

ارزیابی آناتومیک توان احیا دو لاین DM-2 و H158A/H543R آفتابگردان دانه روغنی تحت تنش

خشکی

نسرین اکبری^۱، رضا درویش زاده^{۲*}

۱. دانش آموخته دکتری اصلاح نباتات-ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه.
۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه. رایانامه: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

چکیده

امروزه تغییرات اقلیمی و پیامد اصلی آن، تنش خشکی، به موازات افزایش جمعیت جهان، تأمین امنیت غذایی را در اکثر کشورهای جهان با چالش جدی مواجه نموده است؛ بنابراین ضرورت توجه به مطالعات تنش خشکی، در راستای شناسایی مکانیسم‌های مقاومت در ارقام گیاهی که منتهی به حفظ پتانسیل تولید در محصولات کشاورزی می‌شوند، انکارناپذیر است. در این مطالعه ارزیابی آناتومیک دو لاین DM-2 و H158A/H543R آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت گلدانی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مرحله ۸ برگی انجام شد. بدین منظور ضخامت لایه‌های بافت‌های کلانشیم، اپیدرم، پارانشیم مغز و پارانشیم پوستی بافت ساقه در هر یک از شرایط نرمال و تنش خشکی بعد از رنگ‌آمیزی با استفاده از عدسی مشبک و مدرج میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شده و تعداد سلول در ضخامت لایه بافت کلانشیم شمارش گردید. در ادامه مقایسه آناتومیک دو لاین متحمل و حساس آفتابگردان بعد از احیا نیز انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان از تأثیرپذیری آناتومی ساقه از شرایط تنش داشت. بافت اپیدرم و پارانشیم مغز بیشترین ضخامت را در لاین متحمل تحت شرایط نرمال نشان دادند. بیشترین ضخامت بافت پارانشیم پوست در لاین متحمل تحت شرایط تنش و در لاین حساس تحت شرایط نرمال مشاهده شد. در شرایط احیا بین لاین‌ها اختلاف معنی‌دار در بافت اپیدرم، پارانشیم مغز و بافت پارانشیم پوست مشاهده شد. نتایج نشان داد لاین متحمل بیشترین ضخامت بافت پارانشیم پوستی را دارد، بنابراین افزایش بافت پارانشیم پوستی به عنوان جزئی از مکانیسم‌های مهم مقاومت برگشت‌ناپذیر تایید می‌شود.

کلید واژه‌ها: آفتابگردان، بافت پارانشیم، بازیابی، تحمل خشکی، آناتومی ساقه

مقدمه

تنش به شرایط فیزیولوژیکی، که سبب ایجاد تغییرات، برهم خوردن تعادل و کند شدن یا توقف عملکرد نظام‌های طبیعی می‌گردند، اشاره دارد. کمبود یا بیشبود آب، شوری خاک و آب آبیاری، درجه حرارت بالا و پایین، تجمع فلزات سنگین (Jaleel *et al.*, 2009) و شدت زیاد و کم نور از مهمترین عوامل تنش‌زای محیطی هستند. در این میان تنش خشکی به عنوان مؤثرترین عامل بر کشاورزی جهان (Hayano-Kanashiro, 2009)، مهمترین عامل کاهش دهنده عملکرد در عمده محصولات زراعی از جمله آفتابگردان در بسیاری از کشورها است (Rauf, 2008).

تنش کم آبی در نتیجه عدم تأمین کامل نیاز آبی گیاه حاصل می‌شود. این امر به نسبت نرخ تعرق به آب جذب شده توسط ریشه وابسته است و خود ناشی از بارش ناکافی، کاهش سطح آب زیرزمینی یا احتباس آب توسط ذرات خاک می‌باشد. بر این اساس تنش خشکی هنگامی تظاهر می‌یابد، که تقاضای بالای تبخیر اتمسفری برگ‌ها (تبخیر- تعریق بالقوه) از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک (تبخیر- تعرق حقیقی) فراتر می‌رود، که رایج‌ترین تعریف ارائه شده به تنش خشکی نیز می‌باشد (Lambers *et al.*, 2008; Salehi-Lisar and Bakhshayeshan-Agdam, 2016). اما از بُعد زراعی تنش عبارت از شرایطی که آب از نظر مقدار و توزیع به اندازه‌ای نیست، که گیاه توان تولید عملکرد بالقوه خود را داشته باشد. در واقع این امر سبب آسیب به گیاه و محدودیت در بروز پتانسیل ژنتیکی عملکرد می‌گردد (Blum, 2011). تغییرات در ساختار آناتومی گیاهان به منظور غلبه بر تنش یک مکانیسم دفاعی است (Makbul *et al.*, 2011) که بسته به نوع گیاه، ژنوتیپ (Kisman *et al.*, 2022)، بافت مورد بررسی (Mustafa *et al.*, 2019)، فصل رشد (Sorkhi, 2017) و شدت تنش (Mustafa *et al.*, 2019) این تغییرات

می‌توانند متفاوت باشند.

تحت تنش کم آبی سیستم حمل و نقل آب گیاهان که شامل شبکه پیچیده‌ای از مجراهای آوند چوبی است، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این سیستم، آب تحت فشار منفی (کشش) حاصل از تعرق در برگ‌ها، از طریق ستون ممتد آب که تا ریشه‌ها امتداد یافته (جایی که کاهش فشار منجر به جذب آب از خاک می‌شود) حرکت می‌کند (Wheeler and Strock, 2008; Trifilo *et al.*, 2014). علیرغم وجود فشار منفی، ستون‌های آب در گیاهان باید کاملاً حاوی مایع و عاری از حباب هوا باشند. این حالت مایع، ناپایدار و مستعد حباب‌زایی است؛ تغییر فاز از فرم مایع به بخار آب، سبب تشکیل حباب‌های گازی (آمبولی هوا) می‌شود، این امر از حرکت آب جلوگیری می‌کند. تشکیل آمبولی در آوند چوبی مانع از رسیدن شیره آوندی به سطوح بالقوه کشش می‌شود. بنابراین آمبولی آوند چوبی ناشی از تنش کم آبی یکی از علل اصلی مرگ و میر گیاهان است (Ahmad *et al.*, 2017).

تغییرات آناتومیکی ناشی از کمبود آب در گیاهان شامل افزایش رسوبات چوب یا چوب پنبه در سلول‌های پوستی، آندودرم و لایه‌های سلولی که در مجاورت کورتکس و مدولا واقع هستند، می‌باشند. این چنین تغییراتی، از خشک شدن و مرگ سلول‌های کورتکس محافظت می‌نمایند (Hirokyu *et al.*, 2004; Emanuel *et al.*, 1982; Mostajeran *et al.*, 2008). تحت تنش نسبت آوند چوب و آبکش، ساختار دیواره، اندازه لومن و منطقه لومن (Child, *et al.*, 2003)، اندازه و تعداد آوندهای چوبی بر نرخ انتقال آب تأثیر می‌گذارند (Lynch *et al.*, 2021; Strock *et al.*, 2021). وجود دستجات آوند چوبی بزرگ و افزایش قطر آوند چوبی و تعداد متاگزایم‌ها در محیط‌های با محدودیت آب عامل عملکرد خوب ژنوتیپ‌های سویا است (Prince *et al.*, 2017). همچنین در زیتون، آوند چوبی بزرگ، هدایت ریشه را در طول تنش خشکی افزایش و امکان ریشه‌زایی عمیق و جذب آب از مسافت طولانی را فراهم می‌کند (Tan *et al.*, 2020).

