نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۴، مهر و آبان ۱۴۰۵ صفحه: ۹۵-۱۱۷
https://doi.org/10.22034/jispp.15.74.95

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

بابک صادقیه[۱]، سدابه جهانبخش گده کهریز*[۱]، امیرعباس متین[۲]، معرفت قاسمی[۳] و سلیم فرزانه[۱]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۲] دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، تبریز، ایران

[۳] مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، ایران

چکیده

گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، بیشترین سطح زیرکشت را در دنیا به خود اختصاص داده است. تنش خشکی یکی از معضلات اصلی در بخش کشاورزی است که می‌تواند منجر به کاهش عملکرد در گیاه شود. به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و نحوه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل بر روی ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم نان در سه تکرار و به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. سطوح فاکتور *a* سطوح تنش (تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش) و سطوح فاکتور *b* ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بودند. تنش خشکی باعث کاهش ٦/٤٨ درصدی عملکرد دانه گردید. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در زمان وقوع خشکی باعث کاهش تنش اکسیداتیو شده و یا از وقوع آن جلوگیری می‌کند. زیرا ژنوتیپ‌ها می‌توانند با سازوکارهای مختلف به مقابله با این تنش پرداخته و از سمیت ناشی از آن بکاهند. در این پژوهش تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گردید. به نحوی‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز (۱/۷۷)، (۲/۸۹)، (۱/۳۱) به ترتیب مربوط به ترکیب ژنوتیپ شماره ۵ در بدون تنش و ژنوتیپ شماره ٤ در بدون تنش بود. طبق نتایج به دست آمده، ضریب تغییرات مربوط به هر کدام از خطاهای اندازه‌گیری شده در محدوده مناسبی قرار داشتند؛ و کمترین و بیشترین ضریب تغییرات مربوط به خطای آزمایشی به ترتیب با مقادیر ۹/۱۹ درصد و ۲/۰۸ درصد در نیتروژن کل برگ و قندهای محلول بود.

واژه‌های کلیدی: تنش اکسیداتیو، کلروفیل، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پروتئین، پرولین، قندهای محلول

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از پیامدهای اصلی تغییرات اقلیمی،

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲، بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۸، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: jahanbakhsh@uma.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

یکی از بزرگترین تهدیدها برای امنیت غذایی جهانی و به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران در نظر گرفته می‌شود (Song *et al*., 2026). تنش خشکی زمانی در گیاه رخ می‌دهد که میزان دریافتی آب گیاه کمتر از تلفات آن باشد (Jahanbakhsh *et al*., 2020). پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ خشکسالی به یک پدیده مزمن و فراگیر در مناطق کلیدی کشاورزی جهان تبدیل خواهد شد و امنیت غذایی را به‌طور جدی به چالش می‌کشد. تنش خشکی کمیت و کیفیت محصولات را تحت تأثیر قرار داده و به دنبال آن افت عملکرد در گیاه اتفاق می‌افتد (Abbasi *et al.,* 2018). از عواملی که منجر به تأثیر این تنش بر رشد و عملکرد محصولات می‌شود می‌توان به شدت تنش، مدت تنش و همچنین نوع ژنوتیپ گیاه اشاره نمود. مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی به تنوع (گوناگونی) خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه وابسته است (Gupta *et al*., 2020). تنش آبی موجب کاهش سنتز کربوهیدرات در گیاهان و به دنبال آن خسارت به رنگیزه‌ها شده و باعث می‌شود تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه اتفاق افتد که این امر منجر به تخریب پروتئین‌ها، ساختارهای غشایی، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، کاهش فتوسنتز در گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد در گیاهان میشود (Moayedinezhad *et al*., 2022). گندم در مواجهه با تنش خشکی دارای مکانیسم‌های پیچیده‌ای است که موجب تغییرات مولکولی، فعالیت‌های متابولیسمی و گسترش آن به کل گیاهان و در نهایت اثر گذاری آن بر خصوصیات مورفولوژی و فنولوژی گیاه می‌شود (Hosseinzadeh *et al*., 2014). در واقع گیاه با مکانیزم‌های مختلفی همچون تنظیم اسمزی، تجمع اسمولیت‌هایی مانند قندهای محلول، اسیدهای آمینه و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی به مقابله با تنش می‌پردازد (Turkan, 2011). پرولین یکی از اسیدآمینه‌های مهم در پدیده تنظیم اسمزی است که در تنظیم اسمزی درون سلول نقش به‌سزایی ایفا می‌کند (Mohammadi *et al.,* 2011). همچنین پرولین سبب محافظت از ساختارهای سلولی و پایداری آنزیم‌ها می‌گردد (Kovacik *et al*., 2014). از دیگر محافظت‌کننده‌های اسمزی می‌توان به قندهای محلول اشاره کرد. از آنزیم‌های مؤثر در این سیستم دفاعی می‌توان به پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT)، پلی‌فنل اکسیداز (PPO) اشاره نمود که وظیفه سم‌زدایی و تجزیه پراکسید هیدروژن تولیدشده در سلول را بر عهده دارند. محققین در آزمایشی عنوان کردند که با افزایش تنش خشکی میزان پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در گیاه گندم افزایش یافت (Movludi *et al*., 2014). محققین در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی باعث تغییر در محتوای کلروفیل می‌شود، به‌نحوی‌که در گیاه شوید (*Anethum graveolens* dhi) این تنش اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل *a* و *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای بخش هوایی داشت و با افزایش شدت تنش، محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها به طور معنی‌دار کاهش یافتند (Marcin ska *et al*., 2013). در تحقیقی دیگر در گندم محققین عنوان کردند که میزان پروتئین برگ و غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش کاهش یافت (Farooq *et al*., 2009). گزارشات بیانگر آن است که در برخی از گونه‌های گیاهی، آسیب ناشی از گرما یا خشکی، منجر به تحریک تنش اکسیداتیو شده که این امر باعث تولید و تجمع انواع اکسیژن سمی نظیر رادیکال‌های سوپراکسید، آب اکسیژنه و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود (Saeidi *et al*., 2018). انواع اکسیژن فعال که طی تنش تولید می‌شوند، می‌توانند به برخی از ترکیبات سلولی از جمله چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک آسیب برسانند. در آزمایشی که با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و ارزیابی ویژگی‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم انجام گرفت مشاهده گردید که یک رابطه ژنتیکی مشخصی بین تحمل ژنوتیپ‌های گندم با سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت وجود دارد (Huseynova, 2012). در واقع می‌توان چنین استنباط کرد که گیاهان برای مقابله با تنش خشکی و همچنین از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن و مقابله با تنش اکسیداتیو، می‌توانند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت خود را افزایش دهند و با صرف انرژی بر میزان عملکرد دانه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

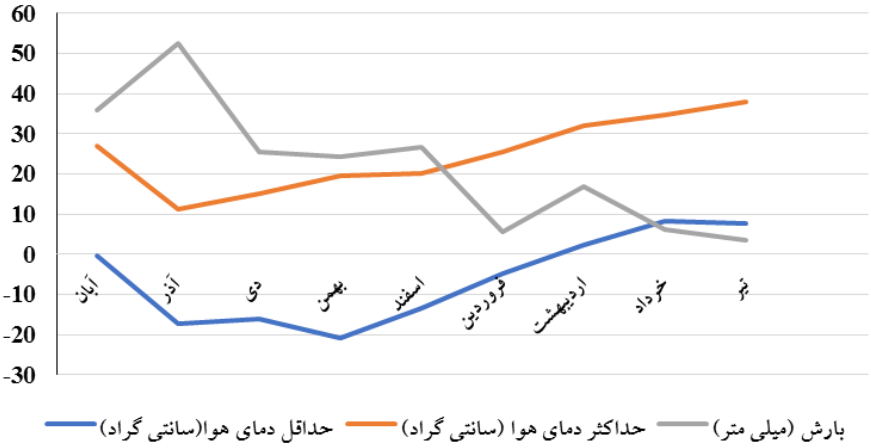
تأثیرگذار باشند (Esmaeili *et al*., 2022). پاسخ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به تنش خشکی، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در برگ‌های گندم نان بعد از دوره آبرسانی به خصوص در ژنوتیپ‌های حساس فعال می‌شود (Alghamdi, 2009). پراکسیداز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است که نقش مهمی در پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش ایفا می‌کند و افزایش بیان آن‌ها در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Amiri *et al*., 2014). فعالیت بالای این آنزیم با مقاومت نسبی گیاهان زراعی به تنش خشکی در ارتباط است (Gillham and Dodge, 1987). ساختار POD در گیاهان به صورت آیزوزایم‌های چندگانه بوده که به‌طور دقیق تنظیم شده و در پاسخ به محرک‌های محیطی فعال می‌گردد. در واقع افزایش فعالیت آنزیم‌ها نمونه‌ای از پاسخ به هر نوع از تنش‌های اکسیدکننده است (Taleahmad and Hadad, 2010). از دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌توان به آنزیم کاتالاز اشاره کرد که وظیفه این آنزیم خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن بوده و نقش تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن را بر عهده دارد. این آنزیم در سلول‌های گیاهی تنها در پراکسی‌زوم و گلی‌اکسی‌زوم مستقر می‌باشد و آنزیمی است که از یون‌های فلزی به عنوان کوفاکتور استفاده می‌کند (Jabbari *et al.,* 2014). پژوهشگران مختلف بر این باورند که تغییرات فعالیت این آنزیم می‌تواند در ارتباط با مقاومت به تنش‌های مختلف باشد (Amiri *et al*., 2014). زمانی که میزان CAT افزایش می‌یابد باعث می‌شود که تنفس نوری در گیاه کاهش یافته و در نتیجه کاهش نقطه جبرانی CO_2 در گیاه اتفاق افتد که دلیل آن را می‌توان به نقش این آنزیم در زدودن H_2O_2 از محیط نسبت داد. از دیگر نقش‌های این آنزیم می‌توان به جبران کمبود اکسیژن حاصل از واکنش مهلر اشاره کرد (Taleahmad and Hadad, 2010). در استان اردبیل در سال ۱٤۰۲– ۱٤۰۱ گندم، در ۲۷۵ هزار هکتار از اراضی دیم و آبی کشت‌شده و در واقع این گیاه بیشترین سهم از اراضی کشت محصول کشاورزی را در این استان به خود اختصاص داده است. میزان تولید گندم در استان اردبیل در سال‌های گذشته تا سطح ٦۰۰ هزار تن نیز افزایش یافته بود ولی به علت بروز خشکسالی و وضعیت جوی نامناسب و همچنین نامتوازن بودن میزان و زمان بارش، طی ۲ سال اخیر میزان تولید گندم بیش از ۵۰ درصد کاهش داشته است (آمارنامه کشاورزی، ۱٤۰۲). انجام این پژوهش با ژنوتیپ‌های پیشرفته می‌تواند در تولید گندم با عملکرد بالاتر به اصلاح‌گران کمک نماید. به عنوان مثال اگر یک لاین گندم در شرایط دیم گزینش گردد در دیمزارهای استان اردبیل و مناطق پربارش که تولید گندم ۷۵۰۰۰ هکتار است می‌تواند عملکرد را تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش دهد. با توجه به اهمیت تنش خشکی در عملکرد محصولات کشاورزی و نقش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در مقابله با تنش خشکی، نحوه فعالیت این آنزیم‌ها به همراه سایر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی عملکرد، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم نان آزمایشی در سال زراعی ۱٤۰۳–۱٤۰۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل انجام شد. براساس آمار هواشناسی مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی اردبیل، متوسط ساعت آفتابی سالیانه ۲۱۵/۹ ساعت، متوسط حداکثر دمای سالیانه منطقه ٦ /۱۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل دمای سالیانه ۳/٤ درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق دمای هوا ٤۰/٤ درجه سانتی‌گراد، حداقل مطلق دمای هوا ۳۳/۸– درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر سالیانه ۱٤۵/٤ میلی‌متر است. بر همین اساس حداقل نزولات آسمانی ۱۷۷/۵ و حداکثر آن ٤۸۹/۰ میلی‌متر در سال است. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۸۹/۰ میلی‌متر و متوسط رطوبت نسبی سالیانه ۷۰ درصد است (نمودار ۱). محل انجام آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با طول جغرافیایی ٤۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی است. نوع خاک محل آزمایش لومی – رسی و pH خاک حدود ۷/۷ و عمق آن حدود ۷۰ سانتی‌متر است. در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



