نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴ شماره ۱ / بهار ۱۴۰۳/ صفحات ۲۱۹-۲۰۵

Evaluation of Bread Wheat Cultivars and Lines (*Triticum aestivum* L.) under Normal Irrigation and Drought Stress

Kamal Shahbazi Homounlu[1*], Ali Ebadi[2], Salim Farzaneh[2], Manuchehr khodarahmi[3]

Received: 23 October 2022 Accepted: 19 February 2023
1-Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
2-Prof., and Asocc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3-Cereals Research Dept. Seed and Plant Breeding Research Institute, Karaj, Iran.
*Corresponding Author Email kamal.shahbazi.h@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Considering the importance of wheat as a strategic plant, the present research was conducted in order to identify wheat cultivars and lines resistant to drought stress and investigate the relationship between morpho–physiological traits and stress resistance.

Materials and Methods: Experiments were conducted in the cropping years from 2018- 2019 and 2019-2020 in the farm of Agricultural and Natural Resources Research Center of Moghan in the form of split plots complete random block design with three repetitions. The Main plot covered the three irrigation regimes including control irrigation (without drought stress), medium drought stress (moderate drought stress) and full drought stress. Sub-plots included bread wheat cultivars and lines (Tirgan, Ehsan, Aftab and lines N-91-17, N-92-9 and N-93-17).

Results: The results showed that the effect of drought stress on the number of days to germination, number of fertile tillers per plant, thousand seed weight, seed yield, proline content, catalase, leaf protein and leaf greenness index was significant. In general, drought stress caused a significant decrease in seed yield by decreasing the number of fertile tillers per plant, leaf protein, leaf greenness index and thousand seed weight, as well as increasing the content of proline and catalase. Under moderate and full drought treatments, the seed yield declined (12.5 and 31 percent, respectively), reduced leaf protein content (55 and 71 percent, respectively) and increased proline content (26 and 45 percent, respectively)

Conclusion: In general, the results showed that in moderate drought stress and full drought stress, N-93-17 line and Aftab cultivar were superior in terms of investigated traits and with regard to the higher tolerance of the cultivars to drought stress, the use of these cultivars in areas with limited humidity deserves long-term research with more details.

Keywords: Irrigation Regime, Proline Content, Protein, Seed Yield

DOI: 10.22034/SAPS.2022.53889.2939

ارزیابی ارقام و لاین‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط معمول و تنش کم آبی

کمال شهبازی هومونلو[1*]، علی عبادی[2]، سلیم فرزانه[2]، منوچهر خدارحمی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰
۱-مربی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)
۲-استاد و دنشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران
*مسئول مکاتبه: Email kamal.shahbazi.h@gmail.com

چکیده

اهداف: با توجه به اهمیت گندم بعنوان یک گیاه استراتژیک، تحقیق حاضر به منظور شناسایی ارقام و لاین‌های گندم مقاوم نسبت به تنش خشکی و بررسی ارتباط صفات مورفوفیزیولوژیک، مقاومت به تنش صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایشی با هدف تاثیر تنش خشکی بر ارقام و لاین‌های گندم در سال‌های زراعی ۹۸ – ۱۳۹۷ و ۹۹ – ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم آبیاری (آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (شاهد بدون تنش خشکی)، آبیاری تا مرحله گلدهی (تنش خشکی متوسط) و آبیاری خاک آب (تنش خشکی کامل)) و کرت‌های فرعی شامل ارقام و لاین‌های گندم نان (تیرگان، احسان، آفتاب و لاین‌های N-91-17، N-92-9 و N-93-17) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تاثیر تنش خشکی بر تعداد روز تا سبز شدن، تعداد پنجه بارور در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، محتوای پرولین، کاتالاز، پروتئین برگ و شاخص کلروفیل معنی‌دار گردید. بطور کلی تنش خشکی با کاهش تعداد پنجه بارور در بوته، پروتئین برگ، شاخص کلروفیل و وزن هزار دانه و همچنین افزایش میزان محتوای پرولین و کاتالاز برگ سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. تنش خشکی متوسط و کامل باعث کاهش عملکرد دانه (به ترتیب به میزان ۱۲/۵ و ۳۱ درصد)، کاهش محتوای پروتئین برگ (به ترتیب به میزان ۵۵ و ۷۱ درصد) و افزایش پرولین (به ترتیب به میزان ۲۶ و ۴۵ درصد) نسبت به آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد شد.

نتیجه گیری: به طورکلی نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی متوسط و تنش خشکی کامل، لاین N-93-17 و رقم آفتاب از نظر صفات مورد بررسی برتر بودند و با توجه به تحمل بالاتر این ارقام به تنش خشکی، استفاده از این ارقام در مناطق مواجه با محدودیت رطوبت، شایسته پژوهش‌های بلند مدت با جزئیات بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، رژیم آبیاری، عملکرد دانه، محتوای پرولین

مقدمه

سازمان ملل متحد گزارش داده است که جمعیت کره زمین تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد و ۸۰۰ میلیون نفر خواهد رسید و مسئله تامین غذا را چالش بزرگ پیش‌روی بشر دانسته است (فائو ۲۰۱۷). گندم، مهم‌ترین گیاه زراعی در جهان است که نقش مهمی در تأمین غذای مردم دارد. این گیاه یک منبع غذایی بسیار مهمی است، زیرا نیاز انسان را به کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌های غذایی، فیبر، کلسیم، روی، چربی و انرژی تأمین می‌کند (بوکید و همکاران ۲۰۱۹).

