

پاسخ عملکرد و کیفیت روغن دانه ژنوتیپ‌های کنجد بومی ایران به تنش خشکی

Response of Seed Yield and Oil Quality of Iranian Native Sesame Genotypes to Drought Stress

محمد عباسعلی^۱، عبدالقیوم قلی‌پوری^۲، احمد توبه^۲، نیراعظم خوش خلق سیما^۳
و بهجت تاج‌الدین^۴

- ۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران و مربی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
- ۳- دانشیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۴- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۶

چکیده

عباسعلی، م.، قلی‌پوری، ع.، توبه، ا.، خوش خلق سیما، ن. ا. و تاج‌الدین، ب. ۱۳۹۸. پاسخ عملکرد و کیفیت روغن دانه ژنوتیپ‌های کنجد بومی ایران به تنش خشکی. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵: ۱۵۷-۱۳۳.

تنش خشکی از عوامل محیطی مهمی است که بر عملکرد و کیفیت محصول کنجد تاثیر می‌گذارد. در این راستا هشت ژنوتیپ کنجد به همراه ارقام اولتان و داراب ۱ در شرایط عادی و تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج، از نظر عملکرد دانه و ویژگی‌های بیوشیمیایی روغن ارزیابی شدند. خشکی باعث کاهش ۴۵/۱ درصد عملکرد دانه، ۲/۵ درصد روغن دانه، و ۲۴ درصد اسید چرب پالمیتوئیک، و افزایش ۹۹/۴ درصد قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن، ۱۸/۹ درصد لیگنان‌های روغن و ۱۵/۶ درصد پروتئین خام دانه شد. در واقع خشکی باعث بهبود کیفیت روغن گردید. ژنوتیپ KC50662 در هر دو شرایط، عملکرد مناسبی داشت و همچنین ۵/۳ درصد روغن آن بیش از شاهد اولتان بود و کمترین میزان اسید چرب مضر پالمیتیک (۸/۵ درصد) بعد از رقم اولتان (۸/۲ درصد) و ژنوتیپ KC50687 را داشت. همچنین مقادیر بیشتر اسیدهای چرب مفید اولئیک (۴۷/۱ درصد) و پالمیتوئیک (۰/۰۹۴ درصد) نسبت به شاهد (به ترتیب ۴۳/۱ و ۰/۰۷۲ درصد) داشت. این ژنوتیپ دارای میزان پائین‌تر اسید چرب اشباع استناریک (۴/۷ درصد)، میزان بالاتر اسید چرب مفید لینوئیک (۴۲ درصد) نسبت به شاهد (به ترتیب ۵/۴ و ۳۸/۷ درصد) و مقدار بالاتر کل لیگنان‌های روغن (۴۲۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و قدرت آنتی‌اکسیدانی ۲۳/۵ میکرومول در لیتر پایین‌تر نسبت به شاهد (به ترتیب ۳۵۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۳۳/۹ میکرومول در لیتر) بود. شاخص‌های تحمل و حساسیت ژنوتیپ KC50662 را با پتانسیل عملکرد بالا و ژنوتیپ‌های KC50658، KC50687 و KC50983 را به عنوان متحمل شناسایی کردند. ژنوتیپ KC50662 با توجه به عملکرد بالا در دو شرایط عادی و تنش و خصوصیات مطلوب کیفیت روغن به عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: کنجد، تنش غیر زنده، تحمل، عملکرد دانه، اسید چرب اشباع.

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) از خانواده پدالیاسه (*Pedaliaceae*)، گیاهی روغنی و منحصر به فرد خاص مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است. در نقاط متفاوت دنیا و ادوار تاریخی مختلف به عنوان دانه روغنی، دارو و دیگر موارد مثلاً برای تولید روشنایی استفاده شده است (Hwang, 2005).

سطح زیر کشت کنجد در جهان، در سال ۲۰۱۷ حدود ۹/۹۸ میلیون هکتار با تولید حدود ۵/۵۳ میلیون تن دانه و میانگین عملکرد حدود ۵۵۴/۱ کیلوگرم در هکتار بود. در این سال ایران با سطح زیر کشت ۴۲۰۰۰ هکتار و تولید ۲۹ هزار تن و عملکرد ۶۹۰/۵ کیلوگرم در هکتار، دارای رتبه بیست و ششم تولید بود (FAO, 2019).

کنجد از نظر تغذیه و خواص سلامتی مورد توجه است، دانه آن شامل بسیاری از مواد مغذی، پروتئین‌ها (حدود ۲۵٪)، روغن (حدود ۵۰٪) و کربوهیدرات‌ها، منبع غنی کلسیم (حدود ۱٪) و فسفر (حدود ۰/۷٪) است (Nagendra Prasad *et al.*, 2017). به علت حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در روغن کنجد با نام لیگنان‌ها و توکوفرول و با وجود بیش از ۸۰ درصد از کل اسیدهای چرب غیر اشباع (اسیدهای اولئیک-لینولئیک) در مقایسه با سایر روغن‌های خوراکی گیاهی بسیار مقاوم به اضمحلال اکسیداتیو است (Suja *et al.*, 2004). دو اسید چرب مذکور به

همراه ۱۲-۷/۹ درصد اسید پالمیتیک و ۶/۱-۴/۸ درصد اسید استئاریک مجموعاً ۹۶٪ از کل اسیدهای چرب آن را تشکیل می‌دهند. با استفاده از تغییرات ژنتیکی، ارقام با اسید اولئیک بالا توصیه شده‌اند. پروتئین دانه با طیف ۳۱-۱۷٪ غنی از اسید آمینه‌های گوگرددار، متیونین و سیستین (۶/۱٪) و مقدار کافی از تریتوفان است که در اکثر دانه‌های روغنی محدود است (Hwang, 2005).

خواص ضد سرطان، جلوگیری از دیابت، کنترل و کاهش فشار خون و کاهش کلسترول از آثار مفید آن برای سلامتی است (Nagendra Prasad *et al.*, 2017). دانه و روغن آن از نظر تامین اسیدهای چرب ضروری امگا ۳ (اسید لینولئیک) و امگا ۶ (اسید لینولئیک و اسید آراشیدونیک) و سایر اسیدهای چرب مانند اولئیک اهمیت دارد (Hwang, 2005). اسید چرب پالمیتولئیک یا امگا-۷ در دانه آن از تری‌گلیسریدهای با زنجیره متوسط می‌باشد که در بدن به صورت چربی ذخیره نشده و به صورت انرژی در می‌آید. امگا-۷ با افزایش حساسیت سلول‌ها به انسولین در پیشگیری و درمان چاقی مفید است و در برابر دیابت نوع دو، بیماری‌های قلبی و سرطان نقش حفاظت‌کنندگی دارد (Suja *et al.*, 2004).

کنجد طیف وسیعی از رفتارها را در واکنش به خشکی دارد. با اعمال تنش خشکی در آزمایش‌های متفاوت، شمار دانه در کپسول (حتی پس از گلدهی)، وزن دانه در کپسول،

تک شاخه با قدرت ممانعت‌کنندگی (The half maximal inhibitory concentration = IC50) برابر با ۱/۸ میلی گرم در لیتر تقریباً یکسان بودند ولی رقم اولتان خواص آنتی‌اکسیدانی پایین (میلی گرم در لیتر $IC_{50}=3.7$) را نشان داد (Hassanzadeh *et al.*, 2014). تنش خشکی با کاهش عملکرد دانه و بدون تاثیر بر وزن دانه باعث کاهش سزامین و سزامولین شد. برعکس لیگنان‌های گلوکوزیدی در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافتند. محتوی روغن با کاهش ملایم در اثر خشکی تغییر معنی‌داری نیافت، ولی خشکی باعث کاهش درصد اسید اولئیک و افزایش اسید لینولئیک گردید. ضمناً ترکیبات بیوشیمیایی دانه کنگد به ویژه گلیکوزید سزامینول که دارای خاصیت قوی آنتی‌اکسیدانی است تحت تاثیر تنش خشکی افزایش یافت (Kim *et al.*, 2006).

به دلیل اهمیت اثر تنش خشکی بر روی کیفیت محصولات، در پاسخ به این پرسش که آیا در شرایط تنش خشکی تغییری در کیفیت دانه ارقام کنگد روی می‌دهد و همچنین واکنش ارقام متحمل و حساس به تنش خشکی از نظر کیفیت دانه به چه صورتی خواهد بود؟ میزان روغن و پروتئین دانه، پروفایل اسیدهای چرب، میزان لیگنان‌ها و قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن تعدادی از ژنوتیپ‌های کلکسیون کنگد بانک ژن گیاهی ملی ایران در شرایط تنش خشکی در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

تعداد کپسول در بوته، زیست‌توده، عملکرد دانه، ارتفاع و سطح فتوسنتز کننده کاهش نشان دادند. در بررسی تحمل به تنش خشکی رقم "داراب ۱۴" بر پایه شاخص تحمل و حساسیت، جایگاه برتری را در شرایط عادی و تنش رطوبتی از خود نشان داد (Amani *et al.*, 2012). همچنین ارقام داراب ۱۴ و محلی سیستان با داشتن و عملکرد بالاتر و پایداری عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی و بالاترین مقدار شاخص‌های STI، GMP و MP به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل تعیین شدند (Poor-Esmaeil *et al.*, 2014).

