فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۸، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۸۹-۲۱۴
https://doi.org/10.22034/14.68.189

مقاله پژوهشی

ارزیابی برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم نان تحت تأثیر تنش خشکی

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

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

[۲] بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶)

چکیده

به منظور ارزیابی کارآیی صفات مورفوفیزیولوژیک در گزینش تحمل به تنش خشکی گیاه گندم نان، آزمایشی با ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو محیط تنش خشکی و بدون تنش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری در افزایش صفات روز تا خوشه‌دهی، تعداد سنبلچه در سنبله، اتلاف آب برگ، میزان نشت یونی و هدایت الکتریکی و کاهش صفات وزن سنبله، فلورسانس متغیر (FV)، فلورسانس بیشینه (FM)، شاخص سبزینگی (SPAD)، رطوبت نسبی برگ (RWC) و پایداری غشای سیتوپلاسمی داشت. ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳) × (بدون تنش) با میانگین ۴۹۶۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشته و به همراه ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳، ۴، ۷ و ۸) × (بدون تنش) و (دو رقم شاهد زرینه و حیران) × (بدون تنش) در گروه برتر قرار گرفتند و کمترین عملکرد به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۳) × (تنش آخر فصل) با ۴۱۰۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. عملکرد دانه با صفات وزن سنبله، فلورسانس کلروفیل (F0)، فلورسانس کلروفیل (Fm)، محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) و پایداری غشای سیتوپلاسمی همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات نشت یونی و اتلاف آب برگ رابطه منفی و معنی‌داری نشان داد. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات وزن سنبله و وزن دانه بدست آمد که می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین معیار گزینش تحمل به خشکی در گندم مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، فلورسانس کلروفیل، عملکرد

مقدمه

گندم با نام علمی (*Triticum aestivum* L.) از تیره غلات به عنوان مهم‌ترین محصول غذایی بیشترین سطح زیرکشت را در دنیا به خود اختصاص داده است. این گیاه از لحاظ اقتصادی و امنیت غذایی نقش مهمی را در جهان ایفا می‌کند (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۱۳۹۶). ۳۵ درصد از مردم جهان این گیاه را به عنوان غذای اصلی مصرف می‌کنند. زیرا گندم به تنهایی ۲۱ درصد پروتئین روزانه و یک پنجم از کالری مورد نیاز انسان را

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: jahanbakhsh@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

در جهان فراهم می‌نماید (Beasley *et al.*, 2019). از مهم‌ترین تهدیدهای جهانی برای تولید مواد غذایی می‌توان به تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی اشاره کرد که تغییرات و نوسانات آب و هوایی و همچنین افزایش روز افزون جمعیت جهان ابعاد این مشکل را گسترده‌تر می‌نمایند (Sarshad *et al.*, 2021). خشکسالی واژه‌ای است هواشناسی که در طول این دوره بارندگی قابل توجهی رخ نمی‌دهد (Viljevac *et al.*, 2022). کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. زمانی که تنش خشکی رخ می‌دهد کمیت و کیفیت محصولات نیز تحت تأثیر این تنش قرار گرفته و در نتیجه منجر به افت عملکرد می‌شود. در واقع می‌توان گفت که کمبود آب بزرگترین چالش در تولید محصول به ویژه در این مناطق است (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. از مهم‌ترین اثرات این تنش در گیاه می‌توان کاهش فشار آماس را نام برد که وقوع آن منجر به کاهش سرعت رشد محصول و کوچک‌شدن گیاه می‌شود (Shamsai *et al.*, 2021). مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی به تنوع (گوناگونی) خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه وابسته است (Gupta *et al.*, 2020). خشکی به عنوان یک تنش چند بعدی می‌تواند اثرات متنوعی روی گیاهان داشته و بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژی و فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. این تنش باعث تولید اکسیژن فعال شده که این امر موجب آسیب به غشای سلولی، بازدارندگی انتقال الکترون، تخریب ساختار کلروپلاست‌ها، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش عملکرد فتوسیستم II و در نهایت فتوسنتز می‌گردد (Mahmood *et al.*, 2020). از مهم‌ترین روش‌هایی که برای تعیین فعالیت سیستم فتوسنتزی و میزان آسیب وارده به آن تحت تأثیر تنش خشکی، وجود دارد می‌توان به سنجش فلورسانس کلروفیل اشاره نمود. مقدار فلورسانس کلروفیل، در واقع بیانگر این واقعیت است که غشای تیلاکوئیدی سالم بوده و انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I نسبتاً ایده آل است (Hoseinzadeh *et al.*, 2016). اولین واکنش گیاه در زمان مواجهه با تنش بسته‌شدن روزنه‌ها است (Sousaraei *et al.*, 2021). این تنش منجر به از دست رفتن آب سلول‌های مزوفیل شده و باعث می‌شود دستگاه فتوسنتزی آسیب دیده که این امر در نهایت منجر به مختل‌شدن فتوسنتز می‌گردد. در چنین شرایطی است که کلروپلاست در معرض انرژی برانگیخته مازاد قرار گرفته و احیا نوری اکسیژن اتفاق می‌افتد که در نهایت باعث تولید ROS می‌گردد (Waseem *et al.*, 2011). کلروفیل از مهم‌ترین ترکیبات کلروپلاست بوده که نقش مهمی را در فتوسنتز ایفا می‌کند و به دلیل نقش تنش در کاهش کلروفیل اکسایش نوری رنگدانه‌ها و تخریب کلروفیل‌ها در گیاهان اتفاق می‌افتد (Rahdari and Hoseini, 2012). از عوامل مهم و کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌توان به محتوای کلروفیل برگ‌ها اشاره کرد. از روش‌های مهمی که در تعیین اختلال در سیستم فتوسنتزی وجود دارد اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل است. اندازه‌گیری این شاخص یک روش کارا و غیرمخرب می‌باشد که محققین را در تشخیص خسارت واردشده به گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش خشکی یاری می‌کند. این شاخص به دلیل رابطه نزدیکی که با دستگاه فتوسنتزی دارد می‌تواند شاخص مناسبی جهت بررسی تنش خشکی در گیاه باشد. به دلیل مناسب بودن برخی از پارامترهای این شاخص می‌توان از آن در برنامه‌های اصلاحی به عنوان نشانگرهای زیستی برای غربالگری گیاهان مقاوم به تنش خشکی استفاده کرد (Lisitsyn and Churakova, 2022). زمانی که گیاهان فعالیت فتوسنتزی خود را در مطابقت با عوامل تنش‌زا تغییر می‌دهند کمپلکس‌های پروتئین-کلروفیل غشاهای تیلاکوئید در اثر استرس یا تغییرات فیزیولوژیکی طبیعی آسیب می‌بینند که فلورسانس می‌تواند به عنوان یک فرآیند طبیعی مولکول‌های کلروفیل تغییر نماید (Barboricova *et al.*, 2022). محققین برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از پارامترهای مختلفی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

استفاده می‌کنند که می‌توان به F0 (کمترین فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی)، Fm (بیشترین فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی) و Fv (فلورسانس متغیر در برگ سازگارشده با تاریکی) اشاره نمود (Maxwell and Johnson, 2000). با اندازه‌گیری این شاخص می‌توان اثرات تنش خشکی را بر روی عملکرد گیاهان بررسی کرده و به تشخیص و مشکلات مربوط به آبیاری مدیریت منابع آب کمک شایانی نمود (Eshghizadeh and Ehsanzadeh, 2009). در زمان بروز تنش خشکی کاهش فلورسانس متغیر (Fv) و عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) در گیاه اتفاق می‌افتد و در صورت ناکافی بودن نور خورشید فلورسانس از مقدار F0 به بیشترین مقدار خود یعنی Fm خواهد رسید (Shir-Mard Kermanshahi, 2003). از مهم‌ترین اثرات تنش خشکی در گیاه می‌توان به محدودیت در فتوسنتز اشاره کرد (Si *et al.*, 2020). زمانی که گیاه با تنش مواجه می‌شود فتوسنتز در آن محدود می‌شود که این امر توسط آسیب در سطح کلروپلاست اتفاق می‌افتد که بیانگر این واقعیت است که غلظت رنگدانه‌های کلروپلاست به شدت کاهش یافته است (Barboricova *et al.*, 2022). کاهش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی برگ در گیاهان از جمله عواملی هستند که در زمان وقوع تنش خشکی موجب کاهش فتوسنتز و عملکرد دانه در گیاه می‌شوند. محققین در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که در شرایط مواجهه گیاه با محدودیت آب RWC برگ‌ها کاهش می‌یابد که علت آن را می‌توان به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها نسبت داد (Siddique *et al.*, 2000). غشای پلاسمایی از اولین بخش‌هایی است که در زمان مواجه‌شدن گیاه با خشکی آسیب می‌بینند. همچنین این تنش باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد که این امر ناشی از افزایش نشت الکترولیت و کاهش شاخص کلروفیل در گیاه است (Mohammadkhani and Heidari, 2007). با توجه به اهمیت تغذیه‌ای گندم و قرارگرفتن ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گندم نان بر روی ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گندم نان آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل با ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم نان در سه تکرار به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. در این پژوهش سطوح فاکتور a سطوح تنش (تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش) و سطوح فاکتور b ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی برای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک هستند. محل انجام آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۲۰ 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 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 ۱۴۰۲ به عنوان زمان کاشت در نظر گرفته شد. میزان کود مصرفی در شرایط آبیاری نرمال و تنش بر اساس آزمون خاک اعمال شد. مساحت هر کرت ۷/۲=۱/۲×۶ مترمربع و مساحت کرت قابل برداشت ۶ مترمربع بود. تعداد بذر استفاده‌شده در این پژوهش ۴۵۰ بوته در مترمربع بود. کودهای بکار-رفته بسته به آزمایش خاک ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب شامل کود فسفره، دی‌آمونیوم فسفات و کود اوره در سه مرحله زمان کاشت، مرحله پنجه‌زنی و اوایل خوشه‌دهی بود. آبیاری بسته به شرایط جوی و اقلیمی دو بار برای شرایط تنش و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت و سه بار برای شرایط نرمال و در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد انجام گرفت و در زمان ظهور کامل سنبله و یک هفته قبل از گرده‌افشانی آبیاری قطع شد. برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ در مزرعه به ترتیب از سموم تاپیک و گران استار استفاده شد. پس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

شرایط	نوع بافت	pH خاک	پتاسیم	فسفر	کلر	نیتروژن
			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			(درصد)
تنش	لومی رسی	۷/۷	۵۸۹/۲۳	۸/۸۷	۱۰/۲	۰/۱۱۷
نرمال	لومی رسی	۷/۷	۶۴۸/۷۷	۶/۶۰	۱۵/۱۳	۰/۰۸۴۵

جدول ۲- شجره ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش

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

از حذف اثر حاشیه میزان عملکرد بر حسب گرم بر کرت (عملکرد بوته) به دست آمد و سپس بر حسب تناسب به تن در هکتار تبدیل گردید. در جدول ۲ به ارقام و ژنوتیپ‌هایی که از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شده بود اشاره شده است. ارقام زرینه و حیران ارقام شاهد هستند.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ که شامل F0 (کمترین فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی) Fm (بیشترین فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی) و Fv (فلورسانس متغیر در برگ سازگارشده با تاریکی) هستند اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم در مزرعه ۱۹۸ روز پس از کاشت، هر چهار روز یک بار از هر تیمار بطور تصادفی پنج برگ پرچم توسعه‌یافته در فاصله زمانی ۸ تا ۱۰ صبح انتخاب شد و پس از ۱۵ دقیقه تاریکی با گیره ویژه دستگاه اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p شرکت Opti Sciences آمریکا) به همراه شاخص‌های Fm، F0 و Fv اندازه‌گیری شد (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016). شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502 شرکت Konica Minolta ژاپن) پس از ظهور برگ پرچم در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار تا مرحله رسیدگی اندازه‌گیری شد.

سنجش میزان کلروفیل برگ با استفاده از روش Arnon (۱۹۶۷) انجام شد و با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل محاسبه شد.

$$Chl\ a = 12.25\ A_{663.2} - 2.798\ A_{646.8}$$
$$Chl\ b = 21.5\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$$
$$Chl\ t = Chl\ a + Chl\ b$$

برای تعیین درصد محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) به فاصله ۱۵ روز بعد از گلدهی نسبت به تهیه نمونه‌های برگی و تعیین رطوبت نسبی آن‌ها اقدام شد. در اجرای کار، تعداد پنج برگ پرچم به طور تصادفی انتخاب و پس از گذاشتن در داخل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

فویل‌های آلومینیومی داخل یخ قرار گرفته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و از هر کدام از برگ‌ها یک دیسک برگی به طول ۳ سانتی‌متر تهیه و توزین شد (وزن تر). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر دو بار تقطیر غوطه‌ور شدند. سپس با خارج‌کردن نمونه‌ها از آب‌مقطر و خشک‌کردن آن‌ها بین دو کاغذ صافی، نمونه‌ها وزن شدند (وزن تورم کامل). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و پس از خشک‌شدن، دوباره توزین شدند (وزن خشک). RWC برگ‌ها نیز از رابطه زیر بدست آمد (Kostopoulou *et al.*, 2010).