نمودار ۱- بارش، حداقل و حداکثر دما در طول فصل زراعی در منطقه اردبیل

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در این پژوهش

شرایط	نوع بافت	pH خاک	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی	آهک
			mg /kg			(٪)	
تنش	لومی رسی	۷/۷	۵۸۹/۲۳	۸/۸۷	۰/۱۱۷	۱/۳۰	۵/۹۱

جدول ۱ به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش اشاره شده است. برای اجرای طرح زمینی به وسعت ۲۵۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد و عملیات کاشت با بذرکار مخصوص کشت آزمایشات غلات از نوع وینتر اشتایگر انجام گرفت. ۲۲ مهرماه به عنوان زمان کاشت و ۲۵ تیرماه به عنوان زمان برداشت در نظر گرفته شد. میزان کود مصرفی براساس آزمون خاک اعمال شد. مساحت هر کرت ۷/۲=۱/۲×۶ مترمربع و مساحت کرت قابل برداشت ۶ مترمربع بود. کودهای به کار رفته بسته به آزمایش خاک ۱۲۰ کیلوگرم به ترتیب شامل کود فسفره، دی‌آمونیوم فسفات و کود اوره در سه مرحله زمان کاشت، مرحله پنجه‌زنی و اوایل خوشه‌دهی بود. تعداد بذر استفاده‌شده ۴۵۰ بوته در مترمربع و میزان کود مصرفی در شرایط آبیاری نرمال و تنش براساس آزمون خاک اعمال گردید. در کرت‌های فاقد تنش از آبیاری ثابت استفاده شد و برای گیاه و خصوصاً ارقام شاهد و لاین‌های این مطالعه نیاز آبی آنها نیز در نظر گرفته شد. آبیاری در مرحله جوانه‌زنی به منظور سطح سبز یکنواخت در هر دو شرایط انجام شد. در شرایط تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه آبدهی قطع شد.

در صورتی که در شرایط بدون تنش از زمان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک در سه نوبت (اوایل گلدهی، اواسط دانه بستن و اواخر دانه بستن) آبیاری انجام گرفت. این کار برای تمام لاین‌ها و ارقام شاهد یکسان و در یک سال زراعی اعمال گردید و اثرات محیطی از جمله میزان رطوبت خاک برای تمامی آنها یکنواخت در نظر گرفته شد. مدت زمان تنش (بعد از ظهور خوشه تا برداشت) برای همه ژنوتیپ‌ها یکسان و تنش از فاز خوشه‌دهی اعمال شد. خطوط کاشت به طول دو متر با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌های بدون تنش و تنش در کنار هم و به منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور، فاصله بین هر واحد آزمایشی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در این پژوهش تعداد ۱۰ ژنوتیپ مختلف گندم به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. سطوح فاکتور a سطوح تنش (تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش) و سطوح فاکتور b ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بودند. این انتخاب از سطوح تنش، با توجه به مطالعات قبلی که اطلاعات جامعی از لاین‌ها و ژنوتیپ‌ها را فراهم کرده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

جدول ۲- شجره ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش

شماره	ژنوتیپ
شاهد	Zarrineh
شاهد	Heyran
۱	Mihan/3/CMH79A.955/Bow//Pastor
۲	Mihan/3/CMH79A.955/Bow//Pastor
۳	Weizen/Mihan//Gaspard
٤	Weizen/Mihan//Gaspard
۵	Khalij/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi/5/Khalij/3/Yan7578.128//Chil/2*Star
٦	Catbird/Titona//Oroum
۷	Mo/4/Nd/WW15//Lee/Fn/3/N.5/Nac/5/2*Yan7578.128//Chil/2*Star
۸	Khalij/MV17

و منجر به گزینش این ۱۰ ژنوتیپ از میان مجموعه بزرگ‌تری شده بود، به منظور مدیریت حجم پژوهش و تمرکز بر شرایط تنش کلیدی صورت پذیرفت. در جدول ۲ به ارقام و ژنوتیپ‌هایی که از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شده بود اشاره شده است. از رقم حیران با کد CD-92-6 و رقم زرینه که دارای تیپ رشد زمستانه به دلیل ویژگی‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، متحمل به سرما و بیماری زنگ زرد و ارتفاع مناسب بوته به عنوان ارقام شاهد استفاده شد. سطح زیرکشت این ارقام در مناطق سردسیر غرب و شمال غرب کشور و از جمله در مناطق سردسیر استان اردبیل بیشتر است و آنها زارع پسند و کم آب بر هستند.

پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی: برای اندازه‌گیری شاخص‌ها ۱۵ روز بعد از گلدهی نسبت به تهیه نمونه‌های برگی اقدام شد. این بازه زمانی به دلیل اهمیت حیاتی در فرآیند تشکیل و پرشدن دانه/میوه در برابر استرس‌های محیطی، به عنوان شاخصی معتبر برای ارزیابی کارایی سازگاری گیاه با خشکی انتخاب گردید. نمونه‌برداری برگ‌ها با روشی کنترل‌شده شامل انتخاب تصادفی پنج برگ پرچم از وسط **کرت** و انتقال فوری در شرایط خنک (کیسه یخ) انجام شد تا تغییرات متابولیکی قبل از اندازه‌گیری به حداقل برسد. جمع‌آوری دیسک‌های برگی به طول ۳ سانتی‌متر از هر نمونه، امکان سنجش دقیق غلظت عناصر در این مرحله کلیدی چرخه حیات گیاه را فراهم آورد.

اندازه‌گیری شاخص نیتروژن برگ: برای اندازه‌گیری این شاخص ابتدا برگ‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲٤ ساعت قرار گرفته و خشک شدند. سپس نمونه‌ها پودر شده و با دستگاه میکروکجلدال میزان نیتروژن برگ اندازه‌گیری شد (Wolf, 1982).

اندازه‌گیری غلظت پروتئین: غلظت پروتئین به روش Bradford (۱۹۷٦) تعیین گردید. مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ سائیده و همگنای حاصل با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس در لوله جداگانه دیگری، به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه شد. در ادامه لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از خارج‌شدن از بن‌ماری و اضافه‌کردن ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شدند. بعد از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل یووی ۲۱۰۰ ساخت یونیکو آمریکا) با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

طول‌موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری به عمل آمد. به منظور رسم منحنی استاندارد، از پروتئین آلبومین سرم گاوی BSA استفاده شد.

سنجش میزان قندهای محلول: استخراج قندهای کل از جوان‌ترین برگ با استفاده از روش Omokolo و همکاران (۱۹۹٦) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات، ابتدا عصاره الکلی از برگ‌ها تهیه شد. بدین صورت که، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگی نگهداری شده در یخچال ۷۰- درجه سانتی‌گراد برداشته و در هاون چینی کاملاً هموژن گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به آن اضافه و به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شده و به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد. مایع رویی جدا و به لوله دیگری منتقل شده و سپس دو بار و در هر بار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ به بخش جامد باقی مانده اضافه و کاملاً شستشو شد و بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شده و در نهایت ۱۵ میلی‌لیتر از عصاره به دست آمد (کلیه موارد فوق در حمام یخ و نور کم انجام شد). عصاره حاصل، به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از جداسازی روشناور، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی انتخاب و داخل لوله‌های آزمایشی ریخته شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک‌شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٦۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Irigoyen *et al*., 1992).

اندازه‌گیری پرولین: استخراج پرولین از جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته و با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام گرفت. مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ سائیده و همگنای حاصل با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس در لوله جداگانه دیگری، به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه شد. در ادامه لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از خارج‌شدن از بن‌ماری و اضافه‌کردن ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. بعد از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول‌موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری به عمل آمد. تمامی مراحل شامل اختلاط عصاره با معرف نین‌هیدرین و اسید استیک گلاسیال، مرحله حرارت‌دهی، و مراحل بعدی افزودن تولوئن و ورتکس، در محیط آزمایشگاه با نور غیرمستقیم و با کمترین زمان مواجهه با نور محیط انجام پذیرفت. به‌طور خاص، برای جلوگیری از هر گونه اثر فوتوشیمیایی بر روی معرف یا محصول میانی، ظروف حاوی واکنش در طول حرارت‌دهی و پس از آن، تا زمان استخراج و اندازه‌گیری، تحت پوشش مناسب قرار داده شدند تا اطمینان حاصل شود که شدت رنگ توسعه‌یافته، صرفاً تابعی از غلظت پرولین است.

اندازه‌گیری غلظت کلروفیل: سنجش غلظت کلروفیل با استفاده از روش Arnon (۱۹٦۷) انجام و با استفاده از فرمول‌های زیر غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم برگ تازه به دست آمد.

کلروفیل a = [12.7 (D_{663}) - 2.69 (D_{645})] ×V / 1000W

کلروفیل b = [22.9 (D_{645}) - 4.68 (D_{663})] × V / 1000W

کلروفیل کل =[20.2 (D_{645}) - 8.02 (D_{663})] × V / 1000W

کاروتنوئید = [1000 (D_{470}) – 1.8 chla-85.02chlb]/198

W: وزن تر نمونه برگ (گرم)، V: حجم استون (میلی‌لیتر) و D طول‌موج (نانومتر)

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: پس از آماده‌سازی عصاره پروتئینی فعالیت سینتیکی آنزیم کاتالاز با استفاده از روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) همراه با تغییراتی سنجیده شد. بدین منظور ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس به همراه ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه با ٦۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حمام یخ مخلوط شدند. منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت کمی پراکسیداز از روش Kar و Mishra (۱۹۷۶) با یکسری تغییرات استفاده گردید. بدین منظور ابتدا محلول‌های بافر تریس ۱ مولار، آب اکسیژنه ۵۰ میلی‌مولار، پیروگالل ۱۰۰ میلی‌مولار تهیه شد و سپس از هر یک از مواد ذکرشده، ۱۰ میلی‌لیتر برداشته و محلول حاصل به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت ۲/۵ میلی‌لیتر از محلول فوق با ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط شد. منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ٤٢٥ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: پس از آماده‌سازی عصاره پروتئینی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز با روش Kar و Mishra (۱۹۷٦) با یکسری تغییرات بررسی شد. برای این منظور ۱/۵ میلی‌لیتر بافر تریس با ۰/٤ میلی‌لیتر پیروگالل و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی خوب مخلوط و به مدت ۵ دقیقه در بن‌ماری ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ٤٢٠ نانومتر با اسپکتروفتومتر خوانده شد. سرانجام فعالیت آنزیمی برحسب تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها به ترتیب از نرم‌افزار SPSS24 و EXCEL استفاده شد. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ۱۰ ژنوتیپ گندم در قالب فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که (جدول ۳) بجز صفت پروتئین کل برگ در سایر صفات مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش مشاهده گردید. اختلاف معنی‌داری بین ۱۰ ژنوتیپ گندم از نظر کلیه صفات مورد ارزیابی بجز نیتروژن کل برگ وجود داشت که حاکی از تنوع ژنتیکی بالا در این ژنوتیپ‌ها است. همچنین از نظر اثر متقابل سطوح تنش × ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات بجز نیتروژن کل برگ اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده گردید. طبق نتایج به دست آمده، ضریب تغییرات مربوط به هر کدام از خطاهای اندازه‌گیری‌شده در محدوده مناسبی قرار داشتند؛ و کمترین و بیشترین ضریب تغییرات مربوط به خطای آزمایشی به ترتیب با مقادیر ۹/۱۹ درصد و ۲/۰۸ درصد در نیتروژن کل برگ و قندهای محلول بود (جدول ۳).