از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده رشد و نمو گیاهان مسئله تنش خشکی است که اثرات نامطلوبی نیز بر عملکرد آن‌ها دارد (لئو و همکاران ۲۰۱۹). از طرفی همزمان با تغییرات اقلیمی، گسترش و شدت تنش خشکی به طور پیوسته افزایش می‌یابد (بنک و همکاران ۲۰۱۹). لذا در سال‌های اخیر به‌علت تغییر شرایط آب و هوایی تنش خشکی شدیدتر شده است. چندین صفت مورفولوژیک مانند تعداد پنجه‌های بارور در بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و حتی طول ریشک نه تنها بر تحمل تنش به رطوبت محدود خاک در گندم تأثیر می‌گذارد، بلکه نشان می‌دهند که ارقام سازگار چگونه از طریق تغییرات ریخت‌شناسی با تنش زیست محیطی خشکی کنار می‌آیند (لیو و همکاران ۲۰۱۵). اعتقاد بر این است که حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله گلدهی است و کمبود آب پس از گلدهی از طریق آسیب رساندن به فرایند پرشدن دانه می‌تواند بر میانگین وزن هر دانه تأثیر منفی بگذارد (عبید و همکاران ۲۰۱۶). در آزمایشی با بررسی تیمارهایی شامل تنش خشکی در سه سطح (۸۵، ۶۰ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی) و ژنوتیپ‌های گندم مشخص شد که صفات گندم همچون ارتفاع بوته، طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم تحت تأثیر تنش خشکی تغییر می‌یابند (قلیپوری و همکاران ۲۰۱۶). تحقیقات نشان داده است گیاهانی که مقدار بیشتری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز و پراکسیداز از نوع ساختاری یا القایی داشته باشند، در برابر آسیب‌های اکسیداتیو مقاومت بیشتری نشان می‌دهند (اشرف و بصیر ۲۰۰۶). در آزمایشی مشخص شد که در شرایط محدودیت آبی تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن، بر ساختار کلروپلاست آسیب می‌رساند و موجب کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (دسینگ و کاناجارج ۲۰۰۷). مطالعات مربوط به پاسخ‌های زراعی، ریخت شناسی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌تواند دانش ما را از توانایی گیاهان برای پاسخگویی و سازگاری با محیط‌های مستعد خشکسالی افزایش دهد (پور ابوقداره و همکاران ۲۰۲۰). در طی یک دوره طولانی انتخاب و اصلاح گندم توسط به نژادگران، از استراتژی‌های پیچیده‌ای (شامل صفات زراعی مورفولوژیک همراه با سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی) برای کنار آمدن با تنش خشکی استفاده شده است (تورنر ۱۹۹۷). از این رو، می‌توان از دانش ارتباط بین عملکرد و این صفات و همچنین برآورد دقیق تحمل تنش در مواد ژنتیکی گیاهی، برای بهبود کارایی برنامه‌های تکثیر در محیط‌های مختلف استفاده کرد (واقان و همکاران ۲۰۱۸). با توجه به اهمیت گندم بعنوان یک گیاه استراتژیک، تحقیق حاضر به منظور شناسایی ارقام و لاین‌های گندم مقاوم نسبت به تنش خشکی و بررسی ارتباط صفات مورفوفیزیولوژیک، مقاومت به تنش صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۸ – ۱۳۹۷ و ۹۹ – ۱۳۹۸ در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریا و با شرایط آب و هوایی نیمه خشک معتدل (بر اساس اقلیم نمای آمبرژه) اجرا شد. میانگین دمای هوا و بارش در جدول ۱ و خصوصیات خاک مزرعه آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت اصلی رژیم آبیاری شامل: آبیاری کامل

تا انتهای فصل رشد (شاهد بدون تنش خشکی) ۲- آبیاری تا مرحله گلدهی (تنش خشکی متوسط) و ۳- آبیاری خاک آب (تنش خشکی کامل) و کرت‌های فرعی ارقام و لاین‌های گندم نان شامل (تیرگان، احسان، آفتاب و لاین‌های N-91-17، N-92-9 و N-93-17) بودند مراحل آبیاری گندم در جدول ۳ و مشخصات ارقام گندم در جدول ۴ گزارش شده است.

در هر دو سال آزمایش کاشت در ۲۰ آبان ماه با بذور ضد عفونی شده ارقام گندم انجام شد. بذر هریک از ارقام مختلف گندم روی پشته‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر و بر اساس تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع با بذر کار مخصوص آزمایشات غلات انجام شد. پس از کاشت، یک نوبت آبیاری در پاییز جهت سبز شدن گیاهچه‌ها و استقرار آنها انجام گرفت و پس از آن اعمال تیمارهای آبیاری آغاز شد. برای تعیین میزان آب آبیاری، ابتدا نیاز آبی گیاه در فاصله هر دو آبیاری مطابق معادله یک برآورد گردید.

$$WR=(Etc+Ro-Pe-CR)/(Ei/100)$$ معادله ۱

در این معادله W: نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)، Etc: تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی‌متر)، Ro: رواناب (میلی‌متر)، Pe: بارندگی مؤثر (میلی‌متر)، CR: صعود کاپیلاری (میلی‌متر) و Ei: راندمان آبیاری (درصد) می‌باشند (آلن و همکاران ۱۹۹۸). با توجه به بسته بودن کرت‌های آزمایشی مقدار رواناب صفر در نظر گرفته شد. میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) بر پایه مدل پنمن مونتیث فائو (بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی مربوط به فاصله زمانی تاریخ آبیاری قبلی تا تاریخ آبیاری مورد نظر و با استفاده از داده‌های دستگاه هواشناسی خودکار) و میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم بر اساس معادله دو محاسبه گردید.

$$Eto \times Kc = Etc$$ معادله ۲

با توجه به بسته بودن کرت‌های آزمایشی و انتقال آب تا ابتدای کلیه خطوط کشت به‌وسیله لوله، میزان راندمان آبیاری (Ei) نیز ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. در نهایت میزان آبیاری به‌وسیله کنتور با دقت یک دهم لیتر اندازه‌گیری و با کنترل شیرهای ورودی برای هر تیمار آبیاری بصورت جداگانه اعمال گردید. کوددهی با مصرف کود سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان خاک-ورزی و همچنین اوره (به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در هنگام ساقه روی در اواسط اسفندماه انجام شد. جهت کنترل علف‌های هرز از علف‌کش‌های کلودینافوپ پروپارژیل (تاپیک) به میزان ۱ لیتر در هکتار و تری بنورون متیل (گرانستار) به میزان ۲۰ گرم در هکتار در زمان پنجه‌زنی گندم استفاده گردید. برداشت محصول در تاریخ ۳۰ خرداد ماه ۱۳۹۸ و ۲۸ خرداد ماه ۱۳۹۹ انجام شد. قبل از برداشت محصول ۶ بوته کامل از هر پلات به صورت تصادفی بعنوان نمونه جامعه هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه غلات مرکز جهت اندازه گیری صفات مرفولوژیک منتقل شد. عملکرد دانه در زمان رطوبت ۱۴ درصد با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت و برداشت محصول با استفاده از کمباین آزمایشات غلات انجام و به کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. برای تعیین میزان شاخص کلروفیل، در زمان ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی ۶ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه SPAD (مدل 502 Minolta) بر روی آن انجام و میانگین قرائت‌ها به-عنوان شاخص کلروفیل بوته ثبت شد. اندازه‌گیری فعالیت‌های آنزیمی از برگ پرچم در زمان ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی انجام شد (کلیک و یقباسنلر ۲۰۱۰). اندازه‌گیری میزان پروتئین برگ به روش بردفورد (۱۹۷۶) انجام گرفت. اندازه‌گیری میزان پرولین برگ با استفاده از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت. اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش کارو و میشرا (۱۹۷۶) انجام گرفت. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (بارتلت)، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام شد. تجزیه‌های آماری و رسم نمودارها به ترتیب با استفاده از نرم افزار SPSS 16 و برنامه Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱. میانگین دمای هوا و بارش در ســـال ۹۹ – ۱۳۹۷ در ایستگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)

ماه‌های سال	دما (oC)				میزان بارندگی (mm)	
	۱۳۹۷–۹۸		۱۳۹۸–۹۹		۱۳۹۷–۹۸	۱۳۹۸–۹۹
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر		
فروردین	۶/۲	۱۸/۱	۶/۸	۱۶/۲	۰/۷	۱/۵
اردیبهشت	۱۲/۱	۲۵/۹	۱۱/۹	۲۶/۱	۰/۶	۰/۷
خرداد	۱۶	۳۱/۱	۱۷/۱	۳۳/۲	۱/۴	۰/۳
تیر	۲۱/۲	۳۷/۱	۲۱/۳	۳۴/۲	۰/۲	۰/۱
مرداد	۲۱/۷	۳۳/۶	۲۰/۸	۳۳/۱	۰	۰/۱
شهریور	۱۷/۵	۳۰/۹	۱۶/۸	۲۷/۲	۱	۱
مهر	۱۳/۶	۲۴/۳	۱۳/۹	۲۴/۶	۰	۰/۴
آبان	۶/۳	۱۶/۹	۸/۲	۱۷/۹	۰/۹	۰/۱
آذر	۴/۷	۱۱	۳/۱	۱۱/۵	۰/۹	۰/۹
دی	۰/۳	۱۰/۴	۲/۳	۱۰/۵	۰/۲	۰/۵
بهمن	۰	۱۰/۵	۲/۵	۱۲/۶	۱/۱	۰/۶
اسفند	۳/۴	۱۴/۴	۵	۱۵/۴	۰/۷	۰/۷