یکی از صفات ظاهری که نشان از مقاومت به تنش خشکی در گیاهان دارد، ویژگی‌های ساختاری و رشدی ریشه است. ریشه تأثیر قابل توجهی بر جذب آب دارد (Maurel *et al.*, 2020). همچنین ریشه‌ها ساختار خود را در پاسخ به خشکسالی برای افزایش نفوذ، توزیع و تماس با خاک برای بهبود جذب آب و مواد مغذی سازگار می‌سازند (Uga *et al.*, 2013). این سازگاری‌های ساختاری، تغذیه و جذب آب لازم برای حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بهره‌وری گیاه در طول خشکسالی را تضمین می‌کند. در نتیجه تغییر ساختار مکانیکی خاک که به واسطه کم آبی حاصل می‌شود، نفوذ ریشه به عمق خاک محدود می‌گردد. این محدودیت به نوبه خود، مانع جذب منابع و در نتیجه کاهش بهره‌وری محصول می‌شود (Lynch *et al.*, 2022). در چنین شرایطی سازگاری آناتومیکی ریشه باعث بهبود نفوذ ریشه در خاک خشک می‌شود. به عنوان مثال، سلول‌های کوچک‌تر قشر بیرونی ریشه را در برابر بیضی شدن تثبیت و از فروپاشی آن جلوگیری می‌کنند. همچنین اجازه نفوذ مطلوب ریشه در خاک را فراهم می‌کنند. در مقابل، سلول‌های قشر مزودرم بزرگ و ریشه‌های محوری ضخیم با اثرنشیم بیشتر، هزینه متابولیک اکتشاف خاک را کاهش داده و اجازه رشد ریشه در خاک‌های سخت را می‌دهند (Chimungu *et al.*, 2015).

گزارشی از تغییرات آناتومی برگ گیاه طی تنش خشکی نیز ارائه شده است. چنانچه برگ‌های گیاهانی که به مدت ۸ روز آب دریافت نکنند (محتوای نسبی آب، ۲۴٪)، به حدی کوچک می‌شوند که فضای بین سلولی کمی در پارانشیم اسفنجی آنها مشاهده می‌شود. بافت آوندی چنین برگ‌هایی فشرده شده و برخی از انواع مختلف سلول‌ها متلاشی می‌شوند. انواع مشابهی از تغییرات در مقاطع ساقه، به ویژه فشرده‌سازی بافت قشر و آوندی مشاهده می‌شود (Todd *et al.*, 1974). در بررسی اثر تنش خشکی بر بافت گندم مشخص شد که توسعه سلول‌های مزوفیل، بافت آوندچوبی، دستجات آوندی و دستجات غلاف حرکت سریع‌تر آب و نمک‌های معدنی از ریشه تا ساقه را تسهیل کرده و تعداد تریکوم‌های بیشتر به کاهش سرعت تعرق آب از برگ‌های اپیدرمی کمک می‌کنند. بر این اساس ارقام متحمل به خشکی معرفی گردیدند (David *et al.*, 2017).

مطالعه اثر تنش خشکی بر آناتومی بافت‌ها در جو (Sorkhi, 2017)، سویا (Makbul *et al.*, 2011; Mangena, 2018; Kisman, 2018)، زیتون (Mustafa *et al.*, 2019)، لاسیروس (*et al.*, 2022)، و گل جعفری (Zulfıqar *et al.*, 2020) انجام شده است.

تنش ضمن اینکه اثرات سوء بر فعالیت‌های فیزیولوژی، بیوشیمیایی، و نهایتاً رشد و توسعه و عملکرد گیاه می‌گذارد (Anjum *et al.*, 2011; Seleiman *et al.*, 2021)، منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن نیز می‌شود. گیاهان با صرف انرژی از مکانیسم‌های

مختلفی از جمله تجمع پروتئین کینازهای وابسته به میتوزن مانند دهیدرین‌ها و افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی (Akbari and Darvishzadeh, 2023)؛ به‌عنوان سیستم دفاعی، جهت غلبه یا تعدیل اثرات تجمع گونه‌های فعال استفاده می‌کنند. در نقطه مقابل با رفع شرایط تنش و آبیاری مجدد، لازم است سطح فعالیت مکانیسم‌های فوق تعدیل شده و گیاه بتواند با مکانیسم‌های جبرانی با کمترین آسیب به وضعیت قبل از تنش برگردد که از آن به احیا یا بازیابی یاد می‌شود. البته زمان لازم برای بازیابی کامل در محصولات مختلف متفاوت است. مثلاً در گندم و ذرت توان احیا بعد از آبیاری مجدد، با شدت قرار گرفتن در معرض تنش خشکی مرتبط است (Abid *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018). توانایی گیاه برای حفظ عملکرد در طول خشکسالی (تحمل) و بهبود سریع پس از آبیاری مجدد (احیا) در طول دوره‌های رویشی بر تعیین بهره‌وری نهایی محصول مؤثر و مهم است (Abid *et al.*, 2018). بر اساس مطالعات انجام شده در گندم و ذرت، ارقام متحمل از توان احیای بالاتری برخوردارند (Abid *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018)، البته بیان نظر قطعی نیاز به مطالعات و تحقیقات بیشتری دارد.

در مطالعه حاضر با توجه به واکنش مشخص تحمل به تنش خشکی دو لاین DM-2 و H158A/H543R (Akbari and Darvishzadeh, 2023)، سعی گردید تا با مقایسه تغییرات آناتومی در ساختار ساقه لاین‌های متحمل و حساس تحت تنش خشکی، بینش دقیق‌تری از مکانیسم تحمل از بُعد تغییرات آناتومی در آفتابگردان بدست آید. از سوی دیگر پتانسیل احیا یا به عبارتی برگشت‌پذیری تغییرات آناتومی حاصل از تنش، بعد از رفع شرایط تنش در دو لاین متحمل و حساس مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت ساختار آناتومی مطلوب ویژه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان جهت گزینش ارقام متحمل ارائه گردید.

