditions. Asian. J. Plant Sci. 1: 5. 588-590.
34.Rice, J.R. 1979. Physiological investigations of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) subjected to water stress conditions. Diss. Abst. Int. 40: 527.
35.Sabiel, S., Abdelmula, A., Elfadil, M.A., Bashir, E., Khan, Sh., Yingying, S., Yang, Y., Ullah Baloch, S. and Bashir, W. 2014. Genetic variation of plant height and stem diameter traits in maize (*Zea mays* L.) under drought stress at different growth stages. J. Nat. Sci. Res. 4: 23. 2225-0921.
36.Shashidhar, H.E., Henry, A. and Hardy, B. 2012. Methodologies for root drought studies in rice. International rice research institute. IRRI. 73p.
37.Shone, M.G.T., Whipps, J.M. and Flood, A.V. 1983. Effects of localized and overall water stress on assimilate partitioning in barley between shoots, roots and root exudates. New Phytol. 95: 6-634.
38.Thameur, A., Ferchichi, A. and Lopez-Carbonel, M. 2011. Quantification of free and conjugated abscisic acid in five genotypes of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions. S. Afr. J. Bot.77: 222-228.
39.Topp, G.G. and Davies, J.L. 1985. Time domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. Adv. Irrig. 3: 107-127.

40. Ucan, K. and Kill, F. 2010. Effects of different irrigation programs on flower and capsule numbers and shedding percentage of sesame. Agric. Water Manage. 98: 227-233.
41. Ucan, K., Killi, F., Gencoglan, C. and Merdun, H. 2007. Effectof irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under field conditions. Field Crop. Res. 101: 249-258.
42. Vamerali, T., Saccomani, M., Bona, S., Mosca, G., Guarise, M. and Ganis, A. 2003. Acomparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. Plant Soil. 255: 157-167.