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	هدایت الکتریکی(dS/m)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد کربن آلی	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
سیلت رسی	۱/۰۸	۴۶	۴۰	۱۴	۱/۲	۰/۱۲	۱۲/۷۲	۶۲۶/۶

جدول ۳- مراحل آبیاری گندم در تیمارهای مختلف

آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (شاهد بدون تنش خشکی)	آبیاری تا مرحله گلدهی (تنش خشکی متوسط)	آبیاری خاک آب (تنش خشکی شدید)
مرحله جوانه زدن (خاک آب)	مرحله جوانه زدن (خاک آب)	مرحله جوانه زدن (خاک آب)
مرحله پنجه دادن (پنجه آب)	مرحله پنجه دادن (پنجه آب)	–
مرحله ساقه رفتن (ساقاب)	مرحله ساقه رفتن (ساقاب)	–
مرحله خوشه رفتن (خوشاب)	مرحله خوشه رفتن (خوشاب)	–
مرحله گل رفتن (گل آب)	مرحله گل رفتن (گل آب)	–
مرحله دانه بستن (دان آب)	–	–

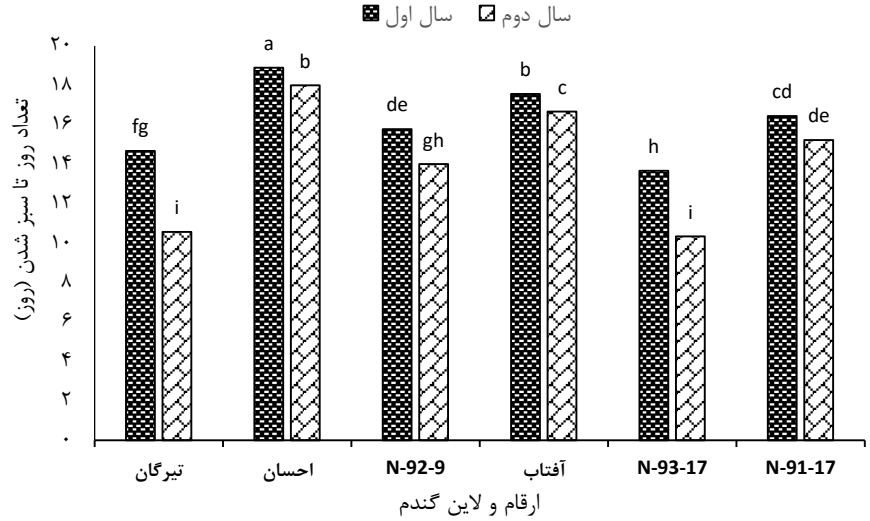
نتایج و بحث

تعداد روز تا سبز شدن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برای این صفت اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل دو جانبه سال × رقم معنی‌دار به دست آمد (جدول ۵). بیشترین تعداد روز تا سبزشدن به طور معنی‌داری در سال اول و برای رقم احسان به دست آمد (شکل ۲). کمترین تعداد روز تا سبزشدن در سال دوم و برای لاین N-93-17 و رقم تیرگان مشاهده گردید (شکل ۲). سبزشدن سریع به واسطه جذب رطوبت خاک، تسریع پوشاندن زمین و ممانعت از رشد علف‌های هـرز مزایـای زیادی به همراه دارد. با توجه به تفاوت ارقام گندم از نظر سرعت سبز شدن، انتظار می‌رود که تأثیرپذیری ارقـام مختلـف از دمـا و طول روز نیز متفاوت باشد (آنگوس و همکاران ۱۹۸۱).

جدول ۴-مشخصات ارقام و لاین‌های گندم مورد استفاده در آزمایش

رقم و لاین	سال معرفی	تیپ رشد و مناطق مورد کشت
تیرگان	۱۳۹۶	تیپ رشدی بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۱۰۵ سانتی متر، متوسط عملکرد ۵۹۰۰ کیلوگرم در هکتار، دارای کیفیت خیلی خوب جهت تهیه نان، نیمه مقاوم به ورس و مقاوم ریزش دانه، دارای ۱۲/۲ درصد پروتئین دانه، مقاوم نسبت به بیمارهای زنگ زرد، زنگ قهوه-ای و زنگ سیاه و نیمه مقاوم نسبت به بیماری فوزاریوم سنبله.
احسان	۱۳۹۵	متوسط عملکرد ۵۷۱۹ کیلوگرم در هکتار، تیپ رشدی بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۱۰۷ سانتی متر، نیمه مقاوم به ورس، مقاوم به ریزش دانه، متوسط رس، دارای ۱۲/۳ درصد پروتئین در دانه، مقاوم به بیمارهای زنگ زرد، زنگ قهوه ای و فوزاریوم سنبله.
N-91-17	۱۳۹۷	تیپ رشدی بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۱۰۰ سانتی متر، متوسط عملکرد ۵۹۲۰ کیلوگرم در هکتار، دارای کیفیت خوب جهت تهیه نان، مقاوم به ورس و ریزش دانه، دارای ۱۲/۳ درصد پروتئین دانه، مقاوم نسبت به بیمارهای زنگ زرد و زنگ قهوه ای، حساس به بیماری‌های زنگ سیاه و فوزاریوم سنبله.
N-92-9	۱۴۰۰	تیپ رشدی بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۱۰۶ سانتی متر، متوسط عملکرد ۶۲۳۲ کیلوگرم در هکتار، دارای کیفیت خوب تا خیلی خوب جهت تهیه نان، نیمه مقاوم به ورس و مقاوم ریزش دانه، دارای ۱۲/۲ درصد پروتئین دانه، مقاوم تا نیمه مقاوم نسبت به بیماری زنگ زرد و مقاوم تا حساس نسبت به زنگ قهوه‌ای، حساس به بیماری زنگ سیاه و نیمه مقاوم نسبت به فوزاریوم سنبله.
N-93-17	۱۴۰۰	تیپ رشدی بهاره، زودرس با پتانسیل عملکرد مناسب، مقاومت قابل قبول نسبت به بیماریهای زنگ زرد، زنگ قهوه ای و مقاومت نسبی به بیماری سفیدک پودری و ریزش دانه و با کیفیت نانوایی مطلوب
آفتاب	۱۳۹۴	مناسب جهت کشت در مناطق دیم، متوسط عملکرد ۳۱۸۳ کیلوگرم در هکتار، دارای کیفیت مناسب آرد جهت تهیه نان، مقاوم نسبت به بیماری های زنگ زرد، زنگ قهوه ای، فوزاریوم سنبله و سیاهک پنهان معمولی.