مواد روش‌ها

مواد گیاهی

دو لاین DM-2 و H158A/H543R به ترتیب تهیه شده از مراکز تحقیقاتی USDA (آمریکا) و ASGROW (فرانسه) در آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار تحت شرایط نرمال (شاهد) و تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت‌گلدانی در مرحله ۸ برگی بر اساس ویژگی‌های آناتومی و برخی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع بوته (سانتیمتر)، محتوای نسبی آب (درصد)، نشت یونی (درصد) و کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم) ارزیابی شدند. جهت سنجش نشت یونی از روش شی و همکاران (Shi *et al.*, 2014) و محتوای نسبی آب (RWC) از روش فرات (Ferrat and Lova, 1999) استفاده شد. در ادامه ویژگی‌های آناتومی دو لاین در شرایط احیا (۲۴ ساعت بعد از آبیاری نمونه‌هایی که تحت تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت‌گلدانی قرار داشتند) ارزیابی گردید. کشت در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی (۲۳/۸ در ۲۳/۷ سانتیمتر) حاوی خاک تقویت شده با کود دامی (به نسبت ۱ ماسه ۲ خاک) انجام گرفت. گیاهان در شرایط محیطی کنترل شده (متوسط دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۴۷٪، با شدت نور ۱۲۰۰۰ لوکس و دوره شبانه‌روزی ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) پرورش یافتند. اعمال تنش خشکی در مرحله ۸ برگی به‌صورت تدریجی آغاز و تا سطح ۳۰ درصد ظرفیت‌گلدانی ادامه یافت. سه روز گیاهان تحت تنش ۳۰ درصد گلدانی نگهداری شدند. دوره تنش به مدت ۱۸ روز به طول انجامید. جهت مقایسه بافت کلانشیم، اپیدرم، پارانشیم مغز و پارانشیم پوستی تشکیل دهنده ساختار ساقه، تحت شرایط نرمال (شاهد) و تنش خشکی ۳۰ درصد گلدانی، و همچنین تحت شرایط احیا در دو لاین متحمل و حساس، از تازه‌ترین بخش ساقه که طی دوره اعمال تیمار تشکیل شده، نمونه‌گیری شد و نمونه‌ها در محلول تثبیت‌کننده اف ای ای (۵ درصد اسید استیک، ۵ درصد فرمالین، ۹۰ درصد الکل ۷۰ درصد) قرار داده شده و در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان مطالعه نگهداری شدند.

برش و رنگ‌آمیزی نمونه‌ها

برای تشریح ساختار ساقه، مقاطع برش داده شده به روش کارمن زاجی - سبز متیل، رنگ‌آمیزی شدند و با میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفتند (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011). در نهایت بررسی بخش‌های مختلف مورد نظر ساختار ساقه در زیر میکروسکوپ مدل زایس، که مجهز به عدسی مشبک و مدرج بود، انجام شد و عکسبرداری با دوربین دیجیتالی SONY مدل

DSC-W35 نصب شده روی میکروسکوپ انجام گرفت. با استفاده از عدسی مشبک و مدرج ضخامت لایه‌های بافت‌های اپیدرم، پارانشیم مغز و پارانشیم پوستی برای هر تیمار در سه تکرار اندازه‌گیری گردید و تعداد سلول در ضخامت لایه بافت کلانشیم شمارش گردید. برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی از نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده شد. جهت محاسبه درصد تغییرات صفت نسبت به شاهد از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

بحث و نتایج

بررسی اثر تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های آفتابگردان

تغییرات قابل توجهی در صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لاین‌های مذکور تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط نرمال مشاهده شد. به عنوان نمونه تحت شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته و محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شرایط نرمال کاهش و نشت یونی افزایش یافت (جدول ۱). افزایش نشت یونی نشان از حساسیت ژنوتیپ و توان مقاومتی پایین آن است (Ahmadikhah and Marufinia, 2016; Cox and Jolliff, 1986; Sairan et al., 2002). همچنین در میانگین صفات آناتومیکی تحت شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال و شدت رنگ‌پذیری در نمونه‌هایی که تحت شرایط تنش قرار گرفتند (شکل ۱ و ۲)، اختلاف مشاهده شد که همه این موارد می‌تواند مؤید حضور و اعمال شرایط تنش بر گیاه در مطالعه حاضر باشد (جدول ۱).

جدول ۱- تاثیر تنش خشکی ۳۰٪ بر صفات آناتومیکی ساقه در آفتابگردان دانه روغنی

Table 1. The effect of 30% drought stress on stem anatomy traits in oilseed sunflower

درصد تغییرات صفت نسبت به شاهد Mean percentage of trait changes compared to control	میانگین Mean		صفات (میکرومتر) Character (Micrometer)
	تنش خشکی Drought stress conditions	شرایط نرمال Normal conditions	
15	28.33±0.18	33.33±1.54	ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness
15.7	47.08±0.78	55.83±1.70	ضخامت بافت پارانشیم پوستی Cortex Parenchymal tissue thickness
60.20	87.5±0.15	104.17±2.11	ضخامت بافت پارانشیم مغز Pith parenchymal tissue thickness
23.2	32±1.27	41.67±0.90	ارتفاع بوته Plant height
7.88	78.42±0.94	85.13±0.95	محتوای نسبی آب RWC (%)
-34.38	81.12±1.65	60.36±0.90	نشت یونی Ion leakage (%)
-7.17	34.39±0.36	32.09±0.21	محتوای کلروفیل Chlorophyll content

بررسی تغییرات آناتومی

در تجزیه واریانس روی داده‌های مرتبط با بافت پارانشیم پوستی، بین شرایط مختلف آبیاری (نرمال و تنش خشکی) و ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. همچنین اثر متقابل شرایط آبیاری × ژنوتیپ بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲، ۳، ۴). بافت اپیدرم و بافت پارانشیم مغز بیشترین ضخامت را در لاین متحمل تحت شرایط نرمال نشان دادند. کمترین ضخامت بافت

پارانشیم مغز در لاین متحمل و در لاین حساس تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شد. بیشترین ضخامت بافت پارانشیم پوست در لاین متحمل تحت شرایط تنش و در لاین حساس تحت شرایط نرمال مشاهده شد. کمترین ضخامت بافت پارانشیم پوست در لاین حساس تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شد. در رابطه با بافت اپیدرم، بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، اما اختلاف بین شرایط مختلف آبیاری معنی‌دار بود. در رابطه با این صفت نیز اثر متقابل شرایط آبیاری \times ژنوتیپ در سطح $0/01$ معنی‌دار بود (جدول ۲، ۳، ۴) (شکل ۱). در رابطه با صفت کلانشیم بین ژنوتیپ‌ها و تیمارها (شرایط آبیاری) اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در رابطه با بافت پارانشیم مغز، بین ژنوتیپ‌ها و همچنین بین شرایط مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. همچنین، اثر متقابل شرایط آبیاری \times ژنوتیپ بر روی این صفت نیز معنی‌دار بود. تحت شرایط تنش خشکی 30% در مقایسه با شرایط نرمال، میانگین تغییرات در صفات بافت اپیدرم، پارانشیم پوستی و بافت پارانشیم مغز، ارتفاع و محتوای نسبی آب کاهشی بود. کاهش یا فشرده شدن بافت پارانشیم مغز از مکانیسم‌های دفاعی در مقابله با تنش خشکی محسوب می‌شود. فشردگی مغز به جلوگیری از هدر رفت آب کمک می‌کند (Mustafa et al., 2019).