RWC (%) = (FW-DW) / (TW-DW)

در این رابطه FW وزن تر، TW وزن تورم کامل و DW وزن خشک نمونه‌های برگ است.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ نمونه‌های برگ پرچم به مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر و در دمای اتاق غوطه‌ور شدند. سپس میزان هدایت الکتریکی با دستگاه EC متر (مدل Pet 103 شرکت Atron) ایران اندازه‌گیری شد (Kostopoulou *et al.*, 2010).

برای تعیین مقدار اتلاف آب برگ، ابتدا از هر کرت پنج بوته بطور تصادفی انتخاب و در داخل فویل‌های آلومینیومی قرار داده شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و توزین شد (FW). سپس نمونه‌ها در داخل ژرمیناتور به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد قرار گرفته و سپس توزین شدند (Wa6h). برگ‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و توزین شدند (DW). اتلاف آب برگ از فرمول زیر محاسبه شد (David, 2010).

ELWL = (Fw-Wa6a) / (Fw- DW) × 10× ×100

جهت اندازه‌گیری پایداری غشای سیتوپلاسمی، ابتدا میزان نشت اولیه برگ‌ها اندازه‌گیری شد. برای این منظور نمونه‌ها در بشرهای حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مدت ۲۴ ساعت و در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس میزان هدایت الکتریکی برگ‌ها به عنوان نشت اولیه (EC1) اندازه‌گیری شد. سپس نشت ثانویه (EC2) از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ ها پس از قراردادن نمونه‌ها در اتوکلاو و حرارت دادن آن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. شاخص پایداری غشا از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

پایداری غشای سیتوپلاسمی = EC1/ EC2

برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن برگ ابتدا برگ‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و خشک شدند. سپس نمونه‌ها پودر شده و با دستگاه میکروکجلدال میزان نیتروژن برگ به دست آمد (Wolf, 1982).

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

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در دو آزمایش جداگانه: تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش نشان داد که (جدول ۳) آورده شده است از نظر صفات روز تا خوشه‌دهی، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن سنبله، اتلاف آب برگ، فلورسانس حداقل (F0)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv)، محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC)، پایداری غشای سیتوپلاسمی، میزان نشت یونی و هدایت الکتریکی اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری بین ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم از نظر صفات روز تا خوشه‌دهی، وزن دانه، تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله، وزن سنبله، اتلاف آب برگ، فلورسانس کلروفیل (Fv) و شاخص سبزینگی (SPAD) وجود داشت که بیانگر تنوع ژنتیکی بالا بین ژنوتیپ‌ها است. همچنین از نظر اثر متقابل سطوح تنش × ژنوتیپ تنها از نظر صفات روز تا خوشه‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد سنبلچه در سنبله و طول سنبله اختلاف آماری معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد وجود داشت. نتایج مقایسه سطوح تنش برای صفات مورد ارزیابی نشان داد که (جدول ۴) تنش آخر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیک در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی تحت تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	روز تا خوشه‌دهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	وزن دانه (گرم)	تعداد دانه	تعداد سنبلچه در سنبله	طول سنبله (سانتی‌متر)	وزن سنبله (گرم)
تکرار	۲	۴۷/۷۲**	۸۳/۵۲**	۰/۲۱۵^{ns}	۱۰۸/۱۲ ^{ns}	۱/۸ ^{ns}	۱/۲۸ ^{ns}	۰/۴۹۸ ^{ns}
(سطوح تنش) A	۱	۵/۴*	۰/۸۲^{ns}	۰/۳۸۶ ^{ns}	۲۶/۶۷ ^{ns}	۴/۸۲*	۰/۲۹ ^{ns}	۴/۲۰۲**
(ژنوتیپ) B	۹	۴/۳۸۷**	۰/۶۴۶ ^{ns}	۰/۶۷۵**	۹۵/۱۲ ^{ns}	۱۰/۸۳**	۲/۹۸**	۰/۸۳۵**
اثر متقابل A×B	۹	۸/۱۷۸**	۴/۱۹**	۰/۲۲۹ ^{ns}	۲۱/۷۸ ^{ns}	۷/۶۷**	۱/۶۳*	۰/۱۴۸ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۳۸	۰/۹۴۵	۱/۰۴۳	۰/۱۹	۵۱/۸۳	۱/۳۴۴	۰/۶۰۷	۰/۲۰۶
ضریب تغییرات (٪)		۰/۷۷	۰/۵۳	۲۱/۴۸	۱۹/۲۳	۸/۵۶	۹/۸۳	۱۸/۹۸

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

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	درجه آزادی	اتلاف آب برگ	فلورسانس کلروفیل (Fv)	فلورسانس کلروفیل (F0)	فلورسانس کلروفیل (Fm)	نیتروژن کل برگ (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص سبزینگی
تکرار	۲	۵۰/۲۲ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۵۰۵/۰۵ ^{ns}	۷۴۶/۰۹ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۵۳۹۲۰/۴ ^{ns}	۱۳/۹۱ ^{ns}
(سطوح تنش) A	۱	۶۳۹۵/۷**	۰/۲۰۹*	۷۲۲۳/۷**	۱۸۸۵۳۴/۲**	۰/۱۲۷**	۱۴۰۳۰۱۰/۴**	۲۴۱۱/۷**
(ژنوتیپ) B	۹	۱۲۹/۹۳*	۰/۱۱*	۴۲۷/۳۴ ^{ns}	۷۵۶۶/۷ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۷۱۴۴۹/۳۱ ^{ns}	۲۷۱/۰۷**
اثر متقابل A×B	۹	۲۹/۱۱۶ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۹۶/۶۵ ^{ns}	۲۳۱۹/۸۶ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۸۷۳۲۵/۲۳*	۳۹/۹۵۲ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۳۸	۵۴/۳۴	۰/۰۴۱	۴۳۶/۲۷	۵۷۴۲/۴۵	۰/۰۱۳	۴۱۴۶۸/۲۲	۴۵/۷۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۲۲	۲۳/۳۹	۱۵/۴۱	۱۶/۷۹	۹/۱۹	۴/۴۶	۱۸/۱۵

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

ادامه جدول ۳- میانگین مربعات

منابع تغییر	درجه آزادی	کلرو فیل کل	کلروفیل a	کلروفیل b	رطوبت نسبی برگ	پایداری غشای سیتوپلاسمی	نشت یونی	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			(درصد)	(میکروزیمنس بر سانتی‌متر)		
تکرار	۲	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۱۲۴**	۰/۰۱۴ ^{ns}	۲۰۵/۰۴ ^{ns}	۳۹/۲۶ ^{ns}	۲۲/۶۹ ^{ns}	۰/۳۰۴ ^{ns}
(سطوح تنش) A	۱	۱۱۴/۱۳**	۵۲/۹**	۱۲/۱۷**	۶۰۷۴/۲۳**	۶۰۴/۳۹**	۳۸۷/۴۵**	۱۱۲۹/۳*
(ژنوتیپ) B	۹	۱۳/۴۹**	۶/۰۹۳**	۱/۱۴۱**	۲۴۱/۸۵ ^{ns}	۷۷/۷۹ ^{ns}	۵۸/۶۷ ^{ns}	۳۸۶/۵۹ ^{ns}
اثر متقابل A×B	۹	۳/۵۱**	۱/۷۹۳**	۰/۶۰۳**	۲۲۷/۷۱ ^{ns}	۵۷/۵۲ ^{ns}	۵۷/۵۰ ^{ns}	۴۵۵/۷۴ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۳۸	۰/۰۲۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۴۱۲/۷۳	۵۱/۸۹	۴۵/۴۵	۳۸۸/۶۵
ضریب تغییرات (٪)		۲/۱۲	۲/۳۶	۴/۶۴	۲۴/۱۷	۳۳/۷۳	۷/۰۸	۱۴/۳۶

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۴- مقایسه سطوح فاکتور A سطوح تنش (تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش) برای صفات مورد ارزیابی

فاکتور a (سطوح تنش)	صفات مورد ارزیابی					
	روز تا خوشه‌دهی	تعداد سنبلچه در سنبله	وزن سنبله (گرم)	اتلاف آب برگ	فلورسانس کلروفیل (Fv)	فلورسانس کلروفیل (Fm)
تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه)	۱۲۶/۲۳	۱۳/۸۳	۲/۱۲۴	۵۰/۷۹	۰/۵۶۵	۳۹۵/۲۵
بدون تنش	۱۲۵/۶۳	۱۳/۲۶	۲/۶۵۳	۳۰/۱۴	۰/۶۸۳	۵۰۷/۳۶
میانگین	۱۲۵/۹۳	۱۳/۵۵	۲/۳۸۸	۴۰/۴۷	۰/۶۲۴	۴۵۱/۳۱
درصد تغییرات تیمار تنش اخر فصل نسبت به بدون تنش	-۰/۴۸	-۴/۲۷	۱۹/۹۵	-۶۸/۵	۱۷/۲۷	۲۲/۱۰

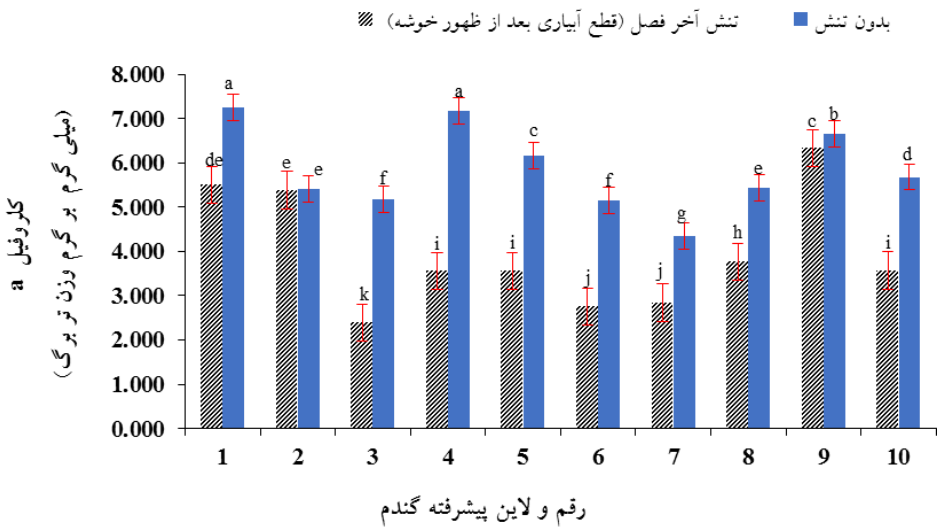
ادامه جدول ۴-

فاکتور a (سطوح تنش)	صفات مورد ارزیابی				
	شاخص سبزینگی	رطوبیت نسبی برگ (درصد)	پایداری غشای سیتوپلاسمی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	میزان نشت یونی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه)	۳۰/۹۲	۴۹/۳۹	۲/۲۱۳	۹۷/۷۹	۱۴۱/۵۷
بدون تنش	۴۳/۵۹	۶۹/۵۱	۸/۵۶۱	۹۲/۶۹	۱۳۲/۹
میانگین	۳۷/۲۵	۵۹/۴۵	۵/۳۸	۹۵/۲۴	۱۳۷/۲۴
درصد تغییرات تیمار تنش اخر فصل نسبت به بدون تنش	۲۹/۰۸	۲۸/۹۵	۷۴/۱۵	-۵/۴۸	-۶/۵۳