شکل ۲- ترکیبات تیماری سال × ارقام گندم برای تعداد روز تا سبزشدن بذر گندم

جدول ۵- تجزیه مرکب صفات مورد مطالعه ارقام گندم در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد روز تا سبز شدن	تعداد پنجه بارور در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	محتوای پرولین	کاتالاز	پروتئین برگ	شاخص کلروفیل
سال	۱	۲۱/۳۳۳**	۱۵/۵۵۸**	۵۵۹۲/۸۳۱**	۲۹۴۷۷۵۹۰/۰۵۱**	۰/۸۳۵^{ns}	۷/۴۰۱^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۴۱/۷۷۷^{ns}
تکرار/ سال	۴	۰/۴۶۲^{ns}	۲/۳۰۸^{ns}	۴۳/۲۲۵^{ns}	۱۴۸۴۲۷۶۶/۶۸۰^{ns}	۰/۴۰۰^{ns}	۸۵۲/۱۳۱^{ns}	۲/۵۶۱^{ns}	۳۳/۹۴۳^{ns}
تنش	۲	۰/۴۵۳^{ns}	۰/۱۱۴^{ns}	۳۷/۸۵۷^{ns}	۲۴۰۹۵۹/۶۳۴^{ns}	۲۴۴/۴۹۰**	۶۲۸/۲۰۷**	۲۰۴/۵۵۶**	۲۳۹۹/۷۳**
سال × تنش	۲	۰/۳۶۱^{ns}	۳/۳۱۷**	۸۰/۲۶۴^{ns}	۱۶۰۵۴۰۶۲/۳۶۱**	۲/۰۰۵^{ns}	۰/۳۱۷^{ns}	۰/۷۳۱^{ns}	۰/۶۲۱^{ns}
خطا اصلی	۸	۰/۱۴۳	۰/۲۴۳	۱۳/۳۶۸	۱۷۲۴۹۷۱/۷۷۲	۲/۳۴۷	۴۷/۳۸۸	۲/۸۳۷	۵۸/۵۶۱
رقم	۵	۱۳۸/۷۰۳**	۱/۲۹۱**	۳۳۳/۹۷۱**	۲۴۶۷۴۷۳/۷۳*	۷۲/۵۷۸**	۸۸/۴۲۱*	۱۳/۸۸۷**	۸۶/۵۱۱*
رقم × سال	۵	۱/۶۲۲*	۰/۷۷۳*	۸۱/۴۵۸*	۶۸۳۸۲۵۴/۴۲۱**	۰/۲۸۶^{ns}	۰/۱۱۲^{ns}	۷/۳۴۰**	۱۰/۹۰۶^{ns}
رقم × تنش	۱۰	۰/۵۵۳^{ns}	۰/۴۵۸^{ns}	۶۵/۸۴۲*	۱۸۵۰۶۲۳/۲۴۳^{ns}	۹/۸۸۲**	۸۹/۹۴۵**	۲۰/۰۸۹**	۵۴/۱۱۴*
رقم × تنش × سال	۱۰	۰/۲۱۶^{ns}	۰/۵۶۶*	۷۷/۶۵۷*	۱۷۲۳۹۴۹/۹۳۵^{ns}	۰/۲۱۰^{ns}	۰/۳۲۵^{ns}	۰/۳۸۷^{ns}	۱۱/۰۱۵^{ns}
خطا	۶۰	۰/۶۳۸	۰/۲۸۳	۳۵/۲۹۶	۱۱۷۱۰۸۷/۲۱۰	۰/۶۴۱	۳۲/۲۳۳	۰/۲۸۴	۳۴/۱۴۴
ضریب تغییرات(٪)	-	۱۵/۲۷	۲۴/۵۹۴	۱۲/۷۰۸	۱۵/۲۴۴	۱۳/۰۹۷	۱۴/۲۷۸	۹/۵۲۱	۱۵/۶۴۲

^{ns} ، * ، ** به ترتیب اختلاف غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ میباشد.

تعداد پنجه بارور

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که برای صفت تعداد پنجه بارور اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش خشکی، رقم × سال و اثرات متقابل سه جانبه رقم × تنش خشکی × سال اختلاف معنی‌داری به دست آمد (جدول ۵). با توجه به نتایج اثرات متقابل سه جانبه به دست آمده در این آزمایش می‌توان اذعان داشت که بیشترین تعداد پنجه بارور گندم در سال دوم در شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد (بدون تنش خشکی) و برای لاین N-93-17 به دست آمد (شکل ۳). کمترین تعداد پنجه بارور گندم نیز در سال اول در شرایط تنش خشکی شدید و برای رقم احسان به دست آمد (شکل ۳). وقوع تنش خشکی در مرحله اواخر پنجه‌زنی موجب می‌گردد که گیاه این تنش خشکی را حس کند و برای حفظ بقای خود و مقاومت در برابر تنش خشکی، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور را کاهش دهد، تا از آب کم موجود بتواند حداکثر بهره‌وری را برای ایجاد دانه‌های سالم، اما به تعداد کم داشته باشد (نریمانی ۱۳۹۹).

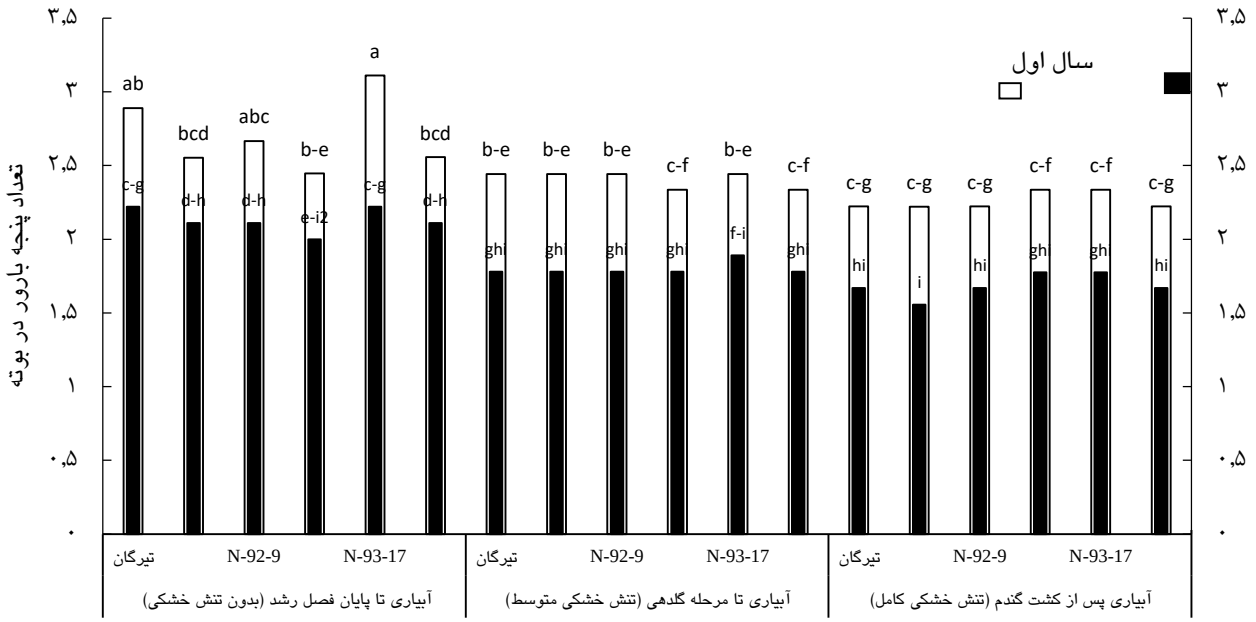
وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که برای صفت وزن هزار دانه اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه سال × رقم، رقم × تنش خشکی و اثرات متقابل سه جانبه سال × تنش خشکی × رقم اختلاف معنی‌داری به دست آمد (جدول۵). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در مورد این صفت، بیشترین وزن هزار دانه گندم در سال دوم، در شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد (بدون تنش خشکی) و برای لاین N-93-17 بدست آمد (شکل ۴) و کمترین وزن هزار دانه گندم در سال اول و در شرایط تنش خشکی شدید برای رقم احسان بود (شکل ۴). در آزمایشی با اعمال تنش خشکی در سه سطح ۳۵، ۶۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی بر روی ارقام میهن، حیدری، سایسونز و گاسگوژن گندم مشخص شد که تنش خشکی موجب