نتایج جدول ۱، ۲ و ۳ تأییدی بر حضور تنش و واکنش آناتومی گیاه به تنش است. در تیمار احیا، بین ژنوتیپ‌ها در رابطه با بافت اپیدرم و بافت پارانشیم مغز در سطح احتمال $0/01$ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در رابطه با بافت پارانشیم پوستی نیز بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال $0/01$ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها در شرایط احیا نشان داد، لاین متحمل DM-2 در مقایسه با لاین حساس از بیشترین مقدار برای پارانشیم پوست برخوردار بود. در مقابل، لاین حساس بیشترین مقادیر را برای اپیدرم و بافت پارانشیم مغزی نشان داد. به گزارش Baruch et al. (۱۹۹۵) سلول‌های پوستی، آندودرم و لایه‌های سلولی که در مجاورت کورتکس و مدولا هستند، عموماً تحت تنش، کاهش اندازه نشان می‌دهند، در مقابل میزان بافت‌های آوندی و ضخامت دیواره سلولی (چوبی شدن) افزایش می‌یابد. بنابراین در دو فرآیندی که منتهی به رشد می‌شود، فرآیند طولی شدن سلول‌ها نسبت به فرآیند تقسیم دچار آسیب بیشتری می‌شود (Baruch et al., 1995).

با وجود اینکه بین ژنوتیپ‌ها اختلافی از نظر ضخامت بافت اپیدرمی مشاهده نشد؛ اما در رابطه با این صفت بین شرایط مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید و از آنجا که بافت اپیدرم پایدارترین پارامتر تشریحی در پاسخ به تنش خشکی در برخی گیاهان معرفی شده است که در شدت‌های بالای تنش ضخامت آن تغییر می‌یابد (Mustafa et al., 2019)؛ بنابراین تغییرات مشاهده شده بین بافت‌ها نشان از اثرگذاری تنش بر آناتومی ساقه گیاه آفتابگردان است. بیشترین ضخامت بافت اپیدرمی تحت شرایط نرمال مشاهده شد که با نتایج ارائه شده در گیاه گل همیشه بهار (Zulfqar et al., 2020) و سوبا (Kisman et al., 2022) مطابقت دارد. البته در لازپوروس سیندیکوس که گیاه مقاوم به خشکی است افزایش ضخامت بافت اپیدرمی تحت تنش گزارش شده است (Mustafa et al., 2019). در رابطه با صفات ضخامت بافت پارانشیم پوستی و مغز بیشترین مقدار در لاین متحمل DM-2 مشاهده شد (شکل ۱ و ۲). همچنین در مقایسه بین شرایط مختلف آبیاری، در رابطه با هر سه صفت بافت اپیدرم، بافت پارانشیم پوست و مغز بیشترین ضخامت تحت شرایط آبیاری نرمال مشاهده شد (شکل ۱). در مطالعه انجام شده در سویا تفاوت معنی‌داری در ضخامت بافت پارانشیم پوست تحت شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نشد؛ با این وجود بیان گردید تحت تنش خشکی ضخامت این قشر روند کاهشی دارد (Kisman et al., 2022). اما در مطالعه مشابه کاهش معنی‌دار در ضخامت بافت پارانشیم پوست تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط نرمال مشاهده شد (Mangena, 2018). به گزارش Shafqat et al. (2021) تحت تنش شدید خشکی، طول سلول‌های اپیدرمی و دسته‌های عروقی کاهش یافته و ضخامت آوند چوبی و قشر نازک‌تر می‌شود. با توجه به کاهش ارتفاع بوته و محتوای نسبی آب (RWC) همراستا با کاهش در ضخامت بافت پارانشیم مغز و افزایش پارانشیم پوست تحت شرایط تنش خشکی، به نظر می‌رسد با کاهش محتوای نسبی آب، در بافت پارانشیم مغز کاهش حجم (ضخامت) رخ می‌دهد و جهت جلوگیری از تشدید کاهش در ضخامت بافت پارانشیم مغز؛ در نتیجه از دست دادن بیشتر آب، بر ضخامت بافت پارانشیم پوست، افزوده می‌شود. همچنین ارتفاع بوته جهت جلوگیری از آمبولی و گسستگی در محتوای آب در بافت آوندی رشدش متوقف می‌گردد.

در بررسی میانگین اثرات متقابل (جدول ۴)، بیشترین ضخامت بافت اپیدرم و بافت پارانشیم مغزی در لاین متحمل و شرایط

¹ *Lasiurus scindicus*

نرمال و بیشترین ضخامت بافت پارانشیم پوستی در لاین متحمل تحت شرایط تنش خشکی و لاین حساس تحت شرایط نرمال مشاهده شد (شکل ۱ و ۲). لاین حساس تحت تنش خشکی، کمترین ضخامت را برای هر سه صفت نشان داد. ضخامت بافت پارانشیم مغز در لاین متحمل و حساس تحت شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال کاهش نشان داد و بیشترین کاهش و فشردگی در لاین متحمل مشاهده شد (شکل ۲). بر اساس نتایج تجزیه برش‌دهی اثرات متقابل، بین سطوح آبیاری (آبیاری معمول و تنش خشکی) اختلاف معنی‌دار برای صفات پارانشیم پوست و پارانشیم مغز در هر یک از سطوح فاکتور اول (لاین‌های آفتابگردان) مشاهده شد. در رابطه با بافت اپیدرم بین سطوح فاکتور آبیاری (آبیاری معمول و تنش خشکی) اختلاف معنی‌دار در لاین متحمل مشاهده شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین ضخامت بافت اپیدرم لاین متحمل در دو شرایط نرمال و تنش خشکی) اختلاف معنی‌دار در از تأثیرپذیری این صفت از شرایط آبیاری و کاهش ضخامت آن تحت تنش خشکی بود (جدول ۶). در رابطه با بافت پارانشیم پوست، مشاهده بیشترین اختلاف معنی‌دار بین لاین حساس تحت تنش با لاین متحمل تحت شرایط نرمال و تنش همچنین لاین حساس تحت شرایط نرمال نشان از اهمیت بالا بودن ضخامت بافت اپیدرم پوست در مقابله با تنش خشکی است. در رابطه با بافت پارانشیم مغز اختلاف معنی‌دار در هر یک از لاین‌ها بین شرایط نرمال با تنش مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مرتبط با آناتومی ساقه در شرایط مختلف آبیاری

Table 2. Variance analysis of traits related to stem anatomy in different irrigation conditions

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	صفات (میکرومتر) Character (Micrometer)		
		ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness	ضخامت بافت پارانشیم پوستی Cortex Parenchymal tissue thickness	ضخامت بافت پارانشیم مغز Pith Parenchymal tissue thickness
ژنوتیپ Genotype	1	8.33 ^{ns}	150.521 ^{***}	52.08 [*]
شرایط آبیاری Irrigation conditions	1	75 ^{***}	229.688 ^{***}	833.33 ^{***}
ژنوتیپ × شرایط آبیاری Irrigation × Genotype conditions	1	75 ^{***}	567.188 ^{***}	52.08 [*]
خطای آزمایشی Experimental error	8	2.604	2.604	6.771
ضریب تغییرات Coefficient of variation (CV)		5.234	3.136	2.175

ns غیر معنی‌دار؛ *، **، *** معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