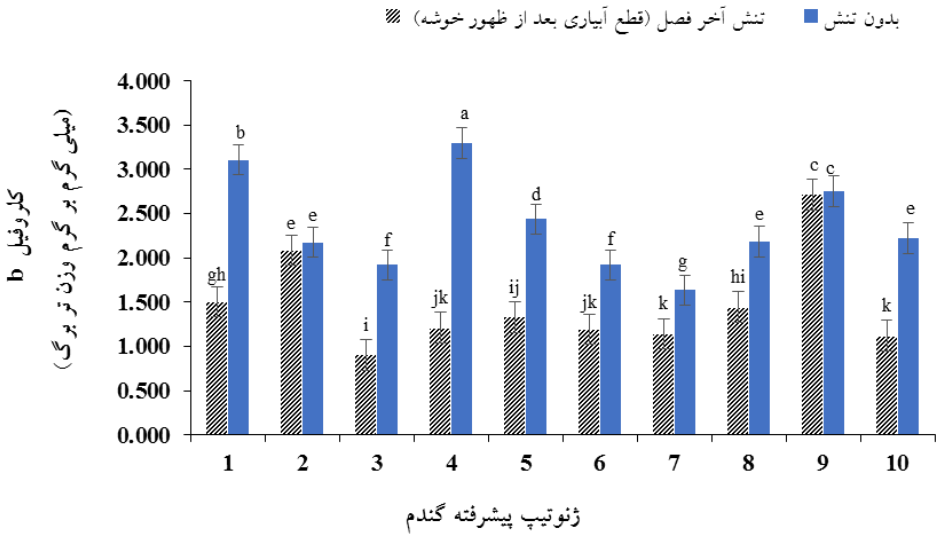
فصل باعث افزایش صفات روز تا خوشه‌دهی، تعداد سنبلچه در سنبله، اتلاف آب برگ، میزان نشت یونی و هدایت الکتریکی به میزان (۰/۴۸، ۴/۲۷، ۶۸/۵، ۵/۴۸ و ۶/۵۳ درصد) و کاهش صفات وزن سنبله، فلورسانس متغیر (FV)، فلورسانس بیشینه (FM)، شاخص سبزینگی (SPAD)، رطوبت نسبی برگ (RWC) و پایداری غشای سیتوپلاسمی به میزان (۱۹/۹۵، ۱۷/۲۷، ۲۲/۱۰، ۲۹/۰۸، ۲۸/۹۵ و ۷۴/۱۵ درصد) گردید. طبق نتایج به دست آمده، ضریب تغییرات مربوط به هر کدام از خطاهای اندازه‌گیری شده در محدوده مناسبی قرار داشتند؛ و کمترین ضریب تغییرات مربوط به خطای آزمایشی به ترتیب با مقادیر ۰/۵۳ و ۰/۷۷ درصد در صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز تا خوشه‌دهی بود. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به خطای آزمایشی با مقادیر ۳۳/۷۳ درصد مربوط به پایداری غشای سیتوپلاسمی به دست آمد (جدول ۴).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها می‌باشد و بیانگر آن است که گیاه تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار گرفته است. یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی متأثر از تنش خشکی، محتوای کلروفیل برگ 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 (جدول ۴). علت این که شاخص کلروفیل در این مطالعه روند کاهشی نشان داد می‌تواند ناشی از تخریب آنزیم‌های بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی و مهار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



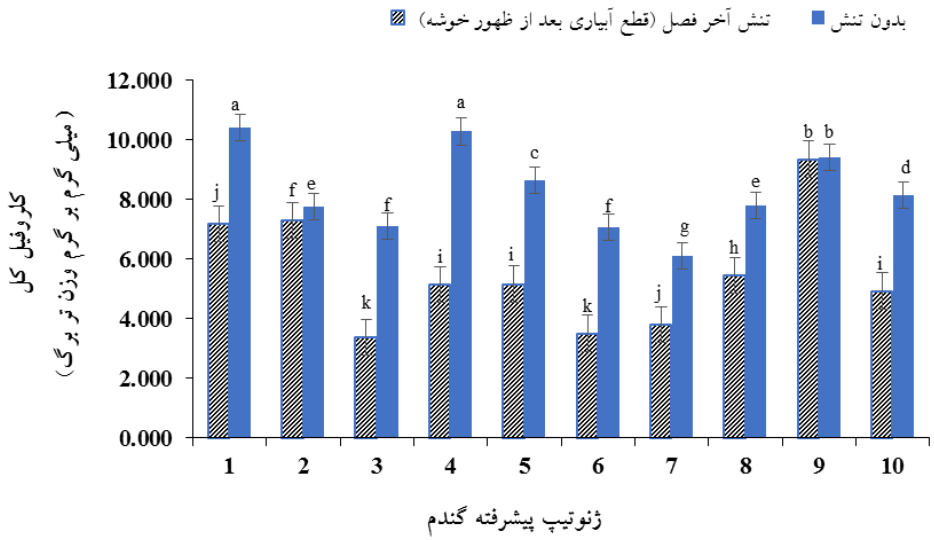
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام بر کلروفیل a. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ژنوتیپ بر کلروفیل b. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

سنتز آن‌ها در شرایط تنش باشد. در این آزمایش کلروفیل a، b و کل تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در تنش 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 گروه برتر قرار گرفتند و کمترین میزان کلروفیل a مربوط به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل) با میانگین ۲/۴۱ (mg/gFW) بود (شکل ۱). بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به ترتیب به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۲ × بدون تنش) و (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل) به ترتیب 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 گروه برتر قرار گرفتند و ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۱ × تنش آخر فصل و ژنوتیپ شماره ۴ × تنش آخر فصل) به ترتیب با میانگین‌های ۳/۳۳ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



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

۳/۵۱ (mg/gFW) کمترین میزان کلروفیل کل را به خود اختصاص داداند (شکل ۳). آزمایشات جهانبخش و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش شاخص‌های کلروفیل برگ در گندم شد. تأثیر تنش بر کاهش محتوای کلروفیل در گونه‌های مختلف گندم توسط Santos (۲۰۰۴) نیز گزارش شده است. رئیسی و همکاران (۱۳۹۹) نیز با آزمایشی که روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم انجام دادند به چنین نتایج مشابهی دست یافتند. آزمایشات Bavandpouri و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل داشت. نتایج آزمایشات Ahmed و همکاران (۲۰۲۰) حاکی از آن است که تنش خشکی روند قابل توجهی در کاهش شاخص محتوای کلروفیل در گندم نان نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشت. آنزیم گلوتامات لیگاز آنزیمی است که نقش مهمی را در سنتز کلروفیل ایفا می‌کند و دلیل کاهش سنتز کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی ممانعت از فعالیت این آنزیم است (Dalal and Tripathy, 2012). نقوی و همکاران (۱۳۹۵) دلیل کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی را به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن یکتایی و اختلالات هورمونی نسبت دادند. در حین تنش خشکی مولکول کلروفیل تخریب می‌شود که دلیل این امر می‌تواند جداشدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر ROS و یا آنزیم کلروفیلاز باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ابتدایی‌ترین و معنی‌دارترین تغییر در ساختار سلولی، تخریب ساختاری کلروپلاست است که در آن فرآیند متابولیکی تجزیه کلروفیل و ماکرومولکول‌های دیگر رخ می‌دهد (Severino and Auld, 2013). بطورکلی می‌توان گفت که دلیل کاهش مقادیر کلروفیل تحت تنش خشکی می‌تواند تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز باشد. کاهش محتوای کلروفیل a در گندم توسط Mahdavi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است. 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). Tahmasebpour و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر تنش خشکی بر کاهش کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گزارش نمودند. نعمت‌پور و همکاران (۲۰۲۰) کاهش ۱۰ و ۲۳ درصدی نسبت کلروفیل a/b را در تحقیقات خود در ارزن گزارش کردند. دلیل این کاهش می‌تواند افزایش کلروفیل b در شرایط تنش خشکی به عنوان یک مکانیسم دفاع احتمالی باشد (Pardo and Delgado, 1989). در این پژوهش تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

خشکی باعث کاهش فلورسانس بیشینه (FM) و فلورسانس متغیر (FV) به مقدار ۱۷/۲۷ و ۲۲/۱۰ شد. رقم شاهد حیران با میانگین ۰/۷۶۲۲ بیشترین فلورسانس متغیر (Fv) را داشت و در کلاس a قرار گرفت. تنش خشکی باعث کاهش فلورسانس متغیر (Fv) در ژنوتیپ شماره ۸ به میزان ۰/۳۰۴۵ گردید که این ژنوتیپ به همراه ژنوتیپ شماره ۴ در گروه c قرار گرفتند که با یافته‌های دادخواه و همکاران (۱۳۹۳) مبنی بر کاهش فلورسانس متغیر بر گیاه نخود مطابقت دارد (جدول ۵). زمانی که تنش خشکی رخ می‌دهد واکنش شیمیایی فتوسیستم II به شدت تحت تأثیر آب قرار می‌گیرد (Kordrostami *et al.*, 2014). در چنین شرایطی به دنبال کاهش فتوسنتز و ذخیره فراورده‌های آن، انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در واکنش‌های وابسته به نور در فتوسنتز و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند. فلورسانس متغیر (Fv) نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون است. در زمان احیای کامل پذیرنده‌های الکترون فلورسانس کلروفیل زیاد شده و در نتیجه Fv نیز زیاد خواهد بود. زمانی که پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید باشند، مقدار فلورسانس حداقل بوده و به دنبال آن مقدار Fv نیز کاهش خواهد یافت. در پژوهش حاضر میزان فلورسانس متغیر در تمامی سطوح تنش کاهش یافت که این کاهش می‌تواند به دلیل مهار الکترون و جلوگیری از انتقال الکترون آن از سمت دهنده فتوسیستم II به محل پذیرش الکترون توسط مولکول‌های کوئینون (QA و QC) و ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II باشد که در نهایت منجر به کاهش میزان کارآیی کوانتومی فتوسنتز خالص می‌شود (Mehta *et al.*, 2010).

از نظر صفت فلورسانس حداقل (F0) اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد که دلیل آن می‌تواند تأثیر اندک تنش خشکی آخر فصل در زمان اندازه‌گیری این صفت باشد. در این پژوهش تنش خشکی تأثیر معنی‌داری در کاهش شاخص سبزینگی داشت که با آزمایشات Nematpour و Eshghizadeh (۲۰۲۰) مطابقت دارد. این محققین نیز تأثیر تنش خشکی مبنی بر کاهش شاخص سبزینگی را در گیاه ارزن مشاهده نمودند. Narimani و همکاران (۲۰۱۹) نیز با تحقیق روی گندم نان به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی منجر به کاهش این شاخص در گندم می‌شود. این شاخص از فاکتورهای مهم در تعیین هدایت مزوفیلی، سرعت فتوسنتز و ماده خشک تولیدی محسوب می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۲). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش خشکی به واسطه تأثیر تنش خشکی بر تجزیه کلروفیل‌ها و پراکسیداسیون آن اتفاق می‌افتد (احمدی و سی‌وسه مرده، ۱۳۸۳). حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش به ثبات فتوسنتز تحت این شرایط کمک می‌کند. به نظر می‌رسد کاهش فتوسنتز تحت این تنش تا حدی به علت کاهش غلظت کلروفیل بوده باشد (احمدی و سی‌وسه مرده، ۱۳۸۳). ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۸ به ترتیب با میانگین‌های ۴۴/۲۸، ۴۳/۷۵، ۴۳/۵۷ و ۴۲/۰۳ بیشترین شاخص سبزینگی (SPAD) را داشتند و به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۶ در گروه a قرار گرفتند، ژنوتیپ شماره ۴ با میانگین ۲۷/۹ کمترین میزان SPAD را به خود اختصاص داد و به همراه ژنوتیپ شماره ۷ و رقم شاهد حیران در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۵).

محتوای رطوبت نسبی (RWC): این شاخص معیار انتخاب برای تحمل به خشکی پیشنهاد شده است. در حقیقت آنچه که به کاربرد روزافزون این معیار اعتبار بخشیده است، ارتباط مستقیم آن با پتانسیل آب برگ است. گزارشات Se و همکاران (۲۰۲۰) گویای آن است که افزایش پسابیدگی با کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) اگر به بالاتر از ۷۰ درصد برسد منجر به کاهش میزان فتوسنتز می‌شود. رسیدن مقدار رطوبت نسبی برگ به کمتر از ۷۰ درصد تا میزان ۳۵ درصد در کاهش ظرفیت فتوسنتزی مؤثر بوده و تنها با آبگیری مجدد به شکل تدریجی بهبود خواهد یافت. علت اصلی این امر را می‌توان به ممانعت نوری نسبت داد که در چنین شرایطی کربوکسیلاسیون، چرخه کالوین و تنفس نوری کاهش یافته و انتقال الکترون ظاهراً به عنوان عامل محدودکننده‌تر است. اگر مقدار رطوبت نسبی برگ به کمتر از ۳۰ درصد برسد در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۵- مقایسه میانگین سطوح فاکتور B ارقام استفاده‌شده برای صفات مورد ارزیابی در این پژوهش