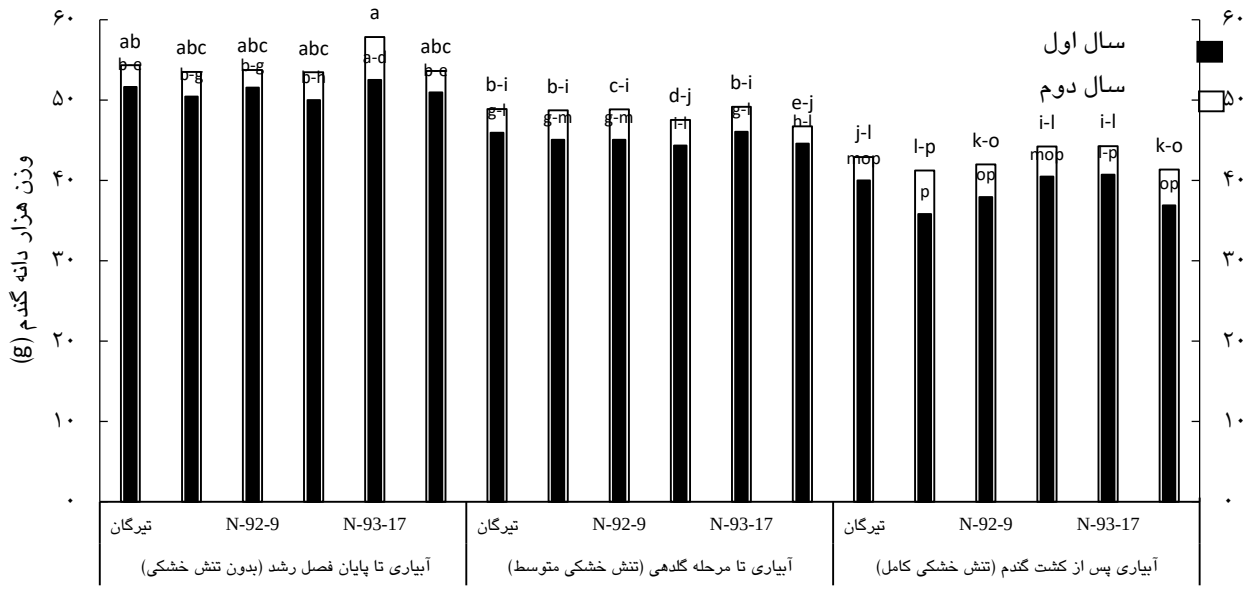
کاهش صفات طول ساقه، طول ریشه، ارتفاع بوته، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله و وزن هزار دانه گردید (رئیسی ساداتی و همکاران ۲۰۲۰).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که برای صفت عملکرد دانه گندم اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش خشکی و رقم × سال اختلاف معنی‌داری به دست آمد (جدول ۵). نتایج اثرات متقابل دو جانبه سال × رقم بیانگر این بود که بیشترین عملکرد دانه گندم بطور مشترک در سال اول و دوم و برای لاین N-93-17 و همچنین در سال دوم و برای رقم تیرگان به دست آمد (شکل ۵). کمترین عملکرد دانه گندم به طور مشترک در سال اول و دوم و برای سایر ارقام و لاین‌های گندم حاصل گردید (شکل ۶). در آزمایشی با بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی گندم مشخص شد که عملکرد دانه و مدت پرشدن دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (سینگ و پاتل ۱۹۹۶). در آزمایشی با بررسی تنش کم‌آبی در چهار سطح (۸۰، ۶۵، ۴۵ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و سه ژنوتیپ سورگوم مشخص شد که تنش کم‌آبی و ژنوتیپ سورگوم بر میزان کلروفیل a، کارتنوئیدها، پایداری کلروفیل و عملکرد علوفه‌ای سورگوم معنی‌دار گردید (قهرمانی و همکاران ۲۰۱۵). به‌طوری‌که تنش کم‌آبی موجب کاهش کلروفیلa، b، کلروفیل کل و عملکرد علوفه سورگوم گردید. در آزمایشی با بررسی تیمارهای آبیاری مطلوب، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید) و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (تنش ملایم) در کلزا به این نتیجه رسیدند که قطع آبیاری در مرحله گلدهی و خورجین‌دهی عملکرد دانه کلزا را به ترتیب ۳۸ و ۱۵ درصد کاهش داد (کلانتری و همکاران ۲۰۱۶).



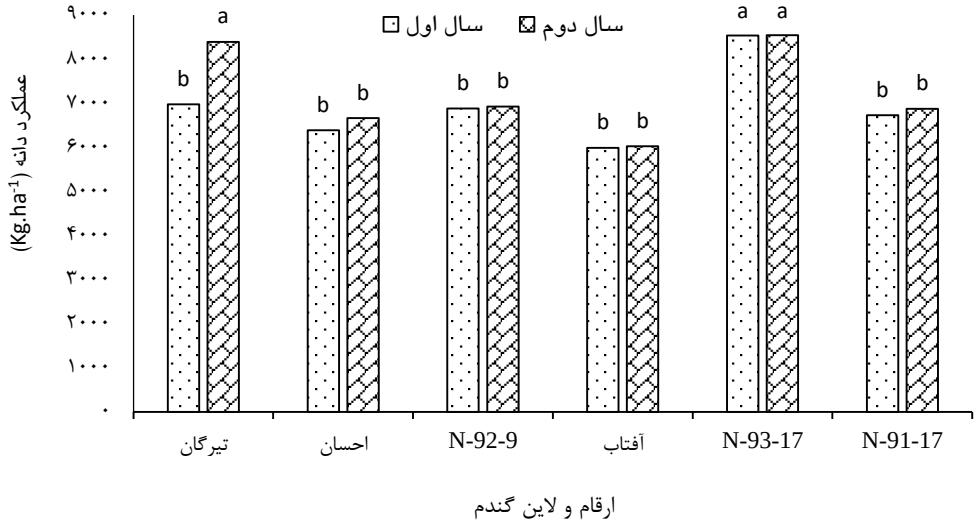
شکل ۳- ترکیبات تیماری سال × تنش خشکی × ارقام گندم برای تعداد پنجه بارور در بوته گندم