Ns not significant; *, **, *** significant at the level of 5, 1 and 0.1%

جدول ۳- مقایسات میانگین صفات مرتبط با آناتومی ساقه در شرایط مختلف آبیاری

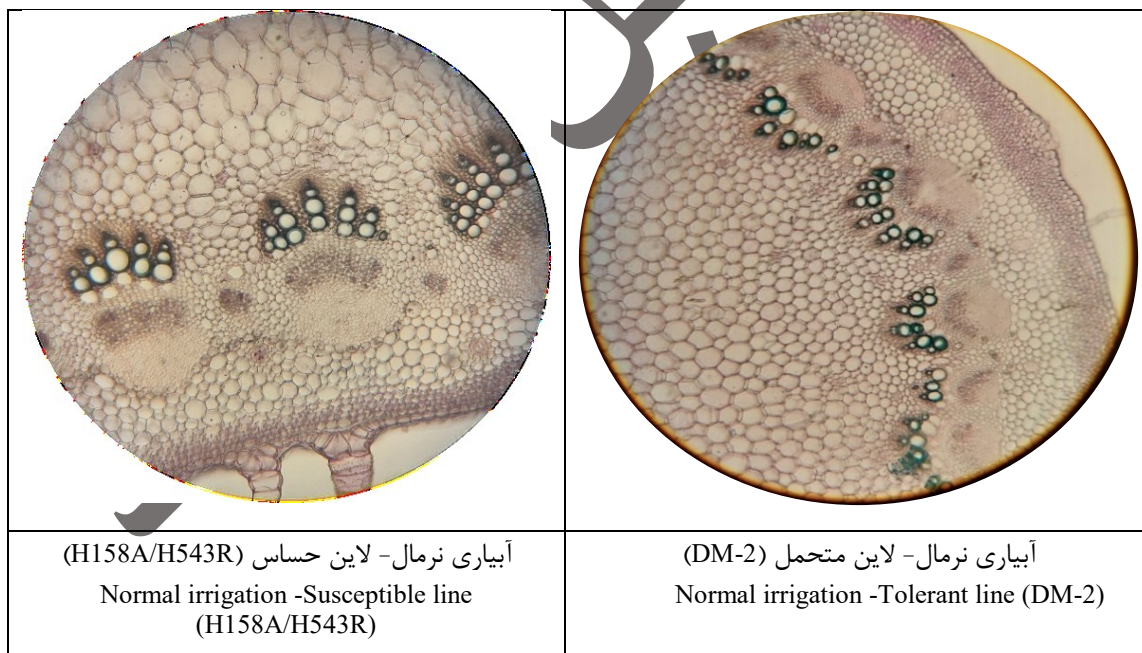
Table 3. Mean comparisons of traits related to stem anatomy in different irrigation conditions

تیمار Treatment	ژنوتیپ Genotype		صفت (میکرومتر) Character (Micrometer)		
	تنش خشکی Drought stress	نرمال Normal conditions		حساس Susceptible line	متحمل Tolerant line
	28.33 ^b	33.33 ^a	30 ^a	31.66 ^a	ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness

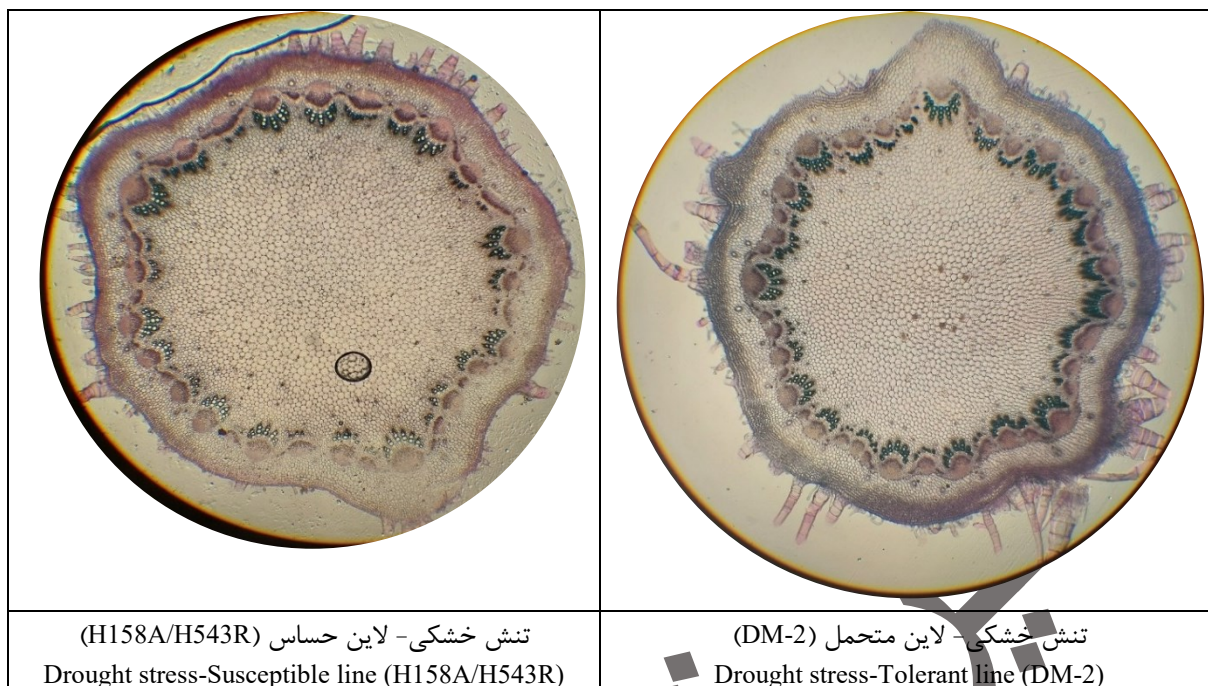
47.08 ^b	55.83 ^a	47.92 ^b	55 ^a	ضخامت بافت پارانشیم پوستی Cortex_Parenchymal tissue thickness
87.50 ^b	104.17 ^a	93.75 ^b	97.92 ^a	ضخامت بافت پارانشیم مغز Pith Parenchymal tissue thickness

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات مرتبط با آناتومی ساقه در آفتابگردان دانه روغنی در شرایط مختلف آبیاری
Table 4. Comparison of interactions effects means of traits related to stem anatomy in oilseed sunflower in different irrigation conditions

حساس- تنش خشکی Drought stress - Susceptible line	حساس- نرمال Normal- Susceptible line	متحمل- تنش خشکی Drought stress- Tolerant line	متحمل- نرمال Normal-Tolerant line	صفت (میکرومتر) Character (Micrometer)
30 ^b	30 ^b	26.667 ^b	36.667 ^a	ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness
36.667 ^c	59.167 ^a	57.50 ^a	52.50 ^b	ضخامت بافت پارانشیم پوستی Cortex_Parenchymal tissue thickness
87.500 ^c	100 ^b	87.500 ^c	108.33 ^a	ضخامت بافت پارانشیم مغز Pith Parenchymal tissue thickness