در ارزیابی ۲۷ ژنوتیپ کنگد در شرایط عادی و تنش رطوبتی، بر اساس شاخص حساسیت فیشر و مائورر و تحمل فرناندز، رقم‌های ناز تک شاخه، ناز چند شاخه، اولتان و ورامین ۲۳۷، با حساسیت متوسط و ژنوتیپ زودرس IS حساس و ژنوتیپ ۲۸۲۲ با تحمل متوسط و ارقام کرج ۱، ناز تک شاخه و ورامین ۲۳۷ با تحمل بالا و مناسب برای شرایط تنش خشکی تشخیص داده شدند (Hassanzadeh *et al.*, 2009). در ارزیابی دیگر، رقم اولتان با بیشترین مقدار STI، و کمترین مقدار SSI و TOL نسبت به دو رقم هندی و هندی ۱۴ متحمل‌تر شناسایی شد (Molaie *et al.*, 2012). در بررسی هفت رقم کنگد ایرانی، میزان سزامول دارای دامنه ۷۵/۲-۱۳/۶ میلی گرم بر گرم بود (Sadeghi *et al.*, 2010). خواص آنتی‌اکسیدانی رقم‌های داراب و ناز

تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و دارای ارتفاع حدود ۱۳۰۰ متر از سطح دریای آزاد بود. ژنوتیپ‌ها در دو شرایط متفاوت رژیم رطوبتی خاک در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال در اواسط خرداد کشت شدند.

مواد و روش‌ها

هشت ژنوتیپ کنجد دریافتی از کلکسیون بانک ژن گیاهی ملی ایران به همراه ارقام تجاری اولتان و داراب ۱ در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. محل اجرای آزمایش مزرعه تحقیقاتی مؤسسه

جدول ۱- نام و منشاء ژنوتیپ‌های کنجد مورد بررسی
Table 1. Accession number and origin of sesame genotypes

نام/ شماره نمونه Accession No./ Name	منشا Origin	نام/ شماره نمونه Accession No./ Name	منشا Origin	منشا
50321	Palestaine	50687	Fars	فارس
50436	Boushehr	50983	Zanjan-Tarom	طارم زنجان
50638	Fars	50999	West Azabazjan	آذربایجان غربی
50658	Fars	Darab1 cultivar	داراب ۱ Fars	فارس
50662	Fars	Oltan cultivar	اولتان Moghan	مغان

نظر گرفته شد. در رژیم رطوبتی اول، آبیاری معمول در طول کل دوره رشد گیاهان انجام شد. در رژیم رطوبتی دوم همانند رژیم رطوبتی اول تا آستانه گلدهی (در حدود ۵۰ الی ۵۵ روز پس از کاشت) آبیاری معمول صورت گرفت ولی پس از آن، قطع آبیاری تا برداشت صورت پذیرفت. برای ایجاد شرایط بدون تنش در آبیاری کامل، دور آبیاری براساس میزان ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A تنظیم شد. در هر آبیاری مقدار آب براساس رسانیدن رطوبت خاک در محدوده توسعه رشد فعال ریشه، عمق ۳۵ سانتی‌متر، تا حد ظرفیت زراعی محاسبه و با روش آبیاری قطره‌ای اعمال

هر کرت آزمایشی شامل پنج خط به طول ۲/۵ متر با فواصل بین خطوط ۶۲/۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته روی ردیف حدود ۱۰ سانتی‌متر بود. سه خط میانی با حذف ۰/۲۵ متر از دو انتهای خطوط کشت برای ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کود فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر با توجه به خلوص کود مورد نظر از منبع سوپرفسفات و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به خاک داده شد. وجین دستی در سه نوبت انجام شد.

برای هر یک از رژیم‌های رطوبتی آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در

(Fernandez, 1992) به عنوان شاخص‌های تحمل و حساسیت مورد استفاده قرار گرفتند. آزمایشات بیوشیمیایی کیفیت دانه روی پنج ژنوتیپ انجام شد. با توجه به رفتار ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش بر مبنای میانگین داده‌های دو سال چهار ژنوتیپ به همراه رقم اولتان برای انجام آزمایش‌های در نظر گرفته شدند. بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره KC50321 و KC50999 به عنوان ژنوتیپ‌های حساس، ژنوتیپ شماره KC50662 با پتانسیل عملکرد بالا در دو شرایط عادی و تنش خشکی به عنوان ژنوتیپ پرتانسیل، ژنوتیپ شماره KC50687 به عنوان ژنوتیپ غیرحساس (در واقع متحمل با پتانسیل تولید کم) و رقم اولتان به عنوان شاهد برای آزمایشات کیفیت دانه منظور شدند.

اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی برای پنج ژنوتیپ انتخابی و تکرارهای مربوطه و برای دو رژیم رطوبتی طی دو سال صورت گرفت. ارزیابی صفات بیوشیمیایی دانه شامل اندازه‌گیری‌های روغن به روش (Nuclear Magnetic Resonance) NMR، پروفایل اسیدهای چرب با (ISO 5511, 1992)، روش کروماتوگرافی (Varian, CP-3800) گازی موئینه (Capillary Gas Chromatography) (ISO 12966-2, 2011) و روش آماده‌سازی نمونه براساس تهیه متیل استر اسیدهای چرب با

گردید. با توجه به مشخص بودن تعداد و دبی قطره چکان‌ها در کرت‌های آزمایشی، این مقدار نیاز آبی با تنظیم ساعت آبیاری که در هر نوبت به طور متوسط شش ساعت بود، تامین شد. توضیح اینکه رطوبت خاک در هر نوبت آبیاری، در دو مرحله یکی قبل از آبیاری برای تعیین مقدار آب مورد نیاز و دیگری ۴۸ ساعت پس آبیاری برای کنترل و اطمینان از تامین رطوبت کافی در محدوده ریشه، با روش وزنی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

در تیمار آبیاری معمول در طول کل دوره رشد ۱۳ نوبت و در تیمار قطع آبیاری هفت نوبت آبیاری انجام شد و میانگین عمق آب مصرفی در هر نوبت آبیاری ۳۶ میلی‌متر بود. مقدار کل آب مصرفی در شرایط عادی حدوداً ۴۷۰۰ و در شرایط تنش ۲۵۰۰ متر مکعب در هکتار بود. شروع زمان برداشت در شرایط عادی از ۳۰ مهر و در شرایط تنش از هفتم مهر و بر حسب ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. شاخص‌های تحمل (Tolerance Index = TOL)، عملکرد متوسط (Mean Productivity = MP) (Rosielle and Hamblin, 1981)، میانگین هندسی عملکرد (Geometric Mean Productivity = GMP) (Schneider *et al.*, 1997)، حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) (Fischer and Maurer, 1978)، تحمل تنش (Stress Tolerance Index = STI) و میانگین هارمونیک (Harmonic Mean = HM)

در انکوباتور، جذب آن در ۵۹۳ نانومتر با اسپکتروفتومتر (Cintra 40) اندازه‌گیری شد. برای ایجاد منحنی کالیبراسیون، پنج غلظت از $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌مول بر لیتر)، استفاده شد. پس از تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. آزمون همگنی برای واریانس اشتباه آزمایش‌ها نشان داد که معنی‌دار نبود. همچنین به علت پیروی داده‌ها از توزیع نرمال از داده‌های اصلی برای تجزیه واریانس استفاده شد. برای محاسبات آماری از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) استفاده گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد دانه ده ژنوتیپ طی دو فصل و در دو شرایط عادی و تنش خشکی (آورده نشده است) نشان داد که اثر ژنوتیپ و شرایط رطوبتی بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و شدت تنش ژنوتیپ‌های کنگد مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین شدت تنش (نسبت اختلاف عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در دو شرایط به میانگین عملکرد کل در شرایط عادی، میانگین دو سال) که در این پژوهش برابر با ۰/۴۵ بود از دو منظر قابل بررسی است: از طرفی میزان تنش کلی اعمال شده بر جامعه مورد بررسی را نشان می‌دهد و از طرف دیگر میانگین

استفاده از محلول هیدرواکسید پتاسیم متانولی بود. درصد پروتئین دانه با تعیین درصد نیتروژن دانه به روش کج‌لدال برآورد شد. لیگنان‌های کل روغن با استفاده از روش پیشنهادی باتانگار و همکاران (Bhatnagar *et al.*, 2015) بر اساس جذب اشعه ماورای بنفش (Ultra violet) و انقراض ویژه نوری (Specific extinction) مربوط به سزامین و سزامول به روش اسپکتروفتومتری، اندازه‌گیری شد.

