



The Effect of Zn and K Application on Some Physiological Traits and Yield of Wheat under Drought Stress

Hamzeh Khanjani Afshar¹ | Mojtaba Jafarzadeh Kenarsari² | Merhdad Chaichi³ | Amin Farnia⁴

1. Department of Agronomy, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran. E-mail: hkhanjani@gmail.com
2. Department of Agronomy, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran. E-mail: jafarzadeh16@gmail.com
3. Corresponding Author, Department of Seed and Plant Improvement Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan Iran. E-mail: m.chaichi@areeo.ac.ir
4. Department of Agronomy, Islamic Azad University, Borujerd Branch, Borujerd, Iran. E-mail: Amin.farnia@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 May 2022

Received in revised form

12 August 2023

Accepted 28 August 2023

Published online 13 December 2023

Keywords:

Booting

Grain yield

NDVI

RWC

Wheat

ABSTRACT

Objective: Examining the influence of Zinc and Potassium mineral elements on enhancing drought tolerance in wheat crop.

Methods: A split factorial experiment was executed utilizing a randomized complete block design, with three replications during the 2017 and 2018 cropping seasons in Hamedan. The main plot encompassed two conditions of normal irrigation and drought stress. Subplot treatments involved the application of potassium and zinc fertilizers at three levels of non-use (control), foliar spraying at the start of flowering, and foliar spraying post-pollination. Evaluated characteristics comprised leaf temperature, canopy green area percentage, relative leaf water content, kernel potassium and zinc content, and grain yield.

Results: In the initial year, the highest observed relative leaf water content reached 85.71%, alongside elevated leaf temperature and canopy green area. Conversely, the second year yielded the highest seed yield at 6962.3 kg/ha. The interruption of irrigation pre-pollination led to a 34.5% reduction in seed yield, a 36.5% decrease in relative leaf water content, and a 54.8% decline in canopy green area compared to the normative irrigation treatment. Optimal foliar treatment resulted in the highest potassium and zinc content in seeds at 4314 and 27.73 ppm, respectively. Simultaneous application of potassium and zinc fertilizers at the onset of the flowering stage elevated grain yield by 4.5% and increased the relative water content of leaves by 5.8% compared to the control treatment under stress conditions.

Conclusion: Concurrent application of potassium and zinc fertilizers during the flowering stage alleviated the detrimental effects of end-of-season drought stress in wheat plants.

Cite this article: Khanjani Afshar, H., Jafarzadeh Kenarsari, M., Chaichi, M., & Farnia, A. (2023). The Effect of Zn and K Application on Some Physiological Traits and Yield of Wheat under Drought Stress. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 865-877. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.343548.2715>





تأثیر کاربرد عناصر روی و پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گندم تحت تنش خشکی

حمزه خانجانی افشار^۱ | مجتبی جعفرزاده کنارسری^۲ | مهرداد چایی چی^۳ | امین فرنیاء^۴

۱. گروه زراعت، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران. رایانامه: hkhanjani@gmail.com
۲. گروه زراعت، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران. رایانامه: jafarzadeh16@gmail.com
۳. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: m.chaichi@areeo.ac.ir
۴. گروه زراعت، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران. رایانامه: amin.farnia@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

هدف: بررسی نقش عناصر معدنی روی و پتاسیم در افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاه زراعی گندم.

روش پژوهش: آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در همدان اجرا گردید. کرت اصلی شامل دو سطوح آبیاری نرمال و تنش خشکی و تیمارهای کرت فرعی شامل محلول‌پاشی کودهای پتاسیم و روی بودند. این کودها هر کدام در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، محلول‌پاشی در ابتدای مرحله آبستنی، محلول‌پاشی برگی بعد از مرحله گرده‌افشانی انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل دمای برگ، درصد سطح سبز کانوپی، محتوای نسبی آب برگ، محتوای پتاسیم و روی، و عملکرد دانه بودند.

یافته‌ها: بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۸۵/۷۱ درصد)، دمای برگ و سطح سبز کانوپی در سال اول مشاهده شد. در مقابل بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۹۶۲/۳ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم حاصل گردید. قطع آبیاری در مرحله قبل از گرده‌افشانی باعث کاهش ۳۴/۵ درصدی عملکرد دانه، ۳۶/۵ درصدی محتوای نسبی آب برگ، ۵۴/۸ درصدی سطح سبز کانوپی نسبت به تیمار آبیاری نرمال شد. بیش‌ترین میزان محتوای پتاسیم و روی دانه (به ترتیب ۴۳۱۴ و ۲۷/۷۳ قسمت در میلیون) در تیمار محلول‌پاشی به‌دست آمد. مصرف هم‌زمان کود پتاسیم و روی در ابتدای مرحله آبستنی، عملکرد دانه را ۴/۵ درصد و محتوای نسبی آب برگ را ۵/۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط تنش افزایش داد. **نتیجه‌گیری:** استفاده هم‌زمان کود پتاسیم و روی در مرحله آبستنی خسارات ناشی از تنش خشکی پایان فصل را در گیاه گندم تعدیل نمود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:

آبستنی

سطح سبز کانوپی

عملکرد دانه

گندم

محتوای نسبی آب برگ

استناد: خانجانی افشار، حمزه؛ جعفرزاده کنارسری، مجتبی؛ چایی چی، مهرداد و فرنیاء، امین (۱۴۰۲). تأثیر کاربرد عناصر روی و پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گندم تحت تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۸۷۷-۸۶۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.343548.2715>



۱. مقدمه

گندم با نام علمی *Triticum aestivum* L. مهم‌ترین غله در تغذیه انسان به‌شمار می‌رود و با تولید سالانه بیش از ۱۲۲ میلیون تن، پس از ذرت بیش‌ترین تولید را در دنیا به خود اختصاص داده است (Asseng *et al.*, 2011; Shevkani *et al.*, 2017; Anonymous, 2018; Kiran *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2022). مهم‌ترین محصول زراعی در ایران از نظر سطح زیر کشت گندم بوده و به‌عنوان یک محصول استراتژیک حدود نیمی از مساحت کشت زمین‌های زراعی را به خود اختصاص داده است (نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد اقتصادی گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب است. به‌علت بروز تنش‌های مختلف از جمله تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گندم، امکان کاهش متوسط عملکرد تا حدود ۷۰ درصد وجود دارد (Deng *et al.*, 2005; Mafakheri *et al.*, 2012; Bayat *et al.*, 2021a; Bayat *et al.*, 2021b; Golfam *et al.*, 2021a; Golfam *et al.*, 2021b). تنش آب از یک‌سو باعث کاهش ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه شده و از سوی دیگر به‌دلیل بالابودن قیمت آب، هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد (Rosales *et al.*, 2012).