فاکتور B		صفات مورد ارزیابی				
		وزن دانه (گرم)	وزن سنبله (گرم)	اتلاف آب برگ	فلورسانس کلروفیل (Fv)	شاخص سبزینگی
ژنوتیپ	زرینه	۱/۷۲۴ cd	۲/۰۵ d	۳۸/۵۶ abcd	۰/۵۵۷۳ ab	۲۶/۷۳ d
	حیران	۱/۶۹۷ cd	۱/۹۹۴ d	۴۳/۰۳ abc	۰/۷۶۲۲ a	۳۲/۰۰ cd
	۱	۱/۹۷۱ bcd	۲/۳۵ bcd	۴۴/۱۳ ab	۰/۷۱۲۳ ab	۴۴/۲۸ a
	۲	۱/۶۶۲ d	۱/۹۳۷ d	۴۶/۶۳ a	۰/۶۳۰۷ ab	۴۳/۷۵ a
	۳	۲/۱۷۷ abc	۲/۷۰۲ abc	۳۲/۰۹ d	۰/۶۵۰۸ ab	۴۳/۵۷ a
	۴	۱/۸۷۳ cd	۲/۲۱۴ cd	۴۲/۰۶ abc	۰/۵۱۴۳ bc	۲۷/۹۰ d
	۵	۱/۷۹۸ cd	۲/۱۹۸ cd	۳۴/۹۲ cd	۰/۷۱۱۰ ab	۴۰/۳۲ ab
	۶	۲/۴۱۴ ab	۲/۸۶۵ ab	۳۶/۸۴ bcd	۰/۶۸۲۵ ab	۳۸/۶۳ abc
	۷	۲/۴۳۳ ab	۲/۶۰۳ abc	۴۴/۱۱ ab	۰/۷۱۱۲ ab	۳۳/۳۵ bcd
	۸	۲/۵۳۷ a	۲/۹۷۰ a	۴۲/۳۱ abc	۰/۳۰۴۵ c	۴۲/۰۳ a

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

صورت کاهش ظرفیت فتوسنتزی منجر به آسیب غشای سلولی شده و در نهایت مرگ سلولی اتفاق می‌افتد (Se *et al.*, 2020). در این پژوهش کاهش رطوبت نسبی در شرایط دیم نسبت به شرایط آبیاری بارزتر بود. بطوریکه تنش خشکی منجر به کاهش محتوای رطوبت نسبی به میزان ۲۸/۹۵ درصد گردید (جدول ۴). آزمایشات Bayat و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که محتوای رطوبت نسبی با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد. گزارشات این محققین حاکی از کاهش ۲۲ درصدی محتوای رطوبت نسبی برگ در گندم است. Mahdavi و همکاران (۲۰۲۲) نیز با آزمایشی که در گندم انجام دادند کاهش محتوای رطوبت نسبی را در این گیاه گزارش کردند. آزمایشات Narimani و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی محتوای رطوبت نسبی برگ پرچم در گندم کاهش یافت. پژوهشگران بیان کردند در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش جذب آب و افزایش میزان تبخیر و تعرق از سطح جامعه گیاهی، محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد (Munns, 2002). ارقامی که در شرایط تنش، محتوای آب نسبی بیشتری داشته باشند، به دلیل داشتن سرعت فتوسنتز بیشتر، عملکرد دانه بیشتری داشتند. تحقیقات سایر محققین نشان داد که ارقام متحمل به خشکی، RWC بیشتری را در شرایط تنش و عدم تنش داشته و همبستگی بالایی بین این صفت با عملکرد دانه مشاهده شده است (Naroui Rad *et al.*, 2013). بنابرین انتخاب برای ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مواجه با خشکی، محتوای نسبی آب برگ موفق عمل می‌کند.

هدایت الکتریکی (EC): بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی در پاسخ به خشکی در مدت فصل رشد، افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش را نشان داد. بطوریکه مقدار این شاخص در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال افزایش ۶/۵۳ درصدی نشان داد (جدول ۴) که با آزمایشات Narimani و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. Narimanzadeh و همکاران (۲۰۲۴) نیز با تحقیق روی گیاه لوبیا چیتی به نتایج مشابهی دست یافتند. Aghaei و همکاران (۲۰۲۴) نیز افزایش این شاخص را در تریتیکاله گزارش نمودند. دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، ممکن است از آسیب واردشده به غشای سلولی و کاهش مقاومت یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو ناشی شود. گونه‌های فعال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول را سبب می‌شوند؛ در نتیجه، غشای سلولی پاره می‌شود و نشت یونی به بیرون از سلول افزایش می‌یابد (Hadi *et al*., 2017).

پایداری غشا سیتوپلاسمی: پایداری غشای سلولی یک شاخص فیزیولوژیکی مهم بوده که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در برابر تنش خشکی استفاده می‌شود (Ines *et al*., 2021). بررسی روند تغییرات پایداری غشا سیتوپلاسمی در پاسخ به خشکی در مدت فصل رشد حاکی از کاهش ۷۴/۱۵ درصدی این شاخص در طول مدت تنش بود (جدول ۴). Nematpour و همکاران (۲۰۲۰) نتایج مشابهی را در گیاه ارزن مشاهده نمودند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) ابراز داشتند که تنش خشکی منجر به کاهش شاخص پایداری غشا در گلرنگ می‌شود. ترکیبات و مکانیسم غشا سیتوپلاسمی در زمان بروز تنش خشکی در سطوح مختلف را می‌توان به عنوان معیار مناسبی در ارزیابی تحمل نسبت به تنش خشکی به کار برد که با این پژوهش هماهنگی دارد (Levit, 1980). با توجه به نتایج به دست آمده مبنی بر تأثیر تنش خشکی بر کاهش ۷۴/۱۵ درصدی می‌توان گفت که تنش کم آبی با تأثیری که بر روی غشا سیتوپلاسمی می‌گذارد سبب ایجاد آسیب بر روی غشا سیتوپلاسمی شده که این مسئله سبب نشت محتویات سلولی به فضای بین سلولی و در نهایت منجر به مرگ سلول می‌گردد.

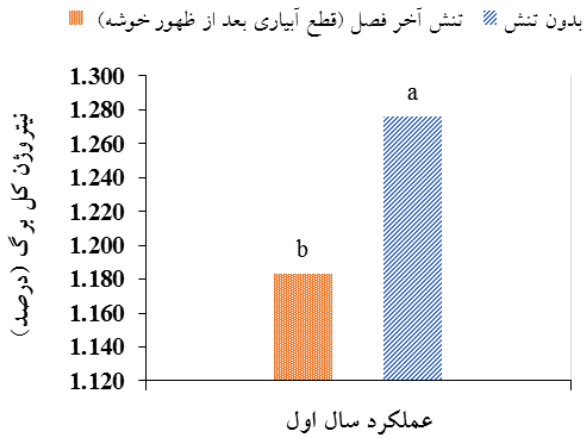
نیتروژن برگ: روند تغییرات محتوای نیتروژن و شاخص نیتروژن برگ پرچم در شرایط محدودیت آبی در شکل ۴ نشان داده شده است. این تغییرات در همه تیمارها روند نزولی داشت. بطوریکه این تنش باعث کاهش نیتروژن کل برگ به میزان ۷/۲۳ درصد گردید. نتایج این پژوهش با آزمایشات Nazari و همکاران (۲۰۲۲) در تریتیکاله همخوانی دارد. بطوریکه نتایج تحقیقات این محققین حاکی از تأثیر تنش خشکی بر کاهش میزان نیتروژن در این گیاه است. آزمایشات Narimani و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش درصد نیتروژن برگ در ژنوتیپ‌های مختلف گندم شد. نعمت‌اللهی و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاهش نیتروژن برگ تحت تأثیر تنش خشکی را در آفتابگردان عنوان کردند. دلیل این که شاخص نیتروژن در این پژوهش روند نزولی نشان داد 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). کشاورز و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که آبیاری از طریق افزایش شاخص کلروفیل و به دنبال آن افزایش نیتروژن برگ می‌تواند باعث افزایش درصد نیتروژن برگ شود.

اتلاف آب برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم مورد آزمون از نظر صفت اتلاف آب برگ با یکدیگر تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند ($P\leq0/01$) (جدول ۳). بیشترین مقدار اتلاف آب برگ با میانگین ۴۶/۶۳ مربوط به ژنوتیپ شماره ۲ بود که به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۷، ۸ و دو رقم شاهد زرینه و حیران در گروه a قرار گرفتند، ژنوتیپ شماره ۳ با میانگین ۳۲/۰۹ کمترین اتلاف آب برگ را داشت و به عنوان ژنوتیپ برتر معرفی گردید (جدول ۵). شهریاری و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر معنی‌دار تنش خشکی را در اتلاف آب برگ در ژنوتیپ‌های مختلف جو گزارش نمودند. همچنین گل‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) در گزارشات خود عنوان نمودند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر این شاخص در گندم داشت. اتلاف غیرروزنه‌ای آب از اپیدرم که به تعرق اپیدرمی یا تعرق باقیمانده معروف است تحت تأثیر تنش خشکی ممکن است تا ۰/۰۰۵ تعرق کل را شامل شود (David, 2010).

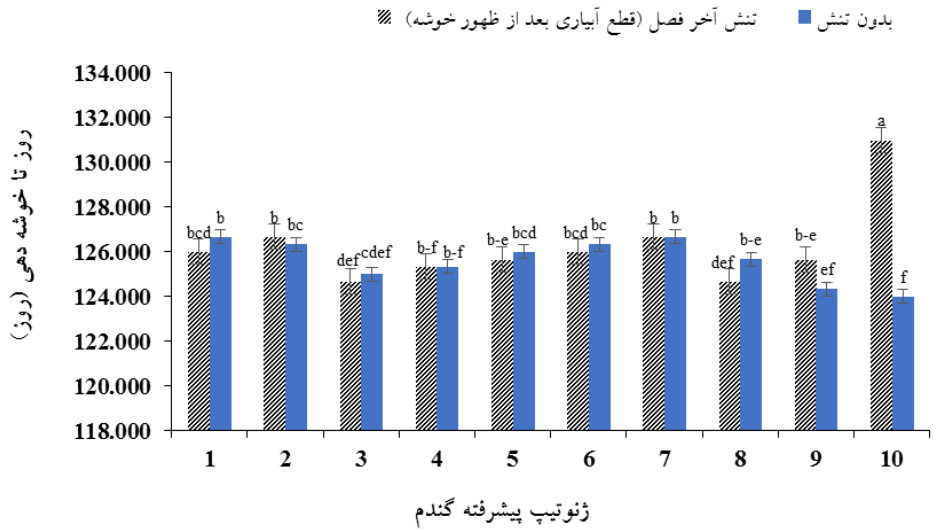
روز تا خوشه‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک: نتایج حاکی از آن است که صفات روز تا خوشه‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت تأثیر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در سطح آماری یک درصد قرار گرفتند (جدول ۳). دلیل وجود اختلاف بین تیمارهای گندم مورد آزمون می‌تواند ناشی از تفاوت ژنتیکی آن‌ها از لحاظ زودرس یا دیررس‌بودن و همچنین اختلاف در عکس‌العمل تیمارهای مورد مطالعه نسبت به طول روز و دمای محیط باشد. به‌طورکلی، تفاوت موجود بین ارقام گندم مورد مطالعه از نظر فاکتور تعداد روز تا رسیدن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



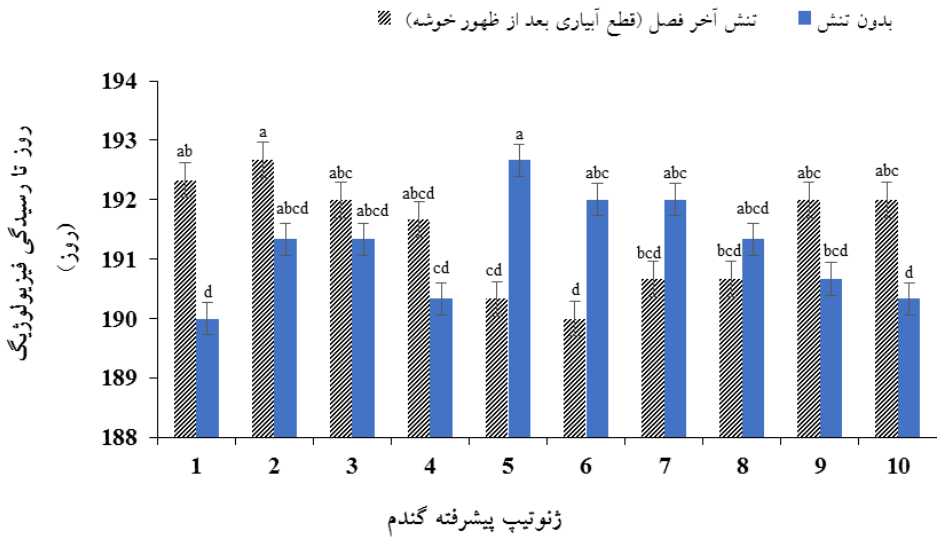
شکل ۴- مقایسه سطوح فاکتور A سطوح تنش برای نیتروژن کل برگ



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ارقام بر صفت روز تا خوشه‌دهی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