سنجش قدرت آنتی‌اکسیدانی با روش احیاء (کاهش) فریک (Fe⁺⁺⁺) به فرو (Fe⁺⁺)، با معرف FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power assay) شرح داده شده توسط بنزی و استرین (Benzie and Strain, 1999) صورت پذیرفت. این روش بر اساس احیاء کمپلکس [Ferric tripyridyl-triazine (TPTZ)] به شکل‌های متفاوت رنگی یون‌های آهن در حضور آنتی‌اکسیدان می‌باشد. معرف FRAP حاوی پنج میلی‌لیتر از محلول ۱۰ میلی‌مول بر لیتر TPTZ در سید کلریدریک ۴۰ میلی‌مول در لیتر، به اضافه پنج میلی‌لیتر از محلول ۲۰ میلی‌مول بر لیتر FeCl₃ و ۵۰ میلی‌لیتر بافر استات با pH برابر ۳/۶ که تازه تهیه شد و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرم شده بود.

پنجاه میلی‌لیتر از نمونه با سه میلی‌لیتر از معرف FRAP مخلوط شد و پس از ماندگاری به مدت ده دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس

جدول ۲- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی برای ژنوتیپ‌های کنجد بر اساس میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در مترمربع)

Table 2. Drought stress tolerance and susceptibility indices for sesame genotypes based on the average seed yield (kg m^{-2})

ژنوتیپ	شاخص								
	عملکرد در شرایط عادی	عملکرد در شرایط تنش	بهره‌وری متوسط	میانگین هندسی بهره‌وری	میانگین هارمونیک	تحمل به تنش	حساسیت به تنش	تحمل	شدت تنش
Genotype	Yp ¹	Ys ²	MP ³	GMP ⁴	HM ⁵	STI ⁶	SSI ⁷	TOL ⁸	SI ⁹
KC50321	0.128	0.036	0.082	0.068	0.056	0.361	1.620	0.092	0.721
KC50436	0.105	0.067	0.086	0.084	0.082	0.550	0.809	0.038	0.360
KC50638	0.108	0.060	0.084	0.080	0.077	0.510	0.990	0.048	0.440
KC50658	0.102	0.078	0.090	0.089	0.088	0.621	0.526	0.024	0.234
KC50662	0.161	0.090	0.125	0.120	0.115	1.137	0.994	0.071	0.442
KC50687	0.112	0.079	0.096	0.094	0.093	0.703	0.657	0.033	0.292
KC50983	0.107	0.076	0.091	0.090	0.089	0.638	0.649	0.031	0.289
KC50999	0.098	0.035	0.067	0.059	0.052	0.275	1.438	0.063	0.640
Darab1	0.085	0.050	0.067	0.065	0.063	0.333	0.943	0.035	0.420
Oltan	0.122	0.047	0.085	0.076	0.068	0.454	1.373	0.075	0.611

1. Yield in normal condition, 2. Yield in stress condition, 3. Mean productivity, 4. Geometric mean productivity, 5. Harmonic mean productivity, 6. Stress tolerance index, 7. Stress susceptibility index, 8. Tolerance index, 9. Stress intensity

که شاخص‌های تحمل به تنش MP، GMP و STI همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش داشتند. که با نتیجه آزمایش خماری و همکاران (Khammari et al., 2013) مطابقت داشت.

همان طور که اشاره شد شاخص‌های تحمل همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش داشتند. بنابراین تفکیک ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت پذیرفت (جدول ۴). دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بیش از یک، سهم واریانس به ترتیب ۶۹/۴۳۰ و ۳۰/۲۷، جمعاً ۹۹/۷۰ درصد تغییرات کل را توضیح دادند.

مؤلفه اول با داشتن رابطه مثبت با عملکرد

میزان تحمل جامعه مورد بررسی را نشان می‌دهد، یعنی میزان تنش اعمال شده کلی بر ژنوتیپ‌های مورد بررسی ۴۵ درصد و میزان تحمل کلی آن‌ها نیز ۵۵ درصد (۵۵ درصد از پتانسیل عملکرد کل ژنوتیپ‌ها) بود.

به منظور تعیین روابط و جایگاه ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌های تحمل و حساسیت و نسبت به یکدیگر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی شاخص‌ها انجام شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش دارند، معیار مناسبی برای تعیین میزان تحمل (یا حساسیت) ژنوتیپ‌ها می‌باشند (Fernandez, 1992). بنابراین با توجه به ضرایب همبستگی (جدول ۳) ملاحظه می‌شود

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی
Table 3. Correlation coefficients between seed yield and drought tolerance and susceptibility indices

	شاخص	Index							
		شدت تنش	تحمل به تنش	حساسیت به تنش	تحمل به تنش	میانگین هارمونیک	میانگین هندسی	بهره‌وری	عملکرد در شرایط تنش
		SI ⁹	TOL ⁸	SSI ⁷	STI ⁶	HM ⁵	GMP ⁴	MP ³	Ys ²
Yp1	عملکرد در شرایط عادی	0.249 ^{ns}	0.617 ^{ns}	0.249 ^{ns}	0.722*	0.544 ^{ns}	0.679*	0.834**	0.343 ^{ns}
Ys	عملکرد در شرایط تنش	-0.820**	-0.528 ^{ns}	-0.820**	0.886**	0.972**	0.921**	0.804**	1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns: غیر معنی‌دار.

* and **: Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

1. Mean yield in normal condition, 2. Mean yield in stress condition, 3. Mean productivity, 4. Geometric mean productivity, 5. Harmonic mean productivity, 6. Stress tolerance index, 7. Stress susceptibility index, 8. Tolerance index, 9. Stress intensity.

جدول ۴- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل - حساسیت

Table 4. Eigen values and Eigen vectors of principle components analysis of drought tolerance and susceptibility indices

Component	Eigen value	Proportion (%)	شاخص							
			Yp ¹	Ys ²	MP ³	GMP ⁴	HM ⁵	STI ⁶	SSI ⁷	TOL ⁸
1	5.554	69.43	0.800	0.837	0.997	0.983	0.938	0.989	-0.373	0.022
2	2.422	30.27	0.598	-0.547	0.057	-0.180	-0.343	-0.110	0.924	0.999

1. Yield in normal condition, 2. Yield in stress condition, 3. Mean productivity, 4. Geometric mean productivity, 5. Harmonic mean productivity, 6. Stress tolerance index, 7. Stress susceptibility index, 8. Tolerance index

برای شاخص حساسیت به تنش SSI و TOL و بالا و برای شاخص‌های MP، GMP، STI، و HM پائین بود. در واقع این مؤلفه مبین حساسیت بیشتر می‌باشد. توجه به این نکته نیز مهم است که ضریب مؤلفه دوم برای عملکرد دانه در شرایط تنش منفی است. با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که مؤلفه اول تاکید

دانه در دو شرایط عادی و تنش و ضرایب همبستگی بالا و معنی‌دار برای شاخص‌های MP، GMP، STI و HM مبین وجود ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالاتر در دو شرایط (و به تعبیری تحمل بیش‌تر) بود. بنابراین این مؤلفه عملکرد را در هر دو شرایط عادی و تنش رطوبتی نشان می‌دهد. مقدار ضریب مؤلفه دوم

برخوردار است و از نظر مؤلفه دوم که مبین حساسیت است دارای حساسیت متوسطی نسبت به اکثر ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در واقع پتانسیل عملکرد در شرایط عادی و تنش برای ژنوتیپ شماره KC50662 بارزتر از حساسیت متوسط آن نسبت به تنش خشکی است.