۲. پیشینه پژوهش

در بیش‌تر مناطق کشت گندم به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مرحله پرشدن دانه گندم اغلب با وقوع تنش خشکی همراه است. اهمیت و نقش تنش خشکی در این مناطق زمانی مهم‌تر می‌شود که بدانیم حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد عملکرد دانه از فتوسنتز گیاه در طول پرشدن دانه تحت شرایط متعارف رشد به‌دست می‌آید (Mafakheri *et al.*, 2012; Bayat *et al.*, 2021a; Bayat *et al.*, 2021b; Golfam *et al.*, 2021a; Golfam *et al.*, 2021b). از طرف دیگر وقوع تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه عملکرد را به‌شدت کاهش می‌دهد. در ایران میزان خسارت ناشی از خشکی بر محصول گندم حدود ۳۰ درصد تخمین زده شده است (FAO, 2015; Ramegowda & Senthil-Kumar, 2015; Ahanger *et al.*, 2016).

علاوه بر تأثیر بارز تنش خشکی بر رشدونمو گیاه، این تنش منجر به اثرات ثانویه از طریق عدم تعادل در تغذیه معدنی گیاهان می‌شود. خشکی با کاهش میزان تعرق و کاهش انتقال آب باعث کاهش حمل و نقل مواد معدنی از ریشه به اندام هوایی می‌گردد. با درک تأثیر تنش خشکی بر تغذیه مواد معدنی گیاه می‌توان راه‌کارهای مفیدی در جهت کاهش میزان خسارت ناشی از خشکسالی و متعاقب آن کمبود مواد مغذی اتخاذ کرد (Da Silva *et al.*, 2011). نقش عناصر معدنی در افزایش یا کاهش تحمل به تنش خشکی گیاهان توسط بسیاری از پژوهش‌گران موردبررسی قرار گرفته است، با این حال هنوز هم این اطلاعات ناکافی و تا حدودی مبهم است. عناصر معدنی پر مصرف، نقش سازنده‌ای را در گیاهان ایفا می‌کنند و کمبود ناشی از آن‌ها در گیاهان به راحتی قابل مشاهده است (Hajiboland & Amirzad, 2010; Da Silva *et al.*, 2011). در مقابل، عناصر کم‌مصرف با تغییر فعالیت آنزیم، تعدیل مسیرهای انتقال پیام و یا تولید برخی متابولیت‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر حساسیت گیاهان به عوامل تنش‌زا تأثیرگذار باشند (Hajiboland & Amirzad, 2010; Bayat *et al.*, 2021a). در شرایط تنش خشکی، جذب عناصر غذایی در اثر کاهش رطوبت خاک مختل می‌شود که در نهایت منجر به کندشدن سرعت انتشار عناصر معدنی از خاک به سطح ریشه می‌شود و از این‌رو، سرعت جابه‌جایی به برگ‌ها نیز کاهش می‌یابد. خشکی باعث بسته‌شدن سریع روزنه‌ها شده، بنابراین سرعت تعرق را کاهش می‌دهد و همچنین انتقال مواد غذایی از ریشه به شاخه را نیز محدود می‌کند (Da Silva *et al.*, 2011; Golfam *et al.*, 2021b).

پتاسیم (K) پس از نیتروژن و فسفر یکی از عناصر بسیار مهم در گیاهان محسوب می‌گردد. پتاسیم نقش مهم و حیاتی در حفظ وضعیت آب در گیاهان، باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی و پایداری غشا بازی می‌کند (Erel *et al.*, 2015). نقش آن در باز و بسته‌شدن روزنه‌ها بسیار مهم است، زیرا کانال‌های پتاسیم موجود در سلول‌های نگهبان روزنه‌ها نسبت به وضعیت آب گیاه حساس هستند (Taiz & Zeiger, 2006). در شرایط خشکی، در دسترس بودن پتاسیم خاک برای بسیاری از گیاهان از جمله گندم، جو، ذرت و سیب‌زمینی کاهش یافته و جذب آن توسط ریشه محدود شده که در نهایت بر انتقال آن از ریشه به اندام هوایی تأثیرگذار هستند (Erel *et al.*, 2015). تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم بر تعداد شاخه در بوته، وزن هزاردانه، شاخص کلروفیل برگ (SPAD)، محتوای کربوهیدرات‌های محلول و درصد روغن دانه در گیاه گلرنگ معنی‌دار شد و بیش‌ترین میزان آن‌ها از تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی با کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار حاصل گردید (Kaykhazhaleh *et al.*, 2021).

روی (Zn) نیز یکی از عناصر دارای اهمیت در گیاه می‌باشد که نقش‌های فیزیولوژیک فراوانی ایفا می‌کند. نقش مهم عنصر روی در سوخت‌وساز انسان و گیاه موجب می‌شود تا کمبود آن در تغذیه، عوارض شدید در سوخت‌وساز بدنی و عصبی انسان به‌ویژه در گروه‌های سنی نوجوانان و جوانان که مصرف تازه‌خوری دانه ذرت شیرین را دارند، ایجاد کند (Soleymanifard *et al.*, 2011; Adil *et al.*, 2022; El-Sharkawy *et al.*, 2022). بررسی‌ها نشان داده است که عنصر روی در فعالیت‌های آنزیم‌های گیاهی و تأثیر بر ویژگی‌های مختلف رشد، نقش اساسی دارد و بروز ضعف عمومی در رشد و ایجاد پاکوتاهی بوته‌ها از نشانه‌های کمبود این عنصر است (Payero *et al.*, 2009; Adil *et al.*, 2022; El-Sharkawy *et al.*, 2022). کاربرد سولفات روی به‌صورت محلول‌پاشی باعث غنی‌سازی این عنصر در برگ گیاه ذرت علوفه‌ای و افزایش عملکرد و شاخص برداشت به میزان ۲۲ و ۱۷ درصد شد (Scot & Aboudrare, 2009). تأمین عنصر روی همچنین می‌تواند نقش مهمی در بهبود شاخص‌های رشدونمو گیاه داشته باشد، به‌طوری‌که با کاربرد سولفات روی، شاخص سطح برگ نسبت به تیمار شاهد بدون روی ۲۳ درصد افزایش یافت (Shahbaz & Ashraf, 2007). کاربرد سولفات روی به‌صورت محلول‌پاشی قطرات روی نیز در دو مرحله پنج و ۱۰ برگی باعث افزایش شاخص‌های عملکرد ذرت دانه‌ای شده است (Soleymanifard *et al.*, 2011). در بررسی اثر کاربرد کود روی بر روی گندم موجب کاهش میزان افت عملکرد دانه حاصل از تنش شوری شد (Adil *et al.*, 2022). جذب روی توسط ریشه گیاه در شرایط کم‌آبی محدود می‌گردد، زیرا با محدودیت آب در خاک، دسترسی گیاه به آب کاهش می‌یابد، در نتیجه تحت این شرایط حرکت روی در خاک بسیار کم و محدود می‌گردد. مصرف روی در گندم موجب افزایش ارتفاع گیاه و تعداد پنجه شده و همچنین سرعت رشد گیاه را تسریع می‌نماید که این امر در نهایت، باعث افزایش عملکرد و مقدار روی دانه در شرایط تنش خشکی خواهد شد (Adil *et al.*, 2022; El-Sharkawy *et al.*, 2022). کاربرد کود روی، به‌طور معنی‌داری توانست عملکرد گندم تحت تنش آبی را افزایش دهد (Cakmak *et al.*, 2010; Bayat *et al.*, 2021b; Golfam *et al.*, 2021a). در همین راستا، میزان رشد ریشه و اندام‌های هوایی و همچنین، میزان روی موجود در دانه گندم‌های تحت تیمار روی نیز موردبررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد اختلافات آشکاری میان تیمارهای کود روی نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش بود (Khan *et al.*, 2008; Adil *et al.*, 2022; El-Sharkawy *et al.*, 2022).