فیزیولوژیکی را می‌توان به وجود اختلاف در قدرت رشدی در تیمارهای مختلف، تفاوت در سن فیزیولوژیکی بذر و همچنین، تفاوت در بین شکسته‌شدن خواب فیزیولوژیکی بذر مورد کشت نسبت داد. در این راستا Samadi و Hosseini (۲۰۰۱) طی تحقیقاتی تفاوت در تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی در بین ارقام پر محصول اصلاح‌شده گندم را در شرایط دیم مشاهده نمودند. افزایش عملکرد ارقام پاکوتاه نسبت به ارقام پابلند در کاهش طول دوره از کاشت تا گرده‌افشانی اثر معنی‌داری در تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی ارقام گندم دارد. از نظر صفت روز تا خوشه‌دهی ترکیب (ژنوتیپ شماره ۸ × تنش آخر فصل) با میانگین ۱۳۱ روز به عنوان ترکیب دیررس شناسایی شد ولی ترکیب‌های تیماری دیگر مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری با این ژنوتیپ‌ها نداشتند، ترکیب (ژنوتیپ شماره ۸ × بدون تنش) با میانگین ۱۲۴ روز به عنوان زودرس‌ترین ترکیب شناسایی شد، ارقام شاهد زرینه و حیران در دو شرایط تنش و بدون تنش جز ارقام زودترس به حساب آمدند (شکل ۵). از نظر صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳ × بدون تنش؛ حیران × تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

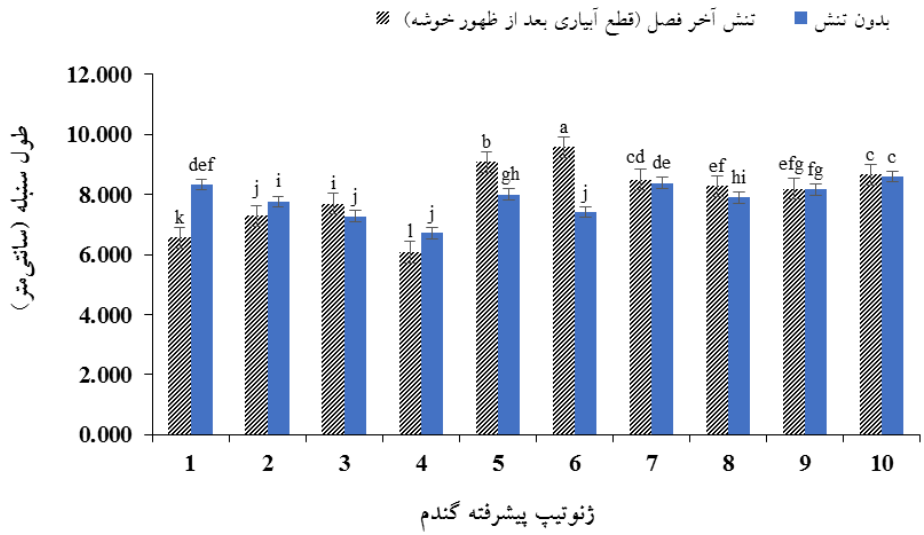


شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ژنوتیپ برای صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

آخر فصل) به ترتیب با میانگین ۱۹۲/۶۷ و ۱۹۲/۶۷ روز به عنوان ترکیب‌های دیررس شناسایی شد، ترکیب (ژنوتیپ شماره ۸ × بدون تنش؛ زرینه × بدون تنش و ژنوتیپ شماره ۴ × تنش آخر فصل) به عنوان زودرس‌ترین ترکیب‌ها شناسایی شد (شکل ۶). ژنوتیپ‌های دیررس به دلیل اینکه امکان مواجه‌شدن با خشکی آخر فصل را دارند برای کشت در شرایط دیم مناسب نیستند. تأثیرپذیری روز تا سنبله‌دهی و در نتیجه روز تا رسیدگی از تاریخ کاشت توسط Wysocki و Cro (۲۰۰۶) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. محققین کاهش تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی و همچنین تعداد روز از کاشت تا رسیدگی را در کشت تأخیری به دلیل وقوع تنش گرمایی انتهای فصل و کاهش در دوره رشدونمو گندم گزارش کرده‌اند (Singh *et al*., 2011). در مورد این صفت فنولوژیک نیز ارقام حیران و زرینه در هر دو شرایط نرمال و تنش بیشترین مقادیر را نشان دادند. این موضوع می‌تواند تأییدی بر نظریه ارائه شده در قسمت قبل باشد که این ارقام به دلیل مراحل فنولوژیک طولانی که دارند، با تنش گرمایی بیشتر و دوره طولانی‌تر مواجه شده و در نتیجه افت عملکرد بیشتری داشته‌اند.

طول سنبله: نتایج نشان دادند که ترکیب تیماری (ژنوتیپ شماره ۴ × تنش آخر فصل) با میانگین ۹/۵۸ سانتی‌متر بیشترین طول سنبله را داشته و نسبت به دو رقم شاهد حیران و زرینه × تیمار تنش آخر فصل طول سنبله بیشتری داشت، ترکیب تیماری (ژنوتیپ شماره ۲ × تنش آخر فصل) با میانگین ۶/۰۸ سانتی‌متر کمترین طول سنبله را به خود اختصاص داد (شکل ۷). ریشک نقش بسیار مهمی در مقابله با تنش گرما داشته و زمانی که تنش گرما انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی از برگ را به صورت منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد، وجود ریشک نقش حمایتی خوبی خواهد داشت (Reynolds *et al*., 2001). از طرف دیگر محققان دریافته‌اند که وجود ریشک باعث کاهش دمای کانوپی در شرایط استرس گرما شده و به دلیل نمو دیرتر ریشک‌ها نسبت به برگ پرچم و ادامه آن تا زمان دوره پر شدن دانه، ارتباط زیادی بین عملکرد مطلوب و وجود ریشک در شرایط تنش گرما گزارش شده است (Ayeneh *et al*., 2002). دلیل اینکه در این پژوهش طول سنبله کاهش یافت می‌تواند ناشی از تنش گرما به دلیل حساسیت زیادی باشد که گندم به دمای بالا نشان می‌دهد. زمانی که دما افزایش می‌یابد، گندم دوره رشدی خود را با سرعت بیشتری کامل نموده و وارد فاز زایشی می‌گردد، به همین دلیل دوره کوتاه‌تری را برای افزایش طول سنبله و تولید سنبلچه در اختیار داشته لذا طول سنبله کاهش می‌یابد (Inamullah *et al*., 2007). Ahmed و همکاران

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ژنوتیپ بر صفت طول سنبله. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

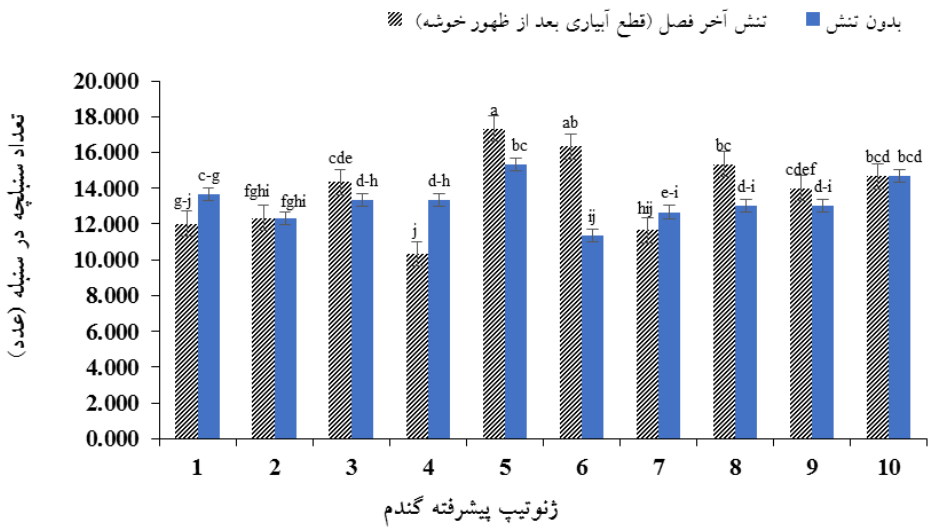
(۲۰۱۰) و Modarresi و همکاران (۲۰۱۰) نیز در تحقیقی ابراز داشتند که دوره رشدی در گندم به دلیل مصادف‌شدن با گرمای انتهای فصل و محدودشدن دوره رشدی مریستم زایشی در ایجاد سنبله باعث کاهش طول سنبله می‌شود.

تعداد سنبلچه در سنبله: نتایج تجزیه واریانس نشان داد **که** ترکیب تیماری (ژنوتیپ شماره ۳ × تنش آخر فصل) با میانگین ۱۷/۳۳ عدد بیشترین تعداد سنبلچه را داشته و به همراه ترکیب تیماری (ژنوتیپ شماره ۴ × تنش آخر فصل) در گروه برتر قرار گرفتند و نسبت به دو رقم شاهد حیران و زرینه دارای تعداد سنبلچه در سنبله بیشتری بودند، ترکیب تیماری (ژنوتیپ شماره ۲ × تنش آخر فصل) با میانگین ۱۰/۳۳ عدد کمترین تعداد سنبلچه در سنبله را به خود اختصاص داد. طول دوره رویشی بیشتر در ژنوتیپ شماره ۳ عامل اصلی تعداد سنبلچه در سنبله بیشتر این ژنوتیپ در مقایسه با سایر ارقام است (شکل ۸). در این خصوص محققین ارتباط مثبتی را بین طول دوره رشد رویشی و تعداد سنبلچه در سنبله گزارش کردند (Rahman *et al.*, 2009). گزارش شده است که تنش گرمای انتهای فصل با کاهش دوره رشد رویشی سنبله باعث کاهش تعداد سنبلچه در سنبله می‌گردد (Ahmed *et al.*, 2010; Barnaba *et al.*, 2008).

تعداد دانه در سنبله: نتایج نشان دادند که در این پژوهش تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در سنبله شد (جدول ۴). Bavandpouri و همکاران (۲۰۲۳) نیز چنین نتایجی را در گندم گزارش نمودند. Mamnoei و Seyed Sharifi (۲۰۱۰) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های جو بیان کردند که تنش خشکی منجر به کاهش وزن دانه در جو شد. وقوع تنش خشکی به ویژه در مرحله گرده‌افشانی منجر به عقیم‌شدن دانه‌های گرده می‌شود که علت آن را می‌توان به حساسیت دانه‌های گرده به کمبود رطوبت نسبت داد (Rezaei *et al.*, 2015). این امر در نهایت باعث عقیم‌شدن گل‌های انتهایی سنبله، اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها می‌گردد (Seraj and Sinclair, 2004). Nematpour و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش تعداد دانه را در اثر تنش خشکی در ارزن گزارش کردند. دلیل تأثیر منفی تنش خشکی در گیاه می‌تواند به دلیل نقش خشکی در کندکردن تشکیل آغازه‌های سنبلچه یا تقسیم میوز در گامت‌ها و باروری تخمک‌ها و نمو زودتر دانه‌ها باشد (Rezaei *et al.*, 2015; Fathi and Bahamin, 2018).

وزن دانه: مراحل نمو زایشی مانند گلدهی، گرده‌افشانی و پرشدن دانه‌ها حساس‌ترین مراحل به تنش خشکی هستند لذا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



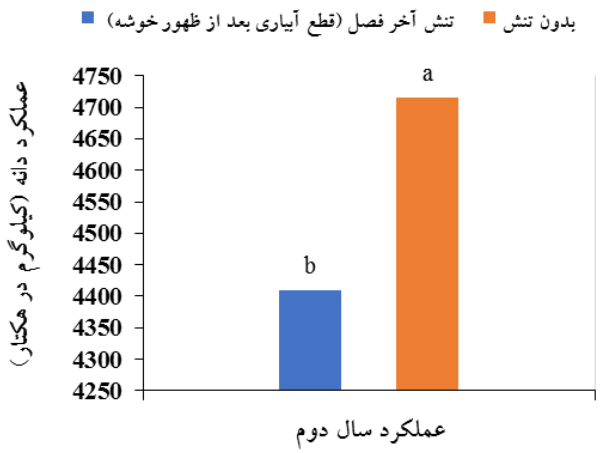
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × ژنوتیپ بر صفت تعداد سنبلچه در سنبله. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