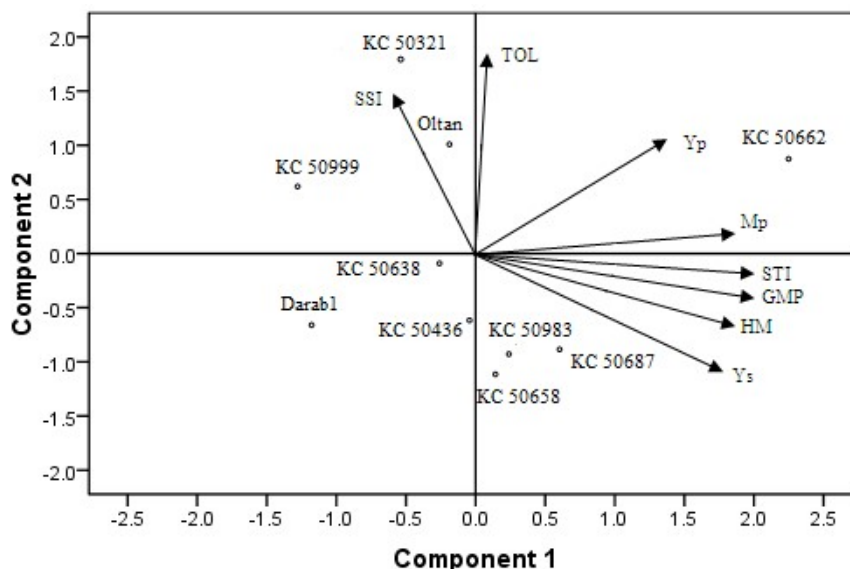
ژنوتیپ‌های KC50321، رقم اولتان و KC50999 با داشتن مقادیر بیشتر از مؤلفه دوم ژنوتیپ‌های حساس تر محسوب شدند. ژنوتیپ‌های KC50436، KC50638 و Darab1، با عملکرد کمتر (پتانسیل پایین تر) دارای حساسیت نسبتاً متوسط بودند ولی در شرایط تنش وضعیت مناسبی بروز دادند. ژنوتیپ‌های KC50658، KC50687 و KC50983، با کمترین میزان از مؤلفه دوم نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها حساسیت کمتری به تنش خشکی نشان دادند به تعبیری متحمل بودند. بررسی و به کارگیری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای در بررسی وضعیت حساسیت- تحمل ژنوتیپ‌های کنگد برای تنش خشکی توسط سایر محققان نیز بکار رفته است (Hassanzadeh *et al.*, 2009; Boureima *et al.*, 2016).

نکته قابل توجه در مبحث بررسی وضعیت ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش این است رفتار متفاوت ژنوتیپ‌ها و تنوع در طیف وسیعی از واکنش‌ها در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی مشاهده شد که حاکی از تنوع کلی و قابل قبول در

بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و مؤلفه دوم تاکید بر حساسیت به تنش ژنوتیپ‌ها دارد.

صفحه دو بعدی (بای پلات) حاصل از دو مؤلفه اصلی و جایگاه ژنوتیپ‌ها نسبت به یکدیگر در شکل ۱ نشان داده شده است. به طوری که در این شکل دیده می‌شود مؤلفه اول دارای مقادیر بالا برای STI و همچنین مقادیر بالا برای عملکرد دانه در دو شرایط عادی و تنش خشکی می‌باشد، بنابراین این مؤلفه مبین پتانسیل عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش خشکی است. بر این اساس هرچه جایگاه ژنوتیپی به سمت راست بای پلات متمایل باشد دارای پتانسیل عملکرد بیشتر و تحمل بالاتر است. از طرف دیگر مؤلفه دوم دارای مقدار زیاد برای SSI است، این مؤلفه مبین حساسیت به تنش است. بنابراین هرچه جایگاه ژنوتیپی به سمت بالای بای پلات متمایل باشد دارای حساسیت بیشتر به تنش خشکی است.

با توجه به بای پلات شکل ۱، بر اساس چهار سوی حاصل از دو مؤلفه، وضعیت ژنوتیپ‌ها قابل بررسی می‌باشد بدین گونه که ژنوتیپ شماره KC50662 که بیشترین تمایل را به سمت راست دارد با بیشترین مقدار از مؤلفه اول نسبت به سایرین، دارای پتانسیل تولید بیشتر در شرایط عادی و تولید بالا در شرایط تنش بوده و به تعبیری ژنوتیپ پر پتانسیل شناسایی می‌شود. با توجه به نمودار مذکور، این ژنوتیپ از نظر سایر شاخص‌ها مانند MP و GMP که بیان کننده پتانسیل عملکرد می‌باشند از وضعیت برتری



شکل ۱- تفکیک ژنوتیپ‌های کنجد بر اساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

Fig. 1. Sesame genotypes separated based on two principle components and drought tolerance and susceptibility indices

خشکی، ولی به علت عملکرد بالا در هر دو شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی، می‌تواند در دوره‌های خشک، عملکرد بیشتری را داشته باشد و در دوره‌هایی که آب قابل دسترس بیشتر است، توان استفاده بهینه از شرایط مناسب جهت حداکثر عملکرد دانه را دارد و تا حدی جبران کمبود عملکرد در سال‌های خشک را بنماید. ولی بر اساس دیدگاه دوم، اگر هدف تنها شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و منابع تحمل به خشکی باشد، ژنوتیپ‌های KC50658، KC50983 و KC50687 که از حساسیت و کاهش عملکرد کمتری برخوردار بودند، قابل استفاده می‌باشند.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که

ژنوتیپ‌های کنجد مورد بررسی بود و بویژه تنوع رفتاری ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی را نشان داد. بنابراین با توجه به پدیده تغییر اقلیم این پتانسیل بالقوه در منابع ژنتیکی کنجد می‌تواند در برنامه‌های پیش‌به‌نژادی و اصلاحی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

با توجه به دو دیدگاه: انتخاب ژنوتیپ برای عملکرد بالا در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی و دیگری انتخاب ژنوتیپ صرفاً بر اساس تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ شماره KC50662 به عنوان مصداق دیدگاه اول، به علت داشتن عملکرد دانه بالا، قابلیت کشت در مناطق خشک را دارد بطوریکه ژنوتیپ مذکور با داشتن حساسیت نه چندان کم به تنش

(Kim et al., 2006).

برخلاف درصد روغن که بین دو شرایط رطوبتی دارای تفاوت معنی‌دار بود، میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک، لینولنیک، استئاریک و پالمیتیک در دو شرایط تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم کاهش محتوی روغن نسبت اسیدهای چرب مذکور در پروفایل روغن ژنوتیپ‌ها، ثابت باقی ماند. اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک، استئاریک و پالمیتیک به ترتیب دارای افزایش حدود ۲، ۱۷، ۵ و ۸ درصد در شرایط خشکی بودند، اسید چرب لینولئیک، کاهش حدود دو درصد داشت (جدول ۶ و ۷). تنها اسید چرب پالمیتیک با کاهش حدود ۰/۰۲ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۶). در آزمایش کیم و همکاران (Kim et al., 2006)، محتوی روغن علی‌رغم کاهش اندک، در سطح معنی‌داری تغییر نکرد و میزان اسید اولئیک افزایش و اسید لینولئیک کاهش یافت که از این نظر با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

درصد روغن در شرایط خشکی کاهش یافت. یکی از دلایل آن می‌تواند افزایش میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب در شرایط تنش و در نتیجه کاهش درصد روغن باشد (Awasthi et al., 2017). همچنین محققان به کاهش کربوهیدرات‌های قابل دسترس، در شرایط تنش خشکی، جهت ساخت روغن اشاره کرده‌اند (Taize and Zeiger, 1991). از

اثر شرایط رطوبتی بر درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد روغن دانه در شرایط عادی و تنش خشکی به ترتیب با میانگین ۵۵/۵۶ و ۵۴/۱۷ درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌های کنجد نشان داد که تنها ژنوتیپ شماره KC50662 از نظر درصد روغن دانه (۵۶/۷۱ درصد) دارای تفاوت معنی‌دار و بیشتر نسبت به رقم اولتان (۵۳/۸۸ درصد) بود. درصد روغن سایر ژنوتیپ‌ها در سطح رقم اولتان بود و تفاوت معنی‌داری با آن نداشتند (جدول ۶).

سایر محققان نیز تغییرات درصد روغن در کنجد و سایر گیاهان در شرایط رطوبتی مختلف را گزارش کرده‌اند. کساب و همکاران (Kassab et al., 2012) گزارش کردند که با افزایش سطح تنش رطوبتی، درصد روغن دانه کنجد را کاهش یافت. ایوبی‌زاده و همکاران (Ayoubizadeh et al., 2018) نیز کاهش درصد روغن را در اثر تنش خشکی در کنجد گزارش کردند. در آزمایش اوزکان و کولاک (Ozkan and Kolak, 2013) بین ژنوتیپ‌های کنجد از نظر درصد روغن دانه تفاوت معنی‌دار وجود داشت ولی بین سطوح مختلف رطوبتی تفاوتی مشاهده نشد. همچنین در آزمایشی دیگر در شرایط عادی و تنش خشکی، با وجود کاهش ملایم در درصد روغن، تفاوت معنی‌داری برای درصد روغن دانه بین سطوح متفاوت رطوبتی گزارش نشد

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کنجد
Table 5. Combined analysis of variance for biochemical traits of sesame genotypes