با توجه به اهمیت روی و پتاسیم در کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی در گیاهان و محدودیت پتاسیم در خاک، کاربرد برگی آن بهترین گزینه به‌منظور ارزیابی در نظر گرفته می‌شود. این پژوهش با هدف تأثیر کاربرد عناصر روی و پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گندم تحت تنش خشکی انجام پذیرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ با کشت گندم زمستانه رقم پیشگام (Bkt/90-Zhong87) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان (با طول جغرافیایی ۴۸/۵۳ درجه و عرض جغرافیایی ۳۴/۸۶ درجه و ارتفاع ۱۸۵۰ متر از سطح دریا) که از نظر آب‌وهوایی در منطقه سردسیر واقع شده اجرا گردید. همدان از نظر اقلیمی جزو مناطق سرد و خشک محسوب می‌شود. آزمایش به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. یک قطعه زمین نیم هکتاری به دو قسمت تقسیم شده و سال اول در یک قطعه از آن و سال دوم در قطعه مجاور کاشت انجام پذیرفت. هر کرت شامل شش خط کشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر به طول ۵ متر کشت شدند (۶ مترمربع). بین هر کرت با کرت مجاور یک پشته به‌عنوان نکاشت در نظر گرفته شد. همچنین فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. تراکم نهایی ۴۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. میانگین بارندگی در طول فصل کشت در جدول (۱) آورده شده است. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی شنی، pH حدود ۶/۹-۷/۵ و هدایت الکتریکی حدود ۰/۷۵-۰/۸۱ دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۲). همچنین آب مورد استفاده در آبیاری دارای pH برابر با ۷/۳ بود (جدول ۳).

جدول ۱. میانگین بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی همدان طی فصل رشد گندم در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

ماه											
شاخص‌های هواشناسی	سال	میانگین	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
دما (°C)	۹۷	۸/۴۸	۱۶/۰	۸/۷	۴/۷	۱/۵	۲/۰	۳/۱	۷/۹	۱۲/۶	۱۹/۹
بارندگی (mm)	۹۸	۸/۴	۱۶/۶	۶/۷	۲/۵	-۰/۴	-۰/۳	۶/۵	۷/۹	۱۴/۲	۲۰/۵
رطوبت نسبی (%)	۹۷	۳۸/۹۴	۱۳/۲	۴۰/۹	۵۴/۶	۱۱/۴	۱۱/۶	۹۶/۳	۱۱۵/۶	۶	۰/۹
	۹۸	۶۰/۵	۱۶/۱	۷۲/۴	۸۹/۸	۴۹/۲	۳۹/۶	۴۴/۹	۱۸۷/۲	۴۱/۳	۴
	۹۷	۵۸/۳۰	۶۸/۹۷	۵۵/۹۲	۵۵/۷۳	۴۳/۳۰	۴۹/۲۵	۶۳/۶۱	۵۳/۱۴	۶۵/۸۵	۶۸/۹۷
	۹۸	۶۴/۹۰	۶۷/۶۰	۶۵/۸۷	۶۹/۷۱	۵۶/۴۹	۵۵/۰۳	۵۹/۹۸	۶۲/۷۸	۷۹/۰۵	۶۷/۶۰

منبع: ایستگاه هواشناسی همدان

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

سال	عمق (سانتی‌متر)	بافت	EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	عصاره اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	فسفر	پتاسیم
							(درصد)					(پی‌پی‌ام)
۹۷	۰-۳۰	لومی-شنی	۰/۷۵	۷/۵	۴۵	۱۶	۵/۵	۳۴	۶۰/۵	۰/۶۶	۲۷/۶	۴۰۰
۹۸	۰-۳۰	لومی-شنی	۰/۸۱	۶/۹	۴۸	۱۶	۶	۳۳	۶۱	۰/۶۵	۲۵/۱	۳۶۵

جدول ۳. مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری

خصوصیات	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کلر	کربنات	سولفات	کلسیم	منیزیم	سدیم
						(پی‌پی‌ام)		
	۷/۳	۷۵۰	۲	۰	۱/۴	۴/۴	۳/۱	۲/۳

کرت اصلی شامل سطوح آبیاری (نرمال و تنش رطوبتی) و کرت فرعی شامل دو فاکتور محلول‌پاشی کودهای پتاس و روی بود. به‌منظور اعمال تنش رطوبتی قطع آبیاری پس از آبستنی و قبل از گرده‌افشانی در کرت‌های مربوطه اعمال گردید. برای انجام آبیاری از لوله‌های ۱۶ میلی‌متری با دبی دو لیتر در ساعت استفاده شد. میزان ظرفیت مزرعه‌ای خاک با استفاده از اعمال فشار ۰/۳ بار در نمونه خاک، با استفاده از محفظه فشار اندازه‌گیری شد (Abbott, 1985). در کرت‌های

فاقد تنش رطوبتی با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TRIME-FM IMKO GmbH Germany)، آبیاری به‌صورت معمول با در نظر گرفتن حفظ رطوبت خاک در حدود ظرفیت مزرعه‌ای خاک اعمال گردید. جهت آبیاری از سیستم آبیاری قطرهای استفاده گردید. در هر کرت دو ردیف تیپ به فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. مقدار حجم آب مصرفی با استفاده از کنتور حجمی تنظیم شد. مجموع حجم آب مورد استفاده در تیمار آبیاری نرمال ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود. مقدار حجم آب مصرفی در تیمار تنش با توجه به دو نوبت آبیاری کمتر نسبت به آبیاری نرمال ۳۲۰۰ مترمکعب در هکتار بود. محلول‌پاشی کودها با استفاده از سمپاش دستی با در نظر گرفتن حجم دو لیتر آب برای هر کرت انجام پذیرفت. کود پتاس از منبع K_2O محلول در آب (کود سوپر K40، حاوی ۴۰ درصد وزنی/حجمی K_2O ، شرکت سبز آذر کاسپین) با احتساب ۲ لیتر در هکتار در سه سطح ۱- عدم مصرف کود پتاسیم، ۲- محلول‌پاشی در ابتدای مرحله آبستنی، ۳- محلول‌پاشی بعد از گرده‌افشانی و کود روی از منبع روی مایع (۱۰ درصد وزنی/حجمی، شرکت سبز آذر کاسپین) با احتساب ۴ لیتر در هکتار در سه سطح؛ ۱- عدم مصرف کود روی (شاهد)، ۲- محلول‌پاشی در ابتدای مرحله آبستنی، ۳- محلول‌پاشی بعد از گرده‌افشانی استفاده گردید.