هر گونه کاهش در تأمین آب سبب کاهش جذب عناصر شده و منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه‌ها می‌شود (سیدشریفی و حکم علی‌پور، ۱۳۹۵). به عبارتی تنوع وسیعی برای صفات وزن سنبله و مقدار تسهیم مواد فتوسنتزی به سنبله مشاهده شد. نتایج حاصل از جدول ۵ نشان داد که، ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم مورد آزمون از نظر این صفت (وزن دانه) با یکدیگر تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند ($P\leq 0/01$). نتایج نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش وزن دانه شد که با نتایج آزمایشات Khoshkhabar و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. این محققین نیز کاهش وزن دانه را در گندم گزارش نمودند. تجزیه واریانس به این صورت بود که از نظر وزن دانه ژنوتیپ شماره ۸ به همراه دو ژنوتیپ شماره ۶ و ۷ بالاترین وزن دانه را داشتند و در گروه a قرار گرفتند، ژنوتیپ شماره ۸ نسبت به دو رقم شاهد وزن دانه بیشتری داشت، ژنوتیپ شماره ۲ کمترین وزن دانه را داشت و نسبت به رقم زرینه (شاهد) وزن دانه کمتر و با رقم حیران (شاهد) در یک گروه قرار گرفت (جدول ۵). وزن دانه با سرعت و مدت پرشدن دانه در ارتباط است. این تنش در طول مدت پرشدن دانه منجر به کاهش وزن دانه می‌شود. دلیل این امر را می‌توان به کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌ها ربط داد. دلیل کاهش این مواد با کاهش فرآیند فتوسنتزی در ارتباط بوده که منجر به بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود (Seraj and Sinclair, 2004). گزارشات Araus و همکاران (۲۰۰۸) گویای آن است که کاهش ارتفاع گیاه در گندم‌های جدید باعث افزایش مقدار تسهیم مواد فتوسنتزی به سنبله در حال رشد شده است که این امر منجر به افزایش وزن سنبله و تعداد دانه در سنبله شده و واحد سطح را زیاد کرده است.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس عملکرد ۱۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در دو آزمایش جداگانه: تنش آخر فصل (قطع آبیاری بعد از ظهور خوشه) و بدون تنش 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 ۹ 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



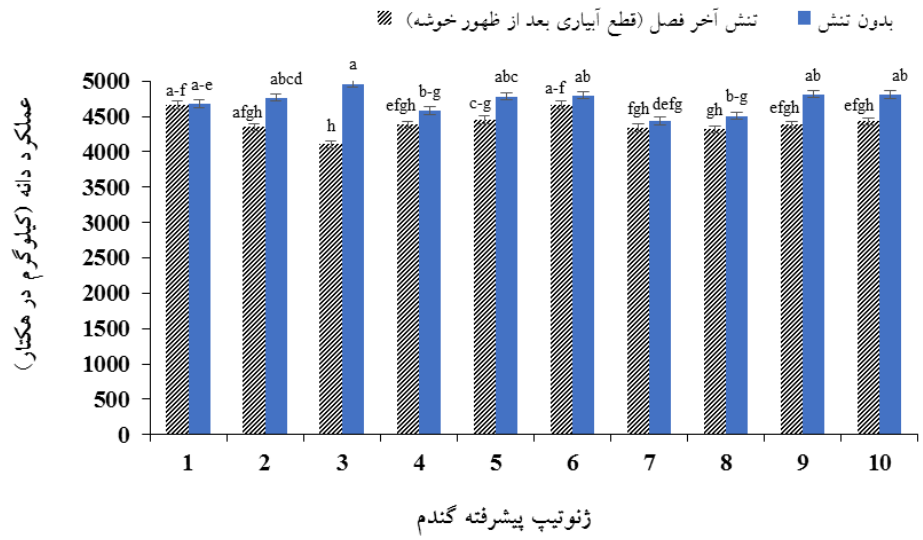
شکل ۹- میانگین سطوح تنش خشکی برای صفت عملکرد دانه

آخر فصل نسبت به شرایط بدون تنش کاهش ۶/۴۸ درصدی را نشان داد که دلیل آن مواجه‌شدن گیاه با تنش خشکی در شرایط دیم بود. نتایج این پژوهش با مطالعات رئیسی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. این محققین نیز چنین نتایج مشابهی را در گندم گزارش نمودند. تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه به ویژه در مراحل اولیه پرشدن 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 پرشدن دانه اشاره کرد (Yang and Zhang, 2006). گزارشات Barnabas و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که دلیل کاهش عملکرد در تنش خشکی می‌تواند کاهش محتوای نشاسته باشد چرا که بیش از ۶۵ درصد دانه غلات از نشاسته تشکیل شده است. گزارشات Khoshkhabar و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیانگر کاهش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر تنش خشکی است. عملکرد دانه گندم تحت تأثیر عامل ژنوتیپ در محیط در سطح آماری ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۳). ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳ × بدون تنش) با میانگین ۴۹۶۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشته و به همراه ترکیب‌های (ژنوتیپ شماره ۳، ۴، ۷ و ۸ × بدون تنش و دو رقم شاهد زرینه و حیران × بدون تنش) در گروه برتر قرار گرفتند و کمترین عملکرد به ترکیب (ژنوتیپ شماره ۳ × تنش آخر فصل) با ۴۱۰۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. در واقع تنش خشکی آخر فصل باعث کاهش ۱۷/۳۶ 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 شد (شکل ۱۰).

همبستگی صفات مورفوفیزیولوژیک با عملکرد دانه:

نتایج ضریب همبستگی بین عملکرد دانه با صفات وزن سنبله (۰/۳۲۴*)، فلورسانس کلروفیل (F0) (۰/۴۶**)، فلورسانس کلروفیل (Fm) (۰/۴۲**)، محتوای رطوبت نسبی برگ (۰/۳۵۵**) و پایداری غشای سیتوپلاسمی (۰/۳۳**) در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد مثبت و معنی‌دار بود، و با صفات نشت یونی (۰/۲۹۹*-) و اتلاف آب برگ (۰/۴۱۲**-) رابطه منفی و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد داشت. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات وزن سنبله و وزن دانه (۰/۸۳۵**) و بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار بین صفات پایداری غشای سیتوپلاسمی و میزان نشت یونی (۰/۸۶۵**-) بدست آمد (جدول ۶). اگر ژنوتیپ‌ها و ارقام بتوانند در شرایط تنش خشکی رطوبت نسبی آب برگ خود را حفظ نمایند به دلیل برخورداری از سرعت فتوسنتز بالاتر، از عملکرد دانه بیشتری برخوردار خواهند بود (Nazari-Nasi *et al.*, 2012). فلورسانس کلروفیل، از صفات مهم در افزایش عملکرد هستند که در این پژوهش نیز رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]



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

جدول ۶- همبستگی عملکرد دانه با صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد مطالعه در این پژوهش

	(۱) روز تا خوشه دهی	(۲) روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	(۳) وزن دانه	(۴) تعداد دانه	(۵) تعداد سنبلچه در سنبله	(۶) طول سنبله	(۷) وزن سنبله	(۸) اتلاف آب برگ	(۹) فلورسانس کلروفیل	(۱۰) فلورسانس کلروفیل	(۱۱) فلورسانس کلروفیل	SPAD(۱۲)	(۱۳) محتوای رطوبت نسبی برگ	(۱۴) پایداری غشا سیتوپلاسمی	(۱۵) میزان نشت یونی	(۱۶) هدایت الکتریکی برگ	(۱۷) عملکرد دانه
۱	۱																
۲	-/۳۸۷**	۱															
۳	-/۱۳۴	-۰/۰۱۹	۱														
۴	-/۲۷*	۰/۰۶۳	/۷۷**	۱													
۵	-/۱۵۵	-۰/۰۷۳	/۶۶۸**	/۶۵۲**	۱												
۶	-/۰۵۷	-۰/۰۴۵	/۵۸**	/۵۳**	/۷۲۶**	۱											
۷	-/۲۳۴	۰/۰۶۲	/۷۱۲**	/۸۳۵**	/۵۸۱**	/۵۵۸**	۱										
۸	/۰۱۵	۰/۰۹۷	/۱۰۹	-/۰۹	/۲۸	-/۰۵۱	-/۴۲۲**	۱									
۹	-/۰۹۸	-۰/۰۲۳	-/۱۷	-/۱۶۳	-/۱۱۳	-/۱۹۷	-/۰۳۹	-/۱۶	۱								
۱۰	-/۰۴۶	-۰/۱۴	-/۲۲۸	-/۰۰۵	-/۰۹۵	-/۱۲۷	/۱۲۵	-/۳۹**	/۱۸۵	۱							
۱۱	-/۰۱۸	-۰/۱۳۹	-/۰۵۲	/۰۷۶	-/۰۹۸	-/۰۱۲	/۲۸۷*	-/۵۱۷**	/۴۶۴**	/۵۱۵**	۱						
۱۲	-/۱۰۴	-۰/۰۳۲	/۰۷۳	/۳*	/۰۲۵	-/۰۷۴	/۴۱۷**	-/۴۱۶**	/۱۰۹	/۳۲۶*	/۳۳۳**	۱					
۱۳	/۰۱۶	-۰/۰۶۶	/۰۶۴	/۲۱۸	/۰۴۹	/۰۵۳	/۳۲۸*	-/۴۸۱**	/۱۹۳	/۲۶۱*	/۴۸۳**	/۳۸**	۱				
۱۴	-/۰۲۹	-۰/۰۸۵	-/۰۶۹	/۰۷۷	/۰۳۵	-/۱۴۵	/۱۷۲	-/۳۷۱**	/۲۷*	/۲۲۳	/۲۳۲	/۲۹*	/۲۱	۱			
۱۵	/۰۲۷	۰/۱۱۲	/۰۷۳	-/۰۴۶	/۰۶۳	/۱۷۸	-/۱۰۷	/۲۳۴	-/۲۴۶	/۲۶۷*	-/۱۶۵	-/۲۳۲	-/۱۶۶	-/۸۶۵**	۱		
۱۶	/۰۸۳	۰/۱۰۶	/۰۹۷	/۰۰۵	/۰۶۴	/۱۴۷	-/۰۶۵	/۰۶۹	-/۲۳۳	-/۱۹۵	-/۱۰۴	-/۲	-/۰۰۹	-/۲۷۳*	/۴۱۲**	۱	
۱۷	-/۰۸۷	-۰/۰۶۹	-/۰۲۴	/۱۴۸	/۰۸۲	/۰۵۹	/۳۲۴*	-/۴۱۲**	/۰۲۳	/۴۶**	/۴۲**	/۲۳۳	/۳۵۵**	/۳۳**	-/۲۹۹*	-/۰۸	۱

نشان داد. در واقع جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای تحمل به خشکی می‌توان این صفت را مد نظر قرار داد. Narimani و همکاران (۲۰۱۹) نیز در تحقیقات خود مشاهده نمودند که عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با پارامترهای فلورسانس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۷- مقادیر آزمون KMO و آزمون اسفریسیتی بارتلت

مقیاس برازندگی نمونه‌برداری کایسر- مایر- اولکین		۰/۶۶۱
آزمون اسپریسیتی بارتلت	تقریب کای- اسکوار	۵۲۴/۶۵
	درجه آزادی	۱۳۶
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰

کلروفیل از جمله Fm/Fv، Fv و Fm نشان می‌دهد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن دانه و عملکرد دانه و با توجه به این نکته که وزن دانه از صفات مهم در افزایش عملکرد است ژنوتیپ‌ها بایستی از وزن دانه بالاتری برخوردار بوده تا عملکرد بالایی داشته باشند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی: پیش از انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی آزمون کرویت (Sphericity Test) به منظور آزمون معنی‌داری ماتریس همبستگی بین صفات با ماتریس واحد توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد (Bartlett, 1954). در صورت معنی‌دار شدن این آزمون انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه به عامل‌ها بلامانع خواهد بود. مهم‌ترین خروجی آنالیز واریانس مذکور، جدول آزمون KMO and Bartlett's Test است که در آن (Bartlett's Test of Sphericity) سطح معنی‌داری آزمون ماتریس همبستگی بین صفات، مقدار P <۰/۰۰۰ است (جدول ۷). این بدان معنی است که در مجموع همبستگی بین صفات معنی‌دار می‌باشد. پس به دلیل معنی‌دار بودن آزمون کرویت انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه به عامل‌ها بلامانع است.

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. معیار انتخاب تعداد مؤلفه‌ها براساس تعداد ریشه‌های بزرگتر از یک بوده و از آنجایی که تعداد متغیرهای اولیه مورد استفاده در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برابر ۱۷ است، بر اساس فرمول ۲/ (P +۱) > F (که در آن P وF به ترتیب نشان‌دهنده تعداد متغیرها و مؤلفه‌ها است)، انتخاب شش مؤلفه برای این آزمایش با اصول ارائه‌شده مطابقت دارد (Mollasadeghi *et al*., 2011). در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS-24 تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. با انجام این تجزیه، شش مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۹۲/۱۷ درصد از کل تغییرات مربوط به صفات را در برگرفتند (جدول ۸) در واقع مؤلفه‌هایی که مقادیر ویژه آنها بزرگتر از یک است در نظر گرفته شد و از سایر مؤلفه‌ها صرف نظر شد. در این میان شش مؤلفه اول به ترتیب ۲۴/۲۷، ۱۹/۳۶، ۱۵/۱۲، ۱۴/۲۷، ۹/۸۹ و ۹/۲۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. با توجه به کسینوس زاویه بین صفات در نمودار بای‌پلات، هرچه زاویه بین دو صفت کمتر باشد (مانند دو صفت) نسبت به یگدیگر همبستگی بیشتری دارند. در مؤلفه اول صفات وزن دانه، تعداد دانه، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن سنبله همبستگی مثبت و بالایی با همدیگر داشتند، مؤلفه دوم صفات فلورسانس کلروفیل (F0)، پایداری غشا سیتوپلاسمی و میزان نشت یونی همبستگی مثبت و منفی و بالایی داشت، نتایج سایر مؤلفه‌ها هم در جدول ۹ آورده شده است.