شکل ۱- ساختار آناتومی ساقه در دو لاین متحمل و حساس آفتابگردان دانه روغنی در شرایط آبیاری نرمال
Figure 1. The anatomical structure of stem in two tolerant and susceptible oilseed sunflower lines under normal conditions



شکل ۲- ساختار آناتومی ساقه در دو لاین متحمل و حساس آفتابگردان دانه روغنی در شرایط محدودیت آبیاری (تنش خشکی)

Figure 2. The anatomical structure of stem in two tolerant and susceptible oilseed sunflower lines under limited irrigation conditions (drought stress)

جدول ۵- برش دهی اثرات متقابل ژنوتیپ در شرایط آبیاری برای صفات مرتبط با آناتومی ساقه در آفتابگردان
Table 5. Slicing the interaction effect of genotype × irrigation conditions for traits related to stem anatomy in sunflower

میانگین مربعات (Mean square)			درجه آزادی Degree of freedom	شرایط آبیاری Irrigation conditions	لاین آفتابگردان Sunflower line
ضخامت بافت پارانشیم مغز Pith Parenchymal tissue thickness	ضخامت بافت پارانشیم پوستی Parenchymal Cortex tissue thickness	ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness			
651.042 ^{***}	37.50 ^{**}	150 ^{***}	1	نرمال - تنش خشکی Normal-drought stress	متحمل Tolerant line
375.234 ^{***}	759.375 ^{***}	2.958E-29 ^{ns}	1	نرمال - تنش خشکی Normal-drought stress	حساس Susceptible line

ns غیر معنی دار؛ *، **، *** معنی دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

Ns not significant; *, **, *** significant at the level of 5, 1 and 0.1%

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات مرتبط با آناتومی ساقه در آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط مختلف آبیاری
Table 6. Mean comparison for interaction effects of traits related to stem anatomy in oilseed sunflower under different irrigation conditions

Drought stress-Susceptible line (H158A/H543R)	Normal irrigation - Susceptible line (H158A/H543R)	Drought stress-Tolerant line (DM-2)	Normal irrigation - Tolerant line (DM-2)	صفت (میکرومتر) Character (Micrometer)
30	30	26.667	36.667	
**	**	***	-	Normal irrigation -Tolerant line (DM-2)
*	*	-	***	Drought stress-Tolerant line (DM-2)
ns	-	*	**	Normal irrigation -Susceptible line (H158A/H543R)
-	ns	*	**	Drought stress-Susceptible line (H158A/H543R)
36.667	59.167	57.50	52.50	ضخامت بافت پارانشیم
***	**	**	-	Normal irrigation -Tolerant line (DM-2)
***	ns	-	**	Drought stress-Tolerant line (DM-2)
***	-	ns	**	Normal irrigation -Susceptible line (H158A/H543R)
	***	***	***	Drought stress-Susceptible line (H158A/H543R)
87.500	100	87.500	108.33	ضخامت بافت پارانشیم
***	**	***	-	Normal irrigation -Tolerant line (DM-2)
ns	***	-	***	Drought stress-Tolerant line (DM-2)
***	-	***	**	Normal irrigation -Susceptible line (H158A/H543R)
-	***	ns	***	Drought stress-Susceptible line (H158A/H543R)

Ns غیر معنی دار؛ *، **، *** معنی دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

Ns not significant; *, **, *** significant at the level of 5, 1 and 0.1%

با توجه به نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در شرایط احیا، (جدول ۷ و ۸) به نظر برخی تغییرات در آناتومی گیاه آفتابگردان بعد از برطرف شدن تنش به سرعت رفع می‌گردند که کاملاً موید و در راستای نتایج Baruch *et al.* (1995) می‌باشد، که بیان داشت، طی تنش فرآیند طولیل شدن (رشد) سلول‌ها نسبت به فرآیند تقسیم دچار آسیب بیشتری می‌شود. در واقع بخش قابل توجه‌ای از تغییرات آناتومی در نتیجه توقف رشد یا از دست دادن آب و پلاسمولیزه شدن سلول‌ها می‌باشد، که با دریافت آب جبران می‌گردد. البته به نظر شدت و ضعف آن بسته به سطح تحمل گیاه و نوع بافت متفاوت است. چنانچه در شرایط احیا

ضخامت بافت پارانیشیم مغز و اپیدرم در لاین حساس بیشتر از لاین متحمل است و بیشترین مقدار ضخامت پارانیشیم پوست در لاین متحمل مشاهده شد.

جدول ۷- میانگین مربعات صفات مرتبط با آناتومی در آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط احیا

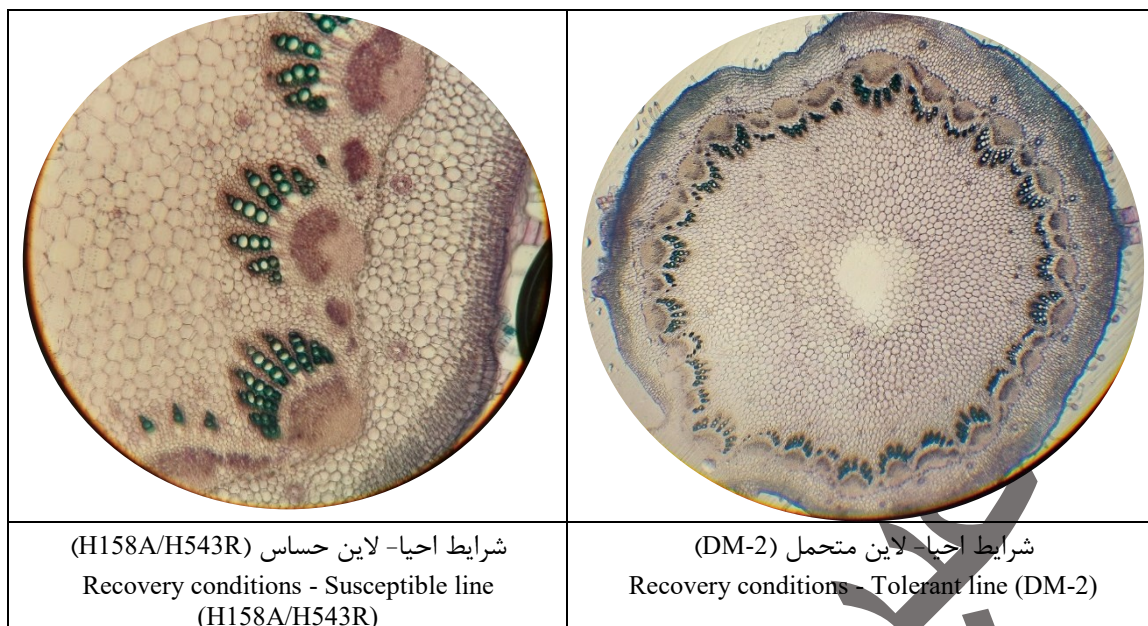
Table 7. Mean square for traits related to anatomy in oilseed sunflower under recovery conditions