اندازه‌گیری دمای کانوپی با استفاده از دماسنج (دماسنج لیزری مدل CEM DT-8859 ساخت کشور آلمان) با اندازه‌گیری میانگین دمای کرت بدون لحاظ کردن نیم متر از ابتدا و انتهای کرت با حرکت در خط میانی هر کرت اندازه‌گیری شد. هر اندازه‌گیری سه بار تکرار شد و میانگین آن به‌عنوان دمای کرت در نظر گرفته شد. مقادیر درصد سطح سبز کانوپی (دستگاه Trimble GreenSeeker handheld crop sensor مدل ۵۲۱) با شرایط ذکر شده در اندازه‌گیری دمای برگ، ثبت گردید. اندازه‌گیری دمای برگ و مقادیر درصد سطح سبز کانوپی یک هفته پس از گرده‌افشانی انجام پذیرفت و دو بار به فاصله یک هفته و ۱۴ روز از اندازه‌گیری اول، دوباره تکرار گردید. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) تعداد ۱۰ گیاه از وسط هر کرت انتخاب و بخش میانی برگ پرچم به‌عنوان نمونه مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا نمونه‌های تازه با استفاده از ترازوی دقیق (MH Electronic Pocket مدل Scale 886) توزین شده و بلافاصله در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. پس از توزین نمونه‌های آماس کرده (TW)، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. توزین نمونه‌ها به‌عنوان وزن خشک آن‌ها ثبت گردید (DW). در نهایت مقادیر RWC با استفاده از رابطه (۱) برای هر نمونه محاسبه گردید. اندازه‌گیری RWC دو هفته پس از گرده‌افشانی اندازه‌گیری گردید.

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

اندازه‌گیری عملکرد هر کرت با برداشت چهار خط میانی هر کرت در انتهای دوره کشت محاسبه گردید. محاسبه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۲ در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. به‌منظور رسم نمودار نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و روی بر صفات مختلف گندم تحت تنش رطوبتی در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) در گندم بود (جدول ۴).

1. Relative water content
2. Duncan's multiple-range test

بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۱/۸۵ درصد) در سال اول مشاهده شد (جدول ۵). اثر تیمار قطع آبیاری بر روی محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۴). به این ترتیب که، اعمال تیمار قطع آبیاری در مرحله قبل از گردهافشانی باعث کاهش ۳۶/۵ درصدی در محتوای نسبی آب برگ (RWC) گردید (جدول ۵).

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات مختلف گندم با محلول‌پاشی روی و پتاسیم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات صفات						
		محتوای نسبی آب برگ	دمای کانوبی ۱	دمای کانوبی ۲	دمای کانوبی ۳	سطح سبز برگ ۱	سطح سبز برگ ۲	سطح سبز برگ ۳
سال	۱	۹۴/۴۵**	۱۵۹۲/۱۳**	۲۴۹/۶۴**	۴۳۹/۶۳**	۲۲۴/۵۲**	۱۱/۵۳**	۶/۲۵*
سال × بلوک	۴	۱۶/۱۲	۱/۰۹۸	۷/۹۹	۳/۷۹	۱/۹۲۷	۲/۷۰	۰/۷۹
آبیاری	۱	۳۷۱۰.**	۱۰۴/۰۳**	۶۲/۸۶**	۸۲/۳۳**	۱۰۴۶/۹۵**	۳۲۹**	۱۳۸/۲۶**
سال × آبیاری	۱	۶۰/۷۵*	۱۶/۳۳**	۶/۷۵**	۰/۰۷ns	۷۷۱/۵۲**	۱۴۱/۶۸**	۳/۵۵ns
سال × آبیاری × بلوک	۴	۱۸/۱۱	۰/۵۷۴	۲/۳۱۳	۰/۷۷	۵/۰۱۹	۳/۹۸	۱/۳۷
پتاسیم	۲	۵۲/۱۹**	۵/۹۵ns	۴/۰۳*	۴/۷۶ns	۳۴/۰۲۸*	۰/۸۹ns	۱/۳۶ns
سال × پتاسیم	۲	۱۰۸/۷۸**	۰/۹۳۶ns	۱/۸۷ns	۱/۶۷ns	۴۳/۵۸**	۰/۴۹ns	۰/۱۷ns
آبیاری × پتاسیم	۲	۹/۰۸ns	۰/۳۸۶ns	۰/۳۰۸ns	۰/۱۵ns	۳۴/۶۷*	۱/۸۰*	۰/۱۰۳ns
سال × پتاسیم × روی	۴	۱۶/۴۲ns	۰/۶۵ns	۱/۰۹۳ns	۲/۰۱۱ns	۵/۴۱ns	۲/۹۰*	۰/۵۴ns
روی	۲	۱۵/۳۶*	۰/۹۲ns	۰/۰۴ns	۰/۶۴ns	۷۴/۰۸*	۵۵/۹*	۵۶/۵۴*
سال × روی	۲	۳۲/۳۴*	۰/۵۵ns	۱/۲۲ns	۰/۳۶ns	۱۱/۷۷*	۳۱/۳۸*	۳۳/۰۷*
پتاسیم × روی	۴	۲۴/۵۵**	۰/۵۹۱ns	۱/۷۷ns	۱/۹۴ns	۷۳/۱۸*	۶۸/۵۹**	۷۱/۹۷*
آبیاری × روی	۲	۵/۲۵ns	۱/۰۵۴ns	۱/۰۹۳ns	۵/۷۷ns	۵/۲۴ns	۰/۹۷ns	۰/۴۲ns
آبیاری × پتاسیم × روی	۴	۴/۵۸ns	۰/۷۵۷ns	۰/۴۸ns	۱/۸۳ns	۱۴/۲۲*	۶/۱۸*	۰/۴۸ns
سال × آبیاری × پتاسیم	۲	۳۵/۰۸*	۱/۲۱ns	۰/۰۹۳ns	۰/۱۴۰ns	۳۶/۲۲**	۲/۵۴ns	۱/۸۰ns
سال × آبیاری × روی	۲	۱۴/۰۸ns	۰/۷۳۲ns	۰/۳۰۵ns	۵/۳۲ns	۳/۴۶ns	۰/۳۰ns	۰/۱۹ns
سال × آبیاری × پتاسیم × روی	۴	۵/۵۸ns	۰/۵۶۱ns	۲/۰۷*	۴/۶۱ns	۱۱/۶۴*	۴/۹۷*	۱/۳۱ns
خطا	۶۴	۳۷۹/۰۳۹	۰/۶۹	۰/۷۶۰	۱/۸۶	۳/۹۰	۱/۳۳	۱/۱۱

*, **, ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری، پتاسیم و روی بر صفات مختلف گندم