تجزیه خوشه‌ای: تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SAS و به روش Ward و فاصله اقلیدوسی به عنوان معیار تشابه انجام گرفت. دندروگرام حاصل، از محل بیشترین فاصله موجود در بین گروه‌ها، بر اساس تابع تشخیص برش داده شد و ۱۰ ژنوتیپ مورد ارزیابی در دو گروه قرار گرفتند (شکل ۱۱).

برای تمایز خصوصیات هر گروه از نظر صفات مورد مطالعه میانگین هر خوشه و درصد انحراف میانگین هر یک از خوشه‌ها از میانگین کل محاسبه شد (جدول ۹). خوشه‌ای که در مورد صفتی میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل داشته باشد می‌تواند به عنوان والد برای تلاقی معرفی گردد. در خوشه اول ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۷، ۸ و ارقام شاهد زرینه و حیران قرار گرفتند. در این خوشه صفات روز تا خوشه‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، وزن دانه، تعداد سنبلچه در

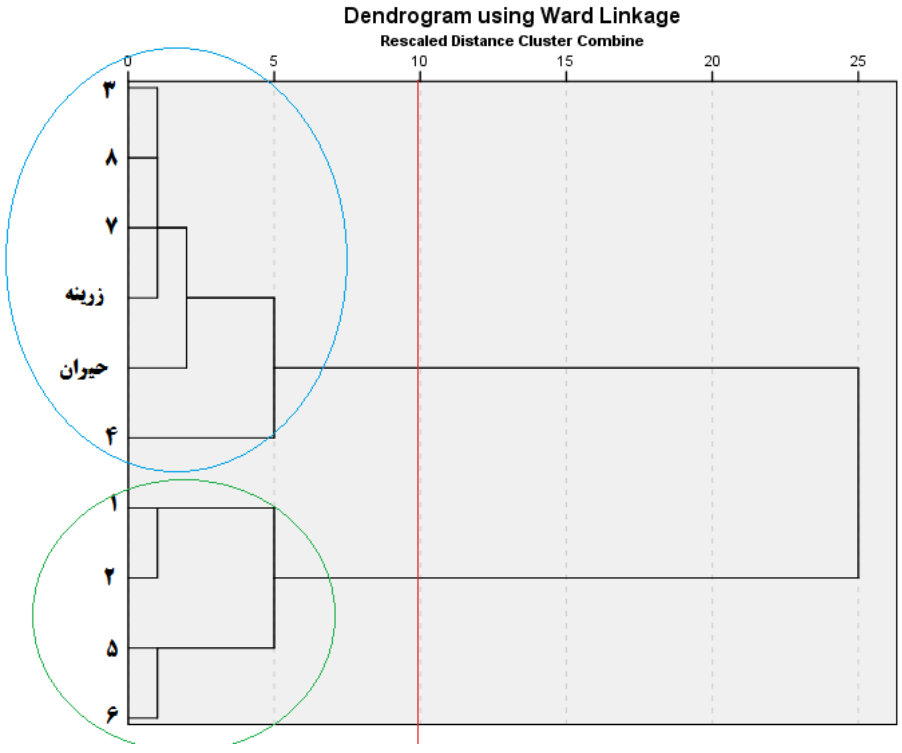
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۸- نتایج دو مؤلفه اصلی برای صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد بررسی در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ارقام مورد ارزیابی

صفات مؤلفه	روز تا خوشه دهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	وزن دانه	تعداد دانه	تعداد سنبلچه در سنبله	طول سنبله	وزن سنبله	اتلاف آب برگ	فلورسانس کلروفیل (Fv)	فلورسانس کلروفیل (F0)	فلورسانس کلروفیل (Fm)	SPAD	رطوبت نسبی برگ	پایداری غشا سیتوپلاسمی	میزان نشت یونی	هدایت الکتریکی برگ	عملکرد دانه
۱	-/۱۵	-/۰۶	/۹۲	/۹۴	/۷۹	/۴۴	/۹۳	-/۱۱	-/۳۱	-/۱۷	-/۳۱	/۵۱	/۰۳	-/۰۷	/۳۱	/۳۲	/۰۳
۲	-/۲۲	/۰۴	-/۳۶	/۰۱	/۱۱	-/۴	-/۲۷	/۲۳	-/۰۷	/۸۲	-/۴۸	/۵۳	/۱۷	/۹۲	-/۸۶	-/۰۷	/۱۰۱
۳	/۹۴	-/۱۷	/۰۵	/۰۷	/۱۱	/۴۳	/۱۴	-/۱۷	-/۷۷	-/۰۴	/۱۹	/۰۱	-/۱	-/۰۹	/۱۲	/۸۲	/۲۷
۴	-/۰۱	/۰۳	-/۰۱	-/۰۴	/۴۸	/۵۲	/۱۶	-/۸۹	/۲۰۴	-/۴۱	/۰۵	/۰۱	/۸۳	/۲۹	/۰۷	/۳۲	/۰۱
۵	/۰۱	/۰۴	/۰۲	-/۱۹	/۲۹	/۱۷	-/۰۶	/۲۲	-/۲۹	-/۰۳	-/۱۳	-/۶۶	/۱۲	/۰۵	-/۰۰۳	/۱۷	/۹۵
۶	/۱۸	/۹۱	-/۱۳	-/۱۴	/۰۴	-/۰۴	-/۱۳	-/۰۶	/۳۶	/۰۶	/۶۶	/۰۳۴	/۱۲	-/۰۱	/۲۳	-/۱۷	/۰۲
Extraction	/۹۸	/۸۶	/۹۸	/۹۴	/۹۷	/۸۵	/۹۹	/۹۵	/۹۴	/۸۷	/۸۲	/۹۹	/۷۵	/۹۵	/۹۲	/۹۳	/۹۸

مؤلفه‌های اصلی	مقادیر ویژه	واریانس نسبی	واریانس تجمعی
۱	۴/۱۲۶	۲۴/۲۷	۲۴/۲۷
۲	۳/۲۹۲	۱۹/۳۶	۴۳/۶۴
۳	۲/۵۷	۱۵/۱۱	۵۸/۷۵
۴	۲/۴۲۶	۱۴/۲۷	۷۳/۰۳
۵	۱/۶۸	۹/۸۹	۸۲/۹۲
۶	۱/۵۷	۹/۲۵	۹۲/۱۷



شکل ۱۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش واریانس حداقل وارد (Ward) صفات مورفوفیزیولوژیکی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

جدول ۹- تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس کلیه صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد ارزیابی

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	Sig.
1 through 2	۰/۰۱۹	۱۵/۸۹	۰/۰۴

سنبله، طول سنبله، وزن سنبله، فلورسانس کلروفیل (Fm)، رطوبت نسبی برگ، میزان نشت یونی، هدایت الکتریکی برگ و عملکرد دانه دارای درصد انحراف از میانگین مثبت بودند. این خوشه از نظر عملکرد دانه نیز برتر بود. بنابراین برای افزایش عملکرد دانه می‌توان از دو رقم زرینه و حیران و ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۷، ۸ استفاده کرد. در خوشه دوم که ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۵ و ۶ قرار داشتند درصد انحراف از میانگین کل این خوشه برای صفات تعداد دانه، اتلاف آب برگ، فلورسانس کلروفیل (Fv)، فلورسانس کلروفیل (F0) و SPAD مثبت و برای سایر صفات منفی بود.

نتیجه‌گیری

بطورکلی تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد و کاهش صفات وزن سنبله، فلورسانس متغیر، فلورسانس بیشینه، شاخص سبزینگی، محتوای رطوبت نسبی برگ و پایداری غشای سیتوپلاسمی گردید. با توجه به تأثیر بسزایی که تنش خشکی بر روی شاخص‌های کلروفیل و عملکرد داشت این دو صفت می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش عملکرد مورد استفاده قرار گیرند. تأثیری که تنش بر روی شاخص‌های کلروفیل و عملکرد دارد می‌تواند به نوع تنش و مدت زمان تنش بستگی داشته باشد. همچنین در این پژوهش ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۷، ۸ به همراه ارقام شاهد زرینه و حیران برای صفات روز تا خوشه‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، وزن دانه، تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله، وزن سنبله، فلورسانس کلروفیل (Fm)، رطوبت نسبی برگ، میزان نشت یونی، هدایت الکتریکی برگ و عملکرد دانه دارای درصد انحراف از میانگین مثبت بودند و در یک خوشه قرار گرفتند. این خوشه همچنین از نظر عملکرد دانه نیز برتر بود. بنابراین در برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شود برای افزایش عملکرد دانه از دو رقم زرینه و حیران به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۷، ۸ استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

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

منابع

جهانبخش گده‌کهریز، سودابه، خیری سیس، میلاد، و رئیسی ساداتی، سیده یلدا (۱۴۰۱). تأثیر پوتریسین بر عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گندم در واکنش به تنش کم آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳(۴)، ۱۶-۲۹. Doi: ijfcs.2022.329821.654849

دادخواه، نادر، عبادی، علی، پرمون، قاسم، قلی‌پوری، عبدالقیوم، و جهانبخش، سدابه (۱۳۹۳). اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه نخود در سطوح مختلف آبیاری. *نشریه زراعت دیم ایران*، ۲(۲)، ۱۴۱-۲۰۱. https://doi.org/10.22092/idaj.2015.101295

رئیسی ساداتی، سیده یلدا، جهانبخش گده‌کهریز، سدابه، عبادی، علی، و صدقی، محمد (۱۳۹۹). اثر محلول‌پاشی نانواکسید روی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تنش خشکی، نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. *دانشگاه آزاد اسلامی واحد*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

*هوا*ز، ۱۲(۴۶)، ۴۵-۶۴.

سی‌وسه مرده، عادل، احمدی، علی، پوستینی، کاظم، و ابراهیم‌زاده، حسن (۱۳۸۳). عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای کنترل‌کننده فتوسنتز و ارتباط آن با مقاومت به خشکی در گندم. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳۵(۱)، ۹۳-۱۰۶.

سیدشریفی، رئوف، و حکم علی‌پور، سعید (۱۳۹۵). زراعت در شرایط تنش‌های محیطی. جلد اول، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.

شهریاری، رضا، شهبازی، حسین، هجران، نسیم، و سیف برقی، سمیه (۱۳۹۹). کارایی برخی صفات فیزیولوژیکی در ارزیابی تحمل لاین‌های پیشرفته جو (*Hordeum vulgare* L.) به تنش خشکی انتهای فصل. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۳(۱)، ۵۷-۷۱. 10.22077/escs.2019.1817.1424

کافی، محمدرضا، زند، اسکندر، کامکار، بهنام و گلدانی، مرتضی (۱۳۸۲). فیزیولوژی گیاهی. جلد دوم، جهاد دانشگاهی مشهد.

کوچکی، علیرضا، و خواجه‌حسینی، محمد (۱۳۹۶). زراعت نوین. چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

گل‌آبادی، مریم، عباسی، زهرا، و گل‌پرور، احمدرضا (۱۳۹۳). تغییرات فیزیولوژیکی برگ پرچم گندم نان در واکنش به تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۷(۱)، ۱-۱۱.

نقوی، محمدرضا، مقدم، محمد، تورچی، محمود، و شکیبا، محمدرضا (۱۳۹۵). ارزیابی ارقام گندم بهاره بر اساس شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی. *پژوهشنامه گیاهان زراعی*، ۸(۱۷)، ۱۹۲-۱۹۸.

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 Persian). https://doi.org/10.22092/idaj.2018.120366.196

Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2024). Changes induced in physiological indicators and performance of Triticosecale (Triticosecale × Wittmack) under water stress by some growth promoting bacteria and nanoparticles, *Enveronmental Stresses in Crop Sciences*, *17*(3), 549-567.

Ahmed, K., Nahar, K., Fujita, M., & Hanuzzaman, M. (2010). Variation in plant growth, tillerdynamics and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) due to high temperaturestress. *Advances in Agriculture and Botanics*, *2* (3), 213-224.

Ahmed, K., Shabbir, G., Ahmed, M., & Nawaz Shah, K. (2020). Phenotyping for drought resistance in bread wheat using physiological and biochemical traits. *Science of the Total Environment*, *729*, 1-14.

Araus, J. L., Slafer, G. A., Royo, C., & Serreat, M. D. (2008). Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Review in Plant Science*, *27*, 377-412.