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوی روغن	محتوی اسید پالمیتیک	محتوی اسید پالمیتولئیک	محتوی اسید استئاریک	محتوی اسید اولئیک	محتوی اسید لینولئیک	محتوی اسید لینولئیک	محتوی پروتئین خام	محتوی لیگنان کل روغن	قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن
		df	Oil content	Palmitic acid content	Palmitoleic acid content	Stearic acid content	Oleic acid content	Linoleic acid content	Linolenic acid content	Grain crude protein content	Total lignan content	Antioxidant power
Year (Y)	سال	1	92.529**	8.239**	0.013**	0.971 ^{ns}	61.723**	98.231**	0.0003 ^{ns}	2.247 ^{ns}	37279093**	584.267**
Moisture condition (M)	شرایط رطوبتی	1	28.995**	0.039 ^{ns}	0.009**	0.515 ^{ns}	12.933 ^{ns}	13.331 ^{ns}	0.151 ^{ns}	152.020**	6710298 ^{ns}	6863.753**
Y × M	سال × شرایط رطوبتی	1	24.054**	0.187 ^{ns}	0.010**	0.090 ^{ns}	8.902 ^{ns}	3.801 ^{ns}	0.060 ^{ns}	2.111 ^{ns}	12514084*	1077.677**
Error 1	خطای ۱	8	2.073	0.129	0.0065	1.334	2.914	3.071	0.087	6.173	1663599	46.809
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	16.752**	0.813**	0.0023**	1.039**	50.304**	52.287**	0.011 ^{ns}	3.773 ^{ns}	28.6092**	613.855**
Y × G	سال × ژنوتیپ	4	3.021 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.002*	0.119 ^{ns}	4.532 ^{ns}	4.936*	0.006 ^{ns}	1.607 ^{ns}	944742*	713.565**
M × G	شرایط رطوبتی × ژنوتیپ	4	3.612 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.001*	0.199 ^{ns}	1.462 ^{ns}	2.072 ^{ns}	0.018 ^{ns}	2.335 ^{ns}	1018186*	1234.197**
Y × G × M	سال × ژنوتیپ × شرایط رطوبتی	4	3.209 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0.001*	0.277 ^{ns}	1.707 ^{ns}	1.801 ^{ns}	0.018 ^{ns}	2.437 ^{ns}	466392 ^{ns}	389.705**
Error 2	خطای ۲	32	2.789	0.087	0.0004	0.221	1.960	1.617	0.012	3.112	280338	21.831
C.V %	درصد ضریب تغییرات		3.04	3.54	21.94	9.37	3.15	3.05	21.29	8.14	13.877	14.50

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
^{ns}: غیر معنی‌دار.

* and **: Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

جدول ۶ - مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های کنجد

Table 6. Mean comparison of seed biochemical traits in sesame genotypes

ژنوتیپ Genotypes	درصد روغن Oil content (%)	ژنوتیپ Genotype	درصد اسید پالمیتیک Palmitic acid content (%)	ژنوتیپ Genotyp	درصد اسید استئاریک Stearic acid content (%)	ژنوتیپ Genotyp	درصد اسید اولئیک Oleic Acid content (%)
KC50662	56.710	KC50999	8.549	Oltan	5.420	Oltan	47.073
KC50687	55.186	KC50687	8.530	KC50999	5.144	KC50321	45.797
KC50999	54.743	KC50662	8.404	KC50321	5.069	KC50662	44.095
Oltan	53.881	Oltan	8.244	KC50687	4.764	KC50999	43.149
KC50321	53.819	KC50321	7.917	KC50662	4.698	KC50687	41.948
Mean	54.868	میانگین	8.329		5.019		44.413
Mean of normal conditions	55.563	میانگین شرایط رطوبتی عادی	8.354		4.926		43.948
Mean of stress conditions	54.173	میانگین شرایط رطوبتی تنش	8.303		5.112		44.877
LSD 1%	1.869		0.330		0.526		1.566

جدول ۷ - مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × سال بر صفات بیوشیمیایی دانه در کنجد

Table 7. Mean comparison of genotype × year interaction effect on seed biochemical traits in sesame

ژنوتیپ Genotype	درصد اسید لینولئیک Linoleic Acid content (%)	ژنوتیپ Genotyp	لیگنان کل روغن (میلی گرم بر کیلوگرم) Total lignan content of oil (mg kg ⁻¹)
2014			
KC50687	44.409	KC50321	5055
KC50999	44.398	KC50662	4975
KC50662	43.256	Oltan	4533
KC50321	42.574	KC50687	4410
Oltan	39.899	KC50999	4382
2015			
KC50687	43.833	KC50321	3823
KC50999	41.217	KC50662	3500
KC50662	40.660	KC50999	3481
KC50321	38.520	Oltan	2549
Oltan	37.510	KC50687	2121
Mean	41.628	میانگین	3883
Mean of normal conditions	42.099	میانگین شرایط رطوبتی عادی	3548
Mean of stress conditions	41.156	میانگین شرایط رطوبتی تنش	4217
LSD 1%	1.496		634

مصرف آسیمیلات‌ها می‌شود، در واقع گیاه در برابر تنش غیر زنده با تولید ترکیبات

طرفی در شرایط تنش خشکی فرآیندهای آنزیمی و تشکیل پروتئین‌ها باعث

بالا بود.

در آزمایش بررسی تحمل به خشکی کنجد توسط اوزکان و کولاک (Ozkan and Kolak, 2013) با کاهش سطح رطوبت، میزان اسید اولئیک در هر دو رقم مورد بررسی کاهش یافت ولی میزان اسید لینولئیک در یکی از ارقام افزایش یافت و در دیگری تفاوت مشاهده نشد. در آزمایش بر روی کنجد در شرایط عادی و تنش خشکی، اسید اولئیک افزایش و اسید لینولئیک کاهش یافت (Kim et al., 2006).

تجزیه واریانس داده‌های برای اسید چرب پالمیتیک نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی دار وجود داشت (جدول ۵). پایین بودن میزان اسید پالمیتیک در نیم‌رخ اسیدهای چرب روغن از نظر سلامت تغذیه‌ای مناسب است. میزان اسید چرب پالمیتیک در روغن کنجد بر اساس استاندارد بین‌المللی کدکس باید بین ۷/۹-۱۲ درصد اسیدهای چرب باشد (FAO/WHO and Codex Alimentarius Commission, 2001)، یعنی بالاتر از ۱۲ درصد در روغن کنجد غیر مجاز است. با توجه به مضرات اسید چرب پالمیتیک قابل توجه می‌باشد که رقم اولتان کمترین میزان اسید چرب پالمیتیک را داشت و بعد از آن کمترین میزان به ژنوتیپ شماره KC50662 اختصاص داشت (جدول ۶).

اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای اسید لینولئیک (C18:2) در سطح احتمال پنج درصد

زیستی فعال با آثار تنش مقابله می‌کند (Hamrouni et al., 2001) که با اثر بر عملکرد محصول میزان روغن را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این آزمایش درصد پروتئین دانه نیز افزایش یافت. تغییرات در پروفایل اسیدهای چرب در بعضی منابع (Sanchez et al., 2018) به دلیل تفوق به شرایط تنش ذکر گردیده است. افزایش آنتی اکسیدان‌ها و گرایش ژنوتیپ‌ها به تولید اسیدهای چرب غیراشباع، رفتار سازگاری گیاه به تنش خشکی است که باعث تغییر در پروفایل اسیدهای چرب خواهد شد (البته با توجه به درصد و احتساب قدر مطلق اسید چرب مربوطه) (Moradi et al., 2017). بطور کلی میزان تغییرات درصد روغن و پروفایل اسیدهای چرب تحت تاثیر ژنتیک، محیط و اثر متقابل آن‌ها قرار دارد (Carlsson et al., 2008).

ژنوتیپ‌ها از نظر میزان اسیدهای چرب رفتارهای متفاوتی نشان دادند (جداول ۶ و ۷). داشتن مقادیر بیشتر از اسید چرب اولئیک در ترکیب روغن مزیت محسوب می‌شود زیرا جزو اسیدهای چرب ضروری می‌باشد. از نظر اسید چرب اولئیک، ژنوتیپ شماره KC50321 هم سطح رقم اولتان و سایر ژنوتیپ‌ها با تفاوت معنی دار، دارای درصد کمتری از این اسید چرب نسبت به رقم اولتان بودند (جدول ۶). ژنوتیپ شماره KC50662 از این نظر بعد از ژنوتیپ شماره KC50321 و در سطح رقم اولتان و دارای اسید چرب اولئیک

می‌باشد که ممکن است در دو سال اتفاق بیافتد بویژه که ژنوتیپ‌های متفاوت کنگجد نسبت به رژیم دمایی شبانه روز واکنش نشان می‌دهند، به عنوان مثال دماهای نسبتاً سرد در رشد کنگجد و در نتیجه بر میزان روغن آن مؤثر است (Nath et al., 2003).

کاهش یک یا تعدادی از اسیدهای چرب در مقابل افزایش یک یا تعدادی از اسیدهای چرب دیگر در روغن دانه، از شرایط عادی به تنش خشکی، با توجه به سهم آن‌ها در روغن، از نظر توازن روابط اکسیداسیون و احیاء، با توجه به تعداد پیوندهای دو گانه موجود در اسیدهای چرب مربوطه، قابل توجه می‌باشد. به طوری که در این آزمایش از شرایط عادی به خشکی، کاهش دو درصد در اسید چرب لینولئیک (C18:2)، در مقابل افزایش دو درصد در اسید چرب اولئیک (C18:1)، با توجه به سهم مشابه هر دو در پروفایل روغن (حدود ۴۰ درصد) رخ داد.