شاخص کلروفیل: کلروفیل برگ به عنوان مهم‌ترین شاخص نشان‌دهنده فشار محیطی وارد بر گیاه است. برخی گیاهان در طول تنش خشکی میزان کلروفیل خود را حفظ می‌کنند و در برخی دیگر میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. در این مطالعه، روند کاهشی معنی‌داری در تمام رنگیزه‌های مربوط به نمونه‌های تحت تنش نسبت به شرایط پیش از تنش مشاهده شد که با آزمایشات محققین دیگر مطابقت داشت (Jahanbakhsh *et al*., 2022). این محققین دریافتند که تنش خشکی منجر به کاهش شاخص‌های کلروفیل برگ در گندم شد. در آزمایشی دیگر محققین دریافتند که تنش خشکی باعث کاهش شاخص کلروفیل در گندم گردید (Raeisi Sadat *et al*., 2020). علت این که شاخص کلروفیل در این مطالعه روند کاهشی نشان داد می‌تواند ناشی از تخریب آنزیم‌های بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی و مهار سنتز آن‌ها در شرایط تنش باشد. دلیل کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی می‌تواند تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با اکسیژن یکتایی و اختلالات هورمونی باشد (Naghavi *et al.,* 2014). در این پژوهش کلروفیل a، b و کل تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در محیط در سطح آماری یک درصد قرار گرفت. ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۲ × بدون تنش و زرینه × بدون تنش) به ترتیب با میانگین‌های ۷/۲۵ و ۷/۱۷ (mg/gFW) بیشترین میزان کلروفیل a را داشتند و در کلاس برتر قرار گرفتند و کمترین میزان کلروفیل a مربوط به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل) با میانگین ۲/٤۱ (mg/gFW) بود (شکل ۱). بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به ترتیب به ترکیب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی

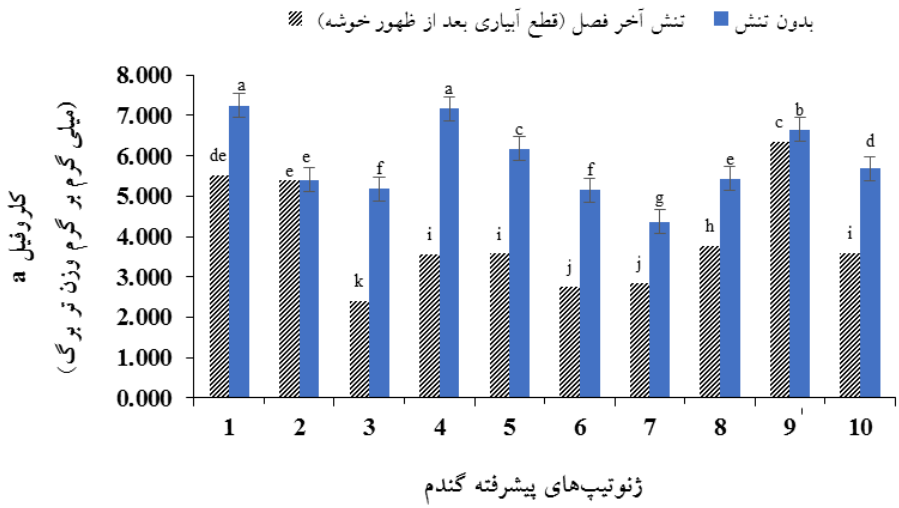
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	۲	۰/۰۰۲*	۰/۰۰٤ns	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲ ns	۰/۱۲٤**	۰/۰۱٤ ns
فاکتور a (سطوح تنش)	۱	۰/۲۹۹**	۰/۸۰۹**	۰/۱٦۷**	۰/۰۳۸*	۵۲/۹**	۱۲/۱۷**
فاکتور b (ژنوتیپ)	۹	۰/۵۹۷**	۱/٦۱۳**	۰/۳۳۹**	۰/٦۵۵**	٦/۰۹۳**	۱/۱٤۱**
اثر متقابل a×b	۹	۰/۵۹۲**	۱/٦۲٤**	۰/۳۵**	۰/۸۱٦**	۱/۷۹۳**	۰/٦۰۳**
اشتباه آزمایشی	۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰٦	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات (٪)		۲/۳۱	۲/٤۸	۲/٦٦	۵/٤۷	۲/۳٦	٤/٦٤

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

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل کل	کارتنوئید	قندهای محلول	نیتروژن کل برگ	پروتئین کل برگ	عملکرد
تکرار	۲	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۱٦ ns	۰/۰۱۳ ns	۵۳۹۲۰/٤ns
فاکتور a (سطوح تنش)	۱	۱۱٤/۱۳**	۰/۰۵٦**	۲/۵٤۲**	۰/۱۲۷**	۰/۰۲٦ ns	۱٤۰۳۰۱۰/٤ns
فاکتور b (ژنوتیپ)	۹	۱۳/٤۹**	۰/۲۱۳**	۱۲/۲٦**	۰/۰۱٦ ns	۳۲/۳٤**	۷۱٤٤۹/۳۱ns
اثر متقابل a×b	۹	۳/۵۱**	۰/۱۵۷**	۱۳/٦۲**	۰/۰۰۸ ns	۲/٦۵۷**	۸۷۳۲۵/۲۳ns
اشتباه آزمایشی	۳۸	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱٤	٤۱٤٦۸/۲۲
ضریب تغییرات (٪)		۲/۱۲	٤/۱٦	۲/۰۸	۹/۱۹	۱/۵٤	٤/٤٦

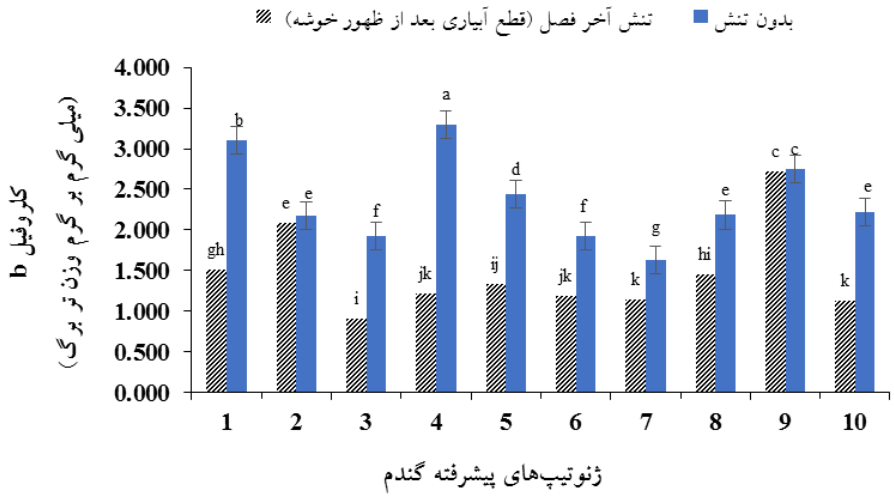
ns و *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت کلروفیل a حروف یکسان بیانگر عدم‌اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

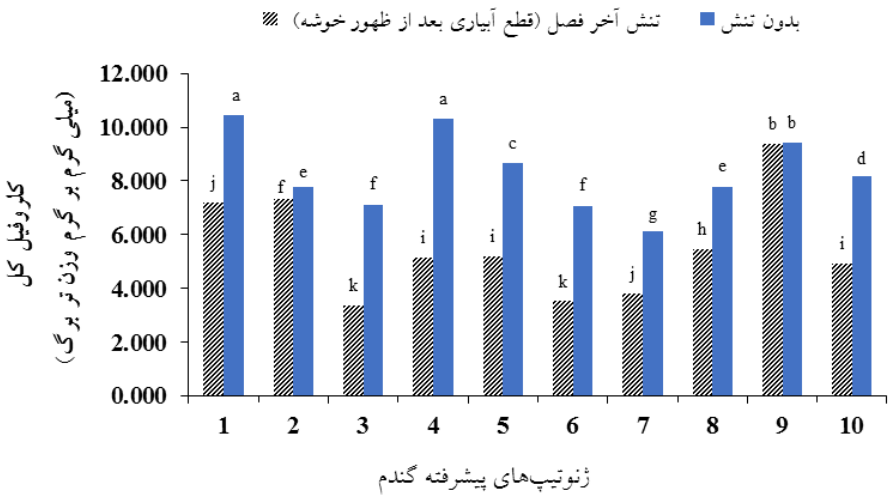


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت کلروفیل b حروف یکسان بیانگر عدم‌اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

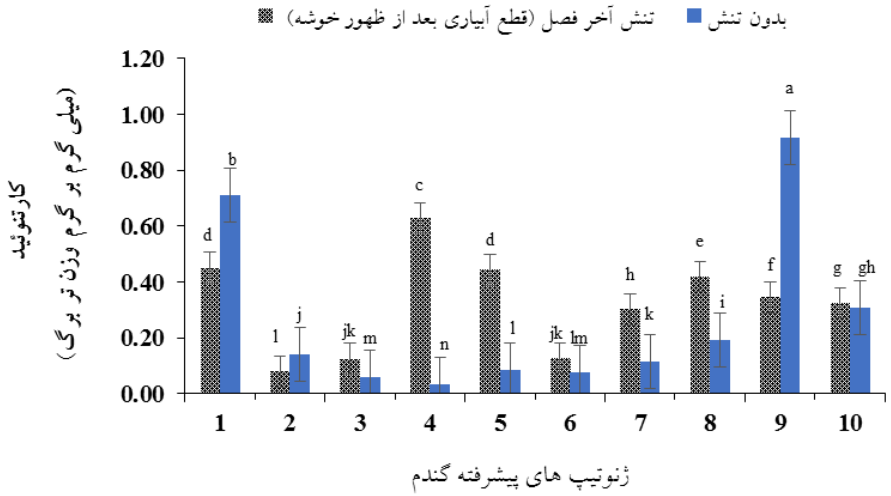
(ژنوتیپ شماره ۲ × بدون تنش) و (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل) با میانگین‌های ۳/۳۰ و ۰/۹ (mg/gFW) تعلق داشت (شکل ۲). ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۱ × بدون تنش و زرینه × بدون تنش) به ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۲۹ و ۱۰/۴۳ (mg/gFW) بیشترین میزان کلروفیل کل را داشتند و در کلاس برتر قرار گرفتند و ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل و ژنوتیپ شماره ٤ × تنش آخر فصل) به ترتیب با میانگین‌های ۳/۳۳ و ۳/۵۱ (mg/gFW) کمترین میزان کلروفیل کل را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی در گیاه آنیسون (*pimpinella anisum* L.) توسط محققین گزارش گردیده است (Heidari *et al.*, 2015). همچنین کاهش محتوای کلروفیل a در گندم توسط محققین گزارش شده است (Mahdavi *et al.*, 2022). افزایش تولید ROS باعث کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی می‌شود که این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه‌ها می‌شوند و زمانی که کلروفیل کاهش می‌یابد منجر به تغییرات زیادی در مقدار تولید در گیاهان می‌شود (Nematpour *et al.*, 2020). کاهش کلروفیل a و b و کلروفیل کل در ژنوتیپ‌های مختلف گندم توسط محققین گزارش شده است. دلیل این کاهش می‌تواند افزایش کلروفیل b در شرایط تنش خشکی به عنوان یک مکانیسم دفاع احتمالی باشد (Tahmasebpour *et al.*, 2023).