سال	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	دمای کانوبی ۱ (درجه سانتی‌گراد)	دمای کانوبی ۲ (درجه سانتی‌گراد)	دمای کانوبی ۳ (درجه سانتی‌گراد)	سطح سبز برگ ۱ (درصد)	سطح سبز برگ ۲ (درصد)	سطح سبز برگ ۳ (درصد)	محتوای پتاسیم (بی‌پی‌ام)	محتوای روی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه
سال										
۱۳۹۷	۷۱/۸۵a	۲۴/۷۸a	۲۷/۰۲a	۲۴/۷۸a	۵/۲۷a	۸/۱۶a	۲۷/۸a	۲۵/۸۲b	۴۰/۶۳a	۵۵۸۴/۴b
۱۳۹۸	۶۹/۹۸b	۲۱/۷۴b	۱۹/۲۴b	۲۳/۸b	۵/۷۲b	۴/۶۲b	۲۳/۸b	۴۱/۷۸a	۲۷/۱۰a	۶۹۶۲/۳a
آبیاری										
نرمال	۸۶/۷۷a	۲۲/۲b	۲۲/۵b	۲۴/۹۵b	۱۰/۲۷a	۶/۶۹a	۲۴/۷۵a	۲۶/۷۵a	۲۶/۷۵a	۷۷۴۱a
تنش	۵۵/۰۵b	۲۴/۱۶a	۲۴/۰۲a	۲۶/۶۹a	۴/۰۵b	۳/۲b	۲/۱۴b	۲۶/۱۷a	۲۶/۱۷a	۵۰۶۷b
پتاسیم (K)										
شاهد	۷۰/۱۶b	۲۳/۶۴a	۲۳/۶۴a	۲۶/۲۴a	۶/۱۶b	۴/۸۴a	۳/۰۵a	۲۵/۱۵b	۳۹/۰۷b	۵۵۱۹c
آبستنی	۷۲/۳۰a	۲۲/۸۸b	۲۲/۹۷b	۲۵/۵۷b	۸/۱a	۴/۸۸a	۳/۴a	۲۶/۵a	۴۱/۴۱a	۶۲۳۷b
گرده‌افشانی	۷۰/۲۷b	۲۳/۰۲b	۲۳/۱۸b	۲۵/۶۴ab	۷/۲۳a	۵/۱۳a	۳/۳۸a	۲۷/۷۳a	۴۳/۱۴a	۷۴۵۶a
روی (Zn)										
شاهد	۷۰/۴۷b	۲۳/۲۸a	۲۳/۲۲a	۲۵/۷۰a	۷/۰۱a	۴/۹۹a	۳/۳۳a	۲۶/۴۹a	۴۰/۴۶a	۶۰۰۷ac
آبستنی	۷۱/۶۶a	۲۳/۰۴a	۲۳/۲۶a	۲۵/۷۹a	۷/۴۲a	۵/۰۷a	۳/۳۶a	۲۶/۱۱a	۴۲/۰۶a	۶۳۳۴b
گرده‌افشانی	۷۰/۶۱ab	۲۳/۲۲a	۲۳/۳۱a	۲۵/۹۶a	۷/۰۵a	۴/۷۸a	۳/۱۴a	۲۶/۷۸a	۴۱/۱۰a	۶۸۷۲a

۲.۴. دمای برگ و سطح سبز کانوپی

نتایج ارزیابی‌ها حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف بر دمای برگ گندم بود (جدول ۴). هم‌چنین تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر سطح سبز کانوپی داشتند (جدول ۴). بر این اساس بیش‌ترین درصد سطح سبز کانوپی ۱ (۸/۶ درصد)، درصد سطح سبز کانوپی ۲ (۵/۲۷ درصد)، درصد سطح سبز کانوپی ۳ (۳/۵۸ درصد)، دمای کانوپی ۱ (۲۷/۰۲ درجه سانتی‌گراد)، دمای کانوپی ۲ (۲۴/۷۸ درجه سانتی‌گراد) و دمای کانوپی ۳ (۲۷/۸ درجه سانتی‌گراد)، در سال اول به‌دست آمد (جدول ۵).

اثر تیمار قطع آبیاری بر سطح سبز کانوپی و دمای کانوپی معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۴). به این ترتیب که، اعمال تیمار قطع آبیاری در مرحله قبل از گرده‌افشانی باعث کاهش ۶۰/۵ درصدی در درصد سطح سبز کانوپی ۱، ۵۲/۷ درصدی در درصد سطح سبز کانوپی ۲ و ۵۱/۴ درصدی در درصد سطح سبز کانوپی ۳ نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید (جدول ۴). در مقابل تنش خشکی سبب افزایش دمای برگ در سه مرحله به‌ترتیب ۸/۰ درصد، ۶/۰ درصد و ۶/۵ درصد نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید (جدول ۵).

۳.۴. محتوای پتاسیم و روی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و روی محتوای پتاسیم و روی دانه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان محتوای پتاسیم (۴۳۱۴ قسمت در میلیون) و روی (۲۷/۷۳ قسمت در میلیون) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله گرده‌افشانی به‌دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده حاصل از تجزیه واریانس دو سال انجام آزمایش نشان می‌دهد که قطع آبیاری در سطح ۱ درصد بر روی محتوای نسبی آب برگ اثرگذار بوده است (جدول ۴). چنان‌که ملاحظه می‌شود در اثر تیمار قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی کم‌ترین مقدار محتوای نسبی آب برگ (۵۵/۰۵ درصد) به‌دست آمده است (جدول ۵).

۴.۴. عملکرد دانه

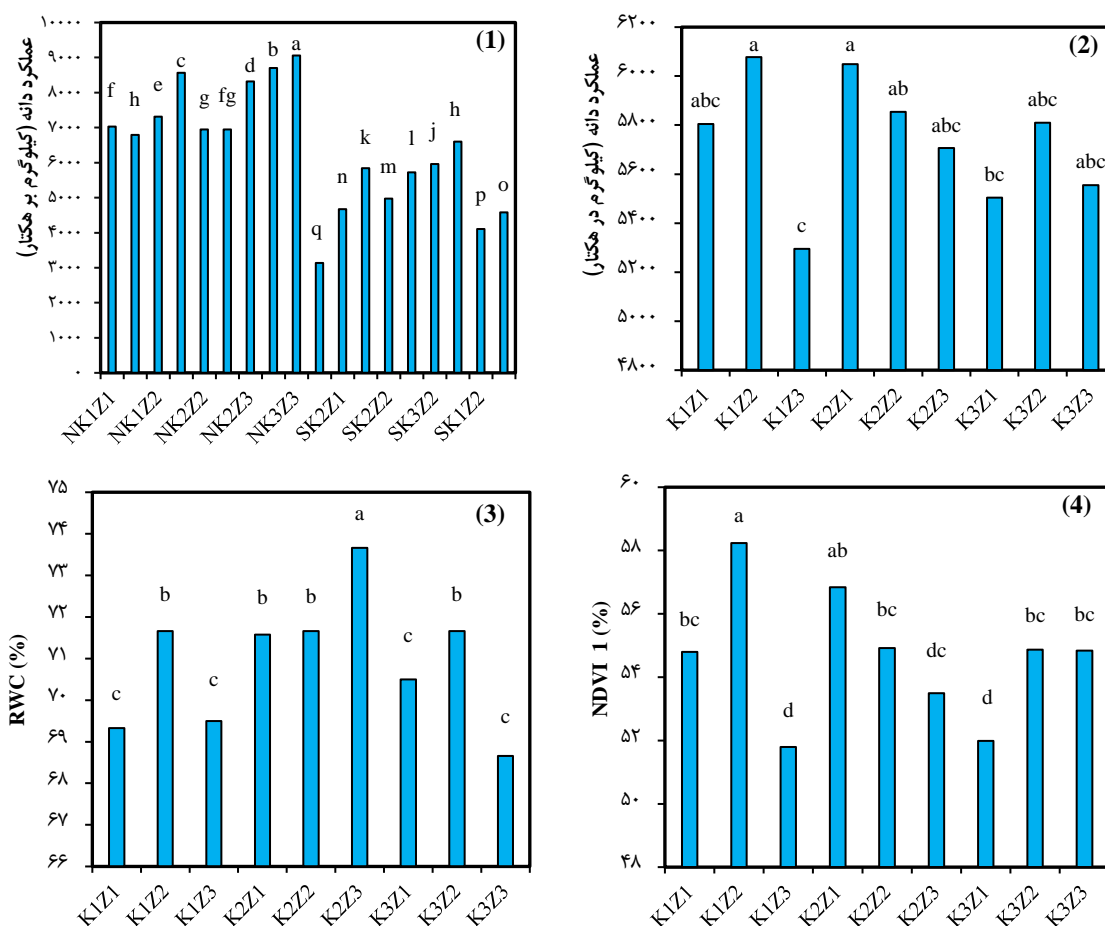
نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه در گندم بود (جدول ۴). بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۹۶۲/۳ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم به‌دست آمد (جدول ۵). بر این اساس در سال دوم (۱۳۹۸) عملکرد دانه ۱۹/۸ درصد بیش‌تر از سال اول (۱۳۹۷) بود (جدول ۵). با توجه به تفاوت در میانگین بارندگی طی دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (جدول ۱) و با وجود میانگین بارندگی بیش‌تر در سال ۹۸، می‌توان این‌گونه اذعان کرد که علت افزایش عملکرد، در دسترس بودن بیش‌تر آب در سال دوم می‌باشد (جدول ۱). اثر تیمار قطع آبیاری بر روی شاخص‌های مورد ارزیابی معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بوده است (جدول ۴). به این ترتیب که، اعمال تیمار قطع آبیاری در مرحله قبل از گرده‌افشانی باعث کاهش ۳۴/۵ درصد در عملکرد دانه نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید (جدول ۴).