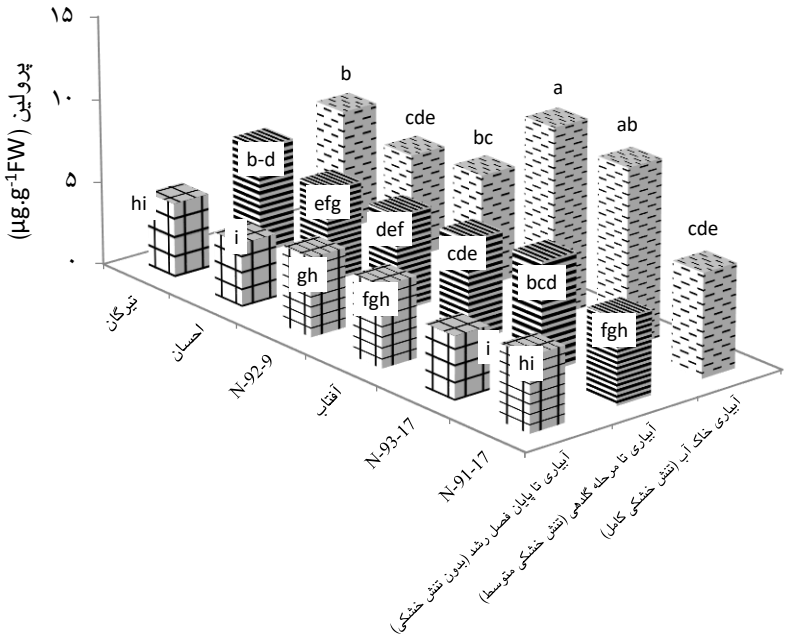
شکل ۴- ترکیبات تیماری سال × تنش خشکی × رقم گندم برای وزن هزار دانه گندم

محتوای پرولین

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل تنش خشکی × رقم بر محتوای پرولین دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود (جدول ۵). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل دو جانبه تنش خشکی × رقم نشان داد بیشترین میزان پرولین در شرایط تنش شدید برای رقم تیرگان و کمترین میزان پرولین در شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد به طور مشترک برای ارقام احسان و لاین N-93-17 بدست آمد (شکل ۶). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید باعث افزایش معنی-دار پرولین (به ترتیب ۲۶ و ۴۵٪) نسبت به شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد شد (شکل ۶). افزایش محتوای پرولین در گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش می‌باشد که منجر به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های آب پایین می‌شود. همچنین افزایش محتوی پرولین و قندهای محلول گیاه را قادر می‌سازد با حفظ تورژسانس سلول‌ها موجب بهبود جذب آب حتی در پتانسیل‌های پایین آب در خاک در شرایط تنش خشکی شوند (نریمانی و همکاران ۲۰۲۰). در آزمایشی میزان پرولین در گندم تحت تنش خشکی (۲۰، ۱۵ و ۵ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به سطح نرمال (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) معنی‌دار گزارش شد (نعیمی و همکاران ۲۰۱۹). همچنین در آزمایشی با کاهش پتانسیل آب در گندم، میزان پرولین افزایش یافت (دلارام پور و همکاران ۱۳۹۸). در آزمایش دیگری با اعمال تنش خشکی در سه سطح پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بر رقم گندم میهن مشخص شد که تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار پرولین و قندهای محلول گیاه گردید (محمدی و افکاری ۲۰۲۰).



شکل ۵- ترکیبات تیماری سال × ارقام گندم برای عملکرد دانه گندم

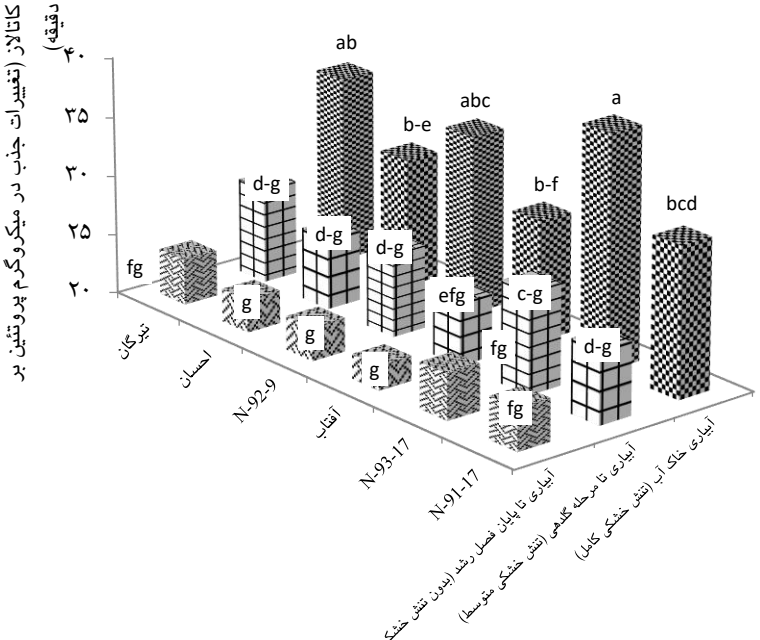


شکل ۶- ترکیبات تیماری تنش خشکی × ارقام گندم برای محتوای پرولین برگ

محتوای کاتالاز

طبق نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه رقم × تنش خشکی بر محتوای کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج بیانگر این مطلب است که بیشترین محتوای کاتالاز در شرایط تنش شدید برای ارقام تیرگان و لاین N-93-17 به دست آمده (شکل ۷) و کمترین محتوای کاتالاز در شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد و به طور مشترک برای ارقام احسان، آفتاب و لاین N-92-9 بدست آمد (شکل ۷). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی موجب تحمل بهتر گیاه به تنش‌های محیطی و کاهش اثرات مخرب تنش اکسیداتیو می‌شود (احمد و پارساد ۲۰۱۲). افزایش فعالیت پراکسیداز و کاتالاز در تنش خشکی در در گیاهچه‌های گندم توسط هانگ بو و

همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. در آزمایشی با اعمال تنش خشکی در دو سطح شاهد (آبیاری در تمام مراحل رشدی بر اساس نیاز آبی گیاه) و قطع آبیاری از اواسط اردیبهشت تا پایان فصل رشد بر رقم‌های گندم الوند، سیوند، زرین، باز، بهار، شهریار، نورستار، پیشگام، پیشتاز، کویر، اروم و پارسی مشخص شد که تیمار قطع آبیاری سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، غلظت پروتئین‌های محلول و افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز شد (تیموری و همکاران ۲۰۲۰).