کاروتنوئید: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در این آزمایش کاروتنوئید تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در محیط در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۷ × بدون تنش) و (ژنوتیپ شماره ۲ × بدون تنش) به ترتیب با میانگین‌های ۰/۹۲ و ۰/۰٤ (mg/gFW) بیشترین و کمترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص دادند (شکل ٤). کاروتنوئیدها در شرایط تنش خشکی انرژی زیاد طول‌موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن یکتایی را به ۳ تایی تبدیل می‌کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده، نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا می‌کنند. کمبود خفیف آب باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها می‌شود، درحالی‌که کمبود شدید آب موجب کم‌شدن میزان کاروتنوئیدها می‌شود (Munne-Bosch and Alegre, 2004). یافته‌های محققین نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش محتوای کاروتنوئید در لوبیا می‌شود (Silva *et al.*, 2007). درحالی‌که در تحقیقی دیگر محققین عنوان کردند که تنش خشکی باعث افزایش میزان کاروتنوئید در لوبیا چیتی شد (Emadi *et al.*, 2012). دلیل کاهش محتوای کاروتنوئید می‌تواند ناشی از اکسیدشدن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد (Wang *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت کلروفیل کل حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

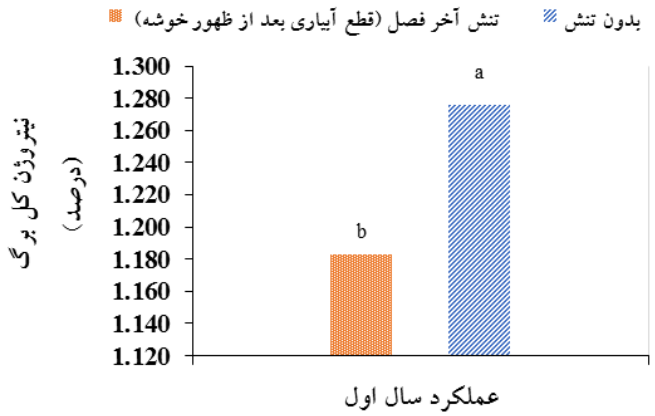


شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت کاروتنوئید حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

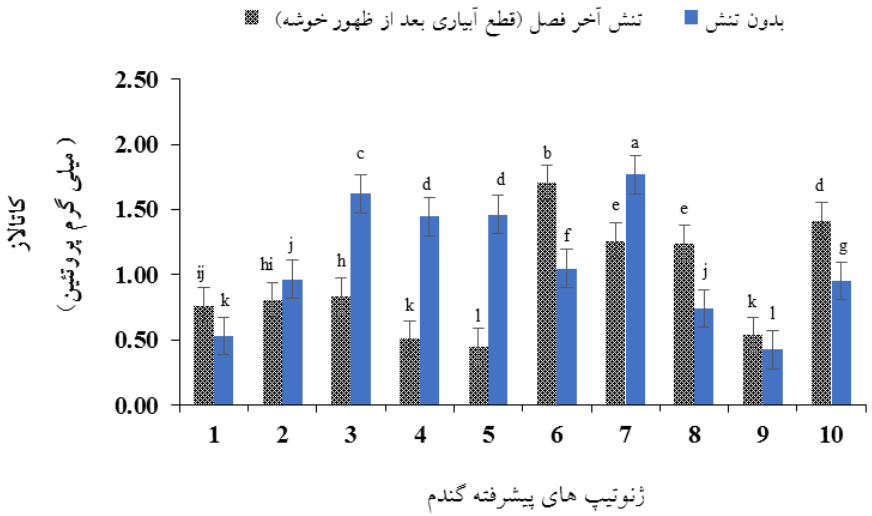
2010). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تنش خشکی بر میزان کاروتنوئیدها در ژنوتیپ‌ها و گونه‌های گیاهان مختلف یکسان نیست و پاسخ‌های متفاوتی دیده می‌شود.

نیتروژن برگ: مقایسه سطوح فاکتور a سطوح تنش (تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش) برای نیتروژن کل برگ به این صورت بود که تنش آخر فصل باعث کاهش نیتروژن کل برگ به میزان ۷/۲۳ درصد گردید (شکل ۵). دلیل این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش متابولیسم نیتروژن بر اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز برگ و کاهش مصرف آب به دلیل کاهش جذب آب باشد (Sotiropoulos *et al*., 2006). مطالعات مختلف نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش درصد نیتروژن برگ در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گردید (Narimani *et al*., 2019). در زمان وقوع تنش در بعضی گیاهان میزان نیتروژن زیاد است که دلیل آن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



شکل ۵- مقایسه سطوح فاکتور a سطوح تنش برای نیتروژن کل برگ

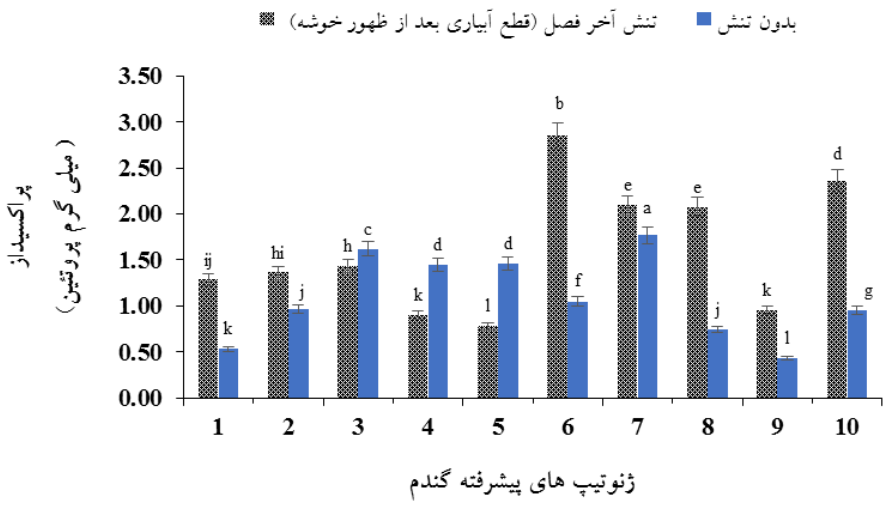


شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت کاتالاز حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

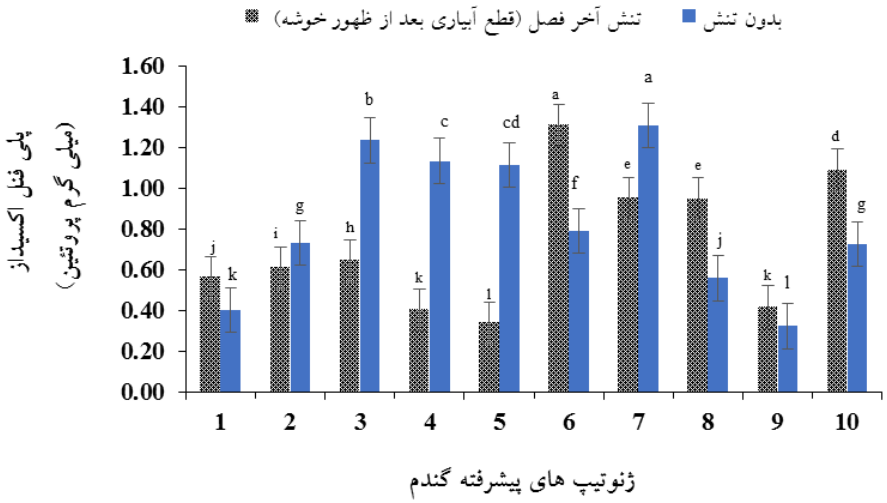
می‌تواند مربوط به تجمع سریع آمینواسیدهای آزادی باشد که تبدیل به پروتئین نشده‌اند (Argenta *et al*., 2004).

کاتالاز- پراکسیداز- پلی‌فنل اکسیداز: نتایج نشان دادند که در این پژوهش ترکیب (ژنوتیپ شماره ۵ × بدون تنش) با میانگین ۱/۷۷ (Unit/mg. pro. min) بیشترین و ترکیب (ژنوتیپ شماره ۷ × بدون تنش) با میانگین ۰/٤۳ (Unit/mg. pro. min) کمترین میزان کاتالاز را به خود اختصاص دادند (شکل ٦). ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۵ × بدون تنش و ژنوتیپ شماره ٤ × تنش آخر فصل) به ترتیب با میانگین‌های ۲/۸۹ و ۲/۸۵ (Unit/mg. pro. min) بیشترین میزان پراکسیداز و ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۷ × بدون تنش و ژنوتیپ شماره ۳ × تنش آخر فصل) به ترتیب با میانگین‌های ۰/۷٤ و ۰/۷۸ (Unit/mg. pro. min) کمترین میزان پراکسیداز را به خود اختصاص دادند (شکل ۷). همچنین ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۵ × بدون تنش و ژنوتیپ شماره ٤ × تنش آخر فصل) هر دو با میانگین ۱/۳۱ (Unit/mg. pro. min) بیشترین و ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۷ × بدون تنش و ژنوتیپ شماره ۳ × تنش آخر فصل) به ترتیب با میانگین‌های ۰/۳۲ و ۰/۳٤ (Unit/mg. pro. min) کمترین میزان پلی‌فنل اکسیداز را به خود اختصاص دادند (شکل ۸). تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین در گیاهان می‌گردد (Behboudi *et al*., 2019;

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت پراکسیداز حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

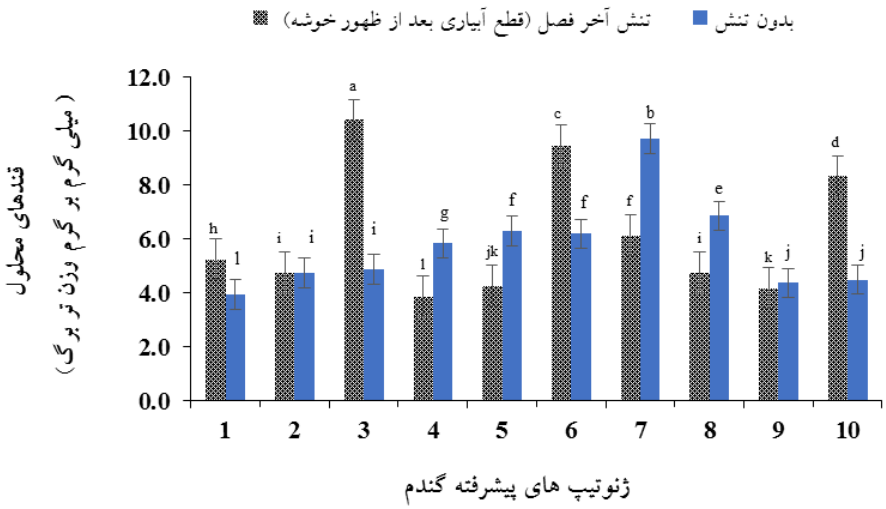


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت پلی‌فنل اکسیداز حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

Rezayian *et al.*, 2020). مطالعات محققین نشان داد که محتوای پروتئینی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز با افزایش سطح تنش نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد (Jahanbakhsh *et al.*, 2022).