درصد پروتئین دانه ژنوتیپ‌های کنگجد در دو شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). میزان پروتئین در شرایط عادی (۲۰/۰۷۸ درصد) نسبت به شرایط تنش (۲۳/۲۲۰ درصد) کمتر بود (جدول ۶). در واقع میانگین محتوی پروتئین خام دانه با توجه به فعال شدن سازوکارهای تحمل به تنش و تنظیم اسمزی آب سلول‌ها برای سازگاری با تنش خشکی افزایش یافت، این نتیجه با نتایج

معنی‌دار بود (جدول ۷). در سال اول همه ژنوتیپ‌ها از نظر این اسید چرب با تفاوت معنی‌دار بالاتر از رقم اولتان قرار داشتند و در سال دوم تنها ژنوتیپ شماره KC50321 در حد رقم اولتان بود، سایر ژنوتیپ‌ها همانند سال اول با تفاوت معنی‌دار بالاتر از رقم مذکور قرار گرفتند.

اثر متقابل سه گانه ژنوتیپ \times تیمار رطوبتی \times سال برای اسید چرب پالمیتولئیک (C16:1) معنی‌دار بود (جدول ۵). و با توجه به مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه فقط در سال اول و در شرایط تنش بین ژنوتیپ‌های KC50321، KC50687 و KC50662 با شاهد و با میزان بیشتر، در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت و در بقیه حالات تفاوتی بین ژنوتیپ‌ها و شاهد مشاهده نشد. از نظر محتوی اسید چرب استئاریک (C18:0)، ژنوتیپ‌های KC50999 و KC50321 با رقم اولتان تفاوت معنی‌دار نداشتند. سایر ژنوتیپ‌ها، از نظر این اسید چرب در سطح پائین‌تر و معنی‌دار نسبت به رقم اولتان قرار گرفتند (جدول ۸).

از نظر نیم‌رخ مناسب اسیدهای چرب برای تغذیه وضعیت ژنوتیپ شماره KC50321 مناسب‌تر از سایرین بود زیرا دارای مقادیر بیشتر از اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولئیک بود و مقادیر کمتری از اسید چرب پالمیتیک داشت. اثر متقابل ژنوتیپ \times سال برای تعدادی از صفات بیوشیمیایی مورد بررسی بی‌شک مربوط به تفاوت‌های آب و هوایی

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × سال × شرایط رطوبتی بر درصد اسید پالمیتوئیک و قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن در ژنوتیپ‌های کنجد

Table 9. Mean comparison of genotype × year × moisture conditions interaction effect on seed palmitoleic acid content and antioxidant power in sesame genotypes

شرایط رطوبتی Moisture conditions	ژنوتیپ Genotype	درصد اسید پالمیتوئیک Palmitoleic acid content (%)	ژنوتیپ Genotype	قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن (میکرومول بر لیتر) Antioxidant power of oil ($\mu\text{mol L}^{-1}$)
2014				
شرایط رطوبتی نرمال Normal conditions	KC50999	0.111	KC50662	22.084
	KC50321	0.111	KC50687	15.908
	KC50662	0.097	KC50999	13.336
	KC50687	0.095	KC50321	12.663
	Oltan	0.096	Oltan	6.811
شرایط رطوبتی تنش Stress conditions	KC50321	0.107	KC50321	86.589
	KC50687	0.064	Oltan	55.356
	KC50662	0.063	KC50687	31.333
	KC50999	0.011	KC50662	23.463
	Oltan	0.009	KC50999	23.398
2015				
شرایط رطوبتی نرمال Normal conditions	KC50999	0.104	KC50999	37.837
	KC50687	0.12	KC50687	30.888
	KC50662	0.11	KC50662	26.571
	KC50321	0.104	KC50321	24.725
	Oltan	0.088	Oltan	24.367
شرایط رطوبتی تنش Stress conditions	KC50687	0.132	KC50999	56.594
	KC50999	0.106	Oltan	49.171
	KC50662	0.106	KC50321	46.638
	KC50321	0.096	KC50687	34.817
	Oltan	0.093	KC50662	21.744
Mean	میانگین	0.0911		32.215
Mean of normal conditions	میانگین شرایط رطوبتی عادی	0.1036		21.519
Mean of stress conditions	میانگین شرایط رطوبتی تنش	0.0787		42.910
LSD 1%		0.041		10.456

میانگین‌های اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × سال برای صفت لیگنان‌های کل روغن نشان داد که در سال اول همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با رقم اولتان نداشتند، ولی در سال دوم ژنوتیپ‌های KC50321، KC50662 و KC50999 با مقادیر بیشتر دارای تفاوت معنی‌دار با رقم اولتان بودند.

کیم و همکاران (Kim et al., 2006) نشان دادند که با افزایش تنش خشکی در اواخر دوره

آزمایش النعیم (El Naim, 2010) مطابقت داشت. تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر میزان پروتئین دانه وجود نداشت (جدول ۵).

با وجود افزایش میزان لیگنان‌های روغن در شرایط تنش، تفاوت معنی‌داری بین دو شرایط رطوبتی وجود نداشت (جدول ۵). اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × سال (جدول ۷) و ژنوتیپ × شرایط رطوبتی برای این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط رطوبتی بر میزان لیگنان کل دانه ژنوتیپ‌های کنجد

Table 9. Mean comparison of genotype × moisture conditions interaction effect on seed total lignin content in sesame genotypes

ژنوتیپ	لیگنان کل روغن (میلی گرم بر کیلوگرم)
Genotype	Total lignan content (mg kg ⁻¹)
	Noraml conditions شرایط رطوبتی نرمال
KC50321	4426
KC50662	3630
Oltan	3370
KC50999	3254
KC50687	3062
	Stress conditions شرایط رطوبتی تنش
KC50662	4844
KC50999	4609
KC50321	4452
Oltan	3712
KC50687	3469
Mean میانگین	3883
Mean of normal conditions میانگین شرایط رطوبتی عادی	3548
Mean of stress conditions میانگین شرایط رطوبتی تنش	4217
LSD 1%	634

معنی دار در سطح احتمال یک درصد در شرایط تنش افزایش یافت (جدول ۵) که نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی یکی از سازوکارهای سازگاری با تنش از طریق افزایش عوامل جلوگیری کننده از فعالیت عوامل اکسیدکننده می‌باشد. بنابراین با توجه به ثبات نسبی اسیدهای چرب در شرایط تنش، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی باعث ارتقاء کیفیت روغن کنجد از نظر قدرت احیاکنندگی و عوامل اکسیدکننده می‌شود. کیم و همکاران (Kim et al., 2006) گزارش کردند که خشکی باعث تغییر و بهبود کیفیت ترکیبات دانه کنجد می‌شود. نتایج پژوهش حاضر با نتایج حسین و همکاران

کپسول‌دهی، لیگنان‌های دی و تری گلیکوزید در روغن افزوده شد و محتوی سزامین و سزامولین دانه کاهش یافت. معنی دار شدن اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × تیمار رطوبتی برای صفت لیگنان کل روغن در شرایط رطوبتی عادی، ژنوتیپ شماره KC50321 از نظر این صفت بالاتر از رقم اولتان قرار گرفت و سایر ژنوتیپ‌ها هم در سطح رقم مذکور بودند (جدول ۹). در محیط تنش رطوبتی، ژنوتیپ‌های KC50662، KC50999 و KC50321 از نظر صفت لیگنان کل روغن با تفاوت معنی‌دار برتر از رقم اولتان بودند (جدول ۹). میزان قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن با تفاوت

معنی‌داری با رقم اولتان نداشتند (جدول ۸).
 به طور کلی در اثر تنش خشکی قدرت آنتی اکسیدانی روغن به شدت افزایش (۹۹ درصد) پیدا کرد. بی تردید قسمتی از این افزایش مربوط به افزایش ۱۹ درصد لیگنان کل روغن به عنوان عامل آنتی اکسیدان بود. گرچه دامنه لیگنان کل روغن افزایش چندانی نداشت ولی دامنه قدرت آنتی اکسیدانی روغن در شرایط عادی و تنش خشکی به ترتیب ۹/۹۹۸ و ۴۴/۰۱۱ میکرومول بر لیتر بود (جدول ۸). میانگین محتوی پروتئین خام دانه نیز به ترتیب ۲۰/۰۷۸ و ۲۳/۲۶۱ درصد بود. فعال شدن سازوکارهای تحمل به تنش و تنظیم اسمزی آب سلول‌ها و افزایش دامنه محتوی پروتئین خام دانه از ۰/۶۸ به ۲/۴۴ درصد نشان دهنده رفتار متفاوت ژنوتیپ‌ها در سازگاری به تنش خشکی بود (جدول ۱۰).
 در شرایط رطوبتی عادی همبستگی درصد روغن با اسید چرب پالمیتیک (C16:0) منفی و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و با اسید چرب اولئیک (C18:1) نیز منفی و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و با اسید چرب لینولئیک (C18:2) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۱۰). از طرفی با توجه به رابطه منفی و معنی‌دار بین دو اسید چرب اولئیک و لینولئیک با ضریب همبستگی بسیار بالای (** $r = -0.981$) می‌توان نتیجه گرفت که توازنی بین نیمرخ محتوی اسیدهای چرب و درصد روغن اتفاق افتاده به طوری که همگام با روند کاهشی در اسید چرب