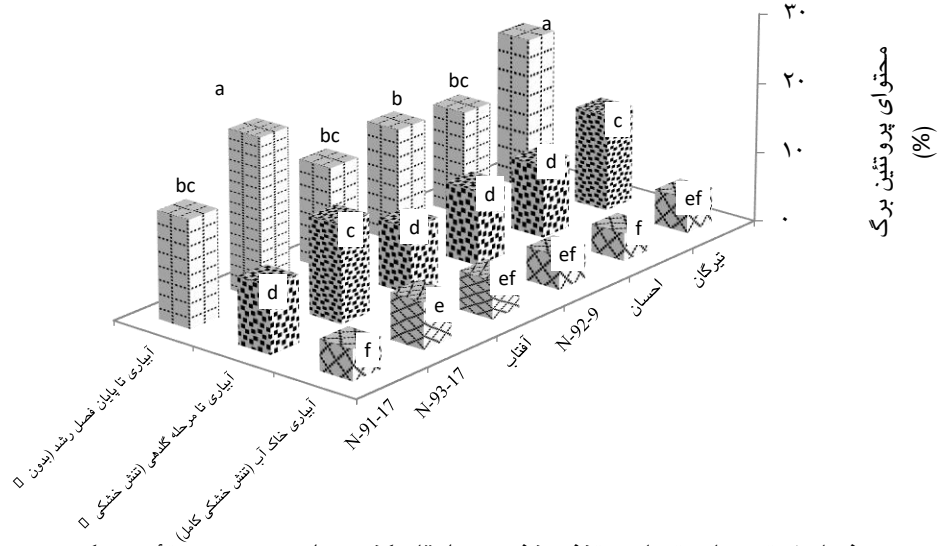


شکل ۷- اثر متقابل تنش خشکی × ارقام گندم بر محتوای کاتالاز

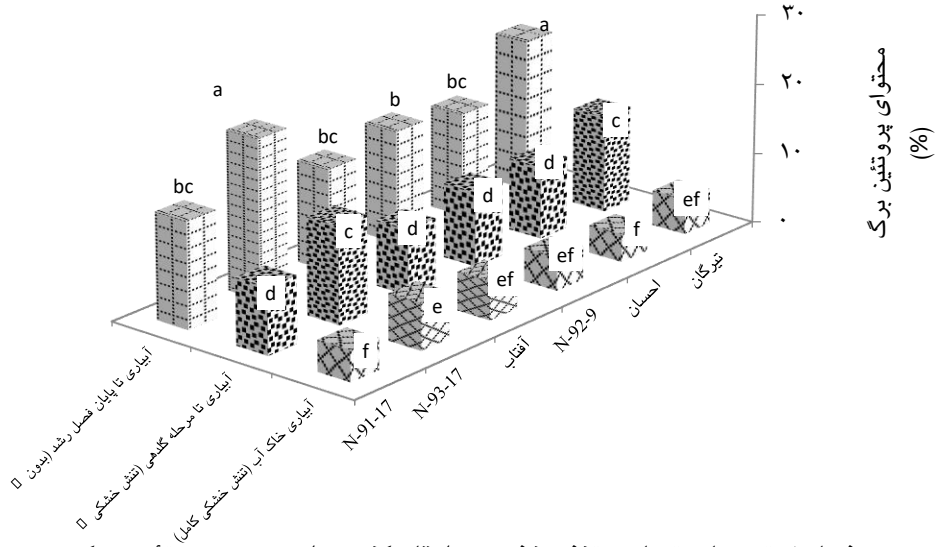
محتوای پروتئین

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر اصلی تنش خشکی و اثر اصلی رقم و اثرات متقابل دو جانبه رقم × سال، رقم × تنش خشکی بر محتوای پروتئین برگ بود (جدول ۵). نتایج بیانگر این مطلب است که بیشترین محتوای پروتئین برگ در شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد (بدون تنش خشکی) و به طور مشترک برای ارقام تیرگان و لاین N-93-17 (شکل ۸) و کمترین محتوای پروتئین برگ در شرایط تنش خشکی شدید و به طور مشترک برای ارقام احسان و لاین N-91-17 به دست آمد (شکل ۸). پروتئین‌های محلول از اجزای مهم و کلیدی در متابولیسم برگ‌ها به حساب می‌آیند، رابیسکو آنزیم مؤثر در فتوسنتز بیش از ۵۰ درصد محتوای پروتئین‌های محلول برگ‌ها را تشکیل می‌دهد (وان-اوستان و همکاران ۱۹۹۵). لذا هرگونه تغییر در غلظت پروتئین‌های محلول برگ با تغییر در محتوای این آنزیم و در نتیجه تغییر در سرعت فتوسنتز برگ‌ها همراه است (هانسون و هیتز ۱۹۸۲). تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول گیاهی و کاهش تولید پروتئین در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (موران و همکاران ۱۹۹۴). کاهش محتوای پروتئین‌های محلول طی تنش خشکی را می‌توان به کاهش سنتز پروتئین و یا افزایش هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌ها به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و همچنین تجمع اسیدآمینه پرولین نسبت داد (ارزانی و یزدانی ۲۰۰۴).

در آزمایشی با بررسی تنش خشکی در سه سطح آبیاری، پس از ۸۰ میلی‌متر (آبیاری نرمال)، ۱۲۰ میلی‌متر (تنش ملایم) و ۱۶۰ میلی‌متر (تنش شدید) و سه رقم گلرنگ بهاره (گلدشت، سینا خاردار و فرامان) مشخص گردید که تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، کارایی مصرف آب، شاخص SPAD و پروتئین محلول برگ، میزان تعرق و عملکرد دانه گلرنگ گردید (ظفری و همکاران ۲۰۱۷).



شکل ۸-ترکیبات تیماری تنش خشکی × ارقام گندم برای درصد پروتئین برگ



شکل ۸-ترکیبات تیماری تنش خشکی × ارقام گندم برای درصد پروتئین برگ

شاخص کلروفیل برگ

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل دو جانبه رقم × تنش خشکی بر شاخص کلروفیل (SPAD) معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل در شرایط آبیاری تا پایان فصل رشد (بدون تنش خشکی) به طور غیر معنی‌داری برای لاین N-93-17 (شکل۹) و کمترین میزان شاخص کلروفیل در شرایط تنش خشکی شدید و به طور غیر معنی‌داری برای رقم آفتاب به دست آمد (شکل۹). کاهش شاخص کلروفیل در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از افزایش تولید رادیکال-های آزاد اکسیژن در سلول باشد که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند. از جمله دلایل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش آبی، افزایش تخریب رنگیزه‌ها، کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی (عباس‌زاده و همکاران ۲۰۰۷) و یا تخریب کلروفیل به وسیله انواع اکسیژن فعال می‌باشد (نواری–ایزو و همکاران ۱۹۹۰). بررسی‌های انجام گرفته بر روی گیاه ذرت نشان داده است در شرایط تنش خشکی، میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل گیاه کاهش پیدا می‌کند (ایفوقلو و همکاران ۲۰۰۹). نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش محتوای کلروفیل در آفتابگردان (مانیوانان و همکاران ۲۰۰۸) و گلرنگ (جلیل و همکاران ۲۰۰۸) در شرایط محدودیت آبی گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که ارتباط خصوصیات مورفوفیزیولوژیک با عملکرد دانه امکان ارزیابی ارقام با عملکرد بالا را با استفاده از این ویژگی‌ها در شرایط خشکسالی فراهم می‌کند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی متوسط و تنش کامل، لاین N-93-17 و رقم آفتاب از نظر صفات مورد بررسی برتر بودند. با توجه به شرایط بحرانی آب در جهان و ایران به¬ویژه در استان اردبیل (مغان)، معرفی ارقامی که بتوانند حداقل کاهش عملکرد را در شرایط کم آبیاری داشته باشند، از اهمیت بسزایی برخوردارند. لذا در بین ارقام و لاین‌های مورد بررسی، لاین N-93-17 و رقم آفتاب با توجه به ثبات عملکرد دانه در شرایط تنش و کمبود آب در آخر فصل رشد، برای کاشت در شرایط مشابه این تحقیق مناسب به نظر می‌رسند.