قندهای محلول: در این پژوهش قند محلول تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در محیط در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش تنش خشکی میزان قند محلول در بعضی از ژنوتیپ‌ها افزایش یافت که با آزمایشات دیگر محققین مطابقت دارد (Ghaderi *et al.*, 2020). این محققین در تحقیقی روی گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی منجر به افزایش قندهای محلول می‌شود. نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ‌ها در سطوح تنش نشان داد که ترکیب (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل) با میانگین ۱۰/۴۲ (mg/gdw) بیشترین و ترکیب (زرینه × بدون تنش و ژنوتیپ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

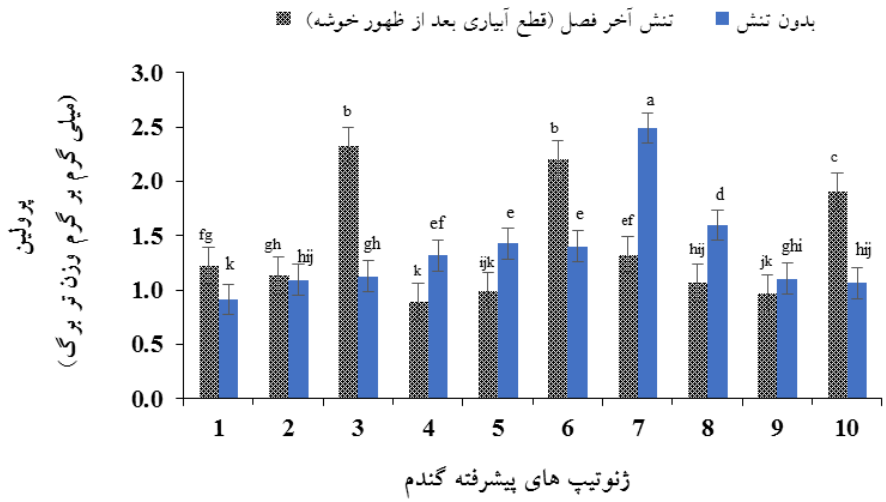


شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت قندهای محلول حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

شماره ۲ × تنش آخر فصل) کمترین میزان قند محلول را دارا بودند (شکل ۹). بررسی میزان قندهای محلول می‌تواند روش مفیدی در انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی باشد (Patger *et al.*, 2005). در واقع قندهای محلول به عنوان محافظت کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش داشته و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند. تجمع کربوهیدرات‌ها در محلول در گیاهان به عنوان پاسخی نسبت به شوری یا خشکی محسوب می‌شوند (Yamada and Osakabe, 2018). محققین عنوان کردند که با افزایش تنش خشکی میزان قندهای محلول در اکثر ژنوتیپ‌های گندم افزایش یافت (Raeesi Sadat *et al.*, 2021). علت افزایش قندهای محلول در این مطالعه می‌تواند ناشی از تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، سنتز قندهای محلول از مسیرهای غیرفتوسنتزی، افزایش قند محلول در برگ‌های ژنوتیپ‌های مذکور علاوه بر تأثیر محافظتی (مواد حفاظت اسمزی) و خصوصیت اسمزی در جهت افزایش نیروی محرکه‌ی ریشه برای جذب آب به عنوان یک سیگنال متابولیکی عمل کرده باشد (Bolton, 2009).

پرولین: نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر این است که در این آزمایش پرولین تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در محیط در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به این که پرولین جز مواد حفاظت اسمزی است در حفظ تعادل پتانسیل اکسید و احیا نقش داشته و یکی از اسیدآمینه‌های فعال در پدیده تنظیم تعادل اسمزی سیتوپلاسمی سیتوسول است، به‌طور طبیعی در واکنش به تنش تجمع می‌یابد (Hoque *et al.*, 2008). در این پژوهش ترکیب (ژنوتیپ شماره ۵ × بدون تنش) با میانگین ۲/۴۹ (µM/gFW) بیشترین میزان پرولین را به خود اختصاص داد و کمترین میزان پرولین مربوط به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۲ × تنش آخر فصل) با میانگین ۰/۸۹ (µM/gFW) بود. بیشترین تجمع پرولین در شرایط تنش به ژنوتیپ شماره ۱ تعلق یافت (شکل ۱۰). علت این تجمع در این ژنوتیپ می‌تواند این باشد که گیاه با این مکانیسم به روش تنظیم اسمزی شیب مثبتی را برای جذب آب به وجود آورده و بدین وسیله شرایط کم آبی را بهتر تحمل می‌کند. تجزیه سریع این اسیدآمینه به محض رهایی از تنش، می‌تواند احیاگرهای کافی را فراهم کند که از فسفریلاسیون اکسیداتیو در میتوکندری و تولید ATP برای بازسازی خسارت‌های القاشده از تنش، پشتیبانی کند (Hikmat Shoar, 1993). در سایر پژوهش‌ها نیز افزایش میزان پرولین تحت تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج تحقیقات حاضر مطابقت دارد (Raeesi

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



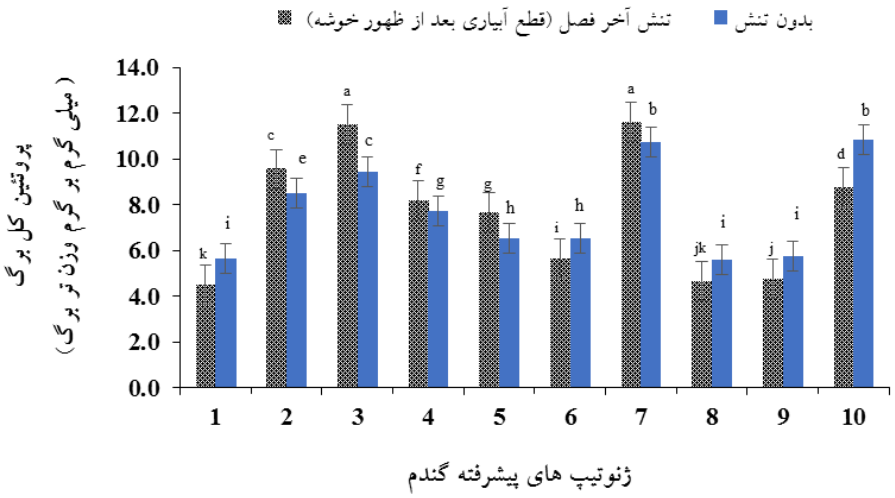
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت پرولین حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

(Sadati *et al*., 2021).

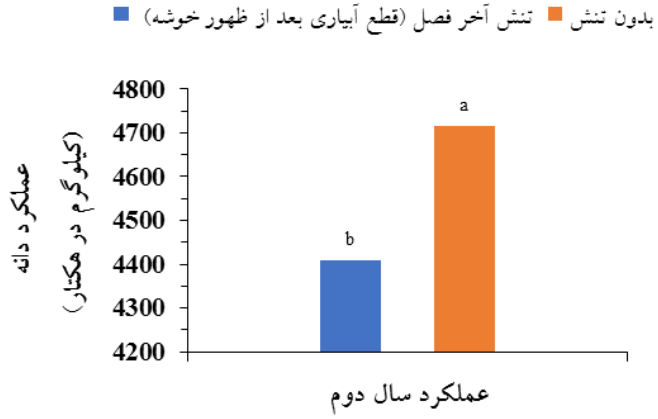
پروتئین محلول برگ: نتایج نشان دادند که پروتئین محلول برگ تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در محیط در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل و ژنوتیپ شماره ۵ × تنش آخر فصل) به ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۵۲ و ۱۱/۶۳ بیشترین و ترکیب (زرینه × تنش آخر فصل) کمترین پروتئین محلول برگ را به خود اختصاص داد (شکل ۱۱). غلظت پروتئین‌های محلول در اثر تنش خشکی به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها و کاهش سنتز پروتئین کاهش می‌یابد (Ranjan *et al*., 2017). محققان با مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم انجام دادند مشاهده نمودند که اثر متقابل تنش و ژنوتیپ بر میزان پروتئین محلول معنی‌دار بود و با افزایش شدت تنش در برخی از ژنوتیپ‌های گندم این مقدار کاهش و در برخی افزایش پیدا کرد که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت (Tavakoli *et al*., 2014). افزایش در پروتئین دانه گندم در شرایط تنش خشکی پیش از این گزارش شده است (Ahmadian *et al*., 2021). کارآیی بالای انتقال مجدد عناصر غذایی از بافت‌های رویشی به دانه منجر به پیری زودرس برگ‌ها می‌شود به‌طوری‌که انتقال مجدد بیش از حد فسفر از برگ در طول دوره پرشدن دانه، مانع فسفوریلاسیون شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Wei *et al*., 2017).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس عملکرد ۱۰ ژنوتیپ گندم نشان داد که (جدول ۳) از نظر عملکرد دانه بین سطوح فاکتور a (سطوح تنش) اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود داشت، از نظر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین اثر متقابل a×b در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. میانگین سطوح تنش خشکی برای صفت عملکرد دانه در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج به این صورت بود که تیمار بدون تنش بیشترین و تیمار تنش آخر فصل کمترین عملکرد دانه را دارا بودند. عملکرد دانه گندم در شرایط تنش آخر فصل نسبت به شرایط بدون تنش کاهش ٦/٤٨ درصدی را نشان داد که دلیل آن مواجه‌شدن گیاه با تنش خشکی در شرایط تنش بود. نتایج این پژوهش با مطالعات سایر محققین مطابقت دارد (Narimani *et al*., 2023). به‌طوری‌که این محققین نیز چنین نتایج مشابهی را در گندم گزارش نمودند. تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه به ویژه در مراحل اولیه پر شدن دانه، با کاهش وزن دانه سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Zhao *et al*., 2009). از دلایل این کاهش می‌توان به تسریع پیری برگ‌ها، کاهش تعداد گلچه‌های بارور و کاهش طول دوره پر شدن دانه اشاره کرد (Yang and Zhang,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ژنوتیپ برای صفت پروتئین کل برگ حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