(Hussein et al. 2015) نیز تطابق نشان داد.
 میزان لیگنان کل روغن در شرایط تنش افزایش داشت ولی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با وجود افزایش اندک و غیر معنی‌دار لیگنان‌ها در شرایط تنش تنها همین تفاوت اندک باعث افزایش معنی‌دار قدرت آنتی اکسیدانی روغن گردید. برای این صفت اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ × تیمار رطوبتی × سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که در سال اول و در شرایط رطوبتی عادی، تنها ژنوتیپ KC50662 دارای قدرت آنتی اکسیدانی بیشتر نسبت به رقم اولتان بود و سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با رقم شاهد نداشتند (جدول ۷).
 در سال اول و در شرایط رطوبتی تنش خشکی ژنوتیپ شماره KC50321 دارای قدرت آنتی اکسیدانی بیشتر با تفاوت معنی‌دار با رقم اولتان بود و سایر ژنوتیپ‌ها با تفاوت معنی‌دار در مراتب پائین‌تر از رقم مذکور قرار گرفتند (جدول ۸). در سال دوم و در شرایط رطوبتی عادی تنها ژنوتیپ شماره KC50999 با میزان بیشتری قدرت آنتی اکسیدانی، تفاوت معنی‌دار با رقم اولتان نشان داد. سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. در سال دوم و در شرایط تنش رطوبتی روغن ژنوتیپ شماره KC50662 با تفاوت معنی‌دار نسبت به رقم اولتان از قدرت آنتی اکسیدانی کمتری برخوردار بود و سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کنجد در شرایط عادی (پائین قطر) و در شرایط تنش رطوبتی (بالای قطر)
 Table 10. Correlation between biochemical traits of sesame genotypes under normal (below diameter) and stress conditions (above diameter) by Pearson method

صفت	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Traits	محتوی روغن	محتوی پروتئین خام دانه	محتوی اسید پالمیتیک	محتوی اسید پالمیتولئیک	محتوی اسید استئاریک	محتوی اسید اولئیک	محتوی اسید لینولئیک	محتوی اسید لینولئیک	محتوی لیگنان کل روغن	قدرت آنتی اکسیدانی روغن
Traits	Oil content	Seed crude protein content	Palmitic acid content	Palmitoleic acid content	Stearic acid content	Oleic acid content	Linoleic acid content	Linolenic acid content	Total lignans content	Antioxidant power
1	1	-0.018 ^{ns}	-0.142 ^{ns}	-0.168 ^{ns}	-0.042 ^{ns}	-0.345 ^{ns}	0.332 ^{ns}	0.059 ^{ns}	0.127 ^{ns}	-0.403 [*]
2	0.060 ^{ns}	1	0.013 ^{ns}	-0.046 ^{ns}	-0.162 ^{ns}	-0.473 ^{**}	0.513 ^{**}	-0.131 ^{ns}	0.414 [*]	0.091 ^{ns}
3	-0.390 [*]	0.052 ^{ns}	1	0.421 [*]	-0.205 ^{ns}	-0.148 ^{ns}	-0.012 ^{ns}	0.011 ^{ns}	-0.547 ^{**}	-0.317 ^{ns}
4	-0.128 ^{ns}	-0.228 ^{ns}	-0.049 ^{ns}	1	-0.233 ^{ns}	0.073 ^{ns}	-0.122 ^{ns}	0.282 ^{ns}	-0.509 ^{**}	0.254 ^{ns}
5	0.275 ^{ns}	0.037 ^{ns}	-0.387 [*]	-0.272 ^{ns}	1	0.259 ^{ns}	-0.379 [*]	0.377 [*]	-0.187 ^{ns}	0.207 ^{ns}
6	-0.705 ^{**}	-0.155 ^{ns}	-0.057 ^{ns}	-0.106 ^{ns}	0.080 ^{ns}	1	-0.940 ^{**}	0.130 ^{ns}	-0.220 ^{ns}	0.399 [*]
7	0.734 ^{**}	0.124 ^{ns}	-0.077 ^{ns}	0.118 ^{ns}	-0.142 ^{ns}	-0.981 ^{**}	1	-0.318 ^{ns}	0.404 [*]	-0.353 ^{ns}
8	0.242 ^{ns}	0.199 ^{ns}	-0.186 ^{ns}	0.397 [*]	0.135 ^{ns}	-0.310 ^{ns}	0.259 ^{ns}	1	-0.524 ^{**}	0.199 ^{ns}
9	0.304 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	-0.574 ^{**}	0.096 ^{ns}	0.175 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.294 ^{ns}	1	0.020 ^{ns}
10	-0.678 ^{**}	-0.107 ^{ns}	0.641 ^{**}	0.058 ^{ns}	-0.466 ^{**}	0.256 ^{ns}	-0.306 ^{ns}	-0.209 ^{ns}	-0.456 [*]	1

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
 ns: غیر معنی دار.

* and **: Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
 ns: Not- significant.

اولئیک به لینولئیک از شرایط رطوبتی عادی به شرایط تنش رطوبتی افزایش نشان داد و روند این تغییر همگام با افزایش پروتئین دانه بود. قابل توجه است که رابطه اسید اولئیک و اسید لینولئیک در هر دو شرایط منفی بود.

درصد پروتئین دانه و اسید چرب لینولئیک (C18:2) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با لیگنان کل روغن داشتند (جدول ۱۰). همچنین اسیدهای چرب پالمیتیک و لینولئیک با لیگنان‌های کل روغن همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نشان دادند. بین قدرت آنتی‌اکسیدانی و درصد روغن و اسید چرب استئاریک رابطه منفی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، با لیگنان کل روغن رابطه منفی معنی‌دار در سطح پنج درصد و با میزان درصد اسید چرب پالمیتیک در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱۰). بین قدرت آنتی‌اکسیدانی یا قدرت احیاء‌کنندگی روغن و درصد روغن دانه و درصد اسید چرب اولئیک به ترتیب همبستگی منفی و مثبت در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری

در انتخاب ژنوتیپ در برنامه‌های به‌نژادی دو دیدگاه: یکی عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط عادی و تنش رطوبتی و دیگری تحمل ژنوتیپ به تنش مطرح می‌باشد. ژنوتیپ شماره KC50662 به عنوان مصداق دیدگاه اول، به

اولیه پالمیتیک (C16:0) روندی افزایشی در اسید چرب استئاریک رخ داد و از طرفی با کاهش اسید چرب اولئیک و افزایش اسید چرب لینولئیک که در توازن با یکدیگر می‌باشند روند افزایش روغن همگام با این اتفاقات بود. از آنجائیکه که تولید هر یک از این ترکیبات وابسته به هم می‌باشند، این روابط منطقی به نظر می‌رسد. این نتایج با نتایج آزمایش کرت (Kurt, 2018) موافقت داشت.

در شرایط تنش رطوبتی نیز بین درصد روغن و قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن همبستگی منفی معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۱۰). میتوان نتیجه گرفت در شرایط تنش هرچه تخصیص مواد فتوسنتزی برای تشکیل عوامل ضداکسایش بیشتر باشد از میزان تخصیص آن‌ها برای تولید روغن کاسته می‌شود. بین پروتئین دانه و سایر صفات در شرایط رطوبتی عادی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ولی در شرایط تنش خشکی، بین این صفت با اسید چرب اولئیک همبستگی منفی و با اسید چرب لینولئیک همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۱۰).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان درصد پروتئین دانه و اسید چرب لینولئیک دیده شد. ظاهراً ضمن تغییر در میزان درصد پروتئین دانه از شرایط عادی به تنش خشکی به طور توأم نسبت اسیدهای چرب نیز از شرایط عادی به تنش تغییر کرد. بطوریکه نسبت اسید چرب

چرب اولئیک، پالمیتولئیک و لینولئیک ژنوتیپ KC50662 نیز هم سطح یا با میزان بیشتر نسبت به رقم شاهد اولتان بود.