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	صفات (میکرومتر) Character (Micrometer)		
		ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness	ضخامت بافت پارانیشیم پوستی Cortex Parenchymal tissue thickness	ضخامت بافت پارانیشیم مغز Pith Parenchymal tissue thickness
تیمار Treatment	1	9.37***	337.50**	1504.16***
خطای آزمایشی Experimental error	4	0.00	14.58	1.04
ضریب تغییرات Coefficient of variation (CV)		0.00	7.05	0.93

جدول ۸- مقایسات میانگین صفات مرتبط با آناتومی در شرایط احیا در آفتابگردان دانه روغنی

Table 8. Mean comparisons of anatomical related traits in oilseed sunflower under recovery conditions

ژنوتیپ Genotype		صفت (میکرومتر) Character (Micrometer)
حساس Susceptible line	متحمل Tolerant line	
30 ^a	27.5 ^b	ضخامت بافت اپیدرم Epidermal tissue thickness
46.66 ^b	61.66 ^a	ضخامت بافت پارانیشیم پوستی Cortex parenchyma tissue thickness
125 ^a	93.33 ^b	ضخامت بافت پارانیشیم مغز Pith Parenchymal tissue thickness



شکل ۳- ساختار آناتومی ساقه در دو لاین متحمل و حساس آفتابگردان دانه روغنی در شرایط احیا (۲۴ ساعت بعد از آبیاری نمونه‌هایی که تحت تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت گلدانی قرار داشتند)

Figure 3. The stem anatomical structure of in two susceptible and tolerant oilseed sunflower lines under recovery conditions (irrigation after 24 hours the samples that were under drought stress of 30% of pot capacity)

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات آناتومی به منظور ارزیابی توان تحمل و سازش‌پذیری ژنوتیپ‌ها به تنش‌های غیرزیستی مؤثر بوده و در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند مفید واقع شود. این تغییرات تحت تنش خشکی در جهت حفظ آب نقش مهم و حیاتی ایفا می‌کند. بیشترین ضخامت برای هر سه بافت مورد بررسی در لاین متحمل و در شرایط نرمال آبیاری مشاهده شد. تحت شرایط تنش خشکی بیشترین کاهش، در بافت پارانشیم مغز مشاهده شد. با توجه به نتایج برش‌دهی‌اتر متقابل، ژنوتیپ‌های آفتابگردان که دارای بافت پارانشیم پوستی ضخیم و اما بافت پارانشیم مغز و اپیدرم با ضخامت کم‌تری باشند از توان تحمل بالا تحت تنش خشکی برخوردار می‌باشند؛ ویژگی‌هایی که در لاین متحمل DM-2 آفتابگردان مشاهده گردید. بر اساس نتایج، تغییرات آناتومی می‌توانند برگشت‌پذیر و غیر برگشت‌پذیر باشند. بر اساس بررسی مقایسات میانگین کاهش ضخامت بافت اپیدرم و همچنین بافت پارانشیم مغز و افزایش ضخامت بافت پارانشیم پوست جز مکانیسم‌های مقاومت و پاسخ به تنش در آفتابگردان هست.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه ... به خاطر تأمین هزینه‌های مالی و از همکاری خانم سرور عارفیان در انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Abid, M., Ali, S., Kang Qi, L., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J.L. & Dai, T. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8: 4615. DOI:10.1038/s41598-018-21441-7.
- Ahmad, I., Sohail, M., Hameed, M., Fatima, S., Ahmad, M.S.A., Ahmad, F., Mehmood, A., Basharat, S., Asghar, A., Raza Shsh, S.M. & Ahmad, K.S. (2023). Morphoanatomical determinants of yield potential in *Olea europaea* L. cultivars belonging to diversified origin grown in semi-arid environments. *PLoS ONE*, 18(6): e0286736. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286736>.
- Ahmad, H.B., Lensb, F., Capdevillea, G., Buletta, R.J., Lamarquea, L. & Delzona, S. (2017). Intraspecific variation in embolism resistance and stem anatomy across four sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions. *Physiologia Plantarum*, 163(1), 59-72. doi: 10.1111/pp1.12654.
- Ahmadikhah, A. & Marufinia, A. (2016). Effect of reduced plant height on drought tolerance in rice 3 Biotech (2016) 6:221.

- Akbari, N., & Darvishzaeh, R. (2023). Recovery potential of sensitive and tolerant genotypes of sunflower post drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(4), 19-33. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.354002.654975. (In Farsi).
- Anjum, S.H., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 2026-2032.
- Baruch, Z. & Merida, T. (1995). Effects of drought and flooding on root anatomy in four tropical forage grasses. *International Journal of Plant Sciences*, 156(4), 514–521.
- Blum, A. (2011). *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer, New York.
- Child, R.D., Summers, J.E., Babij, J., Farrent, J.W. & Bruce, D.M. (2003). Increased resistance to pod shatter is associated with changes in the vascular structure in pods of a resynthesized *Brassica napus* line. *Journal of Experimental Botany*, 54, 1919–1930.
- Chimungu, J.G., Loades, K.W. & Lynch, J.P. (2015). Root anatomical phenes predict root penetration ability and biomechanical properties in maize (*Zea mays*). *Journal of Experimental Botany*, 66, 3151–3162.
- Cox, W.J. & Jolliff, G.P., 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy Journal*, 18: 226-230.
- David, O.A., Osonubi, O., Olaiya, C.O., Agbolade, J.O., Ajiboye, A.A., Komolafe, R.J. Chukwuma, D.M. & Akomolafe, G.F. (2017). Anatomical response of wheat cultivars to drought stress. *Life Journal of Science*, 19(2), 323-331.
- Emanuel, M.E. & Wilson, C.W. (1982). Identification of a Casparian band in the hypodermis of onion and corn roots. *Canadian Journal of Botany*, 60, 1529- 1535.
- Ferrat, I.L. and Lova, C.J. 1999. Relation between relative water content, Nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius*, A. Gray during water deficit. *Crop Science*, 39: 467-474.
- Hayano-Kanashiro, C., Calderón-Vázquez, C., Ibarra-Laclette, E., Herrera-Estrella, L. & Simpson, J. (2009). Analysis of gene expression and physiological responses in three mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *PLoS One*, 4(10), e7531. doi: 10.1371/journal.pone.0007531.
- Hosseini Sarghein, S., Carapetian, J. & Khara, J. (2011). The effects of UV radiation on some structural and ultrastructural parameters in Pepper (*Capsium longum* A. DC). *Turkish Journal of Biology*. 35, 69-77.
- Hiroyuki, S.H., Hasegawa, T., Fujimura, S.H. & Iwama, K. (2004). Responses of leaf photosynthesis and plant water status in rice to low water temperature at different growth stages. *Field Crops Research*, 89, 71–83.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P. Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1), 100-105.
- Sairam, R.K., Rao, K.V. & Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037– 1046.
- Kisman, Sumarjan, Hemon, A.F., Dewi, S.M., Susilowati, L.E. & Gunawan. B.W. (2022). Changes in the anatomical characters of root and stem of three large-seeded soybean (*Glycine max* L. Merrill) under drought stress. *2nd International Conference on Environmental Ecology of Food Security*. 1107(1): 012031 doi:10.1088/1755-1315/1107/1/012031.
- Lambers, H.; Chapin, F.S. & Pons, T.L. (2008). *Plant Physiological Ecology*, Springer: New York, NY, USA.
- Lynch, J.P., Mooney, S.J., Strock, C.F. & Schneider, H.M. (2022). Future roots for future soils. *Plant Cell Environ.*, 45, 620–636.
- Lynch, J.P., Strock, C.F., Schneider, H.M., Sidhu, J.S., Ajmera, I., Galindo-Castañeda, T., Klein, S.P. & Hanlon, M.T. (2021). Root anatomy and soil resource capture. *Plant and Soil*, 466, 21–63.
- Makbul, S., Güler, N.S., Durmuş, N. & Güven, S. (2011). Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress. *Turkish Journal of Botany*, 35, 369-377.
- Mangena P. (2018). Water Stress: Morphological and Anatomical Changes in Soybean (*Glycine max* L.). *Plants*, <https://www.intechopen.com/chapters/58553>.
- Maurel, C. & Nacry, P. (2020). Root architecture and hydraulics converge for acclimation to changing water availability. *Nature Plants*, 6(7), 744-749.
- Mostajeran, A. & Rhimi-Eichi, V. (2008). Drought stress effect on root anatomical characteristics of rice cultivars (*Oryza sativa* L). *Pakistan Journal of Biological Science*, 11(18), 2173-83. doi: 10.3923/pjbs.2008.2173.2183.
- Mustafa, F., Ahmad, F., Hameed, M. & Sadia, B. (2019). Anatomical Adaptations for Drought Tolerance in *Lasiurus scindicus* from Punjab, *Pakistan International Journal of Agriculture and Biology ISSN Print*, 22, 290-298.