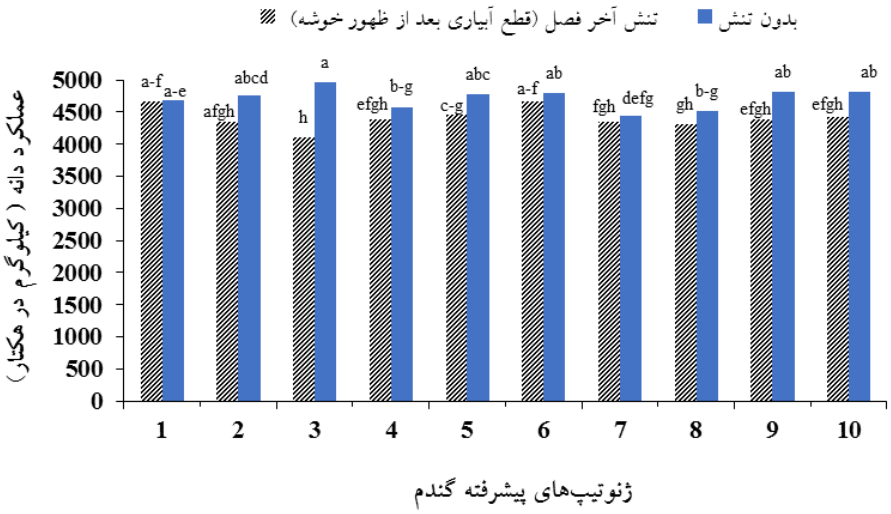


شکل ۱۲- میانگین سطوح تنش خشکی برای صفت عملکرد دانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

2006). محققین بر این باورند که دلیل کاهش عملکرد در تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش محتوای نشاسته باشد چرا که بیش از ٦٥ درصد دانه غلات از نشاسته تشکیل شده است (Barnabas *et al.*, 2008). ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳ × بدون تنش) با میانگین ٤٩٦٣ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشته و به همراه ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳، ٤، ۷ و ۸ × بدون تنش و دو رقم شاهد زرینه و حیران × بدون تنش) در کلاس برتر قرار گرفتند و کمترین عملکرد به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۳ × تنش آخر فصل) با ٤١٠١/٠٦ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. در واقع تنش خشکی آخر فصل باعث کاهش ۱۷/۳٦ درصدی عملکرد دانه ژنوتیپ شماره ۳ گردید، عملکرد دانه در رقم شاهد زرینه در هر دو شرایط مورد آزمایش تغییر چندانی نداشت. در صورتی که در رقم حیران تنش خشکی آخر فصل باعث کاهش ۸/۷۱ درصدی عملکرد دانه گردید (شکل ۱۳).

همبستگی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی با عملکرد دانه: نتایج ضریب همبستگی بین عملکرد دانه با صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در جدول ٤ آورده شده است. نتایج حاکی از رابطه مثبت و معنی‌دار صفات کلروفیل a (**۰/٤٤٦)، کلروفیل b (**۰/۳٦٦) و کلروفیل کل (**۰/٤۰٦) در سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام برای صفت عملکرد دانه حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

جدول ٤- همبستگی عملکرد دانه با صفات بیوشیمیایی مورد مطالعه

	کاتالاز (۱)	پراکسیداز (۲)	پلی‌فنل اکسیداز (۳)	پرولین (٤)	کلروفیل a (٥)	کلروفیل b (٦)	کلروفیل کل (۷)	کارتنوئید (۸)	قندهای محلول (۹)	نیتروژن کل برگ (۱۰)	پروتئین کل برگ (۱۱)	عملکرد دانه (۱۲)
۱	۱											
۲	۰/۹۹۷**	۱										
۳	۰/۹۹۷**	۰/۹۹۷**	۱									
٤	۰/۵۷۱**	۰/۵٦۲**	۰/۵٦۲**	۱								
٥	-۰/۲۳۷	-۰/۲۳	-۰/۲۳۱	-۰/٤۸۲**	۱							
٦	-۰/۱۹۲	-۰/۱۸۲	-۰/۱۸	-۰/٤۳۱**	۰/۹۵۱**	۱						
۷	-۰/۲٦۹*	-۰/۲٦۲*	-۰/۲٦۲*	-۰/٤۹۹**	۰/۹۹**	۰/۹۵۸**	۱					
۸	-۰/٦۵۷**	-۰/٦٦۵**	-۰/٦۵۹**	-۰/٤۵٤**	۰/۱۵۵	۰/۱۰۹	۰/۱۷۷	۱				
۹	۰/۵۷٤**	۰/۵٦۷**	۰/۵٦۸**	۰/۹۸۱**	-۰/۵۳**	-۰/٤٦۷**	-۰/۵٤۷**	-۰/٤۷۸**	۱			
۱۰	۰/۱۹۲	۰/۱٦۸	۰/۱۸۱	۰/۱٦٤	۰/۲۳۱	۰/۲۳۳	۰/۲۳٦	-۰/۱٤۵	۰/۰٤۵	۱		
۱۱	۰/۲۷۸*	۰/۲۷٦*	۰/۲۷۳*	۰/۳۲*	-۰/۳۹۹**	-۰/۳٤۳**	-۰/۳۹٤**	-۰/۳٦**	۰/۳۲۷*	۰/۰۸۷	۱	
۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۱۹	۰/۱۱۸	-۰/۲۳۵	۰/٤٤٦**	۰/۳٦٦**	۰/٤۰٦**	۰/۰۱	-۰/۲٦۱*	۰/۰۵۱	-۰/۱۹٤	۱

احتمال ۱ درصد و رابطه منفی و معنی‌داری با قندهای محلول (*۰/۲٦۱-) در سطح ۵ درصد بود. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات کاتالاز با پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز (**۰/۹۹۷) و بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار بین کاروتنوئید و پراکسیداز (**۰/٦٦۵-) بدست آمد (جدول ٤).

ژنوتیپ‌هایی که توانایی حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی را در شرایط تنش داشته باشند عملکرد بهتری را خواهند داشت. وجود بیشترین همبستگی مثبت بین صفات کاتالاز و با پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در این پژوهش نشان داد که این آنزیم‌ها می‌توانند نقش عمده‌ای در تجزیه ROS داشته و از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط بدون تنش و تنش

مؤلفه	مقدار ویژه	درصد واریانس	واریانس تجمعی	ضرایب مؤلفه‌ها برای عملکرد دانه در شرایط عدم تنش (نرمال) و تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه)				
				Yp	Ys	SSI	TOL	GMP
۱	۵/۸۹۵	۰/۵۹	۰/۵۹	-۰/۱	۰/۴۰۷	-۰/۳۴۹	-۰/۳۴۴	۰/۲۵
۲	۴/۰۹۲	۰/۴۰۹	۰/۹۹۹	۰/۴۸	۰/۰۷۳	۰/۲۶۳	۰/۲۷۱	۰/۳۹۳
مؤلفه	مقدار ویژه	درصد واریانس	واریانس تجمعی	ضرایب مؤلفه‌ها برای عملکرد دانه در شرایط عدم تنش (نرمال) و تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه)				
				HARM	STI	YI	YSI	MP
۱	۵/۸۹۵	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۴۰۷	۰/۲۴۷	۰/۴۰۸	۰/۳۴۳	۰/۱۰۱
۲	۴/۰۹۲	۰/۴۰۹	۰/۹۹۹	۰/۰۷۴	۰/۳۹۵	۰/۰۵۵	-۰/۲۷۲	۰/۴۷۹

جدول ۶- میانگین، انحراف از میانگین کل در ۳ خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش

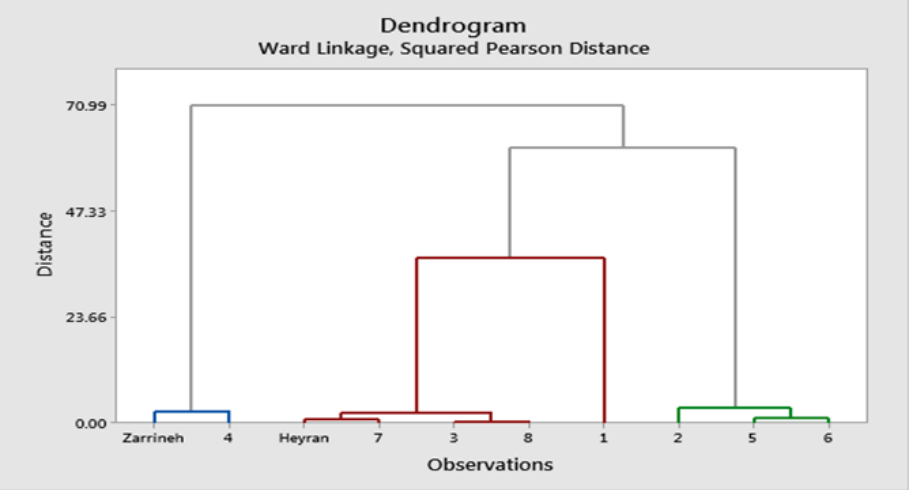
شاخص	پارامتر آماری	Yp	Ys	SSI	TOL	GMP	HARM	STI	YI	YSI	MP
گروه اول ژنوتیپ‌های شماره	$\bar{x}$	۴/۸۳	۴/۳۵	۱/۵۴	۰/۴۹	۴/۵۸	۱۳/۰۳	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹	۷
۱،۳، ۷ و ۸ و رقم حیران	$\bar{x}_h - \bar{x}_{..}$	۰/۱۱	-۰/۰۶	۰/۵۵	۰/۱۸	۰/۰۲	-۰/۲	۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۰۸
گروه دوم ژنوتیپ‌های	$\bar{x}$	۴/۵۱	۴/۳۵	۰/۵۵	۰/۱۶	۰/۴۳	۱۳/۰۵	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۹۷	۶/۶۹
شماره های ۲، ۵ و ۶	$\bar{x}_h - \bar{x}_{..}$	-۰/۲۱	-۰/۰۶	-۰/۴۳	-۰/۱۴	-۰/۱۳	-۰/۱۸	-۰/۰۵	-۰/۰۱	۰/۰۳	-۰/۲۳
گروه سوم ژنوتیپ شماره ۴	$\bar{x}$	۴/۷۴	۴/۶۶	۰/۲۵	۰/۰۸	۴/۷	۱۳/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۶	۰/۹۸	۷/۰۷
و رقم زرینه	$\bar{x}_h - \bar{x}_{..}$	۰/۰۲۵	۰/۲۵	-۰/۷۴	-۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۷۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۵
میانگین کل		۴/۷۲	۴/۴۱	۰/۹۸	۰/۳۱	۴/۵۶	۱۳/۲۳	۰/۹۴	۱	۰/۹۴	۶/۹۲

بروز صدمات ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن ممانعت کنند.

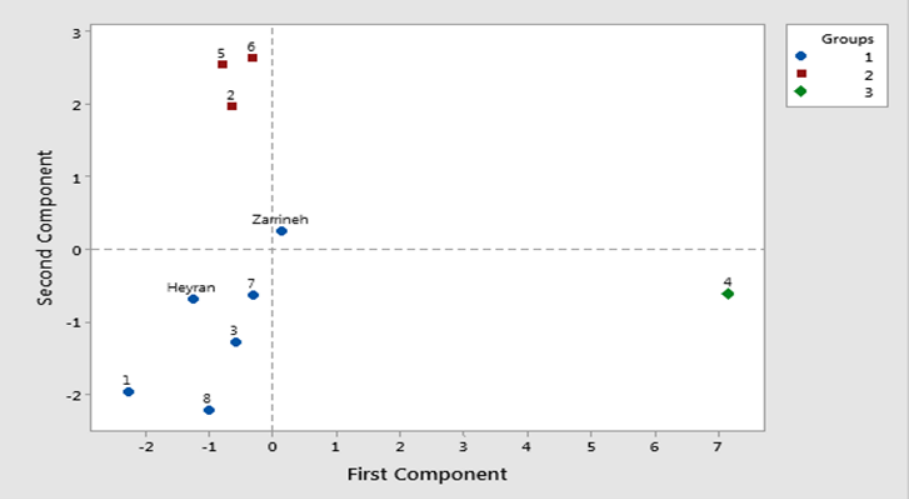
در این پژوهش، شاخص SSI نشان داد که بیشترین میزان تحمل به تنش به ژنوتیپ شماره ۱ اختصاص یافت. استفاده از شاخص TOL نشان داد که ژنوتیپ شماره ۲ بیشترین میزان تحمل به تنش را داشت. بیشترین میزان شاخص MP مربوط به ژنوتیپ شماره ۴ بود که نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و دو رقم شاهد از بیشترین تحمل در شرایط تنش برخوردار بودند. بر اساس شاخص GMP بیشترین میزان شاخص میانگین هندسی بهره‌وری مربوط به ژنوتیپ شماره ۴ بود که نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و دو رقم شاهد تحمل بیشتری نسبت به شرایط تنش خشکی از خود نشان دادند (جدول ۵ و ۶). در نتیجه می‌توان ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۴ را به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم معرفی نمود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بین شاخص‌های GMP، MP و TOL با عملکرد در شرایط عدم تنش (نرمال) و تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور سنبله همبستگی معنی‌داری وجود دارد، بنابراین می‌توان شاخص‌های MP، GMP و STI را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط بدون تنش و تنش خشکی عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت.