سپاسگزاری

نگارندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) و دانشگاه محقق اردبیلی که امکان اجرای این تحقیق را فراهم نمود و همچنین از کلیه‌ی عزیزانی که ما در اجرای این پژوهش یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

Abbaszadeh B, Sharifi Ashoorabadi I, Lebaschi MH, Naderi Haji Bagher Kandi M and Moghaddami F, 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugar, chlorophyll and relative water content (RWC) in Balm. Journal Research of Iranian Medicinal Plants and Herbs, 23(4): 513-504. (In Persian).

Abid M, Tian Z, Ata-Ul-Karim ST, Liu Y, Cui Y, Zahoor R and Dai T. 2016. Improved tolerance to postanthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. Plant Physiology and Biochemistry, 106: 218-227.

Ahmad P and Prasad MNV. 2012. Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability, New York Dordrecht Heidelberg London.

Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.

Angus JF, Cunningham RB, Mancur MW and Mackenzie DH. 1981. Phasic development in field crops. Thermal response in the seedling phase. Field Crops Research, 3: 365-378.

Arzani K and Yazdani N. 2004. The influence of drought stress and paclobutrazol on quantitative changes of proteins in olive (*Olea europaea* L.) cultivars Bladi and Mission. In V International Symposium on Olive Growing, 791: 527-530.

Ashraf M and Bashir A. 2006. Salt stress induced changes in some organic metabolites and ionic relation in nodules and other plant parts of two crop legumes differing in salt tolerance. Flora, 198: 486-498.

Banks JM, Percival GC and Rose G. 2019. Variations in seasonal drought tolerance rankings. Trees Physiology, 33(4): 1063-1072.

Bates LS, Waldern RP and Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Boukid F, Dall'Asta M, Bresciani L, Mena P and Del Rio D. 2019. Phenolic profile and antioxidant capacity of landraces, old and modern Tunisian durum wheat. European Food Research and Technology, 245 (1): 73-82.

Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248.

Delarampour MA, Fahmedeh L and Fuladvand Z. 2019. The effect of drought stress on the expression of the NAC gene encoding the transcription factor of some bread wheat cultivars in Sistan region. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(3): 649-662. (In Persian).

Desingh R and Kanagaraj G. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. General and Applied Plant Physiology, 33: 221-234.

Efeoglu B, Ekmekci Y and Cicek N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. American-Eurasian journal of agricultural and environmental sciences, 5: 264-272.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2017. www.fao.org/ fileadmin/ templates/wsfs /.../How to Feed the World in 2050.pdf.

Ghahramani M, Ebadi A, Parmon Gh and Jahanbaksh S. 2015. Investigating the effect of drought stress on photosynthetic indices and fodder yield of fodder sorghum genotypes (*Sorghum bicolor*). Crop Physiology Journal, 7(25): 59-74. (In Persian).

Gholipouri S, Ebadi A and Parmon Gh. 2016. Investigating the effect of drought stress on material transfer, yield and grain yield components of different bread wheat genotypes. Crop Physiology Journal, 8(31): 111-128. (In Persian).

Hanson AD and Hitz WD. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Physiology, 33(1): 163-203.

Hong Bo S, Zong suo L, Ming ANS and Bo Chu W. 2005. Changes of anti-oxidative enzymes and membrane peroxidation for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage. Colloids and Surfaces B: Bointerfaces, 42: 107-113.

Jaleel CA, Gopi R, Sankar B, Gomathinayagam M and Panneerselvam R. 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. Comptes Rendus Biologies, 33: 42-47.

Kalantari SA, Ebadi A, Daneshiyan J, Seyadat SS and Jahanbakhsh S. 2016. Dry stress and growth regulator spray solution on the content of photosynthetic pigments and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 18(3): 196-217. (In Persian).

Karo M and Mishra D. 1976. Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activity during rice leaf senescence. Plant Physiology, 57: 315-319.

Kiliç H and Yağbasanlar T. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38 (1): 164-170.

Liu H, Searle LR, Mather DE and Able AJ. 2015. Morphological, physiological and yield responses of durum wheat to pre-anthesis water-deficit stress are genotype-dependent. Crop and Pasture Science, 66(10):1024-1038.

Luo LJ, Xia H and Lu BR. (2019). Editorial: crop breeding for drought resistance. Frontiers in Plant Science, 1(10): 314-324.

Mahammodi H and Afkari A. 2020. Investigating the use of superabsorbent on some photosensitivity and physiological traits of wheat under drought stress conditions. Crop Physiology Journal, 12 (46): 131-147. (In Persian).

Manivannan P, Jaleel CA, Zhao CX, Somasundaram R, Azooz MM and Panneerselvam R. 2008. Variations in growth and pigment composition of sunflower varieties under early season drought stress. Global Journal of Molecular Sciences, 3(2): 50-56.

Moran JF, Becana M, Iturbe-Ormaetxe I, Frechilla S, Klucas RV and Aparicio-Tejo P. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Planta, 194(3): 346-352.

Naemi T, Fahmedeh L and Fakhari B. 2019. Investigating the effect of drought stress on the relative expression of MYB gene and the amount of osmotic regulators of five durum wheat genotypes. Nova Biologica Reperta, 6(2): 217-228. (In Persian).

Narimani H, Seedsharifi R and Aghaei F. 2020. The effect of methanol on the activity of antioxidant enzymes, some compatible osmolytes and biochemical traits of wheat under the condition of interruption of irrigation. Crop Physiology Journal, 12(47): 99-114. (In Persian).

Navari-Izoo F, Quartacci MF and Izzo R. 1990. Water-stress induced changed changes in protein and free amino acids in field grown maize and sun flower. Plant Physiology and Biochemistry, 28: 531-537.

Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Etminan A, Shooshtari L, Maleki-Tabrizi N and Poczai P. 2020. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. Sustainability, 12: 1-14.

Raeesi Sadati SY, Jahanbakhsh Godekahriz S, Ebadi A and Sedghi M. 2020. Effect of zinc nano oxide foliar application yield and physiological traits wheat under drought stress. Crop Physiology Journal. 12(46): 45-64. (In Persian).

Singh J and Patel AL. 1996. Dry matter distribution different parts of wheat under water stress at various growth stage. Field Crop Abstracts, 49(11): 10-16.

Teimouri N, Saeidi M, Ghobadi M and Sasani S. 2020. The effect of cut of irrigation at the end of the growing season on grain yield and some physiological characteristics of bread wheat cultivars. Crop Physiology Journal, 12(46): 111-129. (In Persian).

Turner NC. 1997. Further progress in crop water relations. Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 293–338.

Van Oosten JJ, Wilkins D and Besford RT. 1995. Acclimation of tomato to different carbon dioxide concentrations. Relationships between biochemistry and gas exchange during leaf development. New phytologist, 130(3): 357-367.

Vaughan MM, Block A, Christensen SA, Allen LH and Schmelz EA. 2018. The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phytochemical defenses. Phytochemistry Reviews, 17(1): 37–49.

Zafari M, Ebadi A, Jahanbakhsh S and Sedghi M. 2017. Evaluation of some physiological characteristics of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress and brassinosteroid application. Journal of Crop Ecophysiology, 11(4): 743-758. (In Persian).