کاربرد عناصر روی و پتاسیم بر روی عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ و درصد سطح سبز کانوپی اثر معنی‌داری ($P \leq 0/01$) نشان داد (جدول ۴). تیمار پتاسیم با میزان ۲ لیتر در هکتار پس از گرده‌افشانی دارای بیش‌ترین عملکرد دانه (۷۴۵۶ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). هم‌چنین تیمار ۲ لیتر بر هکتار پتاسیم در مرحله آبستنی توانست محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) ۳ درصد افزایش دهد (جدول ۵).

روی (Zn) نیز یکی از عناصر دارای اهمیت در گیاه می‌باشد که نقش‌های فیزیولوژیک فراوانی ایفا می‌کند. جذب روی توسط ریشه گیاه در شرایط کم آبی محدود می‌گردد و با دسترسی کم آب در خاک کاهش می‌یابد، زیرا تحت این

شرایط حرکت روی در خاک بسیار کم و محدود می‌گردد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) کاربرد روی (Zn) بر عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ در گندم بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۸۷۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۴ لیتر بر هکتار کود روی (Zn) پس از گرده‌افشانی به‌دست آمد (جدول ۵). هم‌چنین بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۷۱/۶۶ درصد) در تیمار ۴ لیتر بر هکتار کود روی (Zn) در مرحله آبستنی به‌دست آمد (جدول ۵). کاربرد کود روی تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ و درصد سطح سبز کانوپی در هر سه مرحله نداشت (جدول ۴). به‌عبارت دیگر، هر سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). استفاده از کود روی عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود روی) به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۱/۶ درصد افزایش داد (جدول ۵).

در مطالعه حاضر استفاده هم‌زمان از کود پتاس و روی عملکرد دانه، درصد سطح سبز کانوپی در سه مرحله و محتوای نسبی آب برگ (RWC) را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). تیمار کاربرد هم‌زمان کود پتاس و روی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) به‌ترتیب، عملکرد دانه (۴/۵ درصد)، درصد سطح سبز کانوپی (۵/۸ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۵/۹ درصد) را در شرایط تنش آبی افزایش داد (شکل ۱).



شکل ۱. نمودار اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم و روی بر عملکرد (۱ و ۲)، محتوای نسبی آب برگ (۳) و NDVI 1 (۴) در گندم تحت شرایط مختلف آبیاری. آبیاری: آبیاری نرمال (N)، تنش آبی (S)، پتاسیم (K) و روی (Z).

۵. بحث

تنش خشکی علاوه بر تأثیر بارز بر رشدونمو گیاه، این تنش منجر به اثرات ثانویه از طریق عدم تعادل در تغذیه معدنی گیاهان می‌شود. خشکی با کاهش میزان تعرق و کاهش انتقال آب باعث کاهش حمل و نقل مواد معدنی از ریشه به اندام هوایی می‌گردد. با درک تأثیر تنش خشکی بر تغذیه مواد معدنی گیاه می‌توان راه‌کارهای مفیدی در جهت کاهش میزان خسارت ناشی از خشکسالی و متعاقب آن کمبود مواد مغذی اتخاذ کرد (Da Silva *et al.*, 2011). مطالعات قبلی نشان می‌دهد که کمبود آب در مراحل قبل از گرده‌افشانی عملکرد دانه را ۵۸ تا ۹۴ درصد نسبت به شاهد (آبیاری کامل) کاهش داده است (Rengel & Graham, 1995). کمبود آب سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود (Debelo *et al.*, 2001). در شرایط خشکی، جذب مواد غذایی در اثر کاهش رطوبت خاک مختل می‌شود که در نهایت منجر به کندشدن انتشار مواد معدنی از خاک به سطح ریشه می‌گردد و از این‌رو سرعت جابه‌جایی به برگ‌ها نیز کاهش می‌یابد. خشکسالی باعث بسته‌شدن زود هنگام روزنه‌ها شده در نتیجه سرعت تعرق را کاهش می‌دهد و هم‌چنین انتقال مواد مغذی از ریشه به اندام هوایی را نیز محدود می‌کند. علت کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی را می‌توان کاهش دسترسی و انتقال آب و مواد معدنی در خاک و بافت گیاهی نسبت داد (Da Silva *et al.*, 2011). با توجه به این‌که در این آزمایش قطع آبیاری در ابتدای بوتینگ و بعد از گرده‌افشانی گیاه صورت گرفته است و تا مدتی پس از آن امکان رشد گیاه وجود داشته است، قطع آبیاری باعث توقف رشد و کاهش شاخص‌های مورفولوژیکی گندم شده است. پژوهش‌های دیگر هم نشان داده است که کمبود آب پس از مرحله گرده‌افشانی که در بسیاری از مناطق جهان شایع است، به‌وضوح دوره نمو را کوتاه و رسیدگی فیزیولوژیکی را جلو می‌اندازد، در حقیقت کوتاه‌شدن دوره نمو مکانیسم دیگری برای فرار از خشکی است که منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (Debelo *et al.*, 2001).