- Prince, S.J., Murphy, M., Mutava, R.N., Durnell, L.A., Valliyodan, B., Shannon, J.G. & Nguyen, H.T. (2017). Root xylem plasticity to improve water use and yield in water-stressed soybean. *Journal of Experimental Botany*, 68, 2027–2036
- Rauf, S. (2008). Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance. *Communications in Biometry and Crop Science*, 3 (1), 29–44.
- Salehi-Lisar, S.Y. & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance. In *Drought Stress Tolerance in Plants*, Springer: Cham, Switzerland. 11-16.
- Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H., & Battaglia, M.L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10, 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>.
- Shafiqat, W., Mazrou, Y.S.A., Sami-ur-Rehman, Nehela, Y., Ikram, S., Bibi, S., Naqvi, S.A., Hameed, M. & Jaskani, M.J. (2021). Effect of three water regimes on the physiological and anatomical structure of stem and leaves of different citrus rootstocks with distinct degrees of tolerance to drought stress. *Horticulturae*, 7, 554.
- Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q. & Qian, Q. 2014. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation*, v.48, p.127- 135, 2006.
- Sorkhi, F (2017). Effects of drought stress on some anatomical characteristics of barley leaves. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 7(2), 11-21.
- Strock, C.F., Burrridge, J.D., Niemiec, M.D., Brown, K.M. & Lynch, J.P. (2021). Root metaxylem and architecture phenotypes integrate to regulate water use under drought stress. *Plant Cell Environment*, 44, 49–67.
- Tan, J., Ben-Gal, A., Shtein, I., Bustan, A., Dag, A. & Erel, R. (2020). Root structural plasticity enhances salt tolerance in mature olives. *Environmental and Experimental Botany*, 179, 104224.
- Todd, G.W, Richardson, P.E. & Sengupta, S.P. (1974). Leaf and Stem Anatomical Anomalies in a Drought-Susceptible Species, *Impatiens balsamina*, Under Conditions of Drought Stress. *Botanical Gazette*, 135(2), 121-126.
- Trifilò, P., Raimondo, F., Lo Gullo, M.A., Barbera, P.M., Salleo, S. & Nardini, A. (2014). Relax and refill: xylem rehydration prior to hydraulic measurements favours embolism repair in stems and generates artificially low PLC values. *Plant Cell Environ.*, 37, 2491-2499.
- Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., Kitomi, Y., Inukai, Y., Ono, K., Kanno, N., Inoue, H., Takehisa, H., Motoyama, R., Nagamura, Y., Wu, J., Matsumoto, T., Takai, T., Okuno, K. & Yano, M. (2012). Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. *Nature Genetics*, 45, 1097–1102.
- Wheeler, T.D. & Stroock, A.D. (2008). The transpiration of water at negative pressures in a synthetic tree. *Nature*, 455, 208-212.
- Zhang, X., Lei, L., Lai, J., Zhao, H. & Song, W. (2018). Effects of drought stress and water recovery on physiological responses and gene expression in maize seedlings. *BMC Plant Biology*, 18: 68 <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1281-x>
- Zulfiqar, F., Younis, A., Akram, N.A., Riaz, A., Mansoor, F., Hameed, A. & Abideen, Z. (2020). Morpho-anatomical adaptations of two *Tagetes erecta* L. cultivars with contrasting response to drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 52(3), 801-810.

Anatomical evaluation of recovery capacity in two DM-2 and H158A/H543R oilseed sunflower lines under drought stress

Abstract

Today, climate change and its main consequence, drought stress, beside the increase in the world's population, have faced a serious challenge in establishing food security in most of the world's countries; therefore, the need to pay attention to drought stress studies in order to identify resistance mechanisms in plant varieties that lead to maintaining the production potential in agricultural products is very vital. In this study, the anatomical evaluation of two sunflower lines DM-2 and H158A/H543R was done based on a completely randomized design with three replications at the 8-leaf stage under normal and drought stress of 30% of the pot capacity. For this purpose, the thickness of the collenchyma, epidermis, brain parenchyma and skin parenchyma tissues of the stem was measured after staining using a reticulated lens and optical microscope in each one of normal and drought stress conditions and the number of cells in collenchyma tissue layer was counted. The anatomical comparison of two tolerant and sensitive lines of sunflower was also done after recovery. The results of analysis of variance showed the influence of stem anatomy from stress conditions. Epidermal and brain parenchyma tissues showed the highest thickness in

the tolerant line under normal conditions. The highest thickness of skin parenchyma tissue was observed in the tolerant line under drought stress conditions as well as in the sensitive line under normal conditions. In the recovery conditions, a significant difference was observed in the thickness of epidermis, brain parenchyma and skin parenchyma tissues of studied lines. The results showed that the tolerant line has the highest thickness of skin parenchyma tissue, so the increase of skin parenchyma tissue is confirmed as part of the important mechanisms of irreversible resistance.

Keywords: Drought tolerance, Parenchyma tissue, Recovery, Stem anatomy structure, Sunflower.

غیر قابل استناد