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

Ayeneh, A., Van Ginkel, M., Reynolds, M. P., & Ammar, K. (2002). Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, *79*, 173-184. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00138-7

Barboricova, M., Filacek, A., Vysoka, D. M., Gasparovic, K., Zivcak, M., & Brestic, M. (2022). Sensitivity of fast chlorophyll fluorescence parameters to combined heat and drought stress in wheat genotypes. *Plant, Soil and Environment*, *68*(7), 309-316.

Bartlett, M. S. (1954). A note on the multiplying factors for various chi square approximations. *Journal of the Royal Statistical Society*, *16*(2), 296-298.

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

Bavandpouri, F., Farshadfar, E., & Farshadfar, M. (2023). Comparison of bread wheat genotypes and correlation analysis of traits in different moisture conditions based on GT-biplot method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(4), 1-17.

Bayat, H., Omidi, M., Shanejat-Boushehri, A. A., & Naghavi, M. R. (2023). Evaluation of some physiological and biochemical traits of wild species and wheat possessing the D genome under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(4), 77-91.

Beasley, J. T., Bonneau, J. P., Sanchez Palacios, J. T., Moreno Moyano, L. T., Callahan, D. L., Tako, E., Glahn, R. P., Lombi, E., & Johnson, A. A. (2019). Metabolic engineering of bread wheat improves grain iron concentration and bioavailability. *Plant Biotechnology Journal*, *17*(8), 1514-1526. doi: 10.1111/pbi.13074

Dalal, V. K, & Tripathy, B. C. (2012). Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stressin rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant, Cell and Environment*, *35*(9), 1685-1703.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

David, M. (2010). Water loss from excised leaves in a collection of triticum aestivum and triticum durum cultivars. *Romanian Agricultural Research, 27*, 27-34.

Eshghizadeh, H. R, & Ehsanzadeh, P. (2009). Effect of differrent irrigation regimes on corn (*Zea mays* L.) genotypes, chlorophyll fluorescence, growth characteristics and seed yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *40*(2), 135-144 (in Persian).

Fathi, A, & Bahamin, S. (2018). The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences, 11*(3), 661-674. (In Persian). 10.22077/escs.2017.720.1146

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.

Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2017). Phytoprotectants and abiotic stresses. Urmia University Press, Urmia (in Persian).

Hoseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica, 54*, 87-92. (In Persian). DOI:10.1007/s11099-015-0162-x

Inamullah, N. H. S., Hagh, Z., & Khan, F. U. (2007). An analysis of the planting dates effect onyield and yiel attributes of spring wheat. *Sarhad Journal of Agriculture, 23*, 269-275.

Ines, S., Talbi, O., Nasreddine, Y., Rouached, A., Gharred, J., Jdey, A., Hanana, M., & Abdelly, C. (2021). Drought tolerance traits in Medicago species: A review. Arid Land Research and Management.

Keshavarz, L., Farahbakhsh, H., & Golkar, P. (2013). Effect of hydrogel and irrigation Regimes on chlorophyll content, nitrogen and some growth indices and yield of forage millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Crop Production and Processing, 3*(9), 147-160. (in Persian).

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 44*(1), 116-124.

Khoshkhabar, H., Maleki, A., Mirzaeiheydari, M., & Babaii, B. (2022). The effect of drought stress on yield and agrophysiological characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under irrigated and rainfed conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16*(1), 61-80.

Kordrostami, F., Shirvany, A., Attarod, P., & Khoshnevis, M. (2014). Does drought stress induce physiological mechanisms in *Celtis caucasica* L. *Seedlings, Advances in Bioresearch*, *5*(4).

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil, 330*, 65-71.

Levit, J. (1980). Water, Radiation, Salt and other Stresses, Academic Res.

Lisitsyn, E. M, & Churakova, S. A. (2022). Functionality of photosystem II in barley leaves under different supply with Mn^{2+}. *Modern Phytomorphology*, *16*, 1-6.

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.

Mahmood, T., Khalid, Sh., Abdullah, M., Ahmed, Z., & Kausar Nawaz Shah, M. (2020). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, *9*(1), 1-30. doi: 10.3390/cells9010105

Mamnoei, E, & Seyed Sharifi, R. (2010). Study the effects of water deficit onchlorophyll fluorescence indices and theamount of proline in six barleygenotypes and its relation with canopytemperature and yield. *Journal of Plant Biology*, *2*(5), 51-62.

Maxwell, K, & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, *51*, 659-668.

Mehta, P. A., Jajoo, S., & Mathur Bharti, S. (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(1), 16-20.

Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., & Mardi, M. (2010). Response of wheat yield andyield related traits to high temperature. *Cereal Research Communications*, *38*, 23-31. DOI: 10.1556/CRC.38.2010.1.3

Mohammadkhani, N, & Heidari, R. (2007). Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakestan Journal of Biology Science*, *10*, 3835-3840.

Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S., & Nasrollahzade, S. (2016). Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *International Journal of Life Sciences, 10*, 58-64.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment, 25*, 239-250.

Mollasadeghi, V., Shahryari, R., Imani, A. A., & Khayatnezhad, M. (2011). Factor analysis of wheat quantitative traits on yield under terminal drought. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *10*(2), 157-159.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

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.

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. doi: 10.47176/jcpp.13.3.258510

Narimanzadeh, A., Sheikhzadeh, P., Zare, N., Sedghi, M., & Rostamihir, M. (2024). Effect of foliar application of nanosilicon on grain yield and some physiological traits of pinto bean under water limitation conditions. *Crop Production Journal*, *17*(2), 53-70.

Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2022). Effect of Mycorrhiza, vermicompost and Nano silicon on agronomic and physiological traits of Triticale under different intensities of drought stress. *Crop Production Journal*, *14*(4), 21-46.

Nazari-Nasi, H., Jabbari, F., Azimi, M. R., & Norouzian, M. (2012). Evaluation of drought stress on cell membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and seed yield in four pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *43*(3), 491-199. (In Persian). Doi: 10.22059/ijfcs.2012.29045

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://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659351

Nematpour**,** A, & Eshghizadeh, H. R. (2020). Effect of drought stress, nitrogen chemical nutrition and sowing date on some of agrophysiological characteristics of two millet cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, *8*(23), 171-186.

Nematollahi, E., Jafari, A., & Bagheri, A. (2012). Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflowers (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology, 5*(12), 37-51. (in Persian).

Naroui Rad, M. R., Abdul Kadir, M., Rafii, M. Y., Jaafa, H. Z. E., & Danaee, M. (2013). Gen action for physiological parameters and use of relative water content (RWC) for selection of tolerant and high yield genotypes in F2bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *8*(3), 1051-1060.

Pardo, J, & Delgado, E. O. (1989). Efecto del estres hidrico sobre los pigmentos fotosinteticos en dos variedades de cana de azucar. *Ciencias De La Agricultura, 37-38*, 96-100.

Rahdari, P, & Hoseini, S. M. (2012). Drought stress: A review. *International journal of Agronomy and Plant Production*, *3*(10), 443-446.

Rahman, M. A., Chikushi, J., Yoshida, S., & Karim, A. J. M. S. (2009). Growth and yield components of wheat genotypes exposed to high temperature stress under control environment. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *34*, 361-372. DOI: 10.3329/bjar.v34i3.3961

Rezaei, A., Lotfi, B., Jafari, M., & Bahamin, S. (2015). Survey of effects of PGPR and salinity on the characteristics of Nigella leaves. *In Biological Forum-An International Journal*, *7*, 1085-1092.

Reynolds, M. P., Ortiz-Montasterio, J. I., & Mcnab, A. (2001). Application of Physiology in Wheat Breeding. Cymmyt, D.F, Mexico.

Samadi, B. I, & Hosseini, N. M. (2001). Quantitative specification analysis of 12 kind of reclamation triticum in dry farming state in Karaj region. *Desert Journal, 7*(1), 1-2.

Santos, C. V. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress insunflower leaves. *Scientia Horticulturae, 103*(1), 93-99.

Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafiei, F., & Nejatkhah, P. (2021). Morphological and biochemical responses of (*Sorghum bicolor* L.) Moench under drought stress. *SN Applied Sciences*, *3*(1), 1-12.

Si, Z., Zain, M., Mehmood, F., Wang, G., Gao, Y., & Duan, A. (2020). Effect of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield, and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. *Journal of Agricultural Water Management*, *231*, 106002.

Severino, L. S, & Auld, D. L. (2013). Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. *Industrial Crops and Products*, *49*, 52-60.

Seraj, R, & Sinclair, T. R. (2004). Inhibition of nitrogenase activity and nodule oxygen permeability by water deficit. *Journal of Experimental Botany*, *47*, 1067-1073.

Shamsai, A. A., Aran, M., & Fakheri, B. A. (2021). The Effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of Rosemary under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *2*(2), 127-140. (In Persian).

Shir-Mard Kermanshahi, M. (2003). Effects of reduced irrigation stress on some morphological and physiological traits on Safflowr cultivars. MSc. Thesis. Islamic Azad Uneversiy, Karaj Branch, (In Persian).

Siddique, M. R. B., Hamid, A., & Islam, M. S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat Botany. *Bulletin Academi Science, 41*, 35-39.

Singh, Kh., Sharma, S. N., & Sharma, Y. (2011). Effect of high temperature on yield attributingtraits in bread wheat.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

Bangladesh Journal of Agricultural Research, *36*, 415-426. DOI: 10.3329/bjar.v36i3.9270

Sotiropoulos, T., Kalfountzos, D., Aleksiou, I., Kotsopoulos, S., & Koutinas, N. (2006). Response of a clingstone peach cultivar to regulated deficit irrigation. *Scientia Agricola*, *67*(2), 164-169. DOI:10.1590/S0103-90162010000200006

Sousaraei, N., Mashayekhi, K., Mousavizadeh, S. J., Akbarpour, V., Medina, J., & Aliniaeifard, S. (2021). Screening of tomato landraces for drought tolerance based on growth and chlorophyll fluorescence analyses. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *62*(4), 521-535.

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. Doi: 10.22069/ejcp.2023.20693.2541

Viljevac Vuletic, M., Horvat, D., Mihaljevic, I., Dugalic, K., Simic, D., Cupic, T., ... & Lepedus, H. (2022). hotosynthetic variability of obla cinska sour cherry ecotypes under drought. *Plants*, *1*, 1764.

Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., Ahmad, R., & Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, *5*(1), 10-25.

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://doi.org/10.1080/00103628209367332

Wysocki, D, & Cro, M. (2006). Using seed size, planting date and expected yield to adjust dryland winter wheat seeding rates. *Oregon Agricultural Experiment Station Special Report 1068*. 103-110.

Yang, J, & Zhang, J. (2006). Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*, *169*(2), 223-236.

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.crvi.2009.03.003

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]

Evaluation of some morphological and physiological characteristics of advanced bread wheat genotypes under the influence of drought stress

Babak Sadeghiyeh[1], Sodabeh Jahanbakhsh Godehkahriz[1*], Salim Farzaneh[1], Marefat Ghaemi[2] and Amirabbaas Matin[3]

[1] Department of plant genetics and production engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Horticulture Crops Reasearch Department. Ardabil Agricultural and Natural Resources Reasearch and Education Center, Ardabil, Iran
[3] Department of Chemistry, Azarbaijan Shahid Madan, University, Tabriz, Iran
(Received: 2024/10/29, Accepted: 2025/04/15)

Abstract

In order to evaluate the effectiveness of morpho-physiological traits in the selection of bread wheat drought stress tolerance, an experiment was conducted with 10 advanced wheat genotypes in Influenced by a randomized complete block design with three replications in two environments: some drought stress and no stress in the agricultural and natural resources research station of Ardabil province. The results of variance analysis showed that drought stress increased the traits of days to clustering, number of spikelets per spike, leaf water loss, ion leakage rate, and electrical conductivity and decreased the traits of spike weight, variable fluorescence (FV), maximum fluorescence (FM), greenness index (SPAD), leaf relative humidity (RWC), and cytoplasmic membrane stability. The combination (number (3) × without stress) had the highest seed yield with an average of 4963 kg/ha, and together with the combinations (3, 4, 7, and 8 × no stress and two varieties, Zarineh and Hiran × no stress), were in the top class, and the lowest yield was the combination (3) × stress at the end of the season) with 4101.06 kg per hectare. Seed yield has a positive and significant correlation with spike weight, chlorophyll fluorescence (F0), chlorophyll fluorescence (Fm), leaf relative moisture content (RWC), and cytoplasmic membrane stability, and a negative and significant correlation with ion leakage and leaf water loss traits. The highest and most significant correlation was obtained between spike weight and grain weight traits, which can be considered as the most suitable selection criteria for drought tolerance in wheat.

Keywords: Drought stress, Days to physiological maturity, Chlorophyll fluorescence, Yield

Corresponding author, Email: ebadi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.189]