اعمال تنش رطوبتی باعث کاهش طول دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی می‌شود. گزارش‌ها حاکی از آن است که تنش کمبود آب در مرحله گرده‌افشانی، تعداد دانه در سنبله را حدود ۵۰ درصد کاهش داده است، اما تنش در مراحل بعد از گرده‌افشانی تأثیری بر تعداد دانه در سنبله نداشته است. این امر احتمالاً به دلیل کاهش بقای گلچه‌های تولیدشده و کاهش باروری آن‌ها در مرحله گرده‌افشانی در شرایط تنش می‌باشد (Rengel & Graham, 1995; Debelo *et al.*, 2001).

احتمالاً با توجه به این‌که در این آزمایش قطع آبیاری در ابتدای بوتینگ و بعد از گرده‌افشانی گیاه صورت گرفته است و درحالی‌که تا مدتی بعد از آن امکان رشد وجود داشته است، قطع آبیاری باعث توقف رشد و کاهش شاخص‌های مورفولوژیکی و در نهایت عملکرد گندم شده است. پژوهش‌های دیگر هم نشان داده است که کمبود آب پس از مرحله گرده‌افشانی که در بسیاری از مناطق جهان شایع است، به‌وضوح دوره نمو را کوتاه و رسیدگی فیزیولوژیکی را جلو می‌اندازد، در حقیقت کوتاه‌شدن دوره نمو مکانیسم دیگری برای فرار از خشکی است که منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (خانجانی افشار و همکاران، ۱۴۰۲).

در مطالعه‌ای به بررسی کاربرد برگی روی (Zn) بر خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد گندم پرداخته شد (Zain *et al.*, 2015). نتایج نشان داد استفاده برگی از عنصر میکرو Zn سبب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در خوشه، تعداد پنجه در مترمربع، بیوماس کل و شاخص برداشت شد (Zain *et al.*, 2015). کاهش اثرات مضر تنش بر گیاه گندم از طریق استفاده برگی از عنصر میکرو Zn را می‌توان به‌علت کاهش مارکرهای تنش نظیر پرولین، H_2O_2 و افزایش محتوای رنگدانه‌های گیاهی تحت شرایط تنش خشکی عنوان کرد. میزان اثر کاهشی حداکثری پس از محلول‌پاشی روی در مرحله بوتینگ مشاهده شد که نشان می‌دهد این مرحله بهترین زمان به‌منظور اعمال تیمار Zn به‌منظور تعدیل اثر تنش خشکی است (خانجانی افشار و همکاران، ۱۴۰۲; Abdel-Motagally & El-Zohri, 2018).

مطالعات قبلی حاکی از آن است که استفاده هم‌زمان از Zn و K به‌صورت کاربرد برگ‌گی تحت شرایط تنش خشکی در گندم سبب افزایش ارتفاع گیاه، پنجه‌های بارور، سنبله‌های بارور در سنبله، طول سنبله، وزن هزاردانه، بیوماس کل و عملکرد دانه گردید (Zafar *et al.*, 2016). نتایج سایر پژوهش‌گران مؤید آن است که ارتفاع گیاه و بیوماس کل گندم پس از کاربرد برگ‌گی روی و پتاس به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (Zafar *et al.*, 2016). نتایج این مطالعه کاملاً همسو با سایر مطالعات گذشته بود. نتایج نشان داد که استفاده برگ‌گی در هنگام تنش خشکی سبب افزایش میزان ارتفاع بوته، اندازه سنبله، تعداد سنبله‌ها، وزن هزاردانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد کل دانه نسبت به شاهد مربوطه گردید (Abdel-Motagally & El-Zohri, 2018; Mafakheri *et al.*, 2012; Bayat *et al.*, 2021a; Bayat *et al.*, 2021b; Golfam *et al.*, 2021a; Golfam *et al.*, 2021b).

گزارش‌هایی مبنی بر افزایش عملکرد دانه گندم بر اثر مصرف کود پتاسیم ارائه گردیده است (خانجانی افشار و همکاران، ۱۴۰۲؛ Alexander, 1973). به‌طور کلی پذیرفته شده است که در صورت عدم وجود مقادیر کافی از مواد مغذی موجود در خاک، در شرایط خشکسالی، افزایش مواد مغذی باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (خانجانی افشار و همکاران، ۱۴۰۲؛ Hu & Schmidhalter, 2005). با توجه به آن‌که پتاسیم پس از نیتروژن و فسفر یکی از عناصر بسیار مهم در گیاهان محسوب می‌گردد و از طرف دیگر پتاسیم نقش مهم و حیاتی در حفظ وضعیت آب در گیاهان، باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی و پایداری غشا بازی می‌کند (Erel *et al.*, 2015) و همچنین به‌عنوان وافرترین کاتیون در سیتوپلاسم، نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی دارد (Shabala & Pottosin, 2010)، در نتیجه، استفاده از کود پتاسیم به‌صورت اسپری برگ‌گی سبب بهبود عملکرد و محتوای نسبی آب برگ گندم می‌گردد. وضعیت آب گیاه به‌شدت بر تجمع پتاسیم در برگ موثر است. نقش آن در باز و بسته‌شدن روزنه‌ها بسیار مهم است، زیرا کانال‌های پتاسیم موجود در سلول‌های نگهبان روزنه‌ها نسبت به وضعیت آب گیاه حساس هستند (Taiz & Zeiger, 2006). در شرایط خشکی، در دسترس‌بودن پتاسیم در خاک برای گیاهان کاهش یافته و جذب آن توسط ریشه محدود شده که در نهایت بر انتقال آن از ریشه به اندام هوایی تأثیرگذار می‌باشد (Wang *et al.*, 2013). کاهش در مسیرهای آنزیمی مرتبط با فتوسنتز و کندشدن مکانیسم‌های محافظت‌کننده از سیستم‌های نوری فتوسنتز از جمله مواردی بوده که در هنگام کاهش پتاسیم در گیاه مشاهده شده است (Erel *et al.*, 2015).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور خلاصه هدف از انجام این مطالعه تأثیر کاربرد عناصر روی و پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گندم تحت تنش خشکی بود. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آنست که مصرف پتاسیم و روی اثر معنی‌داری بر عملکرد و محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ و درصد سطح سبز کانوپی گندم در رژیم‌های مختلف آبیاری دارند. بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی پتاسیم و روی در شرایط آبیاری نرمال قبل از بوتینگ حاصل شده و تنش خشکی باعث نقصان آن گردید. مصرف جداگانه کود پتاس، روی و مصرف هم‌زمان کود پتاسیم و روی در مرحله بعد از گرده‌افشانی در مقایسه با شاهد، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. کاربرد برگ‌گی پتاسیم و روی به‌صورت محلول‌پاشی بر روی گیاه گندم، سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ شد و به‌طور مستقیم انتقال مواد به مخزن را افزایش و در نهایت منتج به افزایش عملکرد دانه شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، به‌نظر می‌رسد استفاده هم‌زمان کود پتاس و روی در مرحله آبستنی می‌تواند خسارت‌های ناشی از تنش را کاهش دهد و این تیمار را می‌تواند به کشاورزان و تولیدکنندگان گندم که تحت شرایط تنش خشکی کشت می‌شوند، پیشنهاد کرد.