نتایج تجزیه خوشه‌ای: نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص‌های تحمل مورد بررسی قرار گرفت و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) به روش وارد و برش دندروگرام در فاصله ۴۸

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]



شکل ١٤- تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این پژوهش



شکل ١٥- ترسیم گرافیکی نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های گندم براساس دو مؤلفه اول

واحد، منجر به دسته‌بندی ارقام و ژنوتیپ‌ها به سه گروه شد، که نتایج در شکل ١٤ و جدول ٦ آمده است. گروه اول شامل دو زیرگروه است که ژنوتیپ‌های شماره ١، ٣، ٧ و ٨ و رقم حیران قرار داشتند و دارای عملکرد بالا از میانگین کل در تنش آخرفصل (قطع آبیاری بعد از ظهورخوشه) بودند و درصد انحراف از میانگین کل کلاستر اول برای شاخص‌های YP و SSI و TOL مثبت برآورد شد، گروه دوم که ٣ ژنوتیپ به شماره‌های ٢، ٥ و ٦ را شامل می‌شود تنها از نظر YSI درصد انحراف از میانگین کل مثبت داشت و گروه سوم که شامل ژنوتیپ شماره ٤ و رقم زرینه بود از نظر صفت عملکرد در رتبه اول قرار داشت و درصد انحراف از میانگین کل کلاستر سوم برای شاخص‌های YS و GMP و HARM و STI و MP مثبت برآورد شد. این خوشه از نظر عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رتبه اول را در بین گروه‌ها به خود اختصاص دادند. بنابراین برای افزایش عملکرد دانه می‌توان از این رقم در دورگ‌گیری‌ها استفاده کرد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس میانگین شاخص‌ها و عملکرد دانه: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به منظور دسته‌بندی صفات، تعیین ترتیب اهمیت صفات و ارتباط هر یک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل داده‌ها انجام گرفت (Babazadeh *et al.*, 2017). معیار انتخاب تعداد مؤلفه‌ها براساس تعداد ریشه‌های بزرگتر از یک بوده و از آن جایی که تعداد متغیرهای اولیه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

مورد استفاده در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برابر ۸ است، بر اساس فرمول ۲/ (۱+ P) > F (که در آن P و F به ترتیب نشان‌دهنده تعداد متغیرها و مؤلفه‌ها است انتخاب دو مؤلفه برای این آزمایش با اصول ارائه‌شده مطابقت دارد (Mollasadeghi *et al*., 2011). صفاتی که با علامت یکسان در زیر مجموعه یک مؤلفه قرار می‌گیرند، همگی تحت تأثیر هم جهت یک مؤلفه ناشناخته قرار دارند و به عبارتی با ماهیتی ناشناخته به طور هم جهت بر آن صفات تأثیر می‌گذارند. هر مؤلفه دارای موجودیت انفرادی نیست بلکه برآیند مجموعه ویژگی‌ها و فرآیندهایی است که آن صفات را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Shahryari and Mollasadeghi, 2011). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص کرد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مؤلفه (PCA1 مؤلفه اول) و (PCA2 مؤلفه دوم) بیان می‌شود (به ترتیب ۵۹ و ٤۱ درصد) در نتیجه تفسیر نتایج بر اساس این دو مؤلفه کارایی بالایی دارد (جدول ۵). همچنین، از بین مؤلفه‌های محاسبه‌شده تنها دو مؤلفه اول و دوم مقادیر ویژه بزرگتر از یک داشتند (به ترتیب ۵/۸۹۵ و ٤/۰۹۲). بنابراین برای ترسیم بای پلات استفاده شدند (شکل ۱۵). آنالیز داده‌ها نشان داد که مؤلفه اول همبستگی مثبت و نسبتاً زیادی با شاخص‌های YS و SSI و HARM وYSI و YI دارد. در نتیجه این مؤلفه مرتبط با عملکرد در هر دو محیط و تحمل به خشکی است. مؤلفه دوم همبستگی منفی و بالایی با شاخص‌های YP و YI و MP و STI و GMP نشان داد؛ بنابراین می‌توان این مؤلفه را بیانگر حساسیت به خشکی در نظر گرفت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط نرمال و تنش باعث ایجاد تعدادی ترکیب‌های خطی از این شاخص‌ها شد که این ترکیب‌های خطی بیشترین تنوع در داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهند (Kamrani *et al*., 2016). استفاده از بای‌پلات به عنوان روشی بهتر از تحلیل همبستگی ساده به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای هر دو شرایط تنش و بدون تنش ضروری است، چون ژنوتیپ‌ها در آنالیز بای‌پلات برای تمام صفات به‌طور همزمان مقایسه می‌شوند (Amiri *et al*., 2014). بنابراین برای بررسی همزمان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و آنالیز بای‌پلات استفاده گردید.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌شود که تنش خشکی باعث تغییر در فاکتورهای رشد و فیزیولوژیکی شده و موجب صدمات اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. در این پژوهش خشکی از طریق تنش‌های اکسیداتیو باعث تخریب و کاهش کلروفیل و کاهش عملکرد در گیاه شد. اما فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت که از سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر تنش خشکی هستند می‌تواند منجر به از بین بردن تنش اکسیداتیو یا کاهش آن در گیاه شود. در این پژوهش بیشترین همبستگی مبثت و معنی‌دار بین صفات کاتالاز با پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز و بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار بین کاروتنوئید و پراکسیداز بدست آمد. وجود بیشترین همبستگی مثبت بین صفات کاتالاز و با پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در این پژوهش نشان داد که این آنزیم‌ها می‌توانند نقش عمده‌ای در تجزیه ROS داشته و از بروز صدمات ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن ممانعت کنند. همچنین در این پژوهش، بیشترین میزان تحمل به تنش به ترتیب به ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ٤ تعلق گرفت. بنابراین می‌توان ژنوتیپ‌های فوق را به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش به به‌نژادگران معرفی نمود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله برخود لازم می‌دانیم که از مساعدت و همکاری تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی در انجام این پژوهش نهایت تقدیر و تشکر را داشته باشیم.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

منابع

Abbasi, A., Lotfi, R., & Janmohammadi, M. (2018). Response of antioxidant defense mechanism and wheat yield changes to drought stress with application of different concentrations of nano-silicone and nano-titanium. *Iranian Journal of Dryland Agriculture,* 7(1), 79-101. (In Farsi). https://doi.org/10.22092/idaj.2018.120366.196

Ahmadian, K., Jalilian, J., & Pirzad, A. (2021). Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management, 244*, 1-12. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420320916

Alghamdi, A. A. (2009). Evaluation of oxidative stress tolerance in two Wheat (*Triticum aestivum*) cultivars in response to drought. *International Journal of Agriculture Biology*, *11*, 7-12. https:// apifspublishers.org/view paper/76090-pdf

Amiri, A., Bagheri, A., Khaje, M., Najafabadi Pour, F., & Yadollahi, P. (2014). Effect of silicon foliar application on yield an antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. *Journal of Crop Improvement*, *5*(4), 361-372. https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/22213920405.pdf

Argenta, G., Silva, P. R. F. D., & Sangoi, L. (2004). Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Revista Cientifica do Centro de Ciencias Rurais Universidade Federal de Santa Maria*, *34*(5), 1379-1387.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal, 23*, 112-121.

Barnabas, B., Jager, K., & Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, *31*(1), 11-38.

Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M., & Homaee, M. (2017). Assessing and modifying macroscopic root water extraction basil (*Ocimum basilicum*) models under simultaneous water and salinity stresses. *Soil Physics and Hydrology, Soil Science Society of America Journal* 5585 *Guilford Rd, Madison WI 53711 USA.* https://doi.org/10.2136/SSSaj2016.07.0217

Bates, L. S., Walderen, R. D., & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060

Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Zaman Kassaee, M., Modares Sanavi, S. A. M., & Sorooshzadeh, A. (2019). Improving growth and yield of wheat under drought stress via application of SiO_2 nanoparticles. *Journal of Agricultural Science and Technology, 20*. https://jast.modares.ac.ir/article_16237.html

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/942051/

Bolton, M. D. (2009). Primary metabolism and plant defense fuel for the fire. *Molecular Plant Microbe Interactions, 22*, 487-497. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19348567/

Chance, B, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775.

Emadi, N., Baluchi, H., & worldview, S. (2012). Effect of drought stress on grain yield and some physiological characteristics of different red bean genotypes. *Plant Ecophysiology*, *18*, 1-11, (in Farsi). https://cropscience.uoz.ac.ir/article_207555.html?lang=en

Esmaeili, A., Zebarjadi, A. R., Nadjaphy, A., & Saeidi, M. (2022). Investigation of activity of antioxidant enzymes under drought stress conditions in some bread wheat advanced genotypes. *Cereal Biotechnology and Biochemistry, 1*(4), 496-509. https://doi.org/ https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8408.1023

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development, 29*, 185-212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

Ghaderi, M., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., & Raeisi sadati, S. Y. (2020). Study of total protein content, soluble sugar, proline content and *P5CS* gene expression in leaves of three wheat cultivars under drought stress, *Agricultural Biotechnology Journal, 12*(4), 125-144. https://doi.org/10.22103/jab.2020.15668.1219

Gillham, D, & Dodge, A. (1987). Chloroplast superoxide and hydrogen peroxide scavenging systems from pea leaves: Seasonal variations. *Plant Science*, *50*, 105-109. https://doi.org/ doi: 10.1007/BF00391422

Gupta, A., Rico-Medina, A., & Cano- Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought haracteristics of chickpea (*Cicer arietinum L.*) under drought stress, *Photosynthetica*, *54*(1), 87-92. https://doi.org/ 10.1126/scienceaaz7614.

Heidari, N., Pouryousef, M., & Tavakoli, A. (2015). Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 27*(5), 829-839. https://doi.org/10.22103/ 27507/

Hikmat Shoar, H. (1993). Plant Physiology in Difficult Conditions. Niknam Publications, Tabriz.

Hoque, M. A., Okuma, E., Banu, M. N. A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., & Murata, Y. (2008). Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than exogenous betaine by increasing antioxidant enzyme activities. *Journal of Plant Physiology*, *164*, 553-561.

Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A., & Ahmadpour, R. (2014). Effects of foliar application of methanol on

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology, 5*, 115-132. https://ijpb.ui.ac.ir/article_18904.html?lang=en

Huseynova, M. I. (2012). Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. *Biochemical et Biophysical Acta*, *1817*, 1516-1523. https://dor.isc.ac/doi/20.1001.1.20088264.1392.5.18.9.1

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, *84*(1), 55-60.

Jabbari, H., Akbari, A., Khosh kholgh Sima, N. A., Alahdadi, I., Shirani rad, A. H., Tabatabaee, S. A., & Hamed, A. (2014). Comparison of antioxidant enzymes and proline roles in drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Oil Plants Production*, *1*(1), 15-31. (In Farsi). https://yujs.yu.ac.ir/jopp/article-1-26-en.html

Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Kheiri Sis, M., & Raeesi sadati, S. Y. (2022). Effect of putrescine on yield and some physiological parameters of wheat in response to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(4), 16-29. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.329821.654849

Jahanbakhsh, S., parmoon, G. H., & Joudi, Z. (2020). Effect drought and salt stress on germination, establishment and antiocidant enzyme activity different ecotypes chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 8*(30),1-19. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.30.17.1

Kamrani, M., Ebadi, A., & Mehreban, A. (2016). Evaluation of grain yield-based drought tolerance indices for screening durum wheat genotypes. *Jordan Journal of Agricultural Sciences, 12*, 649-665. http://dx.doi.org/10.61186/jcb.15.48.1

Kar, M, &Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, *578*, 315-319. https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315

Kovacik, J., Klejdus, B., Babula, P., & Jarosova, M. (2014). Variation of antioxidants and secondary metabolites in nitrogen-deficient barely plants. *Journal of Plant Physiology*, *171*, 260-268. Http//./10.1016/j.jplph.2013.08.004

Mahdavi, Z., Rashidi, V., Yarnia, M., & Aharizad, S. (2022). Grouping of advanced spring wheat genotypes based on morphological, physiological and yield components under drought stress. *Journal of Crop Breeding, 14*(42), 9-21. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.42.9

Marcin ska, I., Czyczylo-Mysza, I., Skrzypek E., Filek, M., Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Janowiak, F., Hura, T., Dziurka, M., Dziurka, K., Nowakowska, A., & Quarrie, S. A. (2013). Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought susceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta Physiology Plant*, *35*, 451-461. http://dx.doi. Org/ 10.3390/ijms140713171

Ministry of Agriculture-Jahad (1402). Agricultural Statistics Yearbook (Amarnameh-ye Keshavarzi), Crop year 1401-1402, Vol. 1: Field crops. Tehran: Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of Planning and Economic Affairs.

Moayedinezhad, A., Mohammadparast, B., Hosseini Salekdeh, Gh., Mohseni fard, E., & Ali Nejatian, M. (2022). Effects of drought stress on total phenolic, phenolic acids, polyamines and some organic acids in two important Iranian grapevine cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(34), 19-26.

Mohammadi, A., Habibi, D., Rohami, M., & Mafakheri, S. (2011). Effect of drought stress on antioxidant enzymes activity of some chickpea cultivars. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Science*, *11*(6), 782-785. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1199-fa.html

Mollasadeghi, V., Valizadeh, M., Shahryari, R., & Imani, A. (2011). Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices. *Middle-East Journal of Scientific Research*, *7*(2), 241-247. http://www.idosi.org/mejsr/mejsr7(2)11/19.pdf

Movludi, A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Davari, M., & Parmoon, G. H. (2014). The effect of water deficit and nitrogen on the antioxidant enzymes activity and quantum yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Notulae Botanicae Hortical Agrobotanici Cluj-Napoca, 42*, 398-404. http://dx.doi. Org 0.15835/NBHA4229340

Munne-Bosch, S, & Alegre, L. (2004), Die and let live: Leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, *31*(3), 203-216. http://dx.doi. Org 10.1071/FP03236

Naghavi, M. R., Moghaddam, M., Toorchi, M., & Shakiba, M. R. (2014). Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. *Journal of Crop Breeding*, *8*(17), 192-207. https://jcb.sanru.ac.ir/article-1-611-en.pdf

Narimani, N., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. H. (2019). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, *10*(3), 21-40. https://ijpb.ui.ac.ir/article_23054_en.html

Narimani, N., Seyed Sharifi, R., & Sedghi, M. (2023). Effect of putrescine, vermicompost and mycorrhiza on yield, activity of antioxidant enzymes and the changes of some physiological traits of triticale in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing*, *13*(3), 49-78. http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.3.258510

Nematpour, A., Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M., & Gheysari, M. (2020). Interactive effects of sowing date and nitrogen fertilizer on water and nitrogen use efficiency in millet cultivars under drought stress. *Journal of Plant Nutrition, 43*, 122-137. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.33.22.2

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

Omokolo, N. D., Tsala, N. G., & Djocgoue, P. F. (1996). Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with Phytophthora megakarya Bra. and Grif. *Annals of Botany, 77*, 153-158.

Patger, M., Bragato, C., & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of phragmites australis to water deficit. *Aquatic Botony*, *81*, 285-299. https://plant.ijbio.ir/article_1714_c87d67b5a70368be8e980d85ae19c462.pdf

Raeesi Sadati, S. Y., Jahanbakhsh Godekahriz, S., Ebadi, A., & Sedghi, M. (2020). Effect of zinc nano oxide foliar application yield and physiological traits wheat under drought stress. *Scientific Journal of Crop Physiology, I.A.U. Ahvaz, 12*(46), 45-64. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5

Raeesi Sadati, S. Y., Jahanbakhsh Godekahriz, S., Ebadi, A., & Sedghi, M. (2021). Effect of zinc oxide nanoparticles on some biochemical and morphological characteristics of wheat under drought conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 233-250. https://doi.org/10.22034/saps.2021.13106

Ranjan, R., Bohra, S. P., & Jeet, A. M. (2017). Plant Senescence. Jodhpur, Agrobios. https://scholar.google.com/citations?user=bm9J_K8AAAAJ&hl=en

Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H., & Niknam, V. (2020). Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20*, 1122-1132. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020JSSPN

Saeidi, M., Ardalani, Sh., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M. E., & Abdoli, M. (2018). Antioxidant enzyme responses and crop yield of wheat under drought stress and re-watering at vegetative growth period. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *8*(1), 2257-2267. https://www.sid.ir/FileServer/JE/1036720180103

Shahryari, R, & Mollasadeghi, V. (2011). Introduction of two principle components for screening of wheat genotypes under end seasonal drought. *Advances in Environmental Biology, 5*, 519-523. https://scholar.google.com/citations?user=wYb3Y4wAAAAJ&hl=en

Silva, M. A., Jifon, J. L., Silva, J. A. G., & Sharma, V. (2007). Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*, 193-201.

Song, F., Yang, Q., Huang, J., Guo, Z., Yong, L., & Deng, W. (2026). Plant drought stress: Physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Plant Stress*, *15*, 100711. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100711

Sotiropoulos, T., Kalfountzos, D., Aleksiou, I., Kotsopoulos, S., & Koutinas, N. (2006). Response of a clingstone peach cultivar to regulated deficit irrigation. *Journal of Agricultural Sciences*, 67(2), 164-169. https://www.scielo.br/j/bjpp/a/LyVDNdcfhPNG7GWdvgtHHsr/

Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A. R., Mohammadi, H., & Ebadi, A. (2023). Morpho-physiological evaluation of susceptible and drought tolerant genotypes of winter bread wheat. *Crop Production Journal*, *16*(2), 105-124. https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20693.2541

Taleahmad, S, & Hadad, R. (2010). Effect of silicon on antioxidant enzymes activities and osmotic adjustment contents in two bread wheat genotypes under drought stress conditions. *Seed and Plant Production*, *26*(2), 207-225. (In Farsi). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110404

Tavakoli Hasanaklou, H., Ebadi, A., & jahanbakhsh, S. (2014). Study of some tolerance mechanisms to water dificit stress in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research*, *4*(1), 13-25. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22520163.1393.4.1.2.6

Turkan, I. (2011). Plant responses to drought and salinity stress. Development in a post- Genomic era. *Advances in Botanical Research*, 593. https://www.scienceopen.com/book?vid=0e7a4a05-016c-4a63-aba6-ed62174e937a

Wang, L. J., Fan, L., Loescher, W., Duan ,W., Liu, G. J., Cheng, J. S., Luo, H. B., & Li, S. H. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biology*, *10*(1), 34. http://www.biomedcentral.com/14712229/10/34

Wei, H., Meng, T., Li, C., Xu, K., Huo, Z., Wei, H., & Dai, Q. (2017). Comparisons of grain yield and nutrient accumulation and translocation in high -yielding japonica/indica hybrids, indica hybrids, and japonica conventional varieties. *Field Crops Research, 204*, 101-109. http://www.ricesci.org/EN/10.1016/j.rsci.2023.06.006

Wolf, B. (1982). A comprehensive system of leaf analysis and its use for diagnosing crop nutrient analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *13*, 1035-1059. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2496-8_40

Yamada, K, & Osakabe, Y. (2018). Sugar compartmentation as an environmental stress adaptation strategy inplants. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, *83*, 106-114. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.12.015

Yang, J, & Zhang, J. (2006). Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist, 169*(2), 223-236. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1345422

Zhao, C. X., He, M. R., Wang, Z. L., Wang, Y. F., & Lin, Q. (2009). Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong gluten winter wheat. *Comptes Rendus Biologies, 332*(8), 759-764. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.12.015 https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]

Evaluation of the effect of drought stress on yield and some biochemical and physiological traits in different bread wheat genotypes

Babak Sadeghiyeh [1], Sodabeh Jahanbakhsh Godehkahriz *[1], Amirabbas Matin [2], Marefat Ghasemi [3], Salim Farzaneh [1]

[1] Department of Plant Genetics and Production Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Department of Chemistry, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
[3] Horticulture Crops Reasearch Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Reasearch and Education Center, Ardabil, Iran

Abstract

Wheat, as a strategic crop, occupies the largest cultivated area worldwide and plays a vital role in the economy and food security. Drought stress is a major challenge in agriculture that can lead to reduced crop yield. To investigate the effect of terminal drought stress on yield and some physiological and biochemical traits, as well as the activity of antioxidant enzymes, an experiment was conducted at the Agricultural and Natural Resources Research Station of Ardabil Province on 10 advanced bread wheat genotypes. The experiment was performed in three replications as a factorial based on a randomized complete block design. Factor levels included (a) stress levels (terminal stress, i.e., irrigation cut-off after heading, and non-stress) and (b) the genotypes under evaluation. Drought stress caused a 6.48% reduction in grain yield. Results indicated that drought stress caused a reduction in yield and an increase in the activity of antioxidant enzymes in the plants in a way; the highest activity of catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase enzymes (1.77), (2.89), and (1.31) was related to the combination of genotype number 5 in the absence of stress and genotype number 4 in the absence of stress, respectively. According to the results obtained, the coefficient of variation related to each of the measured errors was within an appropriate range, and the lowest and highest coefficients of variation related to the experimental error were 19.9% and 2.08% in total leaf nitrogen and soluble sugars, respectively.

Keywords: Oxidative stress, Chlorophyll, Antioxidant enzymes, Protein, Proline, Soluble sugars

Received: Nov. 03, 2025; Revised: Feb. 02, 2026; Accepted: Apr. 07, 2026; Published Online: Oct. 30, 20026
*Corresponding Author: jahanbakhsh@uma.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.95]