قدرت آنتی‌اکسیدانی و محتوی اسید چرب استتاریک در ژنوتیپ KC50662 پائین‌تر از رقم شاهد اولتان بود. ژنوتیپ شماره KC50662 کمترین میزان اسید چرب مضر پالمیتیک را بعد از رقم اولتان داشت. ضمن این که درصد پروتئین کلیه ژنوتیپ‌ها افزایش نشان داد به طور کلی تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر میزان پروتئین دانه وجود نداشت. در حقیقت بر اساس برآیند نتایج کمی و کیفیت ژنوتیپ KC50662 برتری خود را از نظر عملکرد دانه و کیفیت روغن نشان داد. با توجه به رفتار کلی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و کیفیت روغن و با توجه به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط × سال توجه به تغییرات واکنش ژنوتیپ‌ها در انتخاب والدین در برنامه به‌نژادی کنگد ضروری است.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت محترم گروه آموزشی زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران - مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی - سازمان تحقیقات آموزش

علت داشتن عملکرد دانه بالا، قابلیت کشت در مناطق خشک را دارد، بطوریکه ژنوتیپ مذکور با داشتن حساسیت نه چندان کم به تنش خشکی، ولی به علت عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط رطوبتی می‌تواند در دوره‌های خشک، عملکرد دانه قابل قبول داشته باشد و در دوره‌هایی که آب قابل دسترس بیشتر است، توان استفاده بهینه از شرایط مناسب جهت عملکرد دانه بالا را دارا است. اگر هدف فقط شناسایی منابع تحمل به خشکی، بر اساس دیدگاه دوم باشد، ژنوتیپ‌های KC50658، KC50983 و KC50687 که از کمترین حساسیت و کاهش عملکرد دانه برخوردار بودند قابل استفاده می‌باشند.

با توجه به افزایش لیگان‌ها و افزایش معنی‌دار قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن، عدم تغییرات میزان اسیدهای چرب مفید و کاهش اسید چرب پالمیتیک در نیم‌رخ اسیدهای چرب روغن، همچنین افزایش محتوی پروتئین دانه از شرایط عادی به تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی باعث بهبود کیفیت تغذیه‌ای روغن و ارتقاء آن از نظر قدرت احیاکنندگی و جلوگیری از عوامل اکسیدکننده میشود. بنابراین می‌توان گفت که تنش خشکی باعث بهبود کیفیت روغن نیز شد. ژنوتیپ KC50662 از وضعیت عملکردی مناسب در دو شرایط رطوبتی برخوردار بود و از نظر درصد روغن دانه دارای تفاوت معنی‌دار و بیشتر نسبت به رقم اولتان بود. از نظر لیگان کل روغن، اسید

و ترویج کشاورزی که ما را در انجام این می‌کنند.
پژوهش یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری

References

- Amani, M., Golkar, P., and Mohammadi-Nejad, G. 2012.** Evaluation of drought tolerance in different genotypes of sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Recent Scientific Research 3 (4): 226-230.
- Ayoubizadeh, N., Laei, G., Dehaghi, A. M., Sinaki, M. J. and Rezvan, S. 2018.** Seed yield and fatty acids composition of sesame genotypes as affected by foliar application of iron nano-chelate and fulvic acid under drought stress. Applied Ecology and Environmental Research 16 (6): 7585-7604.
- Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berger, J., Siddique, K. H., and Nayyar, H. 2014.** Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. Functional Plant Biology 41 (11): 1148-1167.
- Benzie, I. F., and Strain J. J. 1999.** Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. Methods in Enzymology 299: 15-27.
- Bhatnagar, A. S., Hemavathy J., and Gopala Krishna A. G. 2015.** Development of a rapid method for determination of lignans content in sesame oil. Journal of Food Science and Technology 52 (1): 521-527.
- Boureima, S., Diouf, S., Amoukou, M., and Van Damme, P. 2016.** Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. International Journal of Pure and Applied Bioscience 4 (1): 45-60.
- Carlsson, A. S., Chanana, N. P., Gudu, S., Suh, M. C., and Were, B. A. I., 2009.** Sesame. Compendium of Transgenic Crop Plants: 227-246.
- El Naim, A. M., and Ahmed, M. F. 2010.** Effect of irrigation on vegetative growth, oil yield and protein content of two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6 (5): 630-636.
- FAO, 2018.** <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

- FAO and WHO. 2001.** Codex Alimentarius: General requirements (food hygiene) (Vol. 1). Food & Agriculture Org.
- Fernandez, G. C. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water stress.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science* 29 (5): 897-912.
- Hamrouni, I., Salah, H. B., and Marzouk, B. 2001.** Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. *Phytochemistry* 58 (2): 277-280.
- Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Jamaati-e-Somarin, S., Saeidi, M., and Gholipouri, A. 2009.** Investigation of water stress on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan region. *Research Journal of Environmental Sciences* 3 (2): 239-244.
- Hassanzadeh, N., Kazemi Tabar, S. K., Asouri, M., Hashemlou, F., and Ahmadi, A. A. 2014.** The evaluation of antioxidant properties of native sesame varieties of Iran. *Official Journal of Iranian Association of Clinical Laboratory Doctors. Laboratory & Diagnosis* Vol. 5, No 22.
- Hussein, Y., Amin, G., Azab, A., and Gahin, H. 2015.** Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. *Journal of Plant Sciences* 10 (4): 128.
- Hwang, L. S. 2005.** Sesame oil. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* 2: 547-552.
- ISO 12966-2, 2011.** Animal and vegetable fats and oils-gas chromatography of fatty acid methyl esters- Part 2: Preparation of fatty acid methyl esters. International Organization for Standardization.
- ISO 5511, 1992.** Oilseeds- determination of oil content- method using continuous-wave low- resolution nuclear magnetic resonance spectrometry (rapid method). International Organization for Standardization.
- Kassab, O. M., Mehanna, H. M., and Aboelill, A. 2012.** Drought impact on growth and yield of some sesame varieties. *Journal of Applied Sciences Research* 8 (8): 4544-4551.
- Khammari, M., Ghanbari, A., and Rostami, H. 2013.** Evaluation indicator of drought stress in different cultivars of sesame. *International Journal of Management Sciences*

- and Business Research 2 (9): 28.
- Kim, K. S., Ryu, S. N., and Chung, H. G. 2006.** Influence of drought stress on chemical composition of sesame seed. Korean Journal crop Science 51 (1): 73-80.
- Kurt, C. 2018.** Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. Grasas y Aceites 69 (1): 241.
- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., and Marzouk, B., 2009.** Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products 30 (3): 372-379.
- Molaie, P., Ebadi, A., Namvar, A., and Bejandi, T. K. 2012.** Water relation, solute accumulation and cell membrane injury in sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars subjected to water stress. Annals of Biological Research 3 (4): 1833-1838.
- Moradi, P., Mahdavi, A., Khoshkam, M., and Iriti, M., 2017.** Lipidomics unravels the role of leaf lipids in thyme plant response to drought stress. International Journal of Molecular Sciences 18 (10): 2067.
- Nagendra Prasad, M. N., Sanjay, K. R., Prasad, D. S., Vijay, N., Kothari, R., and Nanjunda Swamy, S. 2012.** A review on nutritional and nutraceutical properties of sesame. Journal of Nutrition and Food Sciences 2 (127): 2.
- Nath, R., Chakraborty, P. K., Bandopadhyay, P., Kundu, C. K., and Chakraborty, A. 2003.** Analysis of relationship between crop growth parameters, yield and physical environment within the crop canopy of sesame (*Sesamum indicum*) at different sowing dates. Archives of Agronomy and Soil Science 49 (6): 677-682.
- Ozkan, A., and Kulak, M. 2013.** Effects of water stress on growth, oil yield, fatty acid composition and mineral content of *Sesamum indicum*. Journal of Animal and Plant Sciences 23 (6): 1686-90.
- Poor-Esmail, H. A., Fanaei, H. R., and Saberi, M. H. 2014.** Evaluation of drought tolerant cultivars and lines of sesame using stress tolerance indices. Scientific Journal of Crop Science 3 (6): 66-70.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop science 21 (6): 943-946.
- Sanchez, J., Canales Castilla, F. J., Tweed, J. K., Lee, M. R. F., Rubiales, D., Gómez-Cadenas, A., Arbona, V., Mur, L. A., and Prats, E. 2018.** Fatty acid profile changes during gradual soil water depletion in oats suggests a role for

jasmonates in coping with drought. *Frontiers in Plant Science* 1077.

Sadeghi, N., Oveisi, M.R., Hajimahmoodi, M., Jannat, B., Mazaheri, M., and Mansouri, S. 2010. The contents of sesamol in Iranian sesame seeds. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*: 101-105.

Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37 (1): 43-50.

Suja, K. P., Jayalekshmy, A., and Arumughan, C. 2004. Free radical scavenging behavior of antioxidant compounds of sesame (*Sesamum indicum* L.) in DPPH• system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (4): 912-915.