۷. تشکر و قدردانی

از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان و هم‌چنین دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد را به‌خاطر تأمین و حمایت‌های مادی و معنوی و هم‌چنین ملزومات لازم اعم از زمین، ماشین‌آلات، نهاده‌های اولیه، آزمایشگاه، مواد آزمایشگاهی و نیروی کار، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

خانجانی‌افشار، حمزه؛ چایی‌چی، مهرداد؛ جعفرزاده کنارسری، مجتبی و فرنیاء، امین (۱۴۰۲). بررسی تأثیر محلول‌پاشی با پتاسیم و روی در مرحله گرده‌افشانی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک در شرایط تنش رطوبتی در گیاه گندم (*Triticum aestivum*)، *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۱)، ۸۳-۹۳. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.335634.2655>

نخجوانی مقدم، محمد مهدی؛ صدر قاین، سید حسین و اکبری، مهدی (۱۳۸۹). اسفند). اثرات تنش آبی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم. *سومین همایش ملی آبیاری و زهکشی*. اهواز، ایران.

References

- Abbott, T. S. (1985). *Soil Testing service—methods and interpretation*. Sydney: NSW Department of Agriculture Publisher.
- Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., & Elshikh, M. S. (2022). Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13(3), 25-43.
- Asseng, S., Foster, I., & Turner, N. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2), 997- 1012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x>.
- Abdel-Motagally F, M, F., & El-Zohri M. (2018). Improvement of wheat yield grown under drought stress by boron foliar application at different growth stages. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 178-185.
- Ahanger, M .A., Morad-Talab, N., Abd-Allah, E. F., Ahmad, P., & Hajiboland, R. (2016). Plant growth under drought stress: significance of mineral nutrients. *Water stress and crop plants: a sustainable approach*, 2(5), 649-668.
- Alexander, V. T. (1973). Influence of foliar nutrition of urea and potash on wheat under rainfed condition. *Journal of Potash review*, 11(12), 2-9.
- Anonymous. (2018). Statista [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/237912/global-top-wheat-producing-countries/>.
- Cakmak, I. (2010, August). *Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy*. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia.
- Cheng, W., Sun, Y., Fan, M., Li, Y., Wang, L., & Qian, H. (2022). Wheat bran, as the resource of dietary fiber: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(26), 7269-7281.
- Da Silva, E. C., Nogueira, R., da Silva, M. A., & de Albuquerque., M. B. (2011). Drought stress and plant nutrition. *Plant Stress*, 5(11), 32-41.
- Debelo, D., Girma, B., Alemayehu, Z., & Gelalcha, S. (2001). Drought tolerance of some bread wheat genotypes in Ethiopia. *African crop science journal*. 9(2), 393-400.
- Deng, X., Shan, L., Inanaga, S., & Inoue, M. (2005). Water-saving approaches for improving wheat production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(11), 1379-1388.
- El-Sharkawy, M., Mahmoud, E., Abd El-Aziz, M., & Khalifa, T. (2022). Effect of zinc oxide nanoparticles and soil amendments on wheat yield, physiological attributes and soil properties grown in the saline-sodic soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(17), 2170-2186.

- Erel, R., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Dag, A., Shapira, O., & Schwartz, A. (2015). Modification of non-stomatal limitation and photoprotection due to K and Na nutrition of olive trees. *Journal of plant physiology*, 177(41), 1-10.
- FAO. (2015). *Building stronger partnerships for resilience: Opportunities for greater FAO engagement in realizing the goals of the DFID Humanitarian Policy*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Golfam, R., Kiarostami, K., Lohrasebi, T., Hasrak, S., & Razavi, K. (2021a). A review of drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *Farm Management*, 6(4), 47-57.
- Golfam, R., Rostami, K. K., Lohrasebi, T., Hasrak, S., & Razavi, K. (2021b). Essential enzymes in the biosynthesis pathway of wheat (*Triticum aestivum*) starch: A review. *Farm Management*, 6(11), 59-69.
- Hajiboland, R., & Amirazad, F. (2010). Growth, photosynthesis and antioxidant defense system in Zn-deficient red cabbage plants. *Plant, Soil and Environment*, 56(7), 209-217.
- Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(8), 541-549.
- Kiran, A., Wakeel, A., Mahmood, K., Mubarak, R., Hafsa & Haefele, S. M. (2022). Biofortification of staple crops to alleviate human malnutrition: contributions and potential in developing countries. *Agronomy*, 12, 115-134. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020452>.
- Khan, M. A., Fuller, M. P., & Baloch, F. S. (2008). Effect of soil-applied zinc sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. *Cereal Research Communications*, 36(4), 571-582.
- Khanjaniafshar, H., Chaichi, M., Jafarzadeh Kenarsari, M., & farnia, A. (2023). The Effects of Foliar Application with Potassium and Zinc in the Pollination Stage on Morpho-Physiological Characteristics under Moisture Stress in Wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Crops Improvement*, 25(1), 83-93. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.335634.2655>. (In Persian).
- Mafakheri, S., Zargar, M., & Fakhri, K. (2012). The best application time and dose of herbicide for optimum weed management in two red bean cultivars. *Indian Journal of Science and Technology*, 5(12), 1848-850.
- Nakhjivani Moghadamad, M. M., Sadr Ghayen, S. H. & Akbari, M. (2010, February). *Effects of water stress on yield and water use efficiency of wheat*. Third National Conference on Irrigation and Drainage. Ahvaz, Iran. (In Persian).
- Payero, J., Tarkalson, D., Irmak, S., Davison, D., & Petersen, J. (2009). Effect of timing of a deficit irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, and water use efficiency and dry mass. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1387-1397.
- Rosales, M. A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J. & Covarrubias, A. A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56(11), 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.007>.
- Ramegowda, V., & Senthil-Kumar, M. (2015). The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: mechanistic understanding from drought and pathogen combination. *Journal of plant physiology*, 176(9), 47-54.
- Shabala, S., & Pottosin, I. I. (2010). Potassium and potassium-permeable channels in plant salt tolerance. In *Ion Channels and Plant Stress Responses*. Berlin: Springer. http://dx.doi.org/10.1007%2F978-3-642-10494-7_5.
- Scot, P., & Aboudrare, A. (2009). Adaptation of crop management to water-limited environment. *European Journal of Agronomy*, 21(11), 433-446.
- Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2007). Influence of exogenous application of brassinosteroid on growth and mineral nutrients of corn under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 39(15), 513-522.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., & Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality, and applications review. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 38-58.
- Soleymanifard, A., Pourdard, S., Naseri, R., & Mirzaei, A. (2011). Effect of drought stress on growth indices of sweet corn in rainfed conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 47(14), 327- 340.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*, 4th edition. Sunderland: Sinauer Associates.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences*, 14(2), 7370-7390.
- Zafar, S., Ashraf, M, Y., Anwar, S., Ali, Q., & Noman, A. (2016). Yield enhancement in wheat by soil and foliar fertilization of K and Zn under saline environment. *Soil & Environment*, 35(9), 25-36.
- Zain, M., Khan, I., & Qadri, R. W. K. (2015). Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. *American Journal of Plant Sciences*, 6